HAL
open science

De l'usage du concept de contradiction en phase amont de la conception architecturale : incidences de la théorie TRIZ sur le programme architectural : une étude empirique

Amirabbas Najari

To cite this version:

Amirabbas Najari. De l'usage du concept de contradiction en phase amont de la conception architecturale : incidences de la théorie TRIZ sur le programme architectural : une étude empirique. Architecture, aménagement de l'espace. Université de Strasbourg, 2015. Français. NNT : 2015STRAD041 . tel-01342056

HAL Id: tel-01342056

https://theses.hal.science/tel-01342056v1

Submitted on 5 Jul 2016

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

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

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

École Doctorale Mathématiques, Sciences de l'Information et de l'Ingénieur
UdS – INSA

THÈSE présentée par
Amirabbas NAJARI

soutenue le : **12 novembre 2015**

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Strasbourg**

Discipline : **Sciences de l'ingénieur**

Spécialité : **Sciences et Technologies Industrielles**

De l'USAGE du CONCEPT de CONTRADICTION en PHASE AMONT de la CONCEPTION ARCHITECTURALE

Incidences de la Théorie TRIZ sur le programme architectural : Une étude empirique

THÈSE dirigée par :

M. Marc BARTH	Directeur, HDR, Maître de conférences, INSA, Université de Strasbourg
M. Michel SONNTAG	Codirecteur, Professeur des Universités Émérite, INSA, Université de Strasbourg

Rapporteurs :

M. François GUENA	Professeur, École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris la Villette
M. Vincent BOLY	Professeur, Équipe de Recherche sur les Processus Innovatifs, Université de Lorraine

Examinateur :

M. Alain FINDELI	Professeur, Universités, Université de Nîmes
M. Denis CAVALLUCCI	Professeur, INSA, Université de Strasbourg

À Shabnam

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier la Région Alsace qui a rendu possible cette recherche et a soutenu le Laboratoire du Génie de la Conception de l'INSA de Strasbourg dans ses recherches sur la question de l'invention.

Je remercie vivement mon directeur de thèse, Monsieur Marc BARTH, pour la confiance qu'il m'a témoignée tout au long de ces années. Sa connaissance profonde des théories de conception, sa franchise, ainsi que ses remarques constructives, m'ont aidé à garder le cap et naviguer dans des moments difficiles. Il m'a appris à décortiquer la TRIZ et me l'approprier. Ses questions pointues au sujet de prétendues différences entre la nature de la conception architecturale et celle de la conception en ingénierie m'ont ouvert une nouvelle perspective sur ma propre discipline.

J'adresse ma gratitude la plus sincère à mon co-directeur, Monsieur Michel SONNTAG, qui le premier a cru en moi. Simultanément guide et pédagogue, sans lui et son soutien sans faille ce projet n'aurait jamais abouti.

Je remercie mon encadrante, Madame Karine DUPRÉ, qui a initié ce projet et réuni les conditions nécessaires pour entamer cette recherche.

Mes remerciements vont aussi à toute l'équipe du Laboratoire du Génie de la Conception de l'INSA, avec laquelle j'ai eu la chance de collaborer et apprécier ses qualités humaines et sa rigueur scientifique. Je tiens à remercier trois personnes tout particulièrement : Monsieur Denis CAVALLUCCI, qui m'a généreusement apporté son aide, transmis sa passion de la recherche et accepté d'examiner ce travail ; Monsieur Sébastien DUBOIS, qui m'a appris comment regarder les choses à travers la TRIZ ; et Madame Nathalie GARTISER, pour son soutien intellectuel et moral, durant toute ces années de recherche.

Je remercie les membres du Département Architecture de l'INSA qui ont participé à l'évaluation des résultats de cette recherche ; et plus particulièrement Monsieur Franck GUENÉ qui a organisé les séances de l'évaluation.

Mes remerciements vont ensuite à d'autres membres du jury, Messieurs Paul QUINTRAND, Alain FINDELI, François GUENA, Vincent BOLY, pour l'honneur qui m'ont fait en acceptant d'êtres rapporteur de mon travail et de l'examiner.

Merci à mes collègues et amis, qui m'ont offert leurs amitiés et soutiens. Merci à Hamed, Élodie et Babak. Un grand merci à Didier qui a lu et commenté mes travaux et qui a contribué au développement du programme de l'interface. Je remercie également Simon Fuhlhaber, pour m'avoir accordé la licence d'utilisation de STEPS.

Mais par quel mot pourrais-je exprimer ma reconnaissance et mon affection envers ma famille ? Mes parents d'abord à qui je dois tout, mon frère et généreux soutien Amir, mon confident Kourosh, ma très chère Zahra ; et mon épouse Shabnam, cette interlocutrice passionnée et patiente qui m'a accompagné durant toutes ces années, et qui a su garantir la sérénité de notre foyer. Et enfin, merci à mon adorable fille, Nava, qui m'a apporté la lumière et la joie.

Résumé

Cette thèse est consacrée à la représentation des problèmes et contradictions architecturaux dans la phase amont de la conception. La contradiction se trouve au cœur du propos de l'architecture aussi bien que dans sa démarche de conception.

Dans un premier temps, c'est le caractère multidimensionnel de l'architecture qui est à l'origine des contradictions dans le propos d'un projet architectural. Les éléments que l'architecture doit satisfaire se trouvent sur un spectre s'étendant des aspects techniques à ceux de l'esthétique ; y compris des dimensions sociale, comportementale, environnementale, économique, etc. Cette divergence peut se refléter dans les objectifs contradictoires pour lesquels la conception architecturale cherche à répondre par une organisation spatiale innovante des éléments physiques formant un objet bâti. Ce dernier doit également répondre à diverses exigences du contexte dans lequel il se situe, aux attentes variées des usagers, aux fonctions multiples, ainsi qu'aux contraintes technologiques, réglementaires, budgétaires, temporelles, etc. Une telle diversité dans les exigences et les contraintes peut aussi augmenter les contradictions objectives d'un projet architectural.

Dans un deuxième temps, c'est le processus collectif de conception architecturale qui peut se manifester comme étant à l'origine des contradictions. Un processus sollicitant la collaboration active de différents acteurs est de plus en plus revendiqué pour répondre à deux préoccupations. D'une part, la complexité des problèmes architecturaux augmente à travers de nouveaux phénomènes technologiques et sociaux qui nécessitent d'intégrer de nouvelles compétences. D'autre part, les conséquences des rapports dévastateurs que la société moderne a établis entre l'Homme et son environnement mettent en évidence la nécessité d'un nouveau mode de pensée dans la conception des objets bâtis. Cette revendication signe un changement paradigmatique dans la perception de la conception architecturale et remet en question l'idée qui considère l'architecture comme une œuvre d'une démarche individuelle basée sur la capacité créative de l'architecte/auteur. Mais, le processus collectif de conception peut augmenter les contradictions, car ayant des connaissances et des compétences diverses, les parties prenantes appliquent différents modes de raisonnement et utilisent des moyens de représentation et des langages différents

pour s'exprimer. L'antagonisme d'intérêts et la discordance entre les objectifs causent les confits cognitifs pouvant se présenter par des contradictions objectives.

Dans ce contexte, la contradiction est un phénomène connu en architecture. Plusieurs architectes reconnaissent la contradiction, présente dans tout projet architectural, comme le noyau de création et la clé d'émerveillement du projet. Cependant, la théorie de la conception architecturale n'a pas cherché à utiliser la notion de contradiction comme une stratégie conceptuelle pour guider la conception vers une solution innovante.

Cette thèse s'inscrit dans la problématique de l'agentivité potentielle de la phase amont de la conception architecturale pour concevoir des concepts et solutions innovants. Cette phase est caractérisée par la construction d'espace de problèmes représentant explicitement l'ensemble des objectifs, des contraintes et des propositions du projet architectural. Selon la démarche du projet de conception dans le contexte français, l'identification de cet ensemble est confiée à la phase de programmation architecturale. Et les études sur cette activité en France montrent que le programme est appréhendé par la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre comme support de l'invention. Alors qu'un des enjeux principaux que la programmation architecturale doit répondre s'agit dans la concertation entre les parties prenantes du projet, y compris faciliter leur communication, les faire s'exprimer et puis dépasser les conflits et les contradictions, les démarches appliquées dans cette activité ne proposent pas un modèle précis pour formuler et représenter explicitement ses derniers. Par conséquent, même si une contradiction est observée ou exprimée implicitement pendant la programmation, elle n'est pas présente dans le document du programme et reste dans la mémoire du programmiste. Face aux contradictions, le processus de conception s'appuie soit sur la créativité de l'architecte procédant par tâtonnement et par intuition pour concevoir une solution innovante ; soit sur la hiérarchisation des priorités et/ou sur la négociation et compromis. En effet, ni ces méthodes ni les recherches récentes visant l'amélioration de la programmation architecturale n'utilisent la notion de contradiction comme une stratégie conceptuelle de structuration, d'organisation et d'interprétation des informations collectées pendant cette phase. (voir Chapitre I)

Alors que cette piste reste jusqu'ici inexplorée en théorie de la programmation et de la conception architecturale, la Théorie de Résolution des Problèmes Inventifs (TRIZ) en refusant le compromis considère la contradiction comme centrale pour concevoir une solution innovante. La TRIZ propose de formuler le problème de la conception sous forme

de contradiction. La finalité de cette formulation est d'identifier les éléments constructifs du problème et leur structure. Ce formalisme révèle des traits du portrait de la solution d'une part, et d'autre part donne accès aux modèles de solution de la base de connaissances de la théorie de TRIZ. Si l'intérêt de la TRIZ classique pour résoudre des problèmes techniques d'ingénierie est aujourd'hui reconnu, ses développements récents visent à élargir son champ d'application vers les domaines qui contiennent des problèmes non-techniques. Un tel élargissement nécessite l'amélioration de la démarche et du modèle que la TRIZ utilise pour formalisation des problèmes issus des situations floues multifactorielles complexes. *Inventive Design Method* (IDM) est une méthode développée au Laboratoire de Génie de Conception (LGéCo) de l'INSA de Strasbourg pour atteindre cet objectif. Plus précisément, ce développement améliore la capacité de la TRIZ classique dans les situations complexes ayant de multiples problèmes interconnectés et pour l'extraction et la formulation des contradictions liées aux problèmes. (voir Chapitre II)

Cette thèse a pour ambition de contribuer aux recherches visant l'appropriation de parts de connaissances élaborées par la TRIZ dans le savoir architectural. Elle se développe donc en transversalité en examinant la possibilité d'appliquer IDM-TRIZ, son ontologie et son formalisme de représentation de contradiction dans les phases amont de la conception architecturale. L'objectif principal est d'évaluer les apports du concept de contradiction de la théorie TRIZ à l'énoncé des problèmes et des contradictions du projet architectural. Si l'accent est mis sur cet objectif, l'évaluation des apports des techniques et outils de résolution de contradiction de la TRIZ en préconception architecturale constitue l'objectif secondaire de cette étude.

L'énoncé des problèmes se fait à la dernière étape de la programmation ou à la première étape de la conception. Cette thèse porte donc sur le stade où le programmiste et/ou l'architecte commence à construire l'espace de problèmes du projet. Plus précisément, cette thèse se focalise sur l'intervalle de la programmation et la conception architecturale. Deux caractéristiques de cette phase soutiennent notre choix. D'abord, c'est dans cette phase qu'en utilisant les informations collectées pendant la programmation, le programmiste et/ou l'architecte tâche d'identifier des éléments fondamentaux du projet, c'est-à-dire les objectifs les plus importants, les contraintes les plus exigeantes et les opportunités les plus intéressantes. Ainsi, les décisions prises et les choix faits dans cette phase ont une influence déterminante sur toutes les phases ultérieures du processus de

conception architecturale. La deuxième raison vient du fait que, contrairement aux phases ultérieures de la conception architecturale, les moyens utilisés dans cette phase pour exprimer des éléments fondamentaux du projet restent essentiellement les moyens de représentation verbale. Cette caractéristique nous permet d'éviter la difficulté de l'interprétation des représentations graphiques de ces éléments.

De l'objectif de cette recherche résultent deux ordres de questions:

A) Les questions du premier ordre visent la possibilité de représenter les objectifs, les contraintes et les propositions d'un projet architectural sous forme de contradiction. IDM-TRIZ utilise le Graphe de Problème – Solution Partielles pour modéliser ces éléments comme contradiction.

   Peut-on utiliser la démarche et le modèle de la TRIZ pour représenter les objectifs, les contraintes, les propositions et les contradictions d'un projet architectural ? Cette représentation est-elle significative et intelligible pour les architectes ?

   Comment peut-on transformer des informations fournies par un programme architectural aux éléments constructifs du Graphe de Problèmes – Solution Partielles? Quels sont les intérêts et les limites de cette représentation ?

   Quelles sont les incidences de cette représentation sur les qualités les plus recherchées d'un programme architectural, à l'instar de la clarté des énoncés des problèmes, la traçabilité des problèmes et des solutions proposées, l'intégralité de l'espace de problèmes ?

B) Le deuxième ordre des questions vise les apports de l'ensemble des techniques et outils de TRIZ à la résolution de la contradiction en architecture. Peut-il contribuer à la production des concepts en phase amont de la conception? Quels sont la pertinence et l'intérêt des concepts produits à l'aide de la théorie de la TRIZ ?

D'un point de vue méthodologique, les travaux de notre recherche s'inscrivent dans la démarche de « recherche-projet ». Il s'agit d'un cadre théorique pour mener une recherche active et située dans le champ d'un projet de conception. En architecture, le résultat d'une recherche-projet doit à la fois contribuer au corpus théorique de ce domaine et être fécond pour les praticiens de la pratique de la conception architecturale (programmiste, architecte, etc.).

Nous avons recherché, à cet égard, la notion de patterns de problème-solution en architecture, ainsi que la notion de contradiction dans le corpus théorique de l'architecture.

Par le croisement d'idées d'Altshuller, d'Alexander et de Venturi, nous avons présenté les divergences et les convergences entre les façons dont ces notions sont comprises en architecture et en théorie de la TRIZ. (voir Chapitre III)

Le projet réel d'Extension-Rénovation de l'INSA de Strasbourg a été choisi comme l'objet de notre étude empirique (voir Chapitre IV). Dans un premier temps, les objectifs, les contraintes et les scénarios présentés par le programme de ce projet ont été utilisés pour définir des éléments constructifs du Graphe (Problème, Solution partielle, liens). Le Graphe modélisé contient un total de 74 problèmes et 75 Solution Partielles. En plus de l'énoncé des problèmes, cette modélisation nous a permis d'identifier le problème le plus influent du projet, ainsi que la poly-contradiction liée à ce problème. La modélisation de l'espace de problèmes du projet à travers de ce graphe (premier résultat de notre expérimentation) correspond aux questions du premier ordre *(A)*, mentionnées ci-dessus.

Pour répondre aux questions du deuxième ordre *(B)*, l'ensemble des méthodes et outils de TRIZ a été utilisé pour résoudre la poly-contradiction liée au problème identifié à l'aide du Graphe de Problèmes - Solution Partielles comme le problème le plus influent du projet. La TRIZ nous a permis de définir dix concepts de solution pour résoudre cette contradiction (Deuxième résultat de notre expérimentation).

Les deux résultats de cette application empirique ont été évalués à travers une série d'entretiens semi-directifs. Ces résultats ainsi que deux questionnaires élaborés pour guider les entretiens ont été soumis à treize architectes (voir Chapitre V). Premier questionnaire vise, d'abord, la possibilité de représenter des objectifs, des contraintes et des propositions du projet de l'INSA sous forme de contradiction. Ensuite, il a pour but d'évaluer des intérêts et inconvénients de cette représentation et l'impact qu'elle peut avoir sur d'autres enjeux de la programmation (correspondant aux questions de l'ordre *A*).

Le deuxième questionnaire vise la pertinence et l'intérêt des techniques et outils de résolution de contradiction de TRIZ pour la préconception architecturale (correspondant aux questions de l'ordre *B*). Les dix concepts produits par TRIZ pour résoudre la contradiction choisie comme clé ont été évalués.

L'évaluation des résultats de cette application montre que les répondants affirment

I. la possibilité d'énoncer les objectifs, contraintes et propositions du projet sous forme de contradiction à travers le Graphe Problèmes – Solution Partielles (avec 92.3 % de

réponse positive pour ceux qui concernent la fonction et la forme ; et 85 % pour ceux concernant l'économie et le temps);

la contribution significative du Graphe Problèmes – Solution Partielles à la clarté des énoncés de problèmes; à la traçabilité des problèmes et à la l'intégralité de la présentation de l'espace de problèmes. Ce graphe est aussi évalué comme un support du processus de prise de décision et un bon moyen de communication.

II. que l'ensemble de techniques et outils de TRIZ pourrait contribuer à la génération des concepts de solution en phase amont de la conception architecturale. Le taux d'affirmation varie selon le concept évalué ; cependant, ils attestent la pertinence (avec une moyenne de 58 % d'affirmation) et l'intérêt (avec une moyenne de 67 % d'affirmation) des concepts.

La conclusion porte sur l'intérêt et l'inconvénient de l'usage du concept de contradiction de TRIZ comme stratégie conceptuelle de la construction de l'espace de problèmes architecturaux en phase amont de la conception architecturale. De même, elle présente certaines réflexions sur les limites de la TRIZ pour une application architecturale. Une discussion est menée sur les développements requis dans IDM-TRIZ pour mieux s'adapter à la pratique architecturale et mieux s'intégrer aux recherches courantes en programmation architecturale. En mettant la contribution de la thèse dans le champ plus large de l'appropriation de parts de connaissances élaborées par la TRIZ dans le savoir architectural, la conclusion se termine par la proposition de certaines pistes d'exploration qui désignent une perspective pour la recherche ultérieure sur les apports potentiels de la TRIZ en conception architecturale.

MOTS-CLÉS : *Contradiction, Programmation Architecturale, Innovation, Conception Architecturale, TRIZ, Stratégie de Conception, Formulation de Problèmes, IDM.*

Table des matières

RESUME I

INTRODUCTION 1

PREMIERE PARTIE : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE 13

CHAPITRE I LA QUESTION DE LA PROGRAMMATION ARCHITECTURALE 15

CH. I.1. LA PROGRAMMATION ARCHITECTURALE DANS LE CONTEXTE FRANÇAIS 15

I.1.1. Les aspects réglementaires 17

I.1.1.1. Le déroulement de la procédure du projet de construction 18

I.1.1.2. Le contenu du programme architectural 20

I.1.2. Les pratiques professionnelles 21

I.1.2.1. Le statut de Programmiste 21

I.1.2.2. Les méthodes appliquées 23

I.1.2.3. La question de conflits et de contradiction dans le programme 23

I.1.2.4. L'appréhension du programme architectural 24

I.1.2.5. Les principaux enjeux de la programmation 26

I.1.3. La Conclusion 27

CH. I.2. LA QUESTION DES METHODES DE PROGRAMMATION ARCHITECTURALE 30

I.2.1. Qu'est-ce qu'un programme architectural 30

I.2.1.1. Une brève histoire 30

I.2.1.2. Définition du programme et de la programmation architecturale 35

I.2.1.3. En quoi consiste un bon programme architectural 39

I.2.2. La programmation et la conception architecturale 40

I.2.3. Les modèles des méthodes de programmation 45

I.2.3.1. Le modèle basé sur la conception 45

I.2.3.2. Le modèle basé sur la connaissance 46

I.2.3.3. Le basé modèle basé sur les enjeux 51

I.2.3.4. Le modèle basé sur les valeurs 54

I.2.4. L'instrumentalisation de la programmation 56

I.2.5. Les stratégies des méthodes de programmation architecturale 60

I.2.6. La conclusion 62

CH. I.3. LA CONCLUSION DU CHAPITRE I 65

CHAPITRE II LA TRIZ 69

II.1.1. La TRIZ, sa genèse et ses développements 71

II.1.2. Les fondements théoriques de la TRIZ 73
II.1.2.1. La position épistémologique de la TRIZ 73
II.1.2.2. Les concepts de base de la TRIZ 79
II.1.2.3. Le postulat de contradiction 81
II.1.2.4. La démarche de la TRIZ 84
II.1.2.5. Les méthodes, techniques et outils 85
II.1.3. Le développement Post-Altshuller - (IDM-TRIZ) 94
II.1.3.1. La démarche d'IDM-TRIZ 97
II.1.4. La Conclusion 104
CH. II.3. L'EXPLORATION DE L'APPLICABILITE DE LA THEORIE TRIZ EN ARCHITECTURE – UNE SYNTHESE 106
II.3.1. Conception Architecturale 107
II.3.2. Matériaux, Techniques, et Technologies de Construction 108
II.3.3. Méthodes de conceptions inspirées par la théorie TRIZ 109
II.3.3.1. Conception Architecturale Biomimétique via la TRIZ 109
II.3.3.2. D'autres méthodes de Conceptions inspirées par la méthode TRIZ 112
II.3.4. D'autres pistes 113
II.3.5. La conclusion 115
CH. II.4. LA CONCLUSION DU CHAPITRE II 120

CHAPITRE III LA QUETE DE L'INSAISISSABLE ET LA QUESTION DE CONTRADICTION EN ARCHITECTURE 123

CH. III.1. UNE BOITE NOIRE A BRILLER - CHRISTOPHER W. ALEXANDER 127
III.1.1. Notes on the Synthesis of Form 129
III.1.2. A pattern language (Alexander et al., 1977) et « The Timeless Way of Building » (Alexander, 1979) 136
III.1.3. The Nature of Order (2002-2005) 143
III.1.4. La synthèse 149
CH. III.2. TRANCHER LA CONTRADICTION 156
III.2.1. La Contradiction en architecture 156
III.2.1.1. Une typologie des significations de terme de contradiction 157
III.2.2. De l'ambiguïté en Architecture - Robert Venturi (1966) 162
III.2.3. La synthèse 171
CH. III.3. LA CONCLUSION DU CHAPITRE III 174

DEUXIEME PARTIE : ÉTUDE EMPIRIQUE 179

CHAPITRE IV L'APPLICATION D'IDM-TRIZ AU PROGRAMME ARCHITECTURAL 181

CH. IV.1. LES MATERIELS ET LA METHODE 182
IV.1.1. Les matériels 182
IV.1.2. La méthode IDM-TRIZ 186

CH. IV.2. LE CAS D'APPLICATION : LE PROJET EXTENSION – RENOVATION DE L'INSA DE STRASBOURG 188
IV.2.1. Étape 1 : Analyse de la situation initiale 188
IV.2.1.1. Construction du Graphe PB-SP 189
IV.2.1.2. Paramètres des Problèmes et Solution partielles 192
IV.2.1.3. L'interprétation du Graphe PB-SP 193
IV.2.2. Étape 2 : Analyse du problème et Management des contradictions 195
IV.2.3. Étape 3 : Génération des concepts 200
IV.2.4. Étape 4 : Choix des directions de développement des concepts 202
CH. IV.3. LA CONCLUSION DU CHAPITRE IV 203
CHAPITRE V L'EVALUATION 205
CH. V.1. LE PROTOCOLE D'EVALUATION 207
V.1.1. Les supports de l'évaluation 207
V.1.2. Les évaluateurs 207
V.1.3. La méthode 210
V.1.4. Le déroulement 210
V.1.5. L'observation 211
V.1.6. Les limites 212
CH. V.2. L'ANALYSE DES QUESTIONNAIRES 213
V.2.1. Le *Questionnaire A - L'évaluation du premier résultat : le programme modélisé sous forme de contradiction à travers le Graphe PB-SP 213*
V.2.1.1. Le problème architectural comme contradiction – Exprimer des conflits et des contradictions : 214
V.2.1.2. La clarté de l'énoncé des problèmes 218
V.2.1.3. L'exhaustivité de l'espace de problèmes 219
V.2.1.4. La traçabilité des problèmes et des solutions 221
V.2.1.5. L'intégralité de l'espace de problème 223
V.2.1.6. Le support du processus de prise de décision 224
V.2.1.7. Le moyen de communication et d'établissement du dialogue 226
V.2.1.8. La synthèse de l'évaluation du Graphe PB-SP 228
V.2.2. Le Questionnaire B - L'évaluation de l'apport des techniques et outils de la TRIZ : les concepts de solution 230
V.2.2.1. Concept 1 232
V.2.2.2. Concept 2 234
V.2.2.3. Concept 3 236
V.2.2.4. Concept 4 238
V.2.2.5. Concepts 5 et 6 240
V.2.2.6. Concept 7 242
V.2.2.7. Concept 8 244
V.2.2.8. Concept 9 246

V.2.2.9. Concept 10 248
V.2.2.10. La synthèse de l'évaluation des concepts de solution 250
CH. V.3. LA CONCLUSION DU CHAPITRE V 251

CONCLUSION 253

BIBLIOGRAPHIE 263

ANNEXES 279

Liste des tableaux

Tableau I-1. La matrice des informations de Recherche de problèmes 48

Tableau I-2. La matrice des facteurs et des types de conclusion 49

Tableau I-3. Matrice des fondamentaux proposé par Duerk. 52

Tableau I-4. La matrice d'entretien du modèle basé sur les valeurs 55

Tableau I-5. Les concepts utilisés par les modèles des théories de la programmation architecturale 64

Tableau II-1. La structure du corpus théorique de la TRIZ classique 86

Tableau II-2. Classement les techniques et outils d'IDM-TRIZ 104

Tableau II-3. La synthèse des publications portant sur l'application de la TRIZ dans un des champs relatifs à l'architecture 116

Tableau III-1. La synthèse des théories d'Altshuller, d'Alexander et de Venturi..... 178

Liste des figures

Fig. Intro.1. La position de notre recherche sur les axes d'activités du Laboratoire de Génie de Conception (LGéCo) 9
Fig. I-1. L'approche de la loi MOP : les phases du projet de construction et la démarche de programmation. 19
Fig. I-2. Le processus simplifié du déroulement d'une étude de programmation 20
Fig. I-3. L'appréhension du programme par la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. 25
Fig. I-4. Enjeux de la Programmation architecturale pour la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre 27
Fig. I-5. L'importance des critères d'évaluation pour la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre 29
Fig. I-6. L'approche intégrée 41
Fig. I-7. L'approche séparée 42
Fig. I-8. L'approche interactive 43
Fig. I-9.L'approche intégrée – interactive 43
Fig. I-10. Le diagramme de trois principes de Vitruve et les enjeux de la programmation 46
Fig. I-11. Le cadre fondamental de la programmation 51
Fig. I-12. Le schéma de la démarche proposée par 52
Fig. I-13. Le modèle simplifié de programmation 59
Fig. I-14. La proposition de la thèse : Ajouter un ensemble structuré des problèmes du projet sous forme de contradiction (les éléments en gras) au programme architectural 67
Fig. II-1. Recherche dans l'espace de problèmes et l'espace de solutions 75
Fig. II-2. L'approche divergente 76
Fig. II-3. L'approche d'essais et erreurs 76
Fig. II-4. L'approche convergente de la TRIZ 78
Fig. II-5. La typologie de ressources selon TRIZ 81
Fig. II-6. L'approche générale de la TRIZ 85
Fig. II-7. Intégralité du système technique 90
Fig. II-8. Le Modèle de Substance-Champ 92
Fig. II-9. L'organisation du Pointeur des effets physiques, chimiques et géométriques 94
Fig. II-10. Fréquence d'utilisation d'outils de la TRIZ 94
Fig. II-11. Le modèle ENV de Contradiction technique 101
Fig. II-12. Exemple de la poly-contradiction d'IDM-TRIZ 102
Fig. II-13- Exemple de la population des contradictions. 103
Fig. II-14. La disparité des publications en fonction des champs d'application de la TRIZ en architecture. 117

Fig. II-15. La disparité de publications sur l'application la TRIZ en architecture de 2001 à 2015. 118
Fig. II-16. La disparité d'utilisation des méthodes, techniques et outils de la TRIZ. 119
Fig. III-1. L'exemple des lignes de conflit et des lignes de concordance entre des exigences d'un problème 131
Fig. III-2. La démarche proposée par Alexander pour passer du contexte réel du monde à la présentation mentale et arriver à la forme conçue 132
Fig. III-3. Les résultats de la modélisation des exigences du village indien par le graphe 134
Fig. III-4. Le format général des patterns d'*« A pattern language »*. 139
Fig. III-5. Le processus de conception proposé par « *The Nature of Order »* 147
Fig. III-6. Différenciation progressive de l'espace selon des séquences de décision selon Alexander 147
Fig. III-7. Le chapiteau byzantin ; l'exemple du phénomène « à la fois » 167
Fig. III-8. L'unité d'Habitation ; l'exemple du phénomène « double fonction » 167
Fig. III-9. Les livres les plus importants sur la théorie architecturale du XIIIème au XXème siècle 176
Fig. III-10. Carte synoptique des théories de l'architecture de 1900 à nos jours 177
Fig. IV-1- Les moyens de représentation utilisés par le Programme architecturale du projet de l'INSA. 183
Fig. IV-2. Le plan masse de l'INSA de Strasbourg. 184
Fig. IV-3. Trois scénarii pour localiser le nouveau bâtiment de l'INSA de Strasbourg 186
Fig. IV-4. Graphe PB-PS du programme du projet de l'INSA. 192
Fig. IV-5. La Poly-contradictions liée au problème clé du projet. 199
Fig. IV-6. Le choix de la contradiction à résoudre 200
Fig. V-1. La disparité de profession des répondants. 208
Fig. V-2. La répartition des répondants par tranche d'âge 208
Fig. V-3. L'expérience des répondants 209
Fig. V-4. Le sex-ratio des répondants 209
Fig. V-5. Le dessin fait par un des répondants. 211
Fig. V-6. L'évaluation de la présentation des objectifs, des contraintes et des solutions concernant la forme et la fonction. 216
Fig. V-7. L'évaluation de la présentation des objectifs, des contraintes et des solutions concernant le budget et le temps. 216
Fig. V-8. L'évaluation de la clarté de l'énoncé des problèmes 219
Fig. V-9. L'évaluation de l'exhaustivité de l'espace de problèmes 220
Fig. V-10. L'évaluation de la traçabilité des problèmes et des solutions. 222
Fig. V-11. L'évaluation de l'intégralité de l'espace de problèmes 224
Fig. V-12. L'évaluation de la capacité du Graphe comme support du processus de prise décision. 225
Fig. V-13. L'évaluation de la capacité du Graphe comme moyen de communication 227
Fig. V-14. L'impact de l'utilisation du Graphe PB-SP sur d'autres qualités du programme architectural 228
Fig. V-15. La situation existante de l'INSA de Strasbourg 231

Fig. V-16. Concept 1 232
Fig. V-17. La pertinence et l'intérêt du Concept 1 233
Fig. V-18. Concept 2 234
Fig. V-19. La pertinence et l'intérêt du concept 2 235
Fig. V-20. Concept 3 236
Fig. V-21. La pertinence et l'intérêt du concept 3 237
Fig. V-22. Concept 4 238
Fig. V-23. La pertinence et l'intérêt du concept 4 239
Fig. V-24. Concepts 5 et 6 240
Fig. V-25. La pertinence et l'intérêt des concepts 5 et 6 241
Fig. V-26. Concept 7 242
Fig. V-27. La pertinence et l'intérêt du concept 7 243
Fig. V-28. Concept 8 244
Fig. V-29. La pertinence et l'intérêt du concept 8 245
Fig. V-30. Concept 9 246
Fig. V-31. La pertinence et l'intérêt du concept 9 247
Fig. V-32. Concept 10 248
Fig. V-33. La pertinence et l'intérêt du concept 10 249
Fig. V-34. Le schéma et la moyenne de la pertinence des concepts 250
Fig. V-35. Le schéma et la moyenne de l'intérêt des concepts 250

Liste des annexes

Annexe I- La Loi MOP 281
Annexe II- 40 Principe Inventifs et la Matrice des contradictions techniques 293
Annexe III- 76 Standard Inventifs 304
Annexe IV- 11 Méthodes de Séparation 339
Annexe V- *The Pattern 52: Network of Path and Cars from "A pattern language"* 340
Annexe VI- *Information Index of Problem Seeking* 346
Annexe VII- Cinq Scenarii du projet Extension- Rénovation de l'INSA de Strasbourg 347
Annexe VIII- La liste complète des Problèmes et des Solution Partielles et leurs paramètres associés 352
Annexe IX- Le modèle d'intégralité des parties du système 380
Annexe X- Le cas d'école 382
Annexe XI- Le Questionnaire A 383
Annexe XII- Le Questionnaire B 392
Annexe XIII- Le groupe de discussion (*focus group*) 402
Annexe XIV- Le dépouillement du Questionnaire A 403
Annexe XV- L'interface d'« *Architectural Program: Parameters, Values, and Relationships* » 404
Annexe XVI- Le dépouillement du Questionnaire B 405
Annexe XVII- Certains concepts architecturaux analysés à l'aide des concepts de la TRIZ 406

Introduction

Pendant cinq dernières années, le centre d'intérêt du secteur de construction s'est déplacé de la durabilité vers l'innovation. Si, cette dernière a été considérée comme moyen d'atteindre les objectifs du développement durable, elle est devenue aujourd'hui un objectif en soi. D'un côté, les politiques et les maîtres d'ouvrage expriment de plus en plus la revendication de l'innovation, d'un autre côté, les industries de la construction, les maîtres d'œuvre et les bureaux d'études déclarent avoir développé des produits de plus en plus innovants. Dans ce contexte, la position de l'architecture, qui se réclame depuis toujours créative, est doublement paradoxale. Premièrement, les architectes savent depuis longtemps que l'innovation ne va pas de soi, et qu'elle exige de franchir la frontière du métier, mais la posture de l'architecte/artiste/auteur, dominante aussi bien dans la société que dans le milieu professionnel, pèse sur l'épaule des architectes et limite l'ouverture vers les autres disciplines techniques et scientifiques. Le deuxième paradoxe réside dans l'unicité de l'œuvre architecturale due à son contexte historique, géographique et socioculturel. Que signifie, en réalité, l'innovation dans une discipline comme architecture dont le produit est par définition unique ? En quoi consiste l'innovation architecturale ? Et comment peut-on innover?

La notion d'innovation est peu étudiée en architecture,((Emmitt, et al., 2009), (Rizal, et al., 2009)), à l'opposé des domaines du management et de l'ingénierie. Dans ces domaines, l'activité de conception possède une riche littérature scientifique portant sur les méthodes, techniques et modèles destinés à promouvoir l'innovation. Le concepteur est donc doté d'un large éventail d'outils qui l'accompagnent de la résolution de problème au management de l'innovation.

Mais, cet ensemble méthodologique de conception et d'innovation n'est guère étudié pour un usage architectural. D'un point de vue pratique, les causes peuvent être recherchées dans le fait que ces méthodes ne sont pas « bien adaptées à des professionnels dont les pratiques sont puissamment enracinées dans des traditions de projet plusieurs fois centenaires ». (Terrin, 2009, p. 111) En fait, il est difficile d'exploiter les méthodes et les modèles formalisés de la conception en ingénierie pour la conception architecturale qui échappe à la modélisation formelle ((Wade, 1977), (Boudon, 1971), (Prost, 1995), (Johannes, 1992a), (Guéna et al., 2012), (Claeys, 2013)) et qui mobilise à la fois des savoirs scientifiques et des connaissances tacites et non formalisées. Au-delà des difficultés pratiques, il y a une raison principale pour ce manque d'intérêt que l'architecture manifeste

à l'égard des méthodes élaborées hors de cette discipline : « l'architecture est concernée par l'habitabilité du monde. Elle a la capacité de dire sur ce sujet des choses qu'aucune autre discipline ne saurait dire…. En contraste avec le regard descriptif, analytique, critique, explicatif et/ou interprétatif des diverses disciplines scientifique, celui de l'architecture est diagnostique, car elle cherche à améliorer, ou du moins préserver, l'habitabilité du monde. » (Findeli & Coste, 2007, p. 144) Si c'est la question d'habiter au monde, avec tous les registres (symbolique, religieux, culturel, etc.) qui s'y impliquent, qui est au premier rang des préoccupations de la pensée architecturale, mais cette dernière est cependant aussi consciente que la technologie est une des forces qui forment non seulement l'architecture en tant qu'artefact, mais aussi cette pensée même. (Mitcham, 1994) De plus, d'un point de vu cognitif, il est possible d'examiner les méthodes de conception en ingénierie pour une un usage architectural. Ainsi, (Goel & Pirolli, 1992) montrent que les registres fondamentaux que la cognition du concepteur convoque pendant la conception (contraintes, solutions alternatives, la représentation) sont communs entre tous les domaines de conception, y compris l'architecture.

En architecture, l'innovation et l'invention ne sont pas conceptualisées[1] ; même leur pertinence pour désigner des nouveautés architecturales est controversée. Alors que pour Alexander, tout projet architectural qui réussit à établir une adéquation entre la forme, le contexte et l'activité qui y déroule est une invention (Alexander, 1971), pour Siza, « l'on invente pas en architecture, on transforme » (Siza, 2013). Cependant, l'histoire de l'architecture présente des changements radicaux et novateurs aussi bien dans la manière de penser l'architecture que dans le métier d'architecture, dans le processus de conception architecturale que dans ce qu'il produit : l'œuvre architecturale.

Parmi des éléments qui contribuent à l'invention architecturale, la représentation occupe une place particulière. Nous pouvons repérer des changements radicaux dans l'histoire de l'architecture à travers les évolutions des outils et des moyens de représentation architecturale : de la Renaissance avec les techniques de perspective de Brunelleschi, les techniques de dessin orthogonal de Raphaël, développés par Alberti (Kalay, 2004) aux

[1] Dans cette thèse ces deux termes sont aussi utilisés indistinctement. Mais l'innovation et l'invention ont des significations distinctes dans la littérature du management et des sciences pour l'ingénieur. Alors que l'innovation désigne le processus pendant lequel un produit ou un processus se développe et couvre la conception jusqu'au au marché, l'invention ne fait référence qu'au processus de la génération d'une nouvelle idée ou d'une nouvelle solution. (Joe Tid 2011)

siècles des Lumières avec les techniques de la stéréotomie ((Derand, 1743), (Mangeat, 2004)) et l'invention du métier d'ingénieur moderne (Picon, 1992), au XXème siècle avec les dessins des constructivistes et ceux des futuristes (Basbous, 2005), et, enfin, jusqu'à l'arrivé de l'informatique, les systèmes CAO, la modélisation numérique, la conception intégrative, etc. ((Guéna, 2008), (Kalay, 2004))

Dès le XVème siècle, l'invention des moyens de représentation entraine la division du travail et la spécialisation des tâches (Pelletier & Pérez-Gómez, 1994). Au début du XIXème siècle, la révolution industrielle, la bureaucratie des nouvelles institutions des État-nations, la typologie plus variée des espaces et la complexité des fonctions des bâtiments à créer ont suscité la préparation en amont de la conception du projet d'un document qui présente ses attentes, ses objectifs et ses exigences. (Kumlin, 1995). Ce phénomène s'est accentué au milieu du XXème siècle et a donné naissance à une activité connue sous nom « programmation architecturale ».

Le programme architectural est un point clé de la phase amont de conception où la programmation et la conception architecturale se chevauchent. Il est la « Sortie » de la phase de programmation et le résultat de la synthèse de toutes les informations collectées pendant cette phase. Il est également la première « Entrée » de la phase de conception architecturale et la base sur laquelle l'architecte commence à travailler.

Dans cette thèse, nous situons notre recherche au cœur de la question du programme architectural. En fait, entre des années 1970 et 2000, la représentation graphique comme vecteur principal des idées et des concepts a été la notion omniprésente dans la théorie de l'architecture et la théorie de la conception architecturale ; et la notion de programme constituait un « champ interdit » pour les architectes (Tschumi, 1996, p. 113). Cependant, plusieurs recherches ont souligné l'importance de la phase amont de conception pour la qualité et la performance architecturale du projet. ((Heinz & Overgaard, 2009), (Bogers et al., 2008), (Dahl et al., 2005), (O'Reilly, 1987)) Ainsi, la potentialité du programme architectural dans la conception des concepts et des solutions inventifs est reconnue et le rétablissement de l'agentivité du programme architectural est de plus en plus revendiqué.

Les travaux de cette thèse s'intéressent à l'agentivité potentielle du programme architectural pour concevoir des concepts et des solutions innovantes. Or, de la complexité de l'architecture et de sa démarche de conception résultent des contradictions objectives et des conflits cognitifs. (Badke-Schaub et al, 2010) Dans un premier temps, c'est le caractère

multidimensionnel de l'architecture qui est à l'origine des contradictions dans le propos d'un projet architectural. Les éléments que l'architecture doit satisfaire se trouvent sur un spectre s'étendant des aspects techniques à ceux de l'esthétique ; y compris des dimensions sociales, comportementales, environnementales, économiques, etc. Cette divergence peut se refléter dans des objectifs contradictoires pour lesquels la conception architecturale cherche à répondre par une organisation spatiale innovante des éléments physiques formant un objet bâti. Ce dernier doit également répondre à diverses exigences du contexte dans lequel il se situe, aux attentes variées des usagers, aux fonctions multiples, ainsi qu'aux contraintes technologiques, réglementaires, budgétaires, temporelles, etc. Une telle diversité dans les exigences et les contraintes peut aussi augmenter les contradictions objectives d'un projet architectural.

Dans un deuxième temps, c'est le processus collectif de conception architecturale qui peut se manifester comme étant à l'origine des contradictions. En effet, c'est un processus sollicitant la collaboration active de différents acteurs. Cette collaboration est de plus en plus revendiquée pour répondre à deux préoccupations. D'une part, la complexité des problèmes architecturaux augmente en raisons des nouveaux phénomènes technologiques et sociaux qui nécessitent d'intégrer de nouvelles compétences. D'autre part, les conséquences des rapports dévastateurs que la société moderne a établi entre l'Homme et son environnement mettent en évidence la nécessité d'un nouveau mode de pensée dans la conception des objets bâtis. Cette revendication signe un changement paradigmatique dans la perception de la conception architecturale et remet en question l'idée qui considère l'architecture comme une œuvre d'une démarche individuelle basée sur la capacité créative de l'architecte/auteur. Mais, le processus collectif de conception peut augmenter les contradictions, car ayant des connaissances et des compétences diverses, les parties prenantes appliquent différents modes de raisonnement et utilisent des moyens de représentation et des langages différents pour s'exprimer. L'antagonisme d'intérêts et la discordance entre les objectifs causent les confits cognitifs pouvant se présenter par des contradictions objectives. (*ibid.*)

Alors que la concertation entre les parties prenantes et le dépassement des conflits et des contradictions du projet font partie des enjeux principaux de la programmation architecturale, le manque de moyen de représentation des contradictions fait que même si une contradiction est observée ou exprimée implicitement, elle n'est pas présente dans le

document du programme et reste dans la mémoire du programmiste. De même, en absence d'un modèle précis pour exprimer explicitement les contradictions, le programmiste et l'architecte pour concevoir des solutions s'appuient soit sur leur créativité procédant par tâtonnement et par intuition, soit sur la hiérarchisation des priorités et/ou sur la négociation et le compromis ou la négligence. Farel souligne que si Le Corbusier a pu concilier les contraires et surmonter les contradictions, il « ne l'a pas théorisé véritablement ; il a plutôt tenté de le faire de façon intuitive » (Farel, 2008, p. 43), et Paul Rudolph dit qu'« on ne peut jamais résoudre tous les problèmes […], les architectes procèdent à une sélection rigoureuse des problèmes qu'ils choisissent de résoudre […]. Mies van der Rohe, par exemple, ne réalise de merveilleuses constructions que parce qu'il ignore délibérément beaucoup d'aspects de la construction. » (cité par (Venturi, 1971, p. 16))

Cependant, plusieurs architectes reconnaissent la contradiction, présente dans tout projet architectural, comme le noyau de création et la clé d'émerveillement du projet (*ibid.*), la source de l'invention (Tschumi, 1996, p. 197). Mais, la théorie de la conception architecturale n'a pas cherché à utiliser la notion de contradiction comme une stratégie conceptuelle pour guider la conception vers une solution innovante.

Cette thèse s'inscrit dans la problématique de représentation des contradictions dans la phase amont de la conception architecturale et le rôle que cette représentation pourrait avoir dans la stimulation de l'agentivité du programme architectural pour concevoir des concepts et solutions innovants.

Alors que la contribution éventuelle de la notion de contradiction reste jusqu'ici inexplorée en théorie de la programmation et de la conception architecturale, la Théorie de Résolution des Problèmes Inventifs (TRIZ) en refusant le compromis considère la contradiction comme centrale pour concevoir une solution innovante.

Cette thèse a pour ambition de contribuer aux recherches visant l'appropriation de parts de connaissances élaborées par la TRIZ dans le savoir architectural. Elle se développe donc en transversalité en examinant la possibilité d'utiliser la notion de contradiction au sens de la TRIZ, et son modèle de représentation dans les phases amont de la conception architecturale. L'objectif principal est d'évaluer les apports de ce concept à l'énoncé des problèmes et des contradictions du projet architectural. Si l'accent est mis sur cet objectif, l'évaluation des apports des techniques et outils de résolution de contradiction de la TRIZ en préconception architecturale constitue l'objectif secondaire de cette étude.

Le cadre méthodologique

Cette thèse s'inscrit dans les recherches sur la théorie de conception architecturale, qui se distingue de la théorie de l'architecture par le fait qu'elle porte sur le processus de conception. ((Boudon, 2004a), (Findeli, 1995)) Le cadre méthodologique de cette thèse correspond à celui de « recherche-projet », tel que défini par Alain Findeli dans ((Findeli, 2015), ((Findeli et al., 2008), (Findeli & Coste, 2007)). « Il s'agit d'un type de recherche 'actif', situé et engagé dans le champ d'un projet de design (d'où sa traduction anglaise : '*project-grounded research*'), le projet étant l'équivalent pour nous du "terrain" des sciences sociales et du "laboratoire" de la recherche expérimentale. » Dans le cas où la discipline de recherche est l'architecture, un travail de « recherche-projet », pour qu'elle soit à la fois recevable au plan scientifique et féconde pour les praticiens du design et les usagers, devrait « concevoir un protocole de recherche dans le volet empirique duquel le projet d'architecture occupe une place centrale. La fécondité de la recherche pour la pratique découle de la posture pragmatique adaptée ». Une telle recherche a à la fois le souci de la crédibilité de la recherche et de la « fécondité de sa contribution à l'intelligibilité du monde dans lequel nous vivons ».

Positionnement dans l'activité du Laboratoire de Génie de Conception (LGéCo)

Le LGéCo est caractérisé par son approche pluridisciplinaire dans les recherches sur la théorie de conception et de l'invention. Il est connu pour ses travaux sur les méthodes de conception inventive, plus particulièrement pour les contributions qu'il a apportées depuis quinze ans à la théorie de la TRIZ. Les activités de recherches du LGéCo s'étalent sur quatre thèmes principaux : Innovation, Modélisation, Optimisation et Ingénierie.

Le thème Invention couvre les premières phases de conception où les idées sont générées, ainsi que l'apport des techniques et des outils de la théorie de la TRIZ dans la génération des idées. Et le deuxième thème s'adresse à la modélisation des produits et des systèmes. Notre thèse s'inscrit sur ces deux premiers thèmes. (Fig. Intro. 1) Elle tente d'examiner les apports du modèle de contradiction au sens de la TRIZ à la phase amont de la conception architecturale, ainsi que la capacité des techniques et des outils de la TRIZ à produire les concepts architecturaux. Pour ce faire, nous utilisons les techniques de l'analyse de la situation initiale, plus particulièrement le Graphe de Problème - Solution Partielles, pour modéliser le programme architectural d'un projet réel.

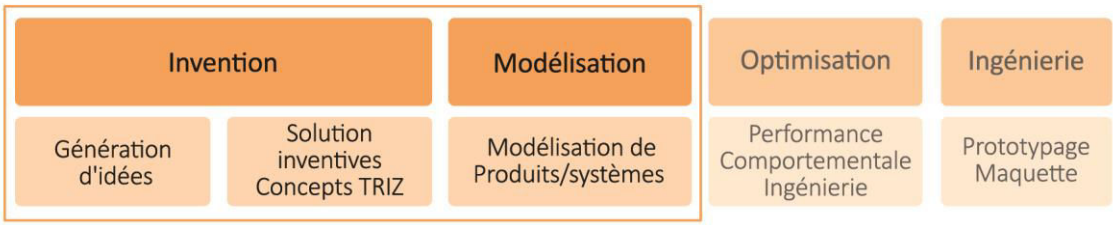


Fig. Intro.1. La position de notre recherche sur les axes d'activités du Laboratoire de Génie de Conception (LGéCo)

Structure de la thèse

Cette thèse est structurée en deux parties comprenant cinq chapitres. La première partie rapporte, en trois chapitres, l'étude bibliographique, et la deuxième partie présente, en deux chapitres, l'étude empirique effectuée dans le cadre de cette thèse.

La « Première partie : Étude bibliographique », a pour mission de poser le cadre conceptuel de la thèse. En étudiant les fondements théoriques des champs d'investigation liés à l'usage architectural de la TRIZ, elle vise à préciser le sujet de la thèse et à définir ses questions. Ainsi, cette partie permet d'établir l'état de l'art de la programmation architecturale et une synthèse de la TRIZ, dont le fil directeur est la notion de contradiction. Cette étude bibliographique est constituée de trois chapitres. Chapitre I- La question de la programmation architecturale, Chapitre II- La TRIZ, et Chapitre III- La quête de l'insaisissable et La question de contradiction en architecture.

Le Chapitre I aborde « La question de la programmation architecturale ». Il consiste en deux sections : « La programmation architecturale dans le contexte français », et « La question des méthodes de programmation architecturale ».

Dans la première section, « La Programmation architecturale dans le contexte français », nous proposons une lecture contextuelle de l'activité de programmation architecturale. Nous étudions ses aspects réglementaires et pratiques professionnelles. L'objectif est de connaître les problématiques liées à cette activité et d'identifier ses enjeux et la manière dont elle est appréhendée par les parties prenantes du processus de conception dans un projet architectural. Cette étude permet de formuler les questions de la recherche autour du thème de « contradiction en phase amont de conception », de positionner nos travaux sur l'axe d'innovation, et d'identifier des critères d'évaluation d'un modèle du programme

architectural. La deuxième section du chapitre I aborde « La question des méthodes de programmation architecturale ». L'objectif est de connaître la place de la notion de contradiction dans la littérature scientifique de programmation architecturale. Cette section présente ce qui est un programme architectural, la relation de programmation et de conception architecturale, les modèles et les stratégies de programmation. En présentant une synthèse des concepts utilisés dans les méthodes de programmations, elle permet de conclure que la notion de contradiction n'est évoquée qu'implicitement par des modèles de programmation, et qu'aucun de ces modèles ne propose la contradiction comme une stratégie pour la collecte et le traitement d'informations du programme architectural. La conclusion du Chapitre I nous permet de définir proprement notre problématique, à la fois en terme scientifique et professionnelle de programmation architecturale. Ainsi, le programme architectural, en tant que point clé de la phase amont de conception où la programmation et la conception architecturale se chevauchent, constitue le domaine de cette thèse.

Le Chapitre II aborde la théorie de « La TRIZ ». Il est constitué de deux sections. L'objet de la première section, « La TRIZ, sa genèse et ses développements », est une représentation de cette théorie. Nous profitons de cette occasion pour expliquer les concepts de base de la TRIZ et répondre à certaines mécompréhensions qui se sont formées autour d'elle. La genèse de la TRIZ, ses postulats et ses fondements théoriques, ainsi que ses techniques et outils sont présentés. De plus, cette section présente le développement post-Altshuller de la TRIZ, notamment la théorie de conception inventive (IDM) qui est appliquée dans l'étude empirique de cette thèse. Cette section se focalise sur l'intérêt de la démarche convergente qu'IDM préconise, reposant sur la construction de l'espace de problèmes qui contient simultanément les problèmes et les solutions. La seconde section, « L'exploration de l'applicabilité de la théorie TRIZ en architecture – une synthèse », est dévouée à la présentation de l'état de l'art des tentatives concernant l'utilisation architecturale de la TRIZ. Elle présente une synthèse de 27 publications rapportant les résultats de cette utilisation. La conclusion de cette section montre que ces recherches ont principalement utilisé la TRIZ classique ; de même, aucune d'entre elles n'a appliqué la TRIZ à la programmation architecturale. Le Chapitre II conclut que la phase de programmation architecturale constitue un nouveau champ d'exploration pour examiner les apports possibles de nouveaux développements de la TRIZ.

Le Chapitre III porte sur « La quête de l'insaisissable et La question de contradiction en architecture », et permet de préciser ces deux notions fondamentales de la TRIZ dans la théorie de l'architecture. Il est constitué de deux sections. La première, « Une boîte noire à briller - Christopher W. Alexander » fait allusion aux travaux de Christopher Alexander dans la théorie de conception et nous démontrons qu'il existe une similarité considérable entre sa pensée et celle d'Altshuller. L'utilisation du graphe, les patterns de problèmes-solutions, et les propriétés géométriques génériques identifiées par Alexander sont étudiés dans cette section. La deuxième section du Chapitre III, « Trancher la Contradiction », présente une typologie de la signification de contradiction en architecture. De plus, nous explorons la théorie de Robert Venturi concernant la complexité et la contradiction architecturale. Cette section a pour objectif de clarifier notre compréhension de la notion de contradiction. La conclusion du Chapitre III nous permet d'établir une analyse comparative entre Altshuller, Alexander et Venturi. De plus, ce croisement des idées permet à la fois de présenter l'usage précédent du graphe et de la contradiction en architecture, et de montrer en quoi l'approche TRIZ se différencie et comment elle répond aux critiques de tels usages. Nous précisons également la contribution attendue de la thèse.

La « Deuxième Partie : Étude empirique », présente une expérimentation que nous avons pu mener pour examiner la contribution de la TRIZ au programme architectural d'un projet réel. Elle est structurée en deux chapitres.

Le Chapitre IV est une représentation détaillée de « L'application d'IDM-TRIZ au Programme Architectural ». Il rapporte deux résultats principaux de cette application. Le premier résultat concerne le programme architectural d'un projet réel modélisé par le graphe de Problèmes et de Solution partielles. Le deuxième résultat consiste en neuf concepts de solution pour répondre à la contradiction clé identifiée par le biais du graphe de Problèmes et de Solution partielles. Ils sont conçus en utilisant le processus de résolution de problème de la TRIZ.

Le dernier chapitre, « Chapitre V », est consacré à « L'évaluation » effectuée par un groupe des architectes de notre cas d'application. Dans un premier temps, l'évaluation du programme modélisé sous forme de graphe est présentée et analysée en termes des critères définis dans le Chapitre I. Dans un deuxième temps, l'évaluation des dix concepts de solution est présentée.

En fin, la Conclusion de la thèse permet une discussion sur la contribution de la thèse et sur les incidences de la théorie TRIZ sur le programme architectural. Nous en présentons également les limites de cette théorie, ainsi que les perspectives de recherche qui nous semblent les plus significatives.

.

Première partie :
Étude bibliographique

Chapitre I La question de la programmation architecturale

Ch. I.1. La Programmation architecturale dans le contexte français

Cette section porte sur l'activité de programmation architecturale[1] en France. L'objectif est d'identifier les problématiques professionnelles liées à cette activité afin de positionner la contribution de la thèse présente. Pour ce faire, dans un premier temps, nous présentons les aspects réglementaires et professionnels de la programmation architecturale, ainsi que la place que le programme architectural occupe dans le déroulement du projet de construction. Dans un deuxième temps, nous exploitons les résultats d'une enquête menée par le Réseau Activités et Métiers de l'Architecture et de l'Urbanisme (RAMAU) pour identifier les enjeux de la programmation architecturale. Nous essayons également de connaître la manière dont le programme architectural est appréhendé par la maîtrise d'ouvrage et par la maîtrise d'œuvre. Cette synthèse nous permet à la fois de cibler l'axe « problématique professionnel » et de définir des critères pour évaluer la contribution de cette thèse.

[1] Il est à noter que cette thèse se focalise sur la programmation architecturale. Malgré l'étroite parenté de cette discipline avec la programmation/planification urbaine et aménagement territorial, ces deux dernières sont hors du champ d'investigation de cette recherche.

La programmation architecturale dans le contexte français relève une antinomie. D'une part, elle est connue comme « une spécificité française » (Allegret et al., 2005) soutenue par une obligation réglementaire posée par la loi française no° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée (la loi MOP). D'autre part, elle n'est pas encore reconnue juridiquement en tant que profession à part entière. Par ailleurs, restant essentiellement normative, la programmation architecturale n'est pas enseignée par une formation académique spécifique (sauf comme des modules dans quelques formations en urbanisme). Elle n'est placée ni au cœur de la formation d'architecture ni dans les recherches académiques établies dans ce domaine.

La tradition de concours d'architecture en France a été considérée comme le commencement de la préparation du programme. (Kumlin, 1995) reconnaît le programme arrêté pour le projet de l'Opéra Garnier de Paris (1861-1874) comme un des premiers documents représentant le programme architectural. Nous pouvons aussi identifier les premières tentatives pour la théorisation de la programmation architecturale chez les architectes français du XIXème siècle, notamment chez Viollet-le-Duc. Cependant, (Allegret et al., 2005) soulignent que le terme « programmation », jusqu'à la milieu de XXème siècle, était rarement employé pour désigner le fait d'élaborer systématiquement un document représentant les objectifs et les attentes du projet. En fait, c'est à partir des années 1960 et durant la construction des Habitations à Loyer Modéré (HLM) que cette activité a connu de l'ampleur et s'est présenté comme un nouveau mode d'action en urbanisme et en architecture ayant pour la mission d'« établir le problème grâce à un diagnostic, fixer des objectifs et déterminer les moyens de les atteindre ». (*ibid*. p.20)

(Bousbaci, 2002) identifie les racines idéologiques d'une telle promotion dans le cadre du mouvement d'architecture moderne et ses promesses : la rationalisation, la normalisation et le fonctionnalisme. Pour Zetlaoui-Léger, trois phénomènes principaux ont contribué à l'émergence de la formation de l'activité de programmation. « Le premier est lié à une démarche de rationalisation des processus de production de l'espace d'un point de vue techno-administratif d'une part et décisionnel d'autre part. » (Zetlaoui-Léger, 2009c, p. 89) Ce phénomène est renforcé, à partir des années soixante, par le besoin et la volonté d'améliorer l'articulation entre l'aménagement urbain local et les enjeux économiques nationaux. Le deuxième phénomène se manifeste à travers la réforme de l'ingénierie publique des années 1970-1990 qui a généralisé le principe du concours pour promouvoir

la qualité architecturale. Dans le cadre de cette réforme, la loi MOP, en définissant le maître d'ouvrage comme une nouvelle figure juridique dans le processus de la construction du cadre bâti, cherche à « mieux préparer la définition de la commande et [à] mettre en concurrence les maîtres d'œuvre ». (Zetlaoui-Léger, 2009a, p. 153) Le troisième phénomène a un effet inverse sur la profession de programmation. Il s'agit de la décentralisation, de la libéralisation et du retrait de l'État du secteur de l'aménagement à partir du début des années 1990 ; ce qui entraîne « la quasi-absence de renouvèlement de la génération des programmateurs urbains non architectes qui avait émergé dans les années soixante et soixante-dix ». (Zetlaoui-Léger, 2009c, p. 90)

I.1.1. Les aspects réglementaires

Pour le marché public, la loi MOP (voir Annexe I) explique la relation entre la maîtrise d'ouvrage publique et la maîtrise d'œuvre privée. Par cette loi, la programmation prend une dimension procédurale, sans être véritablement définie en détails. Elle responsabilise juridiquement le maître d'ouvrage sur les résultats attendus du projet, l'opportunité de l'opération, sa faisabilité spatiale et temporelle, ainsi que le coût objectif et l'enveloppe financière. Ainsi, la loi MOP présente clairement le programme comme « le lieu où commence le cheminement de la qualité » (Zetlaoui-Léger, 2009a, p. 155) par lequel la maîtrise d'ouvrage doit enrichir les attendus relatifs du projet. Elle exige que le maître d'ouvrage prenne un rôle dynamique et qualitatif dans la préparation du programme qui doit définir « les objectifs de l'opération et les besoins qu'elle doit satisfaire, ainsi que les contraintes et exigences de qualité sociale, urbanistique, architecturale, fonctionnelle, technique et économique, d'insertion dans le paysage et de protection de l'environnement, relatives à la réalisation et à l'utilisation de l'ouvrage. » ("la Loi MOP," n.d.) Le maître d'ouvrage peut confier l'élaboration du programme à un mandataire. Cette loi définit également les missions de maîtrise d'œuvre, chargée d'apporter une réponse architecturale, technique et économique au programme, comme les suivantes :

1. Les études d'esquisse ;
2. Les études d'avant-projet ;
3. Les études de projet ;
4. L'assistance apportée au maître d'ouvrage pour la passation du contrat de travaux ;

5. Les études d'exécution ou l'examen de la conformité au projet et le visa de celles qui ont été faites par l'entrepreneur ;
6. La direction de l'exécution du contrat de travaux ;
7. L'ordonnancement, le pilotage et la coordination du chantier ;
8. L'assistance apportée au maître d'ouvrage lors des opérations de réception et pendant la période de garantie de parfait achèvement.

Ainsi, cette loi qui avait pour objectif de promouvoir la qualité architecturale établit une distinction nette entre la programmation et la conception architecturale. De cette accentuation de la division technique du travail dans la production architecturale résultent deux effets. Premièrement, une revendication identitaire de la part des professionnels qui préparent le document du programme ; deuxièmement, un manque d'intérêt à l'égard de la programmation chez les professionnels qui accomplissent la mission de la maîtrise d'œuvre. (Zetlaoui-Léger, 2009b) souligne que cette rupture s'est reflété aussi sur le corpus académique des écoles d'architecture.

I.1.1.1. Le déroulement de la procédure du projet de construction

L'ensemble des documents officiels produits par l'Ordre des architectes et par le Syndicat des Programmistes en Architecture et en Aménagement, en s'appuyant sur la loi MOP distingue quatre phases pour le projet de construction avant la réception et la mise en service du bâtiment. Elles sont les suivantes : le montage de l'opération, la programmation, la conception architecturale, et les travaux de construction. La Fig. I-1 présente l'approche de la loi MOP, les phases du projet de construction et la démarche de programmation, décrit par le Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement. La Fig. I-2 présente le processus simplifié du déroulement d'une étude programmation.

Malgré la distinction faite par la loi MOP, les architectes et les programmistes savent que la programmation ne s'arrête pas au moment où le programme est défini. Les deux figures montrent comment la phase d'Étude opérationnelle et la phase d'Étude de conception se chevauchent et que le programme se situe à cette charnière. Comme la Fig. I-1 le montre, la démarche de la programmation s'étale au moins jusqu'à la phase d'Avant-projet définitif. La continuité de la démarche de la création architecturale nécessite plusieurs modifications du programme. La maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre ont souvent

besoin d'évaluer les différents scénarii conçus pour le projet, et par conséquent de rééditer le programme. Ce dernier constitue le sujet de notre recherche.

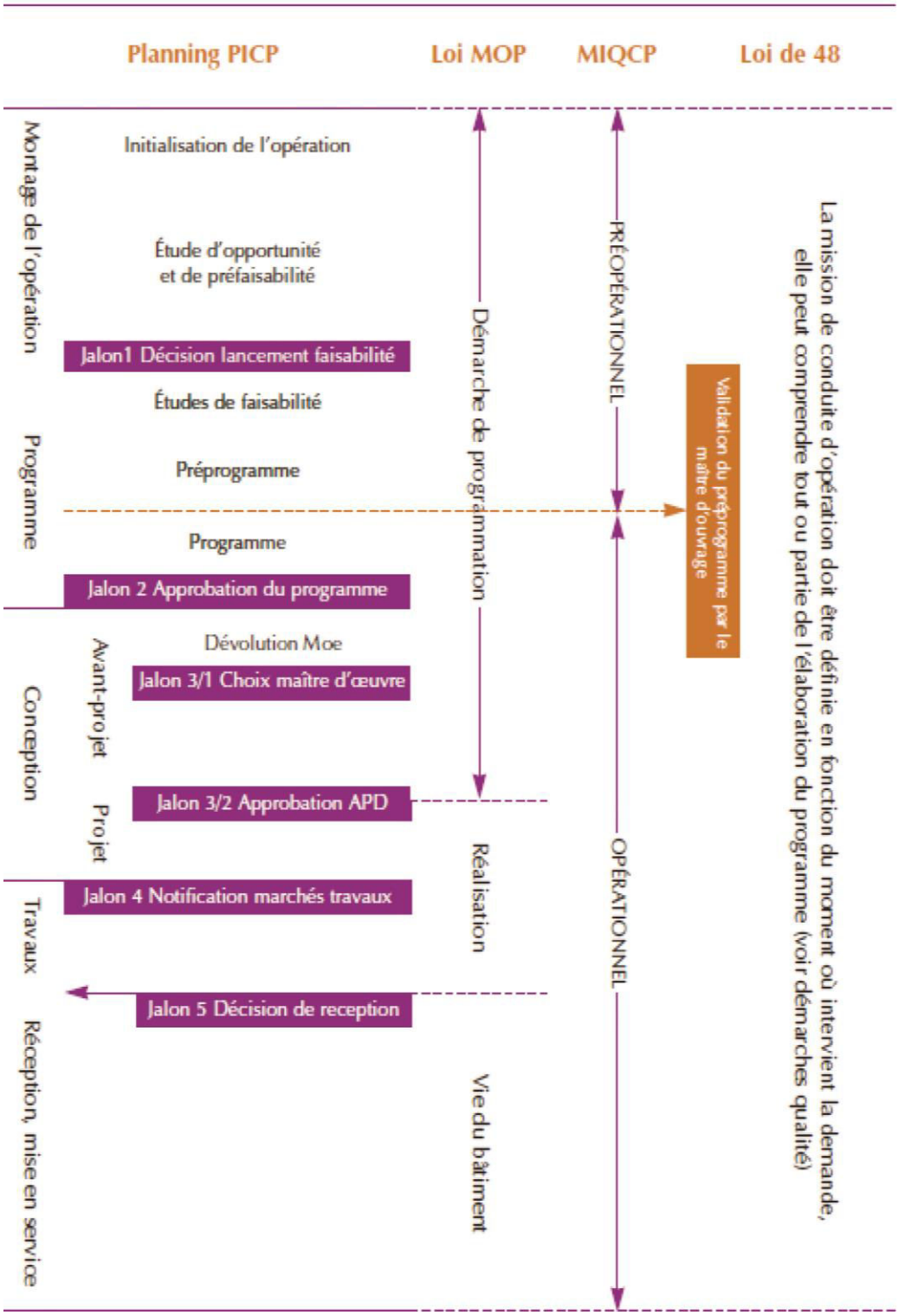


Fig. I-1. L'approche de la loi MOP : les phases du projet de construction et la démarche de programmation. (DGUHC, 2000)

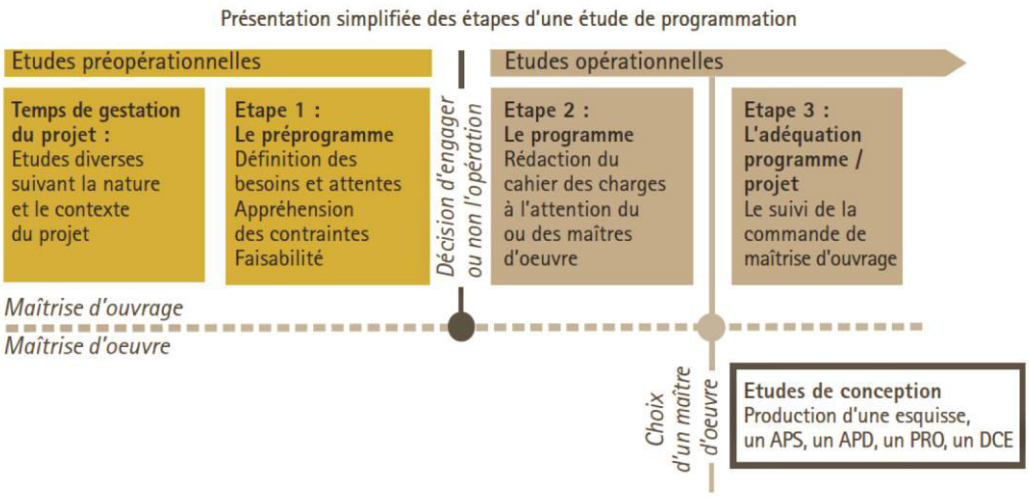


Fig. I-2. Le processus simplifié du déroulement d'une étude de programmation. (Bonnevide & Guillieux, 2008)

I.1.1.2. Le contenu du programme architectural

Le Guide de la commande publique de maîtrise d'œuvre[1] édité par l'Ordre des Architectes, basé sur la loi MOP et sur le Code des marchés publics mise à jour du 31 mars 2014, définit le document qui doit comporter au moins les éléments suivants pour être un « bon programme ».

- Les données et les contraintes du site (environnement urbain ou naturel), du terrain (dont les relevés et l'étude de reconnaissance des sols) ou des existants (dont les diagnostics), des réglementations (urbanistiques, techniques, etc.), des servitudes (publiques ou privées), etc.
- Les attentes d'ordre culturel, social, urbanistique et esthétique (valeur symbolique, image attendue de l'équipement, insertion dans la ville, le quartier), et d'ordre technique et environnemental.
- Les besoins exprimés sous forme quantifiée (inventaire et typologie des espaces, équipements, performances, etc.).
- Les besoins exprimés en terme de fonctionnalité (relations et liaisons hiérarchisées, ergonomie, etc.) et de confort (hygiène, ambiance, air, lumière, bruit, etc.).
- Les exigences techniques, sociales ou environnementales particulières.

[1] Ce document est préparé par un comité de rédaction composé des instances officielles comme le Conseil national de l'ordre des architectes, la MIQCP, La Direction générale des Patrimoines - Service de l'architecture, parmi d'autres partenaires.

- Les exigences concernant les délais et phasages de l'opération, les coûts d'investissement, la maîtrise des dépenses d'exploitation et d'entretien (voire de déconstruction), etc.
- L'annonce de la part de l'enveloppe financière affectée aux travaux que le maître d'ouvrage peut consacrer à cette réalisation.

I.1.2. Les pratiques professionnelles

Ce paragraphe explore les aspects pratiques de programmation architecturale en France. Il s'appuie sur une recherche menée par le RAMAU, dans le cadre du Plan Urbanisme, Construction et Architecture, pour répondre aux interrogations touchant à la professionnalisation de l'activité de programmation. Il s'agit d'une enquête sur les caractéristiques des structures et des individus déclarant avoir exercé cette activité ou les pratiques associées en tant que maîtrise d'ouvrage ou programmiste. L'enquête a été dirigée par Jacques Allegret, Nathalie Mercier et Jodelle Zetlaoui-Leger qui publient un rapport en 2005 intitulé « L'exercice de la programmation architecturale et urbaine en France - État de la construction et de la spécification des savoirs et savoir-faire des professionnels de la programmation » (Allegret et al., 2005)

I.1.2.1. Le statut de Programmiste

Depuis des années 1980, les professionnels exerçant la programmation tentent de créer une instance visant l'identification, la protection et la reconnaissance de la programmation comme un métier spécial. Aujourd'hui, le Syndicat des programmistes en architecture et en aménagement (SYPAA) compte une centaine d'adhérents. Son champ d'action porte majoritairement sur la programmation architecturale et se distingue de la programmation territoriale. Cependant, le processus de l'autonomisation de la fonction de programmation et la responsabilisation juridique pour reconnaissance de cette activité comme prestation spécifique du métier n'a toujours pas abouti. Si la démographie des professionnels exerçant la programmation est hétérogène, sa place dans le système de classification professionnelle officielle n'est pas visible.

Le rapport RAMAU indique que les individus travaillant dans l'activité de l'élaboration du programme s'installent majoritairement dans les bureaux d'études en urbanisme de

caractère public ; désignés comme « programmeurs », « programmateurs », ou « programmistes ». Cependant, même après l'adaptation de ce dernier par le SYPAA comme la dénomination unique des individus exerçant ce métier, ils se considèrent avant tout comme des « urbanistes ».

(Zetlaoui-Léger, 2009c) souligne que la formation de programmation se fait principalement par expérience en autodidacte ou sur le terrain auprès de professionnels de la programmation. D'après l'enquête RAMAU, seulement 30% des professionnels exerçant cette activité ont suivi un stage d'initiation ou ont obtenu un diplôme spécifique en programmation. Le rapport des formations en programmation architecturale et urbaine publié par le SYPAA en 2014 (SYPAA, n.d.) montre qu'à l'exception d'un master en urbanisme proposant une seconde année de spécialisation en programmation architecturale et urbaine, les cinq autres formations initiales portent uniquement sur la sensibilisation à la programmation. Cependant, (Zetlaoui-Léger, 2009c) mentionne que la montée du marché de programmation a sollicité la création des dispositifs d'enseignement de programmation dans le cadre de formation continue au sein des écoles d'architecture. Mais ces formations sont de courte durée et destinées aux architectes en quête de nouveaux marchés ou de reconversion professionnelle.

Autrement dit, la programmation architecturale a une place relativement marginale dans l'éducation de l'architecture, malgré le fait que la pratique de cette activité est largement assurée par les architectes de formation (Allegret et al., 2005). Ce qui fait que l'émergence de cette pratique n'est pas accompagnée par une réflexion théorique et méthodologique sur la façon de conduire de l'activité. (Zetlaoui-Léger, 2009c) Notre propre expérience nous a aussi permis de constater que même si les étudiants d'architecture commencent assez tôt à travailler avec le programme, ils ne le qualifient pas comme un outil essentiel du développement de projet, ni comme un élément responsable de sa qualité architecturale. Par conséquent, comme (Prince-Ramus, 2006) le souligne, l'agentivité du programme est largement négligée.

I.1.2.2. Les méthodes appliquées

L'enquête RAMAU montre que la démarche appliquée par les professionnels a « une forte valeur heuristique». Alors que la méthode du travail est le deuxième critère[1] des maîtres d'ouvrage pour choisir un prestataire en programmation, les programmistes répondants à l'enquête déclarent n'avoir appliqué aucune méthode précise pour élaborer le programme. Les références utilisées sont majoritairement des ouvrages méthodologiques généraux en programmation comme les guides et les références locales ou nationales (MIQCP, etc.) et les périodiques professionnels (le Moniteur, etc.). Seulement 4.3% des répondants consultent des méthodes scientifiques.

Cependant, les difficultés relatives à l'incompétence méthodologique sont ressenties comme relativement faibles. Seulement 16.4% des maîtres d'ouvrage et 0.2% des programmistes ont rapporté des difficultés de cette nature. Toutefois, si les professionnels n'utilisent pas de méthodes précises, il semble que leurs programmes sont homogènes sur le contenu qui correspond plus ou moins à la loi MOP.

En ce qui concerne les outils d'assistance du processus de programmation, l'enquête RAMAU montre que les professionnels utilisent essentiellement des outils bureaucratiques ordinaires, tels que Word, Excel, etc. Ce manque de supports actifs constitue un des axes principaux des recherches contemporaines sur la programmation. ((Mauger & Kubicki, 2013), (Ozkaya & Akin, 2007), (Ozkaya & Akin, 2006), (Ö. Akin, Sen, Donia, & Zhang, 1995a))

I.1.2.3. La question de conflits et de contradiction dans le programme

L'enquête RAMAU part d'une hypothèse selon laquelle les savoirs et savoir-faire mobilisés dans les pratiques de programmation et dans ses représentations associées sont principalement organisés autour de deux logiques non exclusives : l'une « techniciste », assimilant la programmation à la collecte et au traitement d'informations en vue de leur formalisation dans un cahier des charges destiné au maître d'œuvre ; l'autre « managériale », en faisant référence à l'idée que les logiques d'actions se déterminent à partir de l'expression d'enjeux et d'objectifs souvent contradictoires portés par différents

[1] Le premier critère est la notoriété dans le domaine spécialisé.

acteurs. Cette logique a pour objectif l'identification et la résolution de problèmes considérés comme non définis *a priori*, se construisant au cours d'échanges et de négociations entre acteurs tout au long du processus de projet.

Dans cette perspective, l'enquête RAMAU montre que « faire s'exprimer puis dépasser les conflits » est identifiée comme un des enjeux de la programmation aussi bien pour la maîtrise d'ouvrage que pour la maîtrise d'œuvre. De même, pour eux, « savoir prévenir ou gérer les conflits ou avis contradictoires » constitue une des qualités principales dont doit faire preuve un professionnel de la programmation. Autrement dit, un programmiste est censé de résoudre les conflits et les contradictions du projet.

Dans ce contexte, alors que 2.8% des maîtres d'ouvrage des participants à l'enquête RAMAU reportent la « difficulté de concertation et de médiation entre les acteurs » ; et plus de 10% des programmistes reconnaissent le « système d'acteurs complexes et conflictuels ; y compris concilier des intérêts et enjeux divers » comme une des principales difficultés rencontrées lors de leurs missions.

Cela met en évidence la nécessité du développement de moyens et de techniques pouvant assister le programmiste dans l'identification et la résolution des conflits et contradictions.

I.1.2.4. L'appréhension du programme architectural

Le regard des professionnels sur ce qu'est un programme architectural varie selon leur expérience et leur statut. Chez les professionnels du domaine de la production du cadre bâti, le terme programme correspond aux « descriptions des actions, les détails de ce qui va être organisé, la fonction générale de l'équipement à réaliser et un texte donnant des instructions pour cette réalisation ». (Allegret et al., 2005) De plus, le programme peut être considéré comme une étude stratégique, un cahier de charges centré sur les dimensions financières et/ou managériales du projet et même sur la conduite d'opération. (Allegret et al., 2005) identifient deux compréhensions du métier chez les professionnels. La première considère la profession comme une « expertise spécialisée » caractérisée par une série d'études qui se font après la définition de grands objectifs du projet par la maîtrise d'ouvrage et qui se terminent avant l'intervention de la maîtrise d'œuvre. Pour la deuxième compréhension, la programmation est un processus d'aide à la décision. Elle doit identifier les stratégies qui se situent en amont de la phase de conception, elle commence dès la phase de définition d'un projet et se poursuit tout au long du processus de projet.

Cette divergence se manifeste aussi dans l'appréhension du programme architectural. De même, ce dernier est appréhendé différemment par les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre. La synthèse des données du rapport RAMAU montre que les préconisations programmatiques sont le plus souvent appréhendées comme :

- le moyen de préciser les intentions et les besoins de la maîtrise d'ouvrage ;
- le document contractuel ;
- une condition essentielle à la réussite d'un projet ;
- une obligation juridique ;
- un support d'invention ;
- un ensemble de contraintes brimant l'invention et la créativité.

Nous avons utilisé des données de l'enquête RAMAU pour préparer Fig. I-3 qui démontre le point de vue de la maîtrise d'ouvrage et celui de la maîtrise d'œuvre par rapport à ces éléments.

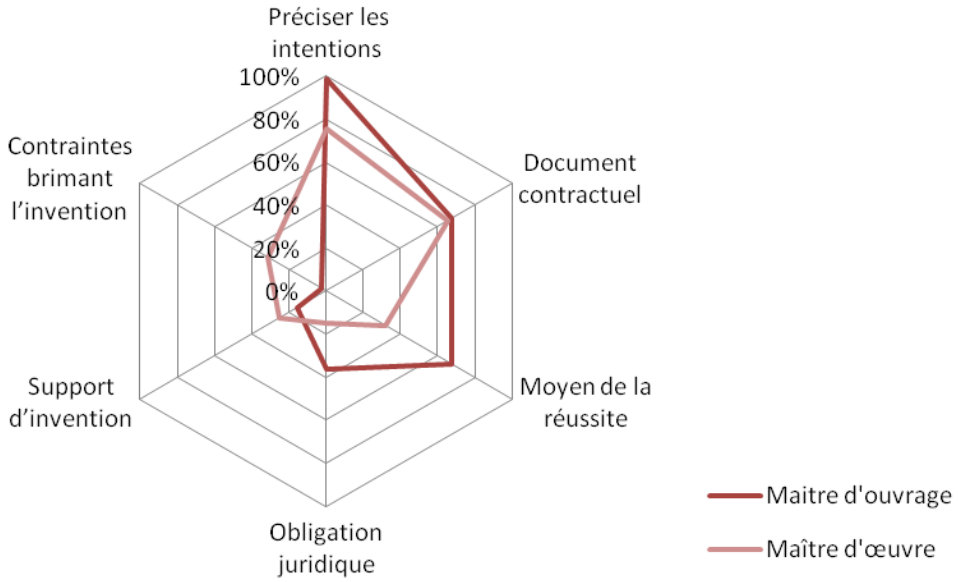


Fig. I-3. L'appréhension du programme par la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. D'après la synthèse sur l'enquête RAMAU (2005).

Nous pouvons constater que si la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre ont une appréhension similaire sur la nature synthétique du programme et sur son caractère contractuel, leurs avis divergent sur les deux axes qui concernent le rapport du programme à l'innovation et le programme comme le moyen de réussite du projet. Alors que pour 67% des maîtres d'ouvrage, le programme est un moyen essentiel pour la réussite, seulement

32% des maîtres d'œuvre partagent cet avis. Cela montre un manque d'estimation de l'agentivité potentielle du programme chez les architectes.

En ce qui concerne la contribution potentielle du programme à la génération des solutions innovantes, 16% des maîtres d'ouvrage reconnaissent le programme comme un support d'invention, contre 8% des maîtres d'œuvre. La différence de leurs avis sur l'axe concernant les contraintes présentées par le programme est encore plus révélatrice. Pour 2% des maîtres d'ouvrage, les contraintes du projet ne posent pas d'obstacle pour l'invention, mais plus de 30% des maîtres d'œuvre pensent qu'elles briment l'invention.

Cette thèse se focalise sur la potentielle agentivité du programme architectural dans la génération des solutions innovantes.

I.1.2.5. Les principaux enjeux de la programmation

Pour identifier les principaux enjeux de la programmation architecturale, les chercheurs de l'enquête RAMAU ont demandé aux répondants d'indiquer les éléments dont ils considèrent comme étant enjeux de la programmation. Les chercheurs ont fait ensuite une synthèse des réponses en fonction des notions indiquées. En résumé, les enjeux principaux identifiés par cette synthèse sont les suivants.

1. Assister le maître d'ouvrage dans le processus de prise de décision ; d'aide au choix.

   Y compris la clarification des objectifs et des besoins, ainsi que la compréhension des enjeux du projet.
2. Assister le maître d'ouvrage dans l'accomplissement des objectifs.

   Y compris la proposition des solutions pertinentes et innovantes compte tenu des enjeux et des contraintes.
3. Assurer une maîtrise technique et financière de l'opération.
4. Préparer l'activité de maîtrise d'œuvre.

   Y compris l'adéquation du programme/projet ; la synthèse des attentes.
5. Garantir la qualité et la pérennité de fonctionnement du projet réalisé.

   Y compris ceux relatifs au développement durable.
6. Garantir la qualité du projet final.

   Y compris l'évaluation du projet conçu, la traçabilité des solutions et des problèmes, et la satisfaction des utilisateurs ou des usagers.

7. Garantir le respect des réglementations et des références contractuelles.
8. Favoriser la concertation entre les parties prenantes du projet.

   Y compris faciliter la communication entre les acteurs, les faire s'exprimer et puis dépasser les conflits.

Nous avons exploité des données de l'enquête RAMAU pour préparer la Fig. I-4 qui démontre la perception des maîtres d'ouvrage et celle des maîtres d'œuvre des enjeux de la programmation architecturale. Nous pouvons constater qu'ils ont des visions plus ou moins homogènes par rapport aux enjeux de cette activité.

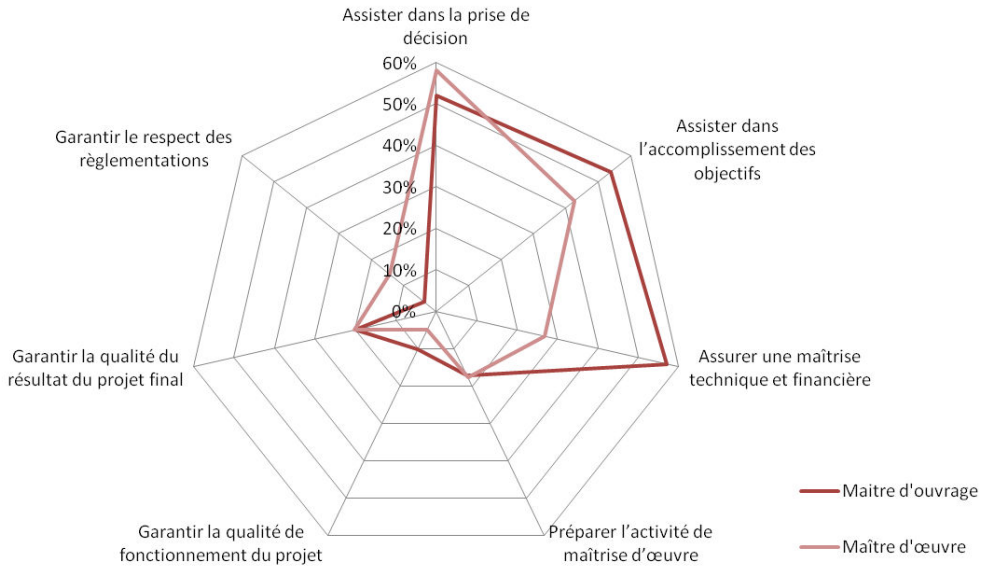


Fig. I-4. Enjeux de la Programmation architecturale pour la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. D'après la synthèse sur l'enquête RAMAU (2006).

I.1.3. La Conclusion

L'étude du contexte français avait pour objectif d'identifier des problématiques de l'activité de programmation architecturale afin de positionner notre contribution. Elle montre que malgré le soutien réglementaire et malgré une riche tradition professionnelle et des savoir-faire reconnus, la programmation architecturale n'est pas encore considérée comme un moyen de réussite du projet. De ce fait, sans doute, la recherche méthodologique sur le programme architectural et son agentivité éventuelle pour concevoir des concepts et solutions innovants n'est pas encore développée.

De même, les démarches courantes de programmation ne proposent aucun modèle pour exprimer explicitement les conflits et les contradictions entre des objectifs, intérêts et cognitions des parties prenantes du projet architectural. Par conséquent, même si une contradiction est observée ou exprimée implicitement pendant la programmation, elle ne peut pas être présentée dans le document du programme, alors que « les lacunes du programme constituent potentiellement des failles pour le bâtiment et des difficultés à s'approprier le bâtiment par des usagers ». (Guerriero & Fry, 2014, p 111) Quand la concertation entre les parties prenantes et dépasser les conflits et contradictions du projet sont un des enjeux principaux de la programmation architecturale, le manque de moyen de représentation explicite des contradictions a deux effets. Premièrement, l'individu qui développe le programme devient la mémoire principale du projet, ce fait limite donc le traitement des informations et leur transmission à d'autres acteurs. Deuxièmement, le programmiste et l'architecte pour concevoir des solutions s'appuient sur les compromis, les essais et erreurs, et le tâtonnement. Et, quand l'invention est un des éléments de la compréhension du programme, de telles démarches traditionnelles ne garantissent ni la satisfaction des usagers ni des solutions inventives.

Ainsi, l'axe « problématique professionnel » sur lequel cette thèse se focalise concerne la potentielle agentivité du programme architectural pour concevoir des concepts et solutions innovants et le rôle que la représentation de contradictions du projet pourrait avoir dans la stimulation d'une telle agentivité.

L'étude du contexte français nous a permis aussi de connaître les enjeux les plus importants auxquels le programme architectural doit répondre. En interprétant l'ensemble des descriptions des enjeux donnés par l'enquête RAMAU, nous avons défini les sept axes suivants comme critères d'évaluation d'un programme architectural.

1. Énoncé des conflits pour pouvoir concerter les acteurs (dérivé de l'enjeu n° 8)
2. Clarté des énoncés de besoins (dérivé de l'enjeu n°1)
3. Synthèse des problèmes et exhaustivité de l'espace de problèmes (dérivé de l'enjeu n° 4)
4. Traçabilité des problèmes et des solutions (dérivé des enjeux n° 4 et n° 6)
5. Évaluation de l'impact des propositions sur l'intégralité des attentes du projet (dérivé des enjeux n° 4 et n° 6)
6. Support du processus de prise de décision (dérivé des enjeux n° 1 et n° 2)

7. Moyen de communication et d'établissement du dialogue (dérivé de l'enjeu n° 8)

La Fig. I-5 montre l'importance que la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre accordent à ces critères.

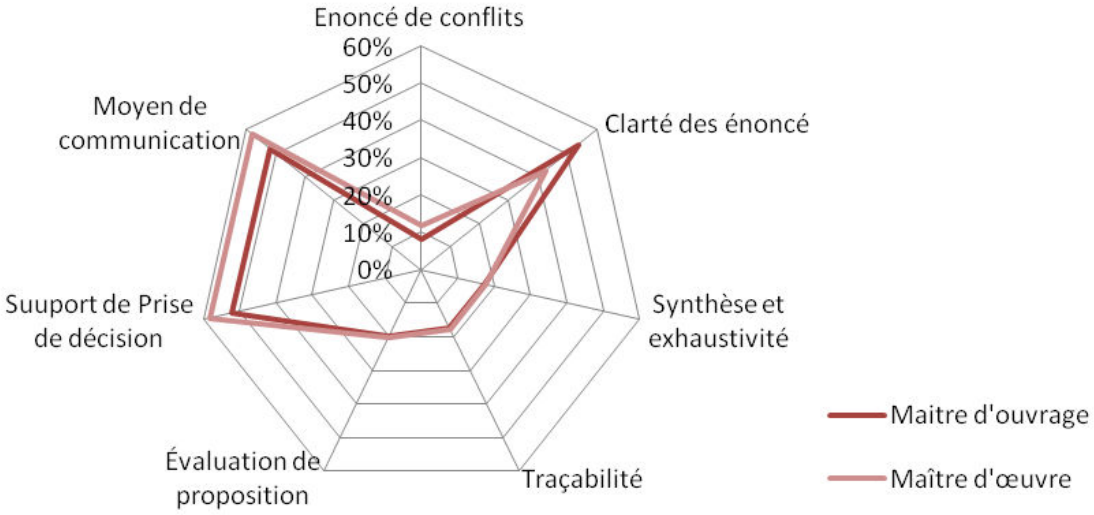


Fig. I-5. L'importance des critères d'évaluation pour la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. D'après la synthèse sur l'enquête RAMAU (2006).

Nous utiliserons ces axes dans Chapitre V- L'évaluation pour évaluer les résultats notre étude empirique.

Dans la section suivante, nous abordons la question des méthodes de programmation architecturale. Il s'agit d'un état de l'art qui se focalise sur la représentation de contradictions dans le programme. Autrement dit, nous recherchons à savoir comment la contradiction a été appréhendée par les méthodes et les modèles de programmation architecturale.

Ch. I.2. La question des méthodes de programmation architecturale

Cette section aborde la question des méthodes de programmation architecturale. L'objectif est de connaître la place de la notion de contradiction dans la littérature scientifique concernant cette question. Nous nous intéressons à ce qui est un programme architectural, à la relation de la programmation et de la conception architecturale, ainsi qu'aux modèles et aux stratégies de programmation. Cette section se termine en présentant une synthèse des concepts utilisés dans les méthodes de programmation. De même, nous faisons allusion à un modèle UML simplifié et générique du processus de programmation à un niveau assez générique ayant un degré d'interprétabilité assez élevé pour s'adapter aux différents types projets.

I.2.1. Qu'est-ce qu'un programme architectural

I.2.1.1. Une brève histoire

Si plusieurs auteurs soulignent que la conception architecturale était toujours précédée par l'identification des objectifs et des contraintes du projet, il est communément accepté que ce soit avec le temps moderne que la préparation d'un document structuré précisant ces éléments s'est mis en pratique. L'élaboration d'une instruction détaillée pour les architectes a été une réponse à certains phénomènes apparus au début du XIXème siècle, tels que la révolution industrielle, la bureaucratie des nouvelles institutions des États - nations, la typologie plus variée des espaces et la complexité des fonctions des bâtiments à créer.((Peña & Parshall, 2001), (Kumlin, 1995), (Sanoff, 1989), (W. F. E. Preiser, 1985)) Nous pouvons aussi ajouter l'évolution dans le métier d'architecture caractérisée par la séparation entre la phase de conception et la phase de construction (Pérez-Gómez, 1987) due aux nouvelles méthodes de conception et ses moyens de représentation (Basbous, 2005). C'est dans ce contexte que les concours architecturaux pour les projets gouvernementaux favorisent l'élaboration plus spécifique du document du programme. (Kumlin, 1995) reconnaît le projet de l'Opéra Garnier (Paris, 1861-74) comme un des

premiers projets gagnant un concours lancé à base d'un programme préalablement rédigé. Cependant, l'apparition d'une profession spécifique, chargée de la préparation d'un document ayant la nature programmationnelle, date des années 1960. ((Cherry, 1999), (Preiser, 1985)) La programmation, qui jusqu'à la fin de ces années était considérée comme la préparation d'une « liste d'espaces fonctionnels », peu à peu se dote de théories et de méthodes. La naissance de la programmation en tant que discipline particulière est marquée par la publication en 1966 d'une brochure intitulée « *Emerging Techniques of Architectural Practice* » par l'*American Institute of Architectes.* (Kumlin, 1995) Et la première édition du livre de William U. Peña, « *Problem Seeking : an Architectural Programming* », publié en 1966 est considérée comme la première tentative de la théorisation de la programmation en tant que « système complet ». (Duerk, 1993, p. 5) Il semble, par ailleurs, que deux phénomènes ont largement contribué au développement de l'activité de programmation. Le premier phénomène est le Style International en architecture qui s'est épanoui après la Seconde Guerre mondiale. Ce style, caractérisé par l'industrialisation de la construction, la rupture avec le contexte, la reproductivité des formes et des fonctions, favorisait la planification en amont de l'œuvre. Le deuxième phénomène concerne le développement des services gouvernementaux, notamment aux États-Unis. Ce développement a lancé la construction de plusieurs édifices ayant des fonctions similaires. Dans les années 1950 et 1960, les autorités américaines ont élaboré les guides et les manuels présentant des caractéristiques des bâtiments ayant des fonctions spécifiques comme les écoles, les hôpitaux, les bases militaires. (Erhan, 2003) Ce type de programme général a contribué à la régularisation des champs de ces activités en définissant des critères, des standards et des normes.

Or, dans les années qui suivent, la recherche théorique sur la programmation explore différents champs : les méthodes de la programmation ((Sanoff, 1977), (Palmer, 1981)), la recherche sur les professionnels exerçant la programmation ((Preiser, 2015), (Preiser, 1985)), la recherche sur la pratique de la programmation (Cherry, 1999), la relation de la programmation et le management du projet (Hershberger, 1999), l'instrumentalisation du processus de programmation ((Chung, et al., 2009)(Ozkaya & Akin, 2007), (Erhan, 2003), (Kamara & Anumba, 2001), (Donia, 1998), (Ö. Akin et al., 1995a)). Pourtant, la programmation architecturale se marginalise à partir des années 1980. (Cherry, 1999) Cela est à l'origine d'une part, de la diminution l'intervention des instances gouvernementales,

et d'autre part, des courants dominants en conception architecturale centrés sur la forme et la représentation ; à l'instar du postmodernisme, et de la conception assistée par ordinateur.

Eugène Viollet-le-Duc (1814-1879)

Or, il y a une figure qui tient une place à part dans l'histoire de l'architecture, Eugène Viollet-le-Duc, car il aborde la question de programme comme un élément déterminant de l'architecture. Selon Viollet-le-Duc, le programme non seulement définit la finalité de l'édifice, mais aussi impose la forme de l'édifice.

En soulignant « la peine » que l'architecte doit se donner pour trouver une composition des images qu'il a dans le cerveau, Viollet-le-Duc décrit comment il faut s'y prendre pour raisonner : « Qu'un architecte ait un édifice à construire, on lui a remis un programme confus (comme tous les programmes écrits), c'est à lui à mettre de l'ordre dans cette première matière. Il faut satisfaire à des besoins et des services divers ; il les étudie séparément, il ne doit pas penser à l'architecture, c'est-à-dire à l'enveloppe de ces divers services ; il se contente de mettre naïvement chaque chose à sa place ; dans chacune des parties de ce programme, il aperçoit un point principal, il le fait ressortir ; son travail compliqué enchevêtré se simplifie peu à peu ». (Viollet-le-Duc, 1863, p. 192) Ainsi, pour Viollet-le-Duc, le programme est une matière première sur laquelle l'architecte commence son tâtonnement. « L'architecte est laissé seul, le programme lui est donné, il faut y satisfaire : alors, la mémoire apporte pêle-mêle tout ce qu'elle a pu retenir ; c'est le moment où la raison intervient, elle *distincte*, elle choisit ici et là, repousse ceci ou cela… » (*ibid*. pp. 175-176) C'est le programme qui donne la direction de recherche : « une œuvre utile avant tout, remplissant exactement le programme donné » (*ibid*. p 71), et que « la raison seule trace ce programme » (*ibid*. p. 41). Cependant, il ne « suffit pas d'avoir rigoureusement satisfait un programme » (*ibid*. p. 109), car « un programme rempli, une structure donnée, ne suffisent pas pour produire une œuvre d'art, il faut avec cela une forme ». (*ibid*. p. 465)

Viollet-le-Duc considère le programme comme un des déterminants en architecture (selon lui, l'autre déterminant est les moyens matériels). Et l'architecte dispose différents moyens pour le traiter : « … on peut satisfaire au même programme par des moyens très différents, en raison du lieu, des matériaux et de ressources dont on dispose » (*ibid*. p. 446), car le programme « n'est que l'énoncé du besoin ». (*ibid*. p.446)

En faisant allusion à un temple grec, il écrit « quel est le programme ? Il s'agit de bâtir une cella, une salle fermée, de l'entourer de portique autant pour la protéger que pour se mettre à couvert. Quatre murailles, percées de porte ; à l'entoure, des points d'appui portant des plates-bandes, protégées elles-mêmes par une corniche saillante ; sur le tout, des pentes pour faire écouler les eaux pluviales des deux côtés dépourvus d'entrées. » (*ibid*. p. 43). À propos des thermes romains, il écrit « la trace d'un programme bien rempli, des distributions simples, mais adroitement coordonnées en vue de la satisfaction des besoins. Analysons d'abord ce programme. Une place à l'entrée, pour permettre aux allants et venants de circuler facilement, donnant sur la place, des cellules pour ceux qui venaient prendre des bains de santé sans vouloir se mêler à la foule ; des chambres pour les femmes qui, venant du dehors et n'entrant pas dans l'enceinte de l'établissement, pouvaient prendre des bains à certaines heures. Ces cellules, en nombre considérable, sont précédées chacune d'une *antisalle* dans laquelle on laisse ses vêtements aux mains des esclaves. Un portique permettait d'entrer dans ces chambres et d'en sortir à couvert. … Dans l'enceinte même des thermes, un jardin rafraîchi par des fontaines, garni de bancs, d'exèdres pour les personnes qui veulent se reposer et causer. » (*ibid*. p. 121) Viollet-le-Duc continue et donne encore plus de détails sur le programme, sur la température des différentes salles, sur l'ambiance physique (salle tiède, salle chauffée, etc.). Il déduit qu'un tel programme « réunit des services à la fois très considérables et très restreints : il oblige l'architecte à placer dans un même lieu des salles de dimensions en surface et en hauteur très différentes. C'est-à-dire qu'il présente les difficultés les plus sérieuses qu'il soit donné à un architecte de vaincre ». (*ibid*. p 122) Il écrit « chez eux [les Romains], chaque édifice prend une forme qui n'est que l'expression vraie du besoin, et si les détails de l'architecture, la décoration contrastent parfois avec cette forme générale, cette décoration d'emprunt n'a pas une importance telle qu'elle influe sur la masse réelle imposée par le programme ». (*ibid*. p. 139) Ainsi, le programme décrit aussi bien les fonctions que la structure et les ornements.

À travers ces exemples, Viollet-le-Duc présente ce qu'est un programme. Il décrit des œuvres construites, mais considère ses descriptions comme le programme du bâtiment. Rappelons les éléments que Viollet-le-Duc souligne dans ses descriptions :

- la finalité de chaque élément et leurs raisons d'être ;
- les besoins à satisfaire ;

- la typologie de fonctions des espaces ;
- la typologie et la hiérarchie des espaces ;
- la structure ;
- les ornements ;
- l'agencement spatial et la localisation de fonctions ;
- l'ambiance et le confort physique ;
- la circulation ;
- l'organisation fonctionnelle ;
- la typologie des usagers et leur comportement ;
- l'organisation temporelle des équipements ;
- les caractéristiques des équipements, leurs fonctions et leurs modes d'emploi ;
- les caractéristiques de la société et ses valeurs ;
- les ressources disponibles.

Plus intéressant, Viollet-le-Duc insiste sur le fait que c'est le programme qui donne la forme et souligne que la difficulté la plus sérieuse à poser à un architecte est de lui demander un élément qui doit avoir « des dimensions en surface et en hauteur très - différentes », autrement dit, des caractéristiques opposées**.**

Évidemment, les dimensions concernant le budget et les délais de la construction sont absentes dans la description de Viollet-le-Duc, car il décrit une œuvre réalisée. Mais, en ce qui concerne d'autres éléments, il est difficile de trouver une négligence dans ses descriptions. Il explique la raison : « le fond des programmes change peu, car les besoins des hommes, à l'état de civilisation, sont à peu de différences près les mêmes ; mais le climat, les traditions, les mœurs, les habitudes, les goûts font que ces programmes reçoivent, suivant le temps et lieu, une interprétation particulière ». (*ibid*. p. 329)

Dans ce qui suit, nous présentons brièvement les méthodes de programmation développées plus d'un siècle après Viollet-le-Duc. Cependant, on peut légitimement se demander si elles ont pu ajouter un élément à ce qui a déjà été décrit par Viollet-le-Duc à propos du programme architectural.

I.2.1.2. Définition du programme et de la programmation architecturale

Le programme architectural

Le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicale (CNRTL) donne les descriptions suivantes sur l'étymologie du terme Programme : « Mot qui vient du grec *προγραμμα* qui signifie l'« ordre du jour, inscription, et qui se dit en parlant des actions publiques des *Coléges* etc. » … C'est un « écrit qu'on *afiche* quelquefois et qu'on *distribuë* d'ordinaire, et qui contient le sujet de l'action, les noms de ceux qui la représentent, etc. … , du mot latin *programma.* » En 1789 par ce mot on entend l'« ensemble d'actions que l'on prévoit d'accomplir, de mesures que l'on prévoit de prendre ». De même, le programme signifie l'« ensemble des actions qu'on se propose d'accomplir dans un but déterminé …, la réalisation de ces actions, (Plan d'ensemble d'une recherche)…. Exposé général des intentions et des objectifs d'une personne, d'un groupe …, Ensemble des conditions à remplir, des contraintes à respecter dans l'exécution d'une œuvre… Nécessités auxquelles doit répondre un projet d'architectural. »

En anglais américain, le terme appliqué pour désigner un tel document est *program*, ce qui est le résultat du processus de *programming,* mais, en anglais britannique, le terme utilisé pour le programme est « *brief* », et le terme *« briefing* » est l'équivalent de programmation. (Bousbaci, 2002, p. 27) cite (Heath, 1984) : « Le terme *brief* réfère aux faits et instruction qu'un juriste note lors de sa première rencontre avec un client en vue de plaider sa cause devant un tribunal » et s'interroge sur l'impact que l'origine juridique du terme programmation a probablement eu sur la compréhension de cette activité chez les Anglo-saxons.

Nous pouvons résumer donc les notions essentielles de la signification de programme par l'énoncé suivant : (a) un document écrit, un texte, (b) qui décrit diverses actions (c) qui auront lieu dans un temps précis (d) pour atteindre un objectif défini.

La programmation architecturale

Si dans la littérature concernée le terme le plus utilisé pour désigner une activité qui produit le programme architectural est le terme « *architectural programming* » (Hershberger, 1999), nous pouvons également trouver les termes suivants : « *Architectural*

analysis » (Peña & Caudill, 1959), « *Building programming* » (Davis, 1969), « *Environmental programming* » (Farbstein, 1976), « *Functional programming* » (Davis & Szigeti, 1982), « *Facility programming* » ((Palmer, 1981), (Preiser, 2015)), « *Space programming* » (Kirk & Spreckelmeyer, 1988), « *Design Requirement* » et « *Design programming* ».

Ce qui suit présente les descriptions données par les références les plus connues de la programmation architecturale.

(Peña & Parshall, 2001):

- *The processes of gathering necessary information to understand, explicate, and state a problem. That is called Problem seeking whereas its solution through designing is a Problem Solving.*
- *The difference between programming and design is the difference between analysis and synthesis.*
- *The product of programming is* ***a statement of the problem****. Stating the problem is the last step in problem seeking (programming), and it is also the first step in problem solving (design). The problem statement, then, is the interface between programming and design. … It's the handoff from programmer to designer. In any case, the problem statement is one of the most important documents in the chain that is the total project delivery system*[1].

(Duerk, 1993):

- *Programming is a systemic method of inquiry that delineates the context within which the designing must be done as well as defines the requirements that a successful project must meet.*
- *The orderly process of gathering, interpreting, and presenting information to define the scope, nature and direction of a design problem.*
- *It is gathering, organizing, analyzing, interpreting, presenting of the information relevant to a design project. Mission, goals, concepts, and performance requirements are the set of criteria that must be well-defined.*

[1] *Problem Seeking* est considéré comme un classique dans la littérature architecturale. Depuis sa première publication en 1969, ce livre est réédité et publié constamment. La dernière édition est parue en 2012. Toute citation dans cette thèse vient de l'édition 2001 de *John Wiley & Sons, Inc*. Mise en gras par Peña.

- *It is orderly definition of the architectural problem and the articulation of project requirements in a manner that promotes the creation of a responsible solution for the design of the building*

(Kumlin, 1995):

- *[It] is the key to successful design. It is the crucial process of gathering, organizing, and assessing a client's building-use information. This process includes design concepts and program objectives … current and future space requirements … adjacencies and relationships … equipment and utility requirements … project cost… schedule.*

(Akin et al., 1995a):

- *A complete inventory of design requirements and criteria of design evaluation.*

(Cherry, 1999):

- *[A] Plan for the procedure and organization of all the resources.*
- *A type of performance specification.*
- *The research and decision-making process that defines the problem to be solved by design.*
- *Architectural programming defines problems to be solved by physical design efforts.*
- *The thorough and systematic evaluation of the interrelated values, goals, facts, and needs of a client's organization, facility users, and the surrounding community. A well-conceived program leads to high-quality design.*
- *Architectural programming is the first stage of architectural design.*

(Hershberger, 1999):

- *It is the definitional stage of design – the time to discover the nature of the design problem, rather than the nature of the design solution. It is the time in which the relevant values of the client, user, architect and society are identified; important project goals are articulated; facts about the project are uncovered; and facility needs are made explicit."*

- *[It] is to understand the design problem leading to design solution, and it is in close relation to the other stages. Evaluation and research in this approach can just after each stage is finished.*

(Blyth & Worthington, 2010):

- *Briefing is an evolutionary process of understanding an organisation's needs and resources, and matching these to its objectives and its mission. It is about problem formulation and problem solving. It is about managing change. Ideas evolve, are analysed, tested and gradually refined into specific requirements. ... Briefing is the process by which options are reviewed and requirements articulated, whereas a brief is the product of this process.*

(Hershberger, 1999) souligne que la littérature sur des méthodes de programmation s'éloigne de la description théorique telle qu'elle a été décrite par (Peña & Parshall, 2001) et penche vers la description des activités à entreprendre, présentée par des manuels pratiques et des tutoriaux. Et au milieu de ce passage, la programmation a été décrite comme un processus de traitement des informations, par exemple par la théorie de (Duerk, 1993). (Kumlin, 1995) déclare que la précision excessive des termes spécifiques, des catégories des informations et des systèmes exagérément développés embrouillent l'objectif principal de la programmation qui consiste à l'énoncé de la mission, la fiche d'espaces, le budget et le délai. Car, dans la programmation architecturale il s'agit de décrire d'une manière claire et distincte les attentes, les besoins et les objectifs du projet et c'est pour cela qu'on fait le traitement des informations nécessaires tout en réduisant la surcharge d'information. (Cherry, 1999) décrit cette tendance comme un retour à l'idée initiale de la programmation, c'est-à-dire une façon de définir le problème de conception.

Dans cette thèse, l'attention sera portée sur le programme architectural en tant que produit. Le processus de la programmation est hors de notre champ de recherche. Ainsi, le programme architectural est le point dans lequel le projet de construction bascule de la phase de programmation à la phase de conception. C'est un document organisé et dirigé comprenant des informations représentées sous forme d'objectifs principaux, de contraintes (y compris de réglementations, de normes, etc.), d'agencement souhaité des espaces et des fonctions, des descriptions et des caractéristiques des espaces, du budget et du délai du projet. Le programme peut aussi comprendre des scénarii proposant des actions pour atteindre des objectifs. Il est un document contractuel et un moyen de communiquer

entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre qui fournit une base pour l'évaluation du projet conçu.

I.2.1.3. En quoi consiste un bon programme architectural

(Ozkaya & Akin, 2007) argumentent qu'on peut regrouper les méthodes de programmation architecturale selon deux approches. La première, qui caractérise les premières méthodes élaborées pour la programmation architecturale, est une approche neutre à l'égard des formes[1]. La deuxième approche, qui est neutre à l'égard des fonctions[2], est développée par les méthodes plus récentes. Dans l'approche neutre à l'égard des formes, le programme spécifie seulement les fonctions architecturales demandées, alors que l'invention des formes qui répondent aux fonctions est dédiée au maître d'œuvre. La deuxième approche, ne précisant pas la fonction, demande au maître d'œuvre de réinterpréter les objectifs du projet et de développer une solution à partir des idées architecturales. Nous pouvons tracer ce changement dans la description d'un bon programme selon (Peña & Parshall, 2001) [3], (Kumlin, 1995), (Cherry, 1999), et (Hershberger, 1999):

- Un bon programme énonce clairement des problèmes architecturaux concernant la forme, la fonction, le budget et le délai du projet. Puisque cet énoncé est la sortie de la programmation et l'entrée pour la conception, sa formulation doit être le résultat de l'effort conjoint du programmiste et du concepteur. L'énoncé des problèmes devrait s'accompagner de concepts de solutions. (Peña & Parshall, 2001)
- Un bon programme … prédit l'efficacité et les attentes du maître d'ouvrage par rapport à la qualité de l'espace et de la structure. Il laisse une latitude la plus large possible pour une conception créative. Il présente assez d'informations structurées et aisément accessibles. Il fait apparaitre de façon intelligible et immédiatement des exigences, visions, rêves, intentions et priorités du maître d'ouvrage pour l'équipe de conception. Il illustre la solution finale et est un support enthousiaste pour les usagers, parties prenantes et décideurs. (Kumlin, 1995)
- Un bon programme architectural n'anticipe pas à ce que le projet doit ressembler ni ce que le projet doit faire. Il doit décrire la performance désirée (des exigences) et laisser au concepteur le développement des formes qui satisfont ces performances.

[1] *form-neutral*
[2] *function-neutral*
[3] Première édition en 1969

Un bon programme permet de comprendre non seulement le symptôme, mais la source du symptôme du problème. (Cherry, 1999)

- Un bon programme présente aux acteurs un processus systématique pour prendre les décisions concernant les valeurs, objectifs et exigences concernant l'organisation et l'espace. Il peut exposer un large éventail d'approches alternatives et aider à choisir des directives appropriées. (Hershberger, 1999)

I.2.2. La programmation et la conception architecturale

Nous pouvons constater qu'à l'égard des aspects réglementaires, la programmation est dissociée de la conception architecturale. En France, la loi met la programmation sous la responsabilité du maître d'ouvrage qui pour l'assumer peut faire appel aux professionnels externes de son organisme. Au Canada, la programmation est considérée comme une phase de la délivrance du projet (Hobbs, 1999). Aux États-Unis, le processus de construction est moins réglementé, mais nous pouvons trouver deux documents officiels[1] publiés par le *General Services Administration* (GSA) « décrivant » le déroulement du processus de la programmation pour les bâtiments publics. Au Royaume-Unis, l'*Office of Gouvernement Commerce* (OGC) a publié des modèles pour la programmation (*Briefing*) qui est aussi sous la responsabilité du maître d'ouvrage.

Néanmoins, la relation entre la programmation et la conception est controversée. Elle est interrogée par différents théoriciens, aussi bien du point de vue identitaire que théorique. Les opinions oscillent entre deux extrêmes. ((Peña & Parshall, 2001), (Hershberger, 1999), (Ö. Akin et al., 1995a), (Robinson & Weeks, 1983), (Palmer, 1981)) Alors que dans un extrême, la programmation et la conception constituent un processus unique où le programme peut être considéré comme « émergeant », dans l'autre extrême, elles sont complètement séparées où le programme est « déterminé ». (Heinz & Overgaard, 2009) Entre ces deux extrêmes se trouvent ceux qui acceptent l'intérêt pragmatique et juridique pour considérer la programmation comme une phase autonome, mais qui insistent sur la responsabilité programmatique de l'architecte.

[1] « *Facilities Standards for the Public Buildings Service* » (2010); et « *Value Engineering Program Guide for Design and Construction* » (1992)

(Robinson & Weeks, 1983), à la base des recherches de (Palmer, 1981), distinguent les trois approches suivantes pour figurer cette relation : l'approche intégrée[1], l'approche séparée[2], et l'approche interactive[3]. Ils proposent ensuite une autre approche, appelée l'approche intégrée-interactive[4], qui selon les auteurs permet de dépasser la dichotomie problème/solution. Nous pouvons résumer ces approches de manière suivante.

L'approche intégrée

L'approche intégrée identifie la programmation à la conception et vice versa. Il s'agit d'un processus identique qui dit qu'il est impossible de cerner le problème avant que la conception ne commence. Autrement dit, le problème peut devenir compréhensible seulement si nous considérons une solution, ou au moins entamons la génération de la solution. Il est impossible de séparer la définition du problème de sa résolution. D'après cette approche, le document du programme n'est pas nécessaire, car le résultat final de la conception représente aussi bien le problème que la solution. La Fig. I-6 représente l'approche intégrée.

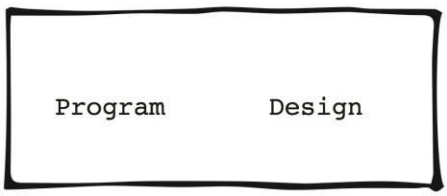


Fig. I-6. L'approche intégrée. D'après (Palmer, 1981).

(Cherry, 1999) souligne que s'il est possible de commencer un projet de petite taille sans un programme établi, il est, en revanche, impossible de le faire pour les projets de grande échelle et de fonctions multiples.

L'approche séparée

L'approche séparée considère le processus de conception comme une *stage-gate* dans laquelle la phase de programmation et la phase de conception sont deux processus distincts. (Peña & Parshall, 2001) préconisent cette distinction qui, selon eux, permet de

[1] *integrated approach*
[2] *segregated approach*
[3] *interactive approach*
[4] *integrated-interactive approach*

comprendre le problème. Ils argumentent que dans la programmation s'agit de rechercher les problèmes, alors que dans la conception il s'agit de les résoudre.

Les défenseurs de cette approche s'appuient sur deux raisons. D'abord, cette approche permet aux différentes parties prenantes de s'engager dans le projet. En effet, leurs connaissances variées non seulement sont nécessaires pour faire face à la complexité du projet, mais aussi pour enrichir le spectre des solutions et des concepts architecturaux. La deuxième raison vient du fait que cette approche permet de collecter des informations avant d'entamer la conception, ce qui réduit le risque de mauvaises conceptions et partage la responsabilité du projet par une démarche plus morale et plus démocratique. La Fig. I-7 représente l'approche séparée.

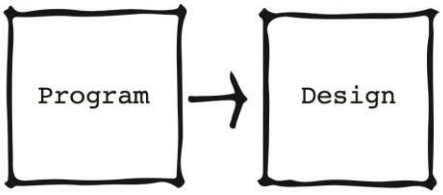


Fig. I-7. L'approche séparée. D'après (Palmer, 1981).

De manière générale, les programmistes adhèrent à la position de Peña et tiennent à une certaine autonomie pour la phase de programmation. Peña argumente que le mode de raisonnement de la programmation est l'analyse, la conception est régie par la synthèse. Cependant, une telle séparation entre la synthèse et l'analyse, basée sur une vision positiviste de l'activité cognitive, est largement contestée car celui qui pense à une situation problématique mobilise toute sa faculté cognitive. ((Lawson & Dorst, 2013), (Lawson, 2012), (Visser, 2006a)(Visser, 2006b), (Cross, 2004), (O. Akin, 1989))

L'approche interactive

Le constat sur la réalité du déroulement du projet architectural et les modifications multiples nécessaires pendant la phase de conception met en évidence la nature itérative du processus de conception. L'approche interactive propose des itérations entre la programmation et la conception. Dans cette perspective, la conception architecturale est considérée comme un processus heuristique pendant lequel la pertinence d'une idée ou d'un concept sera examinée et évaluée successivement en termes de sa capacité à répondre à un problème. Par conséquent, le programme et la conception évoluent interactivement.

Chaque itération permet d'affiner le niveau de généricité de la solution. ((Duerk, 1993), (Kumlin, 1995), (Cherry, 1999)). (Ö. Akin et al., 1995a) argumentent qu'ainsi le programme devient un inventaire de l'évolution des exigences et des critères de conception. Pour (Erhan, 2003) aussi c'est une approche pertinente, car elle permet de générer simultanément les exigences et les solutions. La Fig. I-8 représente l'approche interactive.

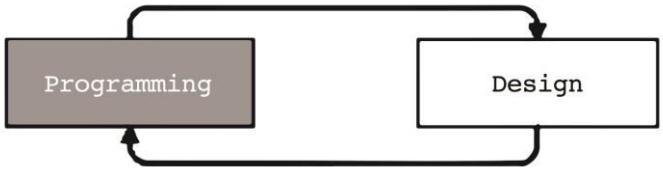


Fig. I-8. L'approche interactive. (Erhan, 2003).

L'approche intégrée – interactive

L'approche intégrée – interactive est basée sur l'observation des concepteurs qui utilisent différents moyens de représentation, comme le texte, le diagramme, les graphiques tridimensionnels, la maquette etc. (Robinson & Weeks, 1983) constatent que les concepteurs utilisent des moyens verbaux et formels pour éclaircir la situation et simultanément ils développent des critères et des scénarii pour construire les solutions alternatives. Ils soulignent qu'aucune des approches précédentes ne reflète pas ce dynamisme. En revanche, ils proposent une nouvelle approche, appelée l'approche intégrée – interactive. Selon cette dernière, la distinction n'est ni dans la logique (analyse vs. synthèse), ni dans la structure (problème vs. solution) de deux activités de programmation et conception, mais elle se trouve dans les moyens de représentation des éléments de la conception. La Fig. I-9 illustre l'approche intégrée - interactive.

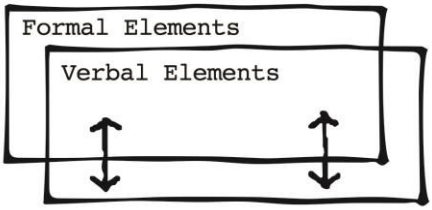


Fig. I-9.L'approche intégrée - interactive. (Robinson & Weeks, 1983)

Conclusion

Il y a un consensus sur l'importance du programme dans le processus de conception architecturale. Pour Louis Kahn, le programme est le générateur principal de l'ordre comme l'idée - régisseur de l'architecture. Tschumi souligne qu'il n'y a pas d'architecture sans le programme (Tschumi, 1996, p. 123), et (Prince-Ramus, 2009) insiste sur le rôle du programme pour élargir l'horizon de la conception et souligne la responsabilité des programmistes et des architectes dans la négligence envers la capacité d'agentivité du programme pour innover.

Si une séparation nette entre la programmation et la conception a un certain intérêt pragmatique pour le processus de conception, la distinction entre la construction du problème et la conception de solution n'est ni vraie ni réelle. Les caractéristiques du portrait de la solution sont inhérentes à l'énoncé du problème. Dans les premières phases du processus de conception, le concepteur utilise le document de programme architectural pour comprendre le projet et appréhender ses objectifs, besoins, exigences, attentes et contraintes. Ce qui importe est de garder la possibilité du recoupement[1] des problèmes et des solutions. (Lee et al., 2003) De même, si pour des raisons réglementaires et pragmatiques, la phase de programmation précède la phase de conception, il est important que le programme, comme point commun entre ces deux phases, rende possible la continuité du processus de conception et préserve la possibilité de tracer les décisions prises dans la programmation et d'évaluer l'impact des décisions ultérieurement prises par l'architecte.

Il semble que les types d'informations et les moyens de les représenter ne variaient réellement pas de la programmation à la conception. Dans les deux phases, le concepteur et le programmiste utilisent aussi bien la représentation verbale que graphique. Cependant, il est vrai que le moyen de représentation appliqué en programmation reste principalement verbal. Le programmiste collecte et analyse des informations descriptives et en produit des textes et des graphiques. Les concepts, les décisions, les choix et la stratégie développés pendant la conception ont pour base les informations fournies par le programme.

Dans le paragraphe suivant, nous présentons les méthodes classiques de programmation et les modèles qu'elles proposent pour structurer les informations.

---

[1] *crosschecking*

I.2.3. Les modèles des méthodes de programmation

Dans la lecture des méthodes de programmation, nous nous intéressons à la notion de problème et de contradiction. Nous cherchons à savoir comment ces notions ont été abordées par les méthodes de la programmation architecturale, quelle est la définition donnée et quels sont la formulation, la structure ou le modèle que ces méthodes proposent pour les représenter. Dans ce qui suit, nous présenterons brièvement quatre modèles principaux de méthodes de programmation architecturale. Nous constaterons aussi que si ces méthodes divergent sur la démarche de programmation, ils existent des éléments communs dans leurs structures. Comme nous l'avons vu dans le Ch. I.1, les professionnels exerçant la programmation architecturale dans le contexte français n'ont pas déclaré l'application des méthodes particulières. Cependant, les documents qu'ils produisent comprennent des éléments constructifs communs de modèles de programmation architecturale.

(Kumlin, 1995) souligne qu'une grande partie de la littérature concernant la programmation architecturale est consacrée à la proposition de modèles pour identifier et catégoriser des informations. Différentes typologies ont été proposées pour les modèles sur lesquels les méthodes de programmation architecturale sont basées. Nous empruntons la typologie de (Hershberger, 1999) proposant quatre modèles principaux suivants.

1. La programmation architecturale basée sur la conception[1] ou le modèle traditionnel
2. La programmation architecturale basée sur la connaissance[2]
3. La programmation architecturale basée sur les enjeux[3]
4. La programmation architecturale basée sur des valeurs[4]

I.2.3.1. Le modèle basé sur la conception

Dans ce modèle, la programmation et la conception se produisent simultanément. Le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre se réunissent pour identifier les objectifs et les exigences du projet. Il s'agit d'un processus itératif qui se finit quand ils sont convaincus que tous les problèmes ont été découverts et résolus dans la conception. Duerk argumente

[1] *Design-Based Architectural Programming*
[2] *Knowledge-Based Architectural Programming*
[3] *Issue-Based Architectural Programming*
[4] *Value-Based Architectural Programming*

que ce modèle est à l'origine de la théorie de Vitruve proposant les trois éléments suivants comme enjeux principaux de la conception : *Firmitas* (solidité), *Commoditas* (utilité, fonction), et *Venustas* (beauté). La Fig. I-10 présente la structure arborescence de ce modèle.

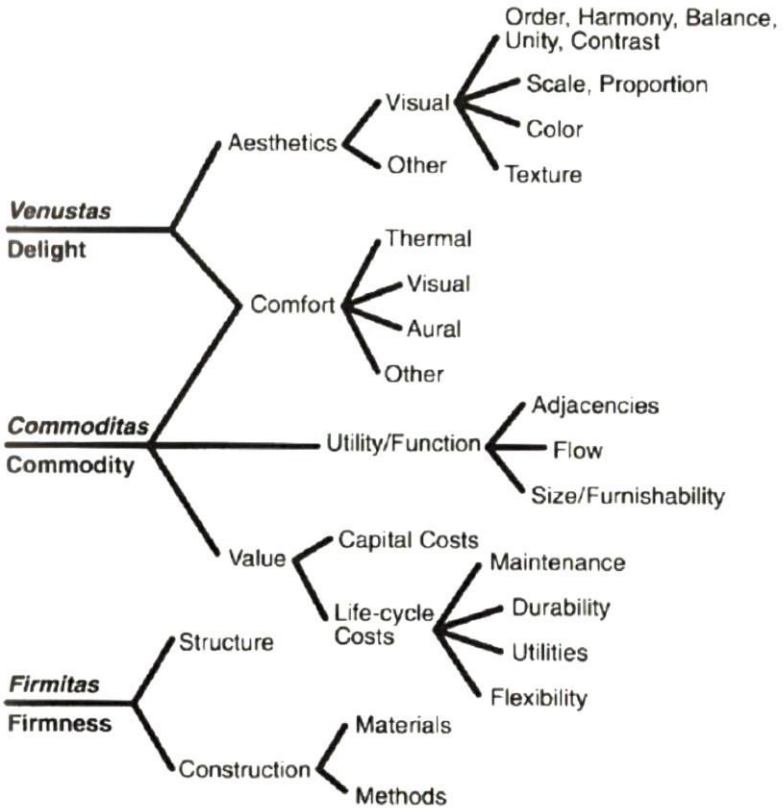


Fig. I-10. Le diagramme de trois principes de Vitruve et les enjeux de la programmation. (Duerk, 1993)

En ce qui concerne la notion de problème, selon cette méthode toute définition du problème reste prématurée jusqu'à ce que la conception soit complète. Du fait, ni le problème ni les contradictions du projet ne sont nécessairement représentés dans ce modèle. La communication directe entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre permet d'aborder les problèmes et les conflits intersubjectifs d'une manière discursive.

I.2.3.2. Le modèle basé sur la connaissance

Dans le modèle basé sur la connaissance, le programmiste tente d'acquérir des connaissances sur tous les enjeux relatifs au projet. Il s'agit d'une recherche exhaustive par une approche systémique de sorte qu'aucune zone d'importance potentielle ne soit négligée.

Les théories et les structures développées par (Peña & Parshall, 2001), (Palmer, 1981) ; et (Cherry, 1999) correspondent à ce modèle.

(Peña & Parshall, 2001) : À la recherche de problèmes

La méthode développée par Peña est un exemple représentatif de ce modèle. Elle a une influence majeure sur toutes les autres méthodes de la programmation architecturale. Selon cette méthode, le programmiste, en adoptant une approche pragmatique, commence par collecter les informations existantes qu'il qualifie comme ayant une influence directe sur le projet. Cela crée une base pour arriver à un accord avec le représentant du maître d'ouvrage et des usagers. Le programmiste peut chercher au fur et à mesure des informations supplémentaires, s'il en aura besoin. Pour Peña, la programmation consiste en cinq étapes qui sont les suivantes.

Elle commence par 1) établir les objectifs du projet. Les objectifs présentent ce que le maître d'ouvrage demande, ainsi que les origines de ses demandes. Une fois qu'ils sont définis, le programmiste peut 2) collecter et analyser les faits. Ces derniers représentent la situation existante et les éléments qui influencent les objectifs. Après s'être faite une idée de la situation future et de la situation existante, le programmiste essaye de 3) découvrir et d'examiner des concepts de solution. Ces derniers disent comment atteindre les objectifs. Selon Peña, il existe deux niveaux de concept. Les concepts programmatiques[1] qui représentent des idées abstraites et fonctionnelles et les concepts au niveau de la conception[2] qui représentent les idées concrètes et les réponses physiques. 4) La quatrième étape consiste à définir les besoins en termes d'espaces, précisant leurs surfaces, la qualité attendue et à les aligner avec le budget et le temps. 5) Dans la cinquième étape, il s'agit d'élaborer une synthèse succincte des problèmes rencontrés. Ces derniers doivent être présentés en termes de forme, de fonction, d'économie et de temps. Le programme ne doit pas contenir moins de quatre et plus de dix problèmes. Cette étape est une étape intermédiaire entre la programmation et la conception. Les problèmes doivent être formulés à partir d'une collaboration entre le programmiste et le concepteur, car dans cette étape s'agit de créer un lien entre la définition de problème et sa résolution. Peña propose une modèle matriciel pour structurer les informations collectées, les connaissances mises en œuvre et les synthèses faites dans le processus de programmation (Le Tableau I-1).

---

[1] *Programmatic Concepts*
[2] *Design Concepts*

	Objectifs	Faits	Concepts	Besoins	Problème
Fonction					
Forme					
Économie					
Temps					

Tableau I-1. La matrice des informations de Recherche de problèmes. D'après (Peña & Parshall, 2001).

D'après Peña, dans la programmation, nous essayons de comprendre le problème avant d'essayer de le résoudre. Il insiste sur l'énoncé des problèmes comme finalité de la programmation et affirme que l'énoncé des problèmes doit être une communication écrite entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre confirmant la compréhension mutuelle du programme.

Malgré le fait que Peña met la notion de problème au cœur de sa théorie, il n'en donne ni une définition précise ni un formalisme particulier. De plus, il insiste sur la séparation de l'activité d'analyse, qui est, selon lui, le mode de raisonnement dans la programmation et la synthèse qui est l'activité propre à la conception.

(Palmer, 1981) :

Palmer s'intéresse aux aspects sociaux du projet architectural. Dans la méthode qu'il propose, les informations doivent être recueillies par la participation des usagers et surtout par la collaboration avec les experts des domaines des sciences sociales. Cette compréhension de la programmation est à issue du contexte social et culturel des années 1970s. Dans ce contexte, d'une part, les insatisfactions des usagers de la qualité des espaces bâtis (Dewulf & van Meel, 2004), d'autre part l'émergence d'une attention particulière aux sciences sociales et à la psychologie marquent les recherches architecturales. L'objectif était d'améliorer la qualité des bâtiments par des concepts provenant de la psychologie environnementale comme l'espace personnel et la flexibilité. (Hershberger, 1999) Mais, (Dewulf & van Meel, 2004) soulignent que paradoxalement le langage spécifique des méthodes utilisées par les experts de ces domaines a créé des

obstacles à la participation des usagers au projet. Le Tableau I-2 présente le modèle matriciel que Palmer propose pour structurer et organiser les informations.

	Facteurs humains	Facteurs physiques	Facteurs externes
Vérifications			
Prédictions			
Recommandations			

Tableau I-2. La matrice des facteurs et des types de conclusion. D'après (Palmer, 1981).

(Cherry, 1999) :

La méthode proposée par (Cherry, 1999) peut être aussi considérée comme un modèle basé sur la connaissance. La compréhension de Cherry de la programmation est proche à celle de Peña. Pour Cherry, la programmation architecturale est à la fois un processus de prise de décision et une recherche ayant pour objectif de définir les problèmes qui doivent être résolus par la conception. (*ibid*. p. 3) Elle remarque que la programmation architecturale est réduite à la programmation fonctionnelle, alors qu'elle doit pouvoir définir aussi les problèmes d'ordre esthétique du projet (*ibid*. p. 9). Ainsi, la programmation a pour mission d'établir des critères appropriés pour tous les aspects du projet. Pour ce faire, Cherry propose un processus en six étapes :

1. Rechercher la typologie, les précédents et le contexte du projet ;
2. Identifier les buts et les objectifs ;
3. Recueillir et analyser les informations ;
4. Choisir les stratégies pour atteindre les buts et les objectifs ;
5. Mettre en place des exigences quantitatives ;
6. Synthétiser les informations pour décrire les problèmes de conception.

Cherry souligne que sans l'énoncé de problèmes, le programme reste flou. Le problème doit être bien articulé, clair et bref, et exprimer un seul aspect du projet. (*ibid*. p. 246) Elle insiste sur le fait que quelles que soient les circonstances, le centre de la réflexion doit passer de la définition du problème à l'identification de la solution. Le programmiste doit évaluer les informations du programme et aider à définir le problème de conception du

point de vue du concepteur. Ainsi, le problème ne se formule qu'après avoir défini la solution.

Cherry accepte la catégorie proposée par Peña pour structurer les informations. Mais, la syntaxe qu'elle utilise lui permet de formuler des problèmes composés de deux catégories différentes. Les exemples donnés par Cherry représentent des problèmes composés des notions de Forme/Fonction, Temps/Économie etc. L'exemple suivant montre le modèle que Cherry propose pour l'énoncé du problème.

« Parce que le site est vu de tous les côtés, le bâtiment doit être attrayant de tous les côtés, mais rendre visible l'entrée principale » (*ibid*. p. 247)

Cherry est la seule théoricienne qui propose une syntaxe pour représenter la contradiction : "*Because --------, the design must ----------*". (*ibid*. p. 249) Pour un problème composé d'aspects hétérogènes, en occurrence, l'efficacité énergétique et la forme, Cherry donne l'exemple suivant:

« Car, les meilleures vues du site sont au nord, la conception doit donc mettre en valeur cette vue sans mettre en péril l'efficacité énergétique du bâtiment » (*ibid*. p. 247)

Cherry cite Alvar Aalto : « dans chaque cas, il doit y avoir une réconciliation des [éléments] opposés » (*ibid*. p. 248) et souligne que l'énoncé peut concerner des conflits découverts par le processus de programmation, et dans ce cas, la conception doit reconnaître la tension provenant des opposées et essayer de les concilier. Elle ajoute que les programmistes et les concepteurs expérimentés diront que les conflits indiscutés ne disparaissent presque jamais, au contraire, ils sont beaucoup plus susceptibles de s'amplifier. (*ibid*. p. 15) Cependant, la seule fois qu'elle évoque le mot « *contradiction* » est dans une phrase dans laquelle elle souligne que notre philosophe occidentale n'accueille pas facilement la contradiction. (*ibid*. p. 273) Quant au mot « *conflict*(s) », il est utilisé quatre fois dans le livre de Cherry.

Un autre point intéressant que Cherry souligne est qu'à la fin de la programmation, on pense souvent que les problèmes identifiés étaient « évidents ». Seulement « nous n'étions pas capables de les voir » (*ibid*. p. 273), car l'évidence est pour celui qui sait voir, non pour la chose regardée.

I.2.3.3. Le modèle basé sur les enjeux

Les modèles basés sur les enjeux proposent d'utiliser les enjeux et les objectifs du projet en tant que catégories pour structurer les informations. Car, collecter des informations n'est pas une fin en soi, et l'abondance des informations peut perturber le processus du traitement. (Kumlin, 1995) Nous pouvons considérer les méthodes proposées par (Duerk, 1993) et par (Kumlin, 1995) comme représentatives du modèle de programmation basé sur les enjeux.

(Duerk, 1993) :

Pour Duerk, la programmation possède deux champs principaux de préoccupation : l'analyse de la situation existante et la projection de ce qui est la situation future. (Duerk, 1993, p. 9) La situation existante est l'ensemble des faits et contraintes dans lequel une conception sera développée (*ibid*. p. 238) et la situation future est celle que la conception propose de créer par le biais de la résolution des problèmes posés dans la situation existante. (*ibid*. p. 239) Cette dichotomie permet à Duerk de proposer une structure arborescence[1] pour organiser les informations. Dans cette structure, des informations concernant la mission, les objectifs et les exigences sont à extraire de la situation existante, alors que les concepts sont développés pour décrire la situation future. La Fig. I-11 démontre la situation existante et la situation future comme cadre fondamental de la programmation.

Fig. I-11. Le cadre fondamental de la programmation. (Duerk, 1993)

[1] *branching structure*

Duerk présente un modèle matriciel pour distinguer trois types d'informations : celles qui concernent les faits (y compris les valeurs), celles qui concernent les enjeux (y compris les objectifs), et celles qui peuvent évoquer des solutions potentielles. (*ibid*. p. 160) Le Tableau I-3 montre la matrice proposée par Duerk.

Enjeux	confidentialité	Sécurité	Territorialité	Image	Entretien	Confort physique	Audibilité	Visibilité	Etc.
Faits									
Valeurs									
Objectifs									
Performance Exigences									
Concepts									

Tableau I-3. Matrice des fondamentaux proposé par Duerk. D'après (Duerk, 1993)

Dans cette matrice, les enjeux concernent la situation ou l'ensemble de préoccupations qui exigent la décision ou la réponse portée par la conception (*ibid*. p. 239); la valeur signifie le principe ou la norme de ce qui est bon, utile ou désiré (*ibid*. p. 241); et le concept signifie l'énoncé d'un ensemble idéal de relations entre les éléments d'une conception. (*ibid*. p. 76)

Pour Duerk, les enjeux sont des unités d'analyse qui facilitent la recherche des informations. De plus, ils aident à développer « un portrait » du problème résolu, autrement dit, des caractéristiques de la solution. Les valeurs fonctionnent comme un filtre qui organise les objectifs selon la priorité des enjeux, et identifie les objectifs conflictuels. La Fig. I-12 présente cette démarche.

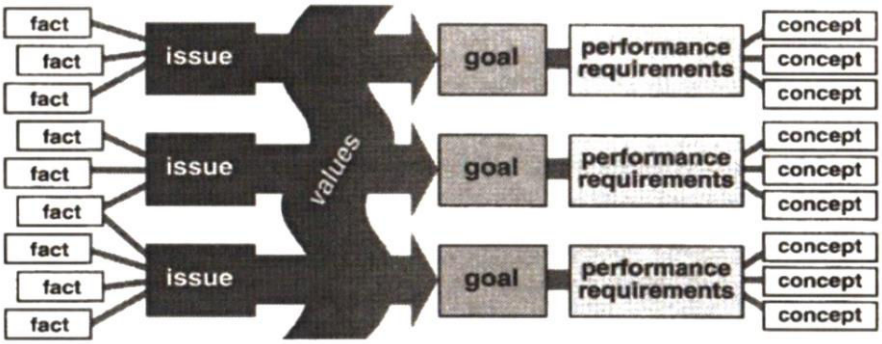


Fig. I-12. Le schéma de la démarche proposée par (Duerk, 1993)

En ce qui concerne la notion de problème, Duerk utilise le terme problème sans en donner ni une signification ni une syntaxe particulière. Le mot « contradiction » est utilisé une fois dans le texte pour désigner les définitions contradictoires des enjeux. Une telle contradiction « doit être éliminée en prenant en compte tous les facteurs qui peuvent affecter la production des données ». Cette élimination est importante, car elle permet la « validité interne » de la méthode de recherche. (*ibid*. p. 85)

Mais, Duerk souligne que les conflits doivent être reconnus par la programmation et résolus avant que la conception prenne forme. Elle ne donne pas une typologie, cependant nous pouvons identifier trois types de conflits dans son livre: le conflit entre les valeurs, les conflits entre les concepts, les conflits entre les besoins. Elle propose que dans le cas du conflit de valeurs, les programmistes et le concepteur doivent découvrir un consensus pour résoudre les conflits, ou choisir les valeurs qui ont une priorité absolue pour le projet. Mais, ce sont les valeurs des usagers qui priment sur les valeurs du concepteur. Le moyen de résoudre de ce type de conflit est la négociation. Dans le cas du conflit entre des concepts, la solution est de compromettre les « objectifs » conflictuels à l'origine des « concepts et opinions spécifiques » (*ibid*. pp. 28-29) et modifier le concept. Pour les conflits entre les besoins qu'elle qualifie comme le conflit le plus difficile à résoudre, la solution se trouve soit par une solution innovante répondant à deux besoins comme le cas de *Kimball* Art *Museum* de Kahn (voir Annexe XVII), soit par élimination du besoin non prioritaire.

(Kumlin, 1995) :

Une autre méthode qui correspond au modèle basé sur les enjeux est celle proposée par (Kumlin, 1995). Il argumente qu'on n'a pas besoin d'une structure détaillée pour catégoriser les informations, donc, ni la matrice de Peña ni celle de Duerk ne sont nécessaires. (*ibid*. p126) Ceux qui constituent toute activité de programmation se trouvent dans deux zones distinctes. La première zone contient des considérations globales et des notions liées à la qualité et objectifs, des aspirations, des concepts et des besoins ; et la deuxième zone contient les processus pour collecter, évoquer, synthétiser et exprimer ces considérations. En résumé, des informations globales et qualitatives doivent être exprimées en termes de deux enjeux suivants : objectifs et concepts.

Pour Kumlin, un enjeu décrit l'un des facteurs pour réaliser la mission du projet. Un enjeu est donc un énoncé dont la réponse portera une contribution à la réalisation de l'énoncé de

mission. L'objectif définit quantitativement ou qualitativement le résultat à atteindre par la conception. En revanche, un concept est un des moyens pour atteindre les objectifs du programme. Kumlin argumente qu'une *checkliste* comprenant ces éléments sera suffisant. Cette *checkliste* doit être modifiée par le programmiste en fonction du projet. Les notions utilisées par Kumlin sont les suivantes : enjeux, objectifs, concepts programmatiques, énoncé de priorités, énoncé de missions, coût, délai, fiche d'espaces, contraintes et opportunités signifiantes.

Kumlin utilise le terme « *problem* » sans donner une définition précise. Étant donné qu'il présente la théorie d'Alexander comme une base théorique pour sa méthode, nous pouvons considérer qu'il entend par problème un enjeu, un objectif ou un besoin. De même, il évoque la notion de contradiction et celle du conflit. Il reconnaît que les concepts peuvent être contradictoires, dans ce cas l'un d'entre eux doit être choisi. Pour obtenir les critères du choix, le programmiste doit considérer la priorité des objectifs.

Il est important à noter que selon l'approche de Kumlin, les objectifs et les contraintes sont interchangeables. Autrement dit, une contrainte du projet peut être définie comme un objectif à respecter ; et inversement, un objectif peut être défini comme une exigence que la conception doit répondre.

I.2.3.4. Le modèle basé sur les valeurs

La dernière méthode est le modèle basé sur les valeurs développée par (Hershberger, 1999). Ce dernier s'est largement inspiré d'autres modèles de programmation architecturale. Ayant pour objectif d'intégrer les avantages des autres méthodes tout en évitant leurs inconvénients, Hershberger adopte le processus organisé du modèle basé sur la connaissance afin d'assurer la pertinence et la validité des informations (*ibid*. p. 453). Surtout, il est largement influencé par les concepts de la programmation basée sur le comportement[1] et ses techniques de sollicitation de la participation des parties prenantes du projet (*ibid*. p. 269). La méthode basée sur le comportement est développée par (Farbstein, 1976) et complétée par (Preiser, 1985). Farbstein propose de considérer la programmation architecturale comme une synthèse des trois axes majeurs suivants : les préoccupations concernant le comportement des usagers, leur participation, et l'intervention du programmiste. Ce modèle commence par une recherche de problèmes et l'énoncé de la

[1] *behaviroal-based*

mission du projet. Dans l'étape suivante, les objectifs du projet qui sont dérivés des caractéristiques des utilisateurs et leurs comportements sont définis. Finalement, le programmiste traduit ces objectifs en termes de fonctions et d'exigences en considérant les normes et les réglementations. Les notions que Farbstein utilise sont les suivantes : mission, usagers, leurs comportements, critères de performance, types des espaces, coût, caractéristiques des espaces.

Par une telle adaptation, Hershberger espère que les valeurs pertinentes du maître d'ouvrage, des usagers, du concepteur et de la société soient intégrées au programme, que les objectifs importants du projet soient articulés, que les faits soient découverts et que les besoins et les exigences soient explicitement exprimés. Hershberger propose un modèle matriciel pour structurer les informations collectées par des entretiens. (Tableau I-4).

Value-Based Programming Matrix				
Values	**Goals**	**Facts**	**Needs**	**Ideas**
Human				
Environmental				
Cultural				
Technological				
Temporal				
Economic				
Aesthetic				
Saftety				
Other				

Tableau I-4. La matrice d'entretien du modèle basé sur les valeurs. (Hershberger, 1999)

Hershberger déclare que sa méthode de la programmation amène une investigation sûre de la nature fondamentale des problèmes de conception. Le défi est de définir par les participants les valeurs relatives au problème du projet, dont le moyen principal est l'entretien et la discussion avec toutes les parties prenantes. Mais, Hershberger ne donne aucune définition pour le problème. Le mot « contradiction » est présent trois fois dans son livre en citant le livre de Venturi, et une fois pour désigner la contradiction entre des enjeux esthétiques. Le mot « *conflict* » est utilisé six fois pour désigner les conflits potentiels entre des parties prenantes du projet.

I.2.4. L'instrumentalisation de la programmation

Le paragraphe précédent a présenté quatre modèles principaux à base desquels les méthodes de programmation architecturale structurent les informations. Cependant, ces structures sont évaluées comme inadéquates pour le processus heuristique de programmation architecturale. (Blyth & Worthington, 2010) Ainsi, le développement du programme se fait plus ou moins de façon intuitive. Un des manques concerne un système actif offrant une structure compréhensive et flexible pour le programme. Cela a produit un déplacement d'intérêt des recherches de la méthodologie vers l'instrumentalisation du processus de la programmation. Cependant, comme (Chung et al., 2009) le soulignent, la recherche sur l'utilisation de technologies informatiques en programmation architecturale est limitée, et l'informatique est considérablement moins impliquée dans la programmation que dans la conception architecturale. Ainsi, le processus de programmation reste essentiellement un processus manuel utilisant des supports passifs comme le papier, les simples bases de données, les fiches de notes et les logiciels bureautiques (Word, Excel etc.). (Mauger, 2014) Mais, le besoin de systèmes actifs s'est avéré pour des raisons récurrentes comme la nécessité de mettre à jour le programme, la nécessité d'intégrer la programmation à d'autres étapes de conception, l'intérêt de réutiliser les informations dans d'autres projets, etc.

Cette demande a sollicité des recherches pour élaborer des supports actifs informatiques. (Yu, Shen, Kelly, & Hunter, 2007), (Ann T. W. Yu, 2005), (Shen, Li, Chung, & Hui, 2004), (Barrett, Hudson, & Stanley, 1999). Nous pouvons identifier deux tendances dans ces recherches. Premièrement, les recherches qui tentent d'adapter des techniques utilisées dans d'autres domaines. À l'instar des modèles du Management des Connaissances (Hassan, 2013), des techniques du Management des Valeurs comme le système de support des décisions (*DSS*) (Luo, Shen, Fan, & Xue, 2011), des techniques de Spécification de Performance Fonctionnelle (*FPS*) (Luo & Shen, 2008), des techniques de Gestion de Connaissances du Produit (*PKM*), des techniques des Mesures de Performances de conception, du Modèle de Gestions des Exigences, des techniques de Planification Analytique de conception et de l'Analyse des Besoins Stratégiques. (Chung et al., 2009) Deuxièmement, les recherches qui tentent de développer des outils spécifiques à la programmation architecturale. Étant donné qu'identifier et présenter des exigences du projet constituent un des objectifs principaux de cette activité, plusieurs travaux de

recherches se focalisent sur cet enjeu. Les systèmes suivants sont représentatifs de cette tendance.

Une des premières tentatives est le système *SEED-PRO* développé par (Akin et al., 1995a). Par une approche basée sur les cas, le *SEED-PRO* cherche à structurer l'espace des exigences d'un projet architectural et à le relier avec les étapes ultérieures de la conception.

À base des techniques d'Analyse des Besoins Stratégiques, (Smith & Love, 2000) ont développé un système pour aider les parties prenantes d'un projet à identifier les priorités des besoins dans les phases amont de la programmation. Un logiciel support, nommé *Stratigeizer,* assiste les acteurs du processus de prise de décision en offrant des moyens de discussion et de négociation.

Le *Client-Pro* de (Kamara & Anumba, 2001) est un autre système qui vise la spécification des exigences du projet. Il s'agit d'une tentative de systématisation de la démarche concernant la définition, l'analyse et la cartographie des priorités des besoins et des exigences exprimés par le maître d'ouvrage. Ce système est basé sur la théorie de l'ingénierie concurrente pour intégrer la programmation dans le cycle de vie du projet.

RaBBiT développé par (Erhan, 2003) est une application prototype visant à faciliter l'interaction entre le programmiste et l'ordinateur en présentant un cadre interactif pour exprimer des exigences des fonctions types et récurrentes.

(Kiviniemi, 2005) développe une interface à ajouter à *Building Product Model*. Cette interface a pour objectif de permettre le programme de se mettre à jour, de faciliter l'évaluation des impacts de la solution conçue sur les objectifs initiaux du projet. Cette interface se rapporte aux conflits utilisateurs. Car, en tant qu'informations descriptives et flux, la compréhension nécessite une interaction humaine. Finalement, c'est le maître d'ouvrage ou le programmiste qui doivent décider entre les exigences et les besoins contradictoires sur la base de priorité ou par le biais de compromis. Kiviniemi reconnaît la recherche systématique et automatisée des exigences contradictoires comme une perspective de recherche.

Le système *Design Track* de ((Ozkaya & Akin, 2007), (Ozkaya & Akin, 2006)) est une autre interface basée sur le système *LEED* pour évaluer le respect des exigences de la conception finale.

(Chung et al., 2009) proposent un cadre conceptuel collaboratif permettant à des parties prenantes de travailler ensemble via un réseau virtuel partagé. Le système vise à améliorer la précision et la transparence de la spécification des exigences.

(Mauger & Kubicki, 2014), proposent un système centré sur la notion du service ayant pour objectif d'assister le programmiste dans le traitement des exigences en offrant une synthèse de ces éléments sous forme de diagramme fonctionnel. Ce système permet de réserver la traçabilité des propositions du programme jusqu'aux solutions architecturales.

Aucun des systèmes mentionnés ci-dessus ne se focalise sur l'identification des contradictions entre les exigences, les besoins et les solutions.

En ce qui concerne la typologie des informations utilisées dans le programme architectural, nous pouvons identifier des deux types d'informations : descriptives et spatiales. Elles sont présentées par le format texte (les objectifs, les réglementations), le format tabulaire (le budget, le planning temporel) et le format graphique (le diagramme en bulle, l'organigramme, la carte, les plans, le gabarit, etc.). La complexité du raisonnement permettant de traduire ces données, qui se produisent au fur et à mesure, en descriptions non ambiguës et l'incapacité des systèmes informatiques actuels dans la formalisation d'un tel raisonnement sont à la source de l'échec relatif des tentatives de développer des outils informatiques actifs pour la programmation architecturale. (Akin, Sen, Donia, & Zhang, 1995b). L'autre raison concerne la partialité et l'incomplétude des modèles proposés pour décrire le processus de programmation.

Le modèle *Building Programming information exchange* ("BPie," n.d.) élaboré par *National Institut of Building Sciences* des États-Unis (La Fig. I-13) illustre le processus général de programmation. C'est un modèle générique ayant un degré d'interprétabilité assez élevé pour s'adapter aux différents types projets. De plus, ce modèle est adapté par plusieurs systèmes du Modèle d'information unique du bâtiment[1] (*BIM*), y compris *Autodesk*.

[1] *building information modeling*

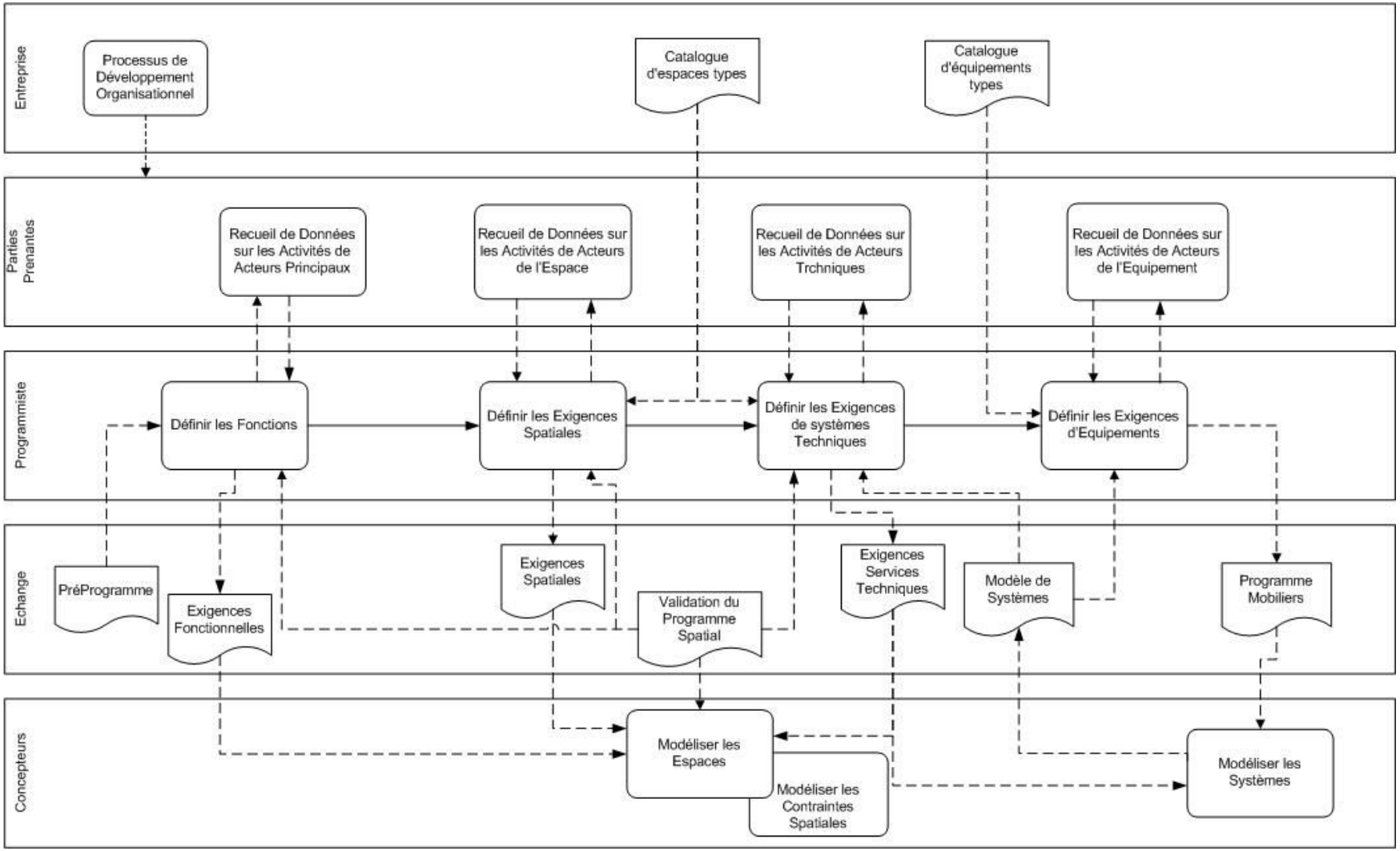


Fig. I-13. Le modèle simplifié de programmation. D'après "BPie," n.d.

I.2.5. Les stratégies des méthodes de programmation architecturale

Comme nous l'avons vu, les méthodes proposées pour la programmation ont pour objectif principal de développer un modèle pour obtenir et organiser les informations à traiter. Mais, le traitement d'informations nécessite une stratégie qui définit comment les informations collectées doivent être traduites et surtout quelle est la finalité du traitement. Parmi les méthodes mentionnées, il semble que seul le modèle Peña présente explicitement une stratégie guidant les étapes de la programmation vers une fin bien précise, en l'occurrence définir un nombre limité des problèmes concernant la forme, la fonction, le budget et le délai. Cependant, pour toutes les autres méthodes, nous pouvons tracer une ligne directrice qui est sous-jacente à leurs suggestions, structure et modèle.

(Ryd, 2004) souligne que si la littérature concernée présente l'organisation des informations, les étapes de la programmation et le contenu du programme, les stratégies mises en œuvre par les méthodes ont, en revanche, été beaucoup moins recherchées. De plus, à partir de recherches empiriques, elle démontre l'intérêt significatif de définir une stratégie à mettre en œuvre pendant le processus de programmation et identifie cinq stratégies appliquées par les programmistes pour orienter leurs activités de programmation. Elles sont les suivantes :

1. À la recherche de problème[1]
2. Analyse des besoins stratégiques[2]
3. Approche du choix stratégique[3]
4. Scénario planifié[4]
5. Indicateurs de qualité de conception[5]

La première stratégie, « À la recherche de problème » proposée par Peña, est présentée dans (le Paragraphe I.2.3.1). Ce qui suit résume quatre autres stratégies.

La deuxième stratégie, « Analyse des besoins stratégiques », est formulée par ((Smith, 2005), (Smith & Love, 2000)) à l'université de Melbourne. Cette stratégie vise à définir des

[1] *Problem seeking*
[2] *Strategic needs analysis*
[3] *Strategic choice approach*
[4] *Scenario Planinnig*
[5] *Design quality indicators*

besoins de toutes les parties prenantes du projet. La différence avec d'autres méthodes de programmation réside dans le type des questions posées par cette stratégie qui se focalise sur les axes du plan stratégique du développement de la maîtrise d'ouvrage et engage cette dernière dans le processus de manière explicite.

La troisième stratégie, « Approche du choix stratégique », est développée comme une méthode de support au processus de prise de décision dans une situation complexe multifactorielle. Cette approche consiste en quatre cycles (Friend & Hickling, 2005). Dans le premier cycle, nommé « mode de mise en forme[1] », l'équipe de programmation établit des zones de décision et identifie les problèmes qui se trouvent dans ces zones, ainsi que leur importance. Dans le deuxième cycle, appelé « mode de conception[2] », l'équipe tente d'identifier les actions possibles et la combinaison éventuelles dans la zone identifiée par le premier cycle. Dans le troisième cycle, dit « mode de comparaison[3] », l'équipe évalue les actions en fonction des critères communément établis. Enfin, dans le quatrième cycle, appelé « mode de choix[4] », l'équipe se met d'accord sur les zones et identifie les explorations possibles, ainsi que les incertitudes.

La quatrième stratégie, « Scénario planifié », se focalise sur les objectifs à atteindre. Dans cette approche, la logique du développement, les forces internes du projet, et les parties prenantes sont identifiées. Les scénarii décrivent la situation future souhaitable prenant en compte la probabilité des événements qui se réaliseront. Ainsi, les conséquences des choix pourront être évaluées. Une méthode élaborée sur cette base est *TAIDA* (*Tracking, Analysing, Imaging, Decideing, and Acting*) par (Lindgren & Bandhold, 2002).

La cinquième stratégie, « Indicateurs de qualité de conception », est basée sur le constat que si le maître d'ouvrage est impliqué dans les détails du programme, le bâtiment construit ultérieurement possède une qualité supérieure à ceux qui sont construits à partir du programme non participatif. Dans cette stratégie, un outil d'évaluation sous forme de questionnaire est élaboré afin d'évaluer la qualité attendue. L'objectif est de créer un modèle de référence pour la discussion entre les parties prenantes.

Nous pouvons constater qu'aucune de stratégies présentées ci-dessus n'est centrée sur la contradiction.

---

[1] *shaping mode*
[2] *designing mode*
[3] *comparing mode*
[4] *choosing mode*

I.2.6. La conclusion

Dans la Section présente, nous avons abordé la question des méthodes et des modèles de programmation architecturale. L'objectif était d'établir un état de l'art centré sur la notion de contradiction et la façon dont elle a été appréhendée par ces méthodes.

En ce qui concerne le programme architectural, nous partageons la compréhension de (Kumlin, 1995), selon laquelle ce document décrit à la fois une situation future souhaitée et une situation problématique existante. À ce titre, la programmation architecturale est aussi un processus de conception, car il correspond à la définition donnée pour la conception comme « un mouvement de la situation initiale vers une situation souhaitée à travers certain étapes intermédiaires ». (Goldschmidt, 2001) Et, le programmiste est un concepteur comme il correspond à la définition de (Simon, 1981) : « quiconque imagine quelques dispositions visant à changer une situation existante en une situation préférée est un concepteur ».

Tous les aspects du projet (fonctionnel, structurel, social, esthétique, économique, environnemental, etc.) qui ont une importance pour la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre peuvent et doivent être abordés par le programme. Alors que la situation problématique existante présente les problèmes, les manques, les ressources, les contraintes et les valeurs, la situation souhaitée esquisse le portrait d'un futur en décrivant les objectifs et les exigences. Le programme peut comprendre également des actions et des moyens pour réaliser la situation souhaitée.

Cette thèse adhère également à la vision selon laquelle la programmation et la conception architecturale entretiennent des interactions. La conception est un processus itératif durant lequel les problèmes et les solutions se construisent simultanément et ne font qu'un espace (l'espace de problème). Ainsi, la définition du problème dépend de celle de solution et vice et versa.

Le propre des méthodes élaborées pour la programmation architecturale est de proposer une démarche pour collecter diverses informations pour décrire les deux situations indiquées ci-dessus. Alors que ces méthodes sont plus au moins homogènes par rapport aux types d'informations à collecter, chacune propose une démarche différente et un modèle particulier pour les structurer. De même, elles utilisent des termes spécifiques. Cependant, malgré une disparité des termes utilisés, nous pouvons constater que ces derniers font référence à des notions similaires. Le Tableau I-5 présente une synthèse des notions que ces

méthodes utilisent. Le code couleur désigne les notions analogues. Cependant, il est important de souligner que les notions sont des formats poreux pour des informations ; par exemple, une exigence peut être considérée comme un objectif à atteindre, ou un fait peut représenter aussi bien une contrainte qu'une opportunité. Dans le tableau, l'ocre désigne la structure proposée pour des informations, le bleu signifie les descriptions de la situation existante ; le marron correspond aux descriptions de la situation souhaitée, le jaune signifie les actions ou les concepts permettant de réaliser cette dernière, et finalement, le vert représente l'énoncé du problème.

En fait, toutes les méthodes proposent d'énoncer les objectifs, les enjeux ou les problèmes du projet. (Cherry, 1999) souligne que ces énoncés doivent être compris comme des synthèses de toutes informations collectées. Mais, comme le tableau le montre, seulement (Peña & Parshall, 2001) considèrent l'énoncé du problème comme une finalité de la programmation, et seulement, Cherry propose un formalisme pour présenter la contradiction. La synthèse faite dans cette section montre que les modèles principaux des méthodes de programmation n'utilisent pas la contradiction comme stratégie conceptuelle pour transformer des informations collectées en donnés structurées favorisant la construction des problèmes du projet.

Knowledge-based programming			***Behavioral-based programming***	***Issue-based programming***		***Value-based programming***
Peña (1969, 2001)	**Palmer (1981)**	**Cherry (1998)**	**Farbstein (1977, 1985)**	**Duerk (1993)**	**Kumlin (1995)**	**Hershbeger (1999)**
Catégories d'information (Fonction, Forme, Budget, Temps)	Catégories de facteurs (Humaine, Physiques, Externes)	Contexte	Mission	Enjeux (*issues*)	Enjeux (*issues*)	Enjeux (*issues*)
Objectifs	Enoncé de la mission	Objectifs (Buts et goals)	Objectifs	Enoncé de la mission	Enoncé de la mission	Propos du projet
Faits	Observation	Stratégies	Usagers et leur comportement	Valeurs	Enoncé de priorités	Valeurs
Concepts (niveau de programme)	Prédiction	Exigences	Critères de performance	Objectifs	Objectifs (niveau de programme)	Objectifs (Buts et goals)
Besoins	Recommandations	Énoncé de Problèmes, y compris de contradiction	Caractéristiques d'espaces	Exigences de performance	Concepts (niveau de programme)	Faits
Énoncé de problèmes	Exigences spatiales			Concepts et caractéristiques d'objets	Concepts (niveau de conception)	Besoins

Tableau I-5. Les concepts utilisés par les modèles des théories de la programmation architecturale

Ch. I.3. La conclusion du Chapitre I

La première section de ce chapitre a été consacrée à la programmation architecturale dans le contexte français. Nous avons vu que les démarches appliquées par les programmistes ne proposent aucun modèle pour exprimer les conflits et les contradictions entre les objectifs, intérêts et cognitions des parties prenantes du projet architectural. Par conséquent, même si une contradiction est observée ou exprimée implicitement pendant la programmation, elle ne peut pas être présentée dans le document du programme. Alors que la concertation entre les parties prenantes et dépasser les conflits et contradictions du projet font partie aux enjeux principaux de la programmation architecturale, le manque d'un modèle précis pour exprimer explicitement ces éléments fait que le programmiste et l'architecte pour concevoir des solutions s'appuient sur les compromis, les essais et erreurs, et le tâtonnement ; ceux qui ne garantissent ni la satisfaction des usagers ni des solutions inventives.

De même, l'étude du contexte français montre que si le programme architectural est appréhendé comme support d'invention, il doit aussi présenter l'ensemble des contraintes du projet considérées comme brimant l'invention et la créativité. (voir I.1.2.4)

Ainsi, nous avons défini la potentielle agentivité du programme architectural pour concevoir des concepts et solutions innovants en phase amont de la conception architecturale et le rôle que la représentation de contradictions du projet pourrait avoir dans la stimulation d'une telle agentivité comme l'axe « problématique professionnel » sur lequel cette thèse se focalise.

De plus, les enjeux principaux de la programmation architecturale identifiés dans la première section nous a permis de définir sept critères d'évaluation d'un modèle de programme (voir I.1.3). Ces critères seront utilisés pour évaluer les résultats de notre étude empirique présentée dans la Deuxième Partie : Étude empirique.

La deuxième section a étudié la littérature scientifique sur la programmation architecturale. L'état de l'art centré sur la notion de contradiction faite dans cette section nous a montré que les modèles principaux des méthodes de programmation n'utilisent pas la contradiction comme stratégie conceptuelle pour transformer des informations collectés en donnés structurées favorisant la construction des problèmes du projet.

Cette thèse est menée dans le Laboratoire de Génie de Conception (LGéCo) de l'INSA de Strasbourg, étant le seul institut français accueillant à la fois une formation architecture et des formations d'ingénieurs. Le LGéCo est également un laboratoire de recherche interdisciplinaire connu pour sa contribution au développement de la théorie TRIZ. Selon cette théorie, tout problème a pour origine une ou plusieurs contradictions. Pour la TRIZ, les conflits et les contradictions ne sont pas des facteurs brimant de l'invention. Au contraire, elle les considère comme les noyaux de l'invention. C'est pour cette raison que cette thèse tente d'examiner les apports du modèle de contradiction selon la méthode de la TRIZ pour la phase de programmation.

Nous allons présenter dans le chapitre suivant la théorie TRIZ et son développement récent intégrant la phase de l'analyse de la situation initiale au processus de conception. Cette phase est menée selon une stratégie particulière, qui estime que tout acte de recherche, de structuration et d'interprétation des informations doit viser simultanément l'identification des problèmes, voire des contradictions, et les caractéristiques de la solution. Autrement dit, cette stratégie conceptuelle coordonne toute activité de conception et conduit à la construction simultanée de problèmes et de solutions.

Dans cette thèse nous proposons la contradiction à la fois comme stratégie conceptuelle guidant la recherche et la structuration des informations et comme modèle d'interprétation et de représentation des éléments fondamentaux de la conception, à savoir les objectifs, les contraintes et les solutions. Ainsi, notre « contribution scientifique » est d'examiner les apports éventuels de la notion de contradiction au sens TRIZ en phase amont de la conception architecturale. Nous proposons donc d'ajouter un ensemble structuré de problèmes sous forme de contradictions au document du programme architectural. Nous nous intéressons également aux incidences d'application de cette stratégie conceptuelle sur les principaux enjeux de la programmation architecturale. Pour mieux illustrer cette proposition, nous l'avons ajouté au processus de programmation modélisé par ("BPie," n.d.). (Fig. I-14)

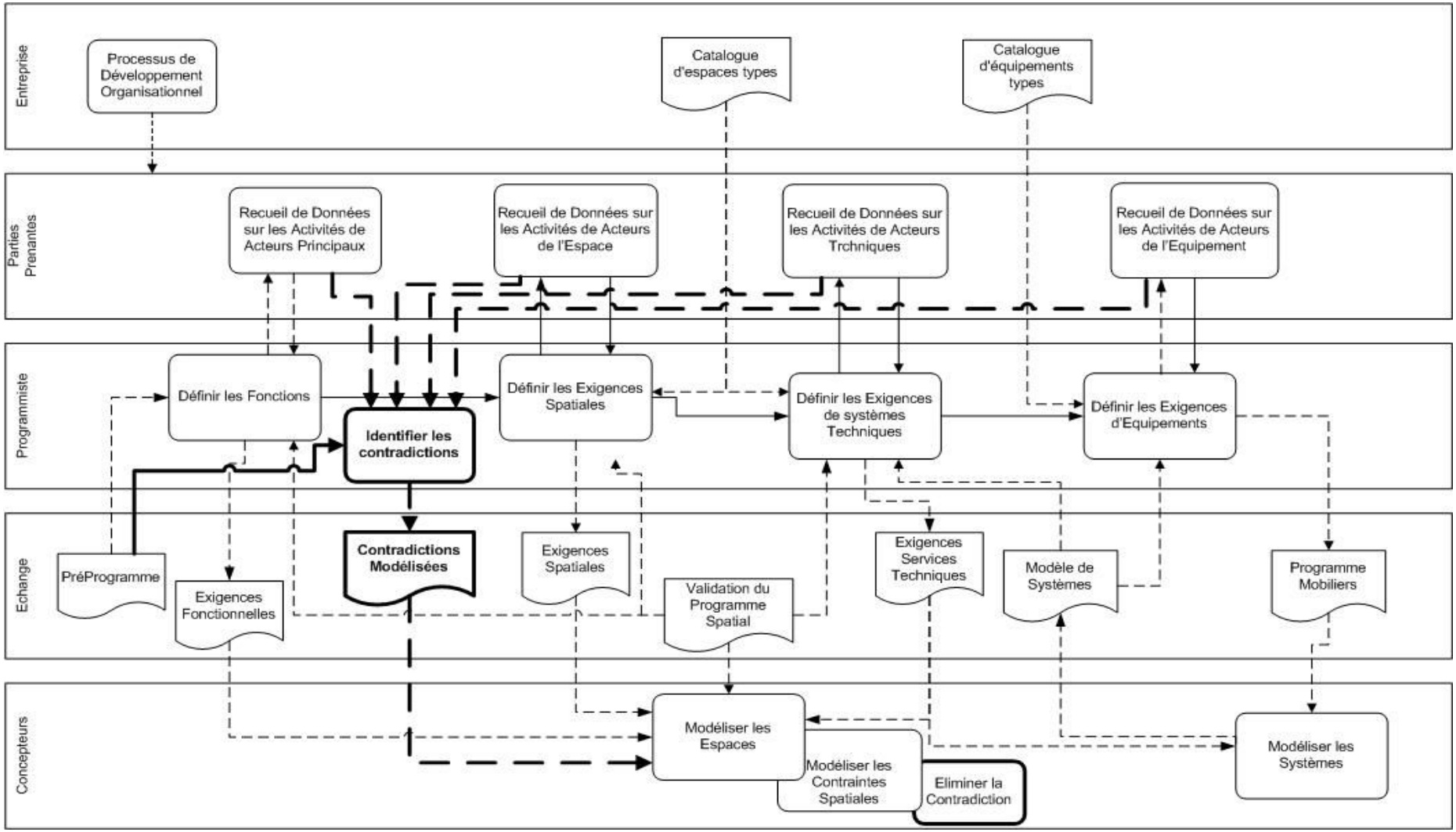


Fig. I-14. La proposition de la thèse : Ajouter un ensemble structuré des problèmes du projet sous forme de contradiction (les éléments en gras) au programme architectural. Modèle de base emprunté de ("BPie," n.d.)

Chapitre II La TRIZ

La TRIZ est un corpus théorique élaboré par Genrich S. Altshuller (1926-1998) destiné au développement de nouveaux produits. Elle tente de mener le concepteur vers une solution inédite tout en diminuant le nombre d'essais et erreurs. Le terme TRIZ est dérivé de l'acronyme de russe de *Теория Решения Изобретательских Задач* (en alphabet cyrillique) signifiant Théorie de Résolution des Problèmes Inventifs. La TRIZ comprend un ensemble de notions essentielles, de techniques et de modèles de formulation et de résolution de problème, ainsi que de moyens d'exploration des mécanismes de l'évaluation des systèmes techniques, d'outils pour le déblocage de l'inertie psychologique et pour la stimulation du répertoire cognitif. La théorie TRIZ est basée sur trois postulats fondamentaux : les tendances (lois) objectives de l'évolution de systèmes techniques, la contradiction comme la cause de tout problème inventif, le concept de situations spécifiques comme la restriction. (G. Altshuller, 1977a) Ainsi, la TRIZ indique que pour évoluer d'une génération à une autre, un système technique résout ses contradictions, tend selon des lois objectives vers une idéalité, tout en minimisant l'usage de ressources disponibles dans sa condition spécifique.

La TRIZ n'est pas une panacée pour tout problème ; elle ne remplace pas la connaissance de l'expert et l'ensemble de ses outils et techniques n'a pas vocation d'un algorithme intelligent remplaçant le concepteur. Elle a pour objectif d'assister le concepteur dans la recherche des concepts de solution pour les problèmes inventifs. ((Cavallucci & Eltzer, 2011), (Khomenko, et al. 2007), (Dubois, 2004)) Cette situation exige à la fois de reformuler le problème et de rechercher une solution inédite. Pour ce faire, la théorie TRIZ s'appuie sur la pensée dialectique. Au lieu d'essayer de résoudre le problème, la TRIZ

propose de l'aborder par le biais de la contradiction qui l'a causé. Dans les situations complexes dont les problèmes sont multiples, l'expert TRIZ joue le rôle de catalyseur ou de facilitateur. Il concerte la discussion et la collaboration entre les experts et tente de les amener à identifier le problème clé et puis à l'énoncer clairement. Ce dernier est représenté sous forme de contradiction composée d'un objectif et des contraintes qui empêchent sa réalisation. L'expert TRIZ assiste à l'acquisition de connaissances nécessaires et à la génération de concepts de solution en facilitant l'accès à la base de connaissances de TRIZ. Il ne s'agit pas du rôle d'un intervenant de séances de brainstorming ; car selon la logique dialectique de TRIZ, les participants sont encouragés de s'exprimer en respectant un modèle particulier.

Ce chapitre est structuré en deux sections. La première section présente la théorie de la TRIZ, sa genèse, ses postulats, ses principes, ses outils et techniques et ses développements. Cette présentation s'appuie sur les recherches que LGéCo a menées pour clarifier l'ambiguïté relative qui s'est formée autour de la démarche, l'objectif, la structure et les concepts de la théorie TRIZ ; et qui est due à son évolution progressive, la contribution de plusieurs auteurs, la traduction imprécise, etc. La deuxième section est consacrée à la présentation de l'état de l'art (*review*) relatif à l'application architecturale de la TRIZ.

II.1.1. La TRIZ, sa genèse et ses développements

Genrich S. Altshuller (1926-1998) fut un ingénieur, scientifique, inventeur, journaliste et écrivain russe. Il fut engagé par la marine comme examinateur de brevets pour étudier les inventions proposées pour être brevetées et pour accompagner les inventeurs dans leurs démarches de dépôt de brevet. (Cavallucci & Weill, 2001) Pour identifier ce qui constitue la nouveauté d'une invention, il a focalisé son intention sur les processus par lesquels la solution a été trouvée indépendamment de la technologie appliquée. Cette approche particulière lui a permis d'identifier un ensemble de concepts génériques. Ces derniers ont été ultérieurement utilisés pour décrire l'évolution des systèmes techniques. De plus, il a très rapidement remarqué que toutes les solutions brevetables sont obtenues par élimination d'une contradiction. (Arciszewski, 1988) À partir de 1946, Altshuller s'attache à l'élaboration d'une méthode pour résoudre les problèmes inventifs. Les notions de système et de contradiction et la façon dont Altshuller les applique montrent une filiation entre sa pensée et la pensée hégélienne ((Renaud et al., 2014), (J. Vincent, 2009), (Savransky, 2000)) L'ambition d'Altshuller peut être comprise en la situant dans le contexte intellectuel dominé par la pensée dialectique dans les pays soviétiques des années 1940. Ainsi, le changement inévitable comme caractéristique principale de la dialectique (Rowan, 2001) et la contradiction comme son mobile (Dubois et al., 2009) forment la pensée d'Altshuller qui les a mis au cœur de la TRIZ. De même, le contexte social de cette époque, mobilisé par l'idée de progrès et d'innovation, a encouragé Altshuller à chercher une méthode systémique et générale pour aider les concepteurs à être plus inventifs. Pour Altshuller, toute invention a été un jour considérée comme irréalisable ; elle « est une voie à travers l'impossible. Généralement, l'impossible signifie seulement impossible par des moyens existants. L'inventeur doit trouver un nouveau concept, et puis l'impossible devient possible ». (G. Altshuller, 1977b) Pour commencer, il faut donc expliquer les inventions déjà réalisées. Altshuller entame cette étude dès les années 1940. Et la théorie de la TRIZ se développe continuellement depuis sa genèse. (Kucharavy, 2012) identifie six étapes dans le développement de TRIZ.

- Étape 1 (milieu des années 1940 - fin 1940) : Étudier des expériences d'inventeurs et extraire les caractéristiques des bonnes solutions pour les différencier de solutions ordinaires.

- Étape 2 (fin des années 1940 - milieu des années 1960) : Construire un plan permettant d'effectuer une analyse systémique du problème afin de révéler, d'étudier et de résoudre les contradictions techniques. Le plan ne remplace pas l'inventeur, mais lui fournit des techniques utiles pour la résolution de problèmes. Le résultat est le début de l'identification des principes inventifs.
- Étape 3 (milieu des années 1960 - milieu des années 1970) : Former la Théorie de la résolution de problèmes inventifs (TRIZ), basée sur les lois objectives d'évolution des systèmes techniques pour résoudre les problèmes inventifs par une démarche systémique.
- Étape 4 (milieu des années 1970 - milieu des années 1980) : Évolution de la TRIZ vers la Théorie de l'évolution de systèmes techniques (TRTS). Diffusion de la TRIZ dans les institutions soviétiques. Premières tentatives pour appliquer la TRIZ dans les domaines non-ingénieries. Développer les Standards inventifs.
- Étape 5 (milieu des années 1990 - milieu des années 2000) : Première publication sur la Théorie de stratégie de la vie créative (TRTL). Diffusion de la TRIZ dans le monde entier. Dans cette étape, la TRIZ s'oriente vers les problèmes complexes et la complexité.
- Étape 6 (Étape actuelle) : Développement des applications de TRIZ, élaboration des méthodes basées sur la TRIZ. (Kucharavy, 2012)

II.1.2. Les fondements théoriques de la TRIZ

II.1.2.1. La position épistémologique de la TRIZ

La polémique entre l'approche rationnelle de résolution de problèmes, telle qu'elle est décrite par (Simon, 1981), et l'approche constructiviste de problème-cadrage, proposée par (Schön, 1983), est toujours vive. (Soo Meng, 2009) (Dorst & Dijkhuis, 1995) argumentent que la première explique la conception quand les problèmes sont bien définis, mais pour les problèmes mal définis[1], la conception est mieux décrite par la notion de la réflexion-en-action de l'approche constructiviste. Cependant, (Farrell & Hooker, 2013) montrent que la distinction entre le problème mal défini de la conception et le problème précis de la science n'est pas claire et que toutes les caractéristique moutonnées par (Rittel & Webber, 1973) pour un problème mal défini sont attribuables également aux problèmes scientifiques. De plus, (Kim & Maher, 2008) soulignent que les dernières recherches cognitives favorisent plutôt la description de Simon, même si aucune de ces deux écoles n'a pu persuader l'autre. (Kimbell, 2009)

Entre le positivisme et le constructivisme, la TRIZ prend une position épistémologique intermédiaire. ((Gartiser & Dubois, 2005), (Dubois & Gartiser, 2005)) expliquent que ce qui permet à la théorie de la TRIZ d'agir selon une épistémologie partagée est l'itération entre le postulat des lois objectives et celui de la situation spécifique. Et c'est dans cette itération que le problème se construit. Ainsi, le processus fonctionne selon un triptyque :

- A) Il utilise les descriptions des objectifs et des contraintes connues du problème peu défini pour construire un problème en reformulant les objectifs, en identifiant des contraintes et des ressources propres au problème et en exploitant le sens de l'évaluation ;
- B) il produit un portrait de la solution en définissant ses caractéristiques ;
- C) et finalement, il adapte ce portrait à la situation spécifique.

De ce va-et-vient découle un autre effet : la continuité problème-solution. Dans le processus de résolution de problème de la TRIZ, la formulation du problème et la définition de la solution ne peuvent être disjointes. En effet, la précision de la formulation du problème se fait par les itérations successives entre les contraintes que la situation spécifique impose et celles imposées par les lois objectives. Cette opération, qui a pour but d'abstraire

[1] *wicked problems*

progressivement les données du problème, illustre en même temps le portrait de la solution. Autrement dit, le problème et la solution sont progressivement co-construits et c'est la compréhension accrue du problème que fait émerger la solution. L'impossibilité de distinguer la définition de problème et la conception de solution vient du fait que les traits du profil de la solution sont déjà présents dans l'énoncé de problème, même de manière sous-jacente. Dans le Chapitre I, nous avons évoqué la controverse sur la distinction entre la programmation et la conception. L'approche itérative de la TRIZ devrait aider à surmonter cette rupture.

Dans l'approche de la TRIZ, le mode de raisonnement mis en œuvre pour cette itération est principalement celui de l'analogie. Pour qu'un raisonnement par analogie puisse se réaliser, un modèle est nécessaire pour la formulation et la représentation des problèmes et des solutions. ((Najari & Rabar Behbahani, 2010), (Nouvel, 2002)) Ce modèle permet, en outre, de classifier les problèmes analogues et de les relier à des solutions génériques. La TRIZ dispose de différentes méthodes pour la formulation et la représentation d'une situation problématique. Toutes ces méthodes s'attachent à identifier la contradiction inhérente à la situation problématique.

Ce mode de raisonnement active l'inertie psychologique du concepteur. En fait, tout concepteur s'appuie sur son répertoire cognitif pour aborder tout nouveau problème. Ce répertoire, comprenant le savoir et le savoir-faire du concepteur, est exploité à travers une certaine expertise acquise au cours de la formation et des expériences du concepteur. En plus des limites naturelles de la connaissance d'un individu, une telle exploitation impose deux autres limites. Premièrement, le concepteur décrit le problème par une vision spécifique souvent façonnée par son domaine d'expertise. Cette vision peut être réductrice pour une conception inventive et empêche le concepteur d'envisager les solutions potentielles issues de domaines autres que celui de son expertise. Deuxièmement, le concepteur n'a pas constamment accès à tout le contenu de son propre répertoire cognitif. Ce phénomène, connu sous l'expression « *unknown known* » (choses qu'on ne sait pas qu'on sait (Vincent, 2009)), évoque un phénomène selon lequel il se peut que le concepteur ignore ou n'exploite pas une partie de sa connaissance qu'il pense être sans rapport avec le problème. La TRIZ propose également des techniques pour éviter la perturbation de la faculté cognitive humaine due aux phénomènes comme l'utilisation de termes spécifiques souvent chargés de significations et connotations, des patterns prédominants et typiques de résolution de problèmes, et aussi le désir d'obtenir la solution le plus rapidement possible.

II.1.2.1.1. L'approche convergente

La résolution de tout problème passe par le fait de représentation successive. (Simon, 1981) Au cours de ces représentations successives, le concepteur tente d'aborder le problème sous différents aspects, échelles, et points de vue. (Kalay, 2004) montre que par ce processus, non seulement le problème est reformulé de manière différente, mais diverses solutions seront aussi générées. De même, (Goldschmidt, 2001) souligne que la représentation multiple est un va et vient entre les arguments conceptuel et figurale du problème, et cette répétition sert à la construction de solution. (Dorst & Cross, 2001) montrent que cette représentation successive a pour but à la fois de générer des solutions alternatives et d'examiner les solutions sélectionnées ; ce qui aboutit à deux actions : l'élargissement et la réduction alternativement du champ de recherche ou de l'espace de solutions. Cette approche distingue l'espace de problèmes à celui de solutions comme les solutions peuvent se développer indépendamment aux problèmes. (Kalay, 2004) souligne que cette recherche met en œuvre deux logiques différentes : la logique de la divergence qui génère des solutions et élargir l'espace de solution ; et, la logique de convergence qui évalue des solutions, garder les solutions pertinentes et éliminer celles qui ne semblent pas pertinentes. La Fig. II-1 illustre la recherche des solutions adéquates dans l'espace de problèmes et l'espace de solutions.

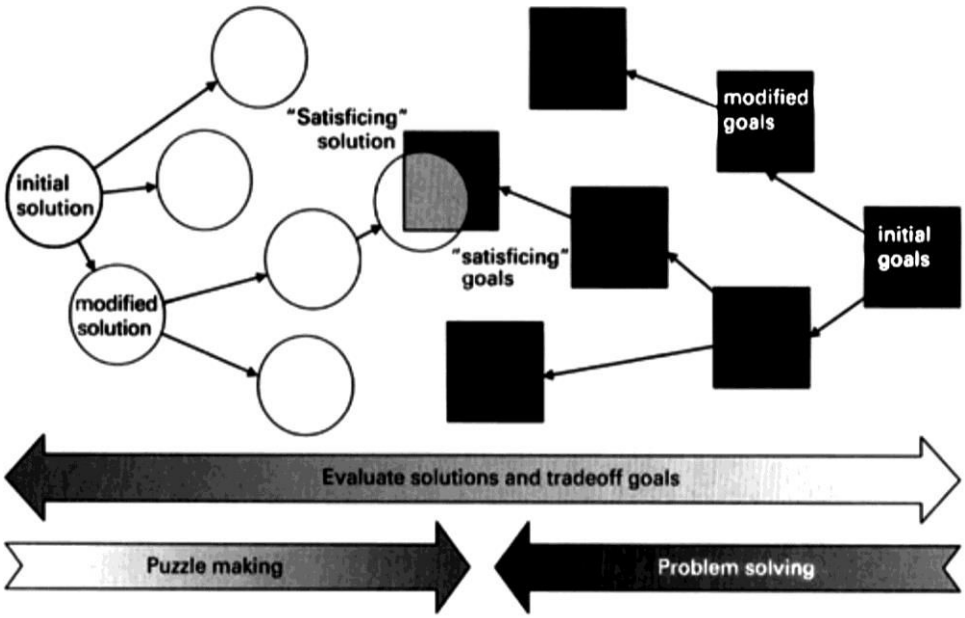


Fig. II-1. Recherche dans l'espace de problèmes et l'espace de solutions. (Kalay, 2004)

La logique de divergence a toujours séduit les concepteurs. Un exemple concerne les tendances récentes en conception architectural : utiliser les algorithmes génératives des

formes pour la génération en plus grand nombre possible, puis sélectionner celles qui résistent à certains critères en fonction des paramètres ou/et des critères choisis. (Larsen, 2012), (Caldas, 2006), (Kolarevic, 2004) La Fig. II-2 illustre cette approche.

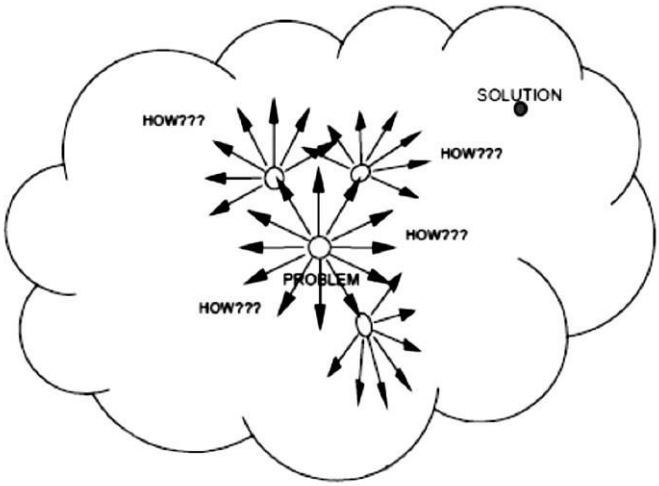


Fig. II-2. L'approche divergente. (Kucharavy, 2012)

Si la logique de divergence a été considérée comme une phase permettant d'accroître des alternatives de solutions, ((Ulrich & Eppinger, 2012), (Liu, et al., 2003)) montrent qu'en pratique seule une vingtaine de solutions alternatives générées et considérées comme appropriées seront examinées par le concepteur. La majorité des autres solutions générées seront très vite éliminées sans être véritablement examinées, et en fonction de l'expertise, des préférences et du jugement individuel du concepteur. Puis, le concepteur examine les solutions qui sont restées par la démarche d'essais et d'erreurs. La Fig. II-3 illustre cette démarche.

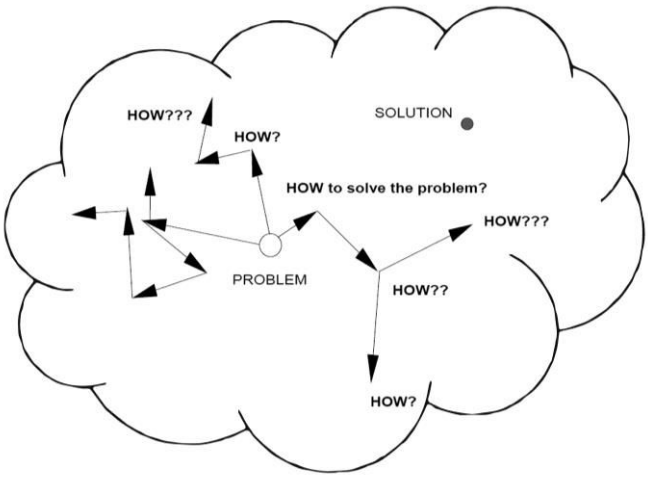


Fig. II-3. L'approche d'essais et erreurs. (Kucharavy, 2012)

(Altshuller, 1984) identifie deux limites insurmontables pour les démarches d'essais-erreurs. La première limite vient du fait qu'elles ne possèdent aucun mécanisme pour garantir la génération d'idées pouvant résoudre le problème. La deuxième limite réside dans

l'insuffisance des critères objectifs pour évaluer les idées générées. Ces dernières sont évaluées en fonction des connaissances et des expériences des experts qui sont naturellement liées à leurs domaines d'expertises et à leurs pratiques, deux éléments qui font partie de l'inertie psychologique des concepteurs. Alors que l'approche convergente de la TRIZ se distingue des approches basées sur les essais-erreurs, comme l'Analyse de la valeur et l'Analyse fonctionnelle, l'approche Axiomatique de la conception, et l'approche de *Quality Function Deployment* (QFD). Ainsi nous pouvons résumer comme suit, les critiques des méthodes courantes dans la conception d'ingénierie selon la théorie TRIZ.

- Elles ne structurent que les problèmes et solutions connus ;
- Elles favorisent l'approche heuristique, y compris l'essai-erreur ;
- Elles ne permettent pas d'investiguer les domaines non connus du concepteur ;
- Elles s'appuient sur l'optimisation ;
- Elles proposent une approche divergente produisant le plus grand nombre possible de solutions, sans définir les critères objectifs d'évaluation ;
- Elles ne prennent pas en compte l'évolution du produit ;
- Elles acceptent le compromis comme solution possible.

La TRIZ se réclame comme une méthode permettant de dépasser ces limites. Selon (Altshuller, 1999), l'intérêt principal de la TRIZ réside dans sa capacité à identifier ce qui constitue le cœur du problème, à savoir la contradiction, et sa capacité à faire converger les recherches de solution et donc diminuer la zone de recherche, et enfin sa capacité à apporter des concepts de solution pouvant être adaptés au contexte du problème.

Dans la démarche convergente de la TRIZ, le nombre de solutions générées n'a pas d'importance. Ce qui importe est la capacité des idées à s'articuler autour de deux axes de restrictions, à savoir celles posées par les lois objectives d'évolution des systèmes techniques et celles posées par la situation spécifique. Le champ des alternatives se réduit progressivement par la reformulation successive du problème. Ainsi, le processus de génération de concepts devient un aller-retour entre la définition de la cause d'un problème résultant des conditions de fonctionnement et la situation spécifique du système traité, pendant lequel le concepteur collecte des informations de plus en plus précises. Ainsi, le concepteur possède des critères objectifs pour à la fois éliminer des concepts de solution et évaluer les restants pour développer une solution en regard de la solution idéale. La Fig. II-4 illustre cette démarche.

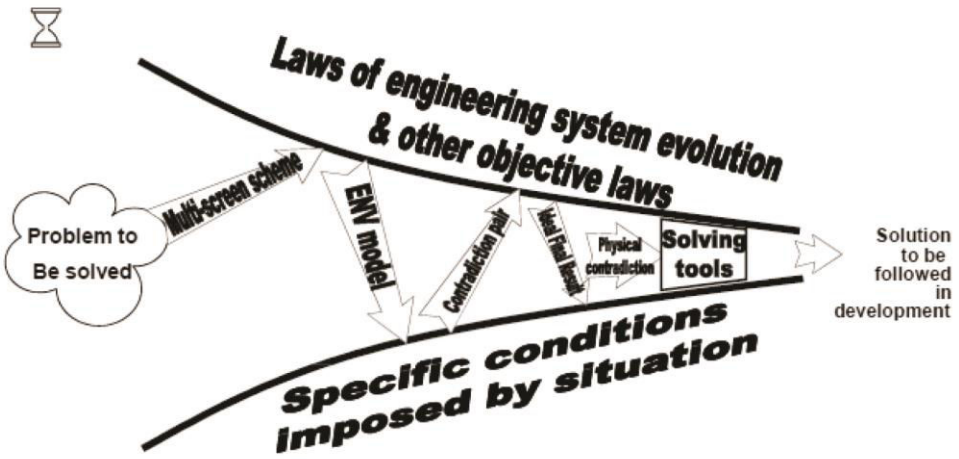


Fig. II-4. L'approche convergente de la TRIZ. (Kucharavy, 2012)

II.1.2.1.2. L'approche systémique

La vue systémique que la TRIZ met à la disposition du concepteur permet à ce dernier non seulement de décrire le système, ses composants (sous-systèmes) et son environnement (super-systèmes), mais aussi d'inscrire ces éléments dans le temps. Cette description morphologique, appuyée par les lois d'évolution des systèmes techniques, apporte un outil d'anticipation technologique. (*forecasting*). (Kucharavy & De Guio, 2007)

Selon la TRIZ, les caractéristiques principales d'un système technique sont les suivantes:

- Chaque système technique est composé de parties et d'éléments qui communiquent entre eux.
- Chaque système, dans son ensemble, possède une propriété particulière qui ne résulte que de l'ensemble de ses éléments constitutifs.
- Toute description donnée pour un système est dépendante de la position de son observateur et par conséquent limitée par elle. Elle ne révèle que certaines caractéristiques du système. Elle est donc réductrice, mais nécessaire pour comprendre le système.
- Les parties d'un système sont interconnectées. Elles sont conçues et liées d'une manière structurée dans l'espace et dans le temps. La TRIZ reconnaît la capacité de « traverser différents niveaux » d'un système et de changer d'échelle afin d'aborder le problème et de le saisir dans différents laps du temps comme une caractéristique de la pensée inventive.

- Chaque système technique est conçu pour des raisons (objectifs, fonctions) spécifiques. La notion de fonction est une notion centrale de la TRIZ. Dans le cadre de cette théorie, la « fonction » attribuée à un élément (ou à un système) ne se limite pas à son fonctionnement. On entend par fonction, la raison d'être de l'élément, ou ce qui fonde son existence. Ainsi, une fonction décrit la capacité d'un système technique de délivrer une propriété demandée dans une condition définie. Cette propriété peut être de nature esthétique, fonctionnelle, économique, etc. Chaque élément a des fonctions variées ; la définition de la fonction principale dépend du point de vue de celui qui décrit l'élément et de l'objectif de l'étude.
- Pour définir la fonction principale d'un système (ou d'un élément), la théorie TRIZ propose de se focaliser sur ce qu'il(s) change(nt). La définition se fait en trois étapes : 1) décrire la fonction par des mots du langage courant ; 2) éliminer les mots spécifiques et le jargon du domaine et reformuler la fonction selon le modèle suivant : Sujet + Verbe + Complément ; 3) utiliser le verbe « changer » au lieu du verbe décrivant la fonction en utilisant le modèle suivant : Sujet + « change » + Complément (propriété ou valeur). L'exemple suivant montre comme la TRIZ décrit la fonction d'une imprimante.
    - L'imprimante imprime des caractères et des lignes sur le papier.
    - L'imprimante marque des caractères et des lignes sur le papier.
    - L'imprimante change la couleur de la surface du papier.

II.1.2.2. Les concepts de base de la TRIZ

La théorie de la TRIZ est basée sur trois concepts fondamentaux. Dans la littérature de la TRIZ, ces concepts sont présentés parfois sous les termes de postulats ou d'axiomes.

1. **Les lois d'évolution :** Dans la théorie TRIZ, on parle de lois objectives pour ceux que d'autres dénommeraient tendances génériques d'évolution des systèmes techniques. (Simondon, 2014) a aussi identifié que les systèmes techniques suivent certaines tendances dans leurs évolutions. Il démontre, par exemple, la tendance vers une intégration dans une unité structurelle des divers composants de l'objet technique qui assume les fonctions de tous ses composants. Autrement dit, un système technique qui est une juxtaposition de diverses fonctions tente vers un état systémique dans lequel ces fonctions sont réalisées par un seul composant. Dans la littérature de la TRIZ, on parlera

aussi de tendances ou encore de lois ou de *trends*. Dans cette thèse, nous utilisons le terme « loi objective » pour préserver une cohérence avec la littérature étudiée et la méthode appliquée.

Selon la TRIZ tout système technique évolue au cours du temps. Cette évolution n'est pas une mutation hasardeuse, mais suit un certain nombre de lois objectives. Altshuller et son équipe ont identifié et formulé huit lois objectives ((Altshuller, 1977a), (Salamatov, 1999)). Ces lois décrivent les relations qu'un système technique établit avec son environnement au cours de son évolution. Altshuller précise qu'aucun problème d'ingénierie n'échappe aux directions objectives de l'évolution technologiques. Ces lois sont invariantes des systèmes techniques et sont indépendantes de la volonté humaine. En observant ces lois, il est possible d'identifier la place actuelle du système sur son évolution (le degré d'évolution), d'anticiper la génération future du système et d'identifier des changements qui vont se produire. Ces lois sont identifiées à partir du cycle de vie des systèmes, de l'analyse de leur potentialité en termes d'idéalité[1] et de l'analyse des brevets.

2. **La contradiction :** Tout problème est issu d'une contradiction. Celle-ci représente une opposition entre une tendance d'évolution du système provenant de son environnement (y compris l'homme) et une (ou plusieurs) loi objective empêchant cette évolution. Cette thèse a pour objectif d'examiner la contribution de ce concept en programmation architecturale, Le paragraphe II.1.2.3 présente ce concept de manière plus détaillée.
3. **La situation spécifique** : Chaque problème est issu d'une situation particulière et unique. Elle définit les ressources disponibles ainsi que des contraintes propres au problème. Les limites posées et les opportunités offertes par la situation spécifique doivent être prises en compte dès le début du processus de résolution de problème. Le champ de recherche pour la solution est délimité par la situation spécifique et les lois objectives définissant la tendance et l'orientation d'évolution. Du fait qu'un problème ne peut être résolu que pour une situation particulière, une solution inventive utilise avant tout les ressources disponibles dans son propre environnement (La Fig. II-5). Les ressources relèvent des quatre typologies suivantes :

[1] L'idéalité est une autre notion importante de la TRIZ. Il s'agit de définir une solution idéale, voire utopique, sans prendre en compte les contraintes ayant pour origine le niveau des connaissances, la technologie, le temps et les ressources accessibles *etc*. L'idéalité est comme l'étoile polaire, elle permet de repérer la position actuelle du système, de naviguer dans le champ des solutions possibles et de repérer celle qui se rapproche de l'idéalité. Cette notion est considérée par la méthode IDM-TRIZ comme la loi 4 d'évolution des systèmes techniques.

- *Substance* : solide, liquide, gaz, plasma.
- *Champ* : mécanique, acoustique, thermale, chimique, électrique, magnétique, électromagnétique.
- *Espace* : Espace vide artificiel ou naturel, permanent ou temporaire.
- *Temps* : Temps avant, au moment ou après le conflit.

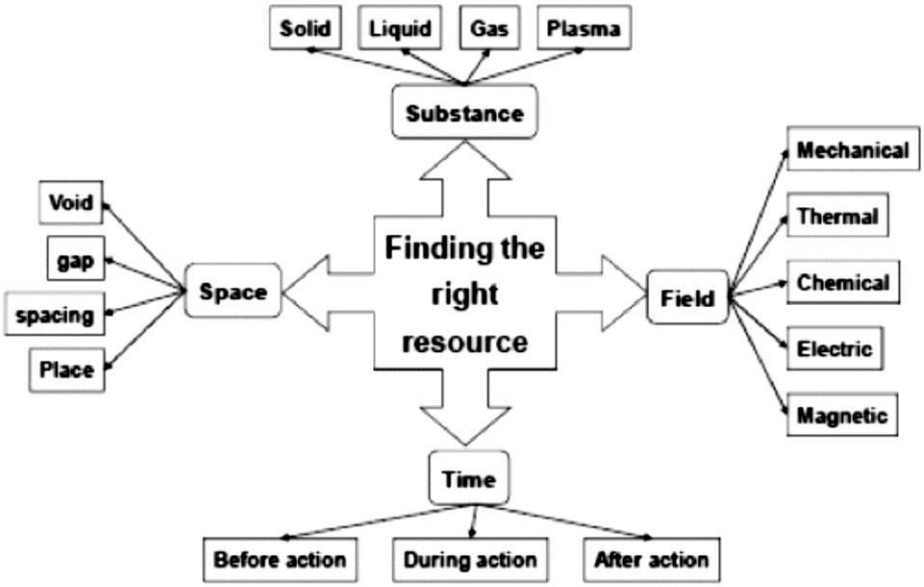


Fig. II-5. La typologie de ressources selon TRIZ. (Cavallucci, 2012)

II.1.2.3. Le postulat de contradiction

La contradiction est la cause commune de tout problème inventif, et toute situation problématique peut être traduite sous forme de contradiction. Ainsi, l'invention apparaît quand le concepteur arrive à trouver ou concevoir une solution pour éliminer cette contradiction. Cette solution n'est ni un compromis ni une optimisation.

Deux corollaires sont liés à ce postulat. Premièrement, un problème identifié et formulé comme contradiction devient une opportunité pour inventer quand on refuse le compromis. Deuxièmement, quand la représentation du problème sous forme de contradiction est impossible ou insignifiante, nous pouvons conclure que le problème n'est pas inventif, c'est-à-dire, ses solutions sont déjà existantes.

Ainsi, au lieu de résoudre directement un problème inventif, la TRIZ propose d'identifier la contradiction à l'origine de ce dernier, et puis de l'éliminer en suivant les tendances génériques d'évolution des systèmes. Dans la littérature de la TRIZ, il est possible qu'on parle de résolution de la contradiction, mais, cette expression n'est pas exacte. La théorie

TRIZ ne résout pas la contradiction, elle la contourne, ou plus exactement, elle nous permet de changer l'état du système et de l'amener dans un nouvel état qui satisfait l'objectif attendu sans que les éléments contradictoires bloquent le système. Selon le jargon de la TRIZ, les paramètres de l'évolution qui sont en contradiction n'ont plus d'importance, mais le système réalise sa fonction.

II.1.2.3.1. La typologie de contradiction

Au cours du développement de la TRIZ vers les problèmes non techniques, les experts de la TRIZ proposent une classification des contradictions en trois classes : contradiction administrative, contradiction technique, contradiction physique. Si la pertinence de cette classification est toutefois critiquée (Savransky, 2000), elle a un intérêt pratique parce qu'elle offre la possibilité de transformer des objectifs du niveau managérial en problèmes du niveau technique et puis d'identifier les contradictions physiques liées à ce dernier. Cette transformation est encore plus intéressante pour la programmation architecturale, car cette dernière, en tant que niveau intermédiaire entre le montage du projet et la conception, a pour mission de traduire les attentes sociales, esthétiques, etc. dans les objectifs opérationnels. Pour ce faire, le programmiste utilise des concepts programmatiques. (Erhan, 2003) souligne que la différence entre ces derniers et les concepts architecturaux est une différence du niveau d'abstraction. Plus précisément, ce que fait un programmiste et que continue un architecte consiste à trouver des concepts intermédiaires permettant de relier les objectifs aux solutions concrètes.

La contradiction administrative

« Je sais quoi, mais je ne sais pas comment ! » (Cavallucci, 2012)

Selon la TRIZ, une situation où on veut réaliser une fonction, mais où on ne sait pas comment faire, est une situation contradictoire. Ce qui rappelle la définition donnée par Simon (1981) pour qui nous sommes en face d'un problème quand nous savons ce que nous voulons, mais nous ne savons pas comment l'obtenir.

Au niveau administratif, le problème est décrit par des objectifs managériaux. À ce niveau, une partie de l'énoncé du problème peut décrire la volonté, la mission ou le besoin qu'attend l'homme du système. (Khomenko & Guio, 2007) Le conflit décrit est donc une confrontation entre l'homme et le système technique. La description du problème est dénuée

de valeur heuristique et n'indique aucune direction pour résoudre le problème. La solution se trouve hors du système et parmi plusieurs variantes.

Contradiction technique

« Je sais comment, mais si je le fais, d'autres choses deviennent pires ! » (Cavallucci, 2012)

Au niveau de la contradiction technique, une action considérée comme la solution pour le problème est à la fois utile et néfaste. Elle peut résoudre un problème, mais engendre ou intensifie un autre problème. Où, l'élimination de l'effet néfaste, détériore une fonction utile du système. Le conflit se trouve entre les sous-systèmes (composants) du système technique. La solution se trouve dans le système et donc les variantes sont moins nombreuses. Du point de vue de la TRZ, l'impossibilité d'améliorer un paramètre du système sans causer la dégradation d'un autre est la caractéristique d'un problème inventif. (Altshuller, 1984) Pour décrire une contradiction technique, la TRIZ offre un modèle particulier qui favorise l'identification des structures physiques permettant de réaliser le besoin fonctionnel. (voir Fig. II-11)

La contradiction physique

« Je sais quoi et comment, mais je ne sais pas quel moyen à utiliser ! » (Cavallucci, 2012)

Chaque contradiction technique est en réalité la manifestation d'une contradiction physique cachée. Autrement dit, la contradiction physique désigne l'état d'un sous-système, d'un composant (ou d'un élément) de la contradiction technique qui doit avoir à la fois deux propriétés opposées. Ainsi, le conflit se trouve entre des propriétés physiques d'un élément spécifique du système. Selon le formalisme de TRIZ, un élément pour réaliser sa fonction doit avoir à la fois une propriété A et non A. Au niveau de contradiction physique, le problème est clairement énoncé et sa description contient des phénomènes physiques concrets. La solution se trouve au niveau de sous-système.

II.1.2.4. La démarche de la TRIZ

(Altshuller, 1977b) décrit l'approche de résolution de problèmes de la TRIZ comme un enchaînement des actions suivantes. (voir aussi Fig. II-6)

Étape 1- Analyse de la situation initiale : Il s'agit de reconstruire le problème à travers la description du système technique et son environnement. De plus, l'évolution du système dans l'axe de temps doit être décrite. La TRIZ propose plusieurs outils pour analyser la situation initiale et pour transformer une situation floue et ambigüe en une situation compréhensible et claire, tels que l'étape zéro de l'ARIZ 85, l'analyse multi-écrans et le modèle de Produit-Outil (le modèle de l'intégralité du système). Le Graphe Problèmes-Solution Partielles est utilisé par des développements récents de cette théorie (OTSM-TRIZ, IDM-TRIZ) à cette fin. Le résultat de la première étape est l'extraction des problèmes à résoudre et l'identification du problème le plus important.

Étape 2- Identifier le problème à résoudre et le représenter sous forme de contradiction : Dans la deuxième étape, le problème à résoudre est représenté sous forme de contradiction. Ainsi, les paramètres à améliorer, et les paramètres qui se dégradent dans cette amélioration sont identifiés. La modélisation du problème sous forme de contradiction a pour fonction de réduire le champ de recherche de solutions tout en tenant compte des contraintes majeures. De plus, elle permet d'identifier le modèle de problème dans le répertoire de modèle de problèmes de la TRIZ.

Étape 3- Trouver le modèle de problèmes et Définir la solution idéale : La TRIZ offre des outils et techniques permettant de trouver les modèles de problèmes qui correspondent au problème formulé dans l'étape 2. De plus, la définition de la solution idéale contribue à l'orientation de la recherche. La notion d'idéalité dit qu'une solution est idéale quand la performance du système tend vers un infini lorsque son coût (en terme d'énergie, d'argent, de temps, etc.) tend vers zéro.

Étape 4- Formuler au niveau général une solution physique orientant vers la solution idéale : Par la mise en œuvre des outils de la TRIZ, on peut trouver des modèles de solution collectés dans la base de connaissances de la TRIZ. La TRIZ possède des pointeurs et des directives pour chercher dans les modèles de solution (la Matrice des Principes inventifs, les Standards Inventifs, etc.) qui correspondent au modèle de problèmes trouvé dans l'étape 3.

Étape 5- Formuler une solution technique permettant la réalisation de la solution physique : Il s'agit d'utiliser la base de connaissances et des outils de la TRIZ pour formuler un concept de solution inspiré par les modèles de solution. La TRIZ possède des pointeurs qui facilitent la recherche dans la base de connaissances comprenant les phénomènes physiques, chimiques, et géométriques.

Étape.6- Concevoir la solution spécifique ayant des caractéristiques précises et complètes : Dernière étape s'agit d'interpréter, d'adapter et d'ajuster le concept de solution et ses principes à la situation spécifique du problème ; et d'utiliser des phénomènes scientifiques produisant des effets souhaités permettant réaliser la solution.

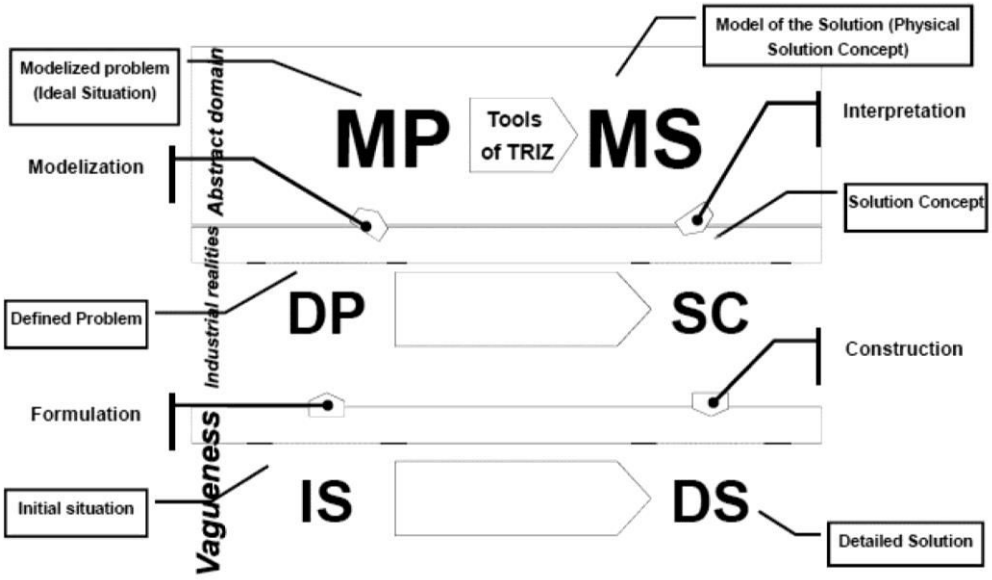


Fig. II-6. L'approche générale de la TRIZ. ((Kucharavy, 2012) ; d'après (G. Altshuller, 1977b))

II.1.2.5. Les méthodes, techniques et outils

Pour développer la TRIZ, Altshuller et ses collègues ont utilisé différents matériels. (Altshuller, 1999). Les sources les plus fructueuses sont les suivantes :

- Des brevets, comme les inventions validées ;
- La biographie des inventeurs, représentant le domaine de connaissance et d'expertise de l'inventeur et la façon dont il travaille. Altshuller montre d'ailleurs que le domaine d'expertise des inventeurs est souvent différent de celui qui est à l'origine de leur invention;
- Les méthodes et outils en vigueur pour la résolution de problèmes ;
- L'histoire des technologies, décrivant les évolutions des techniques ;

- La pratique et la psychologie des résolveurs de problèmes, pour comprendre la façon dont ils développent la pensée créative ; (Altshuller & Shapiro, 1956)
- Les phénomènes physiques, chimiques, etc. collectés dans la littérature scientifique comme les encyclopédies, les revues, etc.
- La littérature de science-fiction représentant des idées nouvelles.

En exploitant ces matériels, Altshuller et ses collègues ont élaboré le corpus théorique de la théorie de la TRIZ qui contient différents outils, méthodes et techniques. Les plus importants sont les suivants : la matrice des 40 Principes Inventifs, les 9 Lois objectives de l'évolution des systèmes techniques, les 76 Standards Inventifs, les 11 Méthodes de séparation, et l'Algorithme de résolution de problèmes inventifs (ARIZ). La TRIZ offre aussi d'autres outils pour solliciter la faculté d'imagination et pour provoquer la pensée créative. L'Analyse multi-écrans, l'Opérateur échelle-temps-coût, l'Opérateur petit créateur en sont des exemples.

L'ensemble de ce corpus théorique de la TRIZ permet d'entreprendre des actions cohérentes et précises pour la structuration et la formulation de problèmes. Et, les techniques et outils de la TRIZ facilitent la génération de concepts de solution. Le Tableau II-1 présente la structure du corpus de la TRIZ classique.

Bases théoriques	Méthodes	Techniques et outils	Base de connaissances
Les lois objectives de l'évolution des systèmes techniques	L'algorithme de résolution de problèmes inventifs (ARIZ) L'analyse de contradiction Analyse substance-champ (Su-field) L'analyse de fonction et de cout L'analyse multi-écrans Les méthodes de l'imagination Créative L'analyse de problème de recherche	11 principes de séparation pour l'élimination de contradiction 40 Principe inventifs d'élimination de contradiction physique et la matrice 76 standards inventifs Modèle de fonction et de l'idéalité Opérateur de petite créature, Opérateur échelle-temps-coût L'analyse de problème inverse	Répertoire des solutions obtenues par la TRIZ Répertoire d'inventions avancées Pointure des effets physiques, chimiques, géométriques, Liste des substances-champs utilisés le plus fréquemment Répertoire des idées provenant de la littérature de la science-fiction

Tableau II-1. La structure du corpus théorique de la TRIZ classique. D'après (Kucharavy, 2012)

Dans le paragraphe suivant nous présentons brièvement les 40 Principes Inventifs, la Matrice des principes inventifs, les 76 Standards Inventifs, les 11 Méthodes de séparation.

II.1.2.5.1. Les 40 Principes Inventifs

Les Principes Inventifs sont la première technique de la résolution de problèmes de la TRIZ. Il s'agit d'un ensemble des principes destinés à l'élimination des contradictions. Altshuller a réalisé que le nombre de contradictions techniques liées aux problèmes inventifs est limité. Les problèmes inventifs sont infinis, mais ils sont le résultat de l'élimination de seulement 40 types de contradictions techniques. (Altshuller et al. 1997)

L'identification des Principes Inventifs sont le résultat de l'étude de plus de 400.000 brevets et de l'analyse de plus de 40.000 brevets présentant les solutions les plus inventives. Ils sont présentés pour la première fois en 1961 et seront développés jusqu'à 1973. Depuis, plus de trois millions de brevets ont été analysés pour identifier des nouveaux principes (Vincent & Mann, 2002), mais, jusqu'au présent, les principes sont les mêmes que ceux identifiés par Altshuller. Ces principes permettent de traiter une contradiction technique quand l'amélioration d'une caractéristique du système produit une dégradation d'une autre caractéristique. En analysant les brevets, il a identifié 39 caractéristiques génériques, portant le nom de paramètre, dans les systèmes techniques ; à l'instar du « Paramètre 1 : Masse d'un objet mobile », ou du « Paramètre 12 : Forme ». Ces caractéristiques doivent être comprises comme résultant d'une interprétation transdisciplinaire et générique.

Altshuller élabore une matrice dans laquelle les 39 paramètres constituent les lignes et les colonnes. Une contradiction entre deux paramètres se situe à l'intersection d'une ligne et d'une colonne. Le paramètre à améliorer doit être trouvé parmi les lignes et le paramètre qui se dégrade si l'on améliore le premier paramètre doit être trouvé parmi les colonnes. Dans la case de l'intersection, les Principes Inventifs sont ordonnés de manière statistique[1]. Par exemple, dans le cas où la contradiction consisté à améliorer la Masse d'un objet mobile sans dégrader sa Forme, la Matrice indique les Principe Inventifs suivants, respectivement comme étant le plus utilisé : Action préalable (Principe 10), Sphéricité (Principe 14), Modification des paramètres (Principe 35), et Matériaux composites (Principe 40). La théorie de la TRIZ, en plus de 40 Principes Inventifs, présente plus de 80 sous-principes et une douzaine d'exemples.

[1] Le principe le plus utilisé pour éliminer une telle contradiction est le premier dans la case, et ainsi de suite.

Les Principes Inventifs présentent des concepts des solutions. L'utilisation de la Matrice des principes inventifs est devenue l'application la plus répandue de la TRIZ. ((Ilevbare, et al. 2013), (D. Cavallucci, 2009)). Et, Altshuller s'est plaint ultérieurement que les gens utilisent la Matrice des principes inventifs comme un activateur de brainstorming, ce qui n'était pas son intention. (Campbell, 2003) L'Annexe II présente les Principe Inventifs et la Matrice des principes inventifs de la TRIZ.

II.1.2.5.2. Les lois objectives de l'évolution des systèmes techniques

Altshuller réalise très tôt que l'évolution des systèmes techniques suit certaines tendances. Il constate que cette évolution évoque certains patterns répétitifs, fondamentaux, identifiables et distincts. (Altshuller, 1984) Après avoir identifié des Principes Inventifs, il tente de formaliser ces constantes d'évolution qu'il appelle lois objectives. L'ensemble de ces lois constitue un des postulats de la théorie de la TRIZ. Ainsi, les lois objectives imposent des contraintes dans la définition du problème. Le fait que la TRIZ repose sur la démarche de la formulation simultanée du problème et de la solution donne une place particulière aux lois objectives. Autrement dit, les lois objectives n'aident pas seulement à identifier le problème à résoudre, mais elles décrivent aussi la solution.

Deux corollaires résultent de ce postulat. La première est que, par le biais de ces lois, il est possible d'identifier l'état actuel de la maturité du système dans son évolution (le degré d'évolution), et donc il est possible d'anticiper la génération future du système et des changements qui vont se produire. Le deuxième corollaire indique qu'une conception en accord avec ces lois a plus de chance d'être pertinente, et donc risque moins d'être inachevée ou de devenir rapidement obsolète.

(Altshuller, 1977a) regroupe ses tendances sous neuf lois classifiées dans trois groupes.[1] Les trois groupes sont les suivantes :

A) Les lois statiques définissant la synthèse de tout système technique opérationnel. Elles sont universelles et indépendantes du temps et de systèmes, y compris biologiques et sociaux.

[1] Comme nous l'avons expliqué, dans certaines méthodes basées sur TRIZ, la loi de l'idéalité se présente à part, à l'instar d'ARIZ pour laquelle l'idéalité est une étape de l'analyse de la situation initiale permettant de positionner l'état actuel et de jouer le rôle de boussole pour conduire la démarche et naviguer vers la solution idéale.

B) Les lois cinématiques définissant le mode d'évolution des systèmes techniques indépendamment des facteurs physiques et techniques qui réalisent cette évolution. Elles sont également universelles et indépendantes du temps et des systèmes.

C) Les lois dynamiques définissant l'évolution de systèmes techniques modernes sous l'effet de facteurs techniques et physiques concrets.

Chaque loi doit être considérée comme une interprétation générique basée sur l'observation et la synthèse de milliers de systèmes techniques et de leurs évolutions dynamiques. Ainsi, les lois de l'évolution, en proposant des caractéristiques de la solution et en montrant l'orientation de sa recherche, contribuent à imaginer des scénarii ou des hypothèses d'évolution du système.

A) Les lois statiques :

« Tout système technique résulte de la synthèse de parties séparées en un tout. Mais toute synthèse des parties est loin de pouvoir former un système technique apte à fonctionner. Il existe au moins trois lois dont les règles doivent être respectées pour qu'un système technique soit opérationnel. » (Altshuller, 1977a) Ces trois lois se regroupent dans la catégorie des lois statiques. Elles sont les suivantes :

Loi 1 : Loi d'Intégrité du système technique.

Pour qu'un système technique soit viable et fonctionnel, il doit comporter les quatre parties suivantes.

- Un moteur qui transforme l'énergie provenant de l'environnement du système en énergie utilisable par le système ;
- Un organe de transmission transmettant l'énergie du moteur vers l'organe de travail ;
- Un outil réalisant la fonction du système ;
- Un organe de contrôle agissant sur au moins un des organes mentionnés ci-dessus et permettant l'adaptation fonctionnelle du système.

La TRIZ utilise un modèle, intitulé le modèle Outil-Produit, pour vérifier l'intégralité d'un système technique. La Fig. II-7 illustre ce modèle.

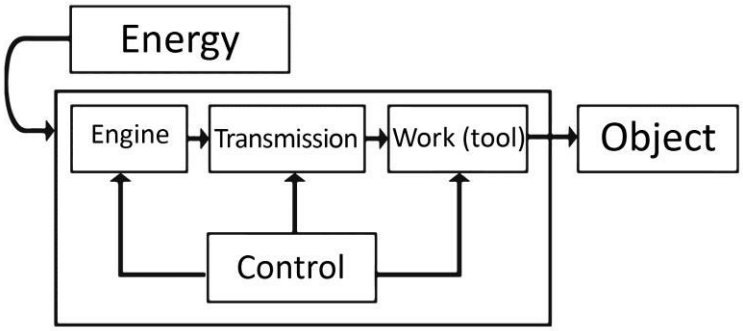


Fig. II-7. Intégralité du système technique ; d'après ((Kucharavy, 2012) ; d'après (Salamatov, 1996))

Loi 2 : Loi de Conductibilité énergétique des parties

Pour qu'un système technique soit viable et fonctionnel, il doit permettre le passage de l'énergie à travers de toutes ses parties. Un système technique est à la fois le consommateur et convertisseur de l'énergie.

Lois 3 : Loi de Concordance des rythmes (harmonisation)

Pour qu'un système technique maximise sa performance, toutes ses parties doivent être soumises à une coordination ou à une décoordination intentionnelle. La mise en concordance ou la discordance intentionnelle de toutes les parties principales du système est une condition pour son évolution.

B) Les lois cinématiques

Loi 4 : Loi d'Augmentation du degré d'idéalité

Nous avons présenté cette loi comme un des concepts fondamentaux de la théorie de la TRIZ. L'idéalité dit qu'au cours de son évolution, tout système technique tend à améliorer le rapport entre la performance et les dépenses nécessaires pour réaliser cette performance (masse, dimension, énergie, temps, etc.). Un système idéal est donc celui qui n'existe pas, mais ses fonctions sont remplies. L'évolution d'un système se termine par la génération d'un nouveau système qui remplit la fonction du système initiale sans nécessairement préserver ses composants.

Loi 5 : Loi de Développement égal des parties

Les parties du système se développent inégalement, plus un système est complexe plus ses parties se développent d'une manière inégale. Ces irrégularités génèrent de nouvelles

contradictions. L'évolution du système est liée à l'homogénéisation du développement des parties.

Loi 6 : loi de Transition vers un super système

Les systèmes techniques fusionnent et forment des bi-systèmes et des poly-systèmes. En ce faisant, le système poursuit son évolution comme un sous-système de super-système, certains de ces composants peuvent disparaitre.

C) Les lois dynamiques

Loi 7 : Loi de Transition du macro-niveau au micro-niveau

L'organe de Travail (outil) d'un système tente d'évoluer du macro-niveau au micro-niveau et puis au niveau de la substance et enfin vers les champs physiques.

Loi 8 : Loi de Croissance de dynamisme

Afin d'améliorer leur performance, les systèmes rigides devraient devenir plus dynamiques. Pour ce faire, les éléments et les structures du système évoluent vers ceux plus souples qui permettent des évolutions et des adaptations rapides aux changements de conditions de travail et aux exigences de l'environnement.

Loi 9 : Loi de Déploiement Substance-Champ

Tout système est un assemblage de substances et de champs physiques. Le modèle de Substance-Champ, connu aussi comme *Vépole* ou Su-Field, est un modèle permettant de représenter un système à partir des substances et des champs qui le composent. Afin d'améliorer leur performance, les systèmes devraient devenir plus contrôlables. Ce qui augmente la contrôlabilité est le fait de faciliter la réalisation de la Fonction Utile Principale du système tout en minimisant les Substances et les Champs existants du système ou ajoutés au système.

II.1.2.5.3. Les 76 Standards Inventifs

Après avoir publié la liste finale de 40 Principes Inventifs en 1973, Altshuller a réalisé que cette matrice ne peut être utilisée dans certains cas de problèmes inventifs. Afin de combler cette lacune, il commence à développer les 76 Standards Inventifs. Ils sont généralement présentés sous forme de « si la condition 1 » et « la condition 2 », alors « la recommandation ». Ce qui permet d'exploiter les Standards Inventifs est le modèle

particulier de représentation de problème de Substance-champ (Su-Field, ou Vépole). Ce modèle permet d'une représentation abstraite des systèmes techniques sous forme de substance, de champs et de leurs interactions. (Altshuller, 1984) La Substance représente un objet matériel, quel que soit son niveau de complexité ; le Champ est de nature physique, chimique, acoustique etc. Il permet de transmettre un flux d'énergie, d'information, de force, ou d'interaction. Un système doit être constitué au minimum de deux substances et d'un champ. Dans le modèle, les interactions entre des substances doivent être caractérisées comme satisfaisantes, excessives, insuffisantes, néfastes. L'intérêt de ce modèle de présentation graphique et simple est qu'il permet de trouver le modèle graphique de solutions correspondantes parmi les Standards Inventifs. La Fig. II-8 représente un exemple des modèles Substance-Champ et son Standard Inventif.

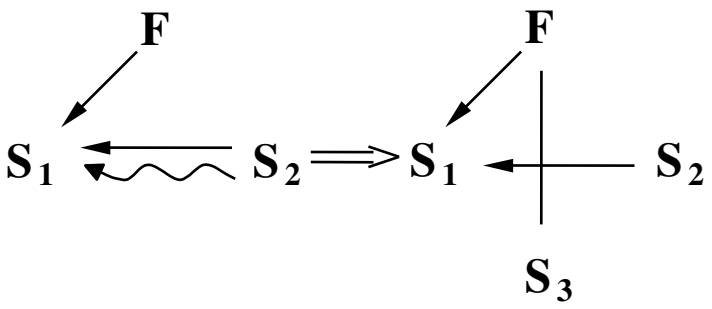


Fig. II-8. Le Modèle de Substance-Champ. (Exemple de Standard 1.2.2. Élimination de l'interaction nocive par modification des substances existantes)

Les Standards Inventifs sont au nombre de 76, regroupés en 5 classes (voir Annexe III) qui représentent cinq typologies de problème. Les trois premières classes représentent différents niveaux d'évolution des systèmes ; le quatrième est représentatif d'une typologie particulière de problèmes lié à la réalisation d'un système de mesure ; et la cinquième classe est une méta-classe permettant d'affiner le mode de résolution en faisant référence aux classes précédentes dans les cas où les modèles qu'elle propose sont trop génériques. Les modèles Su-Field et leurs classifications sont critiqués pour l'absence de corrélation avec la contradiction, pour l'incohérence du langage, pour la difficulté à utiliser des classes et pour le manque d'indications directives pour le modèle de solution correspondante. (Dubois, 2004)

II.1.2.5.4. Les 11 Principes d'élimination de contradictions physiques

La TRIZ propose aussi onze Méthodes de séparation permettant d'éliminer les contradictions physiques (voir Annexe IV). Ces onze méthodes concernent les types suivants :

- Séparation des propriétés contradictoires dans l'espace. (M1)
- Séparation des propriétés contradictoires dans le temps. (M2)
- Séparation des propriétés contradictoires par la transition de système. (M 3, 4, 5 et 6)
- Séparation des propriétés contradictoires par la transition de phase. (M 7, 8, 9 et 10)
- Séparation des propriétés contradictoires par la transition physico-chimique. (M 11)

Ces méthodes sont exprimées dans une généralité élevée, ce qui les rend facilement interprétables. En revanche, à ce niveau de généralité, il est difficile de tirer des concepts précis pour des contradictions techniques. Ces méthodes peuvent contribuer à la génération d'idées ou de scénarii qui sont souvent produit avec d'autres méthodes l'élimination de contradictions.

II.1.2.5.5. Le Pointeur d'effets physiques, chimiques et géométriques

La TRIZ possède également une base de connaissances comprenant plus de 1200 effets physiques, chimiques et géométriques. Structurée comme un outil de recherche, cette base de connaissances indexe des fonctions techniques (par ex. la fonction Sécher) et des phénomènes naturels qui peuvent produire des effets correspondant aux fonctions techniques (par ex. pour la fonction Sécher : Effet d'avalanche, Ébullition, Cavitation, etc.). Cet outil a pour but d'accompagner le concepteur dans la recherche des phénomènes physiques, chimiques et géométriques qui peuvent produire l'effet nécessaire pour résoudre le problème, au lieu d'ajouter des systèmes techniques ou d'en augmenter inutilement la complexité. Le catalogue des effets s de la TRIZ est la seule collection qui relie les effets physiques, chimiques et géométriques aux fonctions techniques. (Salmatov 1988, Souchkof 1998). Par exemple, l'effet « hyperboloïde et paraboloïde » est relié aux « Changer la forme géométrique en hyperboloïde à une surface plane », « Soutenir les structures de bâtiments », « Former et Profilage », « Orientation et connexion des objets », « Focalisation d'énergie optique (lumière, rayonnement) ou acoustique (ondes sonores) par la surface parabolique ». La Fig. II-9 montre l'organisation du Pointeur des effets physiques, chimiques et géométriques)

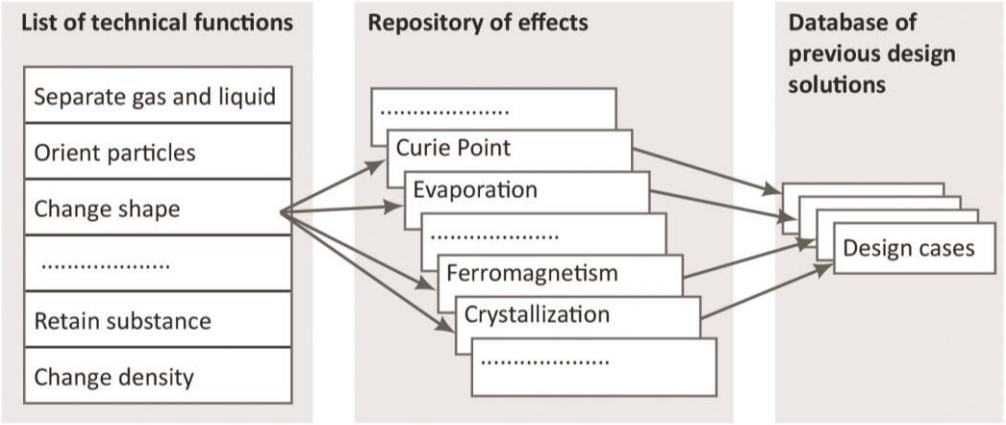


Fig. II-9. L'organisation du Pointeur des effets physiques, chimiques et géométriques. (Souchkov & Mars, 1998, p 45)

Si tous les outils et techniques mentionnés ci-dessus constituent un ensemble cohérent au sein de la théorie de la TRIZ, leur utilisation se fait à partir de l'expertise, de la compétence et de la préférence du concepteur. La Fig. II-10 montre la fréquence d'utilisation d'outils de la TRIZ.

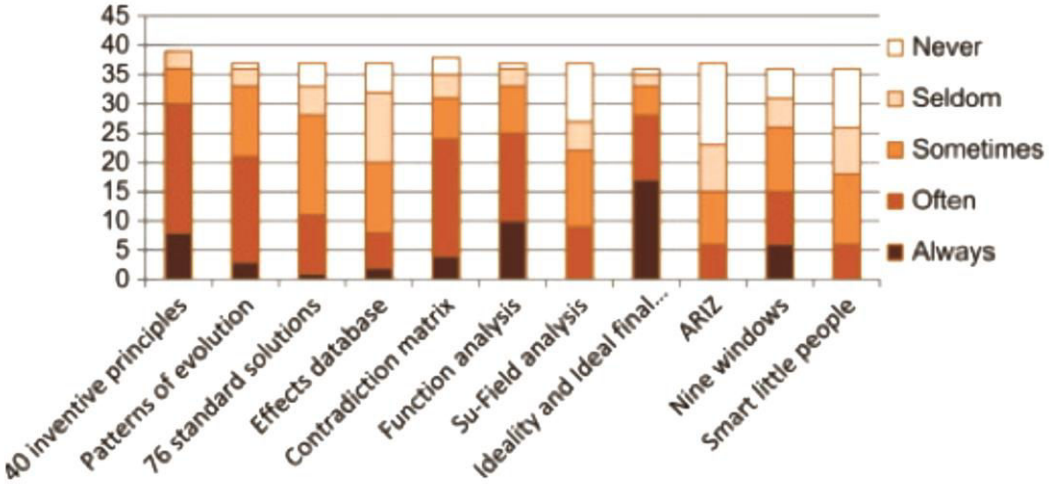


Fig. II-10. Fréquence d'utilisation d'outils de la TRIZ. (Ilevbare et al., 2013)

II.1.3. Le développement Post-Altshuller - (IDM-TRIZ)

En 1985 Altshuller en proposant certains objectifs (Altshuller, 2006) confie le développement de la TRIZ à ses collègues et consacre sa vie à l'élaboration de méthodes pour aider les enfants à être plus créatifs. A partir des années 1990 la TRIZ est devenu l'objet de développements continus qui ont permis d'élaborer différentes orientations. Nous pouvons constater que le développement de la TRIZ s'est fait autour de cinq axes principaux.

1. Élucider et éclaircir les concepts fondamentaux.
2. Améliorer l'analyse d'une situation problématique complexe.
3. Développer une formulation plus robuste pour le problème et la contradiction.
4. Amener la TRIZ vers une théorie générale de conception inventive pour que les concepts de base de la TRIZ puissent être appliqués dans les domaines non-techniques[1].
5. Informatiser la démarche de la TRIZ et sa base de connaissances.

En fait, si la TRIZ classique a prouvé son efficacité dans la génération de concepts inventifs pour éliminer des contradictions techniques, elle est critiquée notamment pour trois limites.

- Premièrement, la TRIZ classique n'est pas armée pour faire face aux problèmes non-techniques. ((Khomenko & Yoon, 2011), (Khomenko & Ashtiani, 2007) (Cavallucci & Khomenko, 2006)) Et la littérature de la TRIZ classique n'a pas précisé le terme de problème dans le domaine non-technique.
- La deuxième limite réside dans le fait que la TRIZ classique ne permet d'aborder qu'un seul problème ; de plus, ce problème doit être plus ou moins identifié pour que le concepteur puisse utiliser les outils et techniques de la TRIZ pour le résoudre. Autrement dit, la TRIZ classique est dépourvue de moyens pertinents pour clarifier des situations problématiques multicritères, pluridimensionnels et complexes. ((Zanni-Merk, Cavallucci, & Rousselot, 2011)(D. Cavallucci, Rousselot, & Zanni, 2010)
- La troisième limite, qui est intrinsèquement liée à la deuxième limite, vient du fait que la TRIZ classique n'est pas dotée d'un formalisme robuste et concret pour modéliser le problème et la contradiction liée à ce dernier. Altshuller a également souligné que la clarification systématique de l'énoncé du problème est une orientation importante pour le développement futur de TRIZ. (Khomenko & Yoon, 2011) Ce manque a pour conséquence que la modélisation des problèmes et des contradictions d'un projet unique peut varier selon l'expérience et la connaissance du celui qui modélise.

[1] Il est vrai que tout objet construit par l'homme, y compris l'espace bâti, est un objet sociotechnique ; mais dans cette thèse, nous entendons par le terme non-technique, les systèmes dans lesquelles d'autres dimensions comme la dimension sociale, esthétique, etc. dominent la dimension technique.

Du fait que la contradiction occupe un rôle central dans la compréhension du problème, le développement de la TRIZ se focalise sur l'élaboration d'une méthode cohérente et robuste permettant d'extraire la ou les contradictions de la situation problématique. La nécessité d'un moyen qui permet à la fois d'analyser la situation complexe et de définir les problèmes les contradictions a sollicité plusieurs recherches. (Burgard, Dubois, De Guio, & Rasovska, 2011) L'étape zéro d'ARIZ-85C, l'Innovation Situation Questionnaire (ISQ) de (Kiatake & Petreche, 2012), le Réseau des problèmes (NOP) d'OTSM-TRIZ (Khomenko & Guio, 2007), le réseau des paramètres selon l'ARIZ (Dubois, Lutz, Rousselot, & Vieux, 2007), le système WOIS (Linde et al., 2006)) et l'Inventive Design Method (IDM-TRIZ) ((Cavallucci & Eltzer, 2011b), (Najari, Barth, & Sonntag, 2014a), (Souili & Cavallucci, 2013)) sont des exemples de méthodes développées à cette fin. Dans cette thèse nous avons appliqué IDM-TRIZ. Dans ce qui suit, nous présentons ses fondements.

Inventive Design Method (IDM-TRIZ)

IDM-TRIZ est une méthode élaborée au Laboratoire de Génie de conception (LGéCo) de l'INSA de Strasbourg pour améliorer la TRIZ en répondant aux limites mentionnées ci-dessus. Elle s'est appuyée sur les acquis d'un autre développement de la TRIZ, celle d'OTSM-TRIZ, et a ajouté des outils et des techniques pour renforcer l'analyse collective de la situation complexe, l'axiomatisation de la formulation des problèmes et des contradictions, et l'évaluation collective des concepts de solution.

Au milieu des années 1970, Altshuller a conclu que la TRIZ a le potentiel nécessaire pour tendre vers une théorie générale de résolution de problèmes quel que soit le domaine de conception. (Khomenko & Ashtiani, 2007) Il confie la recherche dans cette voie à N. Khomenko. En 1997, Altshuller présente les résultats de ces recherches et la direction des recherches ultérieures sous le nom d'OTSM, l'acronyme russe de Théorie Générale de Pensée Inventive. Cette théorie comprend les premières tentatives d'une telle extension vers des problématiques multidisciplinaires. (Denis Cavallucci & Eltzer, 2007) Le LGéCo de l'INSA de Strasbourg accueille N. Khomenko au début des années 2000 et focalise ses activités de recherches autour d'OTSM-TRIZ. Les descriptions détaillées d'OTSM-TRIZ se trouvent dans ((Khomenko & Yoon, 2011), (Khomenko & Ashtiani, 2007), (Khomenko & Guio, 2007), (Cavallucci & Khomenko, 2006)) En résumé, les notions développées par OTSM-TRIZ sont les suivantes : la notion de problème, la notion de solution partielle, le modèle ENV, la notion de réseau de problèmes et de contradictions techniques ayant une

structure arborescente multidimensionnelle, ainsi que la reprécision des concepts fondamentaux de la TRIZ.

Le LGéCo a continué ses recherches sur le développement de la TRIZ et a élaboré un nouvel ensemble d'outils, concepts et méthodes qui sont les fruits de nombreuses collaborations avec des entreprises pour rendre l'utilisation de la TRIZ plus systématique et robuste. Ce développement porte le nom d'« *Inventive Design Method* » (IDM-TRIZ). Nous pouvons résumer les acquis de ce développement de la façon suivante : précision des notions développées par OTSM (le formalisme du problème et de la solution partielle, l'intégration du modèle ENV au Graphe Problèmes – Solution Partielles), le bouclage problème-concept de solution, la construction d'une ontologie propre à IDM, la « désambiguïsation » des concepts fondamentaux de la TRIZ, l'établissement de liens informatisés entre les modèles de problèmes (y compris ENV, Su-field etc.) et les effets scientifiques, l'informatisation de la démarche et la production d'un logiciel support (STEPS), l'enrichissement de la base d'exemples analysés selon les outils de la TRIZ. (Souili & Cavallucci, 2013) Toutefois, afin de positionner la contribution de cette thèse, nous décrirons brièvement la démarche d'IDM-TRIZ, en présentant les fondements théoriques et l'ontologie de cette méthode.

II.1.3.1. La démarche d'IDM-TRIZ

La démarche d'IDM-TRIZ comprend quatre étapes: 1) Analyse de la situation initiale, 2) Management des contradictions, 3) Génération des concepts de solutions, et 4) Choix des directions de développement des concepts. Pour mettre en œuvre cette démarche, IDM-TRIZ s'est dotée d'une ontologie comprenant les éléments suivants : Problème, Solution Partielle, Paramètre d'Action, Paramètre d'Évaluation, les valeurs de ces deux derniers et le modèle ENV pour structurer ces éléments sous forme de contradiction.

Étape 1 : Analyse de la situation initiale

IDM-TRIZ intègre l'analyse de la situation initiale à un processus de résolution de problèmes basée sur la TRIZ. L'étape d'Analyse de la situation initiale doit permettre de positionner l'état actuel du système, d'identifier les objectifs de la conception, d'identifier des ressources pouvant être exploitées au cours de l'évolution, dans le système ou dans l'environnement, et d'identifier les contraintes imposées par l'environnement (y compris le concepteur, l'utilisateur). L'objectif est de décortiquer la complexité d'une situation

problématique à partir d'éléments non structurés, fluctuants, vaguement exprimés, partiels tels que les notions de besoins, d'objectifs, de buts, de contraintes provenant des connaissances multidisciplinaires. Le moyen principal pour représenter une telle situation est le graphe qu'IDM-TRIZ applique comme un cadre pour acquérir des connaissances, les représenter et les modifier dans un ensemble dit « l'espace de problème ». Dans la démarche d'IDM-TRIZ, la finalité de ce moyen, appelé le Graphe Problèmes-Solution Partielles (Graphe PB-SP) est d'extraire des contradictions du projet; mais il contribue également à l'identification du Problème le plus influent.

Les éléments constitutifs du Graphe PB-SP sont les Problèmes, les Solution Partielles et les relations existantes entre eux. Dans un projet d'IDM-TRIZ, l'expert de la TRIZ questionne les participants pour mieux comprendre l'espace de problèmes afin de formuler les problèmes et les solution partielles. Ainsi, il amène la discussion à partir de la logique dialectique vers une construction collective d'un ensemble d'éléments identifiés comme objectifs et comme actions à entreprendre et à leurs relations causes et effets. Le Graphe PB-SP se construit jusqu'au point où son ou ses concepteurs le jugent suffisamment stable, c'est-à-dire qu'ajouter un élément ne change guère l'état général du Graphe.

Deux caractéristiques permettent au Graphe PB-SP de transformer en énoncés clairs et non ambigus les informations exprimées de manière discursive : premièrement, la logique dialectique sous-jacente à la formulation du problème et des solutions, et deuxièmement, les syntaxes spécifiques du Problème et de la Solution Partielle.

Problème

La construction d'un Graphe PB-SP commence par récolter et saisir toutes les informations concernant le problème pour lequel on ne connaît pas la solution, ou les solutions qui sont connues mais qui engendrent un autre problème. Selon la TRIZ, un problème peut être défini comme une situation où un obstacle qui empêche la réalisation de ce qui doit être fait. Le formalisme d'IDM-TRIZ exige que le problème soit réduit à une seule idée et que son expression exprime la décomposition maximale. Il doit être exprimé par une phrase avec un minimum de contenu dans un langage de généricité précise. Ce formalisme particulier dépasse à la fois l'ambiguïté de l'énoncé du problème et facilite l'extraction robuste de la contradiction liée à ce problème. Ainsi, l'énoncé du problème obéit à la syntaxe suivante:

Problème : <sujet> + <verbe> + <complément>

Solution Partielle

Le Graphe PB-SP comprend aussi toute solution qui est connue ou envisageable (y compris celle déjà employée dans les cas précédents) pour les problèmes saisis. Une Solution Partielle représente une connaissance tacite ou explicite d'un ou de plusieurs membres de l'équipe de conception. Elle est définie comme une solution qui ne peut pas être acceptée, car, soit elle ne résout qu'une partie du problème, soit elle résout l'intégralité du problème, mais crée un autre. Le concept de Solution Partielle joue un rôle important dans l'approche IDM-TRIZ qui vise l'intégralité de l'espace de problèmes qui évolue et se développe par construction simultanée de problèmes et de solutions. L'intérêt des Solution Partielles réside dans le fait qu'elles représentent à la fois des connaissances des experts sur le problème et sur les caractéristiques du portrait de la solution complète.

De même que le problème, une Solution Partielle doit décrire une seule notion à un niveau de généricité suffisante pour répondre à un problème précisément donné. Une solution Partielle doit être donc présentée par la syntaxe suivante :

Solution Partielle : <Verbe dans sa forme infinitive > + < complément >

Dans le Graphe PB-SP, une Solution Partielle doit déboucher sur un Problème.

Problème clé

Comme nous l'avons mentionné, le Graphe PB-SP contribue à l'identification du Problème Clé, c'est-à-dire, le problème ayant l'influence la plus large sur les autres problèmes et par conséquent sur la totalité de l'espace de problèmes. L'identification du Problème clé et la Solution Partielle la plus avantageuse sont possibles par mise en œuvre des algorithmes d'analyse de la structure du Graphe PB-SP qui est un graphe orienté. Celui-ci considère les Problèmes et les Solution Partielles comme des nœuds connectés par des connecteurs orientés. Il est possible donc d'identifier le problème qui provoque le plus de réduction *(shrinking)* dans le Graphe.

L'Analyse de Système

Après la construction du Graphe, IDM-TRIZ analyse le système. Pour ce faire, elle utilise les outils suivants : le Modèle de l'Intégralité (complétude) du système, l'Analyse Multi-écrans et les Lois Objectives.

De plus, un autre développement réalisé par IDM-TRIZ concerne la quantification de l'importance de chaque loi sur le cas précis de l'étude. Pour ce faire, IDM utilise quatre courbes qui désignent l'état actuel du système en fonction des quatre paramètres suivants :

1. Le taux de l'invention (sur la base des brevets déposés concernant le système) ;
2. Le niveau de l'inventivité des inventions déclarées dans les brevets ;
3. La rentabilité des inventions brevetées ;
4. La maturité du système selon son cycle de vie (sur la base de la courbe S classique).

Ensuite, en établissant une corrélation entre ces courbes et la courbe générique S élaborée par Altshuller, IDM-TRIZ quantifie l'influence de chaque loi. L'intérêt de cette opération est d'identifier la priorité des scénarii dérivés des lois et d'identifier celui qui est le plus judicieux pour faire évoluer le système.

Étape 2 : Management des contradictions

L'analyse de la situation initiale d'IDM-TRIZ offre également la possibilité d'extraire les contradictions inhérentes aux problèmes. Après la construction du Graphe PB-SP, IDM-TRIZ demande d'attribuer des paramètres aux Problèmes et aux Solution Partielles. Puis, elle prend en compte la position de ces éléments dans le Graphe pour construire, selon le modèle ENV, les contradictions à partir des paramètres attribués.

Un paramètre est une caractéristique du système (objet) qui est impliqué dans son état problématique actuel. Toute caractéristique du système peut constituer un paramètre respectif ; plusieurs paramètres peuvent donc être impliqués dans la construction du problème. Selon la TRIZ, il existe deux types de paramètres : Paramètre d'Action et Paramètre d'Évaluation. Une contradiction technique résulte d'une relation dialectique entre ces deux types de paramètres. Dans IDM-TRIZ, chaque Problème formulé peut être dérivé d'un (ou plusieurs) des Paramètres d'Évaluation. Les Solution Partielles, de leur côté, peuvent être dérivées d'un ou de plusieurs Paramètres d'Action.

Le Paramètres d'Action (AP) est un paramètre dont le concepteur a le pouvoir de modifier l'état. Il a généralement deux directions opposées qui peuvent, chacune, potentiellement avoir des impacts positifs sur l'objet ou sur son super système. La nature des Paramètres d'Évaluation (PE) peut être observée dans sa capacité à prévoir l'effet positif ou négatif d'une action.

Le modèle de Contradiction technique –Modèle ENV

IDM-TRIZ utilise un modèle particulier pour construire la contradiction. Ce modèle, appelé ENV, met en relation le Paramètre d'Action et les Paramètres d'Évaluation. Il représente le postulat de contradiction de la TRIZ. Il est constitué d'un Élément, du Nom de sa propriété, et de la Valeur de cette propriété. Le modèle ENV permet de décrire des éléments qui constituent le cœur du problème. Il est à la base des modèles *Entity-Attribute- Value (EAV Model)* utilisés dans l'intelligence artificielle. Un autre avantage de son utilisation réside dans le fait qu'il facilite l'intégration de la TRIZ avec d'autres méthodes de conception comme Conception axiomatique, QFD, Six Sigma, les méthodes de Taguchi. (Khomenko et al., 2007) La Fig. II-11 présente le modèle ENV de Contradiction technique.

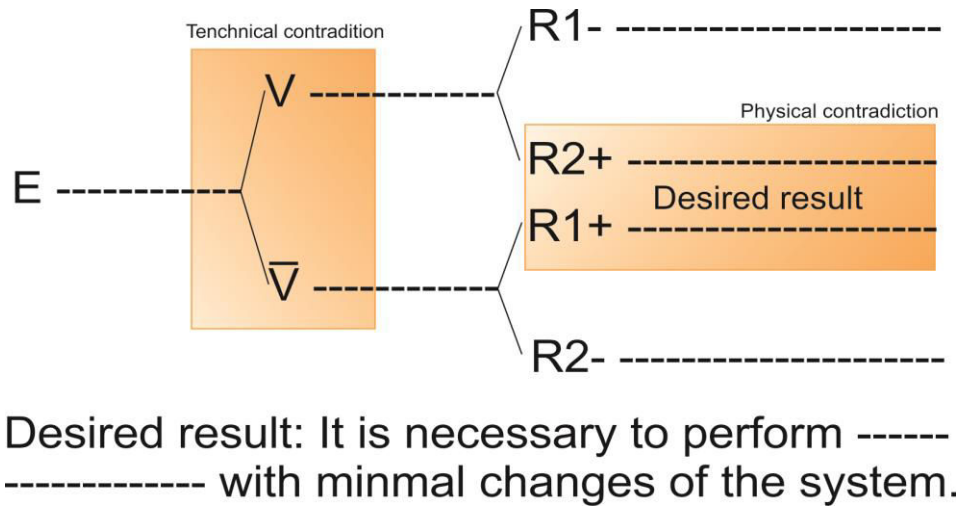


Fig. II-11. Le modèle ENV de Contradiction technique.

Dans la structure d'une contradiction, un Paramètre d'Action est associé à une paire de Paramètres d'Évaluation. Mais, de manière générale, un Paramètre d'Action est souvent associé à une quantité variable des Paramètres d'Évaluation ; ce phénomène reflète le fait qu'une action entreprise pour résoudre un problème peut produire plusieurs contradictions. La notion Poly-contradiction est le moyen de représentation ce phénomène (Fig. II-12).

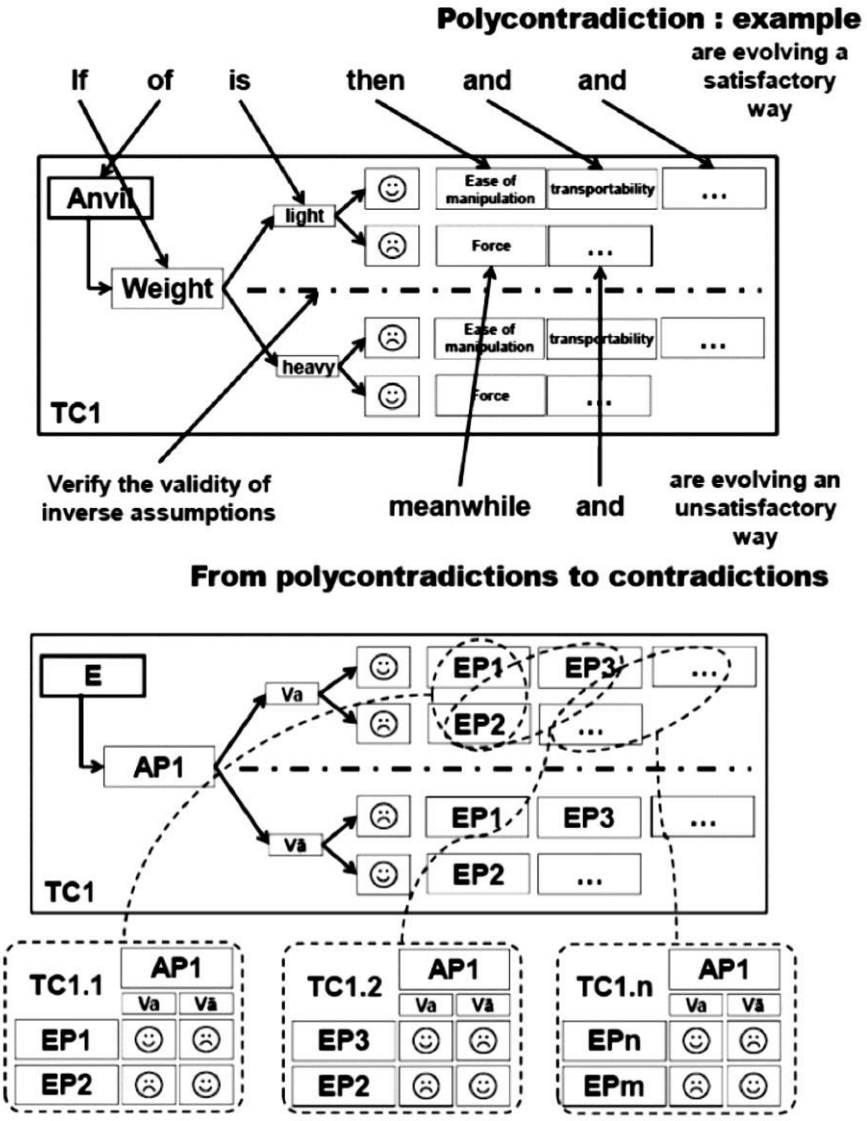


Fig. II-12. Exemple de la poly-contradiction d'IDM-TRIZ.(Cavallucci, 2012)

Choisir la contradiction

Toutes les contradictions identifiées dans la phase de l'analyse d'une situation complexe n'ont pas le même poids. IDM-TRIZ permet de visualiser l'impact de chaque contradiction dans l'espace de problèmes et donc permet d'aider le concepteur à choisir la contradiction à traiter.

Pour montrer le poids des contradictions, IDM-TRIZ les différencie en fonction de trois critères : l'importance, l'universalité et l'amplitude. Pour mesurer l'importance, le concepteur associe une valeur qualitative aux Paramètres d'Évaluation, et un coefficient au Paramètre d'Action. Cela permet d'évaluer l'impact de chaque contradiction technique sur l'ensemble des contradictions. Pour identifier l'universalité d'une contradiction, IDM-TRIZ

prend en compte la récurrence de ses Paramètres d'Évaluation dans la construction de toutes les contradictions du projet. Et pour calculer l'amplitude d'une contradiction, IDM-TRIZ considère le nombre des Paramètres d'Évaluation qui sont associés au Paramètre d'Action de la contradiction. La Fig. II-13 illustre la disparité dans une population des contradictions.

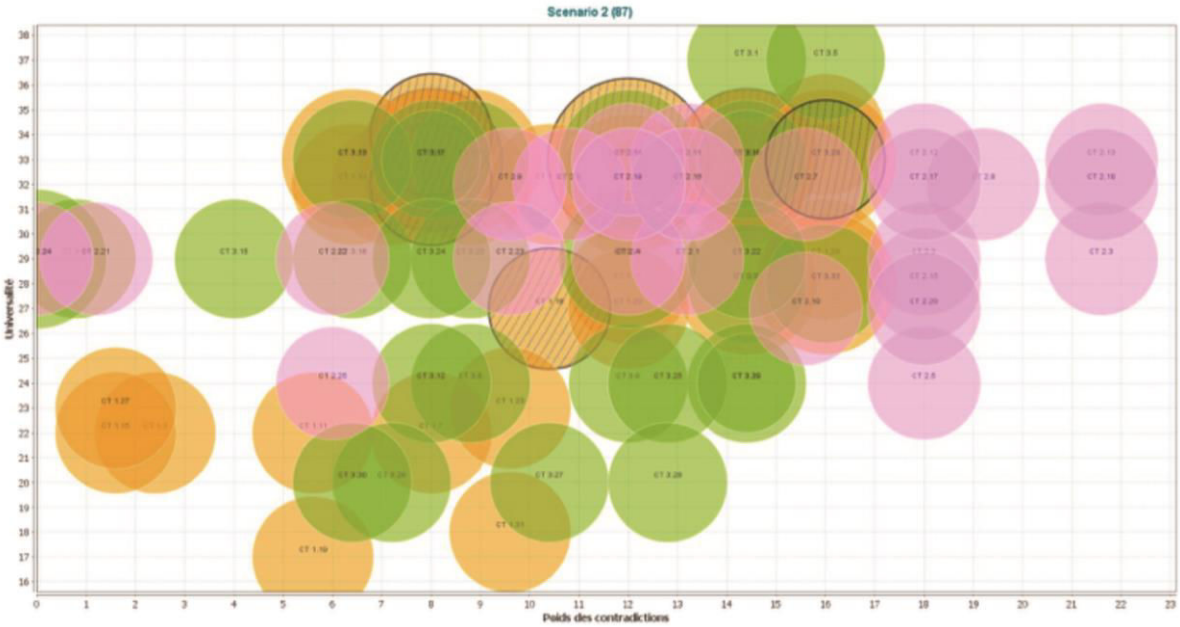


Fig. II-13- Exemple de la population des contradictions.

Étape 3 : Génération des concepts de solutions

Dans cette étape, IDM-TRIZ assiste le concepteur dans l'utilisation d'outils et techniques de la TRIZ pour la génération des concepts de solution

Étape 4 : Choix des directions de développement des concepts

Finalement, IDM-TRIZ utilise des matrices de Pugh pour hiérarchiser les concepts de solution trouvés dans la phase précédente. Cet outil permet d'identifier collectivement des concepts inventifs à fort impact sur la situation initiale.

Le Tableau II 2 présente comment IDM-TRIZ utilise les concepts, techniques et outils de la TRIZ dans ces étapes. De même, la « Deuxième Partie : Étude empirique » de cette thèse permet de mieux comprendre la démarche IDM-TRIZ.

Étape d'application	Concept, techniques et outils
Étape 1 : Analyse de la situation initiale	Graphe de Problèmes et Solution Partielles Modèle de la complétude du système (y compris le modèle de fonction) Analyse Multi-écrans Lois Objectives d'évolution technique
Étape 2 : Management des contradictions	Modèle ENV Poly-contradiction Critère d'influence des contradictions (l'importance, l'universalité et l'amplitude)
Étape 3 : Génération des concepts de solutions	Lois Objectives d'évolution (y compris l'Idéalité) Analyse des ressources 40 Principes Inventifs et Matrice de Contradiction 11 principes de séparation Analyse substance-champ (Su-field) 76 standards inventifs Pointeur des effets scientifiques D'autres méthodes d'imagination créative (Petit créature, Coût /temps/échelle, etc.)
Étape 4 : Choix des directions de développement des concepts	Méthode de Pugh

Tableau II-2. Classement les techniques et outils d'IDM-TRIZ.

II.1.4. La Conclusion

La théorie de la TRIZ est aujourd'hui acceptée en tant qu'une démarche puissante de résolution de problèmes techniques pour lesquels elle offre un ensemble d'outils et techniques cohérentes. Les recherches récentes sur la TRIZ, telles qu'IDM-TRIZ, ont contribué à l'élucidation des concepts fondamentaux de la TRIZ, à l'appropriation de ses techniques et à l'intelligibilité de sa démarche. Plus particulièrement, l'analyse collective de la situation complexe à travers le Graphe PB-SP, le modèle de formulation des problèmes en représentation centrée-objet, l'axiomatisation de la formulation des contradictions, et l'instrumentalisation de la démarche et la base de connaissances de la TRIZ sont des développements les plus avantageux réalisés au LGéCo. Ils permettent d'intégrer d'autres méthodes de conception poursuivant les mêmes raisonnements analogiques comme le retour

d'expérience et la réutilisation des solutions et analyses précédentes, d'une part, et d'autre part, favorisent le développement vers les domaines non-techniques.

Les conférences annuelles de TRIZ Future et ses actes montrent que la TRIZ continue à attirer de plus en plus de chercheurs, d'organisations de recherche et des industriels. En fait, les concepts fondamentaux et la dialogique systémique-dialectique de la TRIZ séduisent non seulement des ingénieurs mais aussi des chercheurs d'autres domaines de conception, à l'instar de la planification urbaine et régionale (Mirakyan & De Guio, 2013), de planification environnementale (Ohresser-Oppenhauser, 2010), du management (Koriajnova, 2009), ainsi que de l'architecture. La mise en œuvre de la TRIZ dans une telle constellation de domaines variés touchant aussi des domaines non-techniques doit être considérée comme la puissance d'une pensée qui peut s'étendre et renforcer sa robustesse théorique.

Dans la section suivante, nous présentons l'état de l'art (*review*) de l'application de la TRIZ dans les domaines relatifs à l'architecture.

Ch. II.3. L'exploration de l'applicabilité de la théorie TRIZ en architecture – une synthèse

Dans cette section, nous recherchons les façons dont la TRIZ est utilisée en architectures. De plus, nous tentons d'esquisser une perspective des champs possibles d'application architecturale de la TRIZ. Il s'agit d'une recherche qui porte sur toutes les publications relatives à une telle application que nous avons trouvées jusqu'au juin 2015. Les articles ne sont pas de qualité homogène, il y a des articles scientifiques, des articles professionnels et aussi des communications ayant pour objectif de proposer l'utilisation de la TRIZ en architecture en soulignant ses possibilités et ses intérêts. Nous présentons ainsi une synthèse portant sur 24 publications en anglais qui touchent du près ou du loin l'architecture. Les publications (Najari, et al., 2015, 2014a, et 2014b) portant sur notre thèse ne sont pas présentes dans cette synthèse.

Cette synthèse identifie quatre champs d'application A) la conception architecturale ; B) les matériaux, techniques et technologies de construction ; C) les méthodes de conception architecturale ; D) les autres pistes possibles. Nous cherchons par ailleurs à savoir si le problème étudié a été identifié au départ ou si c'est la théorie de la TRIZ qui a permis de l'identifier et de le formuler. Enfin, nous nous sommes aussi intéressés à l'échelle du problème traité ; le terme « Mini problème » signifie un problème partiel relatif à un des éléments architecturaux, par exemple l'escalier, alors que le terme « Maxi problème » signifie le projet architectural dans sa globalité. Les outils et les techniques de la TRIZ qui ont été exploités par ces recherches publiées sont également mentionnés. Mais l'évaluation des résultats et des contributions de ces recherches ne relève pas du cadre de cette synthèse. Un tableau synthétique complète la conclusion de cette section.

II.3.1. Conception Architecturale

Nous avons identifié pour ce champ les recherches qui tentent d'appliquer la théorie de la TRIZ à la conception architecturale.

- (Nazidizaji et al., 2014), dans « *Parameters and Contradictions in Indoor Accessibility Problems* », abordent la question de l'orientation (*wayfinding*) dans un bâtiment universitaire. L'objectif était d'identifier des paramètres et des contradictions liés au problème d'accessibilité.
- (Kiatake & Petreche, 2012), dans « *A case study on the application of the theory of inventive problem solving in architecture* » abordent la question de l'accessibilité dans la phase amont de conception d'un projet de rénovation architecturale. Les chercheurs ont exploité deux outils de TRIZ pour identifier les paramètres contradictoires qui conduisent à la génération de solutions. Dans une première partie, une version du modèle dialectique de la formulation du problème[1] et le Questionnaire de la situation de l'innovation (ISQ)[2] ont été appliqués pour la structuration du problème. Dans une deuxième partie, la Matrice des contradictions et les Principes Inventifs ont été utilisés pour trouver les concepts de solution.
- (Yang & Guo, 2011), dans « *Application and Analyse of TRIZ in Man-Made Environnement* », analysent le projet *The Ark* conçu par l'architecte russe Alexander Remizov et établissent une correspondance entre quatre nouveaux concepts pour une architecture respectant l'environnement et la notion de l'Idéalité et la Matrice de contradiction.
- (Catháin & Mann, 2009), dans « *Construction Innovation Using TRIZ*[3] », présentent l'utilisation rétrospective de la méthode de la TRIZ dans la conception de la façade d'un immeuble. Ils présentent aussi deux tentatives d'utilisation de la TRIZ pour des problèmes à l'échelle urbaine. Le contenu de cette recherche consiste à montrer l'apport de la TRIZ dans la génération de solutions innovantes pour les cinq problèmes suivants : 1) l'allocation d'une rampe, 2) la double peau de la façade, le volet électrique et ses senseurs, 3) la forme des lames en aluminium,

---

[1] *Problem Formulation Process (PFP)*

[2] Innovation Situation Questionnaire est développé par (Terninko, Zusman, & Zlotin, 1998) pour une représentation du problème généralement défini en décomposant ses éléments et leurs fonctions utiles.

[3] Une autre version de cet article est publiée, intitulée « *The Integration of External Knowledge into Architectural* », (Catháin & Mann, 2008). Cette version contient également une discussion sur les insuffisances du système actuel de l'éducation architecturale.

4) l'aménagement des espaces urbain, 5) l'agencement des blocs de bâtiments. Cet article ne présente cependant pas d'une manière détaillée la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

- (Kankey & Ogot, 2005) dans « *Improving the Acoustics in a Historic Building Using Axiomatic Design and TRIZ* » rapportent une application de la TRIZ pour résoudre un problème concernant l'acoustique d'un auditorium historique. Cette recherche propose une utilisation simultanée de la TRIZ et de la Conception axiomatique pour résoudre le problème d'amélioration de la clarté et de la plénitude des sons, ainsi que de la perception sonore. Les auteurs, dans un premier temps, utilisent la Conception axiomatique pour modéliser le problème et identifier la contradiction qui le produit. Dans un deuxième temps, ils utilisent le modèle Su-Field et puis les Standards Inventifs pour trouver des concepts de solution pour le problème modélisé.
- (Mann & Catháin, 2005) dans « *Using TRIZ in Architecture: First Steps* » présentent un projet de fin d'études portant sur le problème de l'intégration de l'énergie passive du vent dans la conception du volume du bâtiment. Cet article ne présente pas d'une manière détaillée la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ

II.3.2. Matériaux, Techniques, et Technologies de Construction

- (Padmanabhan, 2013), dans « *Study on increasing wind power in buildings using TRIZ Tool in urban area Energy and Buildings* », rapporte une application de la TRIZ pour améliorer la productivité de la technologie d'énergie passive produite par les éoliennes. Cette étude porte sur une nouvelle solution conçue à l'aide de la TRIZ pour augmenter la sortie de la vitesse du vent et la puissance de petites turbines situées dans les zones urbaines où la vitesse du vent est relativement faible. L'effet de la forme et de la pente du toit sur la vitesse du vent et son impact sur la productivité des petites éoliennes ont été étudiés à l'aide des techniques de la « Mécanique des Fluides Numériques ».
- (Chiu & Cheng, 2012), dans « *The Improvement of Heat Insulation for Roof Steel Plates by TRIZ Application* », rapportent l'application de la TRIZ pour améliorer

l'isolation thermique d'un bâtiment couvert par des panneaux de toiture. Il s'agit du développement d'une nouvelle peinture résistante à la chaleur pour utiliser sur ce matériau. L'application de la Matrice des Principes Inventifs de la TRIZ propose un concept de solution spécifique par l'ajout d'un additif chimique, qui a permis une meilleure isolation thermique des panneaux.

- (Coşkun & Altun, 2011), dans « *Applicability of TRIZ to In-Situ Construction Techniques* », s'interrogent sur l'applicabilité de la TRIZ dans les techniques d'assemblage *in situ* de la jonction de deux parties en bois. Les chercheurs ont utilisé la Matrice des Principes Inventifs et trouvé quatre concepts de solution, dont deux solutions inédites.
- (Lee & Deng, 2006), dans « *A Design System Integrating TRIZ Method and Case-Based Reasoning Approach* », s'interrogent sur la possibilité d'utiliser la TRIZ pour améliorer les performances du processus de Raisonnement par Cas. Ils rapportent aussi une application de la TRIZ dans la conception d'une applique murale. La recherche reconnaît l'apport de la TRIZ dans la génération d'idées. Le résultat est le prototype du logiciel d'un système dans lequel la démarche du raisonnement par cas et les 40 Principes Inventifs de la TRIZ sont intégrés. Dans le cas de l'applique murale, le système utilise les 39 paramètres génériques d'ingénierie de la TRIZ pour explorer les cas analogues et la Matrice de contradiction. L'application n'est pas présentée de manière détaillée, mais selon les auteurs la Matrice de contradiction a permis de proposer quatre nouveaux concepts.

II.3.3. Méthodes de conceptions inspirées par la théorie TRIZ

II.3.3.1. Conception Architecturale Biomimétique via la TRIZ

La BioTRIZ est un des champs de recherche sur la conception inventive qui a beaucoup attiré l'attention. L'objectif principal est de développer une ontologie pour la biomimétique permettant de pointer les patterns biologiques de résolution de problème pour la conception inventive. Altshuller a aussi reconnu la nécessité d'une base de données de la TRIZ qui contient des connaissances biologiques. (Vincent & Mann, 2002) La BioTRIZ utilise des concepts fondamentaux de la TRIZ, à l'instar de Fonction Principale Utile, la Contradiction,

l'Idéalité, les Lois objectives d'évolution technique, pour structurer les phénomènes biologiques modélisés en termes de solution pour des problèmes exprimés sous forme de contradiction. De plus, la BioTRIZ possède une matrice de contradictions dans laquelle les Principes Inventifs de la TRIZ sont regroupés dans les catégories suivantes : Substance, Structure, Espace, Temps, Énergie, Information. (Vincent, Bogatyreva, Bogatyrev, Bowyer, & Pahl, 2006)

La Bio TRIZ est principalement développée par J. F. Vincent. Étant biologiste, il a publié plusieurs articles rapportant les résultats de ses travaux de recherches souvent réalisés en collaboration avec des concepteurs, dont des architectes. Dans ce qui suit, nous présentons une synthèse des recherches faite par l'application architecturale de la BioTRIZ.

- (Sunguroğlu Hensel & Vincent, 2015), dans « *Evolutionary inventive problem-solving in biology and architecture: ArchiTRIZ and Material-Ontology* », promeuvent un modèle de conception dans lequel la convergence, l'homologie et le développement évolutifs sont imbriqués dans la conception et forment une base pour corréler la biologie et l'architecture au moyen de la TRIZ. Ce modèle rend l'architecture comparable à la biologie dans les trois niveaux suivants : le raisonnement évolutionniste, la convergence des solutions, et l'espace de niche écologique. Il s'agit du développement d'un modèle évolutif, nommé ArchiTRIZ, basé sur la notion de Convergence biologique qui a pour but d'exploiter les patterns biologiques de résolution de problème. La notion de Convergence désigne une ontologie formelle de la biologie évolutionnaire qui prend en compte la similitude phénotypique entre les espèces apparentées de loin et à tous les niveaux de la hiérarchie structurelle et biochimique.

  Les auteurs identifient une parenté entre l'approche convergente de la TRIZ et le concept de convergence en biologie. Ils utilisent des concepts fondamentaux de la TRIZ comme les Lois objectives d'évolution des systèmes techniques et l'Idéalité pour développer une approche s'appuyant sur le principe de convergence biologique, contrairement aux modèles évolutionnaires numériques qui s'appuient sur le principe de sélection biologique. Cette recherche a développé la base d'une ontologie comme outil de conception ayant pour vocation le transfert systématique de connaissances. Elle offre un cadre général et des normes pour collecter des données biologiques et architecturales de différents niveaux de complexité, pour les analyser et les comparer. Cet article présente aussi une classification des patterns d'évolution

biologique basée sur le modèle de résolution de problèmes de la TRIZ, ainsi que de leurs applications éventuelles dans la conception architecturale.

Les auteurs ont également développé un outil informatique, intitulé ManOnt (*Material-Ontology*) qui permet de relier les informations concernant deux matériaux (la céramique et le bois) à la structure d'ArchiTRIZ. Il est également possible de générer et de modifier des codes de programme utilisés pour la représentation géométrique et topologique et des modèles mathématiques de simulation.

Cet article ne présente pas d'une manière détaillée la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

- (Vincent, 2014), dans « *Biomimetics in architectural design* », aborde essentiellement la question de la biomimétique en architecture. Divers phénomènes biologiques appliqués ou applicables en architecture sont présentés. Vincent explique aussi l'intérêt des concepts fondamentaux de la TRIZ pour définir le niveau d'abstraction nécessaire pour le transfert de connaissances.

  Cet article ne présente pas d'une manière détaillée la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

- (Vincent, 2009), dans « *Biomimetic Patterns in Architectural Design* », à travers des exemples concrets abord le thème général de la BioTRIZ. L'auteur identifie trois niveaux distincts dans lesquels les patterns de résolution de problème identifiés en biologie peuvent être transférés vers l'architecture. Dans le premier niveau, il s'agit de copier directement l'objet biologique ; dans le deuxième niveau, on se focalise sur ce qui doit être changé afin de résoudre le problème ; et dans le troisième niveau, le concepteur se concentre sur ce qu'il veut améliorer et sur ce qui empêche cette amélioration.

  L'auteur argumente que c'est à ce troisième niveau que la biomimétique peut réellement contribuer à la conception inventive architecturale. Et, en soulignant l'importance de l'identification des patterns au niveau le plus abstrait pour le transfert de connaissances, l'auteur démontre que les concepts principaux de la TRIZ, tels que l'Idéalité, la Contradiction, et les Su-Fields, permettent d'atteindre le niveau d'abstraction nécessaire pour un tel transfert.

  Cet article ne présente pas d'une manière détaillée la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

- (Craig et al., 2008), dans « *BioTRIZ Suggests Radiative Cooling of Buildings Can Be Done Passively by Changing the Structure of Roof Insulation to Let Long-wave Infrared Pass* », rapportent une application de la BioTRIZ pour la conception des bâtiments situés dans les climats chauds dotant d'un toit capable d'obtenir le refroidissement par couplage rayonnant avec le ciel. Pour traiter ce problème les chercheurs ont utilisé la TRIZ, la PRIZM[1], la BioTRIZ et la Matrice de contradiction et ses Principes Inventifs.
- (Vincent et al., 2006), dans « *Biomimetics : its practice and theory* », proposent une approche générale de la BioTRZ. Cet article liste certains exemples pour lesquels le concepteur a été inspiré par la nature, dont Gustave Eiffel, Frei Otto, Santiago Calatrava. Les auteurs argumentent qu'en architecture la biologie a souvent été considérée comme une bibliothèque de formes, alors que la BioTRIZ permet de dépasser une telle approche réductrice.

  Cet article ne présente pas d'une manière détaillée la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.
- (Vincent & Mann, 2002), dans « *Systematic technology transfer from biology to engineering* », exposent la recherche sur les méthodes qui plus tard sera présentée comme BioTRIZ. Les auteurs présentent, en outre, quelques concepts biomimétiques retrouvés à l'aide de la démarche de la TRIZ pour la conception d'objets et de technologies utilisables en architecture, à l'instar du principe de Segmentation de l'espace pour améliorer l'isolation thermique.

  Cet article ne présente pas d'une manière détaillée la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

II.3.3.2. D'autres méthodes de Conceptions inspirées par la méthode TRIZ

- (Chang et al. 2010), dans « *Exploring Underlying Patterns of Emergent Problem-Solving in Construction with TRIZ* », rapportent une adaptation du modèle de structuration des patterns de résolution de problème de la TRIZ pour développer les

[1] La matrice de PRIZM est dérivée de la Matrice des Principes Inventifs de la TRIZ. Elle est développée pour faciliter l'implantation des modèles de Su-Field et les relier à la Matrice des Principes Inventifs. Elle est élaborée sur la base d'observations qui démontrent une préférence statistique pour certains des Principes Inventifs. Dans cette matrice les paramètres sont regroupés dans les catégories suivantes : Substance, Structure, Espace, Temps, Énergie, Information. (Bogatyreva et al., 2004)

bases du « *Model of Engineering Problem Solver* » (MEPS). Il s'agit d'un système de gestion des connaissances basé sur le retour d'expérience. Les auteurs ont collecté 908 cas de problèmes du domaine de la gestion de l'ingénierie classés par des bureaux d'études taïwanais. Ces expériences ont été implantées dans le MEPS. Les auteurs déclarent avoir emprunté la méthodologie de la TRIZ pour définir les étapes de la construction de ce système. Les étapes sont les suivants. (1) Classification des problèmes d'ingénierie de la construction; (2) Analyse et sélection des leçons apprises par les expériences; (3) Identification des paramètres de gestion; (4) Identification des principes de résolution de problèmes; (5) Mise en place d'une matrice de contradiction; (6) Proposition d'une démarche de résolution de problème.
Cet article ne présente pas d'une manière détaillée la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

- (Arora & Saxena, 2009), dans « *An Evolutionary Architecture: Adapted, interactive, and effectively integrated design*», reconnaissent deux idées qu'ils ont empruntées de la TRIZ : premièrement, la réutilisation des solutions déjà trouvées (en l'occurrence par la nature) pour les problèmes récurrents, et deuxièmement, l'adaptation de la solution à la condition évoluée dans le temps.
  Cet article ne présente pas d'une manière détaillée la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

II.3.4. D'autres pistes

Ils se trouvent également des publications qui ont pour mission de présenter la TRIZ aux architectes, et d'encourager une exploration architecturale. Les auteurs de ce type de publications tentent de souligner l'utilité de la TRIZ en démontrant quels sont les techniques et les outils de la TRIZ qui permettent d'améliorer la conception et de proposer des solutions plus innovantes. De plus, ils essaient de montrer comment la TRIZ peut contribuer à l'organisation des connaissances techniques dans des formes génériques facilitant la récupération. Ces recherches visent l'interprétation des concepts de la TRIZ, plutôt que la résolution d'un problème donné. Ainsi, ils évoquent différents champs architecturaux possibles pour utiliser la TRIZ.

- (Nazidizajia, et al., 2015), dans « *Towards a TRIZ based and C-K validated creative approach in architectural design* », proposent une comparaison des outils de la TRIZ

avec les opérateurs de la théorie C-K. Ils concluent que la TRIZ comme méthode de conception en architecture peut être validée par la théorie C-K selon laquelle une conception peut être présentée comme une interaction entre deux espaces interdépendants de Concepts et de Connaissances possédant des structures et des logiques différentes.

Cette communication ne présente pas la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

- (Gadd, 2004), dans « *TRIZ, Architecture & Engineering - Practical assistance for Creative Genius* », encourage des architectes à consulter les techniques de la TRIZ pour en explorer de nouvelles possibilités. L'auteur argumente que les architectes utilisent couramment des principes de la TRIZ de manière intuitive. Il présente les œuvres complexes de Frank Gehry et de Gaudi comme des inventions qu'on peut l'analyser à partir des principes de la TRIZ.

  Cette communication ne présente pas une résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

- (Rantanen, 2005a), dans « *Homes for Strong Families, Children, Seniors and All Others. How Universal Design, Design for All and Forty Principles of TRIZ Enforce Each Other ?* », tente de montrer que les concepts de solution de la TRIZ peuvent être intégrés à l'ensemble des concepts architecturaux réunis sous le nom *Design for All*, développé par le *Center Universal Design* de l'université de *North Carolina State*. Pour le thème d'accessibilité, l'auteur interprète les Principes Inventifs et en retire une quarantaine d'idées générales. Les exemples suivants en illustrent la nature. Principe 3 (Qualité locale) : Les plinthes aident à ouvrir la porte ; Principe 4 (Changement de Symétrie) : Les béquilles sont plus faciles à utiliser que les poignées rondes pour les personnes ayant une force limitée ; Principe 7 (Poupée russe (imbriqué)) : La porte coulissante dans la cavité du mur ; Principe 15 (Dynamisme) : Les portes pliantes.

  Cette communication ne présente pas la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

- (Rantanen, 2005b), dans « *Transfer Ready Ideas from Outside to Home-building. TRIZ Helps Find Solutions from Other Industries* », expose quelques idées qu'il qualifie d'innovantes. Elles sont le résultat d'une interprétation libre des Principes Inventifs.

Cette communication ne présente pas la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

- (Mann & Catháin, 2001a), dans « *40 Inventive (Architecture) Principles With Examples* », cherchent à explorer l'applicabilité des Principes Inventifs de la TRIZ classique pour un usage architectural. Ils proposent que les Principes Inventifs soient utilisés comme un moyen de structuration systématique des séances de brainstorming.

  Cet article ne présente pas la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

- (Mann & Catháin, 2001b)[1], dans « *Computer-Based TRIZ - Systematic Innovation Methods For Architects* », tentent d'explorer comment les techniques de définition du problème par la TRIZ pourraient aider à trouver des solutions plus robustes en architecture. Les auteurs présentent les concepts fondamentaux, les Principes Inventifs, les Lois objectives d'évolution technique et le Pointeur des effets scientifiques. Ils essaient également d'imaginer, par analogie, la contribution potentielle de ces éléments à l'architecture. Et cela à travers cinq mini problèmes concernant le nettoyage de vitres, la circulation verticale et l'isolation.

  Cet article ne présente pas d'une manière détaillée la résolution d'un problème architectural par l'application de la TRIZ.

II.3.5. La conclusion

L'analyse qui vient d'être réalisée avait pour but de faire le point sur l'utilisation faite de la TRIZ en architecture. Au total, pendant ces 15 dernières années, 31 chercheurs ont été impliqués dans des recherches portant sur l'application de la TRIZ dans un des champs relatifs à l'architecture. Ces chercheurs ont rapporté les résultats de leurs réflexions par 24 publications. Le Tableau II-3 présente une synthèse de ces publications.

[1] Une autre version de cet article est publiée sous « *Systematic Innovation Methods For Architects* », (D. Mann & Cathain, n.d.) dans laquelle quelques interprétations générales des outils de la TRIZ ont donné des idées comme le logement flexible, de nouveaux traitements de façade.

	Nature de la contribution				Problème/Contradiction		Échelle du problème		Outils TRIZ explorés								
Article	Conception architecturale	Matériaux, techniques, et technologies de construction	Méthodes de conception architecturale	D'autres pistes	Identifié	Non-identifié	Mini problème	Maxi problème	40 Principe Inventifs et Matrice de Contradiction	Idéalité	Lois Objectives d'évolution	76 Standards Inventifs	Analyse substance-champ (Su-field)	Pointeur des effets scientifiques	Analyse Multi-écrans	11 Principes de séparation	D'autres techniques
Nazidizaji S. et al. (2014)	X				X			X	X			X	X				
Kiatake M. et J.Petreche (2012)	X				X		X		X								
Yang et Guo (2011)	X				X			X	X	X							
Catháin O et D. Mann (2009)	X				X		X	X	X	X							
Kankey A. et M. Ogot (2005)	X				X			X				X	X				
Mann D. et Ó Catháin (2005)	X				X		X		X	X							
Padmanabhan K. (2013)		X			X		X		X								
Chiu R. et Cheng Sh. (2012)		X			X		X		X								
Coşkun K. et Cem Altun (2011)		X			X		X		X								
Lee Y. et Y Deng (2006)		X			X		X		X								
Sunguroğlu Hensel et Vincent (2015)			X		X		X		X								
Vincent J.F. (2014)			X		X			X	X	X							
Vincent J.F. (2009)			X		X			X	X	X			X				
Craig et al. (2008)	X		X		X		X		X	X							X
Vincent et al. (2006)	X		X														
Vincent. J. et D. Mann (2002)			X						X							X	
Chang et al. (2010)			X						X								
Arora et Saxena (2009)			X						X								
Nazidizajia et al. (2015)				X													
Gadd K. (2004)				X			X										
Rantanen, K. (2005, a)				X			X		X								
Rantanen, K. (2005, b)				X					X								
Mann D. et O Cathain (2001, a)				X			X		X								
Mann D. et O Cathain (2001, b)				X			X		X	X	X			X			

Tableau II-3. La synthèse des publications portant sur l'application de la TRIZ dans un des champs relatifs à l'architecture.

La Fig. II-14 montre la répartition des applications de la théorie de la TRIZ dans quatre champs relatifs à l'architecture. Au total, 8 publications portent sur la Conception architecturale, 4 publications sur les Matériaux, Techniques, et Technologies de Construction, 8 publications sur les Méthodes de Conception, dont 6 publications sur la BioTRIZ, et enfin 6 publications évoquent d'autres pistes d'application possibles.

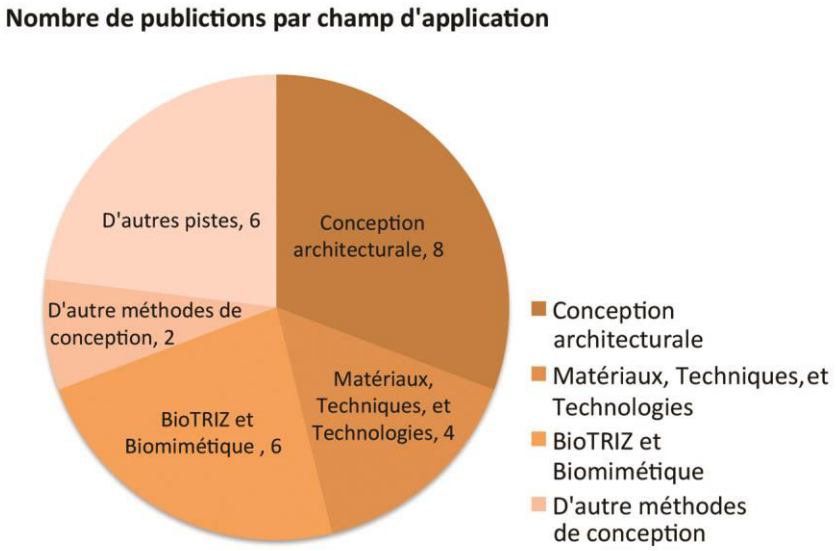


Fig. II-14. La disparité des publications en fonction des champs d'application de la TRIZ en architecture.

De plus, comme la synthèse le démontre, au total, 18 problèmes sont traités. Tous sont des problèmes préalablement identifiés. Par conséquent, aucune recherche ne rapporte la construction de l'espace de problèmes. En plus, seulement 6 problèmes sont des maxi-problèmes, contre 12 mini-problèmes, sous-problème d'un problème décomposé ou d'une fonction particulière. Ce type de problèmes fait partie de la conception architecturale, mais la conception à l'échelle du projet n'a constitué le sujet d'aucune de ces recherches.

La Fig. II-15 présente la disparité de ces recherches sur l'axe de temps. Elle montre que le nombre de publications est 1.7 article par an[1]. Si le taux de publications sur l'utilisation de la TRIZ en architecture est très faible par rapport à l'ensemble des publications sur la TRIZ et sur la conception architecturale, la tendance stable de publications sur ce thème nous permet cependant de conclure que la TRIZ continue à attirer l'attention des architectes, ce

[1] *En comptant les deux versions de (Mann et Cathain (2001, b)*

qui est rare pour les théories et techniques élaborés en conception d'ingénierie. Ce faible nombre de publications peut être expliqué, en outre, par le système de formation en architecture. (Kowaltowski et al., 2010) rapportent le résultat d'une enquête sur les diverses méthodes créatives enseignées dans la discipline d'architecture de 28 universités/écoles de différents pays. L'enquête montre que la formation en architecture ne s'appuie pas sur des méthodes de conception pour stimuler la créativité des étudiants. En ce qui concerne la TRIZ, seulement 7.1% des enseignants qui ont répondu à l'enquête déclaraient connaitre la TRIZ, mais personne ne l'a jamais enseigné dans ses cours.

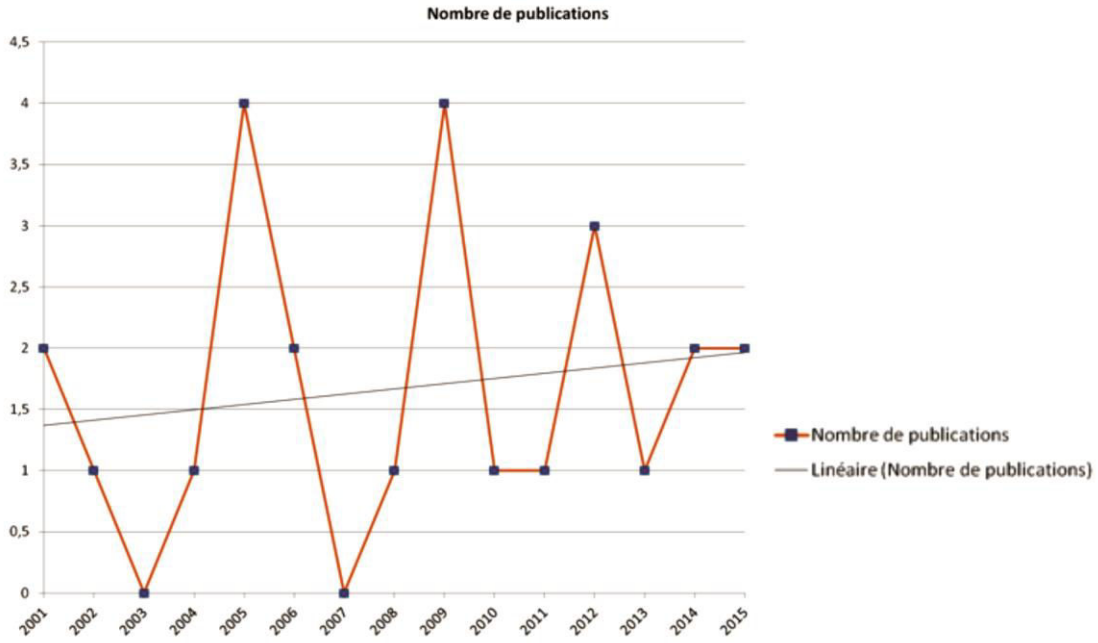


Fig. II-15. La disparité de publications sur l'application la TRIZ en architecture de 2001 à 2015.

Étant donné que les publications sont souvent fondées sur des recherches interdisciplinaires et internationales, il n'est pas facile de localiser géographiquement les instituts qui ont plus concentré sur ce thème, mais nous pouvons constater que les chercheurs en Grande-Bretagne, en Chine et puis au Brésil ont contribué plus.

En ce qui concerne les méthodes, les techniques et les outils exploités, nous pouvons constater que les Principes Inventifs et la Matrice de contradictions, ainsi que la notion de l'Idéalité sont les plus utilisés. La Fig. II-16 montre la disparité d'utilisation des méthodes, techniques et outils de la TRIZ.

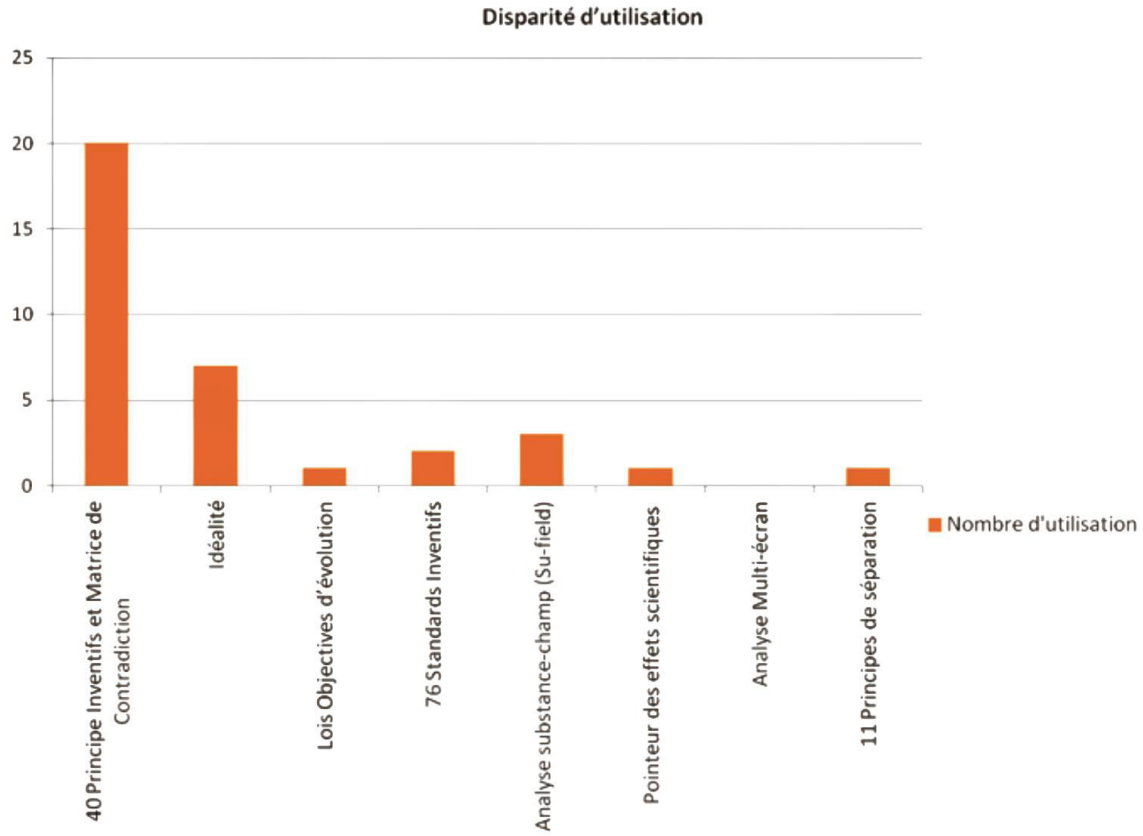


Fig. II-16. La disparité d'utilisation des méthodes, techniques et outils de la TRIZ.

Cette analyse montre qu'aucune de ces recherches n'a abordé la programmation architecturale. De même, ni IDM-TRIZ ni OTSM-TRIZ n'ont été appliquées dans ces recherches. Par conséquent, ni le Graphe Problèmes – Solution Partielles, ni le Modèle ENV et ni la Poly-contradiction n'ont été utilisés.

De plus, l'analyse de publications révèle quatre domaines dans lesquels les auteurs ont examiné les apports de l'application de la TRIZ pour l'architecture : la résolution de problème, la génération d'idée, l'innovation, et le transfert des connaissances. Mais, l'enquête menée par (Ilvebare et al. 2013) montre que les utilisateurs de la TRIZ confirment l'apport de cette méthode dans les sept domaines suivants : 1) la structuration de problèmes, 2) la résolution de problèmes, 3) la génération d'idées, 4) l'invention et l'innovation, 5) la prévision (*forecasting*) et la stratégie du développement technologique, 6) le management de l'innovation, et 7) le transfert des connaissances et le travail collaboratif. Cela indique qu'en plus d'approfondir la recherche dans les quatre domaines d'utilisation déjà examinés, il reste aussi à explorer les domaines concernant la structuration de l'espace de problèmes, la prévision technologique et le management d'innovation.

Ch. II.4. La conclusion du Chapitre II

Dans la première section de ce chapitre, nous avons présenté la théorie de la TRIZ, ses concepts fondamentaux, ses principes, ses outils et ses techniques en appuyant sur les recherches effectuées au Laboratoire de Génie de Conception (LGéCo). De plus, nous avons présenté un développement de la théorie TRIZ, intitulé IDM-TRIZ. Dans cette dernière, la théorie du graphe et le modèle de formulation des problèmes en représentation centrée-objet sont intégrés dans le corpus théorique de la TRIZ. Cette intégration permet d'élaborer la phase de l'analyse de la situation complexe, de l'axiomatisation de la formulation des contradictions, et l'instrumentalisation de la démarche et la base de connaissances de la TRIZ.

La deuxième section de ce chapitre a été consacrée à l'état de l'art (*review*) de l'application de la TRIZ dans les champs relatifs à l'architecture. Nous avons proposé un classement pour les recherches publiées qui consiste à quatre champs d'application : Conception architecturale ; Matériaux, Techniques, et Technologies de Construction ; Méthodes de Conception ; et d'autres pistes. Cet état de l'art montre qu'aucune de ces recherches n'a abordée la question de la programmation architecturale. De même, ni IDM-TRIZ ni OTSM-TRIZ n'ont été appliquées par ces recherches. Par conséquent, ni le Graphe Problèmes – Solution Partielles, ni le Modèle ENV et ni la Poly-contradiction n'ont été utilisés. Cette analyse révèle également que la structuration de l'espace de problèmes, qui est des domaines de l'application de la TRIZ, n'est pas explorée par ces expérimentations architecturales.

La construction de l'espace de problèmes (comprenant à la fois des problèmes et des solutions connues) et la formulation de problèmes constitue la première étape du processus de solution de problème selon la TRIZ et qui est l'une des tâches les plus délicates à mettre en œuvre. Cette étape correspond à la phase d'Analyse de la situation initiale d'IDM-TRIZ. Et comme nous l'avons motionné, IDM-TRIZ utilise dans cette phase le Graphe Problème – Solution Partielles pour représenter les objectifs, les contraintes et les solutions du projet sous forme de contradiction.

En fait, cette phase poursuit le même objectif que la phase amont de la conception architecturale. Ainsi, nous pouvons préciser les questions de notre recherche. D'une recherche qui a pour objectif d'examiner les apports éventuels de la notion de contradiction au sens TRIZ en phase amont de la conception architecturale découle deux questions :

- Est-il possible de représenter les objectifs, les contraintes et les solutions exprimés par le programme architectural sous forme de contradiction ?
- Quelles sont les conséquences de cette représentation sur le programme architectural ?

Le travail présenté dans cette thèse se focalise principalement sur ces deux questions. Mais nous nous intéressons aussi à la capacité des outils et des techniques de la TRIZ à générer de concepts de solution pour des problèmes architecturaux formulés comme contradiction. Pour ce faire, nous modélisons le programme architectural du projet de Rénovation – Extension de l'INSA de Strasbourg sous forme de contradiction à travers le Graphe Problèmes – Solution Partielles d'IDM-TRIZ et utilisons aussi le corpus théorique de la TRIZ pour définir des concepts de solution pour résoudre une des contradictions du projet. (voir la Deuxième Partie : Étude empirique)

Mais avant de présenter cette étude empirique, nous exposons dans le chapitre suivant (Chapitre III) une étude portant sur deux figures distinctes de la théorie de la conception architecturale : Christopher Alexander et Rober Venturi. L'intérêt de cette étude vient du fait que le premier a introduit l'usage du graphe dans la conception environnementale, et le deuxième a donné au terme « contradiction » une signification particulière mais dominante dans le discours architectural.

Chapitre III La quête de l'insaisissable et La question de contradiction en architecture

Dans le chapitre précédent, nous avons vu qu'IDM-TRIZ a intégré des outils utilisés dans la théorie de graphe au corpus théorique de la TRIZ classique dans le but de le développer vers les situations complexes. Mais, ces outils ont été déjà exploités en architecture et ont produit des résultats controversés. ((Kalay, 2004), (Buchanan, 1992)) De même, la force de la théorie TRIZ vient du fait qu'elle réunit la pensée dialectique et la pensée systémique et produit un ensemble cohérent de démarches, de techniques et d'outils pour faire face à la complexité de la conception. Le caractère pluridisciplinaire de notre recherche, qui a pour objectif d'examiner la contribution de la théorie de la TRIZ à la première phase de la conception architecturale, nécessite d'interroger les façons dont ces deux courants de pensée sont appréhendés en architecture. Pour ce faire, nous nous focalisons sur deux personnages phares de la théorie de conception architecturale: Christopher Alexander et Robert Venturi. La première section du chapitre présent est consacrée aux travaux théoriques d'Alexander, alors que la théorie de Venturi sur la contradiction est présentée dans la deuxième section. L'intérêt d'une réflexion approfondie sur ces deux personnages vient du fait qu'ils abordent la question de la complexité par deux voies totalement différentes. Alors qu'Alexander aborde la complexité par une approche systémique et par le biais de la théorie des ensembles et que son principal moyen de représentation est le graphe, Venturi trouve la réponse dans l'expression des aspects contradictoires en architecture. Il est donc intéressant pour nous d'explorer la pensée d'Alexander et celle de Venturi, car chacun développe une théorie différente en mettant cependant la dialectique et la pensée systémique au cœur de leurs réflexions.

La notion du système constitue le sujet de plusieurs recherches architecturales et forme une tradition dans la théorie de l'architecture en abordant plusieurs aspects : de la modélisation du processus de conception à la modélisation de l'œuvre architecturale, des outils d'analyse et de représentation aux outils d'évaluation des impacts de l'œuvre. (Sunguroğlu Hensel & Vincent, 2015) en citant (Kubler, 1962) et (Lethaby, 1957) notent qu'on peut retrouver les fondements de la pensée systémique en architecture déjà chez les théoriciens de l'antiquité et de la renaissance comme Vitruve, Alberti, et notamment Leonard de Vinci. Cependant, l'étude systémique en tant qu'une approche philosophique et scientifique a commencé dans les années 1940 et a pris ampleur à partir des années 1960. ((Moigne, 1994), (Simon & Le Moigne, 1991)) Pour ne citer que deux théoriciens adaptant cette pensée dans leurs recherches architecturales , nous pouvons rappeler l'ensemble de recherches de Ph. Boudon sur l'architecturologie, mené à partir des années 1970 dans le milieu francophone et les recherches de (Wade, 1977) aux États-Unis. Christopher Alexander est aussi un des premiers de ce mouvement qui commence à aborder la question de complexité en introduisant la théorie des ensembles dans la planification des espaces bâtis.

De même, l'exploration de l'histoire de l'architecture, y compris l'architecture moderne, pour extraire des principes et des patrons guidant la conception constitue une piste de recherches architecturales. « L'Art d'édifier » d'(Alberti, 2004), « *The Formal Basis of Modern Architecture* » d'(Eisenman, 2006), « *Architecture: Form, Space, and Order* » de (Ching, 1979), et « La règle et le modèle » de (Choay, 1980) en sont des exemples classiques. Mais, « *A pattern language* » d'Alexander est un des premiers qui étudient l'histoire de l'architecture par une approche systémique et en appliquant le modèle problème - solution.

La première section de ce chapitre illustre le parcours d'Alexander à travers une lecture analytique de son œuvre théorique. Nous pensons qu'Alexander est un théoricien proche de la pensée d'Altshuller. Ce jugement est basé sur le constat que si au premier abord, les différences entre les pensées de ces deux théoriciens semblent importantes, une analyse approfondie montre des similitudes frappantes dans les objectifs, les moyens et les résultats de leurs recherches. Il n'existe cependant aucune preuve démontrant qu'Alexander et Altshuller connaissaient réciproquement leurs travaux.

Quant à l'approche dialectique, il est possible de trouver des traces dans certaines recherches architecturales ((van Amstel et al., 2014), ((Deshayes, 2012), (Johannes, 1992a),

(Johannes, 1992b)). Cependant, (Farel, 2008), souligne que la pensée dialectique n'occupe pas une place considérable dans le discours architectural et reste « discrète en tant que mode opératoire » (ibid. p 10). Il affirme que très peu architectes « se justifient par une référence théorique à la dialectique », alors qu'il est possible de tirer des enseignements de cette forme de pensée par une réflexion transdisciplinaire.

L'approche dialectique s'appuie sur la « force créatrice de la contradiction » (Sanchez-Palencia, 2012), et c'est Robert Venturi qui a donné un statut particulier à la notion de contradiction dans le discours architectural. Dans la littérature de la théorie de l'architecture, Si le terme de contradiction n'est pas utilisé au sens littéral, il fait très souvent référence à la notion de contradiction au sens où Venturi l'utilise. La deuxième section du chapitre présent, dans un premier temps, présente ce qu'on entend en architecture par le terme contradiction. Dans un deuxième temps, la théorie de Venturi sur la contradiction est présentée. Nous montrons aussi que malgré les ressemblances, il y a des différences importantes entre le regard de Venturi et celui d'Altshuller sur la notion de contradiction, entre les façons dont ils l'utilisent et entre les bénéfices qu'ils en retirent.

Enfin, nous présenterons une synthèse de ces réflexions à l'aide d'un schéma comparatif précisant les différences et les similitudes entre la théorie de la TRIZ, la théorie d'Alexander et celle de Venturi. L'objectif de ce croisement des idées est double. Le premier est de présenter l'usage des deux concepts de graphe et de contradiction en architecture et de rendre compte des critiques adressées à cet usage. Cela nous permet d'étudier comment la théorie de la TRIZ se distingue et peut répondre à ces critiques. Ainsi, en montrant les convergences et les divergences, nous pouvons situer l'apport théorique de cette thèse à la théorie de la conception architecturale. Le deuxième objectif de cette analyse comparative est celui d'une fertilisation croisée entre les domaines de l'ingénierie et de l'architecture. Alors que les similitudes entre les pensées de ces théoriciens mettent en évidence l'importance que chacun attribue à des principes comme la systémique, la dialogique, etc., pour une meilleure conception, leurs différences pourraient révéler des pistes de recherche pour améliorer la pratique de la conception indépendamment de son champ d'application. Cette étude comparative nous montre ce que la TRIZ et la conception architecturale peuvent apprendre l'une de l'autre.

Pour cette analyse nous proposerons sept axes de comparaison qui représentent, en réalité, des caractéristiques communes à ces trois figures : Altshuller, Alexander et Venturi. Puis,

sur la base de ces caractéristiques communes, leurs différences seront explorées. La présentation de chacun suit l'articulation suivante :

1. Le statut dans leur milieu professionnel, l'impact sur leur propre domaine et sur d'autres domaines ;
2. Le contexte général dans lequel ils commencent leurs travaux ;
3. L'objectif visé ;
4. Le problème abordé (la nature, l'échelle et le type du problème) et la question posée ;
5. Les principes et la logique appliqués, le mode de raisonnement et le moyen de présentation ;
6. Les matériels, les ressources exploitées et la méthode de recherche appliquée ;
7. Les résultats produits.

Ch. III.1. Une boîte noire à briller - Christopher W. Alexander

Christopher W. Alexander, né en 1936, est un mathématicien, un architecte et un anthropologue anglais d'origine autrichienne. En introduisant des nouveaux outils, théories et méthodes, il contribue au développement de la théorie de la conception depuis les années 1960 et occupe aujourd'hui une place centrale dans la recherche sur la conception de sorte qu'il est reconnu comme « une des personnes les plus influentes dans le monde de conception ». (Mehaffy, 2009) Si ses recherches se focalisent sur les disciplines relatives à la conception environnementale comme l'architecture, l'architecture du paysage et l'urbanisme, l'ensemble de son œuvre théorique a largement influencé la théorie de conception dans différents domaines : du management organisationnel à la science de l'informatique. L'influence d'Alexander, peut-être plus large dans le domaine de l'informatique que dans l'architecture (N. Salingaros, 2002), est notamment admise dans la programmation orientée objet[1] (Beck & Cunningham, 1987), dans la conception de logiciel[2] (Coplien et al., 1995), dans le design interactif[3] (Van Welie et al., 2003), dans la programmation générative[4] et aussi dans la structuration et l'organisation des informations. Plusieurs inventeurs comme Ward Cunningham, l'inventeur de *Wiki*, et Will Wright, l'inventeur du jeu *SimCity* (1994) reconnaissent la contribution d'Alexander dans le développement de leurs inventions.

Malgré la grande réputation qu'Alexander a acquise dans les années 1970, il est peu lu aujourd'hui par les étudiants d'architecture (Kohn, 2002). De même, s'il est indéniablement un des théoriciens les plus influents dans la théorie de conception architecturale du vingtième siècle, il n'est pas reconnu en tant qu'architecte renommé. Cela pourrait être expliqué par ce que rapporte (Quillien, 2008) sur son statut d'architecte. En effet, elle rapporte qu'Alexander après la publication d' *A pattern language* « achète un camion, crée une entreprise de construction et cherche des contrats. Mais les affaires ne sont pas son fort… Ses clients le virent souvent, lorsqu'ils s'aperçoivent qu'ils lui servent surtout de laboratoire de recherche! ». Cependant, il a conçu plusieurs projets dans différents pays

[1] *Object-oriented programming*
[2] *Program design*
[3] *Interaction design*
[4] *Generative programming*

(Salingaros, 2002). Même s'ils sont peu connus, ils méritent d'être analysés comme des applications de ses théories en architecture.

Alexander commence ses recherches quand les mouvements sociaux des années 1960 critiquent le modernisme orthodoxe pour son approche réductrice des problèmes sociaux. Ces mouvements sont, sans doute, une réaction d'une société frustrée qui se sent dans l'incapacité d'un modernisme architectural et qui revendique une révision des fondements théoriques de l'architecture pour qu'elle soit plus respectueuse envers l'homme et l'environnement. Toutefois, Alexander dans un entretien en 1981 refuse de labéliser son intention comme humaniste (Alexander & Davis, 1981). Il déclare que sa préoccupation est le bien-être[1], une qualité qui ne peut être atteinte que par une conformité à la justesse de la situation; une sorte d'« harmonie » qui va au-delà d'une simple harmonie formelle. Cette qualité qu'il appelle tantôt la « beauté », tantôt la « vie », tantôt la « totalité ou le tout[2] », tantôt « la qualité qui n'a pas de nom» (Quillien, 2008), définit l'orientation constante des recherches d'Alexander.

Son autobiographie, écrite avec la collaboration de Grabow, porte le titre de « La recherche d'un nouveau paradigme en architecture. »[3] (Grabow, 1983) Ce titre fait allusion à la notion du changement de paradigmes scientifiques définie par Thomas Kuhn. (Kuhn, 2012) montre que les révolutions scientifiques changent l'ensemble du corpus théorique et instrumental de la science, et que ce changement ne résulte pas du progrès continu et incrémental au sein du même domaine scientifique. Ce titre est une présentation juste de la vision qui guide les recherches d'Alexander. En effet, il est en quête d'un changement paradigmatique en architecture à partir des principes théoriques élaborés hors de ce domaine. Alexander est toutefois parfaitement conscient de la difficulté d'une telle recherche quand il la qualifie de « quête de l'insaisissable ».

Cette quête constitue le cœur de la question qu'Alexander se pose : comment peut-on atteindre cette qualité insaisissable qui est réelle et qui est souhaitée par l'homme ? Il définit sa mission comme le fait d'apprendre aux gens comment réaliser ce qu'ils aiment réellement et vraiment. (Alexander & Davis, 1981) Et, pour apprendre cela, il rejette la notion de « méthodes de conception[4] », bien qu'il ait contribué à la formation de cette nouvelle

[1] *well-being*
[2] *wholeness*
[3] *The search for a new paradigm in architecture*
[4] *Design methods*

discipline. D'après lui, la recherche en conception est devenue « un jeu d'intellectuels » (Bayazit, 2004), alors qu'il n'y a qu'une façon pour concevoir, celle de « faire des choses[1]».

Pour aborder cette question principale, Alexander n'a cessé de changer la stratégie et les moyens de son enquête. Cependant, comme (Quillien, 2008) le remarque, son cap n'a pas changé tout au long de presque quarante ans de recherches ; même son évolution a été décrite comme un « virage à 180° mais toujours sur le même chemin ». (Boudon, 2008)

L'œuvre théorique d'Alexander contient plus de 16 livres et une dizaine d'articles, mais dans cette section, nous nous focalisons sur trois ouvrages (en fait, quatre livres, dont deux forment un seul ouvrage[2]) qui nous semblent représentatifs de sa pensée et ses évolutions :

- « *Notes on the Synthesis of Form* » (Alexander, 1964)[3]
- « *A pattern language : town, buildings, constructions* » (Alexander et al., 1977) et « *The Timeless Way of Building* » (Alexander, 1979)
- « *The Nature of Order* » (Vol. 1 (2002), Vol. 2 (2006), Vol. 3 (2005), Vol. 4 (2003)).

Ces trois ouvrages sont tous des études de cas, mais leurs apports théoriques nous permettent de tracer la structure du corpus théorique d'Alexander. Ils représentent respectivement :

- l'introduction de la théorie des Graphes pour cartographier des variables fonctionnelles ;
- la présentation des cas récurrents en conception architecturale en termes de Pattern ; la présentation de la notion de Tout ;
- les caractéristiques intemporelles et universelles respectées dans le développement naturel et dans la conception organique.

III.1.1. Notes on the Synthesis of Form

La problématique principale de *Notes on the Synthesis of Form* (1964) est la complexité. Ce qui préoccupe Alexander dans ce livre est le fait que la manière dont les architectes s'y

---

[1] *make things*

[2] « A pattern language: town, buildings, constructions » et « The Timeless Way of Building » constituent deux parties d'une seule œuvre (Alexander, 1977).

[3] La traduction en français porte le titre « De la synthèse de la forme » (Alexander, 1971). Toute citation de ce livre vient de sa traduction française.

prennent pour concevoir les projets architecturaux n'est pas à la mesure de la complexité de cette tâche. Alors que « de nos jours les problèmes de conception qui atteignent des niveaux de complexité insoluble sont de plus en plus nombreux », (Alexander, 1971, p. 4) les architectes continuent à appliquer des méthodes et des moyens ne mettant en œuvre que la capacité humaine de création. En réalité, n'importe quel problème de conception contient des centaines de variables et donc quelques milliers de problèmes, ce qui est trop lourd à traiter pour un cerveau ; même si le « bon sens » et « l'expérience » permettent à l'architecte d'éliminer une grande partie des informations, des variantes et des facteurs qui lui semblent peu importants. La conséquence est qu'en vérité les concepteurs développent souvent « une partie d'un programme fonctionnel au détriment d'une autre » (ibid., p. 24) et cela parce que c'est « la seule manière dont ils paraissent capables d'organiser clairement la forme ». De plus, comment peut-on juger la pertinence d'une solution conçue quand « il n'y a souvent aucun moyen automatique de pouvoir dire, simplement à partir des dessins qui nous la décrivent [une solution], si elle satisfait ou non aux besoins qui l'ont suscitée ». (*ibid*. p. 62)

Il est donc nécessaire de se doter de moyens pour agir sur une situation complexe dans laquelle « la résolution intuitive des problèmes de conception demeure hors de portée des facultés d'appréhension et d'interprétation d'un seul homme » (*ibid*. p. 4) et pour laquelle le concepteur ne peut plus s'appuyer « sur les épaules de ses prédécesseurs » (*ibid*.). Ainsi, ceux qui motivent la recherche d'Alexander sont la complexité accrue des projets architecturaux, la spécialisation des domaines d'expertise et la subjectivité du jugement porté sur des solutions proposées. La recherche vise donc à « dégager une manière générale de poser des problèmes de conception », (*ibid*. p. 12) qui peut « réduire l'écart entre la capacité limitée du concepteur et l'ampleur de sa tâche ». (*ibid*. p. 5) Cette manière générale doit rendre plus facile la résolution des problèmes sans réduire le Tout qu'ils forment.

La réponse donnée par Alexander à cette question est de décortiquer la structure du Tout. En soulignant que le problème architectural est à l'origine d'une fonction, d'une activité et la forme qui les accueille, quel que soit son degré de la complexité, Alexander déclare « qu'il y a une profonde et importante correspondance structurelle sous-jacente entre la structure, la trame d'un problème et le processus de conception d'une forme physique qui réponde à ce problème. » (*ibid*. p. 111) Il considère cette décomposition comme le travail principal de la logique, car ce que la logique fait est « d'inventer des structures purement artificielles d'éléments et de relations ». À partir de cette vision cartésienne, il propose donc d'utiliser la structure logique pour présenter des problèmes comme des éléments d'un système. Si cette

structure est bien faite, elle peut bien représenter la situation réelle. À ce titre, elle peut faciliter l'évaluation de la réponse trouvée pour le problème, contrairement aux justifications basées sur le statut de l'architecte comme auteur de l'œuvre.

Si la notion systémique est la base de la présentation proposée dans « De la synthèse de la forme », la notion de contradiction est utilisée de manière implicite. En fait, le modèle proposé est un système ayant comme composantes des exigences verbalement exprimées et leurs rapports. Ce modèle consiste à identifier deux types de rapports : des rapports de concordances et des rapports conflictuels (Fig. III-1). La notion de contradiction est sous-jacente dans cette typologie de rapports dialectiques.

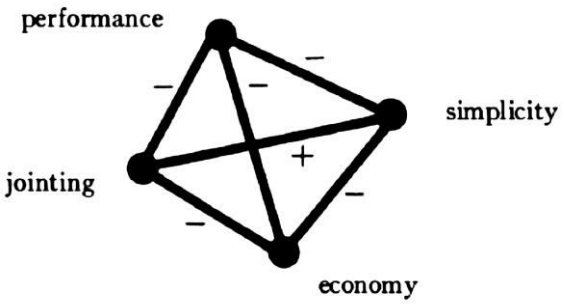


Fig. III-1. L'exemple des lignes de conflit et des lignes de concordance entre des exigences d'un problème. (Alexander, 1971, p. 2)

En ce qui concerne le processus de conception, nous pouvons identifier trois notions dans l'interprétation d'Alexander. D'abord, il considère la conception comme un acte d'invention : « les problèmes de création de formes qu'on appelle traditionnellement des problèmes de conception font tous appel à l'invention. » (*ibid*. p. 6) Deuxièmement, dans la conception s'agit d'un processus de résolution de problème « conduisant à inventer des éléments physiques qui, en réponse à une fonction à assumer, proposent un nouvel ordre physique, une nouvelle organisation, une forme nouvelle. » (*ibid*. p. 1) La recherche présentée dans ce livre est « principalement consacrée à la phase analytique du processus et à l'invention de programme » qui est la première phase du processus de la conception, une phase analytique de laquelle la forme est tirée. (*ibid*. p. 71) Troisièmement, le processus de conception est composé des représentations successives du problème. La Fig. III-2 montre la démarche qu'Alexander propose pour la conception pour que le concepteur puisse jouer « au juste » son rôle dans ce processus.

Selon ce schéma, le concepteur partant d'un contexte réel (C1) arrive à une représentation conceptuelle (C2) de ce contexte dans laquelle « le concepteur a tout à la fois appris et

inventé » (*ibid*. p. 63) par le biais des « idées, des diagrammes et des dessins qui tiennent lieu de formes » (*ibid*.); et puis passe à une représentation formelle et mathématique (C3) qui « retient seulement les caractéristiques structurelles abstraites » (*ibid*. p. 64) et « ne risque plus d'être biaisée par le langage ou l'expérience » (*ibid*.) Cette représentation C3 est construite à partir d'entités mathématiques appelées « ensemble ». Le passage entre C3 et F3 n'est pas expliqué explicitement par Alexander. Il écrit seulement que « d'une manière similaire, mais inverse, la conception F2 est précédée par un complexe méthodique de diagrammes, F3. ». Il semble donc que le passage entre F3 et F2, ainsi qu'entre F2 et F1 soit confiés aux interprétations du concepteur.

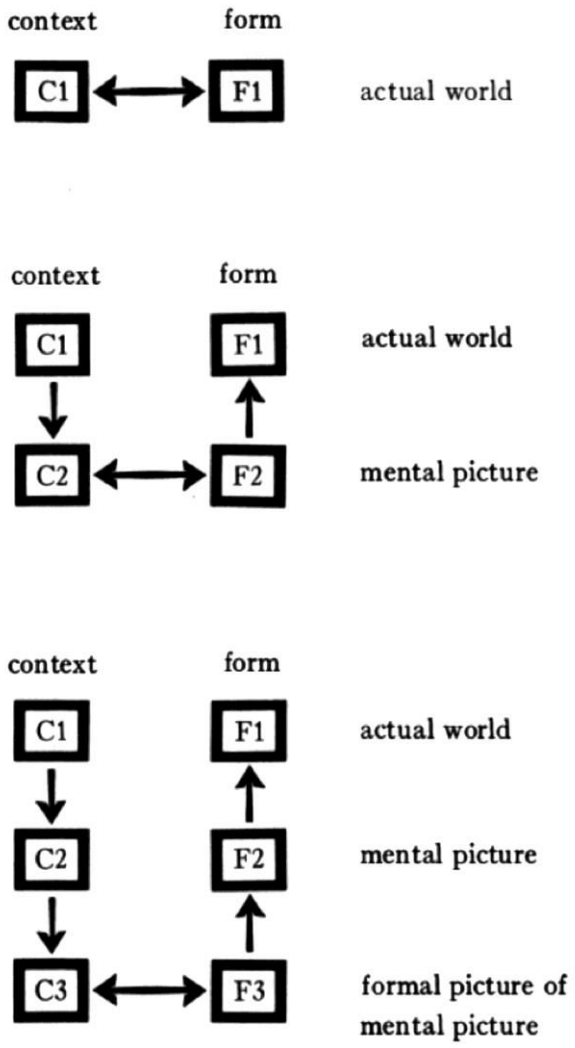


Fig. III-2. La démarche proposée par Alexander pour passer du contexte réel du monde à la présentation mentale et arriver à la forme conçue. (Alexander, 1971, p. 64)

Ainsi, Alexander propose d'appliquer la logique systémique et la technicité mathématique corrélative, c'est-à-dire, la théorie des ensembles par l'intermédiaire du graphe afin de

passer du processus inconscient au processus conscient sans oublier la complexité de la situation problématique. Il propose d'utiliser le graphe comme moyen principal de représentation formelle de la représentation mentale du contexte réel complexe. Un graphe peut représenter un ensemble de « collections des choses ou d'éléments, sans considération de propriétés communes, et n'a pas de structure interne, jusqu'à ce qu'on lui en donne une ». (*ibid*. p. 65) En effet, il possède une structure en semi-treillis par opposition à la logique linéaire et arborescente utilisée à l'époque en planification urbaine.

Le graphe permet de cartographier des rapports concordants et des rapports conflictuels entre les exigences du projet. Il s'agit de représenter la composition d'éléments dans laquelle « il y a certaines exigences à satisfaire, et il y a des interactions entre différentes exigences, ce qui les rend plus difficiles à satisfaire concurremment.» (*ibid*. p. 2) Ce moyen favorise l'organisation des informations sous une forme des systèmes hiérarchisés par sous - systèmes. Cette organisation décompose la situation problématique (Liikkanen & Perttula, 2009) et structure les problèmes dans les sous-systèmes en considérant leurs interactions, et facilite la résolution des problèmes un par un et ensuite l'accès aux problèmes des ensembles des sous-systèmes supérieurs. (Boudon, 1992, pp. 80–81) résume l'idée principale qui guide ce processus de manière suivante : «… tout problème de conception est un enchevêtrement de multiples problèmes. Ceux-ci renvoient les uns aux autres dans une complexité telle que, bien souvent, la solution de l'un d'eux entraîne, par une quelconque liaison, de nouveaux problèmes. […] le système proposé par Alexander pour améliorer cette situation est de faire la liste des problèmes et de leurs liaisons. Puis, par un procédé mathématique, de structurer l'ensemble des problèmes en sous-ensemble de sous-problèmes, tel que ceux-ci comportent de fortes liaisons internes et de faibles liaisons entre eux. Ainsi, peut-on espérer, en travaillant sur un ensemble de sous-problèmes […] résoudre les difficultés qui sont les siennes, sans pour autant répercuter sur les autres sous-ensembles de nouvelles difficultés. »

Cette méthode a été appliquée dans un cas réel qui nécessitait une conception « complexe, détaillé » en termes de variables et d'informations spécifiques. Il s'agit de la planification urbaine d'un village agricole indien de quelque six cents âmes. Le projet avait pour objectif d'analyser des variables du zoning concernant majoritairement la protection contre la pollution nuisible. Alexander a défini 141 variables représentant les besoins des villageois. Les variables sont décrites sous une forme positive, c'est-à-dire que par une phrase qui dit le besoin doit être satisfait. Le graphe donne comme résultat quatre sous-ensembles principaux

de variables qui facilitent la reconnaissance des priorités du projet et l'évaluation des solutions adaptées. La Fig. III-3 présente la décomposition des exigences réalisée par l'analyse du graphe. (Alexander, 1971, pp. 126-128)

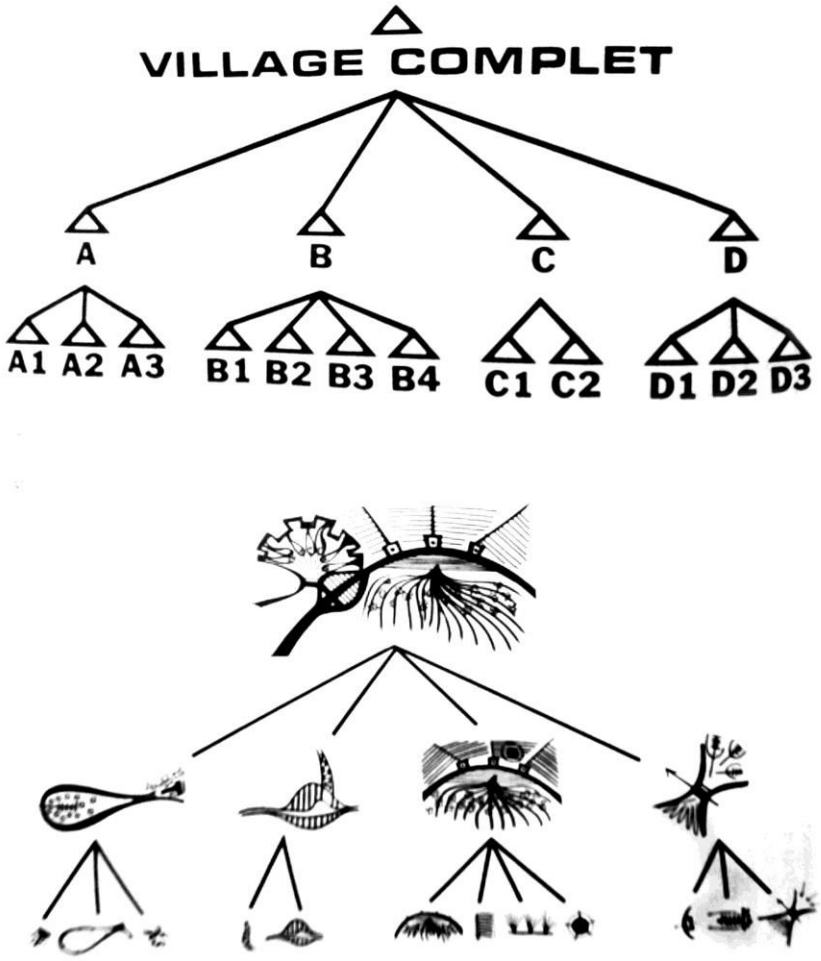


Fig. III-3. Les résultats de la modélisation des exigences du village indien par le graphe. (Alexander, 1971, p. 126)

L'ouvrage « De la synthèse de la forme » est considéré comme une étude prometteuse qui a ouvert « un nouveau terrain » (Bayazit, 2004), celui de l'usage de l'informatique en conception architecturale. Cependant, les critiques sont nombreuses. Nous pouvons en constater trois grandes lignes : la première regroupe les critiques qui remettent en cause le fait de considérer la conception architecturale comme un processus de résolution de problème; la deuxième, celles qui s'interrogent sur la possibilité de saisir le Tout par une décomposition logique ; et la troisième regroupe les critiques qui accusent la logique appliquée dans cette méthode d'être d'une simple rationalité classique.

Les premières critiques rappellent l'école de pensée du constructivisme de (Schön, 1983) et l'étude anthropologique de (Lawson, 1994). Quillien écrit « tant que les architectes se complaisent dans des conceptions/notions préconçues pour se faire une idée des problèmes à résoudre, ils se trompent royalement et créent des monstres ». (Quillien, 2008) De plus, (Boudon, 2004b) se demande si nous pouvons parler de résolution de problèmes lorsque nous ne pouvons ni définir le problème, ni décrire la solution avant la fin de processus

Les deuxièmes critiques soulignent l'échec des tentatives pour modéliser et décrire le Tout par une approche comprenant des séquences analytiques en considérant l'ensemble par parties artificiellement rassemblées. Les recherches de ((Prost, 1995), (Wade, 1977)) sont des exemples représentatifs de ce type de modélisation du processus de conception. (Quillien, 2008) rapporte que le cas du village indien a donné à Alexander des leçons incontournables à cet égard : « pour saisir les véritables composants d'un problème, qui sont toujours spécifiques à la culture ambiante, il faut partir d'une observation ethnographique minutieuse de celle-ci. » Il semble qu'Alexander s'approche d'une telle observation dans « *A pattern language* ». Il affirme que nous n'avons pas encore trouvé un modèle à travers lequel nous pouvons comprendre les choses dans leur totalité d'une façon valide de sorte qu'il soit à la fois enraciné en fait, comme déchiffré par l'effort scientifique, et qui nous donne aussi une base pour la pensée et l'action éthique dans notre quotidienne. (Alexander, 2007)

Le troisième type de critiques accuse l'approche d'Alexander d'être purement « fonctionnaliste et rationaliste ». (Mallgrave, 2005) (Bortoft, 1996) propose qu'au lieu d'une telle rationalité pure, « le Tout peut être mieux saisi par le biais de ses parties à travers un mode de réflexion intuitive unissant la perception, le feeling et la pensée ». Le Moigne en résumant ces critiques propose trois pôles à partir desquels la pensée humaine pourrait définir les objets, à savoir la définition « ontologique et analytique », la définition « fonctionnelle et psychologique » et, enfin, la définition « historique, morphogénétique et critique ». Le Moigne critique Alexander pour sa négligence de la troisième définition qui veut dire « toute explication vraie est généalogique et génétique. » (Moigne, 1994, p. 63)

III.1.2. A pattern language (Alexander et al., 1977) et « The Timeless Way of Building » (Alexander, 1979)

Alexander, qui avait écrit dans « De la synthèse de la forme » qu'un concepteur ne peut plus s'appuyer aujourd'hui sur « les épaules des prédécesseurs » pour faire face aux problèmes, car « les derniers lambeaux de la tradition lui sont maintenant arrachés » (Alexander, 1971, p. 4), publie au milieu des années 1970 deux livres qui recueillent des solutions réalisées dans l'histoire de l'architecture et de l'urbanisme. Ces deux livres, « *A pattern language* » et « *The Timeless Way of Building* » constituent une œuvre qui tente de donner la possibilité de créer un langage propre à chaque concepteur en fonction de sa culture et du contexte dans lequel il travaille. L'enjeu n'est donc pas d'enseigner une méthode permettant de trouver de nouvelles solutions, mais de se rappeler ce que nous savons déjà, et de ce que nous avons découvert maintes et maintes fois, quand nous abandonnons nos idées et des opinions, et faisons exactement ce qui ressort de nous-mêmes. (Alexander, 1979, p. XV) Cet ouvrage abandonne l'idée d'une recherche d'une méthodologie compréhensive pour la conception dans le sillage de pensée d'Alexander. Cependant, nous ne pensons pas que la notion de pattern chez Alexander soit une notion survenue à la suite d'un changement dans sa pensée, comme le dit (Boudon, 2008) en parlant d'un Deuxième Alexander en référence à l'expression « Deuxième Wittgenstein ». (Bhatta & Goel, 1997) identifient la trace de la notion de pattern dans « De la synthèse de la forme » où Alexander tente d'analyser la conception du village indien en termes de patterns topologiques de la conception.

L'ambition qui guide « *A pattern language* » et « *The Timeless Way of Building* » est la recherche d'une qualité objective et précise, mais qui ne peut pas être nommée, une qualité centrale qui serait le cœur de la vie et de l'esprit d'un homme, d'une ville, d'un bâtiment ou d'un désert. (Alexander, 1979, p. 19) Il s'agit d'une qualité intemporelle qui « ne peut pas être créée, mais générée, indirectement, par des actions ordinaires des gens » (*ibid*. p 3) L'intemporalité de certains bâtiments ou villes est le résultat d'un processus organique qui, si nous ne l'empêchons pas, «se fera de lui-même ». (*ibid*. p 3)

L'objectif d'Alexander est donc d'identifier des patterns à partir desquels cette qualité peut se produire, de les présenter de sorte qu'en les appliquant tout le monde soit capable de concevoir un espace bâti ayant de cette qualité. Alexander déclare qu'« *A pattern language* » a pour objectif deux missions essentielles. Premièrement, établir un langage consistant en 253 patterns conçus comme des unités. Et, du fait que ces unités sont

interconnectées, les discours qui s'en inspireront pourront créer une variété infinie de combinaison. Deuxièmement, présenter les problèmes et les solutions d'une manière qui permet de juger, de modifier et de combiner des patterns sans perdre l'essentiel du concept.

Ainsi, deux questions se posent. D'abord, quelles sont les situations problématiques récurrentes et les solutions qui leur correspondent ? En quête de telles situations archétypales, Alexander et ses collègues s'adressent à l'histoire de l'architecture et de l'urbanisme, ainsi que des espaces de la vie quotidienne. La deuxième question concerne une formulation générale pour présenter les phénomènes observés par cette recherche quasi-anthropologique. Pour répondre à cette question, Alexander évoque deux principes. Le premier dit que le caractère d'un lieu dépend de l'activité humaine qui se déroule dans ce lieu. Il est donc incontournable de l'observer, car chaque place est caractérisée par les patterns d'événements qui continuent à s'y passer. (*ibid*. p 55) Les patterns sont donc archétypiques, enracinés dans la nature des choses, pouvant être en partie liés à la nature humaine et à l'action de l'homme. Le deuxième principe qu'Alexander énonce est que les patterns d'événements sont toujours interconnectés avec certains patterns géométriques dans l'espace. (*ibid*. p 75) Un pattern est donc considéré comme une unité qui conjoint un contexte, un problème et une solution. Autrement dit, un pattern est une configuration (ou motif) reliant une solution à un problème dans un contexte. Ainsi, un problème qui revient fréquemment évoquera une solution testée, rodée et prête à être adaptée à son contexte particulier. (*ibid*. p 5)

La possibilité de l'adaptation des patterns à des contextes variés occupe désormais une place centrale dans la pensée d'Alexander. Alors qu'il considérait dans « De la synthèse de la forme » la conception comme l'invention de nouvelles formes, dans *« A pattern language » et « The Timeless Way of Building »*, il considère l'adaptation de la forme au contexte comme l'essence de tout acte de conception. Ainsi, le problème de la conception débute par un effort pour parvenir à l'adaptation réciproque, à « l'adéquation » de deux entités : la forme et son contexte. Une bonne conception est donc le « *fitness* » de la forme à un contexte spécifique. Il s'agit d'une coexistence sans friction. Ainsi, le processus de conception est un processus de résolution de problèmes par agencement d'état de la forme, guidé par des patterns qui sont considérés comme des principes de solution.

Alexander définit le problème comme la description d'un contexte empirique du pattern, la preuve de sa validité, la gamme des différentes façons que le pattern peut revêtir pour se

manifester dans un bâtiment. (*ibid*. p Xi) Ici, la solution qui est le cœur du pattern décrit le domaine des relations physiques et sociales qui sont nécessaires pour résoudre le problème posé dans le contexte indiqué. Le concepteur doit repérer les caractéristiques des invariants dans tout contexte dans lequel la solution a pu résoudre le problème, pour analyser la solution et ensuite pouvoir l'adapter au contexte du problème actuel.

Préserver cette possibilité d'adaptation exige certains niveaux d'abstraction. Cela permet à Alexander de considérer les patterns comme des unités d'un langage permettant de former une combinaison signifiante (une phrase). En sollicitant la notion de système, Alexander écrit explicitement que le langage qu'il élabore est un « système génétique » qui donne à nos millions de petits actes le pouvoir de former un ensemble. (*ibid*. p Xiii) Les patterns ne sont donc pas des entités isolées, mais sont combinables pour former des phrases à partir de liaisons qui jouent le rôle de la grammaire. L'organisation des patterns et leurs liens sont ordonnés en fonction de l'échelle du problème, (région, ville, quartier, ensemble de bâtiments, bâtiment, chambre, alcôve, et détail de la construction). Il s'agit « d'un ordre séquentiel et linéaire qui s'emboîte comme des poupées russes ». (Quillien, 2008) Dans la version en ligne d'*« A pattern language »*, ces liaisons sont dénommées interactives.

Ainsi*, « A pattern language »* constitue une « structure de réseau » qui comprend 253 patterns, certaines règles pour combiner les patterns, ainsi que des conseils techniques pour en tirer le résultat le plus efficace. Chaque Pattern décrit un problème qui se produit encore et encore dans notre environnement, et décrit ensuite le noyau de la solution à ce problème, de manière à ce que nous puissions utiliser cette solution des millions de fois, sans jamais le faire de la même manière deux fois. De plus, comme « De la synthèse de la forme », la méthodologie appliquée dans l'*« A pattern language »* consiste à décomposer le problème et puis à l'interpréter pour trouver le pattern de la solution permettant la génération des idées. (Liikkanen & Perttula, 2009)

(Quillien, 2008, pp. 11-12) résume les caractéristiques des patterns de la façon suivante :

- Ils sont le fruit du temps. Des inventions résultant « de longs processus d'essais et erreurs et de correction dans des circonstances variées» ;
- Ils sont des « paquets complets et organisés », quelle que soit l'échelle ;
- Les patterns de construction et ceux de comportement social se chevauchent ;
- Ils sont interconnectés. Il existe des liens entre les différents niveaux d'échelle ;

- Le niveau d'abstraction de patterns est choisi pour à la fois fixer des contraintes de conception et pour proposer des lignes directrices pour la solution ;
- Ils présentent la « description de l'état » en donnant des indications sur le résultat recherché ;
- Ils présentent la « description du processus » en proposant des actions à entreprendre.

Tout pattern est présenté par un format unique. Ce format est composé des huit éléments suivants. (Fig. III 4)

1. Un numéro et un titre;
2. Une image illustrant l'exemple archétypique du pattern,
3. Un paragraphe en guise d'introduction décrivant le contexte empirique et la façon dont ce pattern peut rejoindre des patterns plus exhaustifs (grande échelle),
4. L'énoncé du problème présentant la nature du problème,
5. Un énoncé de la solution précisant son essence;
6. Un diagramme illustrant la solution avec ses composants principaux.
7. Un paragraphe sur les liens vers les patterns à l'échelle plus petite expliquant comment le pattern peut présenter un contexte pour d'autres patterns d'une échelle plus petite avec qui il peut être combiné, complété ou amélioré ;
8. Également, tout pattern possède un ou deux étoiles ou ne possède aucune en fonction des solutions décrivant des invariants pour le problème (vrai, profond et certain).

Fig. III-4. Le format général des patterns d'*« A pattern language »*.

L'Annexe V présente le Pattern 52: « *Network of Path and Cars* ». (Alexander et al., 1977, p. 270) C'est un des rares patterns formulés comme une contradiction. Il présente clairement une contradiction entre le besoin de séparer le piéton de la rue et le besoin de les faire se croiser fréquemment.

Comme « De la synthèse de la forme », l'ouvrage *« A pattern language »* a aussi largement influencé la science informatique. Plus particulièrement, les informaticiens des années 1970 et 1980 découvrent la capacité de cette théorie pour développer une approche méta-niveau dans le développement de logiciels orienté-objet (Lea, 1994) et orienté-pattern. (Buschmann et al., 1996)

En architecture, *« A pattern language »* est considéré comme un des livres qui a marqué la pensée architecturale dans la deuxième moitié du XXème siècle (Salingaros & Mehaffy, 2006) et qui continue à influencer la recherche sur la conception architecturale. La sensibilisation au développement durable dans ces dix dernières années a attiré encore plus l'attention sur ce livre. Les recherches récentes sur le développement durable ((Perry, 2013), (Jacobson et al., 2002)), le projet d'Eco-modèle de (Gholipour, 2011), le projet de « *Pattern Language for Community Self-made* » de l'Université de Washington (Shaw, 2002), en sont quelques exemples.

Cette œuvre a provoqué de nombreuses réactions comprenant des admirations aussi bien que des critiques très sévères. Les admirateurs le décrivent comme une source d'inspiration basée sur la reconnaissance que les patterns de la vie permettent des relations cognitives inconscientes avec espace qui peuvent être discernées et améliorées activement (Bhatta & Goel, 1997); un changement de connaissance permettant d'une approche holistique intégrant « du corps et de l'esprit » ; un livre séminal basé sur une compréhension de la phénoménologie de l'architecture qui offre une « vision aiguë » sur le monde bâti et une base de connaissances « unique et la plus rigoureuse » dans la théorie de la conception actuelle de l'environnement (Dovey, 1990) ; un livre qui « est imaginatif, vivant, spontané, et abondant d'intuitions informées ». (Saunders, 2002)

(Dovey, 1990) souligne que l'approche proposée par *« A pattern language »*, en tant que « changement radical de paradigme » heurte quatre discours dominants en conception environnementale : l'épistémologique (Dualisme, Positivisme et Empirisme), la politique (Capitalisme, Consumérisme et Individualisme), l'idéologique (Gigantisme, Totalitarisme et Puritanisme), l'esthétique (Postmodernisme, Formalisme et Relativisme). Mais, en prenant

de la distance avec les débats attribuant une étiquette, nous pouvons résumer les critiques qui visent l'approche d'Alexander de la manière suivante.

La première critique vise les valeurs sous-jacentes d'*« A pattern language »* comme le confort, la lisibilité, la sociabilité, la facilité, le plaisir, la santé mentale et la paix. Les critiques rappellent qu'elles ne sont ni « universellement valables » ni « respectables ». Elles sont bourgeoises, encourageant la complaisance, passive et provenant de l'esprit de clocher. (Saunders, 2002) De ce fait, le résultat est inévitablement une architecture de la servitude et de l'ennui. De la servitude parce que l'ordre est basé uniquement sur la volonté du plus fort (Kalb, 2014), et de l'ennui parce que l'ordre arbitraire ne présente rien d'humainement intéressant comme l'argumente le penseur traditionaliste Russell Kirk (Kirk, 1982). De plus, les patterns sont aussi « des vérités relatives, et non absolues » qui ne peuvent pas être séparées de la considération esthétique. (Turner, 1996)

De même, la situation idéale d'Alexander est considérée comme « rigide, messianique, une croyance », (Saunders, 2002) « populiste et métaphysique, et même une religion ». (Kalb, 2014) Alexander est aussi considéré comme structuraliste, déterministe, déconcertant, simpliste, absolutiste, utopiste (Saunders, 2002), « prédicateur sentencieux, *castigator*, moralisateur et généralisateur brumeux » qui se croit connaitre ce que les gens veulent.

Une autre critique vise la méthodologie de recherche d'Alexander. Ce serait une recherche basée sur l'observation et la collecte de cas de cultures différentes et à travers le temps mais « sans méthodologie». Alexander dit qu'ils ont mis des années pour formuler ce langage, mais n'explique pas comment ils ont choisi les exemples pour extraire des patterns et pour identifier des problèmes et des solutions. Cependant, (Seamon, 2007) réplique que le point de vue et les découvertes d'Alexander sont liés à une méthodologie phénoménologique.

La déclaration d'Alexander selon laquelle les patterns sont ordinaires est aussi critiquée. Ils seraient dénoués de scientificité et de créativité. (Boudon, 2008) souligne que les patterns sont donnés à l'avance comme l'état fini d'un objet-élément conçu, sans parler de l'histoire et du processus par lequel ils sont advenus et donc sans parler des séquences d'états de cet objet, alors même que le modèle de la conception sous-jacent aux patterns est basé sur la résolution du processus par agencements successifs d'état de l'objet.

Une autre critique concerne l'applicabilité et l'efficacité d'*« A pattern language ».* (Kalb, 2014) se plaigne que l'approche que présente *« A pattern language »* n'est absolument pas pratique. La réussite du processus d'essais et erreurs proposé est très longue et dépend d'un

talent particulier. Alexander lui-même dit clairement dans sa conversation avec Eisenman qu'il était obligé de faire des choses à l'échelle 1:1 pour comprendre et évaluer les aspects émotionnels et esthétiques. ((Boudon, 2008), (Quillien, 2007)) soulignent que si cette notion d'Habitant/Bâtisseur peut être compréhensible dans les projets à petite échelle, cela n'est pas le cas pour ceux de grande échelle. Par conséquent, *« A pattern language »* est utilisé principalement par des amateurs et des bricoleurs et « n'a guère inspiré des constructions à grande échelle. … Les quelques tentatives en ce sens ont toutes fait appel à des intermédiaires pour « guider » les consommateurs et traduire leurs désirs en plan d'action pour les professionnels. » (Quillien, 2008)

Dans une célèbre conversation avec Peter Eisenman en 1982 (Alexander & Eisenman, 1983), Alexander répond aux critiques. Eisenman accuse Alexander que ses valeurs ne sont pas basées sur la pensée critique[1], mais sur les désirs de *New Age* californien. Alexander se moquant de son adversaire répond que des gens comme Eisenman qui cherchent toujours une nouveauté ont peur des harmonies qui se retrouvent dans les solutions ordinaires et sont incapables de réadapter des solutions déjà retrouvées. Eisenman répond que la cosmologie de l'époque moderne a changé et que l'harmonie qui est une valeur pour Alexander peut ne pas être souhaitable pour celui qui vit dans un monde moderne. Mais Alexander maintient l'idée que les besoins de l'homme n'ont pas changés ; une réponse qui évoque le raisonnement de Viollet-le-Duc (voir I.2.1.2). Il regrette que ce soient les gens, malheureusement très puissants, comme Eisenman qui « *f**king up the world* » avec leur incongruité et leur incompréhensible intention de produire de la désharmonie.

Alexander affirme que les théories contemporaines de l'architecture sont *cheap* et « ne sont que des mots ». L'histoire montre que l'architecture déconstructiviste d'Eisenman et d'autres modes comme le postmodernisme sont aujourd'hui dépassés, alors que les travaux d'Alexander continuent à inspirer la méthodologie de conception. Il semble donc qu'il avait raison quand il dit qu'on va bientôt oublier ces théories, mais il avait tort quand il comptait trop sur le bon sens de l'homme en n'accordant pas suffisamment de poids aux forces extra-architecturales qui façonnent l'architecture, y compris la force de la mode ; et il avait tort aussi de diminuer toute nouvelle expression architecturale à désharmonies.

[1] *critical thinking*

III.1.3. The Nature of Order (2002-2005)

« *The Nature of Order* » publié entre 2002 et 2005 est le dernier ouvrage d'Alexander qui le décrit comme le résultat de 27 ans de réflexion sur la conception, la construction et l'espace bâti. Cet ouvrage est constitué de quatre volumes: Vol. 1- *The Phenomenon of Life* (Alexander, 2002); Vol. 2 - *A Vision of a Living World* (Alexander, 2006), Vol. 3- *The Process of Creating Life (Alexander, 2005)*, Vol. 4- *The Luminous Ground* (Alexander, 2003). Le premier volume analyse d'un point de vue statique quinze propriétés géométriques invariantes ; le deuxième adopte un point de vue dynamique et parle de « processus », de « déploiement » et de « séquences » dans le développement des objets; le troisième présente des études de cas ; et le dernier propose une cosmologie sur la nature, l'environnement et le phénomène biologique.

Dans un entretien (Alexander & O'Connell, n.d.), Alexander dit que son intention dans « *The Nature of Order* » était de modifier la façon dont l'architecture est pensée. La raison de la laideur et de la rigidité et de la prétention que nous avons rencontrées au cours des dernières décennies. Pour Alexander, la compréhension générale de l'architecture est tellement déraillée pendant cette période qu'il est pratiquement impossible de construire une architecture adéquate pour notre temps. Cet ouvrage donc se donne pour objectif principal de dévoiler des vérités fondamentales de construction intemporelle, et de ce qui donne vie, beauté et véritables fonctionnalités aux bâtiments et aux villes. Une mission que (Quillien, 2008) qualifie comme « saisir ce qu'il y a d'insaisissable ».

En ce qui concerne les concepts principaux sur lesquels cet ouvrage est échafaudé, Alexander souligne que sa vision correspond à celle de ce qui est bien « comprise » par la « théorie des systèmes complexes » et par la biologie. Il s'agit d'un ordre qui est dans tous les phénomènes ayant un développement organique. Cet ordre est le résultat du « *unfolding continu de Whole* » qui permet de créer un monde harmonieux. Le concept « *unfolding continu* » qui évoque la notion de morphogenèse adaptive de la biologie consiste à une adaptation continuelle permettant d'insérer un bâtiment dans un contexte géographiquement particulier tout en améliorant le Tout. (Quillien, 2008) souligne que dans la pensée d'Alexander « un Tout peut le devenir encore plus en augmentant sa *wholeness* ou son potentiel totalisant. Dans les systèmes adaptatifs complexes, le Tout plus complexe émerge du Tout plus simple. » Autrement dit, l'essence d'un Tout peut s'augmenter par intensification de son « *wholeness* » ou de son « entièreté ». Ainsi, le Tout possède une

« essence » qui désigne son état et celui de ses propriétés. En effet, une telle idée, qui prétend que le Tout est dans tout et tout tend vers le Tout, permet à Alexander de déclarer que le degré de vie est une qualité objective mesurable par des méthodes empiriques. Autrement dit, il est possible d'identifier la position d'un espace bâti sur sa tendance vers le Tout.

Un autre concept de base qui guide cet ouvrage est que la forme est un diagramme de force. Elle est la trace du temps, le résultat d'un processus de déploiement temporel et d'ajustement incessant des parties et du Tout au fil du temps. Ainsi, la beauté et la fonctionnalité des espaces bâtis résultent des choix successifs. Si la forme découle des adaptations successives aux forces, le processus de conception est donc une série de séquences de décision concernant ces adaptations.

Comme dans « *A pattern language* » presque tous les exemples cités dans « *The Nature of Order »* viennent de « siècles d'architecture sans architecte » et des phénomènes naturels. Alexander n'explique pas les critères de choix des cas étudiés. Si ces derniers sont de bâtiments anciens, ils le sont « non parce qu'ils sont anciens, mais parce qu'ils sont meilleurs. » (*ibid*.)

Les cas d'étude servent à la fois pour identifier l'origine de la qualité de vie des espaces bâtis et pour la mettre dans un contexte qui reflète ses caractères. Dans l'analyse d'Alexander, la notion de « Centre » a une place particulière. Tout objet, qui se développe, forme de centres et se forme autour d'un centre. Un centre est une entité qui ne peut être définie qu'à partir d'autres centres. Alexander argumente que la qualité de vie d'un système et son intensité sont corrélées à l'émergence répétitive de 15 propriétés géométriques qui émergent par la configuration de l'objet (système). Ces propriétés montrent la façon dont les centres vivants (les organisations internes d'un système) se soutiennent mutuellement. Les centres sont récursifs et se reproduisent. Nous pouvons constater ces 15 propriétés morphologiques aussi bien dans les formes, les structures et les objets naturels que bâties, indépendamment du temps, de l'espace et de la culture. Pour Alexander ces propriétés sont interdépendantes sans former une organisation hiérarchique. Elles expliquent comment le Tout et ses parties s'interagissent. Les 15 propriétés géométriques sont les suivantes.

1. Les niveaux d'échelle : c'est la façon par laquelle les centres se renforcent à la fois en comprenant les centres plus petits et étant compris dans des centres plus grands. De même que pour les systèmes naturels, les artefacts possèdent différents niveaux

d'échelle. Par ses niveaux, le système arrive à s'adapter à l'environnement constitué par d'autres centres tout en maintenant son agrégation.

2. La puissance des centres : c'est la façon par laquelle les centres exigent un champ spatial[1]. L'existence d'un centre favorise la compréhension du Tout. Un centre signifie l'organisation interne du système, son état de vie et sa capacité de durabilité. Il montre aussi l'influence du système sur l'environnement par sa gravité (intensité) produisant un effet d'attraction. Un centre est souvent identifiable par sa frontière ou par un contraste.
3. Les frontières et cadres[2] : c'est la façon par laquelle le champ spatial d'un centre se renforce par création d'une périphérie[3]. Une frontière à la fois unit un centre au monde alentour et l'en sépare.
4. La répétition en alternance : c'est la façon par laquelle les centres (primaires) se répètent et se renforcent par insertion d'autres centres (secondaires).
5. L'espace positif : c'est la façon par laquelle un centre trace sa propre force dans l'espace parmi les forces des centres voisins immédiats. L'espace positif désigne la cohérence interne d'un centre. Il engendre des formes convexes et compactes ainsi que des espaces dotés de propriétés similaires à l'entour.
6. La bonne forme : c'est la façon par laquelle un centre change sa forme actuelle de sorte qu'elle et sa frontière trouvent une adéquation avec les formes des centres voisins. La forme est un diagramme de forces et une règle de récursivité.
7. Les symétries locales : c'est la façon par laquelle l'intensité d'un centre augmente par arrangement localement symétrique des centres qu'il comprend. La propriété des symétries locales évoque le principe d'économie (l'effort minimum) de la morphogenèse.
8. L'imbrication[4] profonde et l'ambiguïté : c'est la façon par laquelle l'intensité d'un centre peut augmenter quand il est attaché aux centres proches par un troisième ensemble de centres. Ce dernier reçoit sa force des deux autres, tout en les dynamisant en retour.
9. Le contraste : c'est la façon par laquelle un centre se renforce par la distinction nette de son caractère et des caractères de centres d'alentour. Toute forme (et structure)

---

[1] *Field-like effect*
[2] *Boundaries*
[3] *Ring-like effect*
[4] *Interlock*

naît d'une contradiction : vide/plein, présence/absence, silence/bruit, ombre/lumière etc.

10. La rugosité[1] : c'est la façon par laquelle le champ d'action d'un centre obtient sa force, nécessairement des irrégularités de la forme, de la taille et de l'arrangement spatial des centres voisins.
11. Les gradients : c'est la façon par laquelle un centre se renforce par une série graduée de centres de tailles différentes indiquant le nouveau centre et intensifiant son champ d'action. Cette propriété rejoint le concept de variation continue, le calcul intégral et différentiel.
12. Les résonances : c'est la façon par laquelle la force d'un centre dépend des similarités d'angle et d'orientation. « Au sein d'un organisme, les processus de croissance créent des homomorphismes et des isomorphismes naturels. En ce qui concerne les artefacts, de telles résonances peuvent surgir de la forme, de la taille, des matériaux ou des technologies. » (*ibid.*)
13. Les vides : c'est la façon par laquelle l'intensité d'un centre dépend d'une place encore vide (peut être au milieu) de son champ.
14. La simplicité et le calme intérieur : c'est la façon par laquelle la force d'un centre dépend de sa simplicité pour réduire le nombre de centres qu'il comprend tout en augmentant leurs forces et leurs attractions. Le but est la configuration la plus simple possible en éliminant tout ce qui n'est pas nécessaire et en restant en adéquation avec les contraintes de son environnement.
15. L'inséparabilité : c'est une façon par laquelle la vie et la force d'un centre sont fusionnées, mais indiscernables des centres voisins. Il n'y a pas d'isolement complet.

Alexander qualifie « *The Nature of Order* » comme « une charpente logiquement argumentée » pour que les concepteurs puissent en produire le mode d'emploi. Pour ce faire, il propose d'entreprendre dix actions de structuration-amélioration[2] permettant d'atteindre la qualité du Tout et d'intensifier sa vie. Ces actions sont les suivantes :

1. Adapter la forme au contexte étape par étape ;
2. Chaque étape doit aider à améliorer le Tout ;
3. Faire toujours de centres ;

[1] *Roughness*
[2] *Structure-enhancing actions*

4. Permettre que les étapes se déplient[1] dans l'ordre le plus approprié ;
5. Créer l'unicité partout.
6. Tâcher de comprendre les besoins des usagers ;
7. Évoquer un sentiment *feeling* profond du Tout et se laisser guider par lui ;
8. Trouver un ordre géométrique cohérent ;
9. Établir un langage qui fait émerger la forme[2] selon laquelle les choses sont faites ;
10. Rechercher toujours de la simplicité pour que les choses deviennent plus cohérentes et pures.

La Fig. III-5 montre la position des 15 propriétés géographiques et 10 actions de structuration-amélioration dans le processus de conception.

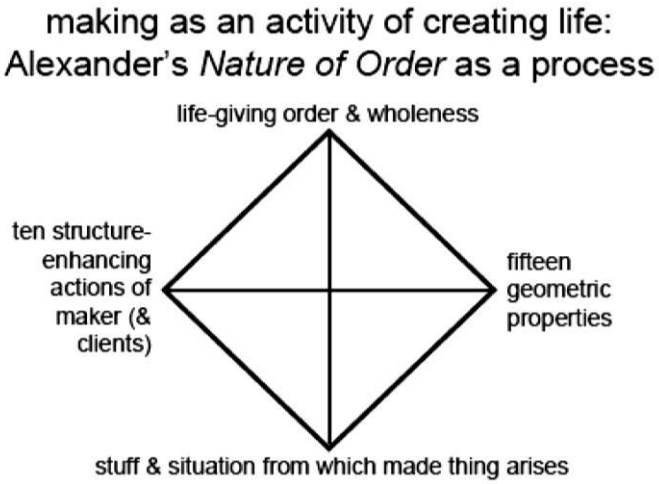


Fig. III-5. Le processus de conception proposé par « *The Nature of Order* » (Seamon, 2007)
Pour Alexander, le processus de conception étant récursif consiste en des séquences de décision. Chaque décision fait le contexte pour la décision suivante. La

Fig. III-6 représente le croquis d'Alexander pour montre comment la décision porte sur l'espace et le permet de se différencier progressivement.

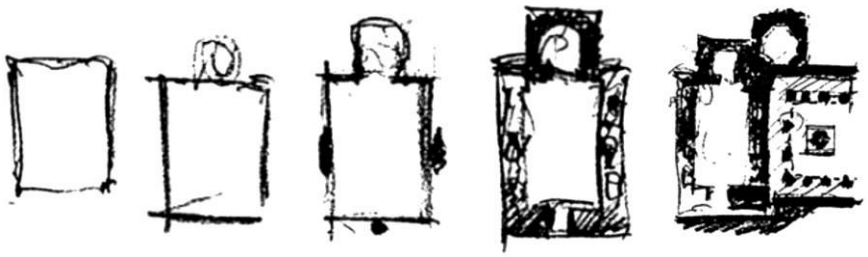


Fig. III-6. Différenciation progressive de l'espace selon des séquences de décision selon Alexander – Source : (Quillien, 2007)

[1] *Unfold*
[2] *Form & shape*

Ce qui guide cette différenciation progressive est de chercher à faire émerger la structure latente représentant l'essence du Tout. Il est important de préserver à la fois le fil des décisions et la structure existante tout au long de différenciation. C'est un acte intuitif, mais il peut être guidé par les quatre préoccupations suivantes.

- Le maintien des symétries ;
- L'augmentation de la connexité des échelles ;
- La création de nouveaux centres ou la mise en valeur de centres existants ;
- La transformation de la structure latente du Tout au travers de ses propriétés géométriques de base.

Il semble que les quatre volumes de « *The Nature of Order* » n'ont pas attiré beaucoup d'attention en architecture. Contrairement aux réactions très nombreuses que « De la synthèse de la forme » et « A pattern language » ont suscitées, nous n'avons trouvé que peu de commentaires sur « *The Nature of Order* ». (Van Oudenallen, 1985) pense qu'Alexander n'a pas pu développer un système complet pour expliquer l'arrangement[1] des comportements socio-spatiaux nécessaires pour créer des lieux qui possèdent « la qualité sans nom ». En soulignant l'intolérance qu'Alexander manifeste envers les critiques, il écrit ironiquement : le risque est grand … est-ce que l'Empereur porte le vêtement, ou la profession est-elle amenée à croire qu'il ne le porte pas?

(Quillien, 2008) rapporte que les résultats de ses deux tentatives pour appliquer les séquences de décisions en les adaptant aux patterns « étaient mauvaises et les volontaires ont trouvé les séquences ennuyeuses, contraignantes, pas claires et casse-pieds (aussi casse-pieds que « *remplir les feuilles d'impôts* », disaient-ils). » Elle souligne que sa mise en pratique personnelle de concepts de « *The Nature of Order* » ne lui a guère servi et que tout en présentant des indices divers, les propriétés géométriques sont utilisées « intuitivement » dans la recherche d'une hypothèse qui pourrait favoriser la croissance de l'ordre et la mise en lumière des structures latentes. Alexander reconnaît que son ouvrage n'est pas terminé : je me tourne vers mes collègues et à une nouvelle génération de scientifiques pour faire progresser ces travaux avec la rigueur nécessaire. (Alexander, 2007)

Il y a une phrase dans la présentation de (Quillien, 2008) de « *The Nature of Order* » qui nous semble bien judicieuse, car elle est le résultat de longues années d'assistance

[1] *setting*

d'Alexander et aussi de l'expérimentation personnelle qu'elle a faite en appliquant des séquences telles qu'elles sont proposées dans cet ouvrage. (Quillien, 2008) écrit « il est plus efficace de se limiter à une seule question directe « quelle est l'étape la plus simple qui s'offre maintenant comme possibilité de rendre l'espace plus vivant ? ». À la limite, on peut éliminer les quatre volumes de « *The Nature of Order* » pour en rester à cette seule question ». Elle se plaigne en disant qu'« on peut utiliser les patterns d'« *A pattern language »* pour prédire et planifier ; par contre, les quinze propriétés géométriques, « ces impératifs mystérieux», … ne sont pas utilisables au départ d'un projet comme un outil de conduite de celui-ci. Elles ne le sont qu'en tant qu'outil de validation *a posteriori* de ce dernier. »

Il est vrai que les quinze propriétés géométriques ne présentent pas des concepts de solution. Mais, elles peuvent être considérées comme des tendances d'évolution de l'objet bâti guidant l'orientation de l'acte de conception. De plus, l'ensemble des cas étudiés dans « *The Nature of Order* » peut contribuer aux nouvelles tendances en conception architecturale comme le biomimétisme et la conception générative.

III.1.4. La synthèse

Alexander est indéniablement un des personnages remarquables de la théorie de conception des années 1960 aux 2000. Si son influence variait en fonction de mouvements théoriques, esthétiques et sociaux, ses travaux de recherches attirent toujours l'attention de théoriciens. Les changements du contexte social et scientifique dans lequel il a commencé ses travaux ne l'ont guère mené à changer la direction de ses investigations. Toute la recherche d'Alexander est orientée vers les moyens qui permettent au concepteur d'atteindre une qualité difficile à nommer ; ce qui est désigné comme le tout, la beauté ou la vie. Pour Alexander l'incapacité de l'architecture d'aujourd'hui pour répondre aux attentes de la société provient de la façon dont les architectes conçoivent. Ce qu'il faut changer est donc toute la pensée car « les architectes-rois sont nus ». Ils se trouvent, sans vouloir le reconnaître, sous l'emprise de la cupidité, de l'arrogance, de l'égoïsme et d'un système éducatif qui déforme plus qu'il ne forme. (Quillien, 2007)

Plusieurs auteurs identifient un changement radical dans la pensée d'Alexander entre « De la synthèse de la forme » et « *A pattern language »*; et qui serait dû à une frustration qu'il a

eu des limites de sa propre proposition pour cerner la complexité de la conception et aussi de sa vision de la conception comme processus de résolution du problème. ((Boudon, 2008), (Mallgrave, 2005), (Bousbaci, 2002)) Mais, les principes théoriques sont constants chez Alexander et nous pouvons les résumer comme suit :

- **La complexité de la conception** : Dans « De la synthèse de la forme », Alexander cherche à représenter la complexité par le biais du graphe. Dans « *A pattern language* », il propose le pattern comme moyen de caractériser[1] la complexité par la cohérence ; de même, il propose un réseau des patterns qui se connectent et qui constituent un tout plus complexe. Dans « *The Nature of Order* », en observant la complexité dans la nature et dans le développement organique des espaces bâtis, il propose des principes géométriques contribuant à l'adaptation des formes à la complexité de l'environnement[2]. Dans toute recherche faite par Alexander, nous pouvons identifier des concepts liés à la pensée systémique, tels que la relation du Tout et de ses parties, la relation du système à son environnement, la vitalité du système et son évolution, *etc*.
- **La conception en tant que processus de résolution du problème** : Alexander est bien conscient du caractère spécifique des problèmes de conception et écrit dans « De la synthèse de la forme » que dans le cas authentique de ce type de problèmes, « nous recherchons une sorte d'harmonie entre deux intangibilités : une forme que nous n'avons pas encore conçue, et un contexte que nous ne pouvons pas décrire correctement. » (Alexander, 1971, p. 21) Cependant, cette caractéristique ne l'empêche de raisonner en termes de problèmes/solutions. Dans « *A pattern language* », également, les patterns sont structurés comme des modèles de solution pour des problèmes récurrents. Dans « *The Nature of Order* », les exemples sont présentés aussi en termes des solutions trouvées par l'évolution ou le développement organique pour les problèmes posés par l'environnement.

---

[1] *Embody*

[2] Le passage d'Alexander d'une complexité d'un ensemble constitué des parties interconnectées à la complexité des êtres vivants et des espaces organiquement développés évoque le concept du Système auto-organisateur de H. Atlan. Cette théorie traite d'une complexité "naturelle" des systèmes qui sont non construits, ni constructibles. La finalité propre de ces systèmes demeure, en principe, inconnue. Un tel système est dit auto-organisateur lorsqu'une perturbation aléatoire en provenance de son environnement a pour effet d'accroître son degré de complexité. L'essai du système pour réduire cette complexité est le moteur du système. (Atlan, 2009)

- **La conception comme représentation successive et décisions séquentielles** : Pour Alexander, l'acte de conception consiste à représenter successivement le problème pour révéler la structure latente du contexte. De même, cet acte est un processus de prise de décision séquentielle. (Pontikis, 2010)
- **L'adéquation entre la forme et le contexte** : Alexander considère la conception comme une quête d'une solution qui établit une adaptation de la forme au contexte. Ce dernier définit le problème, et la forme est le résultat des forces provenant du contexte.
- **La géométrie comme l'incarnation de l'essence de la vie** : La qualité essentielle de la vie (le Tout, la beauté, l'ordre) se manifeste par un ensemble de propriétés géométriques. Ainsi, il est possible d'évaluer par des méthodes empiriques cette qualité dans un espace bâti. Cela permet à Alexander de déclarer que le degré de vie est une qualité objective qui peut être mesurée. Mais il ne dit pas comment la mesurer.

Le moyen d'expression principal des idées d'Alexander est la représentation verbale, ce qui n'est pas le cas de la plupart des architectes. Son écriture est poétique et très aimable à lire. Il a su présenté ses idées avec la rigueur et la simplicité

En ce qui concerne l'aspect méthodologique, la manière dont Alexander élabore ses recherches a provoqué des critiques qui visent essentiellement ses choix concernant les bons exemples. En effet, il choisit délibérément les cas qu'il considère comme les meilleures solutions. Ils sont principalement issus de l'architecture traditionnelle. De plus, il n'hésite pas à chercher des exemples dans la nature ou dans l'espace construits organiquement au travers du temps. L'œuvre d'Alexander contient une source considérable d'idées et de concepts. Malgré toute son insuffisance, la structure en treillis (ensemble partiellement ordonné) du graphe, proposée dans « De la synthèse de la forme », est toujours considérée comme un moyen efficace pour la représentation de situations complexes. (Kokotovich, 2008) Depuis la publication d'*« A pattern language »*, plusieurs types de patterns sont introduits en architecture, comme des patterns biologiques, géométriques, etc. Toutefois, ceux-ci ne sont pas encore pleinement intégrés dans la théorie de ce domaine. (Garcia, 2009a) Mais, il est toujours possible de se référer à *« A pattern language »* pour stimuler le répertoire cognitif. De même, des patterns peuvent être utilisés pour développer une base de connaissances pour des modèles de problème/solution organisés par une hiérarchie des protocoles abstraits consistant en des classes d'objets. Il semble que ceux qu'Alexander a

produits peuvent être exploités et intégrés dans un ensemble plus vaste qui a pour vocation de représenter les cas architecturaux sous forme de contexte-problème-solution.

Or, ce que la synthèse du parcours d'Alexander révèle est une similitude frappante entre son œuvre et celle d'Altshuller. Pour comparer ces deux figures, nous reprenons les sept axes définis au début de ce chapitre.

1. En ce qui concerne le statut dans le milieu professionnel, nous pouvons constater que l'influence d'Alexander est plus considérable sur la théorie de conception architecturale que sur la pratique de l'architecture. Cela démontre un manque dans sa théorie qui l'empêche d'être facilement adaptée par des professionnels. En revanche, la théorie d'Altshuller est appliquée par des professionnelles de conception ingénierie, même si elle n'est pas très facile à utiliser. En revanche, l'influence d'Alexander sur d'autres domaines de conception est plus large par rapport d'Altshuller.
2. Si le commencement des recherches d'Altshuller s'inscrit dans la volonté de progrès des pays soviétiques après la Guerre, Alexander est motivé pour répondre aux insuffisances du modernisme architectural des années 1950. Mais, tous les deux ont poursuivi constamment leurs objectifs pendant quarante ans et ont résisté aux modes intellectuelles, artistiques, politiques et sociales.
3. Il se trouve une préoccupation sociale au sein de leurs objectifs. Tous les deux cherchent à aider les concepteurs. Alors qu'Altshuller tente d'élaborer des moyens pour que tous deviennent inventeurs ou plus inventifs, Alexander tente de les aider à améliorer leurs façons de concevoir et montre ce qu'est une bonne conception.
4. Ces deux tentatives démontrent les questions qu'ils abordent (l'invention dans le produit pour Altshuller et l'innovation du processus pour Alexander). Cependant, si pour ce dernier toute conception architecturale doit aboutir à une forme innovante, l'innovation réelle, pour sa part, doit se faire dans le processus de conception.

   Quant à la nature et à l'échelle des problèmes traités, Altshuller commence par des objets techniques et se focalise sur des problèmes isolés. Son approche systématique lui permet d'aborder ce problème dans la totalité du système qui est l'objet. Mais, les aspects sociaux et esthétiques de l'objet technique ne rentrent dans l'étude que par le biais des caractéristiques concrètes. Par contre, Alexander s'intéresse aux espaces architecturaux qui ont à la fois des dimensions techniques, physiques, sociales, esthétiques, culturelles, etc. Par conséquent, en plus de ces dimensions variées, il se

trouve en face de problèmes de niveaux différents : managérial, organisationnel, programmatique, architectural, etc.

En traçant les parcours de ces deux penseurs, nous pouvons constater que si leurs points de départ sont différents, ils passent tôt ou tard par certains points. Altshuller commence par les problèmes récurrents isolés des systèmes techniques, passe aux tendances de l'évolution de ces derniers, et finalement arrive aux situations complexes contenant des problèmes multiples. Alexander, en revanche, commence par l'analyse de la complexité des situations, passe par les patterns des problèmes récurrents et finalement arrive aux propriétés géométriques vers lesquelles les espaces dits vivants tendent.

5. Quant à la logique qui guide leurs trajets, nous pouvons repérer des similitudes signifiantes. Tous les deux adhérent à la pensée systémique. Mais, si Altshuller reste fidèle toujours à la pensée dialectique, Alexander n'applique cette dernière que dans « De la synthèse de la forme ».

   Également, tous les deux raisonnent en termes de problème/solution et considèrent la conception comme un processus de résolution de problème. Ils déclarent aussi qu'ils existent des modèles/patterns identifiables pour des problèmes/solutions récurrents.

   Les deux s'appuient aussi sur le contexte du problème et sa situation spécifique qui le rend unique. Ils reconnaissent que la réponse du problème est conditionnée non seulement par le contexte, mais aussi par des tendances ou règles indépendantes de ce dernier.

   Enfin, tous les deux considèrent la conception comme un processus de prise de décisions successives. La divergence se trouve dans ce qui constitue le cœur du problème de conception. Alors qu'Altshuller considère la fonction comme le noyau du problème de conception, Alexander identifie la forme comme le noyau et la finalité de conception.

   En ce qui concerne le moyen de représenter leurs idées, les deux utilisent principalement l'expression verbale ; mais, les textes d'Alexander contiennent aussi des images et des croquis.

6. Sur la question des matériels et ressources que ces deux penseurs exploitent, nous pouvons aussi identifier des similitudes et des différences. Altshuller commence par l'analyse des brevets d'invention. En réalité, les inventions brevetées font partie de l'histoire de la conception. Alexander aussi analyse les solutions dans l'histoire de

l'architecture, à la différence qu'il n'avait pas à sa disposition ni une source compréhensive comprenant les inventions déclarées, ni un format standard comme le modèle du brevet. Mais, ce qu'il fait dans « *A pattern language* » est de scanner l'histoire humaine en quête des archétypes qui conjuguent un contexte, un problème et une solution. Cette différence fait que la recherche d'Altshuller suit une méthode plus rigoureuse en termes de choix et d'analyse des cas étudiés.

En ce qui concerne la théorie mathématique appliquée par ces deux penseurs, il est intéressant d'observer qu'Altshuller à la fin de son parcours approuve l'usage de la théorie du graphe pour traiter les situations complexes, alors qu'elle est exploitée dans la première recherche d'Alexander.

De même, c'est Alexander qui étudie constamment les phénomènes naturels, ainsi que les sciences naturelles, pour trouver des concepts de solution, alors que la théorie de la TRIZ est récemment utilisée pour modéliser ces phénomènes. (voir II.3.3.1)

En revanche, Altshuller exploite d'autres ressources qui sont négligées par Alexander, à l'instar des effets et des phénomènes connus par les sciences de la matière (chimie, physique etc.), de la psychologie des inventeurs et des romans de science-fiction.

7. La comparaison des résultats produits par ces deux théoriciens révèle aussi certaines similitudes. L'ensemble des Principes Inventifs d'Altshuller et l'ensemble des Patterns d'Alexander sont tous les deux des concepts de solution modélisés pour des problèmes récurrents. Mais, la notion de contradiction a permis à Altshuller de modéliser les problèmes et les concepts de solution à un niveau plus abstrait.

   Également, l'ensemble des lois objectives d'Altshuller et l'ensemble des propriétés géométriques d'Alexander représentent des voies pour augmenter les chances de réussite de la solution conçue. Les deux indiquent le sens de l'évolution des objets. Cependant, les lois objectives de la TRIZ ne se limitent pas aux propriétés formelles.

   De même, le graphe est utilisé par le développement de la théorie de la TRIZ et par Alexander. La différence concerne les composants du graphe. Alors qu'Alexander introduit seulement les objectifs (sous la forme positive des exigences) du projet dans le graphe, IDM-TRIZ introduit à la fois des objectifs (sous la forme de problèmes à satisfaire) et des solutions. Cela permet à IDM-TRIZ d'extraire des

paramètres qui peuvent être recherchés ultérieurement dans la base de modèles de solution de la TRIZ.

Une autre différence concerne la cohérence relative des résultats des recherches d'Altshuller. Cette cohérence permet de développer un ensemble d'outils et de techniques interconnectés pour résoudre le problème à traiter, alors que les résultats qui découlent des recherches d'Alexander sont dispersés.

Enfin, Altshuller construit des outils et des techniques plus nombreux par rapport à Alexander.

Un schéma comparatif résume les similitudes et différences mentionnées ci-dessus. (voir Tableau III-1 à la fin du chapitre présent)

La section suivante se focalise sur la notion de contradiction en architecture.

Que faites-vous en face d'une contradiction ?

Riccotti - On souffre !

- Et puis ?

- On cherche, on négocie.

- Pas de compromis ?

- Si, bien sûr, mais seulement si ça sera moi qui décide.

- Sur quoi ?

- Sur ce qui constitue vraiment la contradiction.

Entretien de l'auteur avec Rudy Riccotti

Ch. III.2. Trancher la Contradiction

Dans cette Section nous abordons la question de la contradiction dans la théorie de l'architecture. Dans un premier temps, une recherche bibliographique tente d'esquisser ce que la littérature en architecture entend par le terme de contradiction. Dans un deuxième temps, la théorie de Robert Venturi qui a mis la contradiction au cœur du discours architectural des années 1970 est étudiée. Pour ce faire, nous utilisons les sept axes de synthèse que nous avons définis au début de ce chapitre. Finalement, nous montrerons que si Venturi se focalise sur la contradiction, sa compréhension de cette notion ne correspond que partiellement à celle de la théorie de la TRIZ.

III.2.1. La Contradiction en architecture

La contradiction est un phénomène bien connu en architecture. Mais contrairement à la théorie de la TRIZ qui a une vision particulière de la notion de contradiction et en donne une définition précise, dans la littérature en architecture le terme contradiction peut revêtir différentes significations. Afin de connaître ce que signifie la contradiction en architecture et la manière dont elle est appréhendée et appliquée, nous avons fait une recherche bibliographique sur la base de données des articles scientifiques. Pour présenter une synthèse de cette recherche, nous proposons une typologie des significations du terme de contradiction. Nous cherchons également à savoir si cette notion a été considérée comme moyen pour résoudre les problèmes, et aussi s'il y a des contradictions récurrentes identifiées en architecture.

La recherche bibliographique : un constat

Nous avons fait une recherche bibliographique en octobre 2012 sur les sources suivantes: Jstore, Sciencedirecte, Scopus et John Willy Publisher. De plus, tous les numéros accessibles des revues suivantes sont recherchés pour vérifier si la contradiction a été étudiée sous la forme d « *paradox* » ou de « *constraint* ». Les revues consultées sont : Design Studies (depuis 1979, Vol 1), Design Issues (depuis 1984, Vol 1), Journal of Architectural Education (de 1984 à 2000, Vol. 37 au Vol. 54), et AD: Architectural Design (à partir 2000).

En total, 176 articles sont retrouvés par le biais de requêtes à partir de « *contrad* » + « *architectural design* ». Ces mots sont recherchés dans le texte des articles ; la recherche n'a été limitée ni au titre ni aux mots clés, ni au résumé. Elle montre que seulement quatre articles contiennent le mot « contradiction » dans leurs titres qui tous font référence à l'idée de Robert Venturi. De même, si le mot contradiction se trouve dans le texte et si l'article aborde différents sujets, ce terme est utilisé dans sa signification littéraire. À l'exception d'(Oxman, 1986), dans aucun cas la contradiction n'a été considérée comme le moyen aidant à la résolution du problème.

En résumé, nous n'avons trouvé aucune étude considérant la contradiction comme moyen principal de résolution des problèmes, mais ces articles nous offrent une vision sur les significations du terme de contradiction en architecture.

III.2.1.1. Une typologie des significations de terme de contradiction

Cette recherche bibliographique nous montre que les auteurs de ces articles utilisent le terme de contradiction dans différentes acceptions. Les définitions données par le Centre de Ressources Textuelles et Lexicales pour le mot Contradiction nous aident à proposer une typologie des significations de ce terme dans la littérature architecturale. Cette typologie nous permet de préciser les contradictions qui font l'objet de cette thèse. En plus, pour chaque type nous citons certaines contradictions mentionnées dans les articles. Le Centre de Ressources Textuelles et Lexicales définit la Contradiction comme :

- A. L'opposition est dans l'esprit, l'attitude, etc.;

  1. Action de s'opposer à soi-même ou d'opposer quelqu'un à lui-même en agissant dans un sens que contredisent ses pensées, ses paroles ou ses actes antérieurs.

2. Opposition que l'on manifeste contre quelqu'un en contredisant ce qu'il dit ou ce qu'il pense.

- B. L'opposition est dans les choses, entités, etc.
  Opposition résultant de l'union de choses incompatibles.

À la base de ces définitions, nous proposons une typologie de l'utilisation du terme contradiction en architecture qui consiste à distinguer les trois types suivants. Il s'agit de *A)* La contradiction dans l'attitude ou l'esprit supposé des entités; *B)* La contradiction dans la signification et la perception des entités ; *C)* La contradiction manifestée par l'aspect physique des entités.

A) La contradiction dans l'attitude ou l'esprit supposé des entités

Dans ce type de contradictions, l'opposition se trouve dans l'attitude et dans la pensée qu'on attribue à deux entités. Le terme de contradiction est donc ici appliqué dans le sens littéraire et désigne la différence entre les comportements, caractères, caractéristiques ou propriétés supposés des éléments. L'attribution de ces propriétés est basée sur le sens commun ou le consensus. Cependant, ce type ne précise pas comment et pourquoi les deux éléments sont en contradiction et en quoi ils se contredisent. Si la possibilité d'une opposition peut être admise pour certaines propriétés des éléments, ils peuvent cependant ne pas être contradictoires. L'existence d'une contradiction entre eux dépend de la situation et de la manière dont on présente les éléments. De même, ces contradictions se situent à un niveau d'abstraction élevé qui les rend infructueuses dans le processus de résolution de problème. Les exemples suivants illustrent ce type de contradictions.

- La contradiction entre l'architecture et l'urbanisme[1].
- La contradiction entre le style de vie des usagers, leurs valeurs et le produit de l'architecture.
- La contradiction entre l'identité et le corps.
- La contradiction entre notre vision du monde [orientée vers l'homme] et les principes de pensée environnementale.
- La contradiction entre le propos public et privé.
- La contradiction entre l'homme et la nature.
- La contradiction entre l'esthétique et l'écologique.

[1] *Urban Design*

- La contradiction entre la science et l'art.
- La contradiction entre l'héritage et le moderne.
- La contradiction entre les cultures et les idéologies.
- La contradiction entre l'expérience de la vie et le langage abstrait de la représentation.
- La contradiction entre l'environnement et le programme.
- La contradiction entre la théorie actuelle de la conception et la théorie actuelle de l'informatique ; ce qui en témoigne est la multitude des tentatives contrariées pour informatiser la conception.
- La contradiction entre le processus de conception en architecture basé sur les problèmes peu définis et le processus numérique exigeant une précision mathématique.
- La contradiction entre la complexité de l'environnement en tant que système et la simplicité intrinsèque de la méthode actuelle de conception.
- La contradiction interne de la logique provenant de sa polyvalence et son imagerie synthétique[1]. Ce qui fait que l'architecture n'est envisageable dans cette tâche contradictoire que par une compréhension de toute conception comme une manifestation poétique.

B) La contradiction dans la signification et/ou dans la perception des entités

Dans ce type de contradictions, l'opposition se trouve entre la signification de deux éléments. Elle est fortement dépendante à la fois des aspects visuels de l'élément et de la perception de l'observateur. Cette contradiction est donc subjective et n'empêche pas nécessairement le fonctionnement de l'œuvre. Cette dernière peut exister et continuer à vivre avec ou sans la contradiction et les éléments qui la produisent. Du fait, l'existence d'une telle contradiction peut être contestable. En revanche, la confrontation et l'ambigüité que provoque cette opposition peuvent favoriser des interprétations diverses, et par conséquent, contribuer à la richesse sémiotique de l'œuvre. Ce type de contradictions concerne les connotations historiques et symboliques, ainsi que les rappels contextuels et stylistiques. Les exemples suivants illustrent cette contradiction dans la signification et/ou la perception des entités.

---

[1] *polyvalent and synthetic imagery*

- La contradiction d'un cube poreux entre son apparence comme unique et composée.
- La contradiction entre le porche et le portique.
- La contradiction d'une décoration moderne dans un bâtiment géorgien.
- La contradiction entre le style et la période de la construction.
- La contradiction entre le vert et le rouge.
- La contradiction entre être double par le plan et unique par le volume.
- La contradiction entre la simple vue de l'extérieur et la vue complexe à l'intérieur.
- La contradiction entre le bâtiment et le contexte.
- La contradiction dans la manifestation d'une rue orientée en tant que voie de circulation, mais statique en tant qu'espace.

C) La contradiction manifestée dans l'aspect physique d'entités

Dans ce type des contradictions, l'opposition se trouve entre les aspects physiques des éléments. Il s'agit d'une contradiction qui se manifeste dans des caractéristiques matérielles et donc tangibles d'un élément ou entre des éléments. Elle est née de la volonté (ou de l'objectif) du concepteur qui se heurte aux exigences physiques du projet (ou son contexte). Elle peut être aussi le résultat de deux objectifs contradictoires du concepteur. Une telle contradiction empêche ou réduit le fonctionnement de l'œuvre. Cette dernière ne peut maintenir ou supporter une telle situation contradictoire. Du fait, le concepteur doit changer ou modifier l'objectif ou trouver une solution pour éliminer la contradiction. Dans cette thèse, nous nous intéressons à ce type de contradictions. Les exemples suivants illustrent ce type de contradictions en architecture :

- La contradiction entre le symétrique et le dissymétrique.
- La contradiction entre l'espace clos et fermé.
- La contradiction entre une structure existante et une nouvelle structure.
- La contradiction entre la flexibilité et la rigidité des espaces.
- La contradiction entre la douceur et la dureté.
- La contradiction entre la préservation et la rénovation
- La contradiction entre l'espace public et privé.
- La contradiction entre le nombre d'informations et l'influence de décisions prises lors de la première phase de la conception.
- La contradiction entre l'intimité de l'espace intérieur et le besoin d'avoir une ouverture vers l'extérieur.

La synthèse

Dans la théorie de l'architecture, l'utilisation du terme de contradiction est littéraire et elle peut donc désigner aussi bien une opposition dans la signification qu'une opposition manifestée dans les aspects physiques. Elle se trouve à tous les niveaux et dans tous les aspects du projet architectural et peut concerner aussi bien les entités tangibles que la pensée et l'esprit.

Nous pouvons constater que les articles consultés ne proposent ni une définition précise ni un formalisme particulier pour présenter et structurer les contradictions. Souvent l'auteur déclare une contradiction sans donner une explication sur les éléments contradictoires ni sur le rapport par lequel ils se contredisent. Ainsi, la plupart des situations mentionnées dans les articles peuvent être considérées comme conflictuelles plutôt que contradictoires ; elles traduisent des contrastes visuels ou stylistiques entre les éléments.

Nous pouvons également constater une tendance qui refuse tout effort pour analyser les contradictions. (Pérez-Gomez, 1987), comme Venturi, apprécie l'ambiguïté et la contradiction. Il voit un danger dans la tentation des architectes pour des méthodes et techniques observationnelles et pour les processus expérimentaux qui ont pour objectif de transformer tous les *mythos* en *logos* et codifier tout objet et événement dans une forme tangible et communicable avec des détails minutieux. Car, l'homme n'est plus à être considéré comme « animal rationnel », il est un « animal rationnel symbolique »[1] qui vit dans un monde plein de « contradictions et d'ambiguïtés ». La manifestation contradictoire des éléments a ainsi été considérée et appréciée comme une réponse correspondant à la richesse de la vie. Mais, cela n'est valable que pour le cas dans lequel la contradiction peut être maintenue comme la contradiction dans la signification des éléments. Toutefois, si la contradiction ne peut pas être maintenue, elle est souvent considérée comme une source de la créativité. Et la capacité des solutions conçues à répondre aux objectifs et exigences contradictoires est reconnue comme critère de la performance du bâtiment. (Davis & Ventre, 1990)

C'est pour cette raison que dans cette thèse nous considérons l'impossibilité de maintenir la contradiction comme critère concret pour identifier une situation contradictoire.

---

[1] *Animal rational symbolicum*

En ce qui concerne la solution reconnue pour éliminer la contradiction et déverrouiller la situation conflictuelle, nous n'avons pas trouvé de concepts formulés, à l'exception de deux phénomènes identifiés par Venturi, à savoir « la double fonction » et « à la fois ». Mais, la conviction dominante est celle qui considère l'art comme le seul moyen de résoudre des contradictions. Alvar Aalto écrit : « Dans tous les cas [du travail créatif], il faut obtenir la solution simultanée pour des contraires. ... Presque toute mission de la conception implique des dizaines, souvent des centaines, parfois des milliers d'éléments différents contradictoires, qui sont contraints à une harmonie fonctionnelle posée par la volonté de l'homme. Cette harmonie ne peut être réalisée par aucun autre moyen que celui de l'art. » (cité par Vidal, 2006) Cependant, les trois stratégies de « négligence », « conciliation » et « compromis » sont couramment proposées. (Libeskind, 2009)

III.2.2. De l'ambiguïté en Architecture - Robert Venturi (1966)

Robert Venturi, né 1925, est un architecte américain et un des plus influents théoriciens en architecture du XXème siècle. Le jury du Prix Pritzker le reconnaît comme celui qui a « élargi et redéfini les limites de l'art de l'architecture du XXème siècle, comme peut-être aucun autre à travers ses théories et ses œuvres construites ».

Le corpus théorique de Venturi contient quatre livres sur la théorie de l'architecture, deux livres sur son architecture, ainsi que plusieurs articles. Dans ce paragraphe, nous nous focalisons sur son premier livre, intitulé *Complexity and Architecture*[1] (Venturi, 1977 (première édition 1966)). C'est dans ce livre que Venturi énonce « *less is bore* » comme une réplique à la maxime modernisme « *less is more* » de Mies Van der Rohe. Considéré comme marquant la fin du modernisme architectural, ce livre a mis la contradiction au centre du discours architectural à partir des années 1970. Mais le concept de contradiction n'est guère étudié après la publication de « De l'ambiguïté en Architecture» en 1966 et ce livre reste toujours l'ouvrage théorique principal pour cette notion.

Cependant, nous pouvons trouver d'autres théoriciens qui avant Venturi ont abordé la notion de contradiction. Le cas de Van Eyck qui en 1962 introduit le concept de « phénomènes

[1] Ce livre est traduit en français en 1971 et porte le titre « De l'ambiguïté en Architecture »; toute citation dans cette thèse vient de la traduction française. (Venturi, 1971)

jumeaux »[1] est particulièrement intéressant. Il considère le travail de l'architecte comme une articulation des intervalles[2]. Selon Van Eyck, cette compréhension permet à l'architecture de percevoir et de traduire l'ambivalence de l'existence humaine. Les phénomènes jumeaux sont des phénomènes considérés comme « unité et diversité », « partie et tout », « petit et grand », « très et peu », « simplicité et complexité », « changement et constance », « ordre et chaos », « individuel et collectif ». Il semble que Venturi emprunte cette idée, mais comme (Coleman, 2005) le mentionne, il réduit l'approche plus complexe de Van Eyck aux aspects purement visuels de l'œuvre architecturale. Néanmoins, Venturi fait partie des premiers penseurs ayant introduit le concept de complexité dans le discours architectural, ce qui produit une vaste et riche tradition de réflexion formée autour de la question de la complexité en architecture. ((Alexiou et al. 2009), (Venturi, 2008))

Le contexte social dans lequel les recherches de Venturi se sont développées est celui de la frustration de la société occidentale du modernisme architectural et de l'école internationale sans nuance des années 1950 et 1960. Venturi ambitionne un engagement social en faveur de la société populaire et de la vie quotidienne des gens. Il constate, tout comme Alexander, que l'architecture est complexe et que l'architecture moderne n'est pas adaptée à cette complexité. Il accuse l'architecture moderne orthodoxe de ne pas pouvoir produire un espace apte à l'homme moderne à cause de son incapacité à comprendre la complexité de la vie moderne. Il voit même un paradoxe au sein de l'architecture moderne. D'une part, le modernisme orthodoxe met un accent excessif sur la fonction comme ce que la forme doit suivre, d'autre part, elle a une vision simpliste et réductrice qui aplatit toute nuance de la fonction. Cette référence à un strict rationalisme éloigne l'architecture moderne de la cause qui la génère. De même, cette logique rationnelle qui ne supporte pas la contradiction fait que l'architecture moderne soit indifférente à des oppositions résultantes de l'union de ses préceptes et des objectifs et contraintes provenant de la volonté du concepteur, du programme, de la structure, du contexte, etc.

Ainsi, un changement dans la façon dont les architectes perçoivent et interprètent la vie et l'œuvre est donc nécessaire. Il s'agit d'accepter, d'adapter et de créer une multitude d'éléments divers même si leurs significations sont contradictoires. Ici, la difficulté se

---

[1] *twinphenomena*
[2] *articulation of in-between*

trouve dans « la dure obligation d'un tout » obtenu par inclusion et non par exclusion. (Venturi, 1971, p. 90)

En ce qui concerne les notions fondamentales de « De l'ambiguïté en Architecture », nous pouvons souligner la complexité, l'ambiguïté et l'absence de toute règle immuable. Venturi connaît la théorie d'Herbert Simon et évoque son interprétation de la notion de complexité. Mais il considère que la complexité liée à la vie se présente dans le projet d'architecture comme une ambiguïté intrinsèque des objectifs. En soulignant une différence significative entre un projet d'architecture et un projet industriel, Venturi écrit « que les moyens mis en œuvre dans le programme de construction d'une fusée destinée à atteindre la lune, par exemple, soient d'une complexité presque infinie, le but visé est simple et contient peu de contradictions; bien que les moyens mis en œuvre dans les programmes de construction d'immeubles soient beaucoup plus simples et d'une technologie beaucoup moins raffinée que n'importe quel projet industriel, le but en est plus complexe et souvent ambigu par essence. » (*ibid*. p. 27)

Venturi pense qu'il n'y a aucune loi immuable en architecture (*ibid*. p. 46) ; Car, il s'agit d'une intervention sur la forme et sur la substance et que le sens (la signification) de l'œuvre vient de ses caractéristiques intérieures et de son contexte particulier. Ainsi, « l'architecture apparaît à l'intersection des forces intérieures et extérieures d'utilisation et d'espace ». (*ibid*. p. 27) Étudier la relation entre le contexte et l'œuvre ou entre l'intérieur et l'extérieur amène Venturi vers l'idée d'une dualité entre ces deux dimensions : « les forces internes et les forces de l'environnement sont à la fois générales et particulières, génériques et occasionnelles ». (*ibid*. p. 88) Les exemples que Venturi présente pour démontrer l'évolution de cette relation (du contraste vers la continuité) lui permettent d'identifier l'origine de la contradiction en architecture. Ces relations oscillantes, complexes et contradictoires sont la source de l'ambiguïté et de la tension de laquelle découle la signification de l'architecture. Il écrit que « l'architecture est nécessairement complexe et contradictoire par le fait même qu'elle veut satisfaire en même temps les trois éléments de Vitruve : commodité, solidité et beauté. » (*ibid*.) Il atteste qu'en architecture, des contradictions internes sont « véritablement inhérentes au programme […] et qui proviennent aussi bien des nécessités spatiales et techniques que du besoin de variété dans les expériences visuelles ». (*ibid*. p. 88)

Ainsi, pour Venturi la situation contradictoire est non seulement possible, mais elle est aussi à l'origine de la richesse : « la meilleure qualité peut se présenter sous plusieurs aspects cohabitants ». (*ibid*. p. 14) L'ambiguïté permet d'avoir différentes significations et la contradiction implique donc de ne pas se limiter aux règles du style, aux principes d'esthétique, etc. Cela veut dire qu'« une architecture est valable si elle suscite plusieurs niveaux de signification et plusieurs interprétations combinées, si l'on peut lire et utiliser son espace et ses éléments de plusieurs manières à la fois ». (*ibid*. p. 23)

Venturi précise qu'il apprécie que les choses « soient hybrides plutôt que pures, issues de compromis plutôt que de mains propres, biscornues plutôt que sans détour, ambiguës plutôt que clairement articulées, aussi contrariantes qu'impersonnelles, aussi ennuyeuses qu'attachantes, conventionnelles plutôt qu'originales, accommodantes plutôt qu'exclusives, redondantes plutôt que simples, aussi antiques que novatrices, contradictoires et équivoques plutôt que claires et nettes ». Il écrit à « l'un ou l'autre » il préfère « l'un et l'autre », « au blanc ou noir, le blanc et noir et parfois le gris. » (*ibid*.) Si Venturi voit la contradiction essentiellement comme l'opposition des significations, il souligne que contrairement à l'architecture postmoderne, qui cherche à provoquer des significations contradictoires des aspects visuels du bâtiment, aucune des contradictions mentionnées par lui « n'a été voulue par recherche esthétique, mais pas plus que les paradoxes, n'est-elle née du caprice ». (*ibid*. p. 40)

Quant à la méthodologie de conception architecturale, Venturi prend une position, aux côtés des « anciens », selon laquelle l'architecture en tant qu'art appartient « au domaine de l'intelligence pratique et non de l'intelligence spéculative ». (*ibid*. p. 21) Il insiste qu'il ne faut pas confondre la complexité de l'architecture mentionnée dans son livre avec une complexité inutile dans le processus de conception. Au contraire, il faut accepter la valeur de la simplification en tant qu'étape analytique du processus qui n'empêche pas une architecture complexe. Selon lui, « un architecte devrait accepter les méthodes et les éléments qui sont déjà à sa disposition. Souvent, il échoue quand il tente par lui-même de trouver des formes qu'il espère nouvelles, et des techniques qu'il espère d'avant-garde. Les innovations techniques exigent des investissements de temps, d'ingéniosité, d'argent qui sont hors de la portée de l'architecte, du moins dans une société comme la nôtre ». (*ibid*. p. 49) Dans la même perspective, il distingue l'invention du raffinement. Si dans l'invention, il s'agit de l'originalité et du « quoi », dans le raffinement s'agit du développement et le « comment ».

Les matériels que Venturi exploite pour établir sa théorie consistent en un ensemble d'œuvres issues de différentes périodes et styles de l'histoire de l'architecture. Son champ de recherche s'étale du baroque au maniérisme italien, de la renaissance au modernisme du XXème siècle ; il prend pour exemple des œuvres de Nicholas Hawksmoor, Jouhn Soane, Francj Furness, Edwin Lutynes, Le Corbusier, Armando Brazini, Alvar Aalto, Paul Rudolph et surtout Louis Kahn.

Pour Venturi, l'ordre peut être à l'origine des contradictions. Chaque désaccord avec cet ordre peut engendrer une contradiction. Il définit deux types de désaccords possibles : *a)* un désaccord exceptionnel qui modifie l'ordre ordinairement harmonieux ; *b)* un désaccord inhérent à l'ordre même. À travers des exemples choisis, il arrive à proposer deux niveaux de contradiction : le niveau de signification et le niveau de fonctionnement. Deux phénomènes permettent de maintenir ces deux niveaux de contradiction: le phénomène « à la fois» et le phénomène « double fonction ». Les deux sont apparentés ; mais alors que dans le premier, les doubles significations sont privilégiées, le deuxième est la meilleure réponse au souci de flexibilité des architectes modernes.

Pour le phénomène de « à la fois », Venturi indique qu'il repose « sur une hiérarchie des éléments » qui attribuent à l'œuvre des valeurs diverses en la classant à différents niveaux de signification ». Les éléments peuvent être en même temps beau et laid, grand et petit, ouvert et fermé, continu et articulé, rond et carré, structural et spatial. Ce phénomène répond aux exigences des espaces, de la structure et du programme, aussi bien qu'aux aspects symboliques de l'architecture. Au sein du phénomène « à la fois », « l'irrationalité apparente d'un élément se justifiera par la rationalité qui en résultera au niveau de l'ensemble ; ou bien les caractéristiques d'un élément feront l'objet d'un compromis dans l'intérêt du tout. Décider de tels compromis est l'une des tâches principales de l'architecte. » (*ibid*. p. 40) C'est ainsi qu'une architecture valable doit tolérer des modifications et des compromis et s'adapter aux exigences d'une réalité complexe, même si elles se présentent comme des contradictions accidentelles. Le chapiteau byzantin (Fig. III-7) est un des exemples donnés par Venturi pour le phénomène « à la fois ». Dans cet exemple « … la forme et les motifs décoratifs … jouent des rôles contradictoires… le profil du chapiteau byzantin et les vestiges de volutes et de feuilles d'acanthe servent à en articuler les différentes parties ». (*ibid*. p. 34)

Fig. III-7. Le chapiteau byzantin ; l'exemple du phénomène « à la fois », (Venturi 1966, p 34)

Les phénomènes de « double fonction » représentent les éléments architecturaux qui répondent à deux besoins. Venturi reprend le projet de L'unité d'Habitation de Le Corbusier à Marseille (Fig. III-8) dans lequel « les brise-soleil … sont des éléments porteurs et des portiques aussi bien que des pare-soleil. Sont-ce des pans de mur, des piliers ou des colonnes ?» (*ibid*. p. 41)

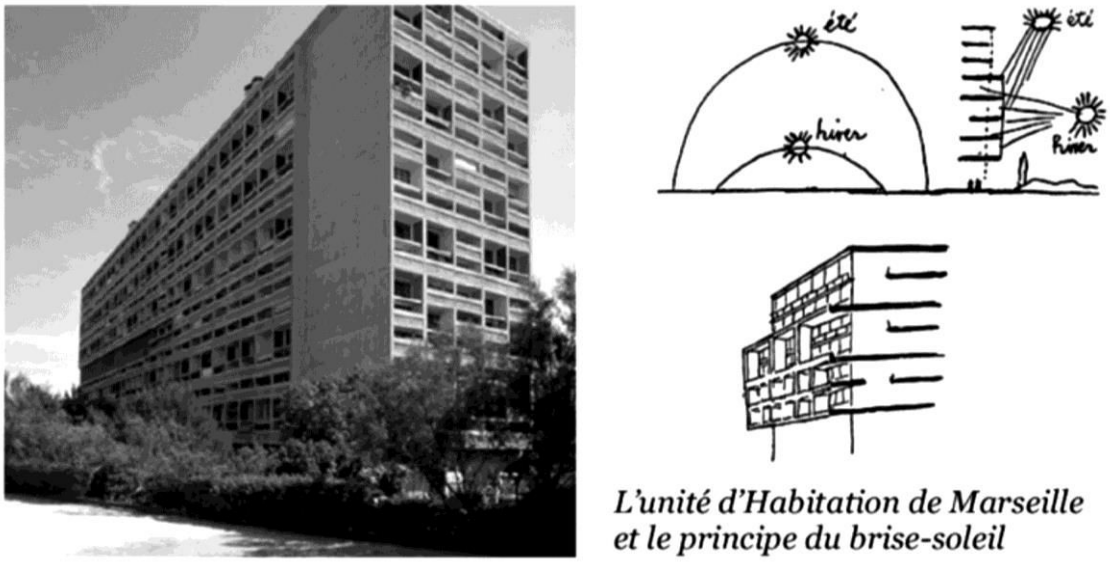


Fig. III-8. L'unité d'Habitation ; l'exemple du phénomène « double fonction », source : internet.

En plus de ces deux phénomènes, Venturi identifie deux types d'approche pour maintenir la contradiction dans un Tout difficilement atteignable : *a)* la contradiction adaptée, ou *b)* la contradiction juxtaposée. Alors que la contradiction adaptée correspond au traitement en douceur, la contradiction juxtaposée implique un traitement de choc. (*ibid*. p. 60) Dans la

première, les éléments architecturaux s'adaptent à la contradiction par un compromis et un ajustement, mais dans la deuxième stratégie, ils se juxtaposent par l'emploi d'éléments contraires surimposés ou accolés les uns aux autres.

En ce qui concerne l'origine théorique de « De l'ambiguïté en Architecture », il semble que Venturi emprunte la théorie de William Empson selon laquelle la principale qualité poétique est l'imprécision du sens, c'est-à-dire l'ambiguïté. (Mallgrave, 2005) souligne que quatre principes ou phénomènes identifiés par Venturi, à savoir « à la fois », « élément double fonction », « la contradiction juxtaposée » et « le Tout difficile », correspondent à la typologie des ambiguïtés qu'Empson propose pour la critique des œuvres littéraires dans son livre « *Seven Types of Ambiguity* », paru en 1955. Il résume en disant que : le « à la fois » rappelle le troisième type d'ambiguïté d'Empson dans lequel deux significations apparemment déconnectées sont simultanément données ; la « double fonction » correspond au deuxième type l'ambiguïté, celui où deux ou plusieurs significations sont complètement résolues en une seule ; et la « contradiction juxtaposée » rappelle le septième type de l'ambiguïté d'Empson qui est une contradiction totale marquant une division dans l'esprit de l'auteur. Et finalement, le « tout difficile » correspond au quatrième type d'ambigüité d'Empson, dans lequel des significations alternatives se combinent pour faire comprendre un état compliqué d'esprit.[1]. De plus, (Groat, 1992) rappelle que si la méthodologie analytique de Venturi est empruntée au mouvement littéraire *New criticism* des années 1950, les deux notions fondamentales de la complexité fonctionnelle et de l'ambiguïté visuelle sont empruntées à l'école Bauhaus. Mais en fait, l'approche expérientielle de Venturi, négligeant l'histoire du contexte, analyse l'œuvre comme un « objet autonome ». À cet égard, son approche, comme celle des modernistes et des *New critics*, est basée sur un empirisme marqué par des incongruités inhérentes.

L'introduction de la notion de contradiction dans le discours architectural par le livre de Venturi affecte considérablement l'architecture des années 1970 et 1980 qui donne naissance à un style connu sous l'étiquette de postmoderne. Ce dernier comprend la contradiction comme l'expression des différents niveaux des significations. Elle est le

[1] Les trois autres types d'ambiguïté selon Empson sont les suivantes. Le premier type se pose quand un détail intervient efficacement de plusieurs façons à la fois, par exemple, par rapport à plusieurs points de ressemblance, qui est une antithèse avec plusieurs points de différences. Le cinquième type est une confusion chanceuse, par exemple, lorsque l'auteur découvre son idée pendant l'acte d'écrire ou quand il ne décerne pas tout aspect de son idée dans l'esprit. Le sixième type de l'ambiguïté concerne les cas où ce qui est dit est contradictoire ou sans rapport avec le sujet et le lecteur est donc forcé pour inventer une interprétation. (Empson, 1966)

résultat de la combinaison d'éléments hétérogènes et historiquement issus des différentes traditions. Ici, la richesse de l'œuvre provient de l'ensemble des éléments évoquant des interprétations libres et simultanées. Pour les postmodernes, l'architecture doit accepter les contradictions, car beaucoup de récits différents sur l'histoire sont possibles.

Venturi cite Paul Rudolph : « on ne peut jamais résoudre tous les problèmes […], les architectes procèdent à une sélection rigoureuse des problèmes qu'ils choisissent de résoudre […]. Mies van der Rohe, par exemple, ne réalise de merveilleuses constructions que parce qu'il ignore délibérément beaucoup d'aspects de la construction. S'il voulait résoudre un plus grand nombre de problèmes, ses bâtiments perdraient une grande partie de leur force. » (Venturi, 1971, p. 24) Ainsi, la stratégie de choisir un problème à résoudre est considérée comme un acte de créativité. Venturi conclut que « si certains problèmes paraissent non solubles, ne pourrait-il alors se dire ceci : dans une architecture qui intègre tout au lieu d'exclure, il y a place pour les fragments, les contradictions, les improvisations et pour toutes les tensions qui en résultent. » (*ibid*. p. 25)

Un tel éclectisme n'a rien surprenant, car, quand il n'y a aucune loi immuable, tout devient possible, justifié et même pertinent. Et l'architecture qui en résulte est donc un « produit de bricolage ». Ce livre qui était est une réaction contre l'architecture moderne orthodoxe devient une contribution majeure pour un discours qui se forme autour d'un paradigme formel dans lequel les stratégies compositionnelles caractérisent l'œuvre architecturale. C'est une architecture que (Kunze, 1988) qualifie comme opposante aux principes de la non-contradiction, c'est-à-dire aux idées classiques de « la loi générale de l'ordre[1], la proportionnalité, la subordination de parties au Tout[2], la composition juste, la valeur positive de la clarté, la continuité et la cohérence ».

Venturi souligne que les deux notions de complexité et d'ambiguïté se sont affirmées lors de sa thèse du Master en architecture à l'université de Princeton (Venturi, 2008). La thèse était intitulée « *Context in Architectural Composition » (1950)*. Le propos principal de cette thèse porte sur l'importance du contexte. Cette considération, devenue un cliché aujourd'hui, était révolutionnaire à l'époque du modernisme. Venturi affirme que cette conviction est toujours restée la même et avait guidé depuis 50 ans ses projets professionnels. Il revient sur le détournement de son idée et la façon dont l'architecture postmoderne en a profité, et écrit

[1] *Order-canons*
[2] *Whole*

« c'est agréable quand une idée audacieuse est acceptée, mais ça fait mal qu'elle soit autant mal comprise et mal appliquée ». Il insiste sur le fait qu'il ne se considère pas comme postmoderne : « Freud n'était pas freudien, Marx n'était pas marxiste. » (Venturi & Scott Brown, 2011) Il précise qu'il ne voulait aucunement encourager l'imitation des œuvres précédentes, mais voir le contexte comme ce qui « donne le sens à un bâtiment »

Or, le postmodernisme domine la théorie et la pratique architecturale jusqu'au milieu des années 1980 (Garcia, 2009a), quand l'informatique remplacera l'hybridation par d'autres considérations comme la géométrie topologique complexe. L'architecture postmoderne a été critiquée sur le plan théorique, pratique, esthétique et éthique. Mais, nous nous contentons ici de rappeler deux types de critiques qui visent la théorie de Venturi et non pas l'architecture qui en résulte. La première souligne que la pensée de Venturi est une théorie formaliste qui ne concerne que l'aspect formel/visuel de l'architecture ; car ces lignes directrices littéraires ou ces phares ne peuvent s'appliquer à l'architecture que comme des règles pour une manipulation des conventions ou des formes. (Mallgrave, 2005) De même, Scully dans son introduction au livre de Venturi (1971) atteste que Venturi était essentiellement attaché à l'espace visuel par sa vision symbolique ; de fait, on ne retrouve pas chez lui « le combat acharné de Kahn cherchant dans une profonde angoisse à exprimer l'opposition de la structure et de la fonction ».

La deuxième citrique accuse la vision de Venturi d'être dénuée de complexité conceptuelle. En fait, Venturi ne propose aucune démarche particulière pour le processus de conception ; car, pour lui, « rien ne remplace le travail acharné ». (Venturi, 1971, p. 21) Sa contribution consiste à accentuer le contextualisme qui, comme (Cooke, 1997) le décrit, aboutit directement ou indirectement à l'utilisation de précédents et de références historiques ; mais sa proposition simpliste manque la cohérence théorique du modernisme architectural et du mouvement rationnel de Bauhaus. Pour (Coleman, 2005), l'appel de Venturi pour l'inclusion est en réalité une exclusivité qui repose sur le rejet du principe de la raison en faveur de l'ironie et du plaisir indiscipliné mélodramatique, habilement exprimé à travers une compréhension de l'expression architecturale comme éclectisme formel et stylistique. Il ajoute que ce que Venturi considère comme son innovation révolutionnaire n'est qu'une fausse promesse, car elle n'a touché que la surface du bâtiment.

Ce chemin amènera plus tard Venturi à l'appréciation des éléments banals utilisés dans l'architecture. Ils n'ont de justification que « leurs existences même ». (Venturi, et al., 1972)

Ce qui fait que l'architecture de Venturi est qualifiée comme maniériste (Davies, 2014), « véritablement trop simple » et « superficiellement complexe ». (Laurence, 2006) (Lawson, 1994) souligne que la méthode appliquée par Venturi dans le processus de conception de ses œuvres est ordinaire et n'a rien de nouveau. Mais, Venturi se défend dans un entretien avec A. Tamas en disant que son agence n'avait pas assez d'opportunités pour réaliser l'enseignement de ce qu'ils ont appris de leurs études ; il ajoute : il est ironique que nous ne puissions pas faire ce dont nous parlons - si vous êtes un penseur en avance sur votre temps, ou un architecte avec des idées inhabituelles, vous pouvez écrire, présenter et parler à ce sujet, ou d'enseigner et l'illustrer, mais souvent, vous avez peu de chance de « le faire ». (Venturi, 2011)

III.2.3. La synthèse

L'objectif de cette section était d'appréhender la manière dont la contradiction est comprise en architecture. Nous avons identifié trois types de contradiction : *a)* La contradiction dans l'attitude ou l'esprit supposé des entités; *b)* La contradiction dans la signification et la perception des entités ; *c)* La contradiction manifestée par l'aspect physique des entités. Et, nous avons précisé que cette thèse se focalise sur le dernier.

Nous avons également étudié la théorie de Venturi par rapport à la notion de contradiction. L'objectif était d'identifier les ressemblances et les différences entre cette théorie et la théorie de TRIZ. Ce qui suit présente une synthèse de cette étude en termes de sept axes de comparaison déjà définis.

1. Quant à l'impact de la pensée de Venturi, nous pouvons constater une vaste et directe influence sur l'architecture et aussi une empreinte identifiable sur le domaine de l'art. Non seulement l'ouvrage « De l'ambiguïté en Architecture », mais aussi d'autres livres qu'il a publiés en collaboration avec son épouse, Denise Scott Brown, influencent fortement la théorie de l'architecture de trois dernières décennies du XXème siècle. Sur le plan professionnel, il est reconnu comme architecte renommé, même si son architecture est qualifiée comme simpliste et ennuyeuse.
2. La pensée de Venturi doit être comprise dans le contexte culturel, social et idéologique des années 1960. Il ambitionne un engagement social en faveur de la société populaire et la vie quotidienne des gens.

3. Son objectif était de ré-sensibiliser la pensée architecturale au contexte de l'œuvre ; un objectif qu'il a d'ailleurs atteint.
4. Venturi aborde la question de complexité et cherche à savoir quelle est la stratégie de conception la mieux adaptée pour une architecture respectant la vie moderne. Il s'intéresse aux problèmes de différents aspects architecturaux et aux échelles variées : du bâtiment au site dans lequel il s'inscrit, du programme à la forme, de l'ornement à l'élément structurel. Si Venturi cite Alexander pour décrire la complexité de l'architecture, son approche et le résultat qu'il en retire sont totalement différents de ceux d'Alexander. Alors que ce dernier propose une modélisation quasi-mathématique de la réalité complexe nécessitant une simplification rationnelle et instrumentale, Venturi propose une ouverture vers les éléments qui peuvent avoir des significations contradictoires.
5. Pour élaborer sa théorie, Venturi applique les principes de l'ambiguïté et de la contradiction des significations de la littérature. Il parvient à les illustrer dans des exemples architecturaux. Ces derniers sont collectés arbitrairement dans l'histoire de l'architecture. L'analyse qu'il fait sur ces cas est souvent une analyse morphologique concernant la forme, le contexte, leur relation et la signification qui en découle. Cela explique les idées conformistes de Venturi par rapport au processus de la conception, à la forme et aux précédents historiques en architecture. Il dit que si l'architecture de Le Corbusier et Kahn fait partie des rares architectures contemporaines qui intègrent la contradiction, l'histoire de l'architecture est une mine d'œuvres manifestant des contradictions dues aux formes adaptées à la condition spécifique et singulière du projet.
6. Ainsi, l'histoire de l'architecture constitue les matériels et les ressources que Venturi exploite pour développer sa théorie. Par le biais de centaines d'exemples et plus de 350 photos, il montre différentes contradictions comme : intérieur mais extérieur, fermé mais ouvert, simple mais complexe, symétrique mais dissymétrique, double mais unique, orienté mais aveugle, béton brut mais granit poli, orienté mais statique, rénovation mais évolution. Le résultat que Venturi tire de son analyse consiste à énoncer que la mise en contradiction produit un « élément rhétorique » qui « décourage la clarté du sens », ce qui aboutit à une ambiguïté dans les significations. Ainsi, il semble que le titre que le traducteur français a choisi pour le

livre de Venturi, « De l'ambiguïté en Architecture », est plus exact que son titre original, celui de « *Complexity and Contradiction in Architecture* ».

7. Les résultats, que Venturi a produits, consistent en un ensemble quasi non-structuré d'œuvres architecturales à travers le temps et le lieu. Il les utilise pour illustrer les quatre principes suivants : « à la fois », « élément double fonction », « la contradiction juxtaposée » et « le tout difficile ». De plus, il n'hésite pas à valoriser le compromis et le choix délibéré des problèmes à traiter. Il les qualifie comme clé d'émerveillement de l'œuvre. En définitive, Venturi ne propose pas un formalisme pour présenter la contradiction et ne considère pas cette dernière comme un moyen de résoudre les problèmes. Cela démontre la divergence la plus significative avec la théorie de la TRIZ.

Un schéma comparatif résume les similitudes et les différences entre la théorie de Venturi et celle de la TRIZ. (Tableau III-1)

Ch. III.3. La conclusion du Chapitre III

Dans ce chapitre, nous avons étudié la théorie d'Alexander et celle de Venturi. Les travaux d'Alexander influencent largement la théorie de la conception architecturale alors que le travail de Venturi affecte la théorie de l'architecture. La Fig. III-9 et la Fig. III-10 illustrent ce constat ; quand Venturi est présent parmi les théoriciens les plus remarquables de la théorie architecturale, Alexander en est totalement absent. La Fig. III-9 liste les livres les plus importants sur la théorie architecturale du XIIIème au XXème siècle et la Fig. III-10 présente une cartographie des théories architecturales les plus influentes du 1900 jusqu'aux nos jours.

Cette étude a été menée à partir de sept axes de comparaison permettant de confronter les idées de ces deux figures importantes de la théorie de l'architecture avec les idées d'Altshuller. Le Tableau III-1 présente une synthèse de cette confrontation. Dans la colonne de Résultat et Produit, les éléments ayant l'objectif et la structure similaire sont de la même couleur.

Comme nous l'avons indiqué, l'outil du graphe a été déjà introduit dans la conception architecturale par Alexander. Si l'outil graphe reste identique dans « De la synthèse de la forme » d'Alexander et dans IDM-TRIZ, ses éléments constructifs et l'usage auquel il est destiné sont différents. Le graphe d'Alexander est construit des enjeux (ou objectifs (*issus*)) à atteindre présentés dans un sens logique (sous forme affirmative) et utilisé dans une finalité de hiérarchiser les enjeux dans une structure arborescence. Mais, IDM-TRIZ utilise le graphe différemment. Selon IDM-TRIZ, le graphe intègre simultanément les objectifs et les contraintes du projet et associe l'approche systémique de cette notion à une approche dialectique. Cette association est considérée comme un principe de la pensée complexe permettant d'agir sur la complexité de l'architecture. De même, la notion du graphe peut intégrer à l'instrumentalisation de la programmation. En considérant la programmation comme « un processus de l'argumentation » (Rittel & Noble, 1989, p. 279), la syntaxe du Graphe PB-SP peut contribuer au développement des systèmes informatiques pour la formalisation de ce type de raisonnement qui est à l'origine des difficultés de l'élaboration des supports actifs propres à la programmation architecturale.(Akin et al., 1995b)

Nous avons également précisé que dans cette thèse nous adaptons la notion de contradiction au sens de la TRIZ. Ainsi, notre compréhension de la notion de contradiction est différente de celle de Venturi. Cette thèse porte donc uniquement sur un type des contradictions qui

peuvent se manifester dans les aspects concrets et physiques. Il est le résultat de la volonté (ou de l'objectif) du concepteur qui se heurte aux exigences physiques du projet (ou son contexte). Il peut être aussi le résultat de deux objectifs contradictoires du concepteur. Ce type de contradictions empêche ou réduit le fonctionnement de l'œuvre. Cette dernière ne peut maintenir ou supporter une telle situation contradictoire. Du fait, le concepteur doit changer ou modifier l'objectif ou trouver une solution pour éliminer la contradiction.

Venturi qualifie sa théorie comme une réfutation des idées qui tentent d'introduire des techniques et des théories scientifiques en conception architecturale. Sans nommer Alexander, il s'avère que son livre attaque les chercheurs de la technicité et de « la programmation sur machines électroniques ». (Venturi, 1971, p. 21) Il les accuse de « vulgarisateurs » qui parlent autour de l'architecture et pas de l'architecture. En effet, l'œuvre architecturale est polyvalente en termes de signification. Le contexte, le volume, la forme, la proportion, le matériau, l'ornement et d'autres éléments qui participent à former l'espace architectural, ainsi que l'événement qui s'y déroule et l'homme qui intervient pour créer le sens du lieu sont hors de portée du rationalisme orthodoxe qui néglige les aspects symboliques de l'architecture.

Conscient de cette singularité de l'architecture, dans cette thèse nous nous éloignons des recherches de solutions techniques dans un domaine qui touche la volonté, les symboles, les valeurs et les croyances de l'homme. Cette thèse tente d'examiner ce que pourrait apporter la théorie de la TRIZ au processus de conception architecturale. Plus précisément, la contribution de la thèse consiste, premièrement, à examiner la notion de contradiction comme une stratégie conceptuelle de la programmation architecturale. La reprise de réseau de problèmes et de solution partielles permet de mettre en œuvre cette stratégie. Deuxièmement, nous évaluons les apports de l'ensemble des outils et techniques de la TRIZ pour éliminer des contradictions des aspects techniques de l'architecture. À cette fin, nous avons appliqué la théorie IDM-TRIZ sur le programme architectural d'un projet réel. Le Chapitre suivant présente cette étude empirique.

THEORY IN ARCHITECTURE: XIII TO XX CENTURY

1230	Villard de Honnecourt	Codex
1464	Filerete	Codex Magliabechiamus
1542	Leon Battista Alberti	De Re Aedificatoria Libri Decem
1547	Jean Martin	Architecture ou Art de Bien Bastir
1548	Walter Rivius or Ryff	Vitruvius Teutsch
1550	Hans Blum	Von den Fünff Sülen
1452	Cesare Cesariano	De Architectura di Lucio Vitruvio Pollione
1556	Daniele Barbaro	I Dieci Libri dell'Architettura di M Vitruvio
1561	Philibert de l'Orme	Nouvelles Inventions Pour Bien Bastir et a Petits Fraiz
1561	Philibert de l'Orme	Le premier Tome de l'Architecture
1562	Vignola	Regola delli Cinque Ordini d'Architettura
1563	John Shute	The First and Chief Grounds of Architecture
1570	Andrea Palladio	I Quattro Libri dell'Architettura
1598	Wendel Dietterlin	Architectura von Au_theilung, Symmetria und Proportion der Fünff Seulen
1615	Vicenzo Scamozzi	L'Idea della Architettura Universale
1619	Sebastiano Serlio	Tutte l'Opere d'Architettura et Prospettiva
1623	Pierre Le Muet	Manier de Bien Bastir Pour Tout tes Sortes des Personnes
1647	Pierre Le Muet	Augumentation de Nouveaux Bastiments Faits en France
1650	Roland Fréart de Chambray	Parallele de l'Architecture Antique et de la Moderne
1673	Claude Perrault	Le Dix Livres d'Architecture de Vitruve
1677	Abraham Leuthner von Grundt	Grundliche Darstellung Der Fünff Seülen
1683	François Blondel	Cours d'Architecture
1683	Claude Perrault	Ordonnance des Cinq Espèces de Colonnes Selon la Méthode des Anciens
1691	Augustin Charles d'Aviler	Cours d'Architecture Qui Comprend les Orders de Vignole
1713	Domenico de' Rossi	Disegni di Vari Altari e Cappelle nelle Chiese di Roma
1716	Paulus Decker	Fürstlicher Baumeister Oder Architectura Civilis
1721	Domenico de' Rossi	Studio d'Architettura Civile
1721	Johann Bernhard Fischer von Erlach	Entwurff Einer Historischen Architectur
1725	Colen Campbell	Vitruvius Britannicus
1728	James Gibbs	A Book of Architecture, Containing Designs of Buildings and Ornament
1728	Robert Morris	An Essay in Defence of Ancient Architecture
1732	James Gibbs	Rules for Drawing the Several Parts of Architecture
1736	Robert Morris	Lectures on Architecture
1756	Jacques-François Blondel	Architecture Française
1756	Isaac Ware	A Complete Body of Architecture
1759	William Chambers	A Treatise on Civil Architecture
1761	Giovanni Battista Piranesi	Della Magnificenza ed Architettura de' Romani
1765	Marie-Joseph Peyre	Ouvres d'Architecture
1777	Jacques-François Blondel	Cours d'Architecture ou Traité de la Décoration, Distribution & Costrution des Bâtiment
1781	Francesco Milizia	Principi di Architettura Civile
1800	Giovanni Battista Cipriani	Indice delle Figure Relative ai Principi di Architettura Civile
1800	Jean-Nicolas-Louis Durand	Recueil et Parallèle des Edifices de Tout Genre Anciens et Modernes
1804	Claude-Nicolas Ledoux	L'Architecture Considérrées Sous Rapport de l'Art, des Moeurs et de la Legislation
1805	Jean-Nicolas-Louis Durand	Précis des Leçons d'Architecture
1817	Jean-Baptiste Rondelet	Traité Théorique et Pratique de l'Art de Bâtir
1819	Friedrich Weinbrenner	Architektonisches Lehurbuch
1822	Leo von Klenze	Anweisung zur Architectur des Christian Cultus
1826	Heinrich Hübsch	In Welchen Style Sollen Wir Bauen?
1827	Johann Gottfried Gutensohn + Johann Michael Knapp	Denkmale der Christlichen Religion
1828	Joseph Futtenbach il Vecchio	Architectura Civilis
1834	Gottfried Semper	Vorläufige Bemerkungen Über Bemalte Architektur und Plastik Bei den Alten
1836	Augustus Welby Pugin	Contrasts
1840	Karl Fridrich Schinkel	Sammlung Architectonischer Entwürfe
1842	Augustus Welby Pugin	The True Principles of Pointed or Christian Architecture
1844	Christian Carl Josias Bunsen	Die Basiliken des Christlichen Roms
1847	Guillame Abel Blouet	Supplément
1845	Friedrich Hoffstadt	Gotisches A-B-C Buch
1851	Gottfried Semper	Die Vier Elemente der Baukunst
1852	Carl Alexander Heideloff	Der Kleine Altdeutsche (Gothe)
1863	Gottfried Semper	Der Stil in den Technischen und Tektonischen Künsten
1864	Georg Gottlob Ungewitter	Lehrbuch der Gothinschen Konstruktionen
1868	Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc	Dictionnaire Raisonné de L'architecture Française du XIe au XVIe Siècle
1872	Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc	Entretiens sur l'Architecture
1898	Ebenezer Howard	To-morrow: A Peaceful Path to Real Reform
1910	Frank Lloyd Wright	Ausgeführte Bauten und Entwürfe
1917	Tony Garnier	Une Cité industrielle: Étude pour la Construction des Villes
1919	Bruno Taut	Die Stadkrone
1919	Bruno Taut	Alpine Architektur
1923	Le Corbusier	Vers une Architecture
1925	Le Corbusier	Urbanisme
1925	Walter Gropius	Internationale Architektur
1932	Henry R Hitchcock + Philip Johnson	The International Style: Architecture since 1922
1932	Paul Schmitthenner	Das Deutsche Wohnaus
1943	Le Corbusier	La Cherte d'Athènes
1950	Ministerrat der DDR	Grundsatze des Städtebaus
1961	Archigram	Archigram
1966	Aldo Rossi	L'Architettura della Città
1966	Robert Venturi	Complexity and Contradiction in Architecture
1972	Robert Venturi, Denise Scott Brown + Steven Izenour	Learning from Las Vegas
1977	Kisho Kurokawa	Metabolism in Architecture
1977	Charles Jencks	The Language of Post-Modern Architecture
1978	Rem Koolhaas	Delirious New York
1995	Rem Koolhaas	S, M, L, XL

Fig. III-9. Les livres d'Alexander sont absents dans la liste des livres les plus importants sur la théorie architecturale du XIIIème au XXème siècle ; mais deux livres de Venturi sont présents. (Garcia, 2009b).

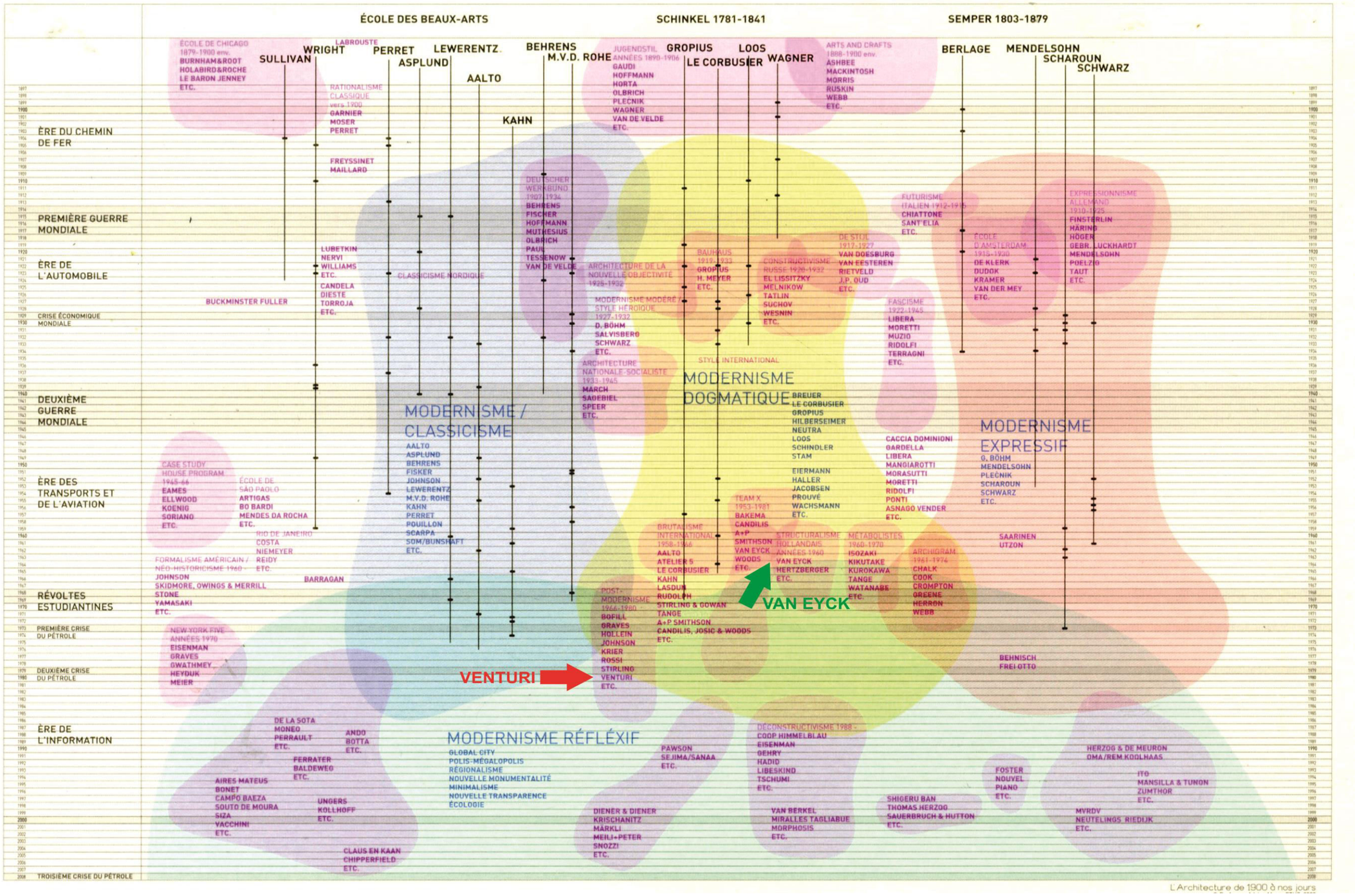


Fig. III-10. Carte synoptique des théories de l'architecture de 1900 à nos jours. Cette carte montre la position de Venturi dans la théorie de l'architecture alors qu'Alexander est absent. (Meyer, 2008)

	1. Statut	2. Contexte	3. Objectif	4. Problème	5. Principe et Logique	6. Matériels et Ressources	7. Résultat et Produit
Altshuller	Inventeur Théoricien	URSS Depuis 1948	Promouvoir l'invention	Principes de l'Invention Complexité	Systémique Dialectique Contradiction Processus de résoudre de problèmes Problème/solution récurrents (Modèle) Situation spécifique (Contexte) Tendances identifiables (les lois objectives)	Brevet Psychologie de l'inventeur Science de l'Ingénierie Les effets et les phénomènes connus par les sciences de la matière (Chimie, physique, etc.) Science fictions Mathématiques	**Les 40 Principes inventifs** **Les 39 Paramètres techniques** **La Matrice de contradictions** **Les 11 Principes de résolution de contradictions** **Les 9 Lois d'évolution** **Les 76 Solutions standards** **ARIZ** **D'autres outils (Multi-écrans etc.)**
Post-Altshuller							**Graphe de problème/solution** **Le Modèle ENV**
Alexander	Théoricien Architecte	Contre Modernisme architectural 1968-2002	Améliorer la conception Décortiquer la complexité	Complexité Pattern Principes immortels	Systémique Décisions séquentielles Processus de résolution de problèmes Problème/solution récurrents (Patterns) Contexte (Situation spécifique) Règles identifiables (les propriétés géométriques)	Mathématiques Histoire de l'architecture Science de la nature	**Les 253 Patterns** **Le Réseau de Pattern** **Les 15 Propriétés géométriques** **Les dix séquences de la conception** **Graphe des enjeux (*issu, objectif*)**
Venturi	Architecte Théoricien	Contre Modernisme architectural 1968	Améliorer la conception Sensibiliser vers le contexte	Complexité Sens et signification	Ambiguïté de significations Contradiction adaptée Contradiction juxtaposée Le Tout	Citrique de l'art Les œuvres architecturales	**Le Phénomène « à la fois »** **Le Phénomène « double fonction »**

Tableau III-1. La synthèse des théories d'Altshuller, d'Alexander et de Venturi. Les couleurs homogènes signifient la ressemblance.

Deuxième Partie :
Étude empirique

La « Première partie : Étude bibliographique » a posé le cadre conceptuel de la thèse ainsi que les fondements théoriques des champs d'investigation liés à l'usage architectural de la TRIZ. L'état de l'art établi dans la première partie nous a permis de définir la contribution scientifique attendue de la thèse : les apports de la notion de contradiction au sens de la TRIZ à la fois comme stratégie guidant la recherche et la structuration des informations et comme modèle d'interprétation et de représentation des éléments fondamentaux de la conception architecturale, à savoir les objectifs, les contraintes et les solutions.

La « Deuxième Partie : L'étude empirique » présente une expérimentation que nous avons pu mener pour examiner la contribution de la TRIZ au programme architectural d'un projet réel. Elle est structurée en deux chapitres.

Le Chapitre IV est une représentation détaillée de « L'application d'IDM-TRIZ au Programme Architectural ». Il rapporte deux résultats principaux de cette application. Le premier résultat concerne le programme architectural du projet réel modélisé par le graphe Problèmes - Solution Partielles. Le deuxième résultat consiste en dix concepts de solution pour répondre à la contradiction clé identifiée par le biais de ce graphe. Ils sont conçus en utilisant le processus de résolution de problème de la TRIZ.

Le dernier chapitre, « Chapitre V », est consacré à « L'évaluation » de l'application présentée dans le Chapitre IV. Dans un premier temps, le programme modélisé sous forme de graphe est évalué en termes d'enjeux principaux du programme architectural. Dans un deuxième temps, les dix concepts de solution ont été évalués par des professionnels pour leurs intérêts et leurs pertinences.

La conclusion de la « Deuxième Partie : L'étude empirique », rapporte une synthèse de notre étude empirique, ainsi que nos interprétations et observations.

Chapitre IV L'application d'IDM-TRIZ au Programme Architectural

Le Chapitre IV, intitulé « L'application d'IDM-TRIZ au Programme Architectural », présente l'expérimentation que nous avons effectuée pour répondre à la contribution scientifique de notre thèse. Il est structuré en deux sections. La première section présente les matériels exploités et la méthode IDM-TRIZ appliquée dans cette expérimentation. La deuxième section présente l'application de cette méthode au programme architectural du Projet Extension-Rénovation de l'INSA de Strasbourg. La structure de la deuxième section correspond aux étapes d'IDM-TRIZ telles que nous les avons décrites dans II.1.3.1 Ce chapitre introduit les deux principaux résultats de cette application, à savoir le programme architectural du projet de l'INSA modélisé sous forme du Graphe Problèmes-Solution Partielles et l'ensemble des concepts de solution proposés par la TRIZ pour résoudre une des contradictions de ce projet.

Il est à noter que nous avons utilisé la version anglaise du logiciel STEPS qui est le support informatisé d'IDM-TRIZ. De ce fait, les entrées (les Problèmes et les Solution Partielles, les Paramètres) sont en anglais. Mais la démarche et les résultats sont présentés en français.

Ch. IV.1. Les matériels et la méthode

IV.1.1. Les matériels

Les matériels exploités pour effectuer l'étude empirique de cette thèse sont de trois ordres :

1. Le préprogramme et le programme du projet Extension-Rénovation de l'INSA de Strasbourg faits par deux sociétés expertes en programmation.
2. Nos notes comprenant les besoins, les attentes, les objectifs, les contraintes et les propositions exprimés lors des réunions entre les représentants du maître d'ouvrage et les représentants des sociétés chargées de la programmation.
3. La matrice (l'index) d'informations de (Peña & Parshal, 2001).

Le préprogramme et le programme du projet de l'INSA

Dans un projet ordinaire piloté par IDM-TRIZ, le Graphe Problèmes-Solution Partielles est construit collectivement par des parties prenantes du projet. L'objectif est l'acquisition des connaissances nécessaires pour cerner l'espace de problèmes du projet. Le rôle de l'expert y est de mener les participants vers une compréhension collective du projet en termes des problèmes à résoudre et des solutions connues. En questionnant les participants, il construit les problèmes et les solutions et les met en rapport dialectique. Le résultat est un graphe composé des Problèmes et des Solution Partielles qui sont associés par des rapports de concordance et des rapports conflictuels. Mais nous n'avons pas eu ni la possibilité de questionner les parties prenantes du projet ni d'organiser les séances de travail collectif. Par conséquent, nous avons été amenés à ne pouvoir utiliser que les informations présentes dans les documents élaborés par les programmistes.

L'INSA de Strasbourg, après avoir fait une étude préliminaire en 2010, a confié la préparation du préprogramme du projet à une société experte en programmation architecturale. Cette dernière a présenté les documents demandés en octobre 2013. Ensuite l'INSA a confié la mission de préparation du programme à une autre société qui l'a présenté en mars 2014. Les objectifs, les contraintes et les propositions ont fait l'objet de révisions et de modifications multiples. Dans cette thèse nous avons pris en compte les dernières versions auxquelles nous avons eu d'accès.

La structure du préprogramme et du programme répond au modèle procédural habituel des programmes architecturaux. De même, les informations qu'ils présentent correspondent plus ou moins aux éléments demandés par l'Ordre des architectes. (voir I.1.1.2) Ainsi, le préprogramme présente l'INSA de Strasbourg en tant que maître d'ouvrage, son organisation fonctionnelle, ses objectifs et ses attentes, l'analyse du site et l'audit technique, l'expression des besoins en termes des surfaces classées par entités fonctionnelles, l'étude de faisabilité financière et temporelle. Comme la Fig. IV-1 le montre, ces informations sont présentées par les moyens habituels comme le texte, le tableau, le plan, le diagramme en bulle et l'organigramme. De même, dans l'étude de faisabilité spatiale, le préprogramme et le programme proposent des scénarii pour localiser le nouveau bâtiment (Extension) dans le site de l'INSA.

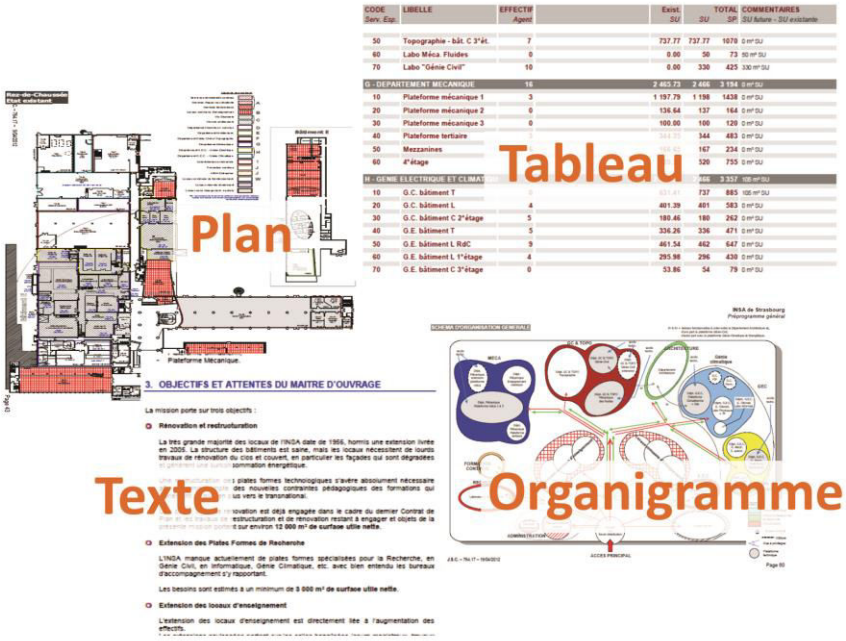


Fig. IV-1- Les moyens de représentation utilisés par le Programme architecturale du projet de l'INSA.

Les réunions

L'INSA de Strasbourg a formé un comité de suivi pour piloter le projet. Ce comité était composé des représentants de la Direction de l'INSA, du Rectorat du Strasbourg, du Projet Campus de l'Université de Strasbourg, des différents Départements de l'INSA et du Syndicat des étudiants. L'INSA de Strasbourg organisait des réunions dans lesquelles le Programmiste communiquait avec les participants et leur présentait l'avancement de la programmation. Nous avons pu obtenir la permission de participer à quatre réunions entre février et octobre 2013. Pendant ces réunions, les participants commentaient le programme,

exprimaient leurs besoins et leurs attentes et proposaient des solutions. Nos notes comprennent ces éléments et constituent une autre source d'informations exploitée pour la construction du graphe.

La matrice (Index) des informations de Peña

En plus, nous avons utilisé la matrice (l'index des informations) proposée par (Peña & Parshal, 2001) pour identifier les concepts de base des propositions du préprogramme et du programme. (voir I.2.3.2 et Annexe VI)

Dans la deuxième section du chapitre présent nous décrivons de manière détaillée comment ces matériels ont étés exploités pour construire le Graphe Problème – Solution Partielles du projet de l'INSA.

Projet Extension-Rénovation de l'INSA de Strasbourg

L'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Strasbourg est un établissement public à caractère scientifique et culturel (EPSCP). Il est implanté depuis 1958 sur le Campus de l'Esplanade à Strasbourg, 24 boulevard de la Victoire. L'INSA a été conçu initialement pour 450 étudiants, mais les effectifs, les missions et la pédagogie ont considérablement évolué, avec l'objectif d'atteindre 2000 étudiants ingénieurs à l'horizon 2016. La Fig. IV-2 montre le plan masse des bâtiments sur le site de l'INSA.

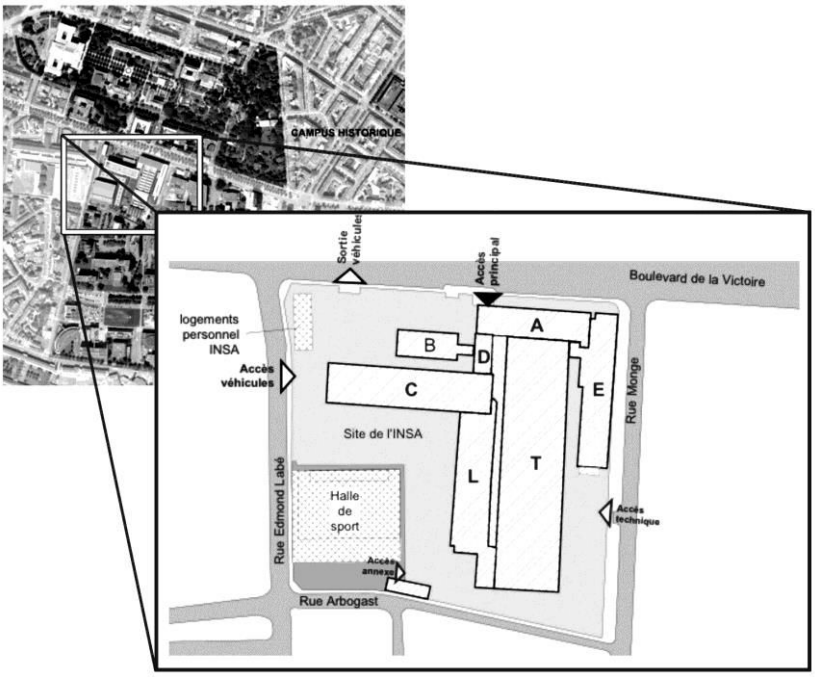


Fig. IV-2. Le plan masse de l'INSA de Strasbourg.

Ainsi, dans le cadre de son développement actuel et à venir, l'INSA de Strasbourg a décidé d'engager des études pour la restructuration, la rénovation et l'extension de ses espaces dédiés à la recherche et à l'enseignement. Il s'agit d'une intervention sur les bâtiments existants et dans un site occupé qui rend le projet plus complexe. Ce projet comprend deux opérations majeures : la réhabilitation spatiale avec la réorganisation des fonctions avec en particulier la restauration d'un certain nombre de locaux et la construction d'un nouveau bâtiment. Les objectifs de l'opération sont doubles, d'une part assurer une meilleure fonctionnalité des différentes entités (services de type administratifs, locaux de cours banalisées, départements, etc.), d'autre part étudier les besoins en surface, à court et moyen terme, en vue de la mise en conformité des locaux avec leur utilisation potentielle mais également en vue d'étudier la nouvelle extension.

L'attention sera porté particulièrement à l'organisation fonctionnelle du nouvel ensemble et ses relations, d'une part avec l'extérieur (accès depuis le campus d'Esplanade et l'entrée principale sur le boulevard de la Victoire), et d'autre part à l'intérieur même des bâtiments existants (le hall de distribution et les circuits internes des utilisateurs en évitant le cul-de-sac). La maîtrise d'œuvre devra ainsi s'intéresser aux questions de signalisation, d'une part externe, avec l'accessibilité des véhicules sur le site et des piétons vers le hall d'accès, d'autre part interne, avec les liaisons depuis le hall d'accès vers les différentes entités fonctionnelles.

Comme montre la Fig. IV-3, le préprogramme propose trois scénarii pour localiser le nouveau bâtiment (Extension) dans le site de l'INSA. Mais, le Programme destiné aux cabinets d'architecture sélectionnés pour le concours ne présente que des variations du scénario 3 initial. (voir Annexe VII) Autrement dit, deux autres scénarii ont été supprimés. Le scénario 2, qui proposait de construire le nouveau bâtiment au centre du site où il est occupé par le bâtiment T, nous intéresse particulièrement ; car cette proposition est à l'origine de la contradiction que nous allons essayer de résoudre.

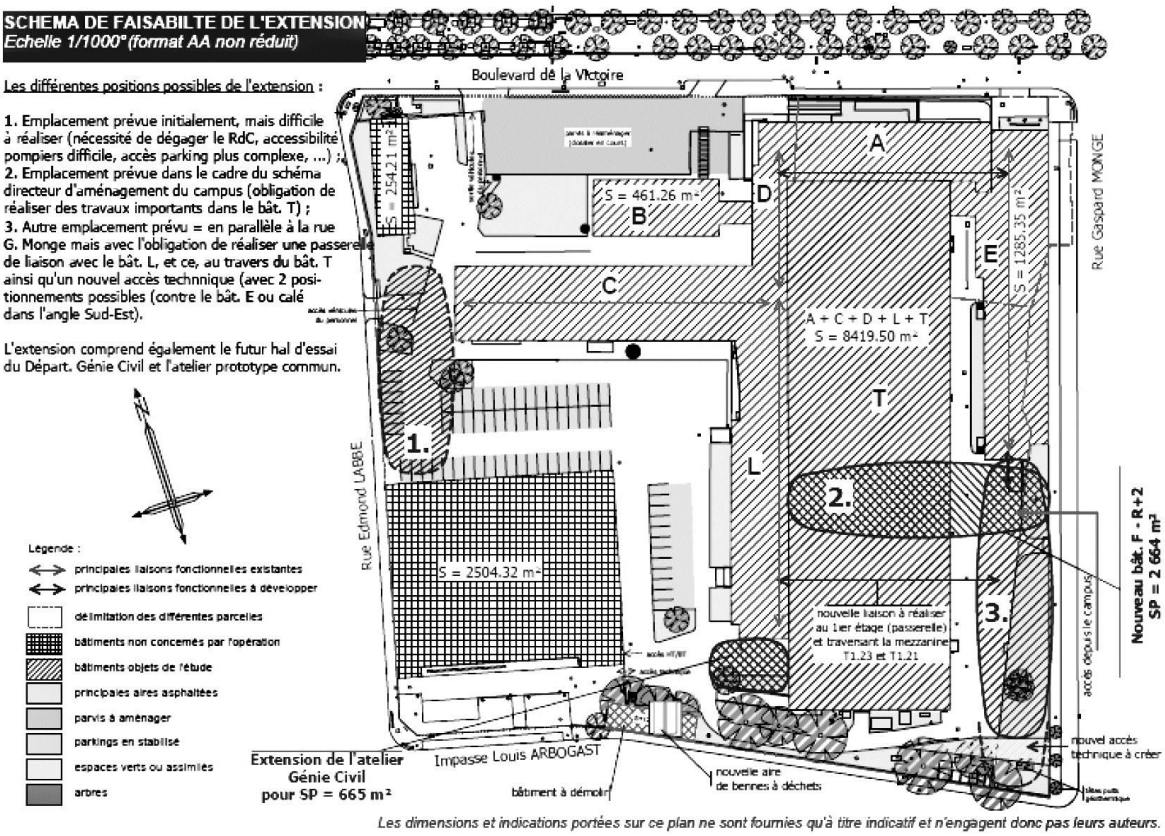


Fig. IV-3. Trois scénarii pour localiser le nouveau bâtiment de l'INSA de Strasbourg. (Source : Préprogramme du projet de l'INSA)

IV.1.2. La méthode IDM-TRIZ

Nous avons présenté la méthode IDM-TRIZ (*Inventive Design Method*) et ses étapes dans II.1.3.1. L'ontologie d'IDM-TRIZ comprend cinq éléments fondamentaux : Problème, Solution Partielle, Paramètre d'Action, Paramètre d'Évaluation, et Contradiction. IDM-TRIZ propose une démarche en quatre étapes présentées ci-dessous pendant lesquelles ces éléments sont identifiés, définis et construits.

Nomenclature	
IDM-TRIZ	Inventive Design Method
Graphe PB-SP	Graphe Problèmes-Solution Partielles
PB	Problèmes
SP	Solution partielles
PA	Paramètre d'Action
PE	Paramètre d'Évaluation

- Étape 1 : Analyse de la situation initiale[1]. Dans cette étape le Graphe PB-SP est construit, les Paramètres sont définis et associés aux PBs et aux SPs. De même, le Problème clé est identifié à l'aide du Graphe PB-SP.
- Étape 2 : Analyse du problème et Management des contradictions[2]. Cette étape analyse l'objet d'étude en tant que système. Pour ce faire, l'intégralité des parties, la maturité et l'évolution du système sont étudiées. De plus, les PAs et les PEs sont extraits du Graphe PB-SP et les Poly-Contradictions sont construites.
- Étape 3 : Génération des concepts de solutions[3]. Dans cette étape, les poly-contradictions proposées sont évaluées et une contradiction liée au Problème clé est choisie pour résolution. De plus, les Méthodes de séparation, la Matrice de contradictions, les modèles Substance-champ (Vépole) sont utilisés pour générer des Concepts de solution pour résoudre et donc éliminer la contradiction choisie.
- Étape 3 : Choix des directions de développement des concepts[4]. Dans cette étape, des scénarii et des concepts de solution sont choisis et évalués pour développer la solution retenue.

La section suivante présente ces étapes de manière plus détaillée à travers notre cas d'application.

[1] Cette étape est désignée par l'onglet Problèmes dans le logiciel STEPS.
[2] Cette étape est désignée par l'onglet Analyse dans le logiciel STEPS.
[3] Cette étape est désignée par l'onglet Résolution dans le logiciel STEPS.
[4] Cette étape est désignée par l'onglet Solution dans le logiciel STEPS.

Ch. IV.2. Le cas d'application : le projet Extension – Rénovation de l'INSA de Strasbourg

Cette section présente l'application d'IDM-TRIZ au projet « Extension et Rénovation de l'INSA de Strasbourg ». Dans ce qui suit, nous décrivons comment les matériels indiqués dans Ch. IV.1 ont été utilisés pour construire des éléments de l'ontologie d'IDM-TRIZ.

IV.2.1. Étape 1 : Analyse de la situation initiale

Pour passer d'une expression d'un besoin fonctionnel à la reconnaissance des éléments permettant sa réalisation, (Altshuller, 1984) propose de décomposer et de formuler le problème à traiter sous forme de contradiction, qui selon la théorie de la TRIZ est la cause commune de tout problème inventif. Ici, la contradiction se définit comme un rapport créé par le concepteur entre les objectifs et les contraintes. Nous sommes en face de contradictions, si la solution conçue pour améliorer un paramètre dégrade un autre paramètre du système. Mais, la TRIZ classique ne propose pas une démarche robuste pour construire les contradictions multiples liées aux problèmes divers d'une situation complexe.

Pour répondre à ce manque, IDM-TRIZ propose de construire le Graphe PB-SP. Ceci est un moyen pour visualiser l'espace de problèmes. Ce dernier est un ensemble de problèmes liés permettant de décrire la situation problématique initiale. Les éléments constructifs du Graphe PB-SP sont donc les problèmes, les solution partielles et les relations entre ces éléments. La syntaxe spécifique de ce graphe permet de transformer dans des énoncés clairs les problèmes et les solutions qui sont exprimés de manière vague et/ou sous-jacente dans un discours présentant le programme initial. Le Graphe PB-SP suit deux objectifs. Premièrement, la structure latente du graphe basée sur les rapports dialectiques entre les problèmes et les solution partielles permet d'extraire directement les contradictions du projet. Deuxièmement, la structure mathématique du graphe permet de représenter les influences mutuelles des problèmes et par conséquent d'aider le concepteur à identifier le problème le plus influent dans l'espace de problèmes du projet.

IV.2.1.1. Construction du Graphe PB-SP

En exploitant les trois matériels indiqués dans Ch. IV.1, nous avons construit le Graphe PB-SP du projet de l'INSA. Nous avons formulé les PBs et SPs selon la syntaxe proposée par IDM-TRIZ. D'après cette théorie, un problème doit être présenté par une phrase avec un minimum de contenu pour formuler une seule notion. Il a donc la syntaxe suivante :

Problème : < sujet > + <verbe> + <complément>

De même, une solution partielle doit décrire une seule notion à un niveau de généricité précis de sorte qu'elle réponde à un problème précisément donné. Une solution a donc la syntaxe suivante :

Solution Partielle : < Verbe dans sa forme infinitive > + < complément >

Le Graphe PB-SP évolue au cours de sa construction. Dans notre cas d'application, quatre versions ont été construites. La première version représente les PBs et SPs qui sont clairement énoncés dans les documents du préprogramme et du programme. Elle comprend 22 PBs et 58 SPs. L'exemple suivant montre comment nous avons utilisé la syntaxe d'IDM-TRIZ pour extraire un PB et une SP d'une phrase du programme initial.

La phrase de «[Le projet de] l'extension [des locaux de l'INSA] avait pour origine, (d'une part) l'évolution des effectifs, […] de 1670 étudiants à 2000 étudiants ingénieurs à l'horizon 2016. » produit :

- *PB03: INSA lacks the spaces.*[1]
- *SP02: Build a new building in extension.*

La deuxième version du Graphe PB-SP est un développement de la version 1 en interprétant les phrases du programme de l'INSA qui expriment de manière sous-jacente un problème ou une proposition. Ainsi, nous avons ajouté 41 PBs et 6 SPs à la version 1. Les deux exemples suivants illustrent comment un objectif exprimé dans le programme peut être utilisé pour construire un PB ou une SP. La phrase de «L'ouverture du site vers le campus du côté sud-est recherchée » a été interprété par :

- *PB02: Site is closed to the University Campus.*

[1] Comme nous l'avons souligné, les Problèmes et les Solution partielles respectent la syntaxe de IDM-TRIZ, il se peut donc qu'ils ne soient pas exactement conformes à la grammaire formelle du français ou de l'anglais.

La phrase d'« une redistribution fonctionnelle des locaux et une amélioration des circulations seront également pris en compte » a donné la SP suivante :

- *SP01: Redistribute spaces in existing buildings.*

La version trois ajoute à la version précédente des PBs et des SPs exprimés lors des réunions entre la maîtrise d'ouvrage et le programmiste. Pendant les résinions, les participants abordaient différents sujets et exprimaient verbalement des objectifs, des contraintes, des conflits et des propositions sans nécessairement de solution ou de compromis. Mais, certains de ces éléments sont absents dans les documents du préprogramme et du programme. Cela montre que le programmiste a décidé (avec ou sans négociation avec la maîtrise d'ouvrage) qu'un certain nombre d'objectifs ou de propositions sont à négliger. Les objectifs, les contraintes et les propositions notés nous ont permis d'ajouter 10 PBs et 4 SPs à la version 2. Ils sont initialement formulés dans la syntaxe d'IDM-TRIZ. Les trois éléments suivants en sont l'exemple.

- *SP75: Build several entries.*
- *PB52: Several entries make hard the access control.*
- *PB53: Cost of security control for several entries is high.*

De même, à la recherche d'une cohérence, les objectifs contradictoires ou les solutions considérées comme générant une contradiction sont éliminés par un jugement basé sur l'expertise et les connaissances du programmiste ou/et de la maîtrise d'ouvrage. Les deux exemples les plus significatifs sont deux scénarii proposés dans le document de préprogramme qui sont absents dans le document du programme. Ces deux scénarii sont présentés par la SP 55 et la SP 56.

- *PS55: Build the new extension building across Rue E. LABBE (Scenario proposed by the Pre-Program but missing in the Program of INSA)*
- *PS56: Build the new extension building on existing workshop of Fluid mechanics of Building T; (Scenario proposed by the Preprogram but missing in the Program of INSA)*

Pour la version quatre, nous avons utilisé la Matrice d'informations de Peña & Parshall (2001) afin de vérifier les relations entre les éléments du Graphe et pour éliminer les redondances. Cela nous a permis d'ajouter 7 SPs. Par exemple, nous avons vérifié si le concept de regroupement (S*ervice Grouping, People Grouping, Activity Grouping*) proposé

par la Matrice de (Peña & Parshal, 2001) a été utilisé comme solution partielle pour les problèmes concernant la localisation et la circulation. Ainsi, la version définitive du Graphe PB-SP du projet de l'INSA (Fig. IV-4) contient un total de 73 PBs, dont les suivants :

- *PB01: Functional distribution of spaces is not satisfactory.*
- *PB02: Site is closed to the University Campus.*
- *PB03: INSA lacks space.*

…

- *PB72: INSA consumes a lot of energy.*
- *PB73: Existing buildings T and D make hard access to Building E.*

Cette version comprend un total de 75 SPs, dont les suivantes :

- *PS01: Redistribute spaces in existing buildings.*
- *PS02: Build a new building.*
- *PS03: Install the Soundproofing on the walls.*

…

- *PS73: Build a new building having a space in the center of complex as a distribution hub for INSA flow.*
- *PS74: Build new building as a Low-energy (BBC).*
- *PS75: Build several entries.*

La liste complète des PBs, des SPs et leurs paramètres associés se trouve dans Annexe VIII.

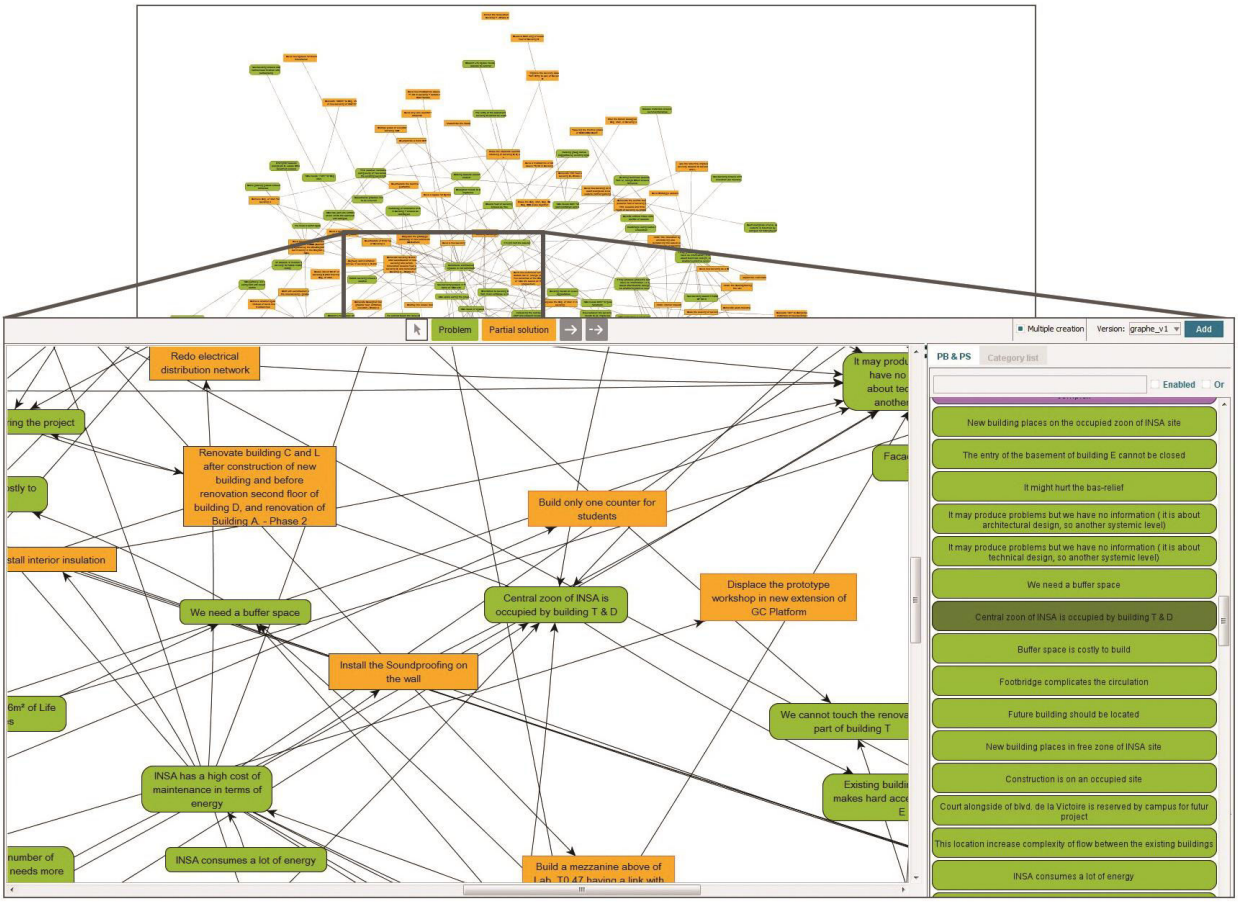


Fig. IV-4. Graphe PB-PS du programme du projet de l'INSA.

IV.2.1.2. Paramètres des Problèmes et Solution partielles

Après la construction du Graphe PB-SP, nous avons défini les paramètres associés aux problèmes ou aux solution partielles précédemment créés. Les paramètres qualifient l'objet en lui attribuant une spécificité ou la caractéristique qui, associée à l'objet, traduit une connaissance explicite du système observé. Chaque problème ou solution partielle peut se décliner en un ou plusieurs paramètre(s).

Pour identifier les spécificités ou/et les caractéristiques d'un problème, nous cherchons les paramètres du système qui seraient améliorés si le problème était résolu. Nous cherchons également à savoir quels paramètres du système sont dégradés en raison de ce problème. De même, pour identifier les spécificités ou/et les caractéristiques d'une solution partielle, nous essayons d'identifier les paramètres du système sur lesquels il faut agir pour la mise en œuvre de cette solution.

Les problèmes peuvent être notés selon leur importance. Cette notation va de 0 (très peu important) à 5 (très important). Nous avons identifié un total de 20 paramètres, dont les suivants.

- *Construction cost*
- *Surface*
- *Noise pollution*

…

- *Existing buildings*
- *Shape-Geometry of the Distribution Hub*
- *Spatial location of the Distribution Hub*

IV.2.1.3. L'interprétation du Graphe PB-SP

Identifier le Problème Clé[1]

Le Problème Clé est le problème qui a l'influence la plus forte sur les autres problèmes et qui provoque le plus de réduction *(shrinking)* dans le Graphe ; c'est-à-dire, la résolution de ce problème supprime le plus grand nombre de problèmes. Dans notre cas, le Graphe montre que le *« PB06: Increasing number of staff and student needs more spaces»* a le taux d'influence le plus élevé (13), c'est donc le problème qui cause le plus de problèmes. Le problème avec le taux d'influence de 12 est *PB03 : « INSA lacks space ».* Il est logique que ces deux problèmes soient à l'origine d'autres problèmes, mais comme ils ont un niveau de généralité très élevé, ils ne donnent pas une direction significative pour les résoudre. De même que la *SP02 : «Build a new building »,* qui est liée à ces PBs, ne présente pas suffisamment de caractéristiques pour un Paramètre d'Action.

Mais si le Graphe PB-SP calcule en fonction du taux d'influence des Solution Partielles, nous constatons que la solution qui peut résoudre le plus nombre de problèmes est la « *PS73: Build a new buliding including a distribution hub for INSA flow in the center of complex* » avec le taux d'influence le plus élevé, c'est-à-dire 7. Elle correspond d'ailleurs au scénario 2 proposé par le préprogramme, mais absent dans le programme. Le Graphe montre que de cette solution résulte le « *PB63: Central zoon of INSA is occupied by buildings T and D* ». Nous pouvons voir que ce problème est lié aux objectifs principaux du programme du

[1] *Core Problem*

projet, à savoir l'amélioration de la circulation entre des bâtiments (présenté par le *PB09: Flow between the buildings needs to be improved*) et la localisation du nouveau bâtiment (présenté par le *PB66: Future building should be located*). De plus, le PB63 est lié à une des contraintes majeures du projet, celle imposée par l'activité courante de l'INSA qui ne peut pas être interrompue pendant l'opération du projet (cette contrainte est présentée par le *PB43: INSA works during the project*).

C'est pour ces raisons que nous avons défini le « *PB63: Central zone of INSA is occupied* » comme le Problème clé du projet.

Informations manquantes

Dans le Graphe PB-SP, plusieurs problèmes aboutissent au « *PB60: It may produce problems but we have no information - it is about architectural design* » ou au « *PB61: It may produce problems but we have no information - it is about technical design* ». Cela veut dire qu'il y a des problèmes pour lesquels nous savons qu'il existe des solutions, mais nous n'avons aucune information à leur sujet avant la phase de conception architecturale. Ce phénomène soutient l'approche intégrée – interactive selon laquelle la programmation architecturale ne peut pas être considérée comme une phase figée et séparée des autres phases du processus de conception architecturale. (voir I.2.2)

Le programme architectural évolue en fonction des éléments conçus progressivement. Et la capacité du Graphe PB-SP à préserver la possibilité d'intégrer de nouvelles informations, en l'occurrence, des nouvelles SPs et des nouveaux PBs, le rend opérationnel aussi pour les phases qui suivent la programmation. C'est une conclusion dont il conviendra de tenir compte pour les études à venir.

La réglementation, le budget et le temps

Le programme architectural contient également les contraintes relatives à la réglementation, au budget et aux délais du projet. Le Graphe PB-SP montre que les PBs représentant ces contraintes restent isolés sauf dans le cas où ils se situent après une solution partielle. Ce phénomène montre que telles contraintes n'interviennent dans l'espace de problèmes du projet qu'après la conception d'une solution. Autrement dit, il n'est pas nécessaire de les introduire dans le Graphe jusqu'au moment où elle(s) empêche(nt) la réalisation d'une solution.

Le développement durable

Le document du préprogramme présente le développement durable comme un des objectifs du projet. Mais, les PBs que nous avons pu extraire des phrases relatives à cette considération sont peu nombreux (comme le PB36 et le PB40). De plus, ils sont relativement isolés dans le Graphe PB-SP. Ce phénomène révèle que malgré la présence de la notion de durabilité parmi des objectifs majeurs du projet, le programmiste n'a pas à sa disposition de concepts de solution opérationnels au niveau du programme architectural. Il faudra en tenir compte dans les prochains cas d'étude. De même, les solution partielles proposées sont des solutions techniques triviales (comme *PS06: Install Sunscreen*). Ce phénomène montre l'absence des concepts intermédiaires permettant de relier les objectifs relatifs au développement durable du niveau du management à des solutions techniques. Il rappelle deux remarques d'Antoine Picon dans l'Encyclopédie Universalis : « un catalogue de solutions techniques, aussi étendu soit-il, ne suffit pas à faire de l'architecture durable » ; ensuite, « les bons sentiments ne suffisent pas non plus pour une conception durable. » (Picon, n.d.)

Les praticiens dans le domaine de l'architecture se plaignent que si la conscience écologique anime aujourd'hui beaucoup de démarches dans le monde du bâtiment, les défis de la construction durable restent encore difficiles à relever. Ils affirment que bien que toute une série de réponses partielles et techniques existe, il manque à ce catalogue un mode d'emploi spécifiquement architectural. En effet, l'ensemble des pratiques architecturales qu'entretient le rapport du bâtiment avec son environnement dans le cadre du développement durable relève trop souvent du « rafistolage ». Perrault déclare qu'aujourd'hui dans le domaine de l'architecture « le développement durable est un travail de prothèse, les architectes travaillent et les ingénieurs, comme des techniciens de prothèse, ajoutent différents systèmes et solutions qui contribuent à avoir des bâtiments plus performants au niveau énergétiques. » (cité par (Gholipour, et al., 2009))

IV.2.2. Étape 2 : Analyse du problème et Management des contradictions

Nous avons défini le « *PB63 : Central zone of INSA is occupied* » comme le Problème clé du projet. Dans cette étape, nous analysons ce problème afin de connaître ses éléments

constitutifs. Cette analyse consiste à étudier l'intégralité des parties et la maturité et l'évolution du système en termes des Lois d'évolutions. L'objectif est d'identifier les contradictions qui causent ce problème (les Poly-Contradictions et leurs paramètres).

Intégralité des parties

Cette analyse correspond à la Loi 1 de l'évolution des systèmes techniques et permet de décrire l'objet qui se trouve au cœur du problème. Pour ce faire, IDM-TRIZ utilise le modèle d'intégralité des parties du système de la théorie de la TRIZ. (voir II.1.2.5.2) Dans notre cas, « *Building T in the geometric center of the INSA complex* » est analysé comme l'objet[1] du problème clé (*Central zone of INSA is occupied*). Pour la modélisation détaillée, voir Annexe IX.

Multi-écrans

Un autre outil d'analyse de la TRIZ est le modèle Multi-écrans qui présente l'objet dans une échelle systémique et temporelle. Les écrans des niveaux présent et passé permettent de décrire l'état du système actuel et le ou les état(s) précédent(s) du système, des super-systèmes et de sous-systèmes. Ils décrivent le domaine de ce qui est connu, tandis que les écrans du niveau futur présentent le domaine hypothétique. L'analyse Multi-écrans permet de développer le premier ensemble d'hypothèses sur les solutions possibles. Nous avons défini les six hypothèses suivantes.

- *HP1- A distribution hub (inside the new building) which has a central location in the complex of INSA buildings (on the location of Building T)*
- *HP2- A distribution hub (inside the new building) which directs an augmented flow of people up to 2000 students.*
- *HP3- A distribution hub (inside the new building) which has a bigger surface than existing hall.*
- *HP4- A distribution hub (inside the new building) which has a set of changed in its closed surfaces.*
- *HP5- A distribution hub (inside the new building) which has a set of changed in its open surfaces.*
- *HP6- A distribution hub (inside the new building) which has a changed shape.*

[1] Outil selon le modèle de TRIZ

Ces hypothèses participent à la description du profil de nouveau « *distribution hub* ». En résumé, elles présentent les cinq caractéristiques suivantes.

1. *a central spatial location in the complex of INSA*;
2. *a bigger surface than existing hall for 2000 students*;
3. *changed closed surfaces*;
4. *changed open surfaces*;
5. *changed shape*.

Lois d'évolutions

Les lois d'évolution permettent de spécifier ou d'indiquent comment le système doit évoluer. Elles permettent de mettre en avant un deuxième ensemble d'hypothèses qui seront plus tard liées à des paramètres. Nous avons ainsi défini 12 autres hypothèses. La loi *2 (Conductibilité énergétique des parties)* et la loi 7 *(Transition du macro-niveau au micro-niveau)* n'ont donné aucune hypothèse.

Découlent de la loi 1 : Intégrité du système technique :

- *HP7- Creates a new component that acts on the closed surfaces and/or on the Shape of the Distribution Hub, and/or on the Main space of the Hub.*
- *HP8- Redesign the Main space of the Hub, to make it an interface element with Access of existing buildings of INSA.*
- *HP9- Redesign spatial location of the Distribution Hub.*

Découle de la loi 3 : Concordance des rythmes (harmonisation) :

- *HP10- Connect the Main Space to the Access of existing buildings of INSA.*

Découle de la loi 4 : Augmentation du degré d'idéalité :

- *HP11- Instead of distribution hub use other spaces (giving its function to other spaces).*

Découle de la loi 5 : Développement égal des parties :

- *HP12- Redesign the Main space of the Hub Spatial location, Surface and Shape of the Distribution Hub in a manner that its state of maturity joins up with the whole complex of INSA.*

Découlent de la loi 6 : Transition vers un super système :

- *HP13- Connect the Main space of the Hub to the Access of existing buildings of INSA by Surrounding Streets*
- *HP14- Connect the Main space of the Hub to the Access of existing buildings of INSA by Corridors*
- *HP15- Connect the Main space of the Hub to the Access of existing buildings of INSA by Roof/Ceiling of Building T*
- *HP16- Connect the Main space of the Hub to the Access of existing buildings of INSA A by Environment space*

Découle de la loi 8 : Croissance de dynamisme

- *HP17- Connect the Main space of the Hub to the Access of existing buildings of INSA by an element passing from current state to articulated (changing state).*

Découle de la loi 9 : Déploiement Substance-Champ

- *HP18- Add other functions to the main function of the Distribution Hub.*

De ces hypothèses résultent dix autres caractéristiques de « *distribution hub* ».

6. *a new component acting on its closed surfaces;*
7. *being as an interface for other access of existing buildings of INSA;*
8. *direct connection between the its Main Space to other access of existing buildings of INSA;*
9. *adopted its Main space, Spatial location, Surface and Shape to whole system of complex of INSA containing the future building;*
10. *having a Main Space connected to the Access of existing buildings of INSA by surrounding streets;*
11. *having a Main Space connected to the Access of existing buildings of INSA by Corridors;*
12. *having a Main Space connected to the Access of existing buildings of INSA by Roof/Ceiling of Building T;*
13. *having a Main Space connected to the Access of existing buildings of INSA by Environment space;*
14. *having a connected Main Space to the Access of existing buildings of INSA by an articulated Element;*
15. *having new added function(s).*

Les Poly-Contradictions et leurs Paramètres

L'objectif de l'analyse du problème est de connaître les Poly-Contradictions qui en sont les causes. Elles sont construites à partir des paramètres que nous avons attribués aux PBs et aux SPs. Selon le modèle de contradictions de la TRIZ, les paramètres sont de deux ordres : les paramètres d'action (PA) et les paramètres d'évaluation (PE). Les PSs sont les paramètres sur lesquels on va agir pour modifier le système actuel. Les PEs sont les paramètres qui vont permettre d'évaluer la caractéristique du système.

Les paramètres sont interchangeables ; autrement dit, définir un paramètre comme paramètre d'action ou paramètre d'évaluation dépend de son rôle dans la contradiction qu'ils génèrent. Mais, en règle générale, les problèmes engendreront plutôt des PEs et les solution partielles plutôt des PAs.

Un PA peut toujours être modifié de deux manières opposées. Par exemple le paramètre « Taille » peut devenir plus grand ou plus petit. En modifiant un paramètre d'action, dans un sens ou dans l'autre, on va pouvoir constater qu'un certain paramètre d'évaluation va être amélioré tandis qu'un autre va être dégradé. Cette situation constitue une contradiction : en agissant sur un paramètre (PA) on va en induire l'amélioration ou la dégradation d'un autre paramètre (PE). C'est comme cela que les poly-contradictions vont être construites. (Fig. IV-5)

Une poly-contradiction concerne toujours un élément, qui est souvent un sous-système du système actuel, un paramètre d'action, qui est choisi dans la liste des paramètres, une valeur à travers laquelle le PA peut être modifié (vA), sa valeur contraire (-vA) et plusieurs paramètres d'évaluation. Pour chaque paramètre, il est possible de définir une valeur « importance » (PE) et une valeur « coefficient » (PA). Cela permet de comprendre quels sont les paramètres les plus influents. Cette pondération avec l'importance des lois d'évolutions définie précédemment permet de calculer le poids des contradictions.

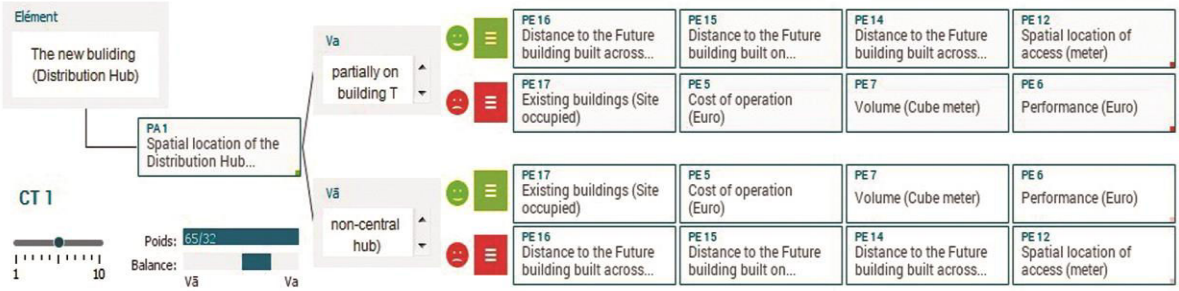


Fig. IV-5. La Poly-contradictions liée au problème clé du projet.

IV.2.3. Étape 3 : Génération des concepts

Comme la Fig. IV-6 le montre, IDM-TRIZ propose la contradiction CT1.25 comme la contradiction la plus importante du projet de l'INSA. Pour ce faire, les contradictions ont été identifiées pour chaque poly-contradiction décrite précédemment. Cette visualisation permet d'obtenir une classification des contradictions. Les contradictions les plus intéressantes à résoudre sont celles qui se trouvent le plus en haut à droite et ayant la plus grande taille dans le tableau de représentation des contradictions.

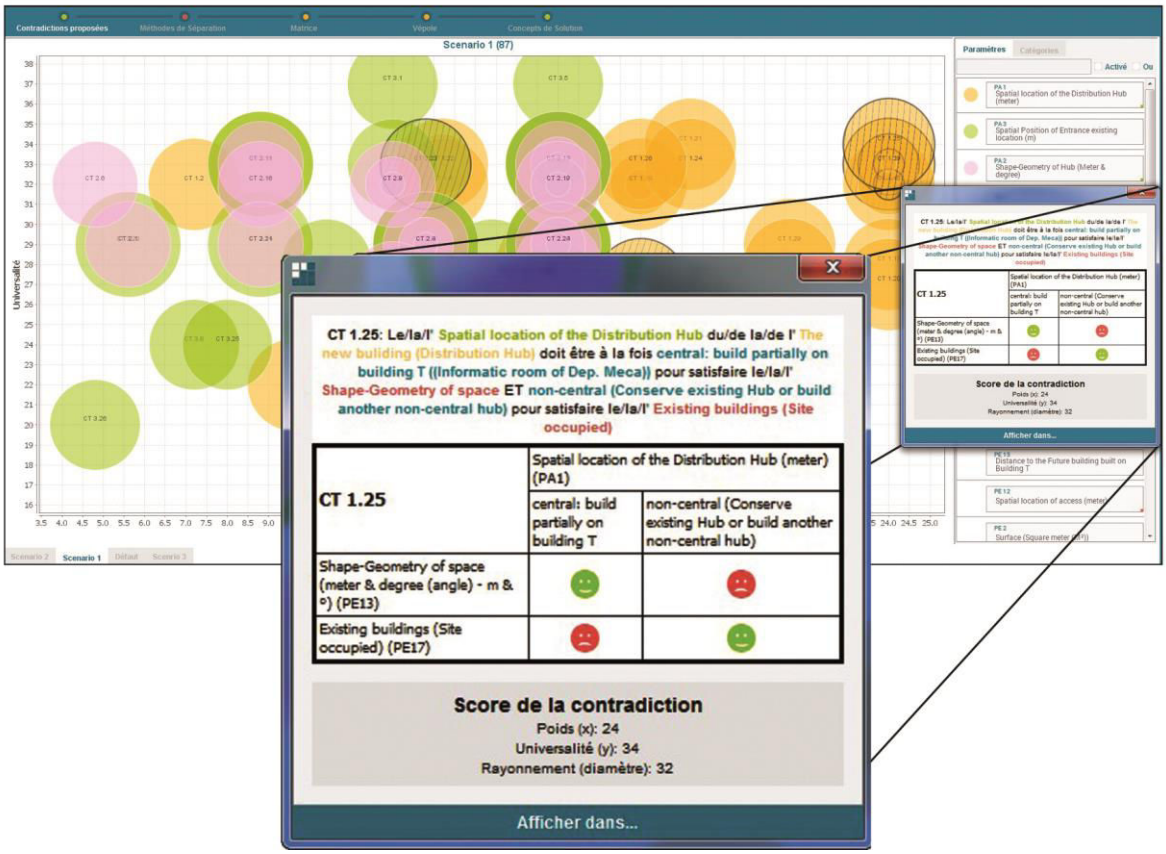


Fig. IV-6. Le choix de la contradiction à résoudre

Dans cette étape, les concepts pour résoudre la contradiction retenue en utilisant les techniques et les outils de la TRIZ comme les Méthodes de séparation, la Matrice de contradictions, les Modèles substances-champ (Vépole). Un total de 10 concepts de solution a été défini. De plus, nous avons examiné ces concepts pour savoir si les caractéristiques qu'ils génèrent correspondent à celles identifiées par les hypothèses déjà développées. Les concepts obtenus sont les suivants.

Par les Méthodes de séparation :

- ***Concept 1****- Separate the objet (Distribution Hub) in space.*
- ***Concept 2****- Separate the objet (Distribution Hub) by system transition.*
  Interpretation: If the distribution of functions changes inside the buildings of INSA, the Distribution Hub can be not at the center of the complex.

Par la Matrice de contradictions :

Inventive Principle 7 - Nested doll.

- ***Concepts 3****- Principle 7a: Place one object inside another. Increase a number of nested objects.*
  Interpretation: Put the distribution Hub in the Exam Room of Building A.
- ***Concept 4****- Principle 7b: Make one object dynamically pass through a cavity of another object.*
  Interpretation Use the curved roof of Building T.

Inventive Principle 35 - Change of physical and chemical parameters.

- ***Concept 5****- Principle 35a: Change the object's aggregate state.*
  Interpretation: Change the geometry of the Distribution Hub.
- ***Concept 6****- Principle 35b: Change concentration or consistency of the object.*
  Interpretation: Distribute different functions of Distribution Hub in adjacent spaces.

Par les Modèles substances-champ

- ***Concept 7****- Standard 1.1.4: Transition to SFM by using external environment.*

  Interpretation: Use Monge Street

- ***Concept 8****- Standard 1.1.5: Transition to SFM by using external environment with additives.*

  Interpretation: Use empty space between Building E and T and install the stairs to the roof of Building T.

- ***Concept 9****- Standard 2.1.1: Transition to chain SFM.*

  Interpretation: Use movable spaces.

- ***Concept 10****- Standard 2.2.2: Segmentation of tool.*
  Interpretation: Divide the Distribution Hub, Divide Building T.

IV.2.4. Étape 4 : Choix des directions de développement des concepts

Dans cette étape, les concepts de solution sont évalués, comparés, fusionnés et modifiés par des experts participant au projet. IDM-TRIZ collecte les évaluations faites par ces derniers et construit un tableau selon la méthode Pugh afin de choisir le concept le plus efficace pour développer la solution détaillée.

Nous n'avons pas effectué cette étape, car cette expérimentation avait pour objectif d'examiner la capacité de la TRIZ à générer des concepts permettant de résoudre des contradictions architecturales. Nous n'avons pas eu l'intention de concevoir une solution architecturale détaillée, mais nous nous sommes intéressés à l'évaluation de la pertinence et de l'intérêt des concepts trouvés.

Ch. IV.3. La conclusion du Chapitre IV

L'application de la notion de Graphe PB-SP au programme architectural du projet de l'INSA nous permet de dire qu'il est possible d'utiliser les informations fournies par un programme architectural procédural type pour construire un Graphe PB-SP. Les objectifs et contraintes du programme peuvent être interprétés comme PB et les propositions comme SP. De plus, une comparaison entre la version 1, illustrant 22 PBs, et la version 4, illustrant 74 PBs, montre que le Graphe PB-SP favorise l'énoncé de problèmes du projet. Cela est dû à la structure du Graphe qui facilite le questionnement des origines de problèmes.

Cependant, le programme architectural type utilise des représentations graphiques, comme l'organigramme, le diagramme, le plan etc. Il est difficile de représenter verbalement ces informations en termes de PB et SP. La capacité du Graphe PB-SP est donc limitée pour représenter les informations concernant les aspects spatiaux.

Les objectifs, les contraintes et les propositions du programme architectural du projet Extension-Rénovation de l'INSA de Strasbourg modélisés sous forme du Graphe PB-SP est le premier résultat principal de notre expérimentation. La structure latente du graphe basée sur les rapports dialectiques entre les problèmes et les solution partielles permet d'extraire directement les contradictions du projet. Comme nous l'avons définie dans le Chapitre I, la contribution scientifique de cette thèse est d'examiner les apports éventuels de la notion de contradiction au sens de la TRIZ comme modèle d'interprétation et de représentation des éléments fondamentaux de la conception en architecture, à savoir les objectifs, les contraintes et les solutions. Cette contribution participe, à ce titre, aux recherches sur la programmation architecturale, à savoir identifier et définir ces éléments principaux. Mais le programme architectural a également pour mission d'identifier les défis les plus importants du projet et de les énoncer clairement. Avec la construction du Graphe PB-SP nous pouvons évaluer les incidences de la notion de contradiction sur le programme architectural. Nous présenterons cette évaluation dans V.2.1.

L'intérêt principal de la modélisation des problèmes sous forme de contradictions est qu'elle permet d'exploiter l'ensemble des techniques et des outils de la théorie de la TRIZ afin de

trouver les concepts (modèles) de solution permettant de résoudre les contradictions. Nous avons défini la contradiction liée au problème clé du projet et puis nous avons trouvé dix concepts de solution. L'ensemble de ces derniers constitue le deuxième résultat principal de notre expérimentation concernant l'application d'IDM-TRIZ au programme architectural du projet Extension-Rénovation de l'INSA de Strasbourg. La section V.2.2. présente l'évaluation qu'un groupe d'architectes a portée sur la pertinence et l'intérêt de ces concepts.

Chapitre V L'évaluation

Rappelons l'objectif principal de cette thèse : étudier les apports éventuels de la notion de contradiction au sens de la TRIZ à la fois comme stratégie guidant la recherche et la structuration des informations *et* comme modèle d'interprétation et de représentation des éléments fondamentaux de la conception, à savoir les objectifs, les contraintes et les solutions. (voir Chapitre I) Pour ce faire, nous avons appliqué la méthode IDM-TRIZ (voir Chapitre II) au programme architectural du projet de Rénovation – Extension de l'INSA de Strasbourg et produit deux résultats principaux : A) les objectifs, contraintes et propositions de ce projet modélisés sous forme de contradiction au travers du Graphe PB-SP, et B) un ensemble de dix concepts pour résoudre la contradiction clé du projet. (voir Chapitre IV).

En ce qui concerne l'exactitude et la précision de notre application de cette méthode, elle a été présentée dans le cadre d'une thèse professionnelle intitulée : « *Applicability of TRIZ theoretical foundation in architectural design – A Study on Remodeling Architectural Program* » pour obtenir le grade de Mastère Spécialisé en Conception Inventive[1] de l'INSA de Strasbourg. Cette thèse a été soutenue le 24 Septembre 2013 devant un jury composé de sept experts de la théorie TRIZ qui ont validé l'exactitude et la précision de l'application.

Pour évaluer les résultats produits par cette application, ils ont été présentés à un groupe composé de 13 architectes. Ce chapitre est consacré à la présentation de l'évaluation faite par ces derniers. Il est structuré en deux sections. La première section, « Le protocole d'évaluation », présente la méthode utilisée et les supports de l'évaluation, les participants et le déroulement des séances de l'évaluation. De même, nous décrivons les limites de

[1] *Advanced Master of Innovative Design*

l'évaluation et ajoutons nos observations. La deuxième section, intitulée « Analyse des résultats », présente l'évaluation faite par les 13 architectes de deux résultats de l'application d'IDM-TRIZ au projet de l'INSA de Strasbourg. L'analyse de chaque résultat se termine par une conclusion qui présente une synthèse des réponses, des commentaires et des observations.

Ch. V.1. Le protocole d'évaluation

V.1.1. Les supports de l'évaluation

Les supports de cette évaluation sont de deux ordres :

- Deux résultats produits mentionnés plus haut ;
- Deux questionnaires élaborés pour évaluer ces deux résultats.

Nous avions également préparé un cas d'école pour initier le groupe d'architectes à l'outil de Graphe. (voir Annexe X) Il s'agit du projet de rénovation d'une maison individuelle pour lequel nous avons modélisé certains objectifs, contraintes et solutions sous forme du graphe en utilisant le logiciel FreeMind. Les répondants pouvaient modifier le graphe en ajoutant ou supprimant des composants et des liens.

L'évaluation de cette expérimentation a été donc effectuée à travers deux questionnaires. Le Questionnaire A (voir Annexe XI) a pour objectif d'évaluer le Graphe PB-SP et le Questionnaire B (voir Annexe XII) est destiné à évaluer les concepts de solution obtenus par la TRIZ pour la contradiction clé du projet de l'INSA.

V.1.2. Les évaluateurs

Afin d'évaluer les résultats de notre expérimentation, les supports de l'évaluation ont étés mis à disposition d'un groupe de discussion (*focus group*) composé de 13 évaluateurs. (voir Annexe XIII). Comme la Fig. V-1 le montre, tous les participants sont architectes et connaissent l'INSA de Strasbourg. 69% des répondants sont maîtres d'œuvre, 15% pratiquent la programmation architecturale et 23% ont l'expérience dans la maîtrise d'ouvrage.

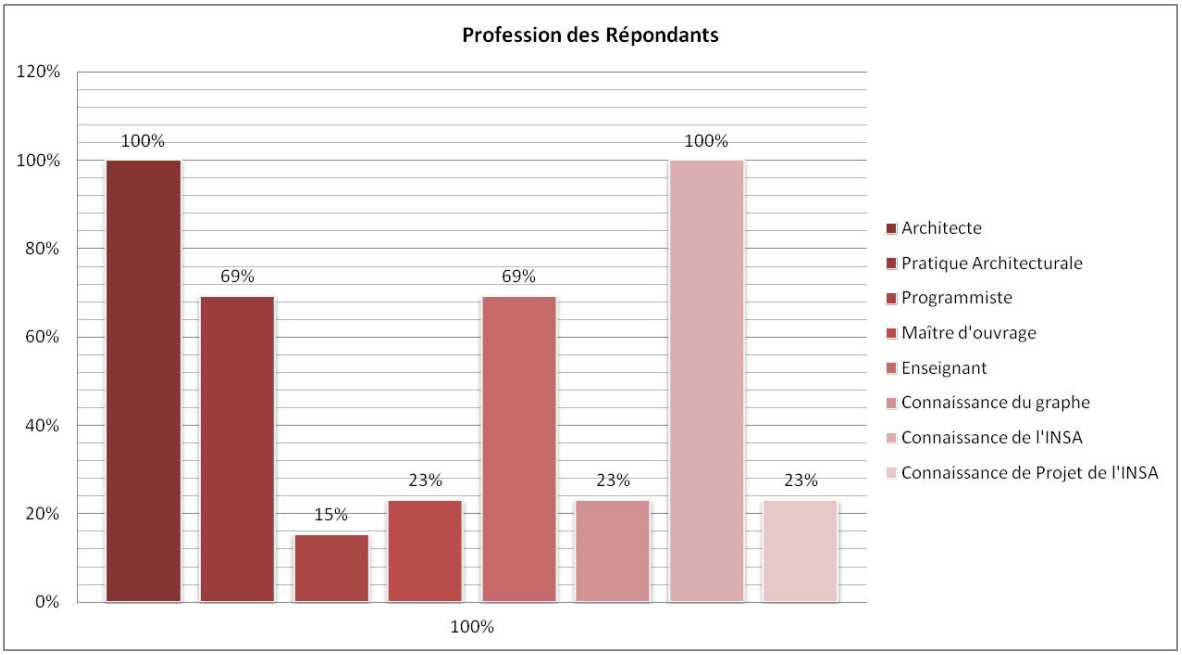


Fig. V-1. La disparité de profession des répondants

La Fig. V-2 représente la répartition des répondants par tranche d'âge. Comme indiqué, 85% des répondants ont plus de 35 ans. Ainsi, comme la Fig. V-3 le montre, 85% ont plus de dix ans d'expérience professionnelle.

Le rapport de genre dans les répondants est de 2 hommes pour une femme, comme indiqué Fig. V-4. Ce qui correspond à peu près au profil de la population de professionnels exerçant la programmation architecturale. (*cf.* Allegret et al., 2005) Parmi les répondants, seulement quatre personnes étaient au courant du Projet Extension-Rénovation de l'INSA de Strasbourg.

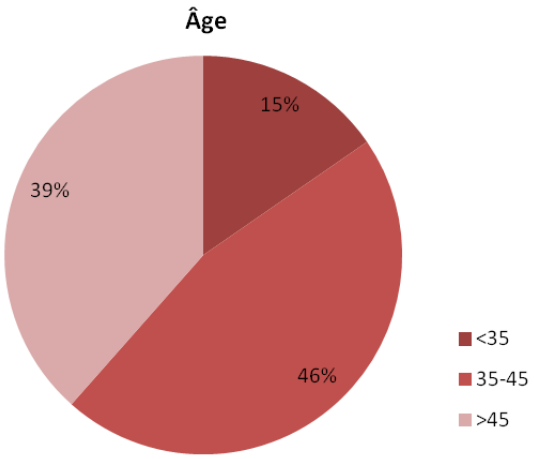


Fig. V-2. La répartition des répondants par tranche d'âge

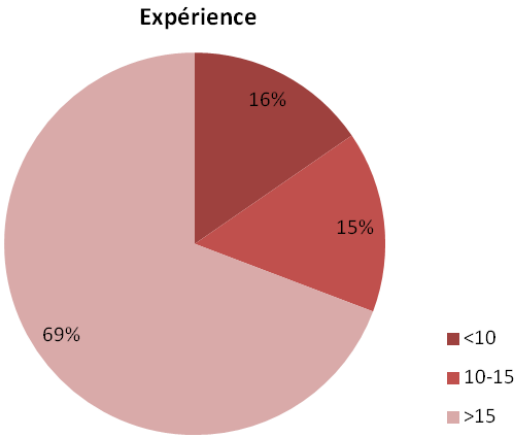


Fig. V-3. L'expérience des répondants

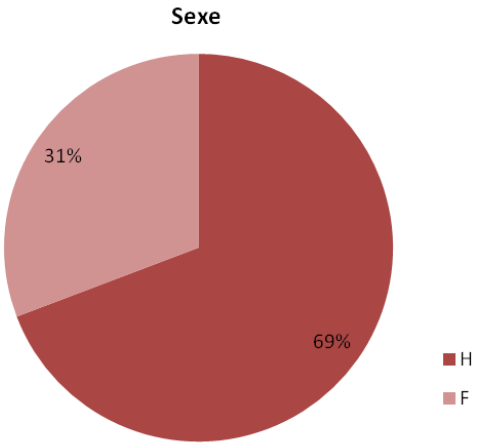


Fig. V-4. Le sex-ratio des répondants

Tous les treize ont évalué le Graphe PB-SP, mais seulement huit ont répondu aux questions concernant les concepts de solution (Questionnaire B). Quatre répondants ne nous ont pas accordé de temps pour le Questionnaire B, et un répondant a refusé d'y répondre en raisonnant que la pertinence et l'intérêt d'un concept architectural ne peuvent être évalués qu'après un développement plus détaillé. Car, selon lui, la présentation verbale et diagrammatique d'un concept architectural ne permet pas de vérifier s'il peut répondre au problème posé. Ainsi, l'évaluation des concepts de solution s'est effectuée à partir des huit questionnaires remplis.

V.1.3. La méthode

Du fait que l'évaluation porte sur des données qualitatives, nous avons opté pour la méthode d'entretien semi-directif. (Blanchet & Gotman, 2005) Les questions prédéterminées des questionnaires A et B nous ont aidé à conduire les répondants vers les sujets interrogés, à savoir les résultats de notre expérimentation. Mais, les répondants étaient libres d'aborder un nouveau champ de discussion.

Pour éviter tout préjugé, ni le Graphe PB-SP, ni les concepts de solution n'étaient présentés comme résultats de l'application d'IDM-TRIZ et à aucun moment des discussions nous n'avons abordé cette théorie.

V.1.4. Le déroulement

L'évaluation s'est effectuée au Département Architecture de l'INSA de Strasbourg. Les entretiens ont été organisés en fonction des disponibilités des participants. Par conséquent, quatre séances d'entretien ont eu lieu entre juin et juillet 2014. La première séance s'est déroulée avec sept participants, la deuxième, la troisième et la quatrième séance ont réuni respectivement trois, deux et un participant(s).

Le déroulement des séances des entretiens semi-directifs a comporté six étapes :

1. *L'introduction* : dans cette étape, nous avons expliqué l'objectif, la démarche prévue et les supports de l'évaluation en soulignant qu'il s'agit d'évaluer un nouveau mode de représentation des problèmes architecturaux.
2. *La présentation de l'outil de graphe :* Dans cette étape, nous avons d'abord présenté le cas d'école et modifié son graphe avec les participants. Ensuite le Graphe PB-SP a été présenté. Nous avons répondu également aux questions posées par les participants.
3. *L'évaluation du Graphe PB-SP :* Dans cette étape nous avons distribué les supports du Questionnaire A à partir desquels les participants ont évalué le Graphe PB-SP. À la fin de cette étape, nous avons collecté ces supports.
4. *La présentation des concepts de solution :* Dans cette étape, nous avons présenté la situation existante du site de l'INSA, la contradiction clé du projet et l'ensemble des concepts de solution conçus pour répondre à cette contradiction. Nous avons répondu également aux questions posées par les participants.

5. *L'évaluation des concepts de solution :* Dans cette étape, nous avons distribué les supports du Questionnaire B à partir desquels les participants ont évalué les concepts de solution. À la fin de cette étape, nous avons collecté ces supports.
6. *La discussion libre :* Dans cette étape, nous avons demandé l'avis et les commentaires sur les sujets sur lesquels ont porté les questionnaires. Les participants étaient libres d'ouvrir de nouveaux champs de réflexion.

V.1.5. L'observation

Dans le planning préparé pour le déroulement des entretiens, nous avions prévu que l'entretien dure au total 180 minutes, dont l'étape 1 : 10 minutes, l'étape 2 : 30 minutes, l'étape 3 : 60 minutes, l'étape 4 : 20 minutes, l'étape 5 : 40 minutes et l'étape 6 : 20 minutes. Mais, en réalité ce planning n'a pas été respecté et chaque séance s'est déroulée en fonction des connaissances des participants et des sujets qu'ils ont évoqués.

Nous avons demandé aux participants de ne pas communiquer entre eux pendant les étapes 3 et 5. Mais très souvent, cette demande n'a pas été respectée. Ils donnaient des exemples architecturaux, se rappelaient d'un projet etc.

Les participants ont souvent utilisé des moyens graphiques comme des dessins et des schémas pour s'exprimer. La Fig. V-5 représente le schéma fait par un des répondants.

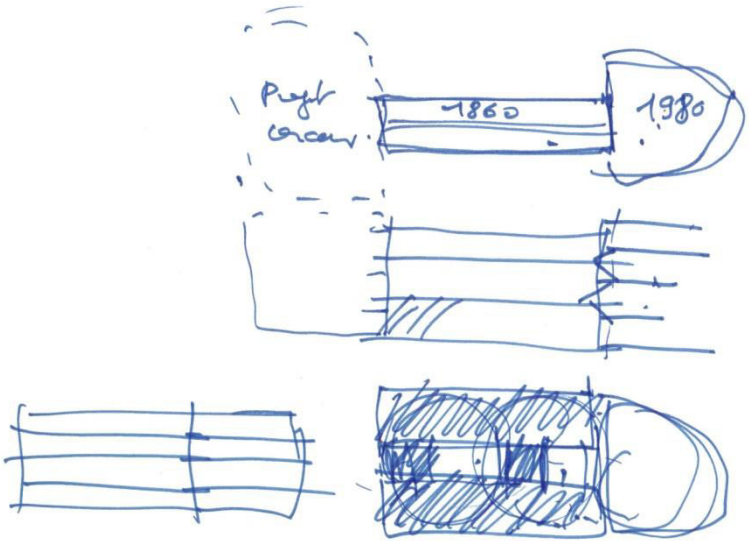


Fig. V-5. Le dessin fait par un des répondants.

V.1.6. Les limites

Il est important d'avoir conscience des limites de cette expérimentation lors de l'interprétation des résultats. À cause de la difficulté à mobiliser des architectes et des programmistes, le nombre des évaluateurs est restreint (13 répondants). De ce fait, les résultats ne sont pas statistiquement significatifs. Cependant, les profils des évaluateurs et leurs expériences accroissent la crédibilité des réponses récoltées.

Il s'agit d'une expérimentation qualitative. Elle est donc basée sur le jugement et l'interprétation personnelle qui varient d'un évaluateur à l'autre. De plus, il est vrai que le Graphe PB-SP est basé sur les informations fournies par le préprogramme et le programme du projet de l'INSA, cependant elles sont étés interprétées par nous pour définir les éléments constructifs du graphe et leurs relations. De même, les concepts de solution sont développés d'après la théorie de la TRIZ, mais l'adaptation des concepts au projet de l'INSA pour proposer des concepts architecturaux et les schémas graphiques qui les présentent sont faits par nous. Autrement dit, les concepts de solution peuvent être interprétés autrement et produire d'autres concepts architecturaux

Pour cinq critères d'évaluation (voir V.2.1), nous avons demandé aux participants d'évaluer simultanément le Graphe PB-SP et le modèle habituel utilisé en programmation architecturale. Il est vrai que les programmistes déclarent n'avoir appliqué aucune méthode précise ou standard pour élaborer les programmes architecturaux (voir I.1.2.2) , cependant, ces derniers correspondent aux modèles procéduraux habituels (voir Ch. I.2) ; même si leurs qualités peuvent varier. L'évaluation de chaque répondant est donc basée sur sa propre expérience professionnelle.

Ch. V.2. L'analyse des questionnaires

Pour exploiter des réponses, nous avons analysé les questionnaires de la façon suivante. Les résultats du dépouillement sont rentrés dans les tableaux Excel et ensuite présentés par des modèles graphiques comme des barres, secteurs et *Quality Quotient*.

V.2.1. Le Questionnaire A - L'évaluation du premier résultat : le programme modélisé sous forme de contradiction à travers le Graphe PB-SP

Pour notre recherche, il était nécessaire que les participants répondent à deux questions principales : Est-il possible de représenter les objectifs, les contraintes et les solutions exprimés par le programme architectural sous forme de contradiction ? Quelles sont les conséquences de cette représentation sur le programme architectural ? Pour répondre à ces deux questions, nous avons modélisé le programme architectural du projet de Rénovation – Extension de l'INSA de Strasbourg sous forme du Graphe Problèmes- Solution d'IDM-TRIZ (voir Chapitre IV).

Dans la « Première partie :Étude bibliographique », nous avons identifié les enjeux les plus importants de la programmation architecturale (voir I.1.2.5). De même, nous avons utilisé ces enjeux pour définir sept critères (voir I.1.3) qui permettent d'évaluer un modèle du programme en termes de ses principaux enjeux. Rappelons ces critères :

1. Énoncé des conflits et des contradictions ;
2. Clarté des énoncés des besoins et des contraintes ;
3. Synthèse des problèmes et exhaustivité de l'espace de problèmes ;
4. Traçabilité des problèmes et des solutions, et évaluation des propositions et des solutions ;
5. Évaluation de l'impact des propositions sur l'ensemble des attentes du projet (l'intégralité) ;
6. Support du processus de prise de décision ;
7. Moyen de communication et d'établissement du dialogue.

Ces critères constituent les thèmes du Questionnaire A. Ce questionnaire permet, dans un premier temps, d'évaluer la possibilité de présenter les objectifs et contraintes

architecturaux sous forme de contradiction et la capacité du modèle de Graphe à énoncer les conflits et les contradictions du projet (Critère n° 1). Dans un deuxième temps, il permet d'évaluer l'impact de ce modèle sur d'autres enjeux de la programmation architecturale (Critères n° 2, 3, 4, 5, 6 et 7). Le questionnaire A comprend huit questions. Les deux premières questions correspondent au Critère n° 1 ; et les six autres questions correspondent respectivement aux Critères n° 2, 3, 4, 5, 6, 7. Chaque question propose une échelle de valeurs pour déterminer l'ampleur de chaque critère et pour assurer la comparabilité des résultats. De plus, pour que l'évaluation soit plus objective sur les Critères n° 2, 3, 4, 5 et 6, nous avons demandé aux répondants d'évaluer simultanément le Graphe et le modèle procédural habituel du programme (dite programme type).

Dans ce qui suit, nous présentons les questions et ensuite, séparément, le résultat de l'évaluation pour chaque question. Pour ce faire, la question et le critère auquel elle correspond sont décrits et la synthèse des réponses est présentée (pour le tableau du dépouillement du questionnaire A, voir Annexe XIV). De même, nous avons retranscrit et résumé les commentaires des participants. Il y a des commentaires contradictoires : ils reflètent les manières dont les participants (architectes) appréhendent le Graphe PB-SP.

V.2.1.1. Le problème architectural comme contradiction – Exprimer des conflits et des contradictions :

Les deux premières questions concernent l'objet principal de cette thèse, à savoir examiner l'applicabilité d'un des trois postulats[1] des théories de la TRIZ, celui de la notion de contradiction, à la phase amont du processus de conception architecturale, celle de la programmation.

Ces deux questions visent donc : *(a)* la capacité du modèle particulier de la contradiction de la TRIZ à énoncer des objectifs, des contraintes et des propositions présentés par le programme architectural ; *(b)* la capacité du programme modélisé sous forme du Graphe PB-SP à présenter les conflits et les contradictions entre les objectifs, intérêts et cognitions des parties prenantes du projet architectural. Alors que l'expression des conflits et des contradictions est considérée comme un des enjeux principaux de la programmation architecturale (Critère n° 1), les démarches courantes ne proposent aucun modèle pour y

[1] Deux autres postulats de TRIZ sont : l'évolution systémique des systèmes technique (les lois de l'évolution), et la situation spécifique

arriver. Le manque de moyens de représentation explicite des contradictions a pour effet que le programmiste et l'architecte s'appuient sur les compromis, les essais et erreurs, et le tâtonnement pour concevoir des solutions. Mais de telles démarches traditionnelles ne garantissent pas une solution inventive, alors que cette dernière est un des éléments de la compréhension du programme architectural à la fois par la maîtrise d'ouvrage et par la maîtrise d'œuvre. (voir I.1.2.4) En revanche, le postulat de contradiction de la théorie de la TRIZ tient que toute invention est le résultat de la résolution d'une ou de plusieurs contradictions. Autrement dit, le problème inventif est une contraction et la solution inventive est une réponse à un problème représenté sous forme de contradiction. Cela veut dire que si le problème architectural peut être représenté comme contradiction, la solution obtenue par la résolution de cette dernière a un caractère novateur.

Pour évaluer le programme modélisé sous forme de contradictions par le biais du Graphe PB-SP, nous avons proposé les deux questions suivantes. La première porte sur l'énoncé des objectifs, des contraintes et des propositions concernant la forme (y compris l'agencement spatial) et la fonction (y compris les exigences techniques) ; et la deuxième question porte sur l'énoncé des objectifs, des contraintes et des propositions concernant le temps (le délai, le phasage etc.) et le budget (l'enveloppe financière etc.). Cette distinction repose sur les considérations données par l'Ordre des architectes pour un programme architectural (voir I.1.1.2) et sur la typologie proposée par Peña (voir I.2.3). Voici les deux questions :

- À votre avis, le graphe peut-il exprimer des objectifs et des contraintes concernant les aspects formel et fonctionnel du projet ?
- À votre avis, le graphe peut-il exprimer des objectifs et des contraintes concernant les aspects budgétaire et temporel du projet ?

Les répondants pourraient choisir entre : Oui, Parfois, Non.

Résultat

Comme le montrent la Fig. V-6 et la Fig. V-7, les répondants considèrent dans une très grande majorité que le graphe peut exprimer des objectifs et contraintes relatifs aux aspects formel et fonctionnel du projet (92%) et aux aspects budgétaire et temporel (85%).

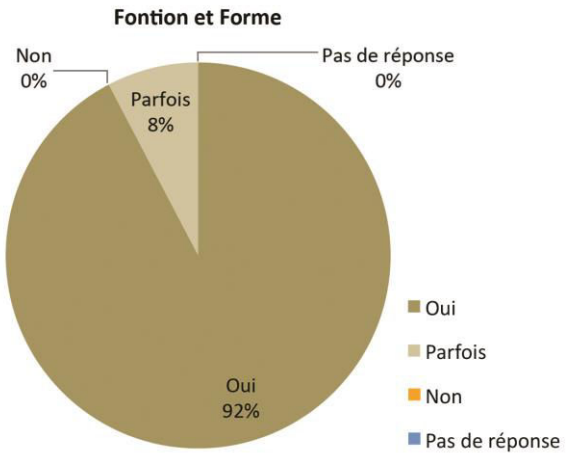


Fig. V-6. L'évaluation de la présentation des objectifs, des contraintes et des solutions concernant la forme et la fonction.

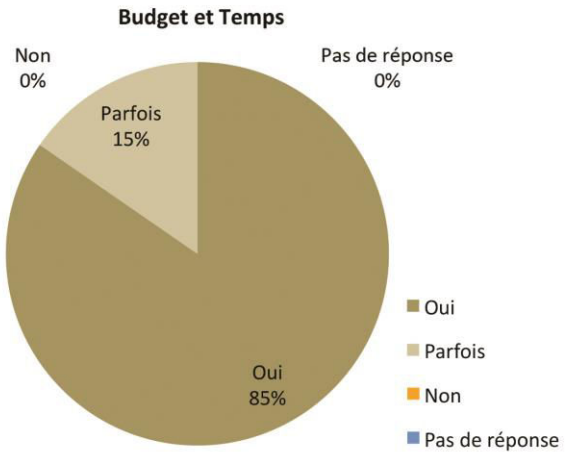


Fig. V-7. L'évaluation de la présentation des objectifs, des contraintes et des solutions concernant le budget et le temps.

Interprétation

Les réponses majoritairement positives à ces deux questions signifient que le modèle particulier de la contradiction développé par la TRIZ

- peut être utilisé pour représenter les objectifs et les contraintes du projet, du fait que le Graphe PB-SP est basé sur ce modèle.
- permet d'exprimer des conflits et des contradictions du projet, du fait que le Graphe PB-SP représente des rapports concordances et des rapports conflictuels entre les objectifs et les contraintes.

Ces réponses soutiennent l'intérêt porté à la théorie de la TRIZ. En effet, s'il est possible de représenter des problèmes architecturaux sous forme de contradiction, nous pouvons espérer que l'ensemble des techniques et des outils de cette théorie pourrait être exploitable pour résoudre des contradictions architecturales.

Commentaires :

En résumé, les commentaires des répondants expriment les avantages et les inconvénients suivants :

Avantages :

- Marquer les liens entre les différents contraintes et objectifs ;
- Intégrer les contraintes dans les solutions ;
- Hiérarchiser les contraintes ;
- Déplier les champs des contraintes ; mettre à plat les contraintes ;
- Inventorier et hiérarchiser des critères d'évaluation des concepts architecturaux en fonction des contraintes ;
- Visualiser en simultané les contraintes ;
- Moyen du dialogue entre différents métiers participant à la conception.

Inconvénients :

- Rupture avec les moyens habituels de présentation architecturale ;
- Réduction des objectifs concernant la forme ;
- Difficultés pour exprimer des contraintes concernant le temps ;
- Insuffisances pour l'adaptation aux évolutions des contraintes au cours de la réalisation du projet, notamment celles concernant le budget et le temps ;
- Complexité du graphe s'il contient tous les objectifs et contraintes[1] ;

[1] Pour assurer l'exhaustivité de l'espace de problèmes, nous avons développé une interface accessible sur internet qui interroge sur toute interaction possible entre des éléments du Graphe PB-SP. Mais, cette interface, nommée « *Architectural Program: Parameters, Values, Relationships* » ne facilite pas le travail ; car

- Risque de faire abstraction du « génie » architecturale.

Autres :

- Une vérification *a posteriori* est indispensable pour s'assurer de l'exhaustivité dans les contraintes ;
- Création des catégories de ratio de budget au m² pour faciliter de saisir des contraintes concernant les coûts et frais.

V.2.1.2. La clarté de l'énoncé des problèmes

Si évaluer la possibilité de représenter les problèmes architecturaux sous forme de contradiction (les deux questions précédentes) constitue le cœur de notre étude empirique, nous nous intéressons également à des incidences d'une telle présentation sur d'autres qualités du programme architectural.

La programmation architecturale se termine par l'identification et l'énoncé des problèmes principaux du projet. La qualité de clarté de l'énoncé des problèmes est un des critères d'évaluation d'un programme architectural (Critère n° 2). La question suivante avait pour objectif d'évaluer le programme modélisé sous forme du Graphe PB-SP en fonction de cette qualité. De même, pour que l'évaluation soit plus objective, nous avons demandé aux participants d'imaginer le programme architectural procédural qu'ils reçoivent ou produisent habituellement (désigné ici comme le modèle type) et d'évaluer simultanément les deux modèles. Voici la question :

- Un programme architectural doit présenter clairement des problèmes du projet. Comment évaluez-vous la clarté de la présentation des problèmes à travers le programme type ? Comment évaluez-vous la clarté de la présentation des problèmes à travers le graphe?

Les répondants avaient comme réponse les choix suivants. Ambigu (valeur 1), Plutôt ambigu (valeur 2), Plutôt claire (valeur 3), Claire (valeur 4).

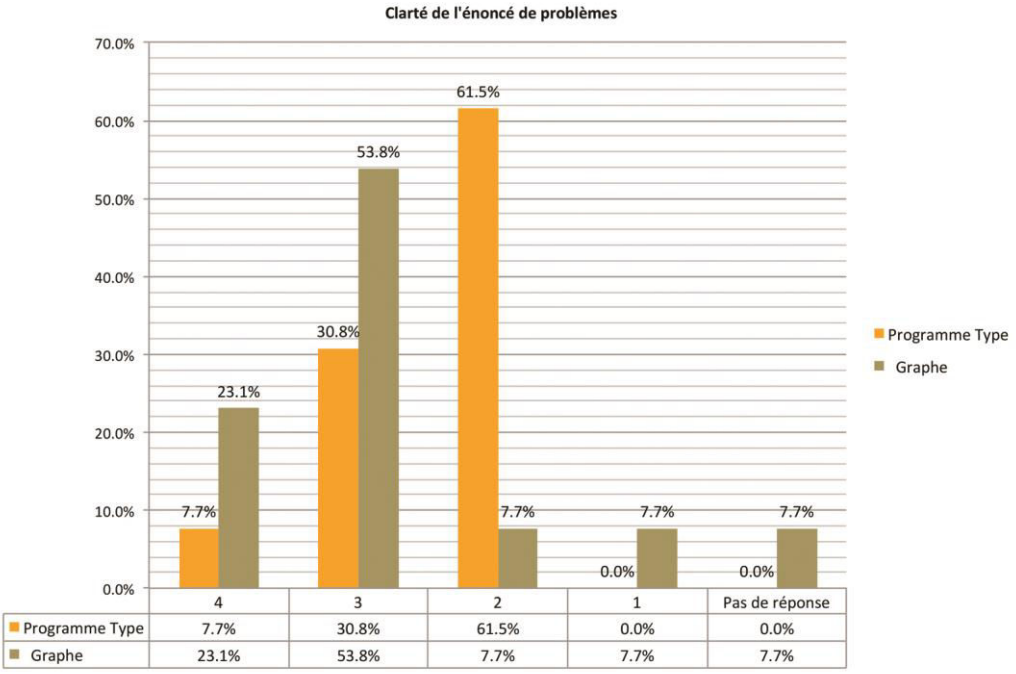
Résultat

Comme indiqué la Fig. V-8, le Graphe PB-SP est considéré comme le moyen d'énoncer clairement les problèmes par les répondants (76,9% considèrent le graphe comme clair ou

---

par exemple pour un Graphe qui contient 50 PBs et 50 SPs, il pose 2500 questions. Elle est retrouvable sur http://arash.dcasner.net (voir aussi Annexe XV)

plutôt clair), tandis que le programme habituel est plutôt ambigu (seulement 38,5% le considèrent comme clair ou plutôt clair).



	4	3	2	1	Pas de réponse
Programme Type	7.7%	30.8%	61.5%	0.0%	0.0%
Graphe	23.1%	53.8%	7.7%	7.7%	7.7%

Fig. V-8. L'évaluation de la clarté de l'énoncé des problèmes

Commentaires

Avantage :

- La linéarité des causes et des conséquences a un effet positif sur la clarté des énoncés.

Inconvénients :

- Se limite à exprimer une seule notion par une phrase, qui augmente le nombre de ces dernières ;
- Difficulté de saisir des caractéristiques comme la proportion des formes architecturales ;
- La précision des énoncés du graphe est au détriment de la nuance des significations qui rendent possibles les interprétations créatives.

V.2.1.3. L'exhaustivité de l'espace de problèmes

Le projet architecturel est complexe. Une des tâches principales de la programmation architecturale consiste à contribuer à la compréhension de cette complexité en présentant

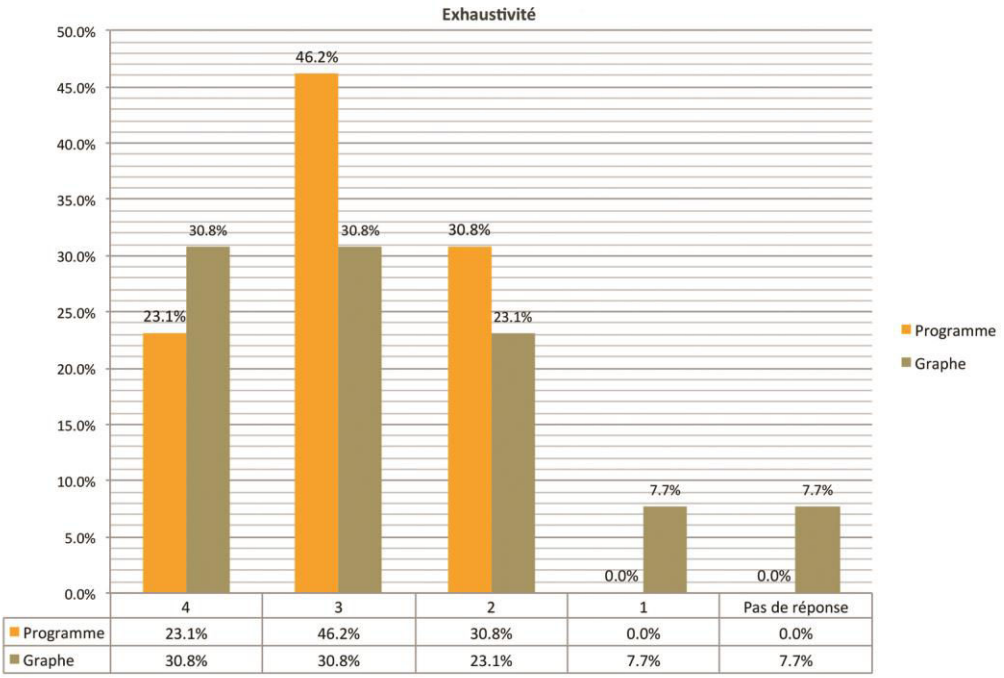
une synthèse des problèmes. La capacité à faire une synthèse exhaustive et structurée est un des critères d'évaluation d'un programme architectural (Critère n° 3). La question suivante avait pour objectif d'évaluer le programme modélisé sous forme du Graphe PB-SP en fonction de ce critère. Pour cette question aussi les répondants ont été invités à évaluer simultanément le graphe et leur modèle type du programme architectural. Voici la question :

- Un programme architectural présente un ensemble de problèmes du projet. Le concepteur utilise le programme comme moyen d'une représentation synthétique des objectifs, des besoins et des contraintes. Comment évaluez-vous l'efficacité du programme type pour cette représentation synthétique ? Comment évaluez-vous l'efficacité du graphe pour cette représentation synthétique ?

Les répondants pouvaient attribuer à chaque modèle une valeur entre 1 et 4 (la valeur 4 signifie l'efficacité la plus élevée).

Résultat

Comme indiqué la Fig. V-9, les répondants considèrent le programme type comme légèrement plus efficace (69,3%) que le Graphe PB-SP (61,6%) comme moyen de représentation synthétique des objectifs, des besoins et des contraintes.



	4	3	2	1	Pas de réponse
Programme	23.1%	46.2%	30.8%	0.0%	0.0%
Graphe	30.8%	30.8%	23.1%	7.7%	7.7%

Fig. V-9. L'évaluation de l'exhaustivité de l'espace de problèmes

Interprétation

Le résultat signifie que, selon les répondants, il y a des objectifs, des besoins et des contraintes qui ne sont pas représentables par le Graphe PB-SP. Ce dernier ne présente donc pas l'espace des problèmes de manière exhaustive et donc ne peut remplacer le programme habituel.

Commentaire

Avantages :

- Étaler la complexité du projet ;
- La facilité de la synthèse ;
- La possibilité de mettre en relations des contraintes concernant les aspects différents du projet ;
- Un bon moyen de représentation pour compléter le programme type ;
- Faire apparaître une hiérarchie des besoins.

Inconvénients :

- La difficulté de saisir des contraintes concernant le budget et le temps ;
- L'absence de regroupement des thématiques crée un ensemble comprenant des éléments hétérogènes.

V.2.1.4. La traçabilité des problèmes et des solutions

La capacité de retracer les causes des objectifs, des besoins et des contraintes et des propositions dans un programme architectural constitue un autre critère d'évaluation (Critère n° 4). La question suivante avait pour objectif d'évaluer le programme modélisé sous la forme du Graphe PB-SP en fonction de cette capacité.

- Un programme architectural identifie des problèmes du projet. Le concepteur peut utiliser le programme comme aide-mémoire. Comment évaluez-vous la capacité d'un programme type à permettre de retrouver les causes d'un problème ? Comment évaluez-vous la capacité du graphe à permettre de retrouver les causes d'un problème ?

Les répondants pouvaient attribuer à chaque modèle une valeur entre 1 et 4 (la valeur 4 signifie la capacité la plus élevée).

Résultat

Comme le montre la Fig. V-10, les répondants considèrent que le Graphe PB-SP est plus efficace en termes de traçabilité (avec 84.6% de votes attribuant les valeurs 4 ou 3) par rapport au modèle type (avec 15.4 6% de votes attribuant les valeurs 4 ou 3).

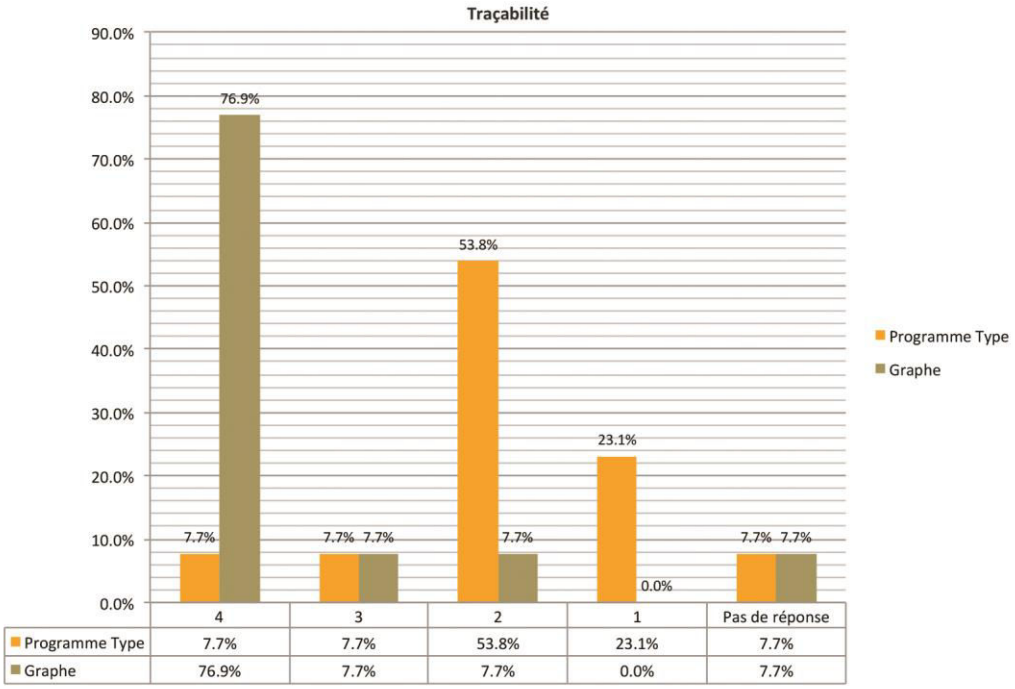


Fig. V-10. L'évaluation de la traçabilité des problèmes et des solutions

Interprétation

Ce résultat montre que, selon les répondants, le Graphe PB-SP peut être utilisé comme un aide-mémoire efficace dans lequel il est plus facile de retracer les problèmes et les solutions proposées.

Commentaire

Avantages :

- Proposer un inventaire des situations problématiques alternatives ;
- Faire apparaître les causes et les origines des besoins et des contraintes.

Inconvénient :

- Plutôt un outil de recherche qu'un référentiel.

V.2.1.5. L'intégralité de l'espace de problème

Le programme architectural contient souvent des propositions et des concepts de solutions de nature programmatique pour les problèmes du projet. L'évaluation de la pertinence des solutions proposées nécessite de connaître des relations entre les objectifs, les contraintes et leurs influences mutuelles, autrement dit l'impact des solutions proposées sur l'intégralité de l'espace de problèmes du projet. Nous nommons intégralité la capacité du programme à contribuer à l'évaluation de l'impact de chaque problème ou solution proposée sur l'ensemble des attentes du projet. Cette capacité est un des critères d'évaluation d'un programme architectural (Critère n° 5). La question suivante avait pour objectif d'évaluer le programme modélisé sous forme du Graphe Pb-SP en fonction de ce critère. Pour cette question aussi les répondants ont été invités à évaluer simultanément le graphe et le modèle type du programme architectural. Voici la question :

- Dans un projet architectural, les problèmes sont liés. Il est important de connaître l'influence mutuelle entre les problèmes. Comment évaluez-vous la capacité d'un programme type pour visualiser les liens entre les problèmes ? Comment évaluez-vous la capacité du graphe pour visualiser les liens entre les problèmes ?

Les répondants pouvaient attribuer à chaque modèle une valeur entre 1 et 4 (la valeur 4 signifie la capacité la plus élevée).

Résultat

Comme indiqué dans la Fig. V-11, les répondants considèrent le Graphe PB-SP comme très efficace (92.3%) comme moyen de représentation des relations entre les problèmes et les solutions proposées. Alors que 84.6% considèrent que le programme type est inefficace dans cette représentation.

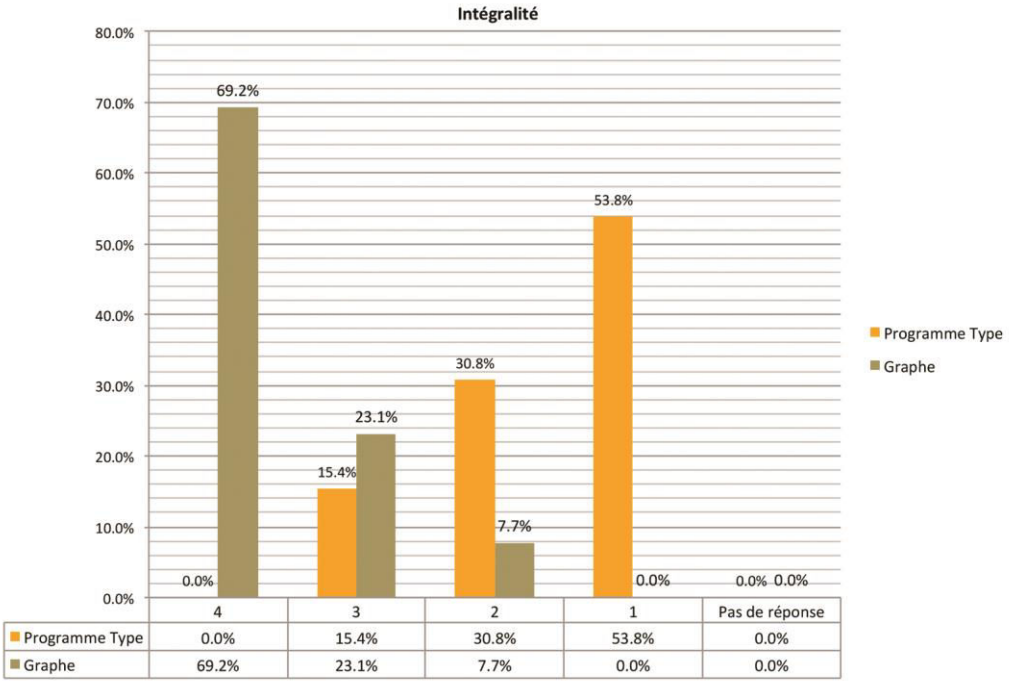


Fig. V-11. L'évaluation de l'intégralité de l'espace de problèmes

Interprétation

Le résultat montre que l'utilisation du Graphe PB-SP a un effet positif sur le critère de la représentation des objectifs et des contraintes du projet architectural dans son intégralité.

Commentaire

Avantage :

- Un diagramme rationnel.

Inconvénient :

- La difficulté de l'identification des causalités entre les problèmes-solutions.

Autre :

- Le Graphe comme toute autre représentation demande une interprétation.

V.2.1.6. Le support du processus de prise de décision

Le programme joue un rôle important dans l'évaluation des concepts architecturaux. La maîtrise d'ouvrage l'utilise pour prendre les décisions concernant les solutions proposées par la maîtrise d'œuvre et cette dernière l'utilise pour argumenter ses propos. Pour les deux parties prenantes, il est un support du processus de prise de décision. La question suivante

avait pour objectif d'évaluer la capacité du Graphe PB-SP à assister ce processus (Critère n° 6). Pour cette question aussi nous avons demandé aux répondants d'évaluer simultanément le Graphe PB-SP et le modèle type du programme architectural.

- En présentant des objectifs, des besoins et des contraintes, le programme est en mesure de contribuer à l'évaluation des concepts architecturaux proposés. Comment évaluez-vous la capacité du programme type à aider à cette évaluation ? Comment évaluez-vous la capacité du graphe à aider à cette évaluation ?

Les répondants pouvaient attribuer à chaque modèle une valeur entre 1 et 4 (la valeur 4 signifie la capacité la plus élevée).

Résultat

Comme indiqué Fig. V-12, les répondants considèrent le Graphe PB-SP en tant que support du processus de prise de décision est un peu plus efficace (77%) que le programme type (61,5%).

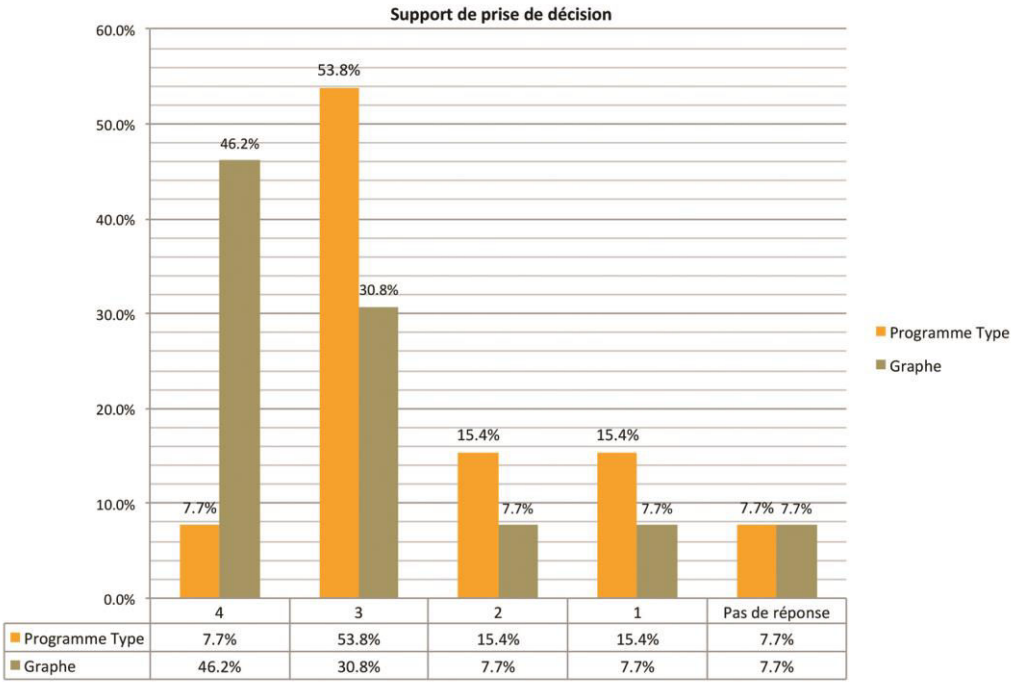


Fig. V-12. L'évaluation de la capacité du Graphe comme support du processus de prise décision.

Interprétation

Le résultat n'indique pas une préférence considérable à l'égard du Graphe PB-SB. Cependant, l'utilisation de ce dernier a un impact positif sur la capacité du programme à jouer le rôle de support dans la prise de décision.

Commentaires

Avantages :

- Possibilité d'évaluer un concept sous différents aspects ;
- Proposer des critères d'évaluation objectifs et factuels ;
- Pertinent pour des décisions multicritères et multi-agents ;
- Un outil du dépliage d'enchaînement des besoins à satisfaire et des contraintes conséquentes.

Inconvénients :

- La difficulté d'évaluer les relations spatiales ;
- Le manque de représentations tridimensionnelles ;
- Trop simpliste ;
- Risque de réduire l'architecture à une organisation rationnelle ;
- Découper l'ensemble.

Autres :

- Dans l'évaluation du projet architectural, le jugement esthétique joue un rôle très important ;
- La qualité architecturale d'un concept ne se limite pas à sa capacité à résoudre un problème ;
- Nécessité du développement d'un moyen permettant d'intégrer le dynamisme du processus de conception.

V.2.1.7. Le moyen de communication et d'établissement du dialogue

Le programme architectural est également un moyen de communication entre les parties prenantes du projet. La capacité d'établir un dialogue entre ces dernières est un des critères d'évaluation d'un programme architectural (Critère n° 7). La question suivante avait pour objectif d'examiner le Graphe PB-SP en termes de cette qualité.

- À votre avis, le graphe peut-il aider les architectes à établir un dialogue avec les autres participants du projet ?

Les répondants avaient des choix suivants comme réponse : Pas du tout, Un peu, Moyen, Parfaitement.

Résultat

Comme la Fig. V-13 le montre, la majorité (94%) des répondants considèrent que le Graphe PB-SP peut contribuer à établir un dialogue entre les parties prenantes du projet.

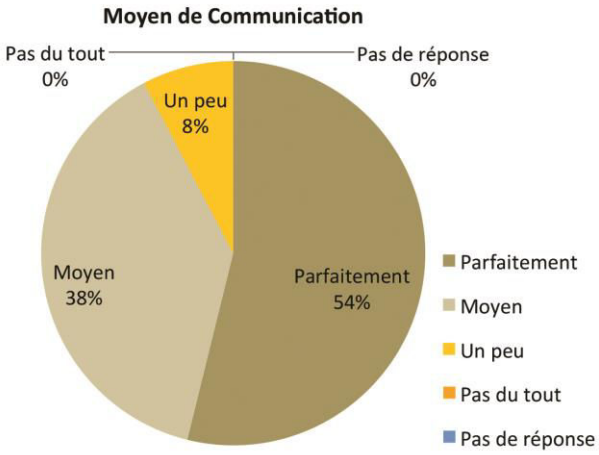


Fig. V-13. L'évaluation de la capacité du Graphe comme moyen de communication

Interprétation

Le résultat indique que le Graphe PB-SP a un impact positif sur la communication entre participants du projet architectural.

Commentaires

Avantages :

- Le graphe facilite l'expression des non-initiés (non architectes) ;
- Bon moyen de communication avec des maîtres d'ouvrage.

Inconvénients :

- Compréhension visuelle compliquée du graphe ;
- Pas nécessaire pour communiquer avec les bureaux d'études et les entreprises ;
- La complexité de l'utilisation et de la manipulation de l'outil.

V.2.1.8. La synthèse de l'évaluation du Graphe PB-SP

Le résultat de cette expérimentation est de deux ordres : l'évaluation par le groupe d'experts de l'apport de la notion de contradiction pour la phase de programmation architecturale, d'une part et, d'autre part, l'ensemble des observations que nous avons pu faire

La validation des apports du Graphe PB-SP nous permet de conclure que le modèle particulier de la théorie de la TRIZ, qui constitue la structure sous-jacente de ce graphe, peut être utilisé pour représenter les objectifs, contraintes et solutions exprimés dans un programme architectural. Ce modèle permet également de formuler et de représenter des contradictions et des conflits du projet qui actuellement, en l'absence d'un modèle précis, sont soit négligés soit exprimés de manière simplement discursive. Le résultat de l'évaluation du Graphe PB-SP montre aussi que ce modèle de contradictions a un impact positif sur d'autres qualités du programme architectural. Comme l'indique la Fig. V-14, l'utilisation du modèle de contradictions, à travers le Graphe PB-SP, améliore la clarté des énoncés des problèmes architecturaux, la traçabilité des problèmes et des solutions proposées, et l'intégralité de l'espace de problèmes. Le Graphe PB-SP est aussi évalué comme un support du processus de prise de décision et un bon moyen de communication.

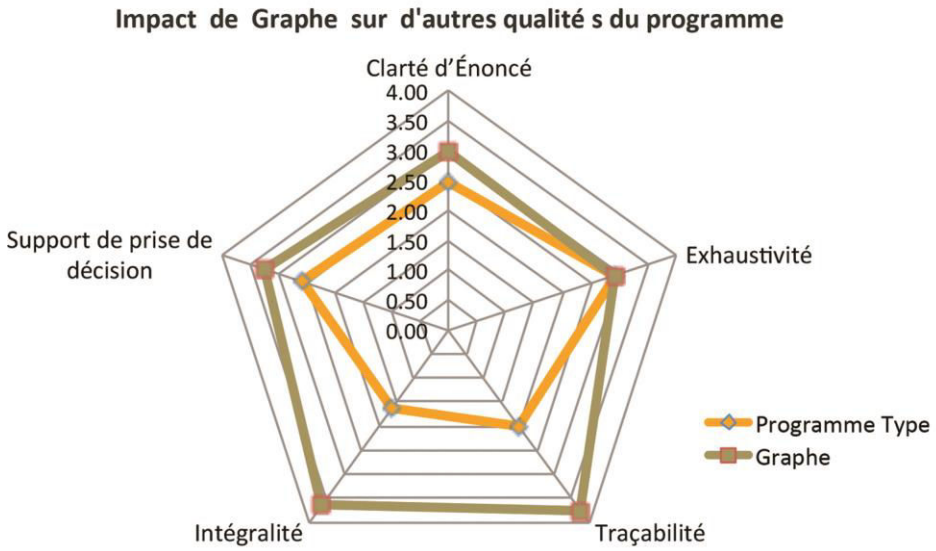


Fig. V-14. L'impact de l'utilisation du Graphe PB-SP sur d'autres qualités du programme architectural

Observation

Lors de cette expérimentation nous avons observé que

- les participants suivent naturellement la logique dialectique ;
- pour les participants, il est logique et totalement compréhensible de mettre en relation un objectif avec ses contraintes. Ils sont considérés comme les éléments constitutifs de la contradiction ;
- les participants comprennent assez aisément la logique du Graphe PB-SP ;
- pour certains des participants, il est possible de séparer les objectifs et les contraintes concernant la forme de ceux qui concernent la fonction. Ils évaluent le Graphe PB-SP comme plus utile pour les aspects fonctionnels que formels. Ce point de vue est différent de notre position selon laquelle la forme et la fonction sont inséparables ;
- la majorité des participants préfèrent de ne pas utiliser le mot « problème » qui, à leur sens, a une connotation négative. Ils utilisent souvent le mot « objectif » pour ce qui doit être satisfait et « contrainte » pour ce qui limite les actions possibles à entreprendre pour satisfaire un objectif. De même, ils considèrent le problème comme un élément construit et que cette construction relève de la responsabilité de l'architecte. Ce phénomène met en évidence une nouvelle fois la continuité de la programmation et de la conception architecturale ;
- les deux principes communs entre la TRIZ et les méthodes habituelles de programmation architecturale, c'est-à-dire la décomposition et l'isolement des problèmes sont contestées par certains des répondants. Ils argumentent que l'architecte cherche une solution qui répondre à plusieurs problèmes ;
- l'idée d'utiliser le Graphe PB-SP comme une aide visuelle et comme cartographie des contraintes a été appréciée par la majorité des répondants ;
- le risque d'imposer un formalisme figé pour des solutions et d'exclure des idées qui ne sont pas représentables par ce formalisme a été évoqué ;
- la nécessité d'un développement du Graphe PB-SP vers un outil destiné spécifiquement aux architectes a été soulignée.

L'intérêt de la modélisation les objectifs, les contraintes et les propositions du programme sous forme de contradiction est qu'elle permet d'exploiter le corpus théorique de la TRIZ pour définir les modèles des problèmes et de trouver les modèles des solutions qui les répondent. Ce qui suit présente l'évaluation des concepts que nous avons définis pour la contradiction clé de notre cas d'application.

V.2.2. Le Questionnaire B - L'évaluation de l'apport des techniques et outils de la TRIZ : les concepts de solution

Ce paragraphe présente l'évaluation du deuxième résultat de notre expérimentation, à savoir dix concepts de solution proposés par la TRIZ pour résoudre la contradiction clé du projet Rénovation-Extension de l'INSA de Strasbourg. (voir Chapitre IV). L'objectif est de vérifier la capacité des techniques et des outils de la TRIZ pour la génération de concepts de solution pour les contradictions architecturales.

Dans ce qui suit, nous analysons les réponses données au Questionnaire B (pour le tableau du dépouillement du questionnaires B, voir Annexe XVI). Dans ce questionnaire, la présentation de chaque concept contient les éléments suivants : la phrase du concept de solution telle que la TRIZ l'a proposée, une interprétation graphique du concept (sauf le concept 2), une interprétation verbale de la phrase de la TRIZ comme concept adapté au cas l'INSA, et une interprétation sous forme de diagramme spatial représentant l'adaptation du concept à la contradiction clé du projet l'INSA, (sauf le Concept 2).

Les participants ont été invités à évaluer la pertinence et l'intérêt des concepts. Par la pertinence nous entendons la capacité du concept à résoudre la contradiction proposée. Cette définition est proche à la notion de « *Relevance »,* étudiée par (Maizzaro, 1998) selon laquelle la pertinence désigne l'adéquation entre la finalité de l'objet et le besoin de l'utilisateur dans un domaine et un environnement donnés. Les participants avaient les choix suivants pour les réponses : Pertinent à développer ; Pertinent, mais produit un autre problème ; Pas pertinent. Par intérêt nous avons aussi cherché à vérifier si l'évaluateur considère le concept comme avantageux, plus particulièrement en raison de son originalité. Les répondants pouvaient qualifier le concept comme Très intéressant, Intéressant, Peu intéressant ; ou Sans intérêt.

Le Questionnaire B présente la contradiction clé du projet de l'INSA et pose la question suivante.

- Comme la Fig. V-15 le montre, le meilleur endroit pour un nouveau hall de distribution (avec l'espace détente, le guichet étudiant, la cafétéria *etc*.) est le bâtiment T, car il se situe au centre du site de l'INSA et donne accès à tous les bâtiments. Mais, nous ne pouvons pas détruire le bâtiment T pour construire le nouveau hall d'entrée, car il vient d'être rénové.

  Comment évaluez-vous les concepts de solution suivants?

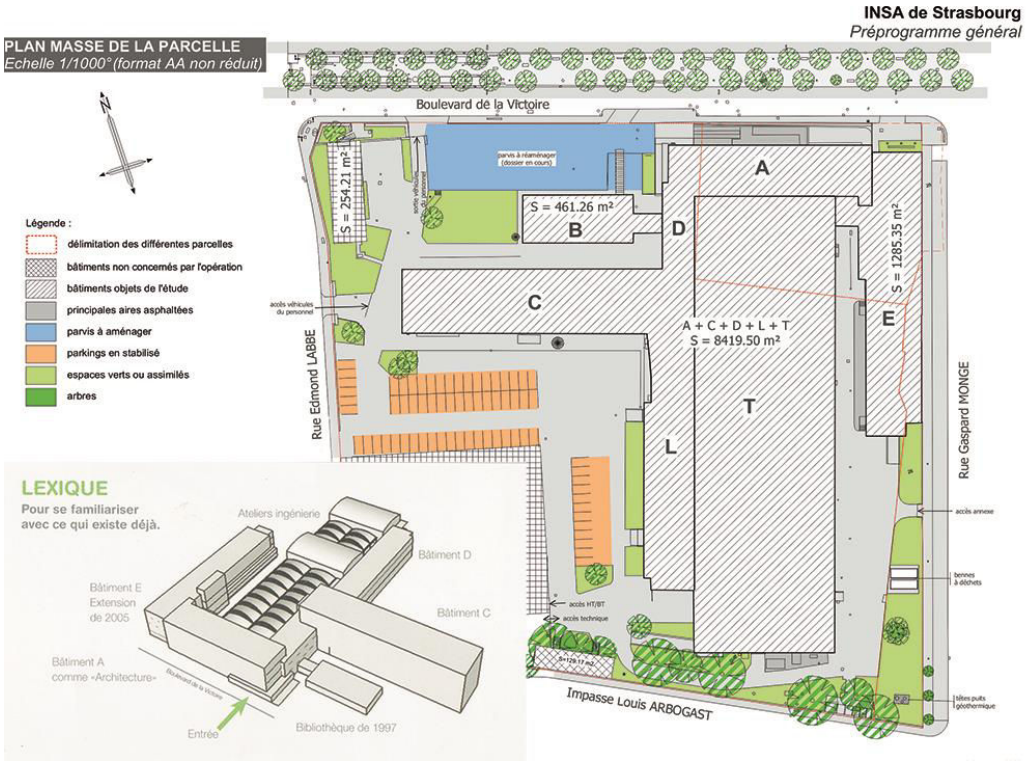
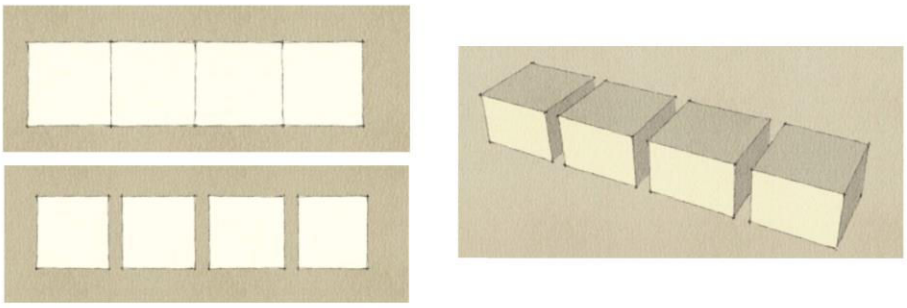


Fig. V-15. La situation existante de l'INSA de Strasbourg

V.2.2.1. Concept 1

Le concept de solution donné par la TRIZ: *Séparer l'objet dans l'espace*

La présentation graphique



L'interprétation possible du concept

Séparer le Hall
Séparer le Hall de l'Entrée

Le diagramme spatial

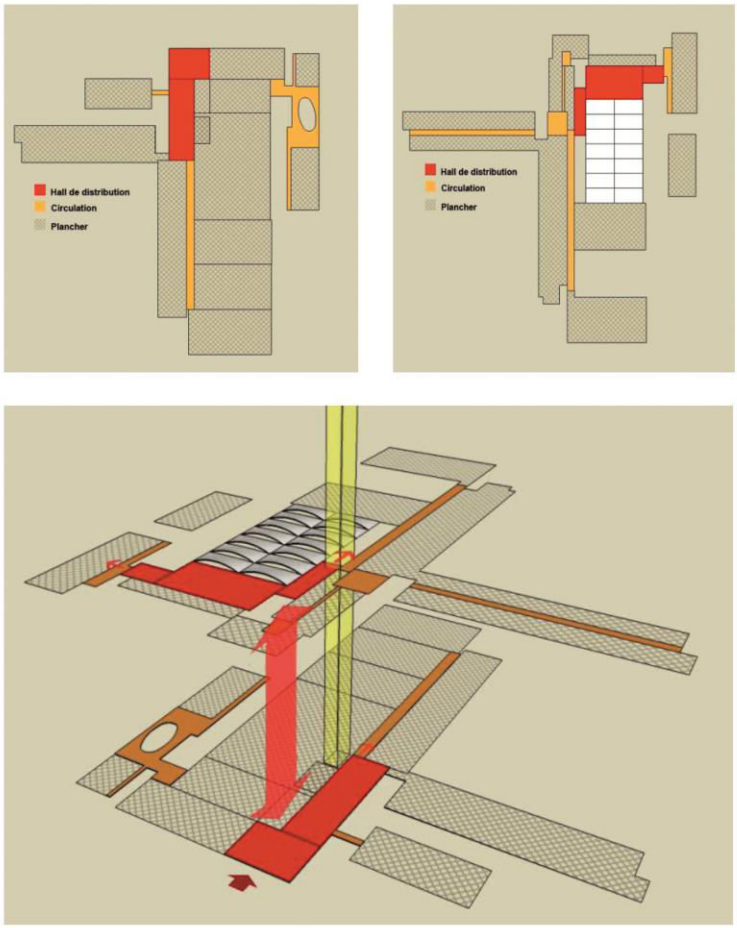
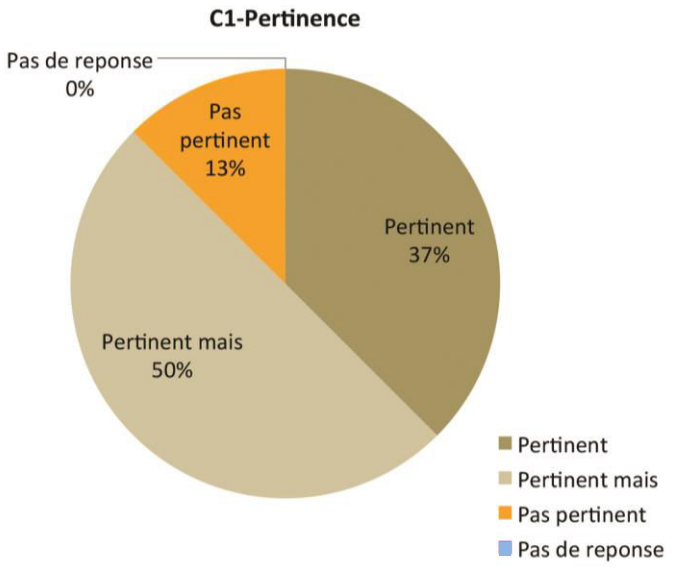


Fig. V-16. Concept 1

L'évaluation

Comme indiqué dans la Fig. V-17, les répondants considèrent que le concept « Séparer le Hall de distribution dans l'espace » comme à la fois intéressant (62% le considèrent comme très intéressant ou intéressant) et pertinent (37%).



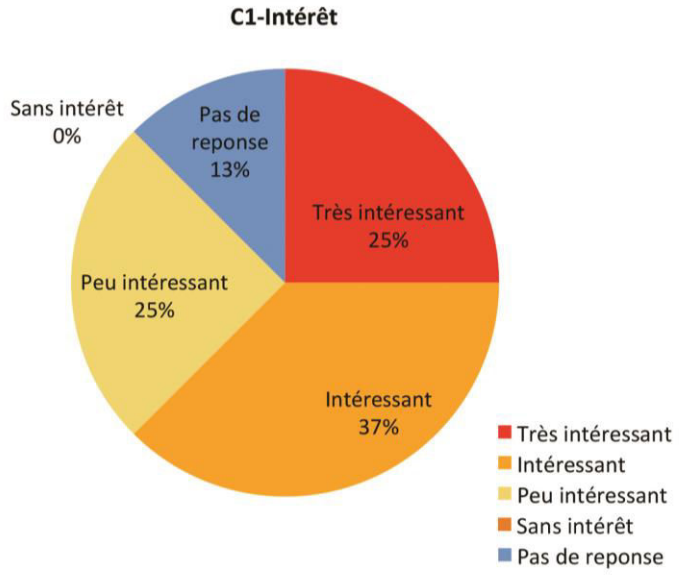


Fig. V-17. La pertinence et l'intérêt du Concept 1

V.2.2.2. Concept 2

Le concept de solution donné par la TRIZ: *Système transition*

La présentation graphique

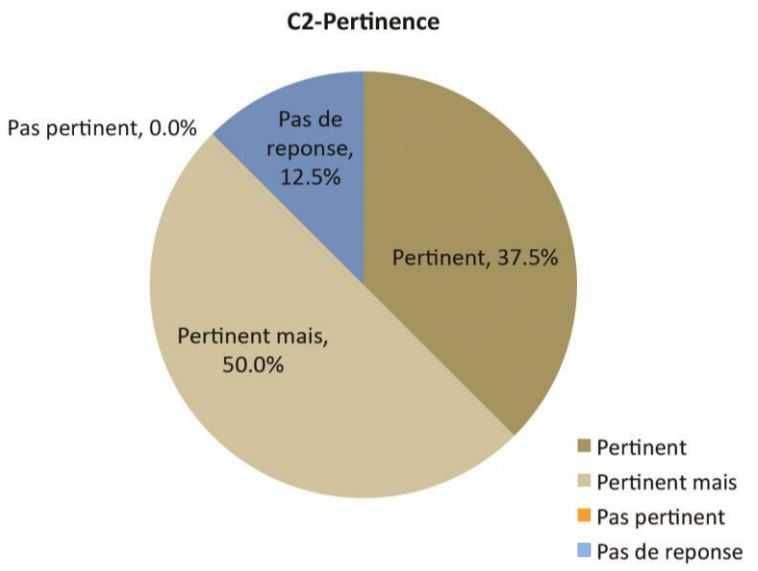
L'interprétation possible du concept

Changer la distribution des fonctionnements des espaces voisins du Hall existant

Fig. V-18. Concept 2

L'évaluation

Comme le montre la Fig. V-19, la majorité des répondants considèrent le concept « Changer la distribution des fonctionnements des espaces voisins du Hall existant » comme une solution pertinente qui permet d'éliminer la contradiction clé. Cependant 50% pensent que ce concept produit un autre problème. 74% considèrent que le concept de changer les fonctions des espaces voisins est un concept intéressant.



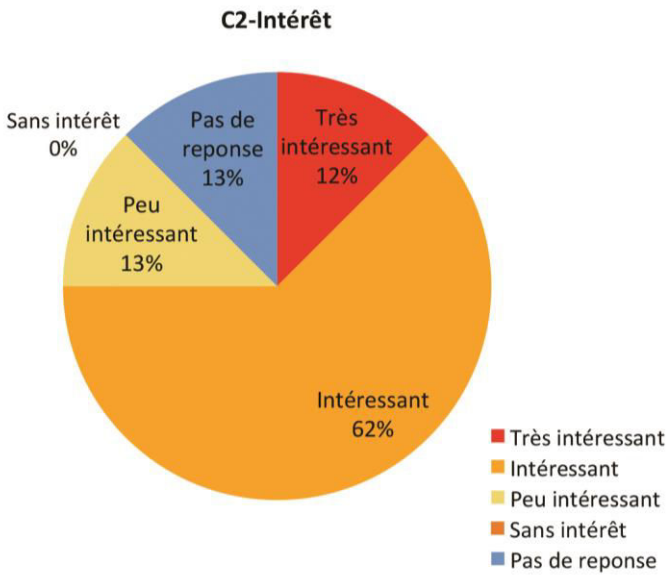


Fig. V-19. La pertinence et l'intérêt du concept 2

V.2.2.3. Concept 3

Le concept de solution donné par la TRIZ: *Augmenter les objets emboîtés (objets gigognes)*

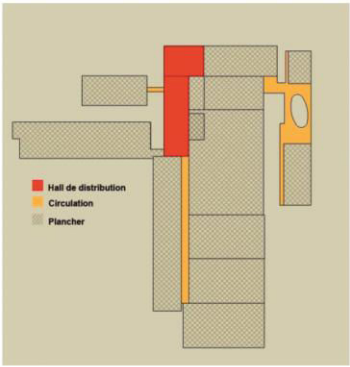
La présentation graphique

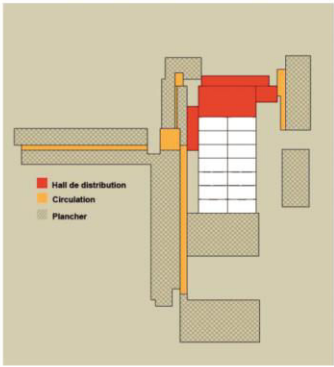
L'interprétation possible du concept

Placer Le Hall de distribution dans la salle d'examen

Placer occasionnellement des activités du Hall dans la salle d'examen

Le diagramme spatial





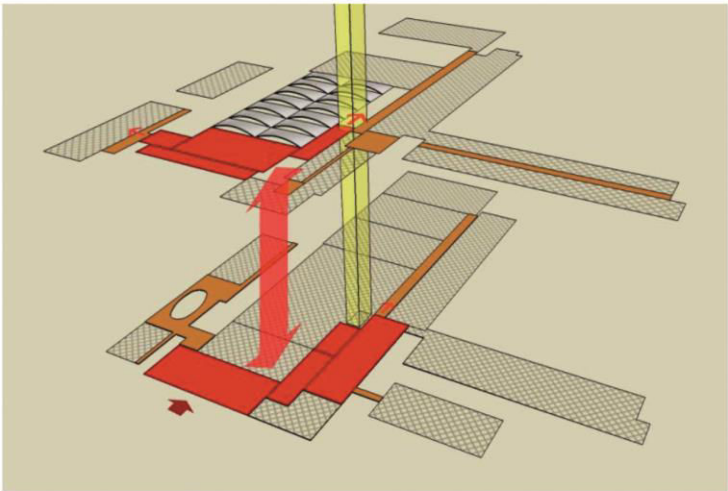


Fig. V-20. Concept 3

L'évaluation

Comme indiqué par la Fig. V-21, la pertinence du concept « Augmenter les objets emboîtés » n'est validée que par 25% des répondants. Cependant, 50% trouvent ce concept intéressant.

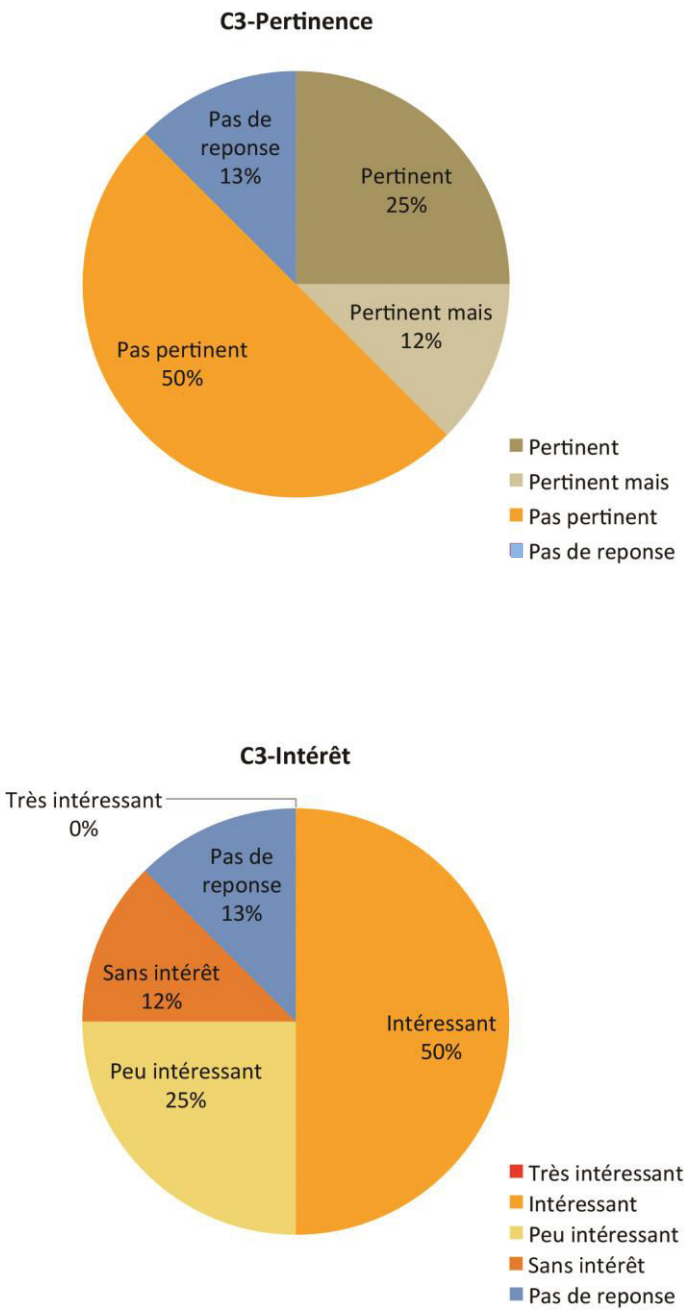
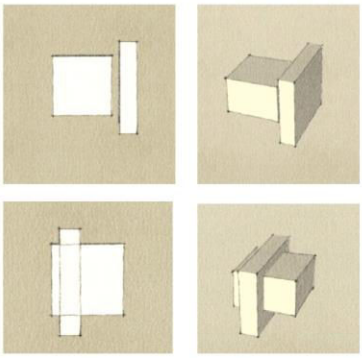


Fig. V-21. La pertinence et l'intérêt du concept 3

V.2.2.4. Concept 4

Le concept de solution donné par la TRIZ: *Faire traverser par un autre objet*

La présentation graphique



L'interprétation possible du concept

Aménage les sheds du bâtiment T pour le passage de piétons
Faire traverser seulement des piliers de nouveau hall dans le bâtiment T

Le diagramme spatial

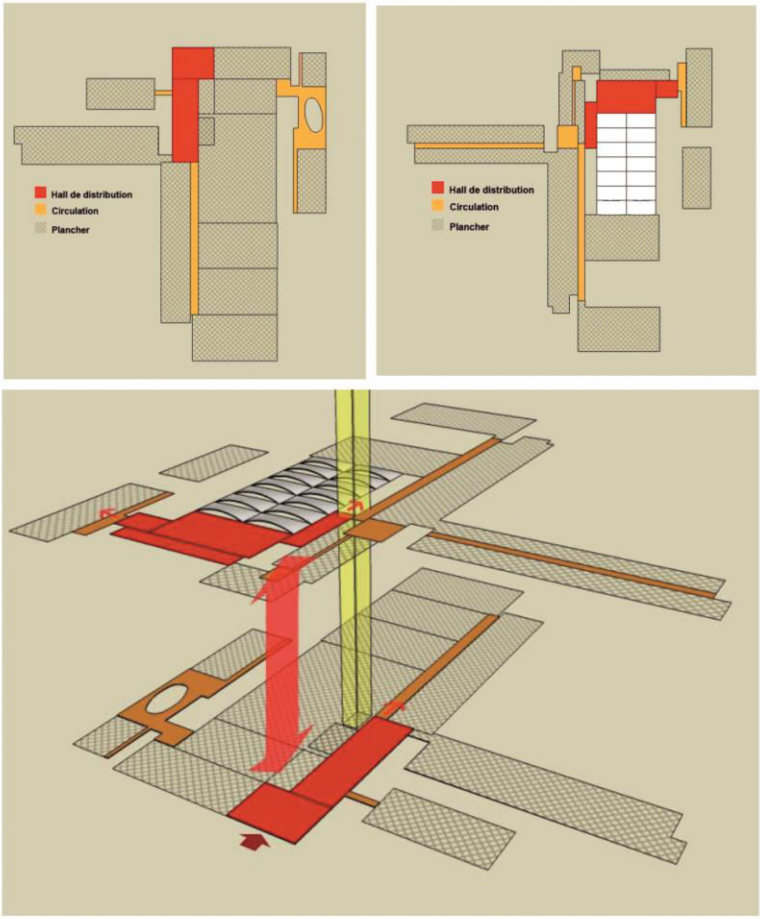
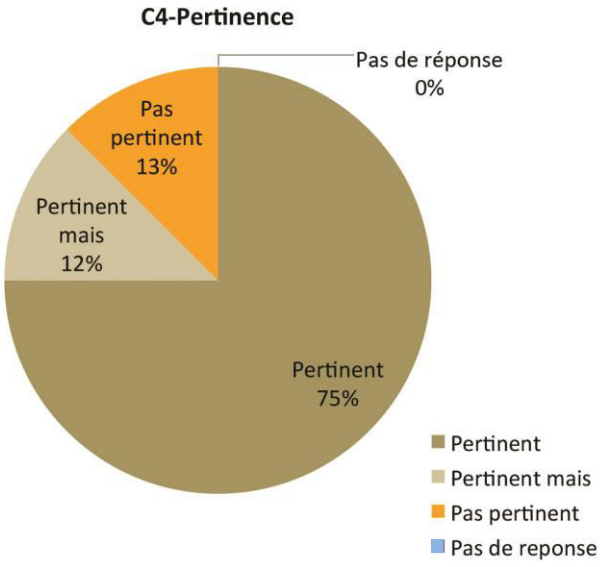


Fig. V-22. Concept 4

L'évaluation

Comme indiqué par la Fig. V-23, les répondants considèrent le concept «Faire traverser par un autre objet » comme à la fois pertinent (75%) et intéressant (74% le considèrent comme très intéressant ou intéressant).



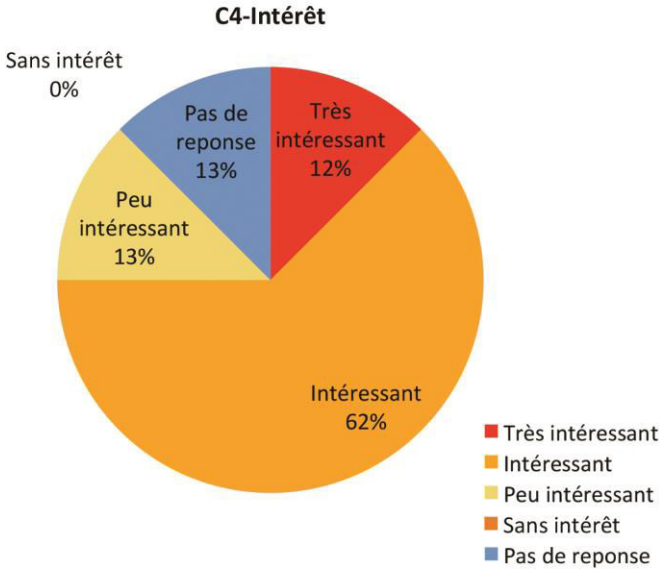
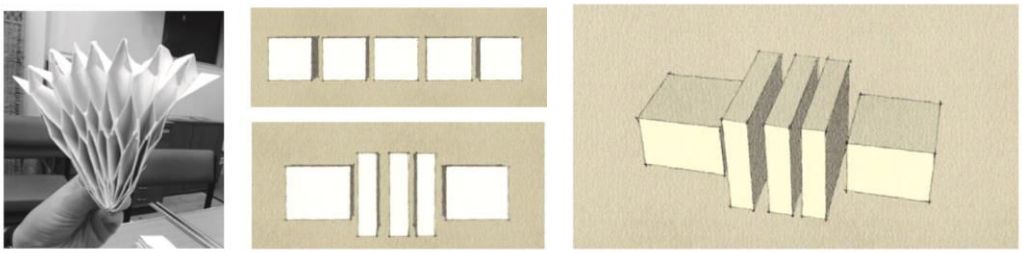


Fig. V-23. La pertinence et l'intérêt du concept 4

V.2.2.5. Concepts 5 et 6

Le concept de solution donné par la TRIZ:

La présentation graphique — *Changer l'agrégation/ la concentration de l'objet*



L'interprétation possible du concept

Varier la géométrie du Hall de distribution

Varier la disparité des fonctions dans le Halle

Le diagramme spatial

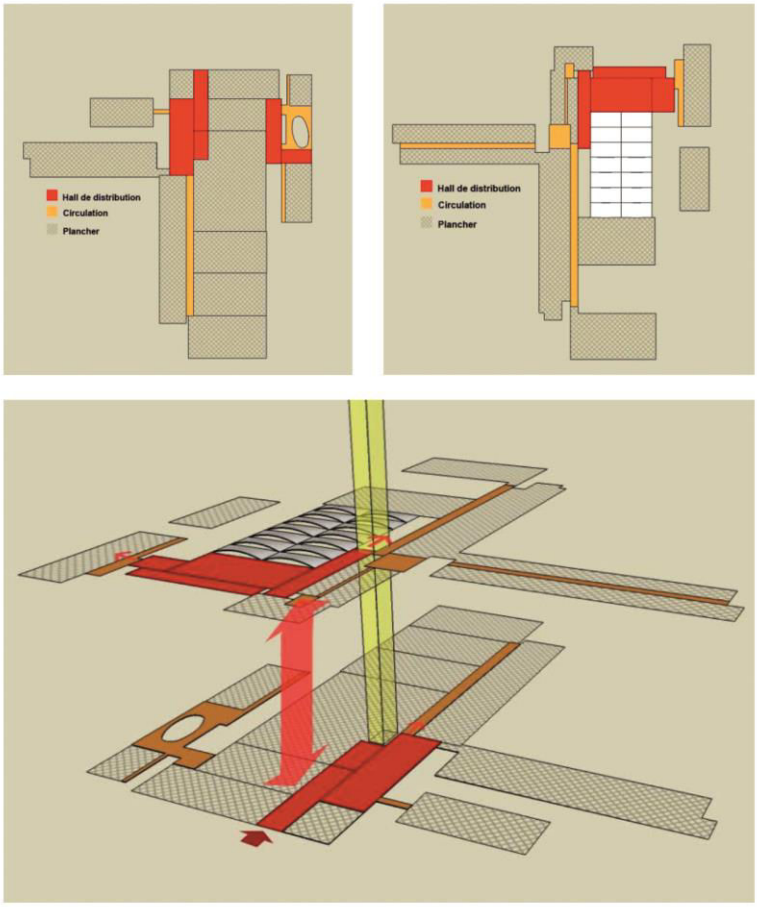
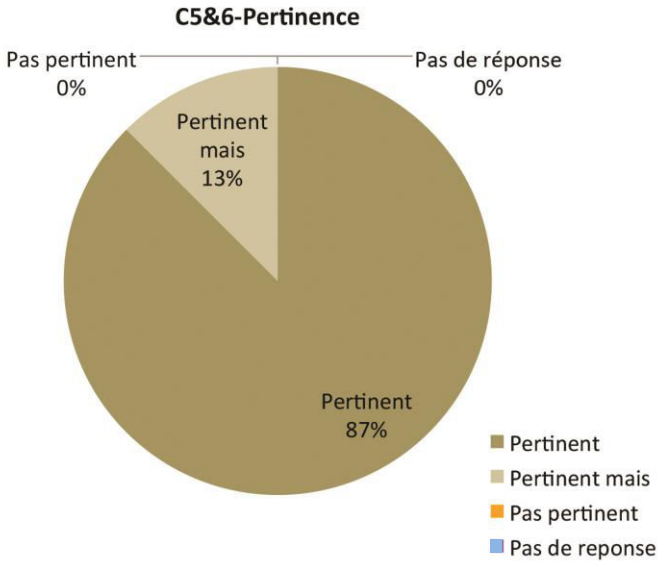


Fig. V-24. Concepts 5 et 6

L'évaluation

Comme indiqué par la Fig. V-25, les répondants considèrent le concept « Changer l'agrégation/ la concentration du Halle objet » comme un concept pertinent (100%) et intéressant (74% le considèrent comme très intéressant ou intéressant).



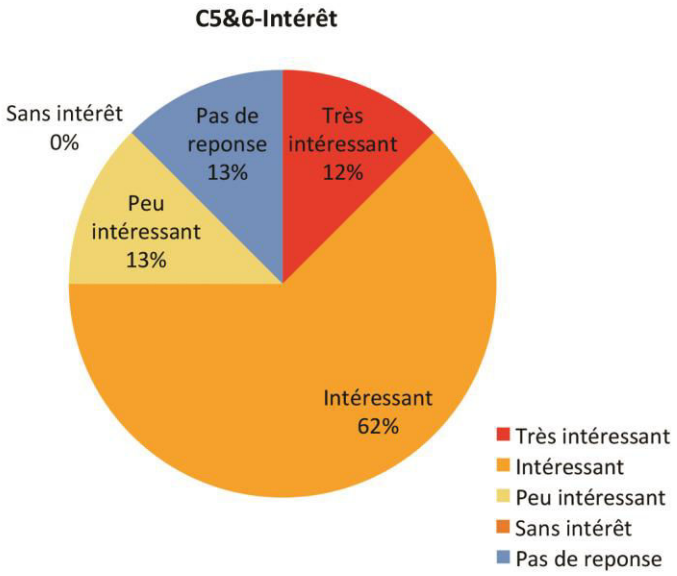


Fig. V-25. La pertinence et l'intérêt des concepts 5 et 6

V.2.2.6. Concept 7

Le concept de solution donné par la TRIZ:

Utiliser l'environnement extérieur

L'interprétation possible du concept

Utiliser la rue Monge

Utiliser l'espace vide entre le bâtiment E et T

Le diagramme spatial

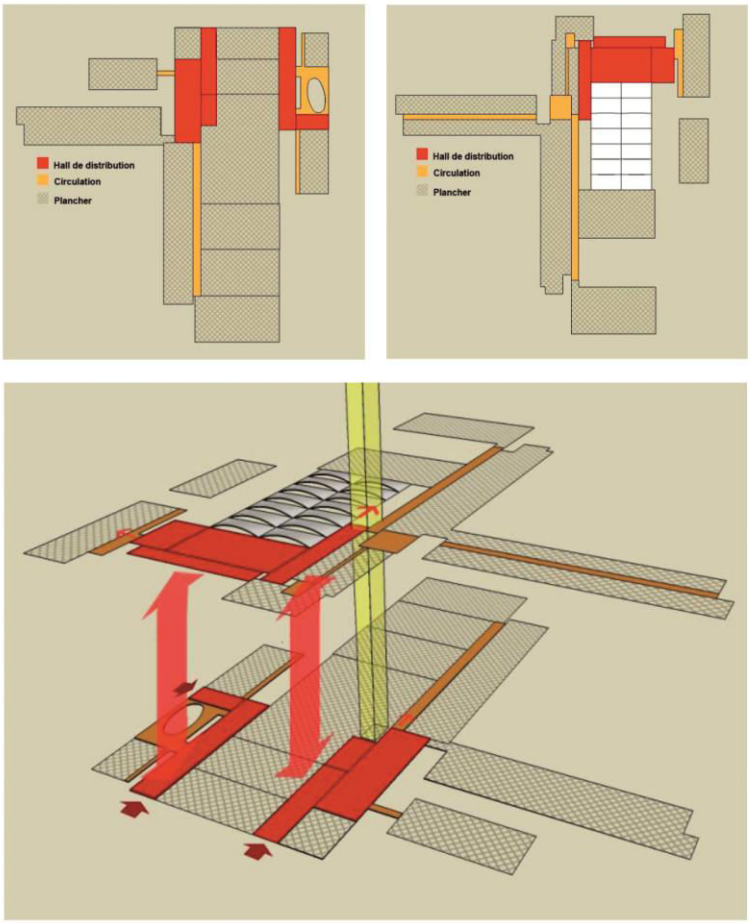


Fig. V-26. Concept 7

L'évaluation

Comme indiqué par la Fig. V-27, le concept « Utiliser la rue Monge. Utiliser l'espace vide entre le bâtiment E et T » est considéré par les répondants comme pertinent (50% le considèrent comme un concept qui permet de résoudre la contradiction posée mais produit un autre problème). Ainsi, le concept de solution Utiliser l'environnement extérieur est évalué comme intéressant (62%).

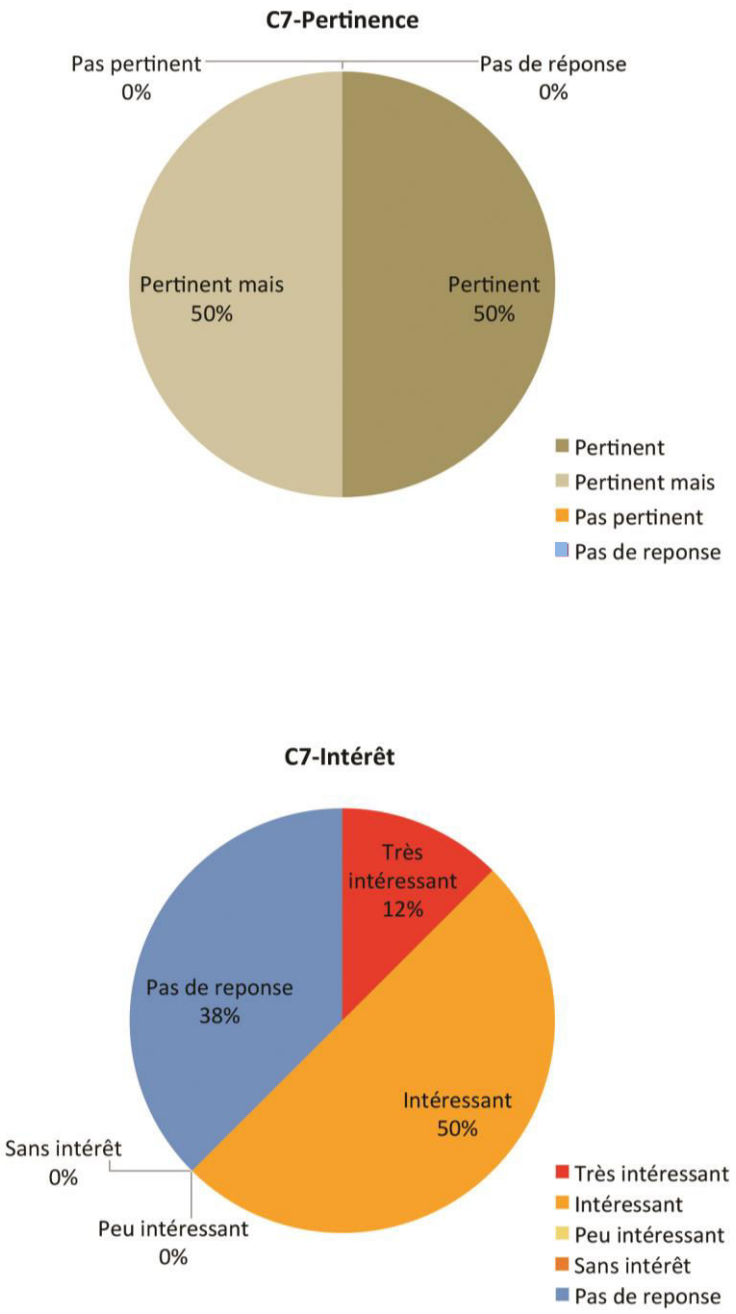


Fig. V-27. La pertinence et l'intérêt du concept 7

V.2.2.7. Concept 8

Le concept de solution donné par la TRIZ:

Utiliser l'environnement extérieur en ajoutant de nouveaux éléments

L'interprétation possible du concept

Utiliser la rue Monge
Utiliser l'espace vide entre le bâtiment E et T et créer un escalier pour avoir accès au toit du Bâtiment T

Le diagramme spatial

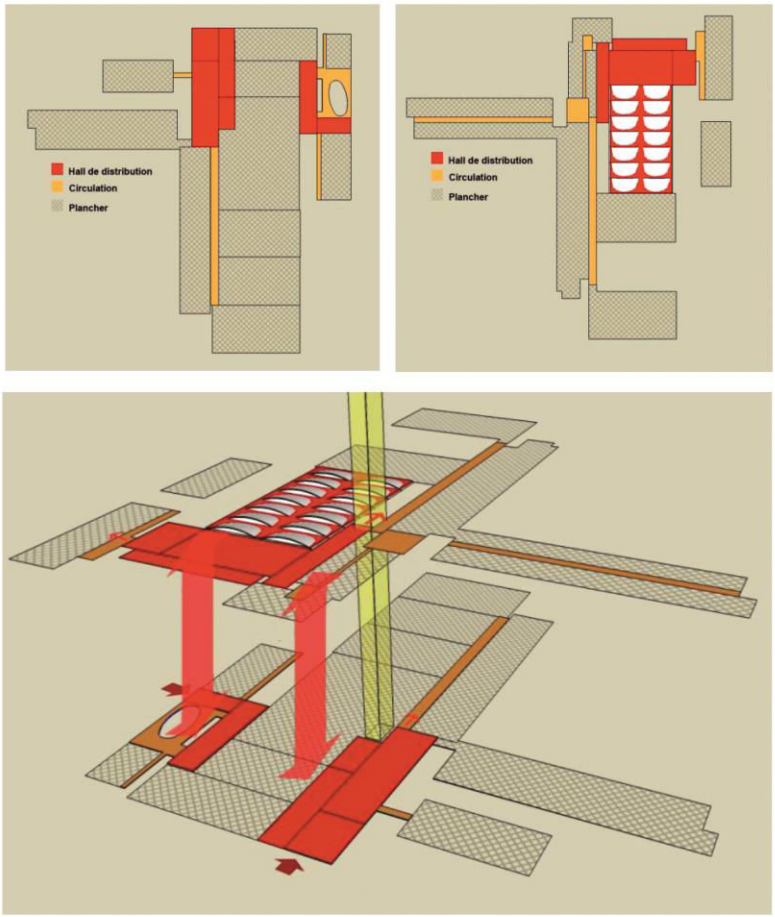
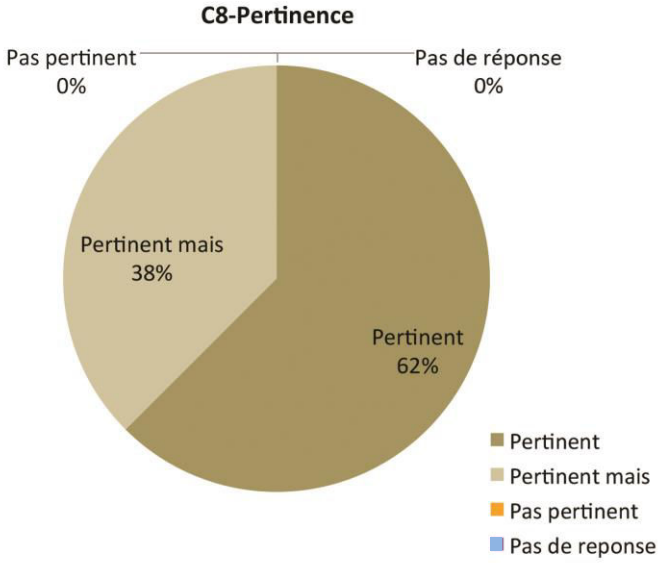


Fig. V-28. Concept 8

L'évaluation

Comme le montre la Fig. V-29, le concept « Utiliser l'environnement extérieur en ajoutant de nouveaux éléments » est considéré comme étant pertinent (100% dont 38% évaluent que ce concept produit un autre problème) et intéressant (75% le considèrent comme très intéressant ou intéressant).



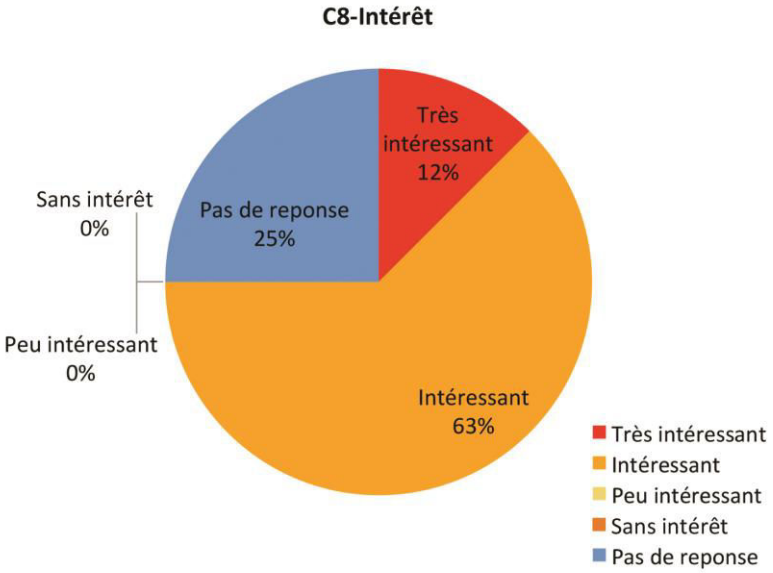


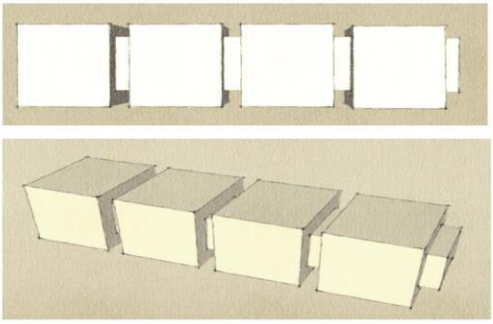
Fig. V-29. La pertinence et l'intérêt du concept 8

V.2.2.8. Concept 9

Le concept de solution donné par la TRIZ:

Utiliser la structure de chaine

La présentation graphique



L'interprétation possible du concept

Créer plusieurs (petits) espaces mobiles et les relier

Construire le Hall sur plusieurs niveaux

Le diagramme spatial

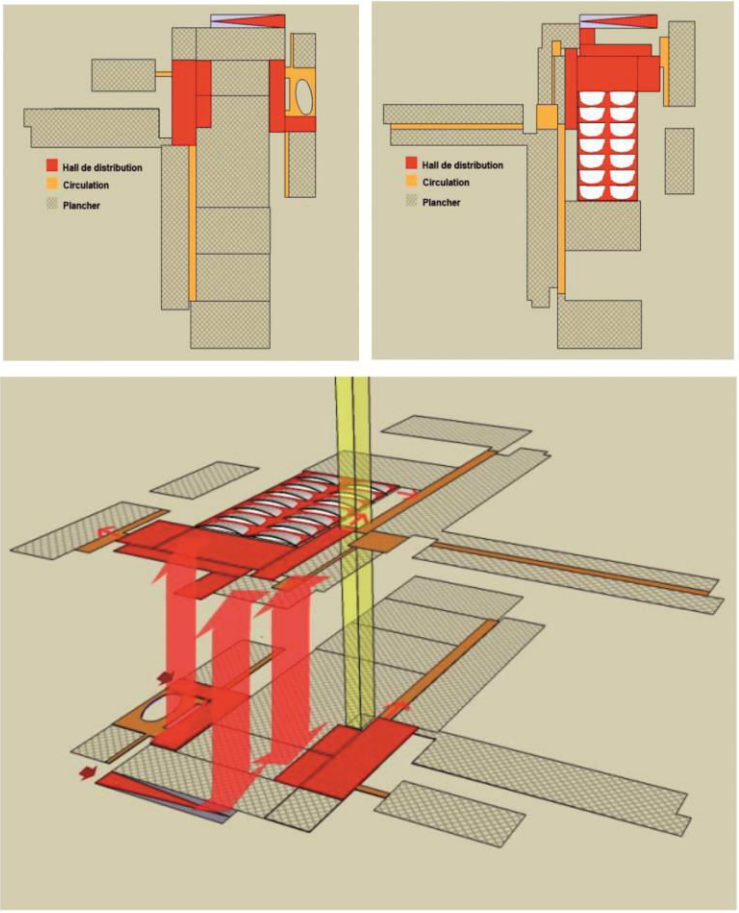


Fig. V-30. Concept 9

L'évaluation

Comme indiqué Fig. V-31, 63% des répondants évalue le concept « Utiliser la structure de chaîne » comme permettant de résoudre la contradiction (mais 38% considèrent qu'il produit un autre problème). 50% des répondants qualifie ce concept comme intéressant.

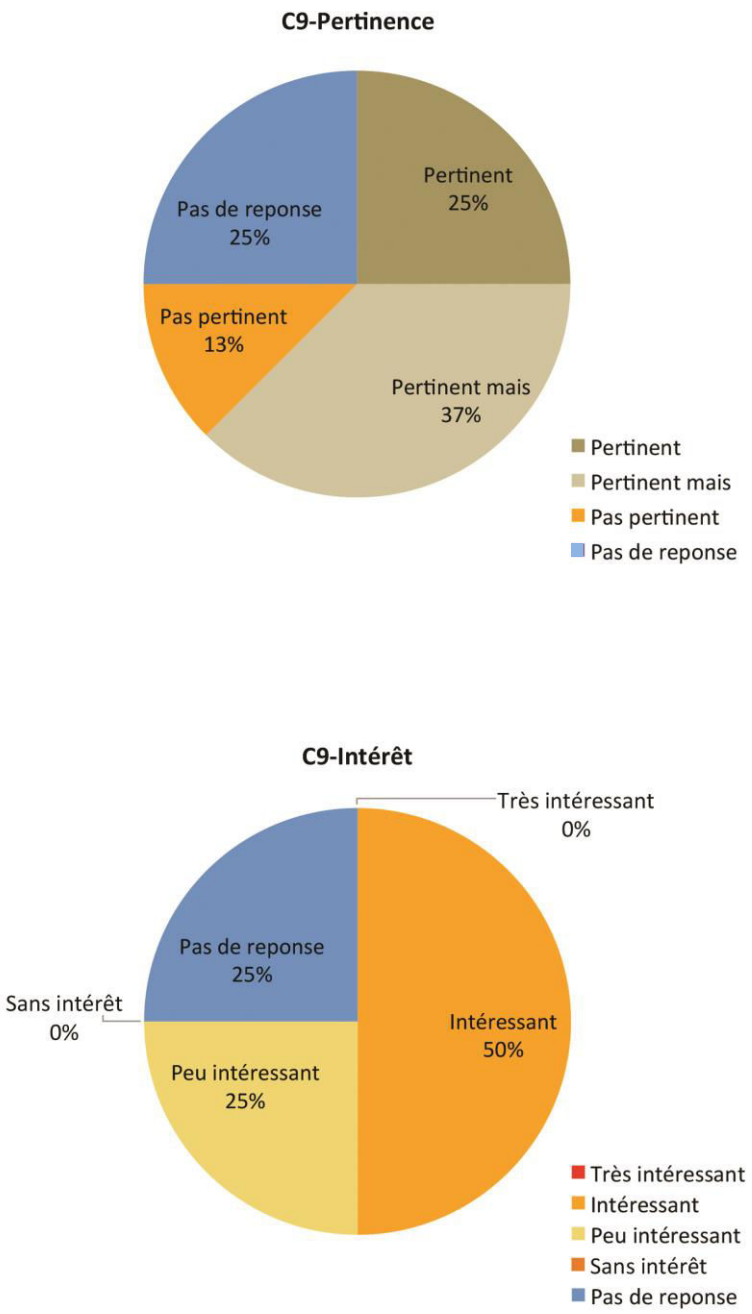
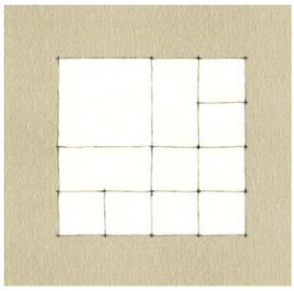


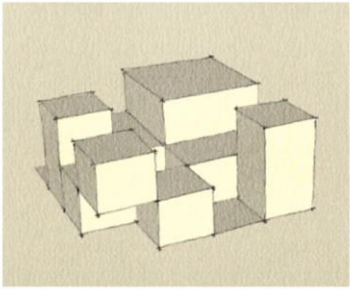
Fig. V-31. La pertinence et l'intérêt du concept 9

V.2.2.9. Concept 10

Le concept de solution donné par la TRIZ:

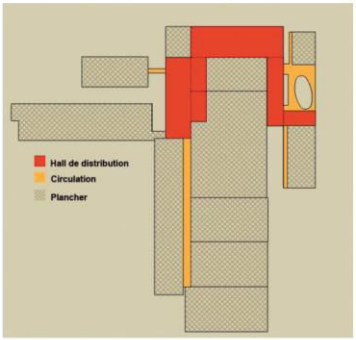
La présentation graphique — *Segmenter l'objet*

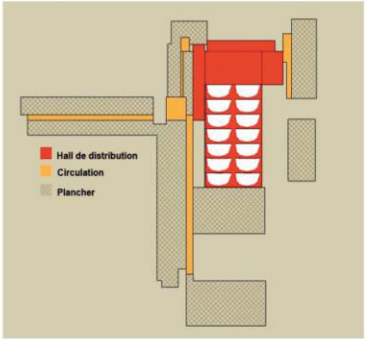




L'interprétation possible du concept

Le diagramme spatial — Segmenter le Hall de distribution et diviser le Hall
Construire le Hall aux plusieurs niveaux





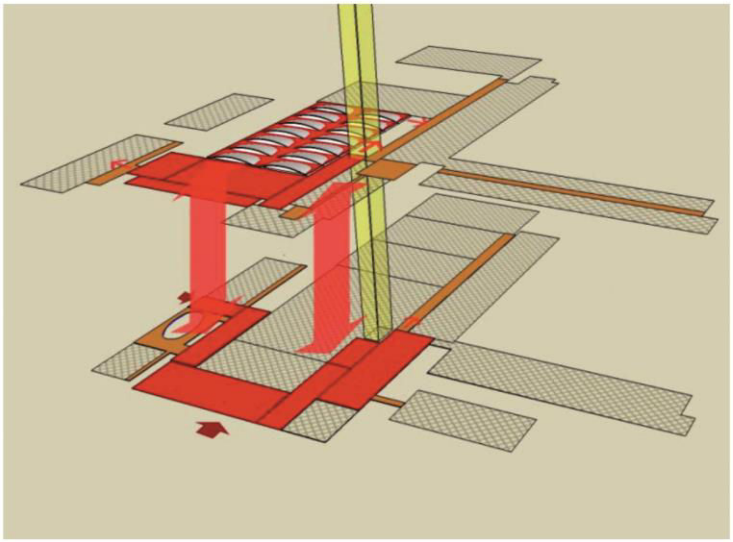


Fig. V-32. Concept 10

L'évaluation

Comme indiqué Fig. V-33, les répondants considèrent que le concept «Segmenter le hall » comme à la fois pertinent (87%) et intéressant (74% le considèrent comme très intéressant ou intéressant).

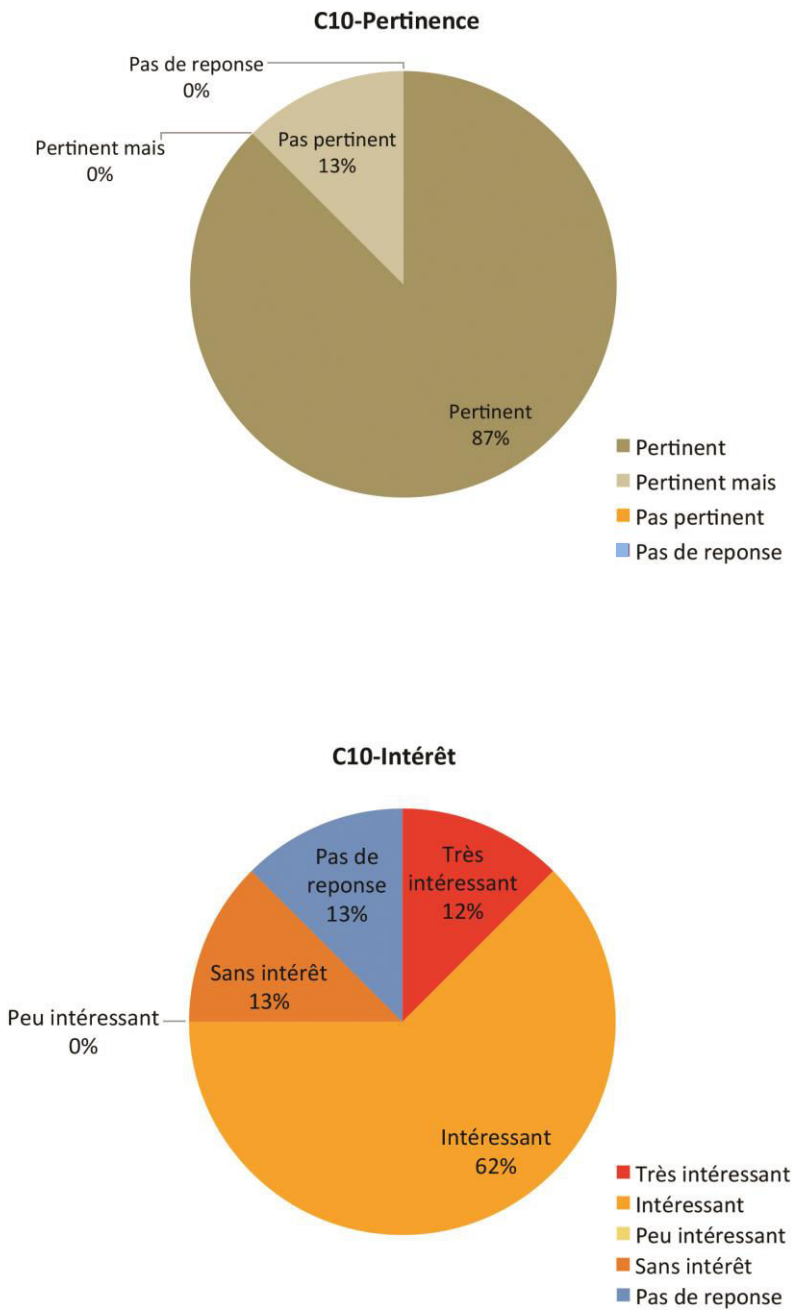


Fig. V-33. La pertinence et l'intérêt du concept 10

V.2.2.10.La synthèse de l'évaluation des concepts de solution

Comme indiqué par la Fig. V 34 et la Fig. V 35, les évaluateurs ont validé à la fois la pertinence (avec une moyenne de 58%) et l'intérêt (avec une moyenne de 67%) des dix concepts de solution développés en utilisant l'ensemble des techniques et des outils de la TRIZ.

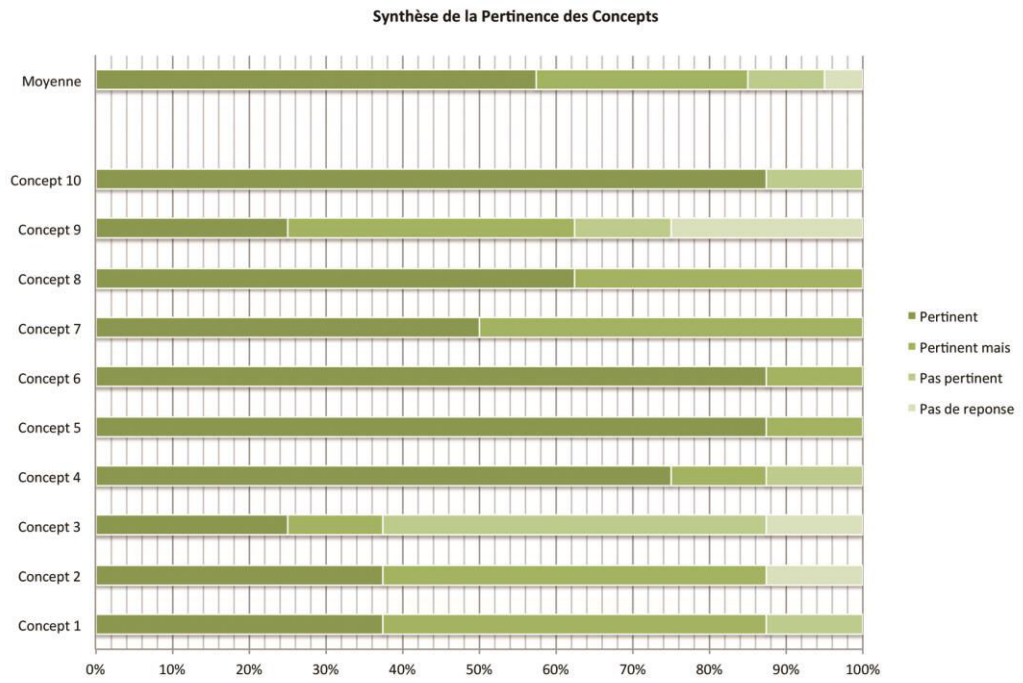


Fig. V-34. Le schéma et la moyenne de la pertinence des concepts

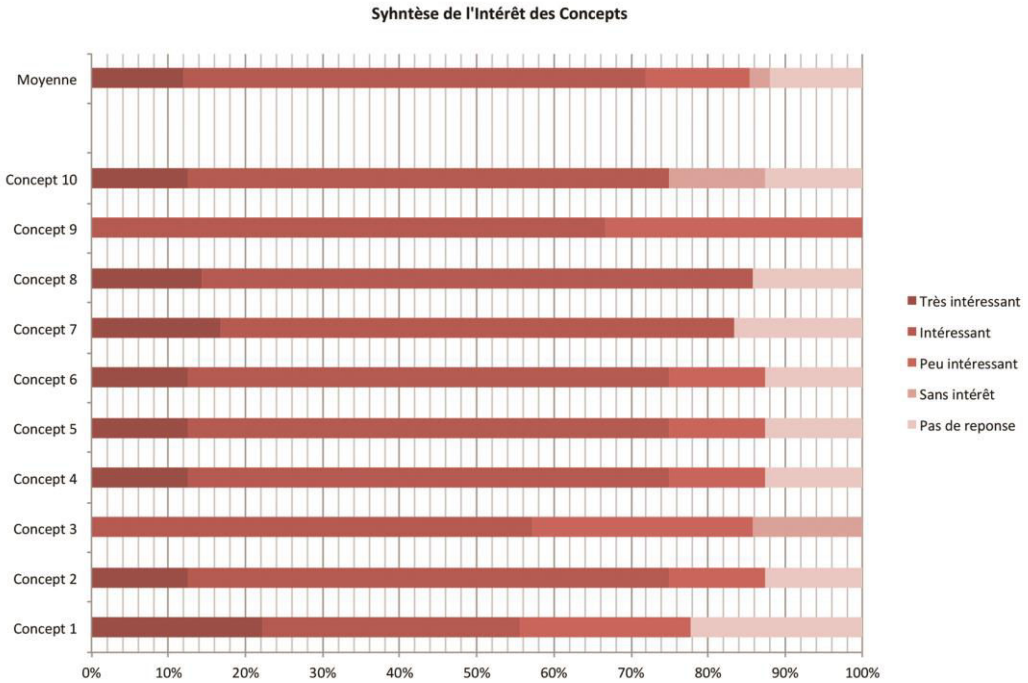


Fig. V-35. Le schéma et la moyenne de l'intérêt des concepts

Ch. V.3. La conclusion du Chapitre V

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'évaluation effectuée par un groupe composé de 13 architectes de deux principaux résultats de l'application d'IDM-TRIZ au programme du projet Extension – Rénovation de l'INSA de Strasbourg. La première section a porté sur la présentation de l'évaluation de la modélisation des objectifs, contraintes et propositions de ce projet sous forme de contradiction à travers du Graphe PB-SP. La deuxième section a présenté l'évaluation de dix concepts de solution que nous avons définis en utilisant des techniques et des outils de la théorie de la TRIZ pour résoudre la contradiction clé de ce projet.

La validation des apports du Graphe PB-SP nous permet de conclure que le modèle particulier de la théorie de la TRIZ, qui constitue la structure sous-jacente de ce graphe, peut être utilisé pour représenter les objectifs, contraintes et solutions exprimés dans un programme architectural. De plus, le résultat de l'évaluation montre que ce modèle de contradictions a un impact positif sur d'autres qualités du programme architectural. Plus précisément, il peut contribuer à l'amélioration de la clarté des énoncés des problèmes architecturaux, à la traçabilité des problèmes et des solutions proposées, et à l'intégralité de l'espace de problèmes. Le Graphe PB-SP est aussi évalué comme un support du processus de prise de décision et un bon moyen de communication.

De même, l'ontologie du Graphe PB-SP nous permet d'obtenir une représentation axiomatique des éléments constitutifs des contradictions et leurs valeurs à partir des éléments présents dans un programme. Ainsi, la construction des contradictions du projet est plus objective. Il permet également de formuler et de représenter des contradictions et des conflits du projet qui actuellement, en l'absence d'un modèle précis, sont soit négligés soit exprimés de manière simplement discursive.

La conclusion qu'on peut retirer de cette évaluation est qu'en ajoutant une représentation structurée de l'ensemble des contradictions au document du programme architectural, le concepteur peut construire l'espace de problèmes qui contient à la fois les problèmes et les solutions du projet. Mais, le Graphe PB-SP ne peut pas remplacer le document du programme architectural. Contrairement à ce dernier qui illustre aussi une vision du monde, le Graphe ne présente pas l'histoire, les valeurs esthétiques et morales de la société dans laquelle le projet est né.

Cette validation soutient la proposition initiale de la thèse, présentée dans la conclusion du premier chapitre (Ch. I.3) et illustrée par la Fig. I-14. La deuxième section du chapitre présent a été consacrée à la présentation de l'évaluation du deuxième résultat de notre expérimentation, à savoir dix concepts de solution proposés par la TRIZ pour résoudre la contradiction clé du projet Rénovation-Extension de l'INSA se Strasbourg. L'objectif était de vérifier la capacité des techniques et des outils de la TRIZ pour la génération de concepts de solution pour les contradictions architecturales.

Étant donné que l'évaluation de la pertinence et de l'intérêt des concepts produits est basée sur l'expertise des architectes enseignants ayant majoritairement plus de dix ans d'expérience, leur jugement positif a au moins deux corollaires. Premièrement, la théorie de la TRIZ a une capacité considérable pour générer des concepts architecturaux. Deuxièmement, la théorie de la TRIZ peut contribuer à l'éducation des étudiants en architecture et accélérer le processus d'acquisition d'expertise.

De même, nous avons observé que certains des participants ont souligné que les phrases des modèles de solutions avaient stimulé leurs répertoires cognitifs. Alors que nos interprétations graphiques ont diminué cet effet.

Conclusion

Les travaux présentés dans cette thèse sont à issus de deux disciplines : la conception architecturale et la conception en ingénierie. Le dénominateur commun, qui nous a permis de rapprocher ces disciplines, est la notion de contradiction. Dans ce cadre, et pour alimenter nos réflexions sur la représentation des objectifs, des contraintes et des propositions sous forme de contradiction en phase amont de la conception du projet architectural, nos travaux se sont appuyés à la fois sur les recherches concernant les théories de la programmation architecturale et sur la théorie de la TRIZ.

Nous avons structuré ce travail de recherche en deux parties. La « Première partie : Étude bibliographique » avait pour objectif de poser le cadre conceptuel de la thèse ainsi que les fondements théoriques des champs d'investigation liés à l'usage architectural de la TRIZ. La « Deuxième Partie : Étude empirique » avait pour objectif de présenter l'expérimentation que nous avons pu mener dans le cadre de cette thèse, ainsi que l'évaluation de ses résultats.

La première partie comporte trois chapitres. Le « Chapitre I - La question de la programmation architecturale » avait pour objet l'identification de la « problématique professionnel » et la construction de la « problématique scientifique » de la thèse afin de positionner notre contribution. Nous avons identifié le manque de moyen de représentation explicite des contradictions dans la phase de programmation architecturale comme axe problématique en architecture. Ce manque fait que le programmiste et l'architecte pour concevoir des solutions s'appuient sur des compromis, des essais et erreurs, et sur le tâtonnement. Cette situation ignore l'agentivité du programme architectural à concevoir des concepts et des solutions innovantes en phase amont de la conception architecturale.

Nous avons étudié la question des méthodes de programmation architecturale pour faire un état de l'art focalisé sur la représentation des contradictions. Cette étude nous a permis de préciser la contribution scientifique espérée de notre recherche centrée sur l'examen des apports éventuels de la notion de contradiction au sens TRIZ à la fois

- comme stratégie conceptuelle en architecture guidant la recherche et la structuration des informations,
- et comme modèle d'interprétation et de représentation des éléments fondamentaux de la conception, à savoir les objectifs, les contraintes et les solutions en phase amont du processus de conception.

Ainsi, nous avons proposé d'ajouter au document du programme architectural un ensemble structuré de problèmes modélisés sous forme de contradictions. Dans ce chapitre nous avons

également défini des critères pour évaluer les incidences d'une telle modélisation sur l'ensemble des principaux enjeux de la programmation architecturale.

Le « Chapitre II - La TRIZ » a été consacré à la présentation de la théorie de la TRIZ, sa genèse, ses concepts fondamentaux, ses outils et techniques, ainsi que son développement récent IDM-TRIZ qui est le résultat des recherches menées au Laboratoire de Génie de Conception de l'INSA de Strasbourg pour développer la théorie de la TRIZ dans les domaines non-techniques. Nous avons également présenté dans ce chapitre un état de l'art des tentatives d'application de la TRIZ dans les champs relatifs à l'architecture. Nous avons pu montrer qu'aucune de ces tentatives n'a abordé la programmation architecturale et n'a utilisé la théorie de la TRIZ pour la construction de l'espace de problèmes. De même, ni IDM-TRIZ ni OTSM-TRIZ n'ont été appliquées dans ces recherches en architecture.

De même, nous avons noté que la première phase d'IDM-TRIZ, c'est-à-dire l'analyse de la situation initiale, poursuit le même objectif que la phase amont de la conception architecturale, c'est-à-dire la construction de l'espace de problèmes comprenant à la fois des problèmes et des solutions connues. Nous avons aussi précisé deux questions principales que cette thèse cherche à explorer, à savoir, la possibilité de représenter les objectifs, les contraintes et les solutions exprimés par le programme architectural sous la forme du modèle de contradiction de la TRIZ à travers le Graphe Problèmes -Solution partielles (Graphe PB-SP), et les conséquences que cette représentation pourrait générer sur les enjeux principaux du programme architectural.

Le « Chapitre III - La quête de l'insaisissable et La question de contradiction en architecture » avait pour but de situer la contribution théorique de cette thèse à la théorie de la conception architecturale. Il était nécessaire pour notre recherche d'étudier l'œuvre théorique de Christopher Alexander, ainsi que la théorie des contradictions de Robert Venturi. Nous avons identifié et examiné les ressemblances et les différences entre les concepts théoriques développés par ces deux théoriciens de l'architecture et les concepts qui sont développés par Altshuller et par IDM-TRIZ. L'objectif de ce croisement des idées était double. D'une part, nous avons recherché les analogies conceptuelles[1] et pratiques dans ces trois corpus théoriques ainsi que leurs divergences. Nous pensons qu'en soulignant des critiques adressées aux théories d'Alexander et de Venturi, cette recherche désigne ce que la

[1] Nous entendons par analogies conceptuelles « les analogies qui attribuent les propriétés d'un concept déjà connu à un concept à connaître ». (Cariou, 2005)

théorie de la TRIZ pourrait affronter dans son développement vers l'architecture. D'autre part, par cette analyse comparative nous avons recherché une fertilisation croisée entre les domaines de l'ingénierie et de l'architecture. Alors que les similitudes entre les pensées de ces théoriciens mettent en évidence l'importance que chacun attribue à des principes comme la systémique, la dialogique, etc. pour une meilleure conception, leurs différences pourraient révéler des pistes de recherche pour améliorer la pratique de la conception indépendamment de son champ d'application.

Cette étude comparative révèle notamment une similitude frappante entre l'œuvre d'Alexander et celle d'Altshuller et montre que ces deux corpus théoriques peuvent s'enrichir l'une de l'autre et se fortifient mutuellement dans leur approche de la conception. Quant à la théorie de Venturi sur la notion de contradiction, notre synthèse montre ses différences avec la vision de la TRIZ. Malgré une approche différente de celle de la TRIZ, la théorie de Venturi peut être considérée comme une affirmation de la capacité créative de la contradiction. De plus, elle rappelle que l'architecture ne peut être pensée comme un simple objet technique et que les dimensions socioculturelles jouent un rôle authentique dans les façons de concevoir en architecture.

Nous avons également présenté à partir d'une recherche bibliographique ce qu'on entend en architecture par le terme contradiction et précisé que cette thèse porte sur les contradictions où l'opposition se trouve entre les aspects physique, matérielle et tangibles d'un élément (ou plusieurs éléments) architectural. Ces contradictions sont nées de la volonté (ou de l'objectif) du concepteur qui se heurte aux exigences physiques du projet (ou son contexte).

En nous éloignant des recherches de solutions techniques pour le domaine architectural qui touche la volonté, les symboles, les valeurs et les croyances de l'homme, nous avons mené une étude empirique pour les apports de la notion de contradiction au sens TRIZ à la phase amont de la conception architecturale. Cette étude empirique est présentée dans la deuxième partie qui contient les chapitres IV et V.

Le « Chapitre IV » est une représentation détaillée de « L'application d'IDM-TRIZ au Programme Architectural ». Il rapporte deux résultats principaux de cette application : les objectifs, les contraintes et les solutions exprimés dans le programme architectural du projet Extension –Rénovation de l'INSA de Strasbourg modélisés sous forme de contradictions par le Graphe PB-SP, et les dix concepts de solution définis par l'utilisation des techniques et des outils de la TRIZ pour répondre à une des contradictions du Projet de l'INSA.

Cette application montre qu'il est possible d'utiliser les informations fournies par un programme architectural procédural type pour construire un Graphe PB-SP et que la logique, la syntaxe et la structure latente de ce dernier, en facilitant le questionnement sur les origines des problèmes, favorisent l'énoncé des problèmes du projet. De même, cette application montre que l'ensemble des techniques et des outils de la TRIZ peut proposer des concepts (modèles) de solution pour une contradiction concernant l'agencement spatial des éléments architecturaux.

Le « Chapitre V - L'évaluation » a été consacré à la présentation de l'évaluation effectuée par un groupe de 13 architectes des deux principaux résultats de notre cas d'application. Dans un premier temps, nous avons présenté l'évaluation du programme modélisé sous forme du graphe. Cette évaluation a permis de répondre aux deux questions principales de la thèse et formuler la contribution principale de ce travail de recherche de la manière suivante.

La représentation des problèmes architecturaux par le modèle de contradiction de la TRIZ est possible. Cette modélisation est à la fois significative et intelligible pour les architectes. De plus, le modèle de contradiction de la TRIZ permet de représenter des contradictions et des conflits inexprimés dans le programme architectural. De même, la représentation des objectifs, contraintes et solutions du projet par le modèle de contradiction de la TRIZ peut contribuer à l'amélioration de la clarté des énoncés des problèmes architecturaux, à la traçabilité des problèmes et des solutions proposées et à l'intégralité[1] de l'espace de problèmes. Le Graphe PB-SP est aussi qualifié comme un support au processus de prise de décision et un bon moyen de communication. Cette validation soutient la proposition initiale de la thèse.

Dans un deuxième temps, nous avons présenté l'évaluation de la pertinence et de l'intérêt de dix concepts de solution que nous avons produits. La validation des concepts par des architectes enseignants expérimentés nous permet de formuler la deuxième contribution de la notre travail de recherche de la manière suivante.

L'ensemble des techniques et outils de la théorie de la TRIZ a une capacité considérable pour générer des concepts architecturaux. De plus, le fait que les architectes avec plus de dix ans d'expérience confirment l'intérêt et la pertinence des concepts de conception produits

[1] Nous avons défini l'intégralité comme la capacité du programme à évaluer l'impact du chaque problème ou solution proposée sur l'ensemble des attentes du projet. (voir V.2.1.5.)

par la théorie de la TRIZ, nous permet de dire qu'enseigner cette théorie aux étudiants en architecture peut être avantageux pour accélérer le processus d'acquisition d'expertise.

Si nous cherchons à savoir dans quelle mesure la théorie de la TRIZ peut être utile en architecture, cette étude empirique montre que la réponse dépend de ce qu'on entend par conception architecturale. Pour une compréhension qui réduit la conception architecturale à l'agencement des fonctions et des activités dans des formes et espaces, une partie considérable de la base de connaissances de la théorie de la TRIZ, telle quelle est aujourd'hui, devient difficile à exploiter ; du fait que les modèles de solution et les exemples qu'elle propose sont issus du domaine des objets techniques et des phénomènes des sciences de la matière. Cependant, les techniques et les concepts relatifs au temps, à l'espace et aux rapports entre les parties et le tout (systémique) sont fructueux et utiles, à l'instar des méthodes de séparation des propriétés contradictoires dans le temps et dans l'espace, ainsi que la loi d'Idéalité, et la loi de la transition vers le « super système ».

Mais, la réponse est différente si nous comprenons la conception architecturale comme orchestration entre différents domaines de savoir et de savoir-faire ((Svetoft, et al., 2009), (Callon, 1996)) qui a pour objectif non seulement de concevoir un agencement spatial créatif mais aussi de résoudre les problèmes et les contradictions qui se posent à cet agencement. (Emmitt et al., 2009) Autrement dit, si la théorie de la TRIZ ne propose pas des formes, elle permet d'éliminer les contradictions que pourrait engendrer la forme conçue ou imaginée par l'architecte. Nous pensons que cette compréhension est à la fois plus éthique et plus en rapport avec la réalité. Notre étude empirique nous a montré qu'une réflexion plus approfondie sur le projet architectural est possible à la lumière des principes systémiques et dialectiques, et des concepts fondamentaux de la théorie de la TRIZ. De même, la représentation des éléments principaux de la conception sous forme de contradiction offre un nouveau regard sur le projet. Dans cette perspective, l'ensemble des concepts de solution de la TRIZ peut être considéré comme une bibliothèque structurée des phénomènes qui peut stimuler le répertoire cognitif de l'architecte et inciter le raisonnement analogique. Cette compréhension de la théorie TRIZ est ouverte à la sérendipité et au hasard.

De plus, la base de connaissances de la TRIZ permet d'élargir les frontières des solutions architecturales connues. Elle peut, à ce titre, contribuer aux recherches qui visent à faire tomber les barrières entre la conception architecturale et la conception en ingénierie.

De même, du fait que le modèle de contradiction de la TRIZ est un modèle verbal résultent deux corollaires. Premièrement, ce modèle permet aux différents acteurs du processus de conception de s'exprimer ; deuxièmement, il est plus pertinent d'utiliser ce modèle dans la phase de programmation où la représentation verbale est le moyen principal de la communication, contrairement à la phase de conception dont le vecteur principale des concepts est l'image.

Nous avons également remarqué que la capacité du graphe à saisir des informations spatiales qui sont représentées principalement par des moyens de représentation graphique (plan, esquisse, diagramme, etc.) est limitée. De même, IDM-TRIZ permet de définir différents scénarii pour résoudre la contradiction choisie ; mais, le graphe dans son état actuel ne permet pas d'intégrer le dynamisme de l'évolution de l'espace de problèmes. Autrement dit, il est possible aujourd'hui de définir l'importance des problèmes, mais l'influence attribuée est appliquée d'office à tous les scénarii imaginés, alors qu'elle peut varier en fonction des solutions que chaque scénario propose. Pour utiliser le graphe dans la phase de conception architecturale, il est souhaitable qu'on puisse modifier le poids des problèmes en fonction des solutions qui seront retenues postérieurement dans l'espace de problèmes.

Perspective

Notre recherche suggère quatre champs d'investigation possibles pour les recherches futures sur l'usage de la théorie de la TRIZ en architecture.

1. Le concept de Contradiction de la TRIZ a été étudié dans cette thèse, mais deux autres concepts principaux de la TRIZ devraient être aussi examinés : Quant au concept de Situation spécifique, il semble qu'il est bien en concordance avec l'unicité de tout projet architectural. Mais examiner la pertinence du concept de Lois d'évolution des systèmes techniques exige une étude détaillée pour chaque loi. De même, une évaluation des Principes Inventifs, des Standards Inventifs, et des Méthodes de séparation nous semble nécessaire. Pour montrer comment un concept architectural on peut être analysé à l'aide des concepts de la TRIZ, nous avons modélisé quelque cas (voir Annexe XVII). Mais l'évaluation détaillée de tous les modèles de solution de la TRIZ ne relève pas du cadre de notre étude empirique qui était limitée à un seul cas d'application.

2. La construction d'une base de cas architecturaux afin d'extraire des principes architecturaux facilitant la conception inventive est une piste de recherche intéressante. L'ensemble des outils de la TRIZ est produit par une analyse sur et pour des artefacts techniques. Les modèles de solution de contradictions techniques, qui sont au cœur de la résolution de problèmes dans la TRIZ, sont construits à partir des paramètres (génériques) d'ingénierie, alors que l'architecture intervient sur l'espace et par conséquent les contradictions architecturales contiennent, en outre, des conflits entre des formes. Et la Matrice des contradictions de la TRIZ ne propose pas des concepts de solutions pour des contradictions forme-forme. De plus, comme Alexander l'a déjà montré, les problèmes architecturaux ont aussi pour origine des activités qui ont lieu dans l'espace. Il est donc nécessaire de construire une base de cas architecturaux pour extraire des paramètres, des principes et des concepts de solution propres à l'architecture. Comme Anderson le souligne, les précédents en architecture jouent un rôle important dans la conception au même titre que l'ensemble des connaissances scientifiques obtenues par des hypothèses continuellement testées et enrichies de façon ordonnée (cité par Mallgrave, 2005) La difficulté d'une telle recherche vient du fait qu'en architecture il n'existe pas une base structurée de projets/concepts/œuvres reconnues comme innovants, contrairement aux inventions en ingénierie qui sont collectées, structurées et formalisées par des brevets. Pour cette question nous pensons qu'il existe deux points de départ possibles : les bases de données collectant des projets gagnants aux concours architecturaux et l'ensemble des travaux théoriques d'Alexander, inspirés par une idée analogue à celle de la TRIZ.
3. Une autre perspective concerne les projets architecturaux ayant de thèmes récurrents. Plusieurs recherches montrent que les fonctions architecturales similaires génèrent des programmes et des problèmes similaires. (Fabricio & Melhado, 2009) Par exemple, (van Amstel et al., 2014) montre qu'il y des contradictions similaires à résoudre au cours de la conception des hôpitaux, quel que soit le site ou la taille du projet. La formalisation des problèmes architecturaux récurrents et leurs solutions reconnues à l'aide de l'ontologie de la méthode de la TRIZ peuvent constituer le sujet d'une autre recherche. (Boly et al., 2007) montrent comment la théorie TRIZ peut contribuer aux phases de retour d'expérience.

4. L'étude des phénomènes biologiques pouvant inspirer la conception architecturale est un autre champ pour des recherches prometteuses. Les études sur BioTRIZ (voir II.3.3.1) et une partie des travaux de Vincent qui concerne l'architecture suggèrent des sujets intéressants pour une future recherche sur l'usage des concepts fondamentaux de la TRIZ en architecture.

Les concepts fondamentaux, l'ontologie et le formalisme de la théorie de la TRIZ peuvent contribuer à la formulation, à l'abstraction et à la présentation explicite des connaissances architecturales. Et inversement, les résultats de chacun des champs de recherche évoqués contribuent à l'enrichissement de la base de connaissances et du corpus théorique de la TRIZ.

Bibliographie

Akin, O. (1989). *Psychology of architectural design*. London: Pion.

Akin, Ö., Sen, R., Donia, M., & Zhang, Y. (1995a). SEED-Pro: Computer-Assisted Architectural Programming in SEED. *Journal of Architectural Engineering*, *1*(4), 153–161.

Akin, Ö., Sen, R., Donia, M., & Zhang, Y. (1995b). SEED-Pro: Computer-Assisted Architectural Programming in SEED. *Jourrnal of Architectural Engineering*, *1*(4), 153–161.

Alberti, L. B. (2004). *L'Art d'édifier* (Seuil). Paris.

Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press.

Alexander, C. (1979). *The Timeless Way of Building*. Oxford University Press.

Alexander, C. (2002). *The Nature of Order: The phenomenon of life*. Center for Environmental Structure.

Alexander, C. (2003). *The Nature of Order: An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe, Book 4 - The Luminous Ground*. Berkeley, Calif: Routledge.

Alexander, C. (2005). *A Vision of a Living World: An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe*. Center for Environmental Structure.

Alexander, C. (2006). *The Process of Creating Life: Nature of Order, Book 2: An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe*. Berkeley, Calif: Center for Environmental Structure.

Alexander, C. (2007). Empirical Findings from The Nature of Order. *ENVIRONMENTAL & ARCHITECTURAL PHENOMENOLOGY*, *18*(13).

Alexander, C., & Davis, H. (1981, October 1). Beyond Humanism.

Alexander, C., & Eisenman, P. (1983). Contrasting Concepts of Harmony in Architecture. *Lotus International*, *40*, 60–68.

Alexander, C., Ishikawa, S., & Silverstein, M. (1977). A Pattern languages. *Center for Environmental Structure*.

Alexander, C., & O'Connell, K. A. (n.d.). The Battle for Ordinary Human Existence in Our Time.

Alexander, C. Loué, René. (1971). *De la Synthèse de la forme: essai*. Paris: Dunod.

Alexiou, K., Johnson, J., & Zamenopoulos, T. (2009). *Embracing Complexity in Design*. Routledge.

Allegret, J., Mercier, N., & Zetlaoui-Leger, J. (2005). L'exercice de la programmation architecturale et urbaine en France. RAMAU, Plan Urbanisme Construction et Architecture.

Altshuller. (1984). *Creativity As an Exact Science*. CRC Press.

Altshuller, G. (1977a). *Lois d'Evolution des Systèmes Techniques*. (J. Stein, Trans.) (LPRS). Strasbourg.

Altshuller, G. (1977b). *Processus de Résolution d'un Problème d'Invention: Principaux étapes et mécanismes*. (J. Stein, Trans.) (LPRS). Strasbourg.

Altshuller, G. (2006). Development of TRIZ. In *Inventive Thinking through TRIZ* (pp. 280–306). Springer Berlin Heidelberg.

Altshuller, G. S. (1999). *The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*. Technical Innovation Center, Inc.

Altshuller, G., Shulyak, L., & Rodman, S. (1997). *40 Principles: TRIZ Keys to Innovation*. Technical Innovation Center, Inc.

Altshuller, & Shapiro, R. B. (1956). Psychology of inventive creativity, (6), 37–49.

Ann T. W. Yu, Q. S. (2005). A Value Management Approach to Strategic Briefing: An Exploratory Study. *Architectural Engineering and Design Management*, *2*(4), 245–259.

Arciszewski, T. (1988). ARIZ 77: an innovative design method. *Design Methods and Theories*, *22*(2), 796–820.

Arora, S., & Saxena, s. (2009). An evolutionary architecture : adapted, interactive, and effectively integrated design. In *The 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Quebec City.

Atlan, H. (2009). Complexité des systèmes naturels et sous-détermination des théories : une possible limite de la modélisation. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, *4*(2), 35.

Badke-Schaub, P., Goldschmidt, G., & Meijer, M. (2010). How Does Cognitive Conflict in Design Teams Support the Development of Creative Ideas? *Creativity and Innovation Management*, *19*(2), 119–133.

Barrett, P. S., Hudson, J., & Stanley, C. (1999). Good practice in briefing: the limits of rationality. *Automation in Construction*, *8*(6), 633–642.

Basbous, K. (2005). *Avant l'oeuvre: essai sur l'invention architecturale*. Ed. de l'imprimeur.

Bayazit, N. (2004). Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research. *Design Issues*, *20*(1), 16–29.

Beck, K., & Cunningham, W. (1987). Using pattern languages for object-oriented programs.

Bhatta, S. R., & Goel, A. K. (1997). A functional theory of design patterns. In *IJCAI (1)* (pp. 294–300).

Blanchet, A., & Gotman, A. (2005). *L'entretien* (Armand Colin). A. Colin.

Blyth, A., & Worthington, J. (2010). *Managing the Brief for Better Design*. Taylor & Francis.

Bogatyreva, O., Shillerov, A., & Bogatyrev, N. (2004). Patterns in TRIZ contradiction matrix: integrated and distributed systems. In *Proc. ETRIA World Conference, TRIZ Future* (pp. 35–42).

Bogers, T., van Meel, J. J., & van der Voordt, T. J. M. (2008). Architects about briefing: Recommendations to improve communication between clients and architects. *Facilities*, *26*(3/4), 109–116.

Boly, V., Marcandella, E., & Camargo, M. (2007). Apport de la théorie TRIZ dans les phases de retour d'expérience des projets innovants. *Lois D'évolution Des Systèmes Techniques et Méthodologies de Conception*.

Bonnevide, N., & Guillieux, Y. (2008). Guide de sensibilisation à la Programmation. (J. Cabanieu, Ed.). Arche Sud - Mission Interministérielle pour la Qualité des Constructions Publiques

Bortoft, H. (1996). *The wholeness of nature*. Steiner Books.

Boudon, P. (1971). *Sur l'espace architectural*. Dunod.

Boudon, P. (1992). *Introduction à l'architecturologie*. Dunod.

Boudon, P. (2004a). *Conception*. Paris: Villette.

Boudon, P. (2004b). *Conception*. Paris: Villette.

Boudon, P. (2008). L'insaisissable saisie du langage de la conception. Intelligence de la Complexité.

Bousbaci, R. (2002, December). *Les modèles théoriques en architecture : de l'exaltation du faire, à la réhabilitation de l'agir dans le bâtir* (Thèse (PhD) pour le grade de Philosophie doctor en aménagement,). Université de Montréal.

BPie. (n.d.). Retrieved from http://www.nibs.org/?page=bsa_bpie

Buchanan, R. (1992). Wicked problems in design thinking. *Design Issues*, 5–21.

Burgard, L., Dubois, S., De Guio, R., & Rasovska, I. (2011). Sequential experimentation to perform the Analysis of Initial Situation. In T. V. G. Cascini (Ed.), (pp. 35–46). Dublin, Irlande.

Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H., Sommerlad, P., & Stal, M. (1996). *Pattern-Oriented Software Architecture Volume 1: A System of Patterns* (Volume 1 edition). Chichester ; New York: Wiley.

Caldas, L. (2006). GENE_ARCH: an evolution-based generative design system for sustainable architecture. In *Intelligent Computing in Engineering and Architecture* (pp. 109–118). Springer.

Callon, M. (1996). Le travail de la conception en architecture. *Les Cahiers de La Recherche Architecturale*, *37*.

Campbell, B. (2003). Brainstorming and TRIZ. *The TRIZ Journal*.

CATHÁIN, C. Ó., & MANN, D. (2008). The Integration of External Knowledge into Architectural. *Design Management in the Architectural EngineeriProceedings of the Joint CIB W096 Architectural Management and CIB TG49*.

Catháin, C. Ó., & Mann, D. (2009). Construction Innovation Using TRIZ. *Global Innovation in Construction Conference 2009*.

Cavallucci, D. (2009). World Wide status of TRIZ perceptions and uses; a survey of results. In *Report at TRIZ Future 2009 Conference*.

Cavallucci, D. (2012). TRIZ: Theoretical Background. INSA de Strasbourg, material - Master of Invetive Design.

Cavallucci, D., & Eltzer, T. (2007). Parameter network as a means for driving problem solving process. *International Journal of Computer Applications in Technology*, *30* (1-2), 125–136.

Cavallucci, D., & Eltzer, T. (2011a). Structuring knowledge in inventive design of complex problems. *Procedia Engineering*, *9*, 694–701.

Cavallucci, D., & Eltzer, T. (2011b). Structuring knowledge in inventive design of complex problems. *Procedia Engineering*, *9*, 694–701.

Cavallucci, D., & Khomenko, N. (2006). From TRIZ to OTSM-TRIZ: addressing complexity challenges in inventive design. *International Journal of Product Development*, *4*(1-2), 4–21.

Cavallucci, D., Rousselot, F., & Zanni, C. (2010). Initial situation analysis through problem graph. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, *2*(4), 310–317.

Cavallucci, D., & Weill, R. D. (2001). Integrating Altshuller's development laws for technical systems into the design process. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, *50*(1), 115–120.

Chang, P.-L., Yu, W.-D., Cheng, S.-T., & Lee, S.-M. (2010). Exploring underlying patterns of emergent problem-solving in construction with TRIZ. In *27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*.

Cherry, E. (1999). *Programming for Design: From Theory to Practice*. John Wiley & Sons.

Ching, F. D. K. (1979). *Architecture: Form, Space, and Order*. Van Nostrand Reinhold Co.

Chiu, R.-S., & Cheng, S.-T. (2012). The Application of Innovative Technology for Improvement of Heat Insulation Performance on the Steel Deck Roofs. *Construction Management*.

Choay, F. (1980). *La règle et le modèle: sur la théorie de l'architecture et de l'urbanisme*. Seuil.

Chung, J. K. H., Kumaraswamy, M. M., & Palaneeswaran, E. (2009). Improving megaproject briefing through enhanced collaboration with ICT. *Automation in Construction*, *18*(7), 966–974.

Claeys, D. (2013). *Architecture et complexité: Un modèle systémique du processus de (co)conception qui vise l'architecture*. Presses universitaires de Louvain.

Coleman, N. (2005). *Utopias and Architecture*. Taylor & Francis.

Cooke, J. (1997). A place for the law in architectural studies. *Design Studies*, *18*(1), 101–112.

Coplien, J. O., Schmidt, D. C., & others. (1995). *Pattern languages of program design* (Vol. 58). Addison-Wesley Reading.

Coşkun, K., & Altun, M. C. (2011). Applicability of TRIZ to In-Situ Construction Techniques. *International Proceedings of Economics Development & Research*, *15*.

Craig, S., Harrison, D., Cripps, A., & Knott, D. (2008). BioTRIZ Suggests Radiative Cooling of Buildings Can Be Done Passively by Changing the Structure of Roof Insulation to Let Longwave Infrared Pass. *Journal of Bionic Engineering*, *5*(1), 55–66.

Cross, N. (2004). Expertise in design: an overview. *Design Studies*, *25*(5), 427–441. http://doi.org/10.1016/j.destud.2004.06.002

Dahl, P., Horman, M., Pohlman, T., & Pulaski, M. (2005). Evaluating design-build-operate-maintain delivery as a tool for sustainability. In *Proc., Construction Research Congress* (pp. 20191–24400). ASCE.

Davies, P. (2014). Denise Scott Brown and Robert Venturi. Retrieved April 10, 2015, from http://www.architectural-review.com/reviews/reputations/denise-scott-brown-and-robert-venturi/8659262.article

Davis, G. (1969). The Independent Building Program Consultant.

Davis, G., & Szigeti, F. (1982). Programming, Space Planning, and Office Design. *Environment and Behavior*, *14*(3), 299–317.

Davis, G., & Ventre, F. T. (1990). *Performance of Buildings and Serviceability of Facilities*. ASTM International.

Derand, F. (1743). *L' Architecture des voûtes, ou l'art des traits et coupe des voûtes...par le R. P. François Derand...* André Cailleau.

Deshayes, C. (2012). *Aspects dialogiques de la conception architecturale*. Universidade da Coruña.

Dewulf, G., & van Meel, J. (2004). Sense and nonsense of measuring design quality. *Building Research & Information*, *32*(3), 247–250.

DGUHC. (2000). La programmation des bâtiments public. Rédiger le préprogramme et le programme - Guide. Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement - Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction.

Donia, M. A. (1998). *Computational Modeling of Design Requirements for Buildings*. Citeseer. Retrieved from http://citeseerx.ist.psu.edu

Dorst, K., & Cross, N. (2001). Creativity in the design process: co-evolution of problem–solution. *Design Studies*, *22*(5), 425–437.

Dorst, K., & Dijkhuis, J. (1995). Comparing paradigms for describing design activity. *Design Studies*, *16*(2), 261–274.

Dovey, K. (1990). The pattern language and its enemies. *Design Studies*, *11*(1), 3–9.

Dubois, S. (2004). *Contribution à la formulation des problèmes en conception de systèmes techniques. Etude basée sur la TRIZ*. INSA de Strasbourg.

Dubois, S., Eltzer, T., & De Guio, R. (2009). A dialectical based model coherent with inventive and optimization problems. *Computers in Industry*, *60*(8), 575–583.

Dubois, S., & Gartiser, N. (2005). L'impact du concept de problème sur son processus de résolution. Application à la conception de systèmes techniques. In *6e Congrès international de génie industriel* (p. NA).

Dubois, S., Lutz, P., Rousselot, F., & Vieux, G. (2007). A model for problem representation at various generic levels to assist inventive design. *International Journal of Computer Applications in Technology*, *30*(1-2), 105–112.

Duerk, D. P. (1993). *Architectural Programming: Information Management for Design* (1 edition). Wiley.

Eisenman, P. (2006). *The Formal Basis of Modern Architecture: Dissertation 1963, Facsimile* (1 edition). Baden, Switzerland: Lars Muller.

Emmitt, S., Prins, M., & Otter, A. den. (2009). *Architectural Management: International Research and Practice*. John Wiley & Sons.

Empson, W. (1966). *Seven Types of Ambiguity*. New Directions Publishing.

Erhan, H. I. (2003). *Interactive computational support for modeling and generating building design requirements*. ProQuest. PhD. Thesis Carnegie Mellon University

Fabricio, M., & Melhado, S. (2009). Concurrent Design: A Model for Integrated Product Development. In S. Emmitt, tthijs Prins, & A. den O. E. Director (Eds.), *Architectural Management* (pp. 119–134). Wiley-Blackwell.

Farbstein, J. (1976). Assumptions in environmental programming. In *The behavioral basis of design: Proceedings of the Seventh International Conference of the Environmental Design Research Association, Vancouver, British Columbia, Canada* (Vol. 1, pp. 21–26).

Farel, A. (2008). *Architecture et complexité: le troisième labyrinthe*. Marseille: Éd. Parenthèses.

Farrell, R., & Hooker, C. (2013). Design, science and wicked problems. *Design Studies*, *34*(6), 681–705.

Findeli, A. (1995). Design History and Design Studies: Methodological, Epistemological and Pedagogical Inquiry. *Design Issues*, *11*(1), 43–65.

Findeli, A. (2015). La recherche-projet en design et la question de la question de recherche: essai de clarification conceptuelle. *Sciences Du Design*, *1*(1), 45–57.

Findeli, A., Brouillet, D., Martin, S., Moineau, C., & Tarrago, R. (2008). Research Through Design and Transdisciplinarity: A Tentative Contribution to the Methodology of Design Research. In B. Minder (Ed.), *Focused - Current design research projects and methods* (pp. 67–94). SDN.

Findeli, A., & Coste, A. (2007). De la recherche-création à la recherche-projet : un cadre théorique et méthodologique pour la recherche architecturale. *Lieux Communs*, (10), 139–161.

Friend, J. K., & Hickling, A. (2005). *Planning Under Pressure: The Strategic Choice Approach*. Elsevier/Butterworth Heinemann.

Gadd, K. (2004). TRIZ, Architecture & Engineering - practical assistance for Creative Genius. Retrieved from: http://www.triz-journal.com/triz-architecture-engineering-practical-assistance-creative-genius/

Garcia, M. (2009a). Prologue for a History, Theory and Future of Patterns of Architecture and Spatial Design. *Architectural Design*, *79*(6), 6–17.

Garcia, M. (2009b). *The Patterns of Architecture*. Wiley.

Gartiser, N., & Dubois, S. (2005). Du problème à son processus de résolution: entre positivisme et constructivisme. Application à la conception de systèmes techniques. In *XIVième Conférence Internationale de Management Stratégique (AIMS)* (p. ISSN–1815).

Gholipour, V. (2011). *Éco-conception collaborative de bâtiments durables*. Vandoeuvre-les-Nancy, Thèse de Doctorat, Université de Nancy.

Gholipour, V., Bignon, J.-C., & Morel-Guimaraes, L. (2009). ECO-MODELES: UNE METHODE D'AIDE A L'ECO-CONCEPTION DE BATIMENTS DURABLES.

Goel, V., & Pirolli, P. (1992). The structure of design problem spaces. *Cognitive Science*, *16*(3), 395–429.

Goldschmidt, G. (2001). Visual analogy: A strategy for design reasoning and learning. In *Design knowing and learning: Cognition in design education* (pp. 199–220).

Grabow, S. (1983). *Christopher Alexander: the search for a new paradigm in architecture*. Oriel Press Stocksfield.

Groat, L. N. (1992). Rescuing Architecture from the Cul-de-Sac. *Journal of Architectural Education (1984-)*, *45*(3), 138–146.

Guéna, F., Lecourtois, C., & Collectif. (2012). *Complexité(s) des modèles de l'architecture numérique : Acte du 5eme séminaire de Conception Architecturale Numérique*. Nancy: Presses Universitaires de Nancy.

Guéna, F. (2008). L'informatique a-t-elle transformé la création architecturale. In *Le mensuel de l'université*.
Retrieved from https://dpearea.files.wordpress.com/2013/02/2008-fguena.pdf

Guerriero, A., & Fry, C. (2014). La programmation architecturale au Luxembourg : Enquête et perspectives. In J.-C. Bignon, G. Halin, & S. Kubicki (Eds.), *Interaction(S) des Maquettes Numériques. Actes du Sixième Séminaire de C Onception Architecturale Numer*. Nancy: Presses Universitaires de Nancy.

Hassan, H. C. (2013). A Framework for User Requirement Assessment in Technical Education Facility Planning: A Knowledge Engineering Approach. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *107*, 104–111.

Heath, T. (1984). *Method in Architecture*. John Wiley & Sons.

Heinz, J. L., & Overgaard, F. (2009). FROM PROGRAM TO DESIGN, HOW ARCHITECTS' USE BRIEFING DOCUMENTS. *Nordes*, *0*(2).

Hershberger, R. (1999). *Architectural Programming and Predesign Manager* (1st ed.). McGraw-Hill Professional.

Hobbs, J. (Ed.). (1999). The Canadian Handbook of Practice for Architects. National Practice Program for the Profession of Architecture in Canada.

Ilevbare, I. M., Probert, D., & Phaal, R. (2013). A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. *Technovation*, *33*(2–3), 30–37. 3

Jacobson, M., Silverstein, M., & Winslow, B. (2002). *Patterns of Home: The Ten Essentials of Enduring Design*. Taunton Press.

Johannes, R. (1992a). Architectural design: a systematic approach: part 1. *Design Studies*, *13*(1), 71–86.

Johannes, R. (1992b). Architectural design: a systematic approach: part 2. *Design Studies*, *13*(2), 157–199.

Kalay, Y. E. (2004). *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-aided Design*. MIT Press.

Kalb, J. (2014). LIFE IN DESIGN: CHRISTOPHER ALEXANDER AND THE NATURE OF ORDER. *International Journal of Architectural Research: ArchNet-IJAR*, *8*(2), 94–98.

Kamara, J. M., & Anumba, C. J. (2001). ClientPro: a prototype software for client requirements processing in construction. *Advances in Engineering Software*, *32*(2), 141–158.

Kankey, A., & Ogot, M. (2005). Improving the acoustics in a historic building using axiomatic design and TRIZ. *TRIZ Journal*.

Khomenko, N., & Ashtiani, M. (2007). Classical TRIZ and OTSM as a scientific theoretical background for non-typical problem solving instruments.

Khomenko, N., De Guio, R., Lelait, L., & Kaikov, I. (2007). A framework for OTSM?TRIZ-based computer support to be used in complex problem management. *International Journal of Computer Applications in Technology*, *30*(1), 88–104.

Khomenko, N., & Guio, R. D. (2007). OTSM Network of Problems for representing and analysing problem situations with computer support. In N. León-Rovira (Ed.), *Trends in Computer Aided Innovation* (pp. 77–88). Springer US.

Khomenko, N., & Yoon, S. (2011). OTSM express analysis of an initial situation. In T. V. G. Cascini (Ed.), (pp. 277–288). Dublin, Irlande.

Kiatake, M., & Petreche, J. R. D. (2012). A case study on the application of the theory of inventive problem solving in architecture. *Architectural Engineering and Design Management*, *8*(2), 90–102.

Kimbell, L. (2009). Design practices in design thinking. *European Academy of Management*, 1–24.

Kim, M. J., & Maher, M. L. (2008). The impact of tangible user interfaces on spatial cognition during collaborative design. *Design Studies*, *29*(3), 222–253.

Kirk, S. J., & Spreckelmeyer, K. F. (1988). *Creative design decisions: a systematic approach to problem solving in architecture*. Van Nostrand Reinhold.

Kiviniemi, A. (2005). Requirements Management Interface to Building Product Models.

Kohn, W. (2002). The lost prophet of architecture. *Wilson Quarterly*, *26*(3), 26–34.

Kokotovich, V. (2008). Problem analysis and thinking tools: an empirical study of non-hierarchical mind mapping. *Design Studies*, *29*(1), 49–69.

Kolarevic, B. (2004). *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. Taylor & Francis.

Korianjnova, E. (2009). *Aide au management de l'activité d'innovation par l'approche des réseaux de problèmes. Application au problème d'intégration des services Marketing et R&D.* Strasbourg.

Kowaltowski, D. C. C. K., Bianchi, G., & Paiva, V. T. de. (2010). Methods that may stimulate creativity and their use in architectural design education. *International Journal of Technology and Design Education*, *20*(4), 453–476.

Kubler, G. (1962). *The shape of time: Remarks on the history of things* (Vol. 140). Yale University Press.

Kucharavy, D. (2012). TRIZ: Theoretical Background. INSA de Strasbourg, material - Master of Invetive Design.

Kucharavy, D., & De Guio, R. (2007). Application of S-shaped curves. In *TRIZ-Future Conference 2007: Current Scientific and Industrial Reality* (pp. 81–88).

Kuhn, T. S. (2012). *The Structure of Scientific Revolutions: 50th Anniversary Edition*. University of Chicago Press.

Kumlin, R. R. (1995). *Architectural Programming: Creative Techniques for Design Professionals*. McGraw Hill Professional.

Kunze, D. (1988). Architecture as Reading; Virtuality, Secrecy, Monstrosity. *Journal of Architectural Education*, *41*(4), 28–37.

la Loi MOP. (n.d.). Retrieved from: http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006068913

Larsen, N. M. (2012). *Generative algorithmic techniques for architectural design*. Institut for Arkitektur Department /Department of Architecture.

Laurence, P. L. (2006). Contradictions and Complexities. *Journal of Architectural Education*, *59*(3), 49–60.

Lawson, B. (1994). *Design in mind*. Butterworth Architecture.

Lawson, B. (2012). *What Designers Know*. Routledge.

Lawson, B., & Dorst, K. (2013). *Design Expertise*. Routledge.

Lea, D. (1994). Christopher Alexander: An introduction for object-oriented designers. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, *19*(1), 39–46.

Lee, G., Eastman, C. M., & Zimring, C. (2003). Avoiding design errors: a case study of redesigning an architectural studio. *Design Studies*, *24*(5), 411–435.

Lee, Y.-C., & Deng, Y.-S. (2006). A Design System Integrating TRIZ Method and Case-Based Reasoning Approach. In *Proceedings of the 8th International DDSS Conference* (pp. 387–402).

Lethaby, W. R. (1957). *Form in civilization: collected papers on art and labour*. Oxford University Press.

Libeskind, D. (2009). *Les 17 mots de l'inspiration en architecture par Daniel Libeskind.* Retrieved from: https://www.ted.com/talks/daniel_libeskind_s_17_words_of_architectural_inspiration?language=fr

Liikkanen, L. A., & Perttula, M. (2009). Exploring problem decomposition in conceptual design among novice designers. *Design Studies*, *30*(1), 38–59.

Linde, H., Herr, G., & Rehklau, A. (2006). Hidden pattern of innovation. In *Knowledge Enterprise: Intelligent Strategies in Product Design, Manufacturing, and Management* (pp. 1037–1041). Springer.

Lindgren, M., & Bandhold, H. (2002). *Scenario Planning: The Link Between Future and Strategy*. Palgrave Macmillan.

Liu, Y.-C., Chakrabarti, A., & Bligh, T. (2003). Towards an "ideal"approach for concept generation. *Design Studies*, *24*(4), 341–355.

Luo, X., Shen, G. Q., Fan, S., & Xue, X. (2011). A group decision support system for implementing value management methodology in construction briefing. *International Journal of Project Management*, *29*(8), 1003–1017.

Luo, X., & Shen, Q. (2008). A computer-aided FPS-oriented approach for construction briefing. *Tsinghua Science and Technology*, *13*(S1), 292–297.

Maizzaro. (1998). Relevance: The whole history - Mizzaro - 1998 - Journal of the American Society for Information Science.

Mallgrave, H. F. (2005). *Modern Architectural Theory: A Historical Survey, 1673–1968*. Cambridge University Press.

MANGEAT, V. (2004). New Modeling, Nouvelle manière de penser l'espace. In Y. Weinand (Ed.), *New modeling*. PPUR presses polytechniques.

Mann, D., & Catháin, C. Ó. (2005). Using TRIZ in Architecture: First Steps. *The Triz Journal*. Retrieved from http://www.triz-journal.com/using-triz-architecture-first-steps/

Mann, D., & Cathain, C. O. (n.d.). Systematic Innovation Methods For Architects. Retrieved from: http://www.systematic-innovation.com/Articles/99,%2000,%2001/June01-Systematic%20Innovation%20Methods%20For%20Architects.pdf

Mann, D., & Catháin, Ó. (2001). 40 inventive (architecture) principles with examples. *The TRIZ Journal*.

Mann, D. L., & Catháin, C. C. Ó. (2001). Computer-based TRIZ—Systematic Innovation Methods for Architecture. In *Computer Aided Architectural Design Futures 2001* (pp. 561–575). Springer.

MAUGER, C. (2014). A DESIGN ARTIFACT FOR FUNCTIONAL ASSESSMENT OF CONSTRUCTION PROJECTS.

Mauger, C., & Kubicki, S. (2013). A Conceptual Model for Building Requirements Processing. *Proc. of the 11th IPGRC, University of Salford, UK*, 318–330.

MAUGER, C., & Kubicki, S. (2014). Intégration de la notion de Service dans un processus de modélisation adapté à la programmation architecturale. In J.-C. Bignon, G. Halin, & S. Kubicki (Eds.), *Interaction(S) des Maquettes Numériques. Actes du Sixième Séminaire de C Onception Architecturale Numer*. Nancy: Presses Universitaires de Nancy.

Mehaffy, M. (2009). Christopher Alexander: 2009 Vincent Scully Prize recipient [National Building Museum]. Retrieved from http://www.nbm.org/about-us/national-building-museum-online/alexander-mehaffy-interview.html

Meyer, A. (2008). *L'Architecture de 1900 a nos jours*. Basel etc.: Birkhäuser.

Mirakyan, A., & De Guio, R. (2013). Integrated energy planning in cities and territories: a review of methods and tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *22*, 289–297.

Mitcham, C. (1994). *Thinking Through Technology: The Path Between Engineering and Philosophy*. University of Chicago Press.

Moigne, J.-L. L. (1994). *La théorie du système général: théorie de la modélisation*. jeanlouis le moigne-ae mcx.

Najari, A., Barth, M., & Sonntag, M. (2014a). A novel approach to Architectural Problem Space Framing using TRIZ-based Contradiction Approach. *TRIZ FUTURE CONFERENCE*. Procedia CIRP TFC (2014), Elsevier.

Najari, A., Barth, M., & Sonntag, M. (2014b). Contribution de la notion de Contradiction à la Stratégie Conceptuelle pour la phase amont de la Conception Architecturale. In J.-C. Bignon, G. Halin, & S. Kubicki (Eds.), *Interaction(S) des Maquettes Numériques. Actes du Sixième Séminaire de C Onception Architecturale Numer*. Nancy: Presses Universitaires de Nancy.

Najari, A., Barth, M., Sonntag, M., & Dubois, S. (2015). From Altshuller to Alexander: Towards a bridge between architects and engineers. In *TRIZ FUTURE CONFERENCE,* Procedia CIRP TFC (2014), Elsevier.

Najari, A., & Rabar Behbahani, S. (2010). Modèle et Concept Architectural. In *Espaces Collaboratifs*. Marseille: ENSA-Marseille.

Nazidizajia, S., Toméa, A., & Regateirob, F. (2015). Towards a TRIZ based and CK validated creative approach in architectural design. Retrieved from http://www.researchgate.net

Nazidizaji, S., Tomé, A., & Regateiro, F. (2014). Parameters and Contradictions in Indoor Accessibility Problems. In *TRIZ future conference, Global innovation convention 2014*.

Nouvel, P. (2002). *Enquête sur le concept de modèle*. Presses universitaires de France.

Ohresser-Oppenhauser, C. (2010, January 1). *La conception préliminaire d'aménagement portuaire en milieux écologiquement sensibles*. Thèse de Doctorat, Université de Strasbourg.

O'Reilly, J. J. n. (1987). *Better Briefing Means Better Buildings*. Building Research Station, Building Research Establishment, Department of the Environment.

Oxman, R. (1986). Towards a new pedagogy. *Journal of Architectural Education*, *39*(4), 22–28.

Ozkaya, I., & Akin, Ö. (2006). Requirement-driven design: assistance for information traceability in design computing. *Design Studies*, *27*(3), 381–398.

Ozkaya, I., & Akin, Ö. (2007). Tool support for computer-aided requirement traceability in architectural design: The case of DesignTrack. *Automation in Construction*, *16*(5), 674–684.

Padmanabhan, K. K. (2013). Study on increasing wind power in buildings using TRIZ Tool in urban areas. *Energy and Buildings*, *61*, 344–348.

Palmer, M. A. (1981). *The Architect's Guide to Facility Programming*. The Institute.

Pelletier, L., & Pérez-Gómez, A. (1994). *Architecture, Ethics, and Technology*. McGill-Queen's Press - MQUP.

Pena, W. M., & Caudill. (1959). *Architectural Analysis -- Prelude to Good Design*.

Peña, W. M., & Parshall, S. A. (2001). *Problem Seeking: An Architectural Programming Primer*. John Wiley & Sons.

Pérez-Gómez, A. (1987). *L'architecture et la crise de la science moderne*. Editions Mardaga.

Perry, K. T. (2013). A forgotten book? how a 36-year-old book influenced green design. *Journal of Green Building*, *8*(2), 44–53.

Picon, A. (1992). *L'Invention de l'ingénieur moderne: L'école des ponts et chaussées : 17411851*. A.N.R.T.

Picon, A. (n.d.). Architecture, sciences et techniques - ARCHITECTURE. Encyclopédie Universalis

Pontikis, K. (2010). Teaching Christopher Alexander's Theoretical Framework in a Capstone Interior Design Studio. *Design Principles & Practice: An International Journal*, *4*(3).

Preiser, W. (2015). *Professional Practice in Facility Programming (Routledge Revivals)*. Routledge.

Preiser, W. F. E. (1985). *Programming the built environment* (Van Nostrand Reinhold). New York.

Prince-Ramus, J. (2006). *Behind the design of Seattle's library*. Retrieved from http://www.ted.com/talks/joshua_prince_ramus_on_seattle_s_library

Prince-Ramus, J. (2009). *Building a theater that remakes itself*. Retrieved from https://www.ted.com/talks/joshua_prince_ramus_building_a_theater_that_remakes_itself

Prost, R. (1995). *Concevoir, inventer, créer: réflexions sur les pratiques*. Harmattan.

Quillien, J. (2007). Grasping the Ineffable: From Pattern to Sequences, French version: Saisir L'Insaisissable: de Patterns aux Séquences dans l'Œuvre de Christopher Alexander. *ENVIRONMENTAL & ARCHITECTURAL PHENOMENOLOGY*, *18*.

Quillien, J. (2008). SAISIR L'INSAISISSABLE : Dans le sillage de Christopher ALEXANDER. *Intelligence de La Complexité*. Retrieved from http://www.intelligence-complexite.org/fileadmin/docs/conseilscient/0701quillien.pdf

Rantanen, K. (2005a). Homes for Strong Families, Children, Seniors and All Others. How Universal Design, Design for All and Forty Principles of TRIZ Enforce Each Other. *TRIZ Journal, May*.

Rantanen, K. (2005b). Transfer Ready Ideas from Outside to Home-building. TRIZ Helps to Find Solutions from Other Industries. *TRIZ Journal.*

Renaud, J., Houssin, R., Coulibaly, A., Cavallucci, D., & Rousselot, F. (2014). TRIZ theory and case based reasoning: Synergies and oppositions. In *Innovative Design and Manufacturing (ICIDM), Proceedings of the 2014 International Conference on* (pp. 187–192).

Rittel, H., & Noble, D. (1989). Issue-based information systems for design. *University of California at Berkeley Working Paper*, *492*.

Rittel, H. W., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, *4*(2), 155–169.

Rizal, S., Emmitt, S., Prins, M., & AD den Otter. (2009). Collaborative architectural design management. In *Architectural Management: International Research and Practice* (Wiley:).

Robinson, J. W., & Weeks, J. S. (1983). Programming as Design. *JAE*, *37*(2), 5.

Rowan, J. (2001). *Ordinary Ecstasy: The Dialectics of Humanistic Psychology*. Psychology Press.

Ryd, N. (2004). The design brief as carrier of client information during the construction process. *Design Studies*, *25*(3), 231–249.

Salamatov, Y. (1996). *Lois d'Evolution des Systèmes Techniques (Fondaments de la Théory d'2volution des Systèmes Technqiues*. (J. Stein, Trans.) (LPRS). Strasbourg.

Salamatov, Y. (1999). *Triz: the Right Solution at the Right Time: A Guide to Innovative Problem Solving*. Hattem, Netherlands: Insytec BV.

Salingaros, N. (2002). Some Notes on Christopher Alexander. *Retrieved April*, *15*. Retrieved from http://www.planospara.com/planos4/christopher-alexander-8796.doc

Salingaros, N. A., & Mehaffy, M. W. (2006). *A Theory of Architecture*. UMBAU-VERLAG Harald Püschel.

Sanchez-Palencia, E. (2012). *Promenade dialectique dans les sciences*. Editions Hermann.

Sanoff, H. (1977). *Methods of Architectural Programming*. Dowden, Hutchinson & Ross.

Sanoff, H. (1989). Facility Programming. In E. H. Zube & G. T. Moore (Eds.), *Advance in Environment, Behavior, and Design* (pp. 239–286). Springer US.

Saunders, W. S. (2002). "Book Reviews: A Pattern Language." *Harvard Design Magazine*, (16).

Savransky, S. D. (2000). *Engineering of creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*. CRC Press.

Schön, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic Books.

Seamon, D. (2007). Christopher Alexander and a Phenomenology of Wholeness. In *Annual Meeting of the Environmental Design Research Association (EDRA), Sacramento, CA*.

Shaw, D. (2002). *Pattern Language for Community Self-made Design* (Project report). Retrieved from http://faculty.washington.edu/jhou/503_02.htm

Shen, Q., Li, H., Chung, J., & Hui, P. (2004). A framework for identification and representation of client requirements in the briefing process. *Construction Management and Economics*, *22*(2), 213–221.

Simondon, G. (2014). *Sur la technique (1953-1983)*. Presses universitaires de France.

Simon, H. A. (1981). *La Science des systèmes: science de l'artificiel*. EPI.

Simon, H. A., & Le Moigne, J. L. (1991). *Sciences des systèmes: sciences de l'artificiel*. Paris: Dunod.

Siza, A. (2013). *El Croquis 168/169 - Alvaro Siza*. Madrid: El Croquis.

Smith, J. (2005). An Approach to Developing a Performance Brief at the Project Inception Stage. *Architectural Engineering and Design Management*, *1*(1), 3–20.

Smith, J., & Love, P. E. D. (2000). The Client Briefing Problem: A Method for Assessing the Strategic Needs of Project Stakeholders.

Soo Meng, J. C. (2009). Donald Schön, Herbert Simon and The Sciences of the Artificial. *Design Studies*, *30*(1), 60–68.

Souchkov, V., & Mars, N. (1998). Knowledge-based support for innovative design. *University of Twente, The Netherlands*.

Souili, A., & Cavallucci, D. (2013). Toward an automatic extraction of IDM concepts from patents. In *CIRP Design 2012* (pp. 115–124). Springer.

Sunguroğlu Hensel, D., & Vincent, J. F. V. (2015). Evolutionary inventive problem-solving in biology and architecture: ArchiTRIZ and Material-Ontology. *Intelligent Buildings International*, (ahead-of-print), 1–20.

Svetoft, I., Emmitt, S., Prins, M., & AD den Otter. (2009). The architect's role. In *Architectural Management: International Research and Practice* (Wiley:).

SYPAA. (n.d.). Formations en programmation architecturale ou urbaine | SYPAA. Retrieved September 6, 2015, from http://www.sypaa.org/formations-en-programmation-architecturale-ou-urbaine.html

Terninko, J., Zusman, A., & Zlotin, B. (1998). *Systematic innovation: an introduction to TRIZ (theory of inventive problem solving)*. CRC press.

Terrin, J.-J. (2009). *Conception collaborative pour innover en architecture: processus, méthodes, outils*. Paris: l'Harmattan.

Tschumi, B. (1996). *Architecture and Disjunction*. MIT Press.

Turner, T. (1996). *City as Landscape: A Post-postmodern View of Design and Planning*. Taylor & Francis.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). *Product Design and Development*. McGraw-Hill.

van Amstel, F. M., Zerjav, V., Hartmann, T., van der Voort, M. C., & Dewulf, G. P. (2014). Contradictions in the design space. Design Research Society (DRS) Conference 2014 – Umeä, Delft Universuty.

Van Oudenallen, H. (1985). Review. *Journal of Architectural Education (1984-)*, *38*(3), 32. http://doi.org/10.2307/1424882

Van Welie, M., & Van der Veer, G. C. (2003). Pattern languages in interaction design: Structure and organization. In *Proceedings of interact* (Vol. 3, pp. 1–5).

Venturi, R. (1971). *De l'ambiguïté en architecture* (Dunod).

Venturi, R. (1977). *Complexity and Contradiction in Architecture*. The Museum of Modern Art.

Venturi, R. (2008). *Context in Architectural*. (A. Gleiniger, Ed.) (1 edition). Basel ; Boston: Birkhäuser Architecture.

Venturi, R., Brown, D. S., & Izenour, S. (1972). *Learning from Las Vegas* (Vol. 102). MIT press Cambridge, MA.

Venturi, R., & Scott Brown, D. (2011, April 25). Interview: Robert Venturi & Denise Scott Brown, by Andrea Tamas. Retrieved from:

http://www.archdaily.com/130389/interview-robert-venturi-denise-scott-brown-by-andrea-tamas/

Vidal, R. V. V. (2006). *Creative and Participative Problem Solving-The Art and the Science: e-book*. IMM-DTU.

Vincent, J. (2009). Biomimetic Patterns in Architectural Design. *Architectural Design*, *79*(6), 74–81.

Vincent, J. F., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., & Pahl, A.-K. (2006). Biomimetics: its practice and theory. *Journal of the Royal Society Interface*, *3*(9), 471–482.

Vincent, J. F., & Mann, D. L. (2002). Systematic technology transfer from biology to engineering. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *360*(1791), 159–173.

Vincent, J. F. V. (2014). Biomimetics in architectural design. *Intelligent Buildings International*, *0*(0), 1–12.

Viollet-le-Duc, E. E. (1863). *Entretiens sur l'architecture: Atlas*. A. Morel et cie.

Visser, W. (2006a). Designing as Construction of Representations: A Dynamic Viewpoint in Cognitive Design Research. *Human–Computer Interaction*, *21*(1), 103–152.

Visser, W. (2006b). *The Cognitive Artifacts of Designing*. Taylor & Francis.

Wade, J. W. (1977). *Architecture, problems, and purposes: architectural design as a basic problem-solving process*. Wiley.

Yang, M., & Guo, M. (2011). Application and analysis of TRIZ in man-made environment. In *2011 IEEE 18Th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IE EM)* (Vol. Part 1, pp. 52–54).

Yu, A. T. W., Shen, Q., Kelly, J., & Hunter, K. (2007). An empirical study of the variables affecting construction project briefing/architectural programming. *International Journal of Project Management*, *25*(2), 198–212.

Zanni-Merk, C., Cavallucci, D., & Rousselot, F. (2011). Use of formal ontologies as a foundation for inventive design studies. *Computers in Industry*, *62*(3), 323–336.

Zetlaoui-Léger, J. (2009a). La programmation architecturale et urbaine : émergence et évolutions d'une fonction. *Éditions Du Patrimoine*, (24/25), 143–158.

Zetlaoui-Léger, J. (2009b). La programmation : chaînon manquant de l'urbanisme de projet ? *Éditions Du Patrimoine*, (6), 7–9.

Zetlaoui-Léger, J. (2009c). L'exercice de la programmation architecturale et urbaine en France. In V. Biau & G. Tapie (Eds.), *La fabrication de la ville : Métiers et organisations*. Marseille: Parenthèses Editions.

Annexes

Annexe I- La Loi MOP

Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée.

Version consolidée au 13 septembre 2015

Article 1 En savoir plus sur cet article...

Modifié par LOI n°2009-323 du 25 mars 2009 - art. 111

Les dispositions de la présente loi sont applicables à la réalisation de tous ouvrages de bâtiment ou d'infrastructure ainsi qu'aux équipements industriels destinés à leur exploitation dont les maîtres d'ouvrage sont :

1° L'Etat et ses établissements publics ;

2° Les collectivités territoriales, leurs établissements publics, les établissements publics d'aménagement de ville nouvelle créés en application de l'article L. 321-1 du code de l'urbanisme, leurs groupements ainsi que les syndicats mixtes visés à l'article L. 166-1 du code des communes ;

3° Les organismes privés mentionnés à l'article L. 124-4 du code de la sécurité sociale, ainsi que leurs unions ou fédérations ;

4° Les organismes privés d'habitations à loyer modéré, mentionnés à l'article L. 411-2 du code de la construction et de l'habitation, ainsi que les sociétés d'économie mixte, pour les logements à usage locatifs aidés par l'Etat et réalisés par ces organismes et sociétés.

Toutefois, les dispositions de la présente loi ne sont pas applicables :

-aux ouvrages de bâtiment ou d'infrastructure destinés à une activité industrielle dont la conception est déterminée par le processus d'exploitation. Un décret en Conseil d'Etat détermine les catégories d'ouvrages mentionnés au présent alinéa ;

-aux ouvrages d'infrastructure réalisés dans le cadre d'une zone d'aménagement concerté ou d'un lotissement au sens du titre premier du livre III du code de l'urbanisme ;

-aux ouvrages de bâtiment acquis par les organismes énumérés à l'article L. 411-2 du code de la construction et de l'habitation et les sociétés d'économie mixte par un contrat de vente d'immeuble à construire prévu par les articles 1601-1, 1601-2 et 1601-3 du code civil.

Lorsqu'ils sont destinés à s'intégrer à des constructions relevant d'autres régimes juridiques, les ouvrages édifiés par les organismes énumérés à l'article L. 411-2 du code de la construction et de l'habitation peuvent être dispensés de tout ou partie de l'application de la présente loi. Cette dispense est accordée par décision du représentant de l'Etat dans le département.

TITRE 1er : De la maîtrise d'ouvrage.

Article 2 En savoir plus sur cet article...

Modifié par Ordonnance n°2004-566 du 17 juin 2004 - art. 1 JORF 19 juin 2004

I. Le maître de l'ouvrage est la personne morale, mentionnée à l'article premier, pour laquelle l'ouvrage est construit. Responsable principal de l'ouvrage, il remplit dans ce rôle une fonction d'intérêt général dont il ne peut se démettre.

Il lui appartient, après s'être assuré de la faisabilité et de l'opportunité de l'opération envisagée, d'en déterminer la localisation, d'en définir le programme, d'en arrêter l'enveloppe financière prévisionnelle, d'en assurer le financement, de choisir le processus selon lequel l'ouvrage sera réalisé et de conclure, avec les maîtres d'œuvre et entrepreneurs qu'il choisit, les contrats ayant pour objet les études et l'exécution des travaux.

Lorsqu'une telle procédure n'est pas déjà prévue par d'autres dispositions législatives ou réglementaires, il appartient au maître de l'ouvrage de déterminer, eu égard à la nature de l'ouvrage et aux personnes concernées, les modalités de consultation qui lui paraissent nécessaires.

Le maître de l'ouvrage définit dans le programme les objectifs de l'opération et les besoins qu'elle doit satisfaire ainsi que les contraintes et exigences de qualité sociale, urbanistique, architecturale, fonctionnelle, technique et économique, d'insertion dans le paysage et de protection de l'environnement, relatives à la réalisation et à l'utilisation de l'ouvrage.

Le programme et l'enveloppe financière prévisionnelle, définis avant tout commencement des avant-projets, pourront toutefois être précisés par le maître de l'ouvrage avant tout commencement des études de projet. Lorsque le maître de l'ouvrage décide de réutiliser ou de réhabiliter un ouvrage existant, l'élaboration du programme et la détermination de l'enveloppe financière prévisionnelle peuvent se poursuivre pendant les études d'avant-

projets. Il en est de même pour la réalisation d'ouvrages neufs complexes d'infrastructure et de bâtiment, sous réserve que le maître de l'ouvrage l'ait annoncé dès le lancement des consultations. Les conséquences de l'évolution du programme et de l'enveloppe financière prévisionnelle sont prises en compte par voie d'avenant.

Le maître de l'ouvrage peut confier les études nécessaires à l'élaboration du programme et à la détermination de l'enveloppe financière prévisionnelle à une personne publique ou privée.

II. - Lorsque la réalisation, la réutilisation ou la réhabilitation d'un ouvrage ou d'un ensemble d'ouvrages relèvent simultanément de la compétence de plusieurs maîtres d'ouvrage, ces derniers peuvent désigner, par convention, celui d'entre eux qui assurera la maîtrise d'ouvrage de l'opération. Cette convention précise les conditions d'organisation de la maîtrise d'ouvrage exercée et en fixe le terme.

III. - Lorsque l'Etat confie à l'un de ses établissements publics la réalisation d'ouvrages ou de programmes d'investissement, il peut décider que cet établissement exercera la totalité des attributions de la maîtrise d'ouvrage.

Article 3 En savoir plus sur cet article...

Dans la limite du programme et de l'enveloppe financière prévisionnelle qu'il a arrêtés, le maître de l'ouvrage peut confier à un mandataire, dans les conditions définies par la convention mentionnée à l'article 5, l'exercice, en son nom et pour son compte, de tout ou partie des attributions suivantes de la maîtrise d'ouvrage :

1° Définition des conditions administratives et techniques selon lesquelles l'ouvrage sera étudié et exécuté ;

2° Préparation du choix du maître d'œuvre, signature du contrat de maîtrise d'œuvre, après approbation du choix du maître d'œuvre par le maître de l'ouvrage, et gestion du contrat de maîtrise d'œuvre ;

3° Approbation des avant-projets et accord sur le projet ;

4° Préparation du choix de l'entrepreneur, signature du contrat de travaux, après approbation du choix de l'entrepreneur par le maître de l'ouvrage, et gestion du contrat de travaux ;

5° Versement de la rémunération de la mission de maîtrise d'œuvre et des travaux ;

6° Réception de l'ouvrage, et l'accomplissement de tous actes afférents aux attributions mentionnées ci-dessus.

Le mandataire n'est tenu envers le maître de l'ouvrage que de la bonne exécution des attributions dont il a personnellement été chargé par celui-ci.

Le mandataire représente le maître de l'ouvrage à l'égard des tiers dans l'exercice des attributions qui lui ont été confiées jusqu'à ce que le maître de l'ouvrage ait constaté l'achèvement de sa mission dans les conditions définies par la convention mentionnée à l'article 5. Il peut agir en justice.

Article 4 En savoir plus sur cet article...

Modifié par Ordonnance n°2004-566 du 17 juin 2004 - art. 2 JORF 19 juin 2004

I. - Le mandat prévu au présent titre, exercé par une personne publique ou privée, est incompatible avec toute mission de maîtrise d'œuvre, de réalisation de travaux ou de contrôle technique portant sur le ou les ouvrages auxquels se rapporte le mandat, exercée par cette personne directement ou par une entreprise liée.

Par entreprise liée au sens de ces dispositions, on entend toute entreprise sur laquelle le mandataire peut exercer, directement ou indirectement, une influence dominante, ou toute entreprise qui peut exercer une influence dominante sur le mandataire ou toute entreprise qui, comme le mandataire, est soumise à l'influence dominante d'une autre entreprise du fait de la propriété, de la participation financière ou des règles qui la régissent. L'influence dominante est présumée lorsqu'une entreprise, directement ou indirectement, à l'égard d'une autre entreprise détient la majorité du capital souscrit de l'entreprise ou dispose de la majorité des voix attachées aux parts émises par l'entreprise ou peut désigner plus de la moitié des membres de l'organe d'administration, de direction ou de surveillance de l'entreprise.

Ces dispositions ne sont pas applicables lorsque le maître de l'ouvrage ne peut confier le mandat qu'à une personne désignée par la loi.

II. - Le mandataire est soumis à l'obligation d'exécution personnelle du contrat de mandat.

III. - Le mandataire est soumis aux dispositions de la présente loi dans l'exercice des attributions qui lui sont confiées par le maître de l'ouvrage, en application de l'article 3.

IV. - Les règles de passation et d'exécution des contrats signés par le mandataire sont celles applicables au maître de l'ouvrage, sous réserve d'adaptations éventuelles prévues par décret pour tenir compte de l'intervention du mandataire.

Article 5 En savoir plus sur cet article...

Modifié par Ordonnance n°2004-566 du 17 juin 2004 - art. 3 JORF 19 juin 2004

Les rapports entre le maître de l'ouvrage et le mandataire sont définis par un contrat écrit qui prévoit, à peine de nullité :

a) L'ouvrage qui fait l'objet du contrat, les attributions confiées au mandataire, les conditions dans lesquelles le maître de l'ouvrage constate l'achèvement de la mission du mandataire, les modalités de la rémunération de ce dernier, les pénalités qui lui sont applicables en cas de méconnaissance de ses obligations et les conditions dans lesquelles le contrat peut être résilié ;

b) Le mode de financement de l'ouvrage ainsi que les conditions dans lesquelles le maître de l'ouvrage fera l'avance de fonds nécessaires à l'accomplissement du contrat ou remboursera les dépenses exposées pour son compte et préalablement définies ;

c) Les modalités du contrôle technique, financier et comptable exercé par le maître de l'ouvrage aux différentes phases de l'opération ;

d) Les conditions dans lesquelles l'approbation des avant-projets et la réception de l'ouvrage sont subordonnées à l'accord préalable du maître de l'ouvrage ;

e) Les conditions dans lesquelles le mandataire peut agir en justice pour le compte du maître de l'ouvrage.

Article 6 En savoir plus sur cet article...

Modifié par Ordonnance n°2004-566 du 17 juin 2004 - art. 4 JORF 19 juin 2004

I. - Le maître de l'ouvrage peut recourir à l'intervention d'un conducteur d'opération pour une assistance générale à caractère administratif, financier et technique.

II. - La mission de conduite d'opération exercée par une personne publique ou privée est incompatible avec toute mission de maîtrise d'œuvre, de réalisation de travaux ou de contrôle technique portant sur le ou les mêmes ouvrages, exercée par cette personne directement ou par une entreprise liée au sens de l'article 4 de la présente loi.

III. - La mission de conduite d'opération fait l'objet d'un contrat écrit.

TITRE II : De la maîtrise d'œuvre.

Article 7 En savoir plus sur cet article...

La mission de maîtrise d'œuvre que le maître de l'ouvrage peut confier à une personne de droit privé ou à un groupement de personnes de droit privé doit permettre d'apporter une réponse architecturale, technique et économique au programme mentionné à l'article 2.

Pour la réalisation d'un ouvrage, la mission de maîtrise d'œuvre est distincte de celle d'entrepreneur.

Le maître de l'ouvrage peut confier au maître d'œuvre tout ou partie des éléments de conception et d'assistance suivants :

1° Les études d'esquisse ;

2° Les études d'avant-projets ;

3° Les études de projet ;

4° L'assistance apportée au maître de l'ouvrage pour la passation du contrat de travaux ;

5° Les études d'exécution ou l'examen de la conformité au projet et le visa de celles qui ont été faites par l'entrepreneur ;

6° La direction de l'exécution du contrat de travaux ;

7° L'ordonnancement, le pilotage et la coordination du chantier ;

8° L'assistance apportée au maître de l'ouvrage lors des opérations de réception et pendant la période de garantie de parfait achèvement.

Toutefois, pour les ouvrages de bâtiment, une mission de base fait l'objet d'un contrat unique. Le contenu de cette mission de base, fixé par catégories d'ouvrages conformément à l'article 10 ci-après, doit permettre :

-au maître d'œuvre, de réaliser la synthèse architecturale des objectifs et des contraintes du programme, et de s'assurer du respect, lors de l'exécution de l'ouvrage, des études qu'il a effectuées ;

-au maître de l'ouvrage, de s'assurer de la qualité de l'ouvrage et du respect du programme et de procéder à la consultation des entrepreneurs, notamment par lots séparés, et à la désignation du titulaire du contrat de travaux.

Article 8 **En savoir plus sur cet article...**

Pour les ouvrages de bâtiment, le contenu de la mission de base, fixé conformément à l'article 10 ci-après, peut varier en fonction des différents modes de consultation des entrepreneurs.

Article 9 **En savoir plus sur cet article...**

La mission de maîtrise d'œuvre donne lieu à une rémunération forfaitaire fixée contractuellement. Le montant de cette rémunération tient compte de l'étendue de la mission, de son degré de complexité et du coût prévisionnel des travaux.

Article 10 **En savoir plus sur cet article...**

Modifié par Loi 88-1090 1988-12-01 art. 1 III, IV jorf 3 décembre 1988

Des décrets en Conseil d'Etat fixent, en distinguant selon qu'il s'agit d'opérations de construction neuve ou d'opérations de réutilisation et de réhabilitation et, le cas échéant, selon les catégories d'ouvrages et les maîtres d'ouvrages :

1° Le contenu détaillé des éléments de mission de maîtrise d'œuvre ainsi que le contenu détaillé des éléments de mission de maîtrise d'œuvre spécifiques, lorsque les méthodes ou techniques de réalisation ou les produits industriels à mettre en œuvre impliquent l'intervention, dès l'établissement des avant-projets, de l'entrepreneur ou du fournisseur de produits industriels ;

2° Le contenu de la mission de base pour les ouvrages de bâtiment ;

3° Les conditions selon lesquelles les parties déterminent la rémunération prévue à l'article 9 et précisent les conséquences de la méconnaissance par le maître d'œuvre des engagements souscrits sur un coût prévisionnel des travaux.

Article 11 **En savoir plus sur cet article...**

Modifié par Loi 88-1090 1988-12-01 art. 1 V jorf 3 décembre 1988

Les décrets prévus à l'article 10 fixent également :

a) Les modalités d'organisation des concours d'architecture et d'ingénierie qui ne sont pas régis par les dispositions du code des marchés publics ;

b) Les conditions d'indemnisation de tout concurrent ayant remis une proposition conforme au règlement d'un concours d'architecture et d'ingénierie.

Article 11-1 En savoir plus sur cet article...

Créé par Loi n°2004-1343 du 9 décembre 2004 - art. 9 (V) JORF 10 décembre 2004

La présente loi n'est pas applicable aux opérations d'entretien, de réparation ou de restauration effectuées sur des immeubles classés en application de la section 1 du chapitre Ier du titre II du livre VI du code du patrimoine.

Article 12 (abrogé) En savoir plus sur cet article...

Abrogé par Loi 88-1090 1988-12-01 art. 1 VI jorf 3 décembre 1988

Article 13 (abrogé) En savoir plus sur cet article...

Abrogé par Loi 88-1090 1988-12-01 art. 1 VI jorf 3 décembre 1988

Article 14 (abrogé) En savoir plus sur cet article...

Abrogé par Loi 88-1090 1988-12-01 art. 1 VI jorf 3 décembre 1988

Article 15 (abrogé) En savoir plus sur cet article...

Abrogé par Loi 88-1090 1988-12-01 art. 1 VI jorf 3 décembre 1988

Article 16 (abrogé) En savoir plus sur cet article...

Abrogé par Loi 88-1090 1988-12-01 art. 1 VI jorf 3 décembre 1988

TITRE III : Dispositions diverses et transitoires.

Article 17 En savoir plus sur cet article...

Les règles de passation des contrats ayant pour objet l'exécution d'une mission de maîtrise d'œuvre et, notamment, les modalités de choix du maître d'œuvre, sont :

- si le contrat est passé par une société d'économie mixte mentionnée à l'article premier lorsqu'elle réalise des logements aidés par l'Etat, les règles prévues pour les sociétés anonymes et les sociétés coopératives d'habitations à loyer modéré ;

- si le contrat est passé par un établissement public d'aménagement de ville nouvelle créé en application de l'article L. 321-1 du code de l'urbanisme lorsqu'il n'intervient pas en qualité de mandataire au sens de l'article 3 de la présente loi, les règles applicables aux collectivités locales et à leurs établissements publics.

Article 18 En savoir plus sur cet article...

Modifié par LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 - art. 74

I-Nonobstant les dispositions du titre II de la présente loi, le maître de l'ouvrage peut confier par contrat à un groupement de personnes de droit privé ou, pour les seuls ouvrages d'infrastructure, à une personne de droit privé, une mission portant à la fois sur l'établissement des études et l'exécution des travaux, lorsque des motifs d'ordre technique ou d'engagement contractuel sur un niveau d'amélioration de l'efficacité énergétique rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études de l'ouvrage. Un décret précise les conditions d'application du présent alinéa en modifiant, en tant que de besoin, pour les personnes publiques régies par le code des marchés publics, les dispositions de ce code.

II-Un décret fixe les conditions dans lesquelles le maître de l'ouvrage peut adapter les dispositions découlant des articles 7, 8, 10 et 11 inclus lorsqu'il confie à des personnes de droit privé des missions portant sur des ouvrages réalisé à titre de recherche, d'essais ou d'expérimentation.

Article 19 En savoir plus sur cet article...

La présente loi ne fait pas obstacle à l'application des dispositions de l'article 97 de la loi n° 82-213 du 2 mars 1982 relative aux droits et libertés des communes, des départements et des régions, du second alinéa de l'article 3 de la loi n° 82-659 du 30 juillet 1982 portant statut particulier de la région de Corse :

compétences, du premier alinéa de l'article 15 de la loi n° 82-1153 du 30 décembre 1982 d'orientation des transports intérieurs ainsi que du premier alinéa de l'article 1er et du paragraphe II de l'article 5 de la loi n° 83-597 du 7 juillet 1983 précitée.

Les dispositions de la présente loi ne font pas obstacle à ce qu'un concessionnaire continue d'exercer son droit de propriété.

Un décret en Conseil d'Etat détermine, nonobstant les dispositions des articles 3 à 5 de la présente loi, les conditions d'organisation de la maîtrise d'ouvrage et de répartition des attributions correspondantes, en ce qui concerne les opérations d'aménagement du réseau routier national réalisées dans les régions d'outre-mer en application du quatrième alinéa de l'article 41 de la loi n° 84-747 du 2 août 1984 relative aux compétences des régions de Guadeloupe, de Guyane, de Martinique et de la Réunion et en ce qui concerne les travaux de rétablissement de voies de communication rendus nécessaires par la réalisation d'un ouvrage d'infrastructure de transport.

En outre, dans les régions d'outre-mer, le financement des opérations d'aménagement du réseau routier national par la taxe spéciale de consommation prévue à l'article 266 quater du code des douanes ne fait pas obstacle à l'application de l'article 2 de la présente loi.

Article 20 (abrogé) En savoir plus sur cet article...

Abrogé par Loi n°2004-1343 du 9 décembre 2004 - art. 9 (V) JORF 10 décembre 2004

Article 21 En savoir plus sur cet article...

Modifié par Loi 88-1090 1988-12-01 art. 1 VIII jorf 3 décembre 1988

I - Sont abrogés :

1° L'article 52 de la loi du 27 février 1912 portant fixation du budget général des dépenses et des recettes de l'exercice 1912, ensemble l'acte dit loi du 11 décembre 1940 relatif aux honoraires alloués pour la direction des travaux d'architecture exécutés au compte de l'Etat;

2° L'article 79 de la loi n° 53-80 du 7 février 1953 relative au développement des dépenses d'investissement pour l'exercice 1953 ;

3° L'article 3 de la loi n° 59-912 du 31 juillet 1959 relative à l'équipement sanitaire et social.

II - L'article 85 de la loi n° 47-1465 du 8 août 1947 relative à certaines dispositions d'ordre financier sera abrogé, en tant qu'il concerne l'Etat et les établissements publics nationaux, à la date d'entrée en vigueur des dispositions prévues aux articles 10 et 11.

Article 22 En savoir plus sur cet article...

Sont amnistiées, en tant qu'elles sont passibles de sanctions disciplinaires ou professionnelles, les fautes commises avant la date de promulgation de la présente loi, consistant dans le défaut de paiement des cotisations prévues par l'article 22 de la loi n° 77-2 du 3 janvier 1977 sur l'architecture.

Article 23

A modifié les dispositions suivantes :

Modifie Loi n°77-2 du 3 janvier 1977 - art. 13 (M)

Article 24

A modifié les dispositions suivantes :

Modifie Loi n°77-2 du 3 janvier 1977 - art. 12 (M)

Modifie Loi n°77-2 du 3 janvier 1977 - art. 16 (M)

Article 25

A modifié les dispositions suivantes :

Modifie Loi n°77-2 du 3 janvier 1977 - art. 22 (M)

Article 26 (abrogé) En savoir plus sur cet article...

Abrogé par Ordonnance n°2000-549 du 15 juin 2000 - art. 7 (V)

Article 27

A modifié les dispositions suivantes :

Abroge Loi n°77-2 du 3 janvier 1977 - art. 35 (Ab)

Article 28 En savoir plus sur cet article...

Sont amnistiées, en tant qu'elles sont passibles de sanctions disciplinaires ou professionnelles, les fautes commises avant la date de promulgation de la présente loi, consistant dans le défaut de paiement des cotisations prévues par l'article 15 de la loi n° 46-942 du 7 mai 1946 instituant l'ordre des géomètres-experts.

Article 29 En savoir plus sur cet article...

Créé par Loi n°2007-224 du 21 février 2007 - art. 17 JORF 22 février 2007

La présente loi est applicable à Mayotte.

Article 29-1 En savoir plus sur cet article...

Modifié par LOI n°2010-1487 du 7 décembre 2010 - art. 32 (V)

L'article 1er, à l'exception de ses troisième, quatrième, cinquième, neuvième et dernier alinéas, ainsi que les articles 2 à 11 et 18 et le deuxième alinéa de l'article 19 de la présente loi sont applicables en Nouvelle-Calédonie, en Polynésie française et dans les îles Wallis et Futuna aux opérations réalisées pour l'Etat et ses établissements publics, sous réserve de l'adaptation suivante :au huitième alinéa de l'article 1er, les mots : "au sens du titre Ier du livre III du code de l'urbanisme" sont remplacés par les mots : : "au sens de la réglementation applicable localement".

Annexe II- 40 Principe Inventifs et la Matrice des contradictions techniques

Nota *: L'énoncé de chaque principe et sous-principe sera accompagné d'une interprétation dans le domaine de la plasturgie*

1. La segmentation

a. Diviser un objet en parties indépendantes.

- Diviser une empreinte d'outillage en sous-empreintes pour simplifier l'usinage et la maintenance
- Réaliser une pièce complexe en un ensemble de deux (ou plusieurs) pièces plus simples

b. Réaliser un objet démontable.

- Les outillages à empreintes modulaires
- Les systèmes de canaux chauds modulaires

c. Accroître le degré de segmentation de l'objet.

- Choisir un plastique plus souple pour éviter les déformations à l'éjection

2. L'extraction

a. Extraire (enlever ou séparer) de l'objet une partie ou propriété perturbatrice.

- Pour éviter un système à dévissage dans les pièces à taraudages, placer un insert qui sera enlevé à l'éjection.

b. Extraire seulement la partie ou la propriété nécessaire.

- Technique d'injection bi-matières, le matériau à cœur est bon marché, seul le matériau en paroi externe possède les caractéristiques requises.

3. La qualité locale

a. Passer d'une structure homogène d'un objet (ou de l'environnement ou d'une action extérieure) vers une structure hétérogène.

- Utiliser les gradients de température, densité ou pression au lieu d'une température, densité ou pression constante.

b. Faire en sorte que différentes parties de l'objet aient (réalisent) différentes fonctions.

- Les contres-dépouilles sur des surfaces non-fonctionnelles servent à la forme de la pièce et assurent la présence de la pièce coté mobile pour l'éjection.

c. Placer chaque partie de l'objet sous les conditions les plus favorables pour l'opération qu'elle effectue.

- Placer des dépouilles
- Concevoir dans les formes, l'encliquetage nécessaire à l'assemblage des pièces.

4. L'asymétrie

a. Remplacer une forme symétrique par une forme asymétrique.

- Systèmes de mélangeurs de granulés mélange maître.
- Méplats sur les dos d'éjecteurs (ou de noyaux) pour indexage en rotation

b. Si l'objet est déjà asymétrique, accroître le degré d'asymétrie.

- Passer d'une section de joints circulaire à une section ovale pour améliorer l'étanchéité des circuits de refroidissement.

5. Le groupement

a. Grouper des objets homogènes ou des objets destinés à des opérations contiguës.

- Batterie d'éjecteurs
- Lignes d'extrusion (ou de thermoformage)

b. Réunir dans le temps des opérations homogènes ou contiguës.

- Décoration in-mold

6. L'universalité

Faire en sorte que l'objet remplisse plusieurs fonctions, de façon à éliminer la nécessité d'autres objets.

- Manche de brosse à dent et contenant de dentifrice
- Matériel d'essai combinant HDT et Point de ramollissement Vicat

7. La poupée russe

a. Placer un objet dans un autre qui, à son tour, sera placé dans un autre et ainsi de suite.

- Ejecteurs tubulaires

b. Faire passer un objet au travers d'un autre par ses cavités.

- Insert rapportés dans la plaque porte-empreinte
- Petit creux hémisphérique pour faire disparaître les traces du point d'injection

8. Le contrepoids

a. Compenser le poids d'un objet en le joignant avec un autre possédant une force de levage.

- Injection gaz pour faire disparaître les retassures

b. Compenser le poids d'un objet par l'interaction avec un environnement (au moyen des forces aérodynamiques ou hydrodynamiques).

- Favoriser l'écoulement du polymère dans l'empreinte en améliorant l'état de surface les parois parcourues par le flux.
- Dépouilles sur le profil d'un noyau pour favoriser l'éjection

9. L'action opposée préventive

a. Si l'objet est (ou sera) sous tension non admissible ou indésirable lors de son fonctionnement, lui fournir une tension opposée à l'avance.

- Traiter un état de surface d'empreinte pour donner à l'avance un aspect (une caractéristique) à la surface de la pièce

    b. Si selon les données du problème il faut effectuer une action quelconque, exécuter une action opposée à l'avance.

- Placer des adjuvants et additifs pour prévenir de l'inconvénient du plastique.

10. L'action préliminaire

    a. Accomplir l'action requise à l'avance (entièrement ou au moins partiellement).

- Diminution des temps de cycle machine en préchauffant les éléments à l'avance
- Agent démoulant pour favoriser l'éjection de la pièce

    b. Pré-positionner à l'avance les objets de façon à ce qu'ils entrent en action de l'endroit le plus accessible et sans dépenser de temps pour le déplacement.

- Pose d'inserts dans le moule avant l'injection pour surmoulage
- Systèmes des tableaux KANBAN dans les ateliers de fabrication
- Ateliers et cellules flexibles
- Ergonomie des postes de travail

11. La prévention

Compenser le manque relatif de fiabilité de l'objet par des mesures préventives.

- Conception rigoureuse des dimensions d'empreintes de moule pour prévenir des mauvais réglages du cycle d'injection

12. L'équipotentialité

Changer les conditions de travail de manière à ce que l'objet n'ait besoin d'être ni levé ni baissé.

- Systèmes d'éjection tractée par le mouvement d'ouverture de la presse (plaque dévétisseuse).

13. L'inversion

    a. Au lieu d'une action dictée par les spécifications du problème, effectuer une action opposée.

- Concevoir et usiner des empreintes de forme gauche pour qu'après le retrait volumétrique de la pièce, les formes de cette dernière correspondent au spécifications.

    a. Rendre la partie mobile de l'objet ou de l'environnement immobile et la partie fixe, mobile.

- Systèmes à plaque dévétisseuse

    b. Mettre l'objet à l'envers ou le retourner.

14. La sphéricité

    a. Remplacer des parties linéaires par des parties courbes, des surfaces planes par des surfaces sphériques; remplacer des formes cubiques et parallélépipédiques par des formes sphériques.

- Remplacement des arêtes vives dans la conception de pièces plastiques par des arêtes arrondies.
- Usinage des ajustements alésage/arbre de mise en place des noyaux (ou empreintes rapportées) en raccord arrondie plutôt qu'un ajustement prismatique.

b. Utiliser des rouleaux, des sphères, des spirales.

- Placement d'un roulement à bille pour favoriser la translation de la batterie d'éjection.

c. Remplacer un mouvement de translation par un mouvement de rotation; utiliser la force centrifuge.

- Systèmes d'alimentation courge (seuils d'injection).

15. Le dynamisme

a. Rendre un objet (ou son environnement) automatiquement ajusté pour une performance optimale à chaque phase de l'opération.

- Système de bi-étirage dans le soufflage des bouteilles PET.
- Pré-positionnement des batteries de moules de soufflage (disposition revolver) dans l'injection soufflage.

b. Diviser un objet en éléments pouvant se déplacer les uns par rapport aux autres.

- Systèmes d'éjection par noyau rétractable.

c. Si un objet est immobile, le rendre mobile, déplaçable.

- Prédisposition des parties d'empreinte pour faciliter le changement de version de pièces.

16. L'action partielle ou excessive

S'il est difficile d'obtenir 100% d'effet requis, il faut en obtenir un peu plus ou un peu moins, cela simplifiera considérablement le problème.

- Pour ménager la chute de pièces à l'éjection, éjecter un peu moins pour permettre à un bras manipulateur de finir le travail d'éjection.
- Placer des ressorts sous un éjecteur après avoir augmenté la profondeur du lamage pour permettre une pré-éjection.

17. Le changement de dimension

a. Lever les difficultés liées au mouvement (ou à la disposition) d'un objet le long d'une ligne en le déplaçant dans deux dimensions (c'est-à-dire sur une surface). De la même façon, lever les problèmes liés au mouvement (ou à la disposition) d'un objet sur une surface par la transition vers trois dimensions.

- Systèmes d'outillage à tiroirs
- Principe d'usinage des empreintes par électroérosion (la surface frontale de l'électrode est plus petite que l'empreinte mais un mouvement plan est donné à l'électrode lors de la phase d'usinage).

b. Utiliser un assemblage multicouches d'objets au lieu d'un monocouche.

- Décomposer une empreintes ou une filière en éléments simples pour faciliter l'usinage et l'ajustage aux côtes

c. Incliner l'objet (ou le poser sur un de ses côtés)

- Repositionner la pièce par rapport au plan de joint pour faciliter l'usinage de l'empreinte ou de l'outillage (pour éviter un tiroir par exemple)

d. Utiliser la face inverse de la surface donnée.

e. Utiliser des flux optiques dirigés sur une surface voisine ou sur la face inverse de la surface donnée.

- Repositionner la pièce par rapport au plan de joint pour faciliter l'usinage de l'empreinte ou de l'outillage (pour éviter un tiroir par exemple)

18. La vibration mécanique

a. Faire osciller un objet.

- Principe du roto moulage

b. Si l'oscillation existe, accroître sa fréquence, même aussi loin que l'ultrason.

c. Utiliser la fréquence résonnante.

d. Au lieu des vibrations mécaniques, utiliser la piézo-vibration.

e. Utiliser les vibrations ultrasoniques en conjonction avec un champ électromagnétique.

- Principe d'uniformisation des couches de peinture sur pièces RIM.

19. L'action périodique

a. Remplacer une action continue par une action périodique par impulsion.

- Principe d'éjection multiple avec réduction de la course dans les éjections intermédiaires.
- Principe d'injection séquentielle

b. Si l'action est déjà périodique, modifier sa fréquence.

c. Utiliser des pauses entre les impulsions pour une autre action.

- Dans l'usinage des empreintes par électroérosion enfonçage, utiliser les temps de remontée pour lubrifier et évacuer les particules usinées.

20. La continuité d'une action utile

a. Effectuer une action en continue (toutes les parties d'un objet doivent fonctionner constamment à pleine charge).

- En thermoformage, utiliser la phase de bullage pour pré-avancer le moule.

b. Enlever les mouvements à vide et les mouvements intermédiaires.

- Principe de la méthode SMED pour minimiser les temps de changement d'outillages.

21. L'action rapide

Réaliser le processus ou certaines de ses étapes (par exemple, nuisibles ou dangereuses) à haute cadence.

- Augmenter la vitesse d'injection pour favoriser le remplissage de l'empreinte.

- Accroître le cisaillement vis dans l'injection en augmentant la contre pression pour augmenter la température matière.

22. La transformation d'un moins en plus

a. Utiliser des facteurs nuisibles, notamment des effets néfastes de l'environnement, pour obtenir un effet positif.

- Le principe du roto moulage est basé sur l'utilisation de la gravité pour faire couler le polymère fondu le long des parois du moule.

b. Eliminer un facteur nuisible en le combinant avec d'autres facteurs nuisibles.

- Afin de palier aux défauts d'usinages, on peut accroître exagérément la phase de maintien pour parvenir aux cotes requises.

c. Accroître la nuisance d'un facteur néfaste jusqu'à ce qu'il cesse d'être néfaste.

- Si un point d'injection provoque une soudure froide, multiplier les points d'injection pour la faire disparaître.

23. L'asservissement

a. Introduire un asservissement

- Utiliser un capteur empreinte pour asservir en commutation le cycle presse.

b. Si l'asservissement existe, modifier le.

24. L'intermédiaire

a. Utiliser un objet intermédiaire pour transmettre ou transférer une action.

- Utilisation de plaques isolantes pour isoler le moule thermiquement lors de sa mise en production.

b. Joindre temporairement à l'objet un autre objet facile à éliminer.

- Lorsqu'une carotte reste en partie fixe, une opération de maintenance consiste à chauffer et enfoncer dans l'orifice une vis à bois, pour ensuite l'extraire plus facilement à l'aide d'une pince étau.

25. Le self-service

a. Faire en sorte que l'objet assure son auto-entretien en réalisant des opérations de réparation et auxiliaires.

- Principe d'identification des pièces défectueuses par un procédé de tri par la masse et convoyage vers un broyeur afin d'éviter de retrouver les pièces défectueuses dans les lots de pièces bonnes.

b. Utiliser les déchets énergétiques et matériels.

- Recyclage des déchets thermoplastiques (tous procédés).

26. La copie

a. Utiliser des copies simplifiées et bon marché au lieu d'un objet complexe, coûteux, fragile ou incommode.

- Réalisation d'un moule d'essai en aluminium avant la fabrication d'un moule série en acier traité.

b. Remplacer un objet ou un système d'objets par leurs copies optiques (par des images), modifier l'échelle (augmenter ou diminuer les copies).

c. Si l'on utilise des copies optiques visibles, passer aux copies infrarouges ou ultraviolettes.

27. L'éphémère bon marché au lieu de la longévité coûteuse

a. Remplacer un objet cher par un ensemble d'autres bon marché, en renonçant à certaines de ses propriétés (comme la longévité).

- Principe de la pré-série pour vérifier l'impact du produit sur le marché.
- Réalisation de maquettes à l'échelle naturelle pour évaluer l'effet sur les clients.

28. La substitution d'un système mécanique

a. Remplacer un système mécanique par un système optique, acoustique ou olfactif.

- Pour la prise de températures de pièces à l'éjection, le système de prise de température ponctuel par contact à été remplacé par un système de caméra thermique et cliché polaroïd .

b. Utiliser un champ électrique, magnétique ou électromagnétique pour une interaction avec l'objet.

c. Remplacer les champs immobiles par des champs mobiles, fixes par ceux qui changent dans le temps, non-structurés par des champs structurés.

d. Utiliser des champs en combinaison avec des particules ferromagnétiques.

- Principe de métallisation de pièces plastiques par dépôt d'une poudre métallique chauffée par un champ électromagnétique pour éviter la montée en température au-delà du point de fusion du matériau thermoplastique.

29. Le système hydraulique ou pneumatique

Remplacer les parties solides d'un objet par du gaz ou du liquide, notamment par des parties remplissables d'air ou d'eau, hydrostatiques et hydroréactives, coussin d'air.

- Principe d'injection gaz

30. L'enveloppe flexible et le film de faible épaisseur

a. Remplacer les conceptions traditionnelles par des enveloppes flexibles et des films de faible épaisseur.

- Principe des seuils d'alimentation en nappe.

b. Isoler un objet de son environnement en utilisant des enveloppes flexibles et des films de faible épaisseur.

- Principe du packaging alimentaire.

31. Le matériau poreux

a. Réaliser un objet poreux ou lui adjoindre des éléments poreux (inserts, revêtements, etc., ...).

- Placer des additifs (agents gonflant) dans la formulation du matériau.
- Pièces à inserts plastiques.

b. Si l'objet est déjà poreux, remplir les pores avec une substance.

- Bagues autolubrifiantes

32. Le changement de couleur

a. Modifier la couleur d'un objet ou de son environnement.

- Principe de vérification de colorimétrie des pièces ou les pièces testées sont placées dans un environnement à éclairage neutre.

b. Modifier le degré de transparence d'un objet ou de l'environnement.

- Afin de mieux observer la présence de bulles d'air dans une pièce, réaliser quelques essais en polymère transparent.

c. Utiliser des colorants (additifs) pour observer des objets (ou procédés) difficiles à voir.

d. Si de tels additifs sont déjà employés, utiliser des atomes repérables.

- Pour observer l'évolution d'un front de matière dans une empreinte, un élément luminescent permet de prendre des vues pour visualiser l'écoulement.

33. L'homogénéité

Fabriquer les objets interagissant avec l'objet donné en un matériau identique ou proche de ce dernier du point de vue de ses caractéristiques.

- Principe de mélange de caractéristique de polymères, (ABS-PC)
- Principe des mélanges maîtres

34. Le rejet et la régénération des parties

a. Après avoir rempli sa fonction ou devenu inutile, la partie de l'objet doit être rejetée (dissolue, évaporée, ...) ou bien modifiée directement au cours de l'opération.

- Technique des noyaux fusibles.

b. Restaurer les parties consommées de l'objet directement au cours de l'opération.

- Recyclage des éléments rebroyés avec de la matière vierge.

35. Le changement de paramètres physiques et chimiques d'un objet

a. Modifier l'état de phase d'un objet.

- Post-traitement des pièces dans des fours pour relaxation des tensions internes.

b. Modifier sa concentration ou sa consistance.

c. Modifier le degré de flexibilité.

d. Modifier la température.

36. Transitions de phases

a. Utiliser des phénomènes se produisant lors des transitions de phase, par exemple le changement de volume, la libération ou l'absorption de chaleur, etc.

- Principe de la DSC, pour vérifier la présence de contraintes internes dans un échantillon par exemple.
- ***37. L'expansion thermique***
    a. Utiliser l'expansion thermique (ou la contraction) de matériaux.
- Principe des films thermorétractables
    b. Utiliser des matériaux divers avec des coefficients d'expansion thermique différents.
- Principe de mise en place de pièces par ajustement serré sans dégradation mécanique.

38. Les oxydants forts

a. Remplacer de l'air normal par de l'air enrichi.

b. Remplacer de l'air enrichi par de l'oxygène.

c. Agir sur l'air ou sur l'oxygène par des radiations ionisantes.

- Dans certains post-traitements de surface (à la lubrification par exemple) les pièces injectées en PSU sont bombardées dans un four par une poudre d'agent lubrifiants.

d. Utiliser de l'oxygène ozonisé.

e. Remplacer l'oxygène ozonisé (ou ionisé) par de l'ozone.

39. L'environnement inerte

a. Remplacer un environnement normal par celui inerte.

- Climatisation des locaux d'essais matière.

b. Effectuer le processus sous vide.

- Transport des granulés par système centralisé d'aspiration.

40. Les matériaux composites

Remplacer des matériaux homogènes par des composites.

- Modification de la structure d'un matériau par ajout d'élément d'addition (fibre de verre, talc, …).
- Technologie MID (Molded Interconnect Devices).

Improving parameter \ Worstening parameter		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
		Weight of moving object	Weight of stationary object	Length of moving object	Length of stationary object	Area of moving object	Area of stationary object	Volume of moving object	Volume of stationary object	Speed	Force (Intensity)	Stress or pressure	Shape	Stability of the object's composition	Strength	Duration of action of moving object	Duration of action of stationary object	Temperature	Illumination intensity	Use of energy by moving object	Use of energy by stationary object	Power	Loss of Energy	Loss of Substance	Loss of Information	Loss of Time	Quantity of substance	Reliability	Measurement accuracy	Manufacturing precision	Object-affected harmful factors	Object-generated harmful factors	Ease of manufacture	Ease of operation	Ease of repair	Adaptability or versatility	Device complexity	Difficulty of detecting and measuring	Extent of automation	Productivity
1	Weight of moving object	+	-	15, 8, 29,34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	-	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	-	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	1, 3, 11, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35 18, 19	35, 3, 24, 37
2	Weight of stationary object	-	+	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2	-	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27	-	2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35	-	18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35
3	Length of moving object	8, 15, 29, 34	-	+	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	-	10, 15, 19	32	8, 35, 24	-	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29
4	Length of stationary object		35, 28, 40, 29	-	+	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2,14	-	28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26	-	1, 40, 35	3, 35, 38, 18	3, 25	-		12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26,	30, 29, 14		15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18		15, 17, 27	2, 25	3	1, 35	1, 26	26		30, 14, 7, 26
5	Area of moving object	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	+	-	7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	-	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	-	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2
6	Area of stationary object	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	+	-		-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37		2, 38	40	-	2, 10, 19, 30	35, 39, 38		-		17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
7	Volume of moving object	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 4, 35	-	1, 7, 4, 17	-	+	-	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	-	34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35	-	35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34
8	Volume of stationary object	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-		-	+	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	-	35, 34, 38	35, 6, 4		-		30, 6		10, 39, 35, 34		35, 16, 32 18	35, 3	2, 35, 16		35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35		1		1, 31	2, 17, 26		35, 37, 10, 2
9	Speed	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	+	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	-	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	-	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26		10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 35, 21	35, 13, 8, 1	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	
10	Force (Intensity)	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	+	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2		35, 10, 21	-	19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5		10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37
11	Stress or pressure	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21	+	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27		35, 39, 19, 2		14, 24, 10, 37		10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 3, 37		37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37
12	Shape	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10		14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	+	33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25		22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14		4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5		14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10
13	Stability of the object's composition	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	+	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 15	13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40		35, 27	15, 32, 35		13	18	35, 24, 30, 18	35, 40, 27, 39	35, 19	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3
14	Strength	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	+	27, 3, 26		30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40		29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	32, 40, 28, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14
15	Duration of action of moving object	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	+	-	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18		19, 10, 35, 38		28, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19
16	Duration of action by stationary object	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-		-	35, 34, 38	-				39, 3, 35, 23		-	+	19, 18, 36, 40		-		16		27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 26, 24		17, 1, 40, 33	22	35, 10	1	1	2		25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38
17	Temperature	36,22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	+	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17		2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31		35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	26, 2, 19, 16	15, 28, 35
18	Illumination intensity	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10		10, 13, 19	26, 19, 6		32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6		32, 35, 19	+	32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	19, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19		11, 15, 32	3, 32	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16
19	Use of energy by moving object	12,18,28, 31	-	12, 28	-	15, 19, 25	-	35, 13, 18	-	8, 15, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	+	-	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32		1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35
20	Use of energy by stationary object	-	19, 9, 6, 27	-		-		-		-	36, 37			27, 4, 29, 18	35				19, 2, 35, 32	-	+			28, 27, 18, 31			3, 35, 31	10, 36, 23			10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4					19, 35, 16, 25		1, 6
21	Power	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37		19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37		+	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2	2, 35, 18	26, 10, 34	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34
22	Loss of Energy	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30	17, 7, 30, 18	7, 18, 23	7	16, 35, 38	36, 38			14, 2, 39, 6	26			19, 38, 7	1, 13, 32, 15			3, 38	+	35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32		21, 22, 35, 2	21, 35, 2, 22		35, 32, 1	2, 19		7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35
23	Loss of substance	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28,24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31	+		15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 40	10, 1, 34, 29	15, 34, 33	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23
24	Loss of Information	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16		2, 22	26, 32					10	10			19			10, 19	19, 10		+	24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23			22, 10, 1	10, 21, 22	32	27, 22					35, 33	35	13, 23, 15
25	Loss of Time	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 18		10, 37, 36,5	37, 36,4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 17	35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32	+	35, 38, 18, 16	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30
26	Quantity of substance/the matter	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18		15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29		35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	3, 17, 39		34, 29, 16, 18	3, 35, 31	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35	35, 38, 18, 16	+	18, 3, 28, 40	3, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27	35, 29, 25, 10	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27
27	Reliability	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11		11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19	36, 23	21, 11, 26, 31	10, 11, 35	10, 35, 29, 39	10, 28	10, 30, 4	21, 28, 40, 3	+	32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40	35, 2, 40, 26		27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38
28	Measurement accuracy	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6		28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32		3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28		24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23	+		28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32
29	Manufacturing precision	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 28, 2	25, 10, 35	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27	3, 27, 40		19, 26	3, 32	32, 2		32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24		32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1		+	26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26		1, 32, 35, 23	25, 10		26, 2, 18		26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39
30	Object-affected harmful factors	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2	35, 18, 34	35, 33, 29, 31	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18	+		24, 35, 2	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24
31	Object-generated harmful factors	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22		17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18	2, 35, 18	21, 35, 2, 22	10, 1, 34	10, 21, 29	1, 22	3, 24, 39, 1	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26		+		2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39
32	Ease of manufacture	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	28, 26, 27, 1	1, 4	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 33	32, 24, 18, 16	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24		1, 35, 12, 18		24, 2		+	2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28
33	Ease of operation	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12		1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 39, 31	18, 13, 34	28, 13 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	32, 40, 3, 28	29, 3, 8, 25	1, 16, 25	26, 27, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24		35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39		2, 5, 12	+	12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 25, 12, 17		1, 34, 12, 3	15, 1, 28
34	Ease of repair	2, 27 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35	11, 1, 2, 9	11, 29, 28, 27	1	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16		15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27		32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 10, 2, 16		1, 35, 11, 10	1, 12, 26, 15	+	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11		34, 35, 7, 13	1, 32, 10
35	Adaptability or versatility	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29		35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13		19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13		35, 28	3, 35, 15	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10		35, 11, 32, 31		1, 13, 31	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4	+	15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37
36	Device complexity	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28	10, 4, 28, 15		2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28		20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29		6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40	19, 1	27, 26, 1, 13	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37	+	15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
37	Difficulty of detecting and measuring	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35	36, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30	27, 3, 15, 28	19, 29, 39, 25	25, 34, 6, 35	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16	19, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 28		22, 19, 29, 28	2, 21	5, 28, 11, 29	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28	+	34, 21	35, 18
38	Extent of automation	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13		35, 13, 16		28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9		26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13		28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 13	1, 12, 34, 3	1, 35, 13	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25	+	5, 12, 35, 26
39	Productivity	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2		28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	1	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	28, 10, 35, 23	13, 15, 23		35, 38	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	18, 10, 32, 1	22, 35, 13, 24	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24	1, 28, 7, 19	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	+

1. SEGMENTATION
a) Divide an object into independent parts;
b) Divide an object into parts so that some its part can be easily taken away;
c) Increase the degree of object segmentation.

2. TAKING AWAY
Take away an interfering part of the object. If some property of the object interferes, find what part of the object is a carrier of the property and separate it from the object.

3. LOCAL QUALITY
a) Instead of uniform structure of the object, use non-uniform structure. Instead of uniform structure of environment, use non-uniform structure.
b) If two functions are to be performed by the same object's component but this causes problems, divide this component into two parts.
c) Redesign the object and environment so that each part of the object must be in conditions proper for operation.

4. ASYMMETRY
If the object has symmetrical shape, make its asymmetrical. If the object is asymmetrical, increase the degree of asymmetry.

5. COMBINING
a) Consolidate or combine identical parts or components of the object in space.
b) Consolidate or combine identical parts or components of the object in time.

6. UNIVERSALITY
If it is given two objects, which perform different function, design a new single object that would be able to perform both functions.

7. 'NESTED DOLL'
a) Place one object inside another. Increase a number of nested objects.
b) Make one object dynamically pass through a cavity of another object when necessary.

8. ANTI-WEIGHT
a) Compensate for the weight of the object with merging if with another object provides lifting forces.
b) Place the object into environment that provides aerodynamic, hydrodynamic or other lifting forces.

9. PRIOR COUNTERACTION
If the object is subjected to harmful factor of environment, subject it to antipodal action beforehand that will compensate with harmful factor.

10. PRIOR ACTION
a) If the object is subjected to harmful factor or environment, create preliminary conditions that will prevent the object from harmful factors.
b) If the object has to be changed and this is hard to achieve, perform the required change of the object (fully or partially) in advance.

11. BEFOREHAND CUSHIONING
If the object is unreliable, create conditions in advance that will prevent the object.

12. EQUIPOTENTIALITY
a) If the object has to be lowered or raised, redesign the object's environment so an object need not be raised or lowered.

13. OTHER WAY ROUND
a) Instead of actions defined perform opposite action.
b) Make the movable part of the object fixed or the fixed part movable.
c) Turn object upside-down.

14. SPHEROIDALITY
a) Instead of linear parts of the object, use curve parts.
b) Use rollers, balls and spirals.
c) Use rotary motion. Use centrifugal forces.

15. DYNAMICITY
a) If the object is immobile, make it movable.
b) Divide the object into parts capable of moving relatively each other. Increase the degree of free motion.
c) Make the object or environment dynamically change to be in accord with the required conditions at each stage of operation.

16. PARTIAL OR EXCESSIVE ACTION
If it is not possible to precisely achieve the required change, or to perform some action, reformulate the problem: how to make slightly less or slightly more and then achieve the required result.

17. ANOTHER DIMENSION
a) If the object moves along a line, consider movement within two-dimensional space.
b) If the object moves in plane, consider movement within three-dimensional space.
c) Rearrange objects so that instead of one-tiered arrangement a multi-tiered arrangement can be achieved.
d) Tilt the object.
e) Use other side of the given area.

18. MECHANICAL VIBRATION
a) Make the object or its parts vibrate.
b) If the object is in oscillatory motion, increase the frequency of oscillation. Use ultrasonic frequencies.
c) Use resonance frequencies.
d) Use piezoelectric vibrators instead of mechanical ones.
e) Use ultrasonic oscillations in combination with electromagnetic field.

19. PERIODIC ACTION
a) Instead continuous action use pulse actions.
b) Vary periodicity according the conditions.
c) Use pauses between impulses to perform some other action.

20. USEFUL ACTION CONTINUITY
a) All parts of the object must work continuously.
b) Eliminate all idle running.

21. SKIP
If the object is subjected to harmful or hazardous actions within some process, conduct the process at very high speed.

22. TURN THE HARM TO ONE'S GOOD
a) Use harmful factors to achieve positive results.
b) Eliminate harmful factor by adding it with another harmful factor.
c) Amplify the harmful factor such degree so that it would stop to bring harm to the object or environment.

23. FEEDBACK
a) Introduce feedback.
b) If the feedback already exists, vary it in accord with operating conditions.

24. INTERMEDIARY
Use an intermediate carrier to provide necessary actions if it is not possible to use existing object or parts. Temporaries merge the object with another one that will provide the required action and then decompose them.

25. SELF-SERVICE
a) The object must serve itself by performing tuning, adjusting and repair operation itself.
b) Use available resources or waste resources.

26. USE OF COPIES (COPYING)
a) If it is necessary to undertake some actions with respect to unavailable, fragile, complicated, dangerous object, use its simpler and cheaper copy.
b) Instead of real objects, use their optical images (picture, holograms).
c) Use infrared or ultraviolet copies.

27. CHEAP SHORT-LIFE INSTEAD OF COSTLY LONG-LIFE
Replace an expensive object with a multitude of cheap ones.

28. MECHANICAL PRINCIPLE REPLACEMENT
a) Replace mechanical principle behind the system or object with another physical principle: optical, acoustic, magnetic, electromagnetic, thermal, smelled etc.
b) Use electrical, magnetic and electromagnetic fields for interaction with the object.
c) Replace stationary fields with movable, fixed fields with changing on time, non-structured fields with structured ones.
d) Use the fields in conjunction with ferromagnetic particles.

29. PNEUMATIC AND HYDRAULIC STRUCTURES
Instead of solid object or its parts, use gases or liquids: inflatable and filled with liquids, air cushion, hydrostatic and hydro-reactive.

30. FLEXIBLE SHELLS AND THIN FILMS
a) Instead of heavy three-dimensional structures use flexible shells and thin films.
b) Use flexible shells and thin films to isolate the object or its parts from environment.

31. POROUS MATERIALS
a) Make the object porous. Use porous coating. Use porous inserts.
b) If the object is porous, fill the porous with other substance, liquid or gas to achieve positive result.

32. CHANGING COLOR
a) Change the color of the object, its part or environment.
b) Change transparency of the object, its part or environment.
c) Use color additions for observe bad seeing objects.
d) If color additions present, use radioactive tracers (marked atoms).

33. HOMOGENEITY
Make interacting objects of the same material or the material with identical properties.

34. REJECTING AND REGENERATION OF PARTS
a) If a part of an object that has delivered its function had become unnecessary or undesired, eliminate it by dissolving, evaporating, etc. or modify so that the interfering property will cease to exist.
b) Restore consumable parts of the object during operation.

35. CHANGE OF PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS
a) Change the object's aggregate state.
b) Change concentration or consistency of the object.
c) Change the degree of flexibility of the object.
d) Change the temperature of the object or environment.

36. PHASE TRANSITIONS
Use physical phenomena accompanying phase transitions: change of volume, emission or absorption of heat, etc.

37. THERMAL EXPANSION
a) Use thermal expansion or contraction of materials.
b) Merge two materials with different coefficients of thermal expansion.

38. STRONG OXIDIZERS (STRONG OXIDENTS)
a) Replace regular air with enriched one.
b) Replace the enriched air with pure oxygen.
c) Ionize air or oxygen.
d) Use ionized oxygen.
e) Use ozone.

39. INERT ATMOSPHERE
a) Use inert gases instead of usual ones.
b) Add neutral parts or additives to the object.

40. COMPOSITES
Use composite materials instead of uniform ones.

Annexe III- 76 Standard Inventifs

© G.S. Altshuller, 1979-1987

CLASS 1. COMPOSITION AND DECOMPOSITION OF SFMS

- GROUP 1.1. Synthesis of SFMs
- GROUP 1.2. Decomposition of SFMs

CLASS 2. EVOLUTION OF SFMS

- GROUP 2.1. Transition to complex SFMs
- GROUP 2.2. Evolution of SFMs
- GROUP 2.3. Evolution by coordinating rhythms
- GROUP 2.4. Complex-forced SFMs

CLASS 3. TRANSITION TO SUPER-SYSTEM AND MICRO-LEVEL

- GROUP 3.1. Transition to bi- and poly-system
- GROUP 3.2. Transition to micro-level

CLASS 4. MEASUREMENT AND DETECTION RULES

- GROUP 4.1. Bypass ways
- GROUP 4.2. Synthesis of measurement system
- GROUP 4.3. Improvement of measurement systems
- GROUP 4.4. Transition to ferromagnetic measurement systems
- GROUP 4.5. Evolution of measurement systems

CLASS 5. HELPERS (STANDARDS FOR APPLYING THE STANDARDS)

- GROUP 5.1. Substance introduction
- GROUP 5.2. Introduction of fields
- GROUP 5.3. Use of phase transition
- GROUP 5.4. Physical effects applying
- GROUP 5.5. Substance particles obtaining (experimental Standards)

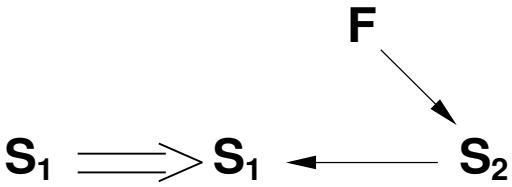
CLASS 1. COMPOSITION AND DECOMPOSITION OF SFMs[1]

GROUP 1.1. Synthesis of SFMs

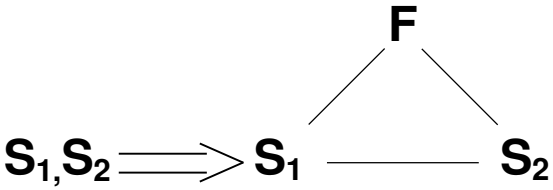
Main idea of this group is explained in Standard 1.1.1: for synthesis new working system it is necessary to transit from non-SFM to the SFM. Sometimes synthesis of SFM has difficulties from problem situation limits for introduction of substances and fields. Standards 1.1.2 – 1.1.8 propose the typical special ways for those situations.

1.1.1. Synthesis of SFM

If there is an object which is not easy to change as required, and the conditions do not contain any restrictions on the introduction of substances and fields, the problem is to be solved by synthesizing a SFM: the object is subjected to the action of a physical field which produces the necessary change in the object. The missing elements being introduced accordingly.

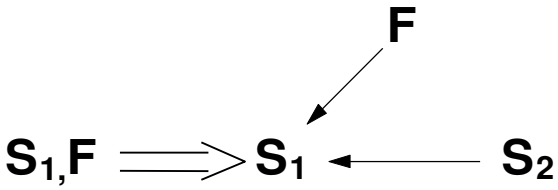


Example:
To remove air from a powdered substance, the substance is subjected to centrifugal forces [A.c[2]*.283885].*



S_1 – air, S_2 – powdered substance, F – centrifugal forces.

Example:
Gravity and sawn-down tree do not form a Su-Field Model because the second substance does not exist and thus the field does not process the tree. It was proposed [A.c.461722] as the tree falls it meets the cutting device:



S_1 – tree; F – gravity; S_2 – cutting device

To accurately dispense granular or liquid materials they should be spread evenly on an easily-withdrawn base material (paper, for example). This "sandwich" illustrates the transition from one substance to two. Then, to eliminate the "base" we can build a Su-Filed model by introducing a field such as a thermal or mechanical field.

---

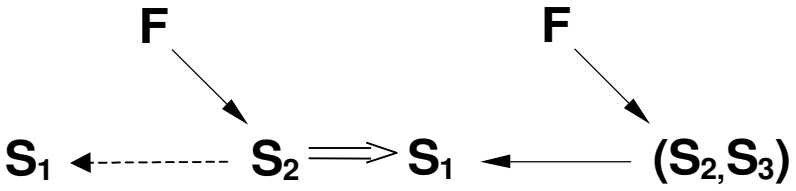
[1] Substance-Field Model
[2] A.c. denotes the Russian "Author's Certificate", which is similar to a patent, but where the patent-holding party is the Russian government.

Example:

To increase the accuracy of dispensing a unit-volume mass of granular material (such as when dispensing an abrasive during wear-testing of an accelerating internal combustion engine), the abrasive is evenly spread ahead of time on the surface of a flexible, combustible tape. The tape is then delivered at a constant speed into the combustive zone, where it burns as the abrasive moves to the tested object [A.c. 305363].

1.1.2. Transition to internal complex SFM

If there is a SFM which is not easy to change as required and the conditions do not any restrictions on the introduction of additive to given substances, the problem is to be solved by a transition (permanent or temporary) to an Internal Complex SFM, introducing additive in the S_1 or S_2 enhancing controllability or imparting the required properties to the SFM:



S_1 – product, S_2 – tool, S_3 – additive; brackets for signify internal complex interaction (external complex interaction is signified without brackets).

Example:

To provide mass-transfer process with viscous liquid, a gas is added to the liquid in advance (gasified). The bubbles of gas intensify the mass-transfer process [A.c.265068]. (S_1 – product of process; S_2 – viscous liquid; F – interaction forces; S_3 – bubbles of gas)

In a valve used with toxic and explosive substances. The valve body is filled with an easily-melted solder containing ferro-magnetic particles, and an Electro-magnet is placed outside the valve [1044879].

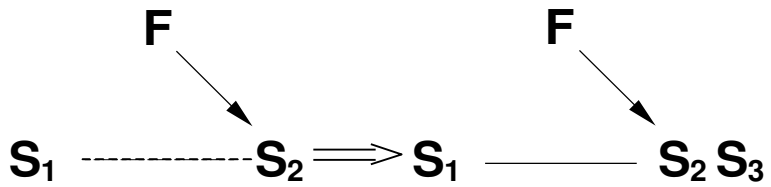
Comments:

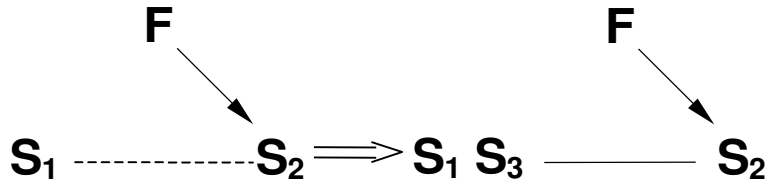
Sometimes the problem description includes two substances that interact minimally or not at all with the field. In formal terms, the Su-field Model (SFM) is complete because all three elements are in place, however, these elements do not represent a working SFM. In this case, the easiest "indirect" method to introduce an additive (i.e., a method by which an additive is introduced without actually being introduced) is to incorporate an internal additive inside one of the substances, or an additive that is external to one of the substances. That sort of SFM was named complex (standards 1.1.2, 1.1.3)

Sometimes the same solution (depending on the problem description) can be presented either as building a SFM or as creating a complex SFM. For example, the problem of visually detecting small liquid drops can be solved by synthesizing a SFM: introduce a luminophore into the liquid beforehand, the illuminate the place where drops can appear with an ultraviolet light (A.c. 277805). This problem was originally stated as: "How can leaks in a refrigeration unit be detected?" Here we consider leaks (gaps) and the liquid drops leaking through them as substances. The luminiphore is an additive that creates an Internal Complex SFM with the substance "liquid".

1.1.3. Transition to External Complex SFM

If there is a SFM which is not easy to change as required, and the conditions contain restrictions on the introduction of additives in the existing substances (S_1 or S_2), the problem is to be solved by a transition (permanent or temporary) to an External Complex SFM, attaching to one of this substances (S_1 or S_2) an external substance S_3 enhancing controllability or imparting the required properties to the SFM.





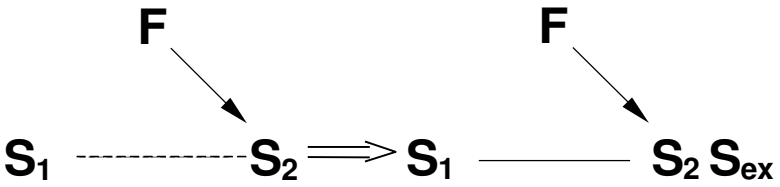
S_1 – leak (include pipe); S_2 – tester; F – field of detection; S_3 – heat-conductive paint (detector).

For instance, if the problem description related to detecting leaks in the refrigeration unit contains a restriction: it is prohibited to add luminophores to the liquid. In this case, the substance-detector can be placed on the external surface of the unit [A.c. 311109]. The External Complex SFM is created.

1.1.4. Transition to SFM by using external environment

If there is a SFM which is not easy to change as required, and the conditions contain restrictions on the introduction or attachment of substances, the problem has to be solved by synthesizing a SFM using external environment as substance.

> *Example:*
>
> *It is necessary to increase reliability of returning of self-dumping barge to the initial position after unloading. It was proposed to use as keel the cistern with holes. This kind of "keel" conducts with outboard environment permanently [A.c.175835].*
>
> *A centrifugal gauge for rotational speed consists of levers and loads. To reduce the dimensions and weight of the gauge, its loads are made in winged form to create additional lifting force during rotation [A.c.358689].*



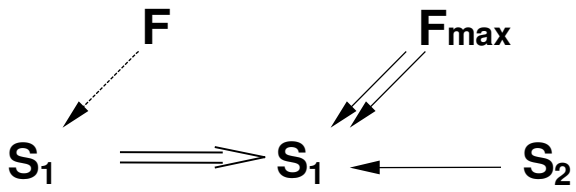
1.1.5. Transition to SFM by using external environment with additives

If the external environment does not contain ready substances required to synthesize a SFM by 1.1.4 rule, these substances can be obtained by replacing the external environment with another one, or by decomposing the environment or by introducing additives in it.

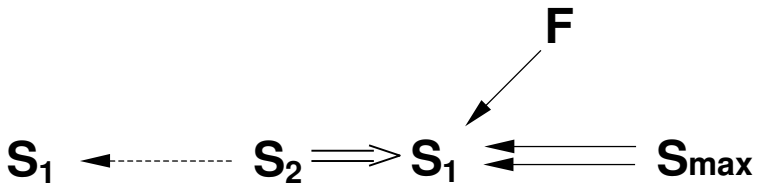
> *Example:*
>
> *To improve the damping of a plain journal bearing, its lubricant (which in this case can be considered as an environment) is gasified by decomposition of the lubricant via electrolysis [A.c.796500].*

1.1.6. Minimum mode of action

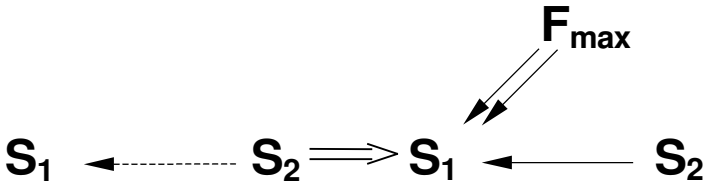
If a minimum (i.e., measured, optimal) mode of action is required, but it is difficult or impossible to provide it under the conditions of the problem, one should use a maximum mode, while the surplus of the action is then removed. The surplus field can be removed by a substance, while the surplus substance can be removed by field.



or:



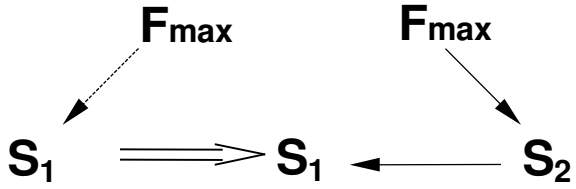
> *Example:*
> *To make a thin layer of paint it is proposed that a surplus layer be applied to the product by dipping it into the paint. Then, the product is rotated quickly so that centrifugal force removes the surplus paint [A.c.242714].*



> *S_1 – paint; S_2 – product; F – centrifugal forces*
>
> *To improve the quality of copy-machine image a surplus amount of toner is applied. It is proposed to eliminate the surplus toner during the process of developing the picture [A.c.907503].*

1.1.7. Maximum mode of action

If a maximum mode of action on a substance is required but this is not allowed for some reason, the maximum action should be maintained but directed to another substance attached to the first one.



> *Example:*
> *When manufacturing pre-stressed concrete, it is possible to use metal wire instead of rods. But the wire has to be stretched. To do this it has to be heated up to 700°C what is not allowed (allowed temperature 400°C). It is proposed to attach wire to the rod, which is heated, while the wire remains cold [A.c.120909].*
> *(S1 – wire; S2 – rod; F - heating)*

1.1.8. Selective-maximum mode

If a selective-maximum mode is required (maximum in certain zones while the minimum mode is maintained in other zones), the field should be maximal;

1.1.8.1. field is maximum: in this case a protective substance is to be introduced in all places where a minimum action is required.

Example: When sealing a glass ampoule with liquid medicine, an overheated glass might destroy the medicine. It is proposed to put the ampoules into water and leave the ampoule's tip above the water. Water protects the medicine into ampoules from overheating [A.c.264619].

1.1.8.2. field is minimum: in this case a substance producing a local field (for instance: thermit compounds for thermal action or explosive ones for mechanical action) is to be introduced in places where a maximum action is required.

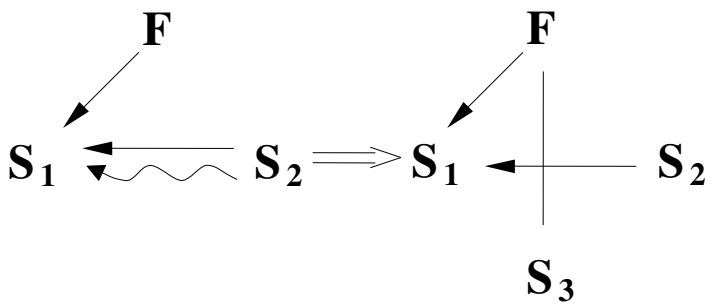
Example: To weld two metal parts, an exothermic powder producing extra heat is introduced between the parts [A.c.743810].

GROUP 1.2. Decomposition of SFMs

Group 1.2 includes Standards of decomposition of SFMs and elimination or neutralization harmful interactions. Most powerful idea of this group is mobilization needed elements through available substance-field resources using. Standard 1.2.2 is very important, because functions of new substance are executed by modification of existing substance.

1.2.1. Elimination of harmful interaction by introducing foreign substance

If a useful and a harmful effects appeared between two substances in a SFM and it is not required that these substances be closely adjacent to one another, the problem is solved by introducing a third substance (available or cheap) between these two substances.



(Wavy arrow is indicated interaction, which would be eliminated.)

Examples:

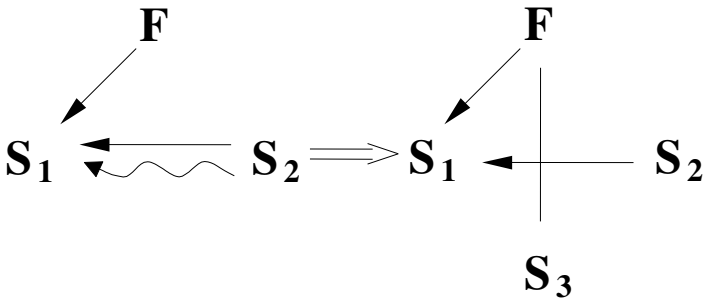
To compact walls of a bore-hole by explosion, gases produced during explosion are used. However, the gases also may cause cracks in the bore-hole's walls. It is proposed to cover the walls by a plasticine which transmit pressure but prevents the walls from cracks formation [A.c.937726]. (S_1 - walls; S_2 - gases; F - explosion field; S_3 – plasticine).

It is necessary to bend studded pipe using mandrel. But during bending, the studs are damaged. It is proposed to introduce an elastic layer between the mandrel and the pipe [A.c.724242]. (S_1 – studs; S_2 – mandrel; F – interaction field; S_3 – elastic layer).

To clean product after process of plastic deformation in a technological medium, the ultrasonic cleaning is often applied. To intensify the cleaning, it is proposed to cover product surface before processing with a substance that is removed by the cleaning liquid more easily than the technological medium [A.c.460148].

1.2.2. Elimination of harmful interaction by modification existing substances

If there are a useful and harmful effects between two substances and it is not required that these substances be closely adjacent to one another, but it is forbidden or inconvenient to use foreign substance, the problem is solved by introducing a third substances (modification of the existing substances) between these two substances.

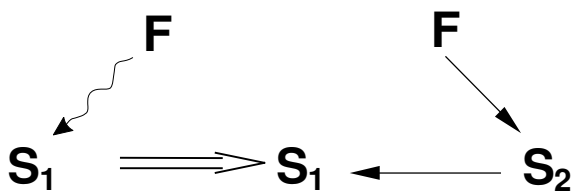


Modified substance S_3 can be introduced into the system from outside as a ready-made or it can be obtained from the existing substances by using the existing fields (F_1 or F_2). Specifically, the modified substance (S_3) may be a "void", bubbles, foam, etc.

> *Example:*
> *A hydrofoil's surface might be destroyed by a cavitation effect produced through the friction between the foil and the water when ship moves at a high speed. It is proposed to refrigerate the surface of the foil. Surrounding water will freeze and form an ice cover for the hydrofoil [A.c.412062]. (S_1 – water; S_2 – hydrofoil's surface; F – cavitation field; S_3 – ice).*
>
> *When pulp is transported through the pipe it causes wear on the pipe walls. To reduce this wearing it is proposed to chill pipe wall to create a protective layer of frozen pulp on the inner surface of pipe [A.c.783154].*

1.2.3. Drawing of harmful action of the field

If it is required to eliminate the harmful effect of a field to a substance, the problem is solved by introducing a second substance that "draws off" the harmful effect of a field.

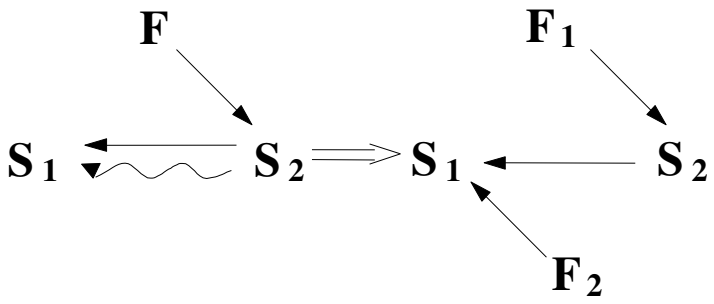


> *Examples:*
> *To protect underground cables from stress of ground during very cold winter, it is proposed to make several narrow anti-frost trenches beforehand alongside the cables [A.c.152492]. (S_1 – cable; F – expansion forces; S_2 – anti-frost trenches).*
>
> *The water pipes may be broken in winter through expansion of freezing water (ice). It is proposed to install pneumatic insertion (elastic hose) into the water pipe. When water is expanding, it squeezes soft insertion and does not break pipe.*
> *(S_1 – pipe; F – expansion forces; S_2 - pneumatic elastic insertion).*

1.2.4. Counteraction for harmful actions through the field

If a useful and harmful effects appear between two substances in SFM, and a direct contact between the substances (in contrast to Standards 1.2.1 and 1.2.2) must be maintained, the problem is solved by transition to a dual SFM in which the useful effect remains with the given field

(F_1) while a new field (F_2) neutralizes the harmful effect (or transform the harmful effect into another useful effect).



Examples:

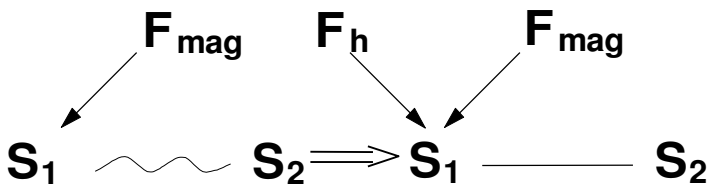
To help with artificial pollination of a flower, airflow is used. However, the strong "wind" may close the flower. It is proposed to use electrostatic charge to the airflow to keep flowers open [A.c.755247]. (S_1 – flower; S_2 – air; F_1 – airflow field; F_2 – electrostatic field)

The technological equipment produces undesirable vibrations during operation. These vibrations may damage foundation or disturb another equipment. It is proposed to generate in foundation support of technological equipment the oscillations coordinated by value but opposite by direction. As result, undesirable vibrations are reduced [A.c.589482].

(S_1- foundation support; S_2 – technology equipment; F_1 – undesirable vibration field; F_2 – generated oscillation)

1.2.5. "Disconnection" of magnetic interactions

If it is necessary to decompose a SFM with a magnetic field, the problem is solved by using physical effects, "turning off" ferromagnetic properties of substances, e.g. by demagnetizing during an impact or during heating above Curie point.



Examples:

During welding it is difficult to insert a ferromagnetic powder in the welding zone: an electromagnetic field of a welding current make the particles displace from the welding zone. It is proposed to heat the powder above the Curie point to making its non-magnetic [A.c.397289].

(S_1 – ferromagnetic powder; S_2 – welding zone; F_{mag} - electromagnetic field of a welding current; F_h – field of heat;)

A ferromagnetic medium with abrasive particles moved by a rotating magnetic field can be applied to polish the internal surface of a product. To intensify this process it is proposed to heat product preliminary above the Curie point to reduce difficulties from interaction of medium and product's magnetic fields [A.c.312746].

(S_1 – product; S_2 - ferromagnetic medium; F_{mag} - rotary electromagnetic field; F_h - field of heat;)

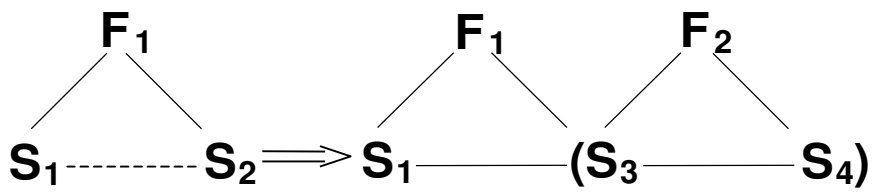
CLASS 2. EVOLUTION OF SFMs

GROUP 2.1. Transition to complex SFMs

Efficiency of SFMs can be enhanced through the transition from simple SFMs to complex ones (chain SFM and dual SFM). In this case it is exist not so great complication but transition provides new properties and intensification of existing properties (first of all - controllability).

2.1.1. Transition to chain SFM

If it is necessary to increase efficiency of SFM, the problem is solved by turning on of the parts of the SFM into an independent controllable SFM and forming a *chain SFM*.



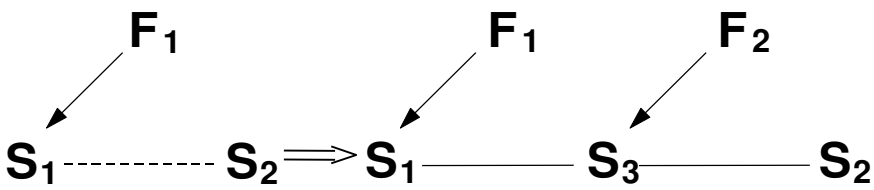
(S_3 and S_4 can be developed into independent SFM too)

> *Examples:*
>
> *A wedge system includes a wedge and wedge-shaped spacer with a heater. To easy extract the wedge it is proposed to make wedge-shaped spacer from two parts, one of which can be easily melted [428119].*
>
> *(S_1 - wedge surfaces; S_2 - wedge-shaped spacer; F_1 - friction field; S_3 - not melted part of spacer; S_4 - easily melted part of spacer; F_2 - thermal field).*

If a component of technical system shall to move by gravitation forces about axis and it is necessary to control this component movement, the problem is solved by introducing in the component well-controlled movable part (sub-system).

> *Self-propelled hoisting crane may be turned over during the work. It is proposed to use movable center of gravity [A.c.271763].*
>
> *(S_1 - self-propelled hoisting crane; S_2 – Earth; F_1 – gravity field; S_3 – holder of a movable part; S_4 – movable part (movable center of gravity); F_2 – mechanical field).*
>
> *To improve wheeled tractor for steep declines it is proposed to introduce movable center of gravity [A.c.508427].*
>
> *(S_1 – tractor; S_2 – steep decline; F_1 – gravity; S_3 - holder of a movable part; S_4 - movable center of gravity; F_2 – mechanical field).*

Chain SFM can be developed through enhanced interactions into SFM. In this case into interaction S_1 – S_2 is embedded F_2 – S_3:

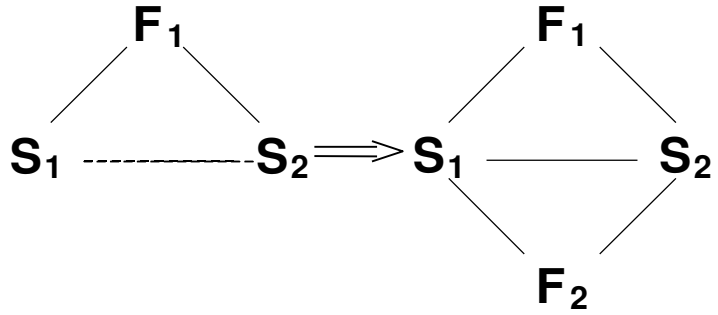


> *Example:*
>
> *A shaft coupling includes external and internal rotors, electromagnet, and magnetic liquid between rotors. If electromagnet is turned off, the rotors can rotate independent. If electromagnet is turned on, the liquid becomes hard, links the rotors, and transmits torque*

> *[UK Patent 824047]. (S_1 - internal rotor; S_2 - external rotor; F_1 - liquid friction field; S_3 - magnetic liquid; F_2 - solid friction field).*

2.1.2. Transition to dual SFM

If it is necessary to increase the efficiency of a controlled SFM, and replacement of SFM elements is prohibited, the problem is solved by the synthesis of a dual SFM by applying a second, easy to control field.



> *Example:*
>
> *During casting the melted steel it is necessary to control flow more exactly.*
>
> *It is proposed to control hydrostatic pressure of melted steel flow by controlling the height of the metal above pouring spout. To improve controllability for melted steel it is proposed to rotate its by electromagnetic field [A.c.275331].*
>
> *(S_1 – metal; S_2 – metal ladle; F_1 – gravitation filed; F_2 – rotation (electromagnetic) field)*

GROUP 2.2. Evolution of SFMs

General idea of the next six rules is to increase efficiency of SFM (simple and complex) without introducing the new fields or substances. It is available through evolving of the existing substance-field resources.

2.2.1. Transition to more controlled fields

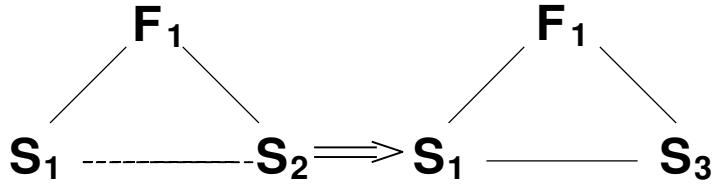
Efficiency of a SFM is enhanced by replacing an uncontrollable (or poorly controlled) working field with a controllable (well-controlled) field, e.g. by replacing a gravitation field with a mechanical one, a mechanical field an electric one, etc[1].

> *Examples:*
>
> *To measure the surface tension of a liquid, the liquid is placed in a tube and pressure is applied to one end of the tube until a drop of liquid from another end appears. To increase the accuracy of this method it is proposed to use centrifugal forces to make pressure. The rotation speed is measured at the moment the drop appears [A.c.989386].*
>
> *In technological process (electromechanical treatment) an electrolyte includes the products of anodic dissolution and can be cleaned by filtering. To increase efficiency of cleaning it is proposed to pass electrolyte through electrostatic field before it goes to the working gap [A.c.496146].*
>
> *It is necessary to improve productivity of metal cutting process. Speed of metal cutting has to increase, for improve productivity, but it does not have to increase, because it is difficult*

[1] In certain cases field controllability may be enhanced not only by replacing a given field with another one, but also by improving the present one, e.g. along the following line:
permanent field → monotonically changing one → pulsed one → variable one → variable in frequency and amplitude → …

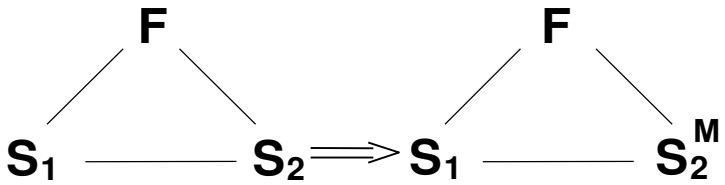
to ensure excessive heat abstraction. It is proposed to use instead of a metal blade a water jet. At the same time, it is possible to use the water jet for non-uniform metal cutting.

(S_1 – product; S_2 – metal blade; F_1 – cutting field; S_3 – water jet)



2.2.2. Segmentation of tool

Efficiency of a SFM is enhanced by increasing the degree of fragmentation of the substance acting as tool.



Comments:

1. S^M - substance include the Multitude of small particles (grain of sand, powder, pellets etc.)
2. The Standard 2.2.2. shows one of the principal trends of the technology evolution, i.e. fragmentation of the tool or its part then directly interacting with the product.

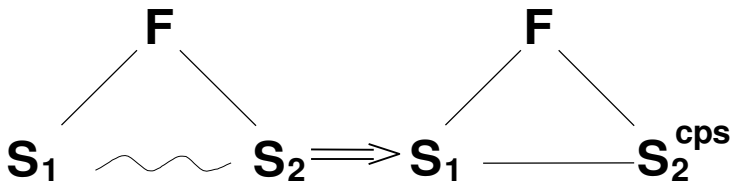
Example:

During the sequentially transportation of the different liquids through the one pipe, it is used piston-like or spherical segments for preventing the mixing of liquid. Piston-like and spherical segments get stuck and demolish. It is proposed to introduce between liquids separator from pellets (0,3-0,5 mm). The density of pellets is equal of average density of liquids [A.c.272737]. (S_1 – liquids; S_2 – separator; F – field of the liquids interaction)

It is proposed to make cutting edge of knife with teeth. Next step is to use the abrasive coating for cutting edge. (S_1 – product; S_2 – cutting edge of knife; F – mechanical field; S_2^M - cutting edge of knife with teeth)

2.2.3. Transition to capillary porous substance

Efficiency of a SFM is enhanced by transition from a solid substance to a capillary porous one. The transition is performed as:
Monolith substance →
substance with one cavity →
substance with multiple cavities (perforated) →
capillary porous substance →
capillary porous substance with a definite pore structure and size
Transition to a capillary porous substance enables a liquid substance to be placed in the pores and physical effects to be used.



Examples:

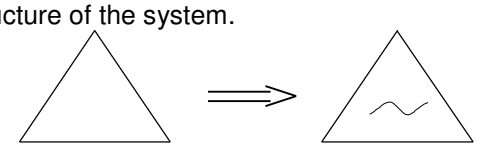
To provide uniform pressure distribution from a heavy machine to foundation it is proposed to make support in the flat form and fill it by liquid [A.c.243177]. (S_1 – heavy machine; S_2 – support; F – pressure).

It is difficult to remove solder alloy by solid tip of soldering iron during disassembling of soldered unit. It is proposed to use capillary porous tube instead of solid tip [A.c.403517]. (S_1 – solder; S_2 – tip of soldering iron; F – field of wetting; S_2^{cps} - capillary porous tube).

It is necessary to apply the liquid glue to the surface accurately and quickly. It is difficult to do it by single large-sized tube. It is proposed to use a bunch of capillary tubules for this function [A.c.493252]. (S1 – liquid glue; S2 - single large-sized tube; F – field of wetting; S_2^{cps} - bunch of capillary tubules).

2.2.4. Increasing the degree of dynamism of SFM

Efficiency of a SFM is enhanced by increasing the degree of dynamism, i.e. by transition to a more flexible, rapidly changing structure of the system.



Comments:

1. Triangle symbol with wave curve indicates dynamics SFM (it can transform during operation time).
2. Making a substance dynamic begins with dividing it into two joint-coupled parts and proceeds along the following line:
   One joint → many joins → flexible substance S_2
3. A field (F) make dynamic by transition from a permanent action of the field (or of the field together with a substance S_2) to a pulse action.

Examples:

Special support is used to keep plants up. In the autumn it is necessary to bend down the branches of plants to protect plants from chill (frost) during the winter. It is proposed to hold the plants using hinged supports [A.c.324990].

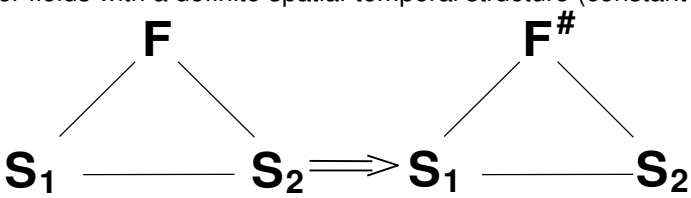
It is possible to increase the degree of dynamism of SFM through using phase transitions:

- freezing of water ←→ melting of ice;
- shape memory effect.

A device for bending the wire loops includes the bending tool and gauge. To simplify structure of device it is proposed to make bending tool from thermally-treated substance (such as a nickel-titanium alloy) that change its shape when heated and returns to its previous state when cooled (shape memory substance) [A.c.710736].

2.2.5. Structuring of field

Efficiency of SFM is enhanced by transition from uniform field or fields with a disordered structure to non-uniform field or fields with a definite spatial-temporal structure (constant or variable).



Symbol # near F indicates that field has definite spatial-temporal structure.

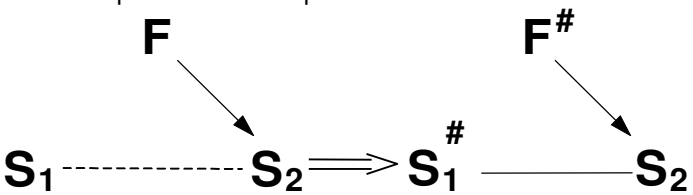
Examples:

To improve efficiency of the fumigation onto ships, it is proposed to apply sound to the toxic gas. Further improvement is achieved when the sound sources operate in anti-phase and create standing waves [A.c.504538]. (S_1 – air of room; S_2 – special toxic gas; F – interaction field; $F^{\#}$ - interaction field with standing waves). (For Standing waves - see Appendix A.)

To increase efficiency of mixing for two magnetic powders, particles of each powder are charged by opposite charges. A layer of the first powder is put in the layer of the second

> *powder and the non-uniform magnetic field is applied [A.c.715341]. (S_1 – first magnetic powder; S_2 – second magnetic powder; F – interaction field).*

If a substance has to have a certain spatial structure, the process should be conducted in a field with structure that corresponds to the required structure of the substance.



> *Example:*
>
> *It is proposed to use ultrasonic oscillations during dragging process of metal. The ultrasonic oscillation is produced to generate standing wave in the metallic product. During process of dragging, periodical profile of product is coordinated with parameters of standing wave of the ultrasonic oscillations [A.c.536874]. (S_1 – metallic product; S_2 – drawing die; F – mechanical field; $S_1^{\#}$ - metallic product with standing wave; $F^{\#}$ - mechanical field with special structure).*

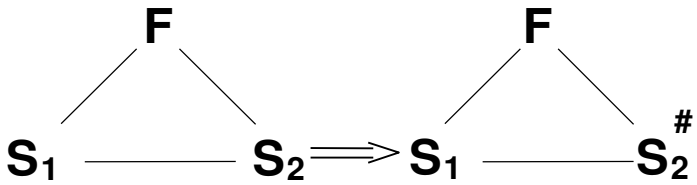
If it is necessary to redistribute the field's energy (e.g. for concentration or discharging) the problem is solved by using standing waves.

> *To grind micro-pipettes they are placed with angle relative to base coated by abrasive powder. To improve productivity it is proposed to form roller from abrasive powder using standing wave and put ends of micro-pipettes inside this roller [A.c.1085767].*

The Standard 2.2.5 is often applied through combination with Standard 1.2.5 ("Disconnection" of magnetic interactions).

2.2.6. Structuring of substance

Efficiency of a SFM is enhanced by transition from substances that are uniform or have a disordered structure to substances that are non-uniform or have a predefined spatial-temporal structure (constant or variable).



Symbol # near S indicates that field has definite spatial-temporal structure.

> *Example:*
>
> *It is necessary to form directed pores in the refractory materials. It is proposed to introduce silk thread beforehand and burn out its later [A.c.713146]. (S_1 – pores; S_2 – disordered substance for produce pores; F – thermal field; S_1 – directed pores; S_2# - structured silk thread; F – thermal field).*

If it is necessary to obtain intensive heating in defined places of the system (points, lines), it is recommended to put exothermal substances in these places beforehand.

GROUP 2.3. Evolution by coordinating rhythms

Group 2.3 includes Standards for evolution of SFM by especially advantageous methods. Standards of group 2.3 propose the parameters value modifications only, instead of introducing or modification the substances and fields. New effect (solution) is achieved by minimum changes in technical system.

2.3.1. Matching the rhythm of field and product (or tool)

Efficiency of a SFM is enhanced by matching (or specially mismatching) the frequency of fields action with the fundamental frequency of a product (or tool).

> *Examples **for frequency matching**:*
>
> *The rhythm of medicinal massage of heart is synchronized with a pulse of a patient [A.c.614794].*
>
> *To increase productivity it is proposed to coordinate the frequency of magnetic field and the fundamental frequency of the electrode for arc welding [A.c.856706].*
>
> *To remove honey from honeycomb, the honeycomb is placed in a microwave oven. To prevent honeycomb from deformation it is proposed to cool them during microwave process, and match frequency of microwaves and resonance frequency of the water dipole [A.c.940714].*
>
> *Example **for anti-resonance**:*
>
> *To increase the reliability under significant vibration for rotating bearing seal with several end faces it is proposed to make parts of rotating bearing seal with different and non-divisible fundamental frequencies [A.c.514141].*
>
> *In winter, the wires of power line is covered by ice and oscillated by strong wind. To increase reliability of wires (multi-conductor) in cold windy season it is proposed to make one conductor with larger diameter than the other [A.c.714509].*

2.3.2. Matching of rhythm of fields

Efficiency of complex SFM is enhanced by matching (or specially mismatching) frequencies of the fields being used.

> *Examples:*
>
> *To separate the fine, strongly magnetic ores it is used magnetic field and vibration in the same time. To increase efficiency of separation it is proposed to synchronize switching on of running magnetic field and vibration [A.c.865391].*
>
> *To coat a product by a special substance, the substance is applied as a powder. To provide a high degree of regularity (hardness, fineness), the frequencies of pulses of an electric current and pulses of magnetic field should be equal [A.c.521107].*

2.3.3. Coordination of the incompatible or independent actions

If two actions are incompatible, e.g. treatment and measurement, one action should be performed during the pauses in another one. Generally, pauses in one action should be filled with another useful action.

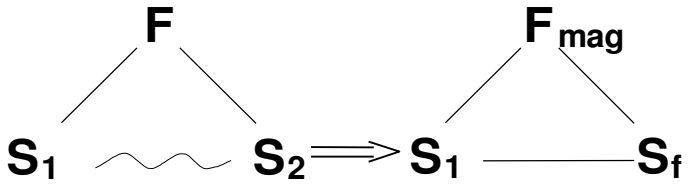
> *Examples:*
>
> *For producing thin wide metallic plates it is used cross direction pay-out rollers onto unmovable support. To increase productivity, it is proposed to move the plate in longitudinal direction during pause of working motion of pay-out rollers [A.c.343722].*
>
> *Electrochemical treatment of parts uses pulses of working electrical current and induction heating. To provide a good productivity, induction heating takes place during pauses of pulses of working current [A.c.778981].*

GROUP 2.4. Complex-forced SFMs

Evolution of SFM can go through the several standard paths in the same time. *SFMs with dispersed ferromagnetic substances and magnetic field*[1] evolve better.

2.4.1. Transition to a ferromagnetic substance and a magnetic field

Efficiency of a SFM is enhanced by using a ferromagnetic substance and a magnetic field.



Comments:

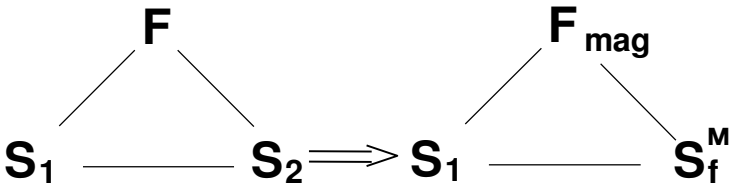
1. The Standard deals with a ferromagnetic substance that is not in a segmented state (pre-feSFM).
2. Standard can be used not only for simple SFM, but also for complex SFM, and SFM using external environment resources.

> *Example:*
> *During assemblage of drainage it is necessary to align the pipes one another. To increase productivity for this process it is proposed to cover pipes tailpieces by ferromagnetic substance and to magnetize in advance [A.c.794113]. (S_1 – pipes; S_2 – aligning device; F – field for control alignment; S_f – pipes with ferromagnetic coating; F_{mag} – magnetic field to provide alignment).*

2.4.2. Transition to a ferromagnetic substance

Efficiency of control over a SFM is enhanced by replacing one of the substances with ferromagnetic particles (or adding ferromagnetic particles) – chips, granules, grains etc. – and using a magnetic or electromagnetic field.

Efficiency of control increases with increasing the degree of ferromagnetic particle segmentation.
Ferro-particles: granule → powder → finely dispersed particles → magnetic liquid.
Efficiency of control increases with increasing the degree of substance segmentation.
Substance: solid → grins → powder → liquid.



Comments:

1. Transition to the ferromagnetic SFM looks as combination of the 2.4.1. (Transition to a ferromagnetic substance and a magnetic field) and 2.2.2 (Segmentation of tool).
2. After transition to ferromagnetic SFM the new feSFM follows the cycle of evolution for SFM.
   It is important, that ferromagnetic SFM has higher degree of controllability and efficiency.

> *Examples:*
> *To spray liquid is used special nozzle with branch pipes and high-voltage electrode. To increase the degree of aerosol dispersion and simplify device operation it is proposed to*

[1] common called "feSFM"

> *install wires winding around liquid's container and put magnetized granules of ferromagnetic substance inside container [A.c.1045945].*
>
> *Target for shooting from sport bow. It is proposed to make target from ring magnet and to fill its by ferromagnetic powder [A.c.1068693]. (S_1 – arrow; S_2 – target; F – holding arrow field; S_f^M – ferromagnetic powder; F_{mag} – magnetic field)*
>
> *A pneumatic filter with electromagnetic control includes an enclosed air channel connected to input and output coupling, an electromagnet, and a valve. To increase reliability and simplify structure the valve is made from ferromagnetic powder placed between two mesh-filters mounted in the air channel [A.c.329333].*

2.4.3. Using of magnetic fluids

Efficiency of ferromagnetic SFM is enhanced by transition to the magnetic fluids – colloidal ferromagnetic particles suspended in kerosene, silicone or water.
Standard 2.4.3. looks as extreme evolution by Standard 2.4.2.

> *Examples:*
>
> *To reduce hydro-resistance into pipeline it is proposed to use a layer of low-viscosity liquid onto walls of pipeline. To make this layer it is proposed to use magnetic liquid and install magnets along the pipeline [A.c.1124152].*
>
> *(For additional examples – see Appendix B)*

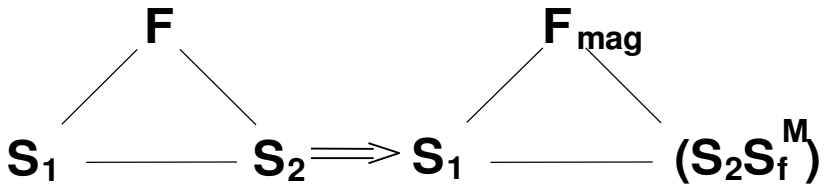
2.4.4. Capillary porous structure of ferromagnetic SFM

Efficiency of ferromagnetic SFM is enhanced by using capillary porous structure (CPS is common for feSFMs).

> *Example:*
>
> *Device for wave soldering is made as magnetic cylinder with coating of ferromagnetic particles. It is proposed to eliminate the surplus of solder by capillary porous structure of cylinder. It is possible to conduct soldering flux to operation zone through the capillary [A.c.1013157].*

2.4.5. Transition to complex ferromagnetic SFM

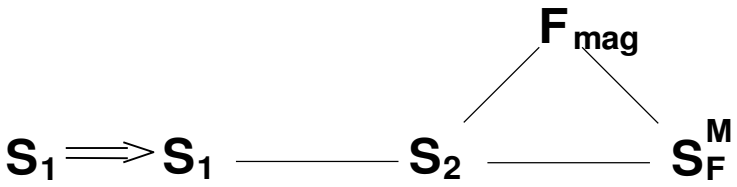
If it is required to improve efficiency of system control, and replacement of substances with ferromagnetic particles is prohibited, the transition is to be performed by forming an internal or external complex ferromagnetic SFM, introducing additives in one of the substances.



> *Example:*
>
> *For transportation parts is used electromagnetic tools. To provide a transportation of non-magnetic parts, the soft-magnetic free-following substance is filled beforehand [A.c.751778]. (S_1 – non-magnetic parts; S_2 – conveyer; F – mechanical field; S_f^M – soft-magnetic free-following substance; F_{mag} – magnetic field)*

2.4.6. Transition to ferromagnetic SFM in the external environment

If it is required to increase efficiency of system control, and replacement of substances with ferromagnetic particles is prohibited, the ferromagnetic particles should be introduced in the external environment and, using the magnetic field the environment parameters can be changed and the system (inside environment) therefore can be controlled (Standard 2.4.3).



Examples:

It is necessary to decrease amplitude of mechanical oscillations of non-magnetic part. It is proposed to use magnetic fluid. The part is placed to the fluid, and apparent density of magnetic fluid is controlled by electromagnetic field [A.c.469059].

(S_1 – part; S_2 – liquid; S_f^M - ferromagnetic particles; F_{mag} – magnetic field)

Comments:

If in technical system the float is used, to increase efficiency of system control, the ferromagnetic particles should be introduced in the liquid and, using the magnetic field, the apparent density could be controlled.
It is possible to control properties of liquid via power of electric current conducted through the liquid.
It is allowed to use as external environment the electro-rheological fluids and control them by electric fields.

A welding device includes a rotating table and floating unit. To increase the speed of the table motion it is proposed to incorporate into liquid a ferromagnetic mixture and to put to the electromagnetic winding the container with liquid [527280].

2.4.7. Using physical effects

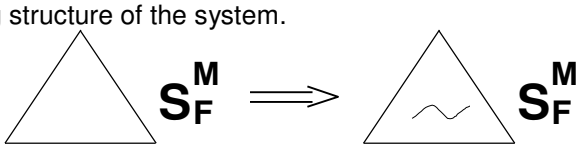
Controllability of a ferromagnetic system is enhanced by the applying the physical effects.

Example:

It is necessary to increase sensitivity of magnetic amplifier for measurement. It is proposed to use thermal impact to core of magnetic amplifier. For decreasing of magnetic noises level it is stabilized temperature of core for 0,92-0,99 of Curie temperature for core material [A.c.452055]. (For Hopkinson effect – see Appendix C)

2.4.8. Increasing the degree of dynamism of feSFM

Efficiency of feSFM is enhanced by increasing the degree of dynamism, i.e. by transition to more flexible, rapidly changing structure of the system.

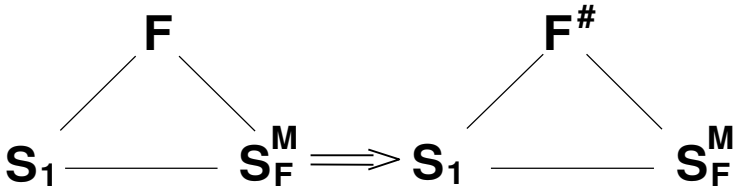


Example:

The device for measurement of wall thickness of hollow non-magnetic element includes ferromagnetic part and variable-induction pickup. To increase accuracy of measurement, it is proposed to make ferromagnetic elements inflatable flexible shell covered by ferromagnetic film [A.c.750264]. (S_F^M – ferromagnetic material).

2.4.9. Structuring of feSFM

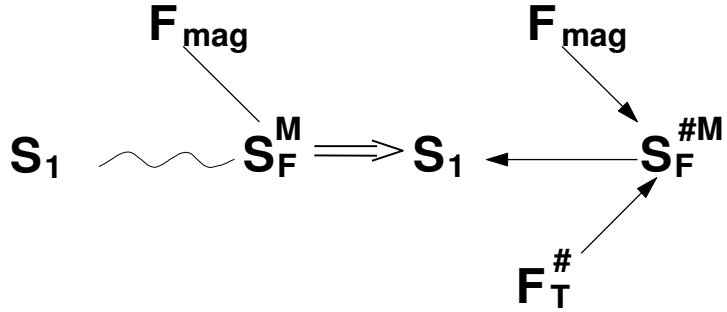
Efficiency of feSFM is increased by transition from fields that are uniform or have a disordered structure to fields that are non-uniform or have a definite spatial-temporal structure (constant or variable).



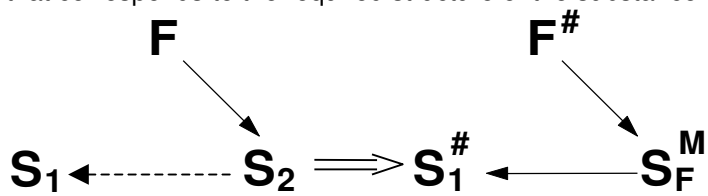
Example:

For forming thermoplastic material is used temperature and punch press. It is proposed to make tool of punch press as ferromagnetic powder. To improve quality of product and productivity is used thermal field that exceeds Curie point in parts of minimal stretching of product [A.c.545479].

(S_1 – thermoplastic product; S_F^M – tool of punch press; F_{mag} – magnetic field; $F_T^\#$ - structured thermal field; $S_F^{\#M}$ – structured ferromagnetic tool of punch press).



If a substance has to have a certain spatial structure, the process should be conducted in a field with structure that corresponds to the required structure of the substance.



Example:

It is necessary to form brush nap on the surface of a thermoplastic material. A heated (bed-of-nails) tool pulls out surface layer dimples into fibers, which are then cooled. But, the nap is non-uniform due to chaotic raising through adhesive bonds to the tool surface. To improve productivity and product quality it is proposed to add ferromagnetic particles into the heated surface layer of thermoplastic material. Exposing these particles to the field of an electromagnet raises the nap. It gives possibility to control the pulling force. The productivity and uniformity of the nap forming are improved [A.c.587183]. (S_1 – product – brush nap; S_2 – heated tool; F – mechanical field; $S_1^\#$ - structured product (thermoplastic with ferromagnetic particles); S_F^M – magnetic tool; $F^\#$ - structured magnetic field).

2.4.10. Matching the rhythms into feSFM

Efficiency of a ferromagnetic SFM is increased by matching the rhythms of the system's elements.

Example:

Method of vibro-magnetic separation includes bi-directional rotating magnetic field and field of vibration. Efficiency of separation can be increase by matching frequency of vibration and bi-directional rotation of magnetic field. As result the forces of cohesion (interaction) decrease, as result the efficiency of separation is improved [A.c.698663].

2.4.11. Transition to electrical SFM

If it is difficult to introduce ferromagnetic or to perform magnetization, one should go over to an eSFM using interaction of an external electromagnetic field with currents either fed through a contact or induced without a contact, or using interaction between these currents.

Examples:

To destroy a rock it is proposed to use pulse current. The conductors are set in parallel and a large current sent through them in the same direction [A.c.994726].

To improve reliability of catching and holding the metallic no-magnetic elements it is proposed to hold them in magnetic field when electric current is passed through them in the perpendicular direction to magnet's lines of force [1033417].

Comments:

1. The ferromagnetic SFMs are systems with introduced ferromagnetic particles.
   In the electrical SFMs instead ferromagnetic particles are used electric current interactions.
2. The development of an eSFM repeats the line of development of complex-boosted SFMs:
   simple eSFM
   → complex eSFM
   → eSFM in the external environment
   → eSFM dynamization
   → structuring
   → matching the rhythms.
3. The Standard about eSFM was proposed by I.L.Vikentiev (Leningrad).

2.4.12. Applying electrorheologic fluid[1]

If a magnetic fluid cannot be used, the electrorheologic fluid[2] may be usefull.

Example:

In the shock-absorber a liquid is forced through small holes of a piston to cushion movement. It is proposed to use an electrorhelogical (ER) suspension (dielectric particles in toluene) as working liquid. When intensity of electric field in the ER fluid rise the viscosity increase. As result, the efficiency of shock-absorber grows [A.c.495467].

[1] A SFM with electrorhelogic fluid is a special form of eSFM.

[2] A suspension of fine quartz powder in toluene, with viscosity controlled by the electric field.

CLASS 3. TRANSITION TO SUPER-SYSTEM AND MICRO-LEVEL

GROUP 3.1. Transition to bi- and poly-system

"Inner-system" developing (the Standards of class 2) takes place with "external-system" developing in the same time: at any stage of its evolution the system can be combined by other systems to form super-system with new qualities.

3.1.1. Transition to bi- and poly-systems

System efficiency at any stage of its evolution is enhanced by combining it with another system[1] (or systems) to form a more complex bi- or poly-system.

Comments:

1. The easy way to make a bi- or poly-systems is to combine two or more substances S_1 or S_2 (bi-substances or poly-substances SFM).
2. The Standard "2.1.1. Transition to chain SFM" may be regarded as transition to a poly-systems too (although it is regarded as increasing the poly-system level). Separation and combining produce similar results – formation of bi- and poly-systems.

> *Examples:*
>
> *To process sides of thin glass plate, several plates are combined into block by glue to prevent thin glass from breaking [US Patent 3567547].*

The basic property of poly-system is that poly-system is formed the specific internal medium is appeared too. For the above example the introduction of glue as the internal medium this is result provided by united glass plates into block, but not only collection of several glass plates.

Another important property of bi- and poly-systems this is possibility of multi-stage action.

> *To increase rotation speed of turbo-drill for permissible speed of working liquid it is proposed to make turbo-drill from several units. The rotor's shaft of first turbine is attached to the body of the second unit, the rotor's shaft of second turbine is attached to the body of the third unit, etc. As result, the rotation speed increases from the first to next unit [A.c.126079].*

Comments:

3. Elements to be combined may be substances, fields, substances-fields pairs and whole SFMs.

> *Example:*
>
> *Before pressure treatment the inductor heats the metal blank. But the blank surface is oxidized during heating. It is proposed to chill surface of blank when the volume is heated. When the internal volume is hot, the cooling is stopped [A.c.321195].*

Comments:

4. Previously, the transition to the super-system was considered the final stage of system's evolution. It was supposed, that technical system has to exhaust resources of evolution at the "its own level" first and after that to transform to the super-system. However it was collected a lot of facts that confirm rule: transformation can happen at any stage of technical system's evolution. Further evolution may follow by two directions: developing of obtained super-system and/or evolution of initial technical system. Some analogous may be seen into chemistry: complex element is formed by creation of a new electron orbits as well as by the filling of incomplete internal orbits.

3.1.2. Developing interactions in bi- and poly-systems

Efficiency of new bi- or poly-systems is enhanced by developing links (interactions) between system's elements.

---

[1] System transition 1a.

Comments:

New bi- and poly-systems frequently have "zero interactions[1]", i.e. to represent as "heaps" of elements. In this case, the links evolve by reinforcement.
On the other hand, sometimes, the elements in new systems may have hard links. In this case, links evolve by increasing degree of dynamism.

> *Example:*
>
> *The hulls of catamaran are tied together with rigid cross-members. It is necessary to improve mobility of catamaran in channel. It is proposed to introduce a dynamic links between the hulls [A.c.524728 and 1094797].*

3.1.3. Increasing the difference between systems components for bi- and poly-systems

Efficiency of bi- and poly-systems is enhanced by increasing the difference between system components. The transition is performed along the following line (system transition 1b):
Similar elements (pencils of the same color) →
Elements with displaced properties (pencils of different colors) →
Different elements (set of drawing instruments) →
Combination of the inverted properties "elements + anti-element" (pencil with rubber).

> *Examples:*
>
> *For welding thick parts is used several electrodes placed one behind the other. For improve productivity it is proposed to arrange the electrodes at differing depth one behind the other [A.c.546445].*
>
> *The active element of an electro-acoustical transducer is made as assembly of sections. To provide thermal stability of the electrical and acoustical parameters it is proposed to make neighboring (nearest) sections from substances with oppositely-signed thermal coefficient in relation to changing piezo-modulus [A.c.606233].*
>
> *Source of mechanical oscillation for welding process includes tools as roll. Roll contacts with welding part through sliding-friction interaction. It is necessary to improve quality of welding. Well-known way is to increase amplitude and to enlarge frequency of oscillation range. It is proposed to make roll as assembly of sections from materials with different coefficient of friction [A.c.1041250].*

3.1.4. Convergence of bi- and poly-system

Efficiency of bi- and poly-systems is enhanced by convergence (integration) through reducing auxiliary components. Completely converged bi- and poly-systems become mono-systems again, and cycle of evolution can be repeated at another level.

> *Example:*
>
> *A rescue suit usually includes separated subsystems for cooling and breathing. It is required to decrease weight of rescue suit, and to increase efficiency of cooling and duration of breathing. It is proposed to integrate air cylinder and refrigerant container. The oxygen (as liquid) during evaporation works as refrigerant. After transformation to the gas – oxygen is used for breath [A.c.111144].*
>
> *Instead of three separated indicators on a dashboard, a single indicator can be used in which indicating arrows are made of different colors.*

3.1.5. Incompatible properties of system and its parts

Efficiency of bi- and poly-systems is enhanced by distributing incompatible properties between the system and its parts. This is achieved by using a two-level structure (system transition 1c): the entire system has a property C while its parts have a property opposite to C (anti-C).

[1] This term was suggested by A.Timoshchuk.

> *Example:*
>
> *The working parts of vice to grip complex shape elements are made from segmented bushes capable to move relative to each other. Elements of various shapes can be gripped quickly and easily. (Parts are solid, but the fixing device is "soft") [A.c.510350]*

GROUP 3.2. Transition to micro-level

It is two general directions for transit to the new systems:
Transition to the super-system ("way upwards" – Standards of group 3.1) and
Transition to use "deep" subsystem ("way downwards" – Standards of group 3.2).

3.2.1. Transition to micro-level

Efficiency of a system at any stage of its evolution is enhanced by transition from macro-level to micro-level (system transition 2): the system or its part is replaced by a substance capable to perform required action through interaction with a field.

> *Examples:*
>
> *A labyrinth pump includes a cylindrical rotor and a stator with multiple opposite-directed threads. To improve controllability through changes of temperature it is proposed to make rotor and stator out of substances with different thermal expansion coefficient [A.c.275751].*
>
> *Instead of a micro-screw, a microscopic desk can be positioned by fixing it on a metal rod, which is subjected to thermal field. The rod expands and contracts relatively the value of the temperature through the effect of thermal expansion.*

Comments:

1. Example about labyrinth pump looks like strange, because structure of pump was not changed. What is really new in this example? In practice the structure of pump is not changed, it is changed method of control: instead of ineffective mechanical device it is proposed to use thermal principle of control.
   For microscopic desk example, instead of ineffective (for tiny distances) mechanical principle it is proposed to use thermal method of moving for small distance.
2. In early articles about standards it was considered that transition to the micro-level was appropriate when technical system exhaust its resources. For modern viewpoint the transition to micro-level can be used at any stage of technical system development.
3. Transition "from macro-level to micro-level" is a general concept. There is a multitude of micro-levels (crystal lattice, molecules, ions, domains, atoms, fundamental particles, fields etc.), therefore, various options of transition to a micro-level and various options of transition from one micro-level to another, lower one, should be considered while solving the problem. Information related to these transition is accumulated and new Standards for group 3.2 are expected.

CLASS 4. MEASUREMENT AND DETECTION STANDARDS

GROUP 4.1. Bypass ways

Measurement and detection serve the main "metering" action. It is advisable to redesign main action of technical system to exclude (or reduce) necessity of "measurement-detection" activity. Certainly, this reconstruction should not decrease accuracy.

4.1.1. Instead of measurement and detection – system change

If it is given the problem of detection or measurement, it is proposed to change technical system such that there should be no need to perform detection or measurement at all.

> *Examples:*
>
> *During inductive heating of elements it is necessary to fix needed temperature. Instead of temperature measurement it is proposed to put between element and inductor the special salt with the temperature of melting equal needed temperature [A.c.505706]*

4.1.2. Using of copies

If it is given the problem of detection or measurement and it is impossible to change technical system such that there should be no need to perform detection or measurement (Standard 4.1.1), it is proposed to replace direct operations on the object with operations on its copy or picture.

> *Examples:*
>
> *It is necessary to know timber's volume onto platform, but it is impossible to delay train departure. Instead of measurement the timber directly it is proposed to do measurement for photographic picture. Image is made with special scale.*

If it is necessary to compare object and pattern (template) for detecting differences the problem can be solved through matching of optical image for object and pattern. The measurement problems can be solved through this principle too.

> *To check a plate that contains drilled holes its yellow image is combined with blue image of pattern (template). When the yellow color appears on the screen the needed holes is absent. When blue color appears on the screen the plate has unnecessary hole [A.c.350219].*

4.1.3. Sequentially detection of changes

If it is given the problem of measurement and it is impossible to apply Standards 4.1.1 or 4.1.2, it is proposed to transform the problem into the one of sequentially detection of changes.

> *Examples:*
>
> *During mining of copper ore by chambered method the large underground caves are appeared. For various reasons the top part of caves (ceiling) from time to time can fall on. It is required to check ceiling conditions regularly and measure new cavities onto ceiling. Height of the cave is about 15 meters. It is proposed to make horizontal bore-holes beforehand and fill them by different colored luminophores. When part of ceiling fall on, it can be easily detected by luminescence and color will inform about depth of the new cavity [A.c.186366].*
>
> *To measure the temperature, it is possible to use the material, which changes its color depending on the current value of temperature. Optionally, several materials can be used to indicate different temperatures.*

Comments:

> Any measurement is carried out with a certain degree of accuracy. Therefore, even if the problem deals with continuous measurement, one can always single out a simple act of measurement involving two successive detection.

> *Example:*
>
> *It is necessary to measure diameter of grinding wheel with 0.01mm accuracy. On the other hand, grinding wheel can be imagining as concentric circles with 0.01mm distance between them. In this case it is necessary to detect transition from one to other circle. It is possible to estimate diameter through fixing transitions and them quantity.*

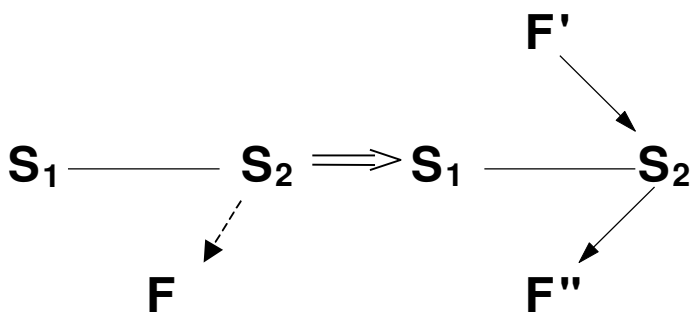
Transition from blurred "measurement" to the "sequentially detection of changes" makes the problem extremely simpler.

GROUP 4.2. Synthesis of measurement system

For synthesis of measurement systems it is applied the similar principles as used for "modification" systems: it is necessary to complete SFM through introducing needed substance or field. Difference of measurement systems is that the structure of SFM should provide field at the output.

4.2.1. Synthesis of measurement SFM

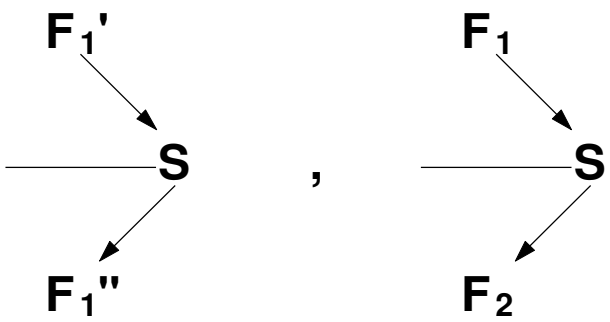
If a non-SFM is not easy to detect or measure, the problem is solved by synthesizing a simple or dual measuring SFM with a field at the output. Instead of direct measurement or detection of a parameter, another parameter identified with the field that is measured or detected.



> *Example:*
>
> *To detect a moment when a liquid begins to boil, an electrical current is passed through the liquid. During boiling, air bubbles are formed. They increase dramatically the electrical resistance of the liquid [A.c.269558]. (S_1 – liquid; S_2 – bubbles; F – "detection" field; F' – electric current field; F" – modified electric current field at the output)*

Comment:

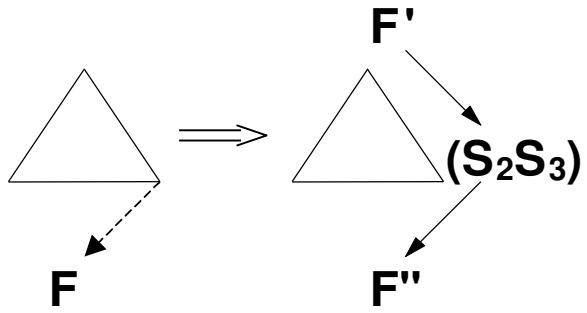
Typical SFMs for solutions of measurement problems:



F" – modified field; F_2 – another field.

4.2.2. Transition to complex measuring SFM

If a system (or its part) does not to provide detection or measurement, the problem is to be solved by going over to an internal or external complex measuring SFM, by introducing easy-to-detect additives.



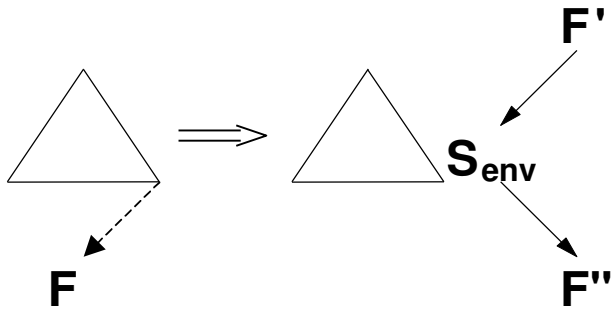
Examples:

To detect leakage in a refrigerator it is proposed to mix a cooling liquid agent with phosphor powder [A.c.277805]. (S_2 – cooling liquid; S_3 – phosphor; F' – field of light; F'' – field of "leakage luminosity")

To measure the contact area between two surfaces it is proposed to cover one surface by luminophore paint beforehand. After contact of two parts the unpainted/painted area for second surface gives needed information [A.c.110314].

4.2.3. Transition to external complex measuring SFM

If a system is difficult to detect or to measure at a given moment on time, and it is impossible to introduce additives in the object, the problem is to be solved by introducing needed additives (creating an easy-to detect and measure field) in the external environment, whose changing state will provide an needed information.



Example:

To check wearing of combustion engine it is necessary to identify amount of worn metallic particles. Particles of worn metal appear in the motor oil. It is proposed to add phosphor into oil lubricant. Metal particles collecting in the oil will reduce luminosity of the oil [A.c.260249]. (F- field of measuring; S_{env} – oil lubricant with phosphor; F'' - field of "luminosity").

4.2.4. Transition to measurement SFM by using external environment properties

If it is impossible to introduce easily detectable additives in the external environment (by rule 4.2.3), the problem is to be solved by obtained needs in the environment, e.g. by decomposing it or by changing its aggregate state.

Comment:

In particular, gas or vapor bubbles produced by electrolysis, cavitation[1] or by any other method are quite often used as additives obtained by decomposing the external environment.

[1] **a:** the formation of partial vacuums in a liquid by a swiftly moving solid body (as a propeller) or by high-intensity sound waves; *also*: the pitting and wearing away of solid surfaces (as of metal or concrete) as a result of the collapse of these vacuums in surrounding liquid **b:** the formation of cavities in an organ or tissue esp. in disease [Copyright (c) 1994 Merriam-Webster, Inc. All Rights Reserved]

> *Example:*
>
> *The speed of a water flow in a pipe might be measured by amount of air bubbles resulting from cavitation.*

GROUP 4.3. Improvement of measurement systems

Measurement SFM can be improved through applying physical effects and through coordination of rhythm for using fields.

4.3.1. Using physical effects

Efficiency of measuring SFM is improved by the use of physical effects.

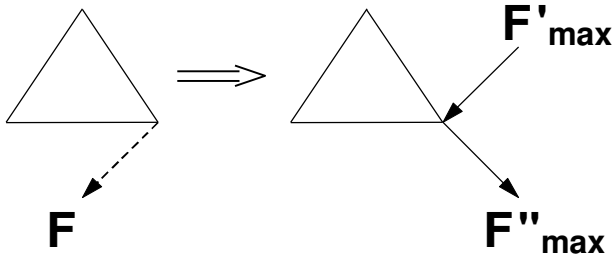
> *Examples:*
>
> *Some substances lose luminosity properties over a small portion of moisture. This effect can be applied for measuring of humidity [A.c.170739].*
>
> *Diamond grain changes the factor of light's refraction through changes of temperature strongly. This effect can be used for measuring the temperature [A.c.415516].*

In particular, it might as well, a thermocouple will be formed into SFM, and needed signal will be achieved "unpaid". "Signal field" can be obtained by induction as well.

> *A bearing with an anti-friction bearing brass has a thermocouple connection to a protection device. The bearing brass is located into an current-conducting iron ring that connected to current-conducting casing. To increase speed of protection from overheating it is proposed to make thermocouple from iron ring and the casing [A.c.715838].*

4.3.2. Using resonance oscillation of object

If it is impossible to detect or measure directly the changes in the system, and no field can be passed through the system, the problem is to be solved by existing resonance oscillations (of the whole system or of its part), whose frequency change is an indication of the changes that take place.



> *Examples:*
>
> *To measure the mass of a substance in container, the container is subjected to mechanically forced resonance oscillations. The fundamental (natural) frequency of oscillations depends on the system's mass. Through measuring of natural frequency of oscillation is to be measured mass of substance [A.c.271051]. (F'_{max} – mechanically oscillation; F''_{max} – natural frequency of resonance)*
>
> *To measure the linear weight of thread it is proposed to subject the thread mechanically oscillation (in one point) and to measure frequency oscillation (in other point) [A.c.244690]. (F'_{max} – mechanically oscillation; F''_{max} – difference of frequency)*

4.3.3. Using resonance oscillation of attached object

If resonance oscillation may not be excited in a system (it is difficult to use Standard 4.3.2), its state can be determined by a change in the natural frequency of the object (external environment) attached with the system.

> *Example:*
>
> *The amount of substances for boiling layer (it is not liquid) can be measured by measuring changes in the amplitude of free oscillations for gas above the boiling layer [A.c.438873].*

GROUP 4.4. Transition to ferromagnetic measurement systems

Measurement SFMs have stable tend of transition to ferromagnetic SFM.

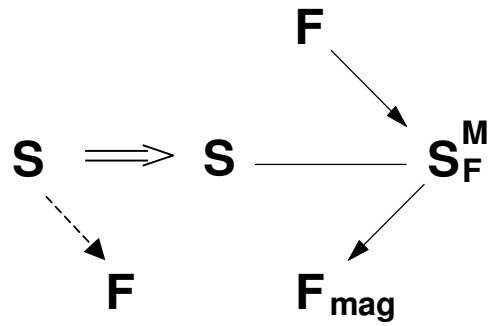
4.4.1. Transition to ferromagnetic substance and magnetic fields

Efficiency of measuring SFM is improved by using a ferromagnetic substance and a magnetic field.

> *Example:*
>
> *There is a need to detect and inspect previously-sealed holes in the hull of ship. It is proposed to implant a permanent magnet in the hole before sealing. The sealed hole is detected using balanced-needle magnetometer that indicates local maximum of the magnetic field [A.c.222892].*

4.4.2. Transition to measurement feSFM

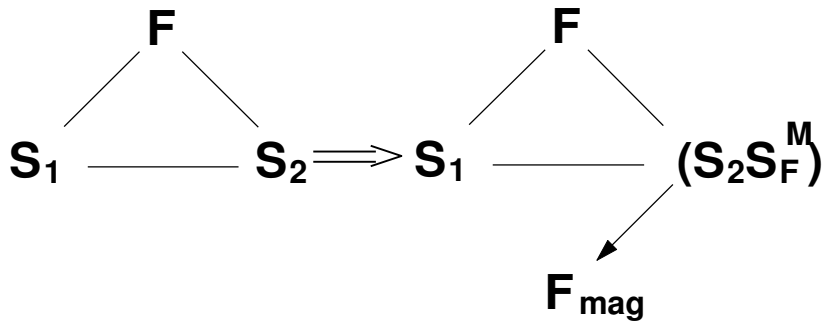
Efficiency of detection or measurement is improved by transition to ferromagnetic SFMs, replacing one of the substances with ferromagnetic particles (or adding ferromagnetic particles), and by detecting or measuring the magnetic field.



> *Example:*
>
> *To measure the degree of solidify (or softening) for polymer substance it is proposed to introduce magnetic powder. The degree of solidify (or softening) is detected by measurement of permeability (magnetic) of substance during solidification (softening) [A.c.239633]. (S – polymer substance; F – field of "solidify"; S_F^M – magnetic powder; F_{mag} – changes of magnetic field)*

4.4.3. Transition to complex ferromagnetic SFM

If it is required to improve the efficiency of detection or measurement by transition to a ferromagnetic SFM, and replacement of the substance with ferromagnetic particles is not allowed, the transition to the feSFM is performed by synthesizing a complex ferromagnetic SFM, introducing (or attaching) ferromagnetic additives in the substance.



Example:

A stratum can be destroyed by liquid under high pressure. To improve controllability of process it is proposed to introduce ferromagnetic powder to the liquid [A.c.754347]. (S_1 - mining layer; S_2 – liquid; F – field of interaction of liquid and mining layer; S_F^M – ferromagnetic powder; F_{mag} – magnetic field for control the state of liquid).

[http://www.magneticpulse.com/2techpul.htm]

4.4.4. Transition to measurement feSFM by using external environment properties

If it is required to improve the efficiency of detection or measurement by transition to a ferromagnetic SFM, and introduction of ferromagnetic particles is not allowed, ferromagnetic particles are introduced in the external environment.

Example:

During the ship's model motion on the surface of water the waves appear. To study the process of wave appearance, it is proposed to add ferromagnetic particles into water.

4.4.5. Using physical effects for measurement feSFM

Efficiency of a feSFM measuring system is improved by the use of physical effects, such as going through Curie point, Hopkins and Barkhausen effects, magnetoelastic effect, etc.

Examples:

The temperature in the furnace is monitored using an induction-type sensor. The magnetic properties of the sensor's core material are changed according temperature changes. To improve accuracy of temperature measurement, it is proposed to heat (or cool) core material near the Curie point by addition of an electric heater to the loop core. A small change in furnace temperature will be abrupt change in core magnetic permeability [A.c.115128].

To measure stress for steel structures, the elements of real structures have to be used for experiment. It is proposed to measure stress by using the magnetoelastic effect[1]. The stress value is determined without removing elements from the structure [A.c.372465].

A liquid-level detector is placed to non-magnetic chamber and includes magnet located inside the chamber and magnetoactive contact outside the chamber. To improve the detector's reliability it is proposed to fasten magnet at the level of the magnetoactive contact and cover its by substance with lower temperature of Curie point than the temperature of controlled liquid [A.c.1035426].

GROUP 4.5. Evolution of measurement systems

Evolution of measurement systems is performed by common system transitions, but it has specific particularities.

4.5.1. Transition to a measuring bi- and poly-systems

Efficiency of a measuring system at any stage of its evolution is improved by forming bi- or poly-system.

[1] The magnetoelastic effect (or Villari effect) refers to change a magnetization of a ferromagnetic subjected to mechanical strains [TechOptimizer 2.5, Copyright (c) 1995-1997 Invention Machine Corporation].

> *Example:*
>
> *It is necessary to measure accurately the body temperature of a small beetle. However, if there are many beetles put together, inner environment appears between beetles. Temperature of this environment is equal of beetle's temperature. The temperature can be measured easily by usual thermometer.*
>
> *A device to measure the length of water-skier's jump includes microphone to record the sound of the water-skier touching to the surface. It is proposed to use two microphones to measure the time difference for sound propagation in the air and in the water [A.c.256570].*

4.5.2. Transition to measurement the derivatives of function

Measuring systems evolve towards measuring the derivatives of the function under control. The transition is performed along the following line:
measurement of a function →
measurement of the first derivative of the function →
measurement of the second derivative of the function.

> *Example:*
>
> *Formerly, seismic tension in the rock was measured through determination the electrical resistance of the rock. Modern method proposes to measure the speed of electrical resistance changes [A.c.998754].*

CLASS 5. HELPERS (STANDARDS FOR APPLYING THE STANDARDS)

GROUP 5.1. Substance introduction

During synthesis, developing, and decomposition of SFMs frequently it is necessary to introduce new substances. Introducing of substance generates technical difficulties or decrease the degree of system's ideality. Therefore, it is necessary "to introduce substance without introducing", and use various bypass ways.

5.1.1. Bypass ways

If it is necessary to introduce a substance in the system, and it is prohibited to do by the condition of problems or is not allowed by the system operating conditions, bypass ways to be used:

5.1.1.1. instead of substance a "void" to be used.

> *Example: A stress measurement (tensometric) grid in a transparent model is made using filaments of substance. To reduce the distortions for stress measurement it is proposed to make the grid from cylindrical micro-voids. The grid of micro-voids is formed by etching (using acid) away fine cooper filaments imbedded in the model [A.c.245425].*

Comment:

> A "void" for engineering systems this is usually gaseous substance, like air, or empty space formed in a solid object. In some cases a "void" may be formed by other substances, such as liquids (foam) or loose body.

5.1.1.2. instead of substance a field to be used.

> *Example: To measure the degree of stretching for moving filament it is proposed to mark filament by electrical charges and to measure the linear density of charge [A.c.500464].*

5.1.1.3. instead of internal additive an external additive to be used.

> *Example: To measure the wall thickness for complex-shape container it is proposed to fill container by electrically-conductive liquid. The liquid contacts to all parts of the internal surface at once. The electrical resistance between electrolyte and an external contact is proportional to the thickness of wall in this point [A.c.360540].*

5.1.1.4. an very active additive is to be introduced in very small quantities.

Example: In process of the pipes extrusion a mineral oil is used as lubrication. To decrease hydrodynamic pressure in zone of deformation it is proposed to introduce into oil 0,2-0,8% of polymethacrylic additive [A.c.427982].

5.1.1.5. a normal additive is to be introduced in very small quantities and concentrated in certain parts of the object.

Example: To produce electro-conductive polymer the ferromagnetic particles are to be introduced, and it is necessary to concentrate them as lines (filaments).

5.1.1.6. an additives is to be introduced temporarily and then removed.

Example: It is proposed to fill cavity of non-magnetic parts with a ferromagnetic core (a rode or powder) temporarily, to orient them using electromagnetic field [A.c.458422].

5.1.1.7. a copy or model of the object is to be used instead of the object itself, where introduction of substances is allowed.

Example: To obtain multitude of sections for three-dimensional element it is proposed to use horizontal surface of liquid. A liquid is filled into transparent element's model. The spatial position of the model can be easily changed [A.c.499577].

5.1.1.8. the substance is to be introduced in a form of a chemical compound which can be later decomposed.

Example: The rubbing surface of a wooden bearing is plasticized by ammonia. To increase productivity and reduce cost of process it is proposed to use an ammonium salt (for instance $(H_4)_2CO_3$) that decomposes under heating during process (source of heat – elements friction) [A.c.342761].

5.1.1.9. the substance is to be produce by decomposing the external environment or the object itself, for instance, by electrolysis, or by changing the aggregate state of part of the object or external environment.

Example: To intensify the removing of the products of electrolytic dissolution by bubbles of gas for electro-chemical process, it is proposed to obtain bubbles by electrolysis of the electrolyte near the processing zone [A.c.904956].

5.1.2. Dividing of product

If a system is not easy to change as required, and the conditions do not allow to replace the component acting as tool or introduce additives, the product has to be used instead of the tool, dividing the product into parts interacting with each other.

Examples:

A quickly decomposed liquid is pumped into the working chamber of an anode-power machine. To improve mixing of liquid in the working zone it is proposed to feed the liquid through two counter-flow jets [A.c.177761].

Wet sugar is processed for drying by counter-flow streams of cold and hot air. To improve efficiency of process it is proposed to use centrifugal forces. The raw particles flow to the walls of the drum while fine particles are go out through the central pipe with exhaust gases [A.c.412449].

To decrease gas flow energy it is decomposed into several flows. To improve efficiency of energy absorption it is proposed to place one flow inside another and rotate them in opposite directions [726256].

Comment:

If it is necessary to increase controllability in the system with flow of fine-dispersed particles, the flow has to be divided by several flows with similar electric charge and opposite electric charge. If all flow has same electric charge, one component of system should provide the opposite charge.

> *Example:*
>
> *For cleaning air into mine by dry coagulation of dust it is proposed to divide flow of dust by two parts, to charge every parts by opposite electric charge and direct them opposite each other. As result, efficiency of dry dust-depression increases [A.c.259019].*

5.1.3. Self-elimination of used substances

After the substance introduced in the system has fulfilled its function, it should either disappeared or became indistinguishable from the substances that was in the system or in the external environment before.

> *Example:*
>
> *A washing liquid contains particles (metal shot or polyethylene granules) to remove a dirt. To completely remove particles from elements after washing it is proposed to use dry ice granules [A.c.588025].*

Comment:

The substance that has been introduced may disappear through to chemical reaction or change of phase.

5.1.4. Using of inflatable structures

If it is necessary to introduce a large quantity of substance, but this is not allowed, a "void" in the form of inflatable structures or foam should be used as the substance.

> *Examples:*
>
> *To transport aircraft after an accident has occurred, it is proposed to use inflatable structures underneath its wings. The inflatable structures lift the aircraft. Transport carts can be placed underneath the inflatable structure [USSR Patent 320102].*
>
> *To increase buoyancy for timber bundle it is proposed that foamed plastic be sprayed between the timbers at the end of the bundle [A.c.895858].*

Comments:

1. Using of inflatable structures, this is rule on macro-level. Using foam, this is same rule but on the micro-level.
2. Standard 5.1.4 often is used with other Standards.

Introduction of foam or inflatable structures resolves a contradiction of the "much substance – little substance" type.

GROUP 5.2. Introduction of fields

During synthesis, developing, and decomposition of SFMs frequently it is necessary to introduce new substances. The Standards from group 5.2 provide methods to make it without complication of technical system.

5.2.1. Using present fields (pluralistically)

If a field has to be introduced in a SFM, one should use first of all the present fields for whom the media are those substances that form the system.

> *Example:*
>
> *It is necessary to separate gas and liquid into flow of liquid oxygen. The system includes two substances, both of which are sources of mechanical field. It is proposed to twirl flow around longitudinal axis of flow. Centrifugal force will move liquid to walls of pipe and gas will collect near the axis of pipe.*

Comment:

The use of substances and fields which already present in the system improves the system's ideality: the number of functions performed by the system increases without increasing the number of used components.

5.2.2. Using fields from external environment

If a field has to be introduced in a SFM but it is impossible to use the fields already present in the system (Standard 5.2.1), one should use the fields of the external environment.

> *Example:*
>
> *Water is carrying out from the bridge with the aid of a drainpipe. It is proposed to provide the end of drainpipe under bridge with an ejector nozzle. The ejector nozzle intensifies suction to carry out the water faster [A.c.414354].*

Comment:

> The use of external environment fields (gravitation, thermal field, pressure…) improves the system's ideality: the number of functions performed by the system increases without increasing the number of used components.

5.2.3. Using substances as resources of fields

If a field has to be introduced in a SFM but it is impossible to use the fields already present in the system (Standard 5.2.1) or in the external environment (Standard 5.2.2.), one should use the fields for whom the substances present in the system or external environment can act as media or sources.

> *Examples:*
>
> *It is necessary to detect temperature in contact zone of grinding wheel and work piece. It is proposed to make body of grinding wheel from metallic wires as thermocouple sensor and to monitor the thermoelectric voltage [A.c.568538].*
>
> *A "Geneva wheel" (a form of intermittent gearing, in which continuous rotation is converted to intermittent rotation) includes a driver and follower – a gear in the shape of a Maltese cross. To improve the mechanism's reliability, the driver contains elements made from steel, and the follower contains elements made from a permanent magnet [A.c. 518591].*

Comment:

> In particular, if there are ferromagnetic substances in a system and they are used for mechanical purpose, it is possible to use their magnetic properties in order to obtain additional effects: improve interaction between components, obtaining information on the state of the system, etc.

GROUP 5.3. Use of phase transition

The opposite requirements for introducing substances and fields can be satisfied using phase transitions.

5.3.1. Changing of phase state (Phase transition 1)

Efficiency of the use of substance without introducing other substances is improved by changing its phase.

> *Example:*
>
> *It is proposed to use liquefied gas, instead compressed gas for pneumatic systems in mine [A.c.252262].*

5.3.2. "Dual" phase state of substance (Phase transition 2)

"Dual" properties are provided by using substances capable of converting from one phase to another according to operating conditions.

> *Example:*
>
> *It is necessary to increase range of capacitance changes for controllable electric capacitor. It is proposed to make part of dielectric layer from a "dielectric-metal" phase transition material. When heated, some of the layer becomes a conductor, when cooled it becomes a dielectric throughout [A.c.1003163].*
>
> *To improve performance of heat exchanger it is proposed to make "petals" (small flat parts onto surface) from nickel-titanium alloy. When temperature increases the "petals" is unbent and increases the heat exchanger working area (shape memory effect) [A.c.958837].*

5.3.3. Using phenomena accompanying a phase transition (Phase transition 3)

Efficiency of system can be improved by the use of physical phenomena accompanying a phase transition.

> *Example:*
>
> *To transport the frozen loads it is proposed to use bars of ice as support (friction is decreased through ice melting) [A.c.601192].*

Comment:

> Structure of substances, density, thermal conductivity, etc. also change along with the change of aggregate state during all types of phase transitions. In addition, during phase transitions, energy may be released or absorbed.

5.3.4. Transition to dual-phase state (Phase transition 4)

"Dual" properties of a system are provided by replacing a single-phase state of the substance with a dual-phase state.

> *Example:*
>
> *To reduce noise and capture smell, vapor and ships produced during a cutting process it is proposed to cover cutting zone by foam. The foam is "transparent" for cutter but "nontransparent" for noise, smell, and vapor [U.S. Patent #3589468].*
>
> *To reduce complexity of flushing technique of cleaning a filter, it is proposed to use saturated air-water mixture instead two stage process ((1)air-water mixture; (2) flushing with water). When the saturated air-water mixture is fed to the filter, air bubble form on the granular particles and impurities [A.c.936962].*

5.3.5. Using interaction between phases of the system

Efficiency of systems obtained as a result of replacing a substance's single-phase state with a dual-phase state is improved by introducing interaction (physical or chemical) between parts (phases) of the system.

> *Example:*
>
> *To increase pressure of gas in compressor (in thermopower plant) it is proposed to use dual-phase working body. Working body includes gas, and small solid particles with adsorbent properties. Absorbent can provide general or selective absorption [A.c.224743].*

GROUP 5.4. Physical effects applying

Many Standards apply physical effects or can be used with physical effects. In this case, it is necessary to apply some principles to improve efficiency of physical effects implementation.

5.4.1. Using reversible physical transformation

If an object is to be alternating between different physical states, the transition is performed by the object itself using reversible physical transformations, e.g. phase transitions, ionization-recombination, dissociation-association, etc.

> *Example:*
>
> *A metal rod protects radio equipment from lightning. On the other hand, the lightning rod distorts the radio waves. It is proposed to use lightning rod from dielectric material with a*

vacuum inside internal cavity of dielectric. During a storm, the rarefied gas inside dielectric rod becomes ionized. The plasma within conducts the lightning currents to the ground. After storm ions recombine, gas becomes to electrical-neutral state. From this case lightning rod do not distort the radio waves [A.c.177497].

Comment:

A dynamic balance providing for the process self-adjustment or stabilization may be maintained in the dual-phase state.

5.4.2. Amplification of field at the output

If it is necessary to obtain a strong effect at the system's output, given a weak effect at the input, the transformer substance is placed to a condition close to critical. The energy is stored in the substance, and the input signal acts a "trigger".

Example:

Elastic waves can be generated in magnetostrictive[1] materials by magnetic fields. It is necessary to generate shock and large-amplitude waves. It is proposed that the magnetic coil is heated just below the Curie point temperature, and it is then compressed by a magnetic field. The wave provided by heating coil to the Curie point. Heat turns coil into non-magnetic state. In this case, deformation energy is realized in the form of unloading waves. The energy of magnetic compression wave and the unloading wave are summed up to generate a shock wave. [A.c.969327]

To test integrity (gas proof) a sealed object it is used next method: object is put to the liquid while the pressure above the liquid is lower than the gas pressure inside object. Gas bubbles reveal place of leakage. To improve sensitivity of test it is proposed to overheat liquid and maintain these conditions during test [A.c.416586].

GROUP 5.5. Substance particles obtaining (experimental Standards)

5.5.1. Substance particles obtaining by decomposition

If substance particles (e.g. ions) are required to solve a problem and they are not available according to the problem conditions, the required particles can be obtained by decomposition a substance of a higher structural level (e.g. molecules).

Example:

It is necessary to create hydrogen at high pressure. It is proposed to place compound containing hydrogen into leakage-proof container and subject it by electrolysis (to create free hydrogen) [A.c.741105].

5.5.2. Substance particles obtaining by completing or combining

If substance particles (e.g. molecules) are required to solve problem and they can not be produced by decomposing a substance of a higher structural level, the required particles can be obtained by completing or combining particles of lower structural level (e.g. ions).

Example:

To decreasing hydrodynamic resistance for ships is used special high-molecular polymer. It is necessary to reduce expenditure of polymer. It is proposed to produce needed complexes of molecules of water by electromagnetic fields [A.c.364493].

5.5.3. Simple methods for substance particles obtaining

[1] Magnetostriction – this physical effect provides changes of the dimensions and shape for magnetic body during magnetization.

If a substance of a higher structural level has to be decomposed, the easiest way is to decompose the nearest higher element. When completing or combining particles of a lower structural level, the easiest way is to complete the nearest lower element.

> *Example:*
>
> *Problem about protection of radio equipment (see example for Standard 5.4.1.) Ions are produced through decomposition of gas molecules. Neutral molecules are reproduced by combining of "fragments" (ions and electrons) [A.c.177497].*

Annexe IV- 11 Méthodes de Séparation

- 1) Séparation des modalités contradictoires dans l'espace
- 2) Séparation dans le temps
- 3) Combinaison de plusieurs systèmes: "super-système"
- 4) Combinaison d'un système et son opposé: "Anti-système"
- 5) Séparation entre un système et ses sous-systèmes
    - Le système a la propriété A
    - Les sous-systèmes ont la propriété non-A
- 6) Transition vers le micro-niveau, changement d'échelle par utilisation de substances à un état physique plus "dissocié": poudre, liquide, gaz
- 7) Changement de phase d'une partie du système, changement dans l'espace
- 8) Changement de phase "dynamique", changement dans le temps
- 9) Utilisation des phénomènes associés aux changements de phase
- 10) Remplacement d'une substance monophasée par une substance bi ou polyphasée
- 11) Création ou élimination de substances par combinaison ou décomposition physico-chimique

Annexe V- *The Pattern 52: Network of Path and Cars from "A pattern language"*

52 NETWORK OF PATHS AND CARS**

270

. . . roads may be governed by PARALLEL ROADS (23), LOOPED LOCAL ROADS (49), GREEN STREETS (51); major paths by ACTIVITY NODES (30), PROMENADE (31), and PATHS AND GOALS (120) This pattern governs the interaction between the two.

✣ ✣ ✣

Cars are dangerous to pedestrians; yet activities occur just where cars and pedestrians meet.

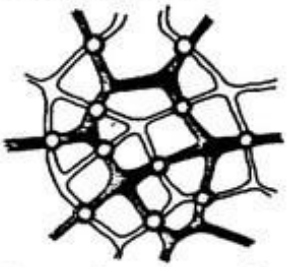
It is common planning practice to separate pedestrians and cars. This makes pedestrian areas more human and safer. However, this practice fails to take account of the fact that cars and pedestrians also need each other: and that, in fact, a great deal of urban life occurs at just the point where these two systems meet. Many of the greatest places in cities, Piccadilly Circus, Times Square, the Champs Elysées, are alive because they are at places where pedestrians and vehicles meet. New towns like Cumbernauld, in Scotland, where there is total separation between the two, seldom have the same sort of liveliness.

The same thing is true at the local residental scale. A great deal of everyday social life occurs where cars and pedestrians meet. In Lima, for example, the car is used as an extension of the house: men, especially, often sit in parked cars, near their houses, drinking beer and talking. And in one way or another, something like this happens everywhere. Conversation and discussion grow naturally around the lots where people wash their cars. Vendors set themselves up where cars and pedestrians meet; they need all the traffic they can get. Children play in parking

Children like cars.

lots—perhaps because they sense that this is the main point of arrival and departure; and of course because they like the cars. Yet, at the same time, it is essential to keep pedestrians separate from vehicles: to protect children and old people; to preserve the tranquility of pedestrian life.

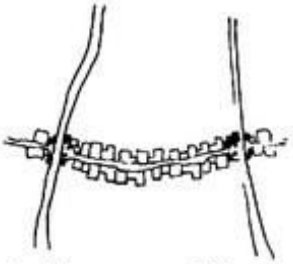
To resolve the conflict, it is necessary to find an arrangement of pedestrian paths and roads, so that the two are separate, but meet frequently, with the points where they meet recognized as focal points. In general, this requires two orthogonal networks, one for roads, one for paths, each connected and continuous, crossing at frequent intervals (our observations suggest that most points on the path network should be within 150 feet of the nearest road), meeting, when they meet, at right angles.



Two orthogonal networks.

In practice, there are several possible ways of forming this relationship between the roads and paths.

It can be done within the system of fast one-way roads about 300 feet apart described in PARALLEL ROADS (23). Between the roads there are pedestrian paths running at right angles to the roads, with buildings opening off the pedestrian paths. Where the



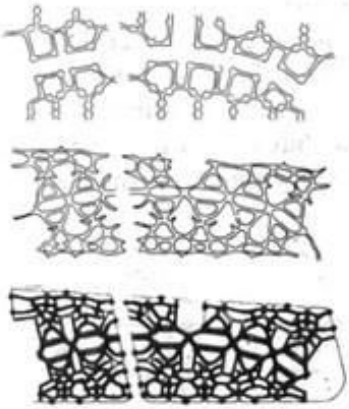
Path between parallel roads.

paths intersect the roads there are small parking lots with space for kiosks and shops.

It can be applied to an existing neighborhood—as it is in the following sequence of plans drawn by the People's Architects, Berkeley, California. This shows a beautiful and simple way of creating a path network in an existing grid of streets, by closing off alternate streets, in each direction. As the drawings show, it can be done gradually.

The growth of a path network in a street grid.

Different again, is our project for housing in Lima. Here the two orthogonal systems are laid out as follows:



Roads.

Pedestrian paths.

The two together.

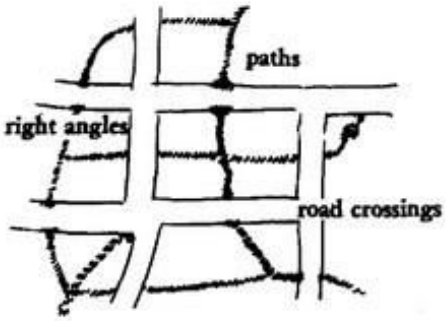
In all these cases, we see a global pattern, in which roads and paths are created more or less at the same time—and therefore brought into the proper relationship. However, it is essential to recognize that in most practical applications of this pattern, it is

not necessary to locate the roads and paths together. Most typically of all, there is an existing road system: and the paths can be put in one by one, piecemeal, at right angles to the existing roads. Slowly, very slowly, a coherent path network will be created by the accumulation of these piecemeal acts.

Finally, note that this kind of separation of cars from pedestrians is only appropriate where traffic densities are medium or medium high. At low densities (for instance, a cul-de-sac gravel road serving half-a-dozen houses), the paths and roads can obviously be combined. There is no reason even to have sidewalks—GREEN STREETS (51). At very high densities, like the Champs Elysées, or Piccadilly Circus, a great deal of the excitement is actually created by the fact that pedestrian paths are running *along* the roads. In these cases the problem is best solved by extra wide sidewalks—RAISED WALKS (55)—which actually contain the resolution of the conflict in their width. The edge away from the road is safe—the edge near the road is the place where the activities happen.

Therefore:

Except where traffic densities are very high or very low, lay out pedestrian paths at right angles to roads, not along them, so that the paths gradually begin to form a second network, distinct from the road system, and orthogonal to it. This can be done quite gradually—even if you put in one path at a time, but always put them in the middle of the "block," so that they run across the roads.



52 NETWORK OF PATHS AND CARS

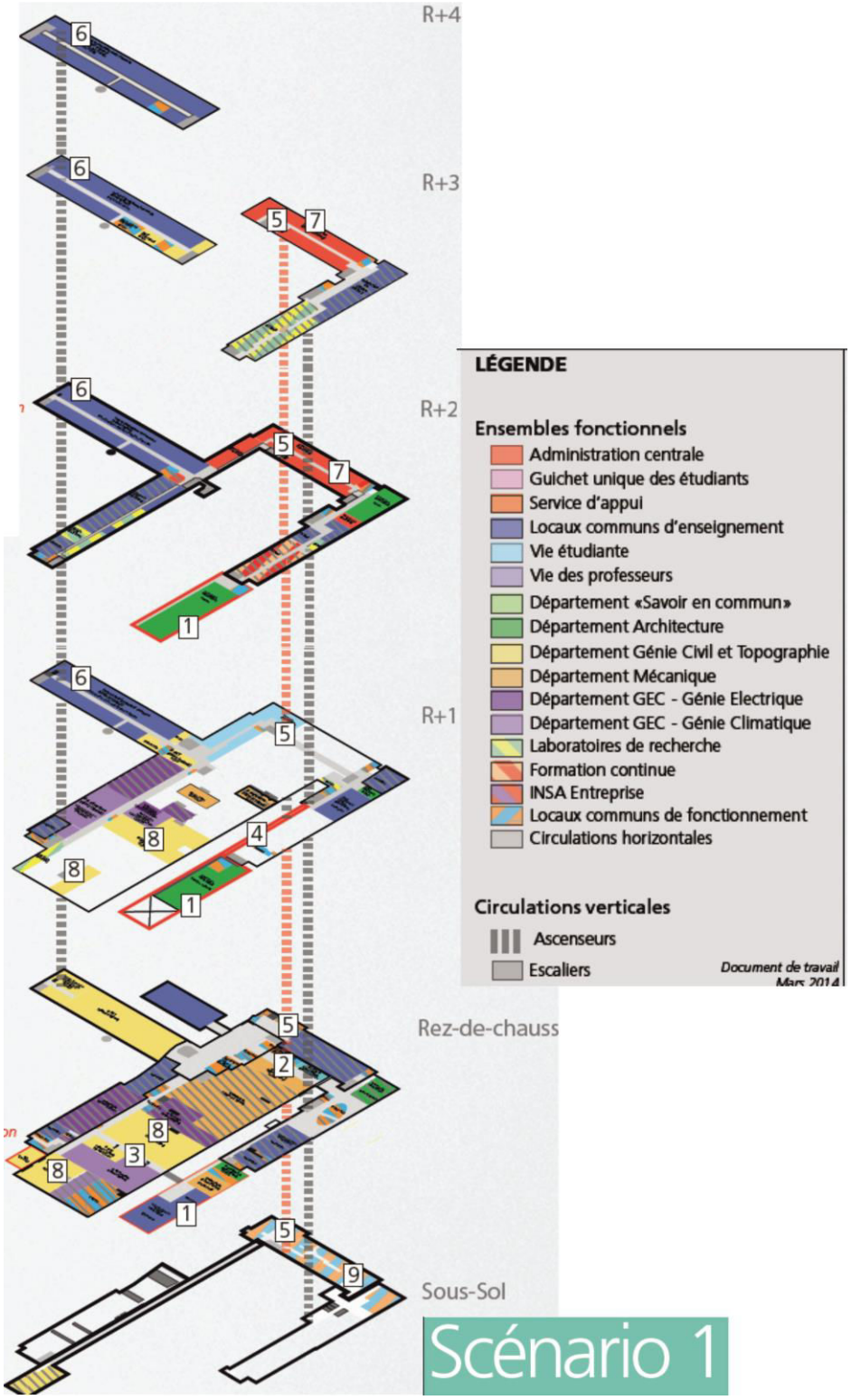
✣ ✣ ✣

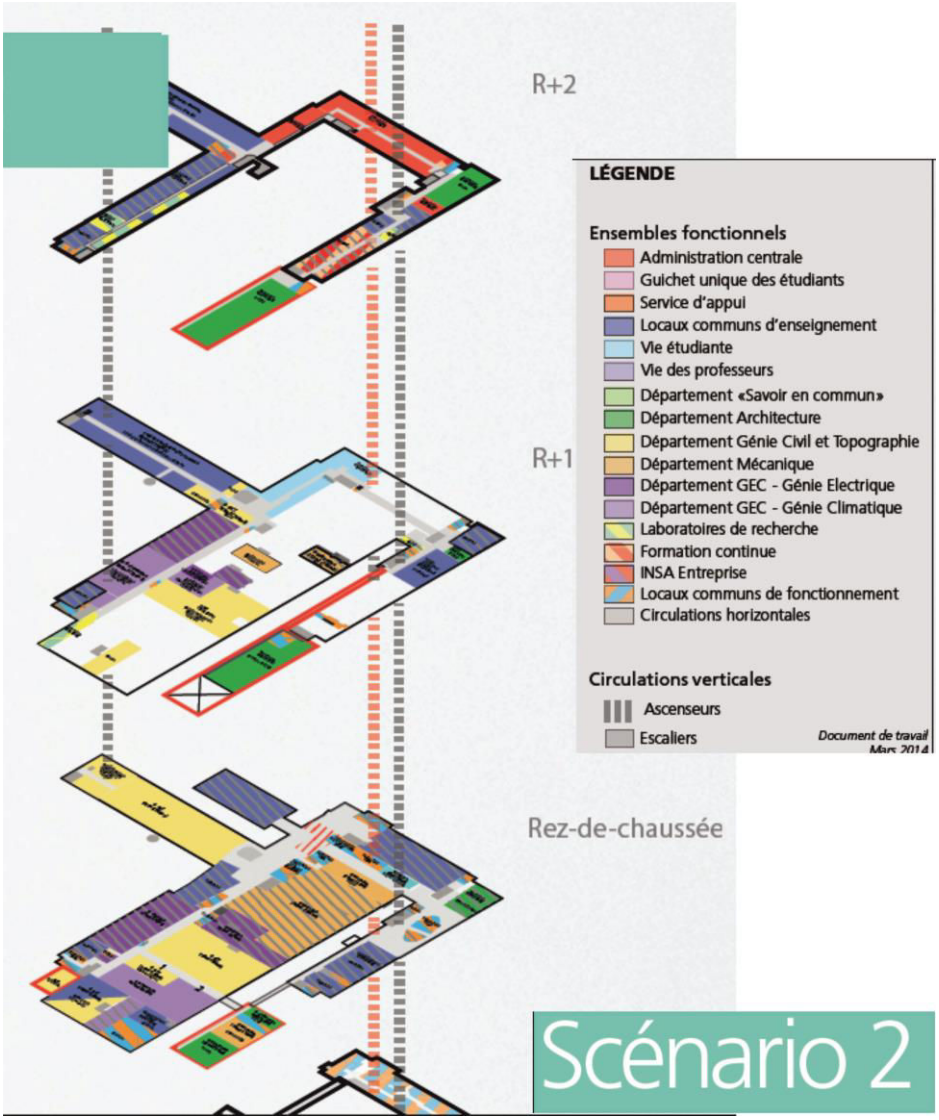
Where paths have to run along major roads—as they do occasionally—build them 18 inches higher than the road, on one side of the road only, and twice the usual width—RAISED WALK (55); on GREEN STREETS (51) the paths can be in the road since there is nothing but grass and paving stones there; but even then, occasional narrow paths at right angles to the green streets are very beautiful. Place the paths in detail according to PATHS AND GOALS (120); shape them according to PATH SHAPE (121). Finally, treat the important street crossings as crosswalks, raised to the level of the pedestrian path—so cars have to slow down as they go over them—ROAD CROSSING (54). . . .

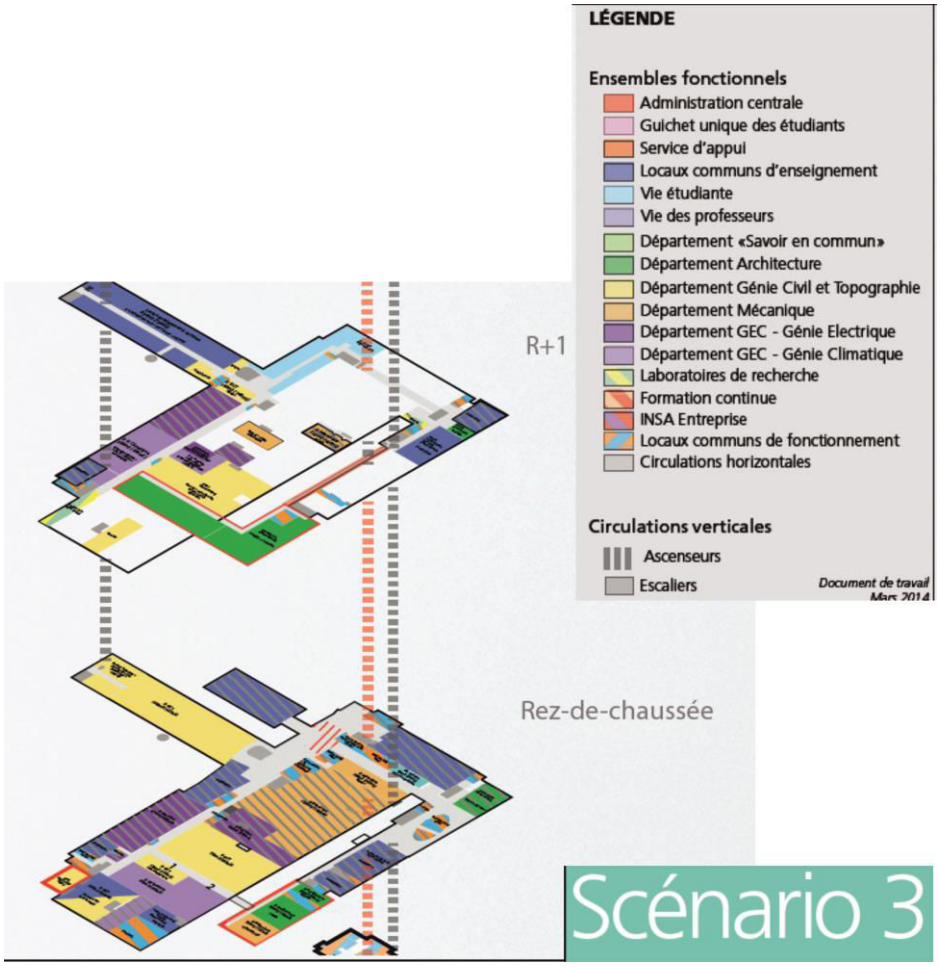
Annexe VI- *Information Index of Problem Seeking* (Peña, 2001)

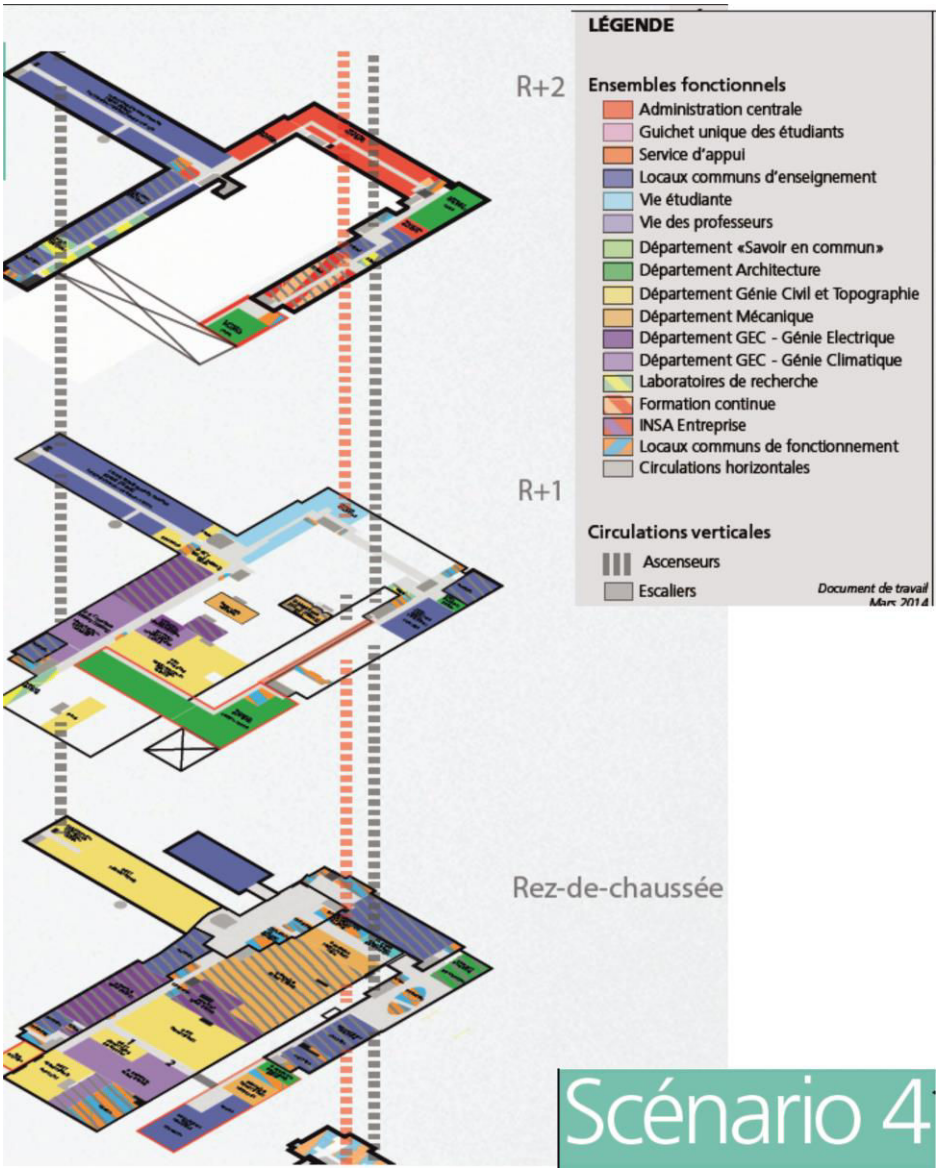
	Goals	Facts	Concepts	Needs	Problem
Function People Activities Relationships	Mission Maximum number Individual identity Interaction/privacy Hierarchy of values Prime activities Security Progression Segregation Encounters Transportation/parking Efficiency Priority of relationships	Statistical data Area parameters Personnel forecast User characteristics Community characteristics Organizational structure Value of potential loss Time-motion study Traffic analysis Behavioral patterns Space adequacy Type/intensity Physically challenged guidelines	Service grouping People grouping Activity grouping Priority Hierarchy Security controls Sequential flow Separated flow Mixed flow Functional relationships Communications	Area requirements By organization By space type By time By location Parking requirements Outdoor space requirements Functional alternatives	Unique and important performance requir that will shape build design
Form Site Environment Quality	Bias on site elements Environmental response Efficient land use Community relations Community improvements Physical comfort Life safety Social/psychological environment Individuality Wayfinding Projected image Client expectations	Site analysis Soil analysis FAR and GAC Climate analysis Code survey Surroundings Psychological implications Point of reference/entry Cost/SF Building or layout efficiency Equipment costs Area per unit	Enhancements Special foundations Density Environmental controls Safety Neighbors Home base/officing concepts On-premise: fixed, free, group address Off-premise: satellite, telecommuting, virtual office Orientation Accessibility Character Quality control	Site development costs Environmental influences on costs Building cost/SF Building overall efficiency factor	Major form considera that will affect build design
Economy Initial Budget Operating Costs Life cycle Costs	Extent of funds Cost effectiveness Maximum return Return on investment Minimizing of operating costs Maintenance and operating costs Reduction of life cycle costs Sustainability	Cost parameters Maximum budget Time-use factors Market analysis Energy source costs Activities and climate factors Economic data LEED rating system	Cost control Efficient allocation Multifunction/versatility Merchandising Energy conservation Cost reduction Recycling	Budget estimate analysis Balance budget Cash flow analysis Energy budget Operating costs Green building rating Life cycle costs	Attitude toward the i budget and its influ the fabric and geom the building
Time Past Present Future	Historic preservation Static/dynamic activities Change Growth Occupancy date Availability of funds	Significance Space parameters Activities Projections Durations Escalation factors	Adaptability Tolerance Convertibility Expansibility Linear/concurrent scheduling Phasing	Escalation Time schedule Time/cost schedule	Implications of change growth on long-ran performance

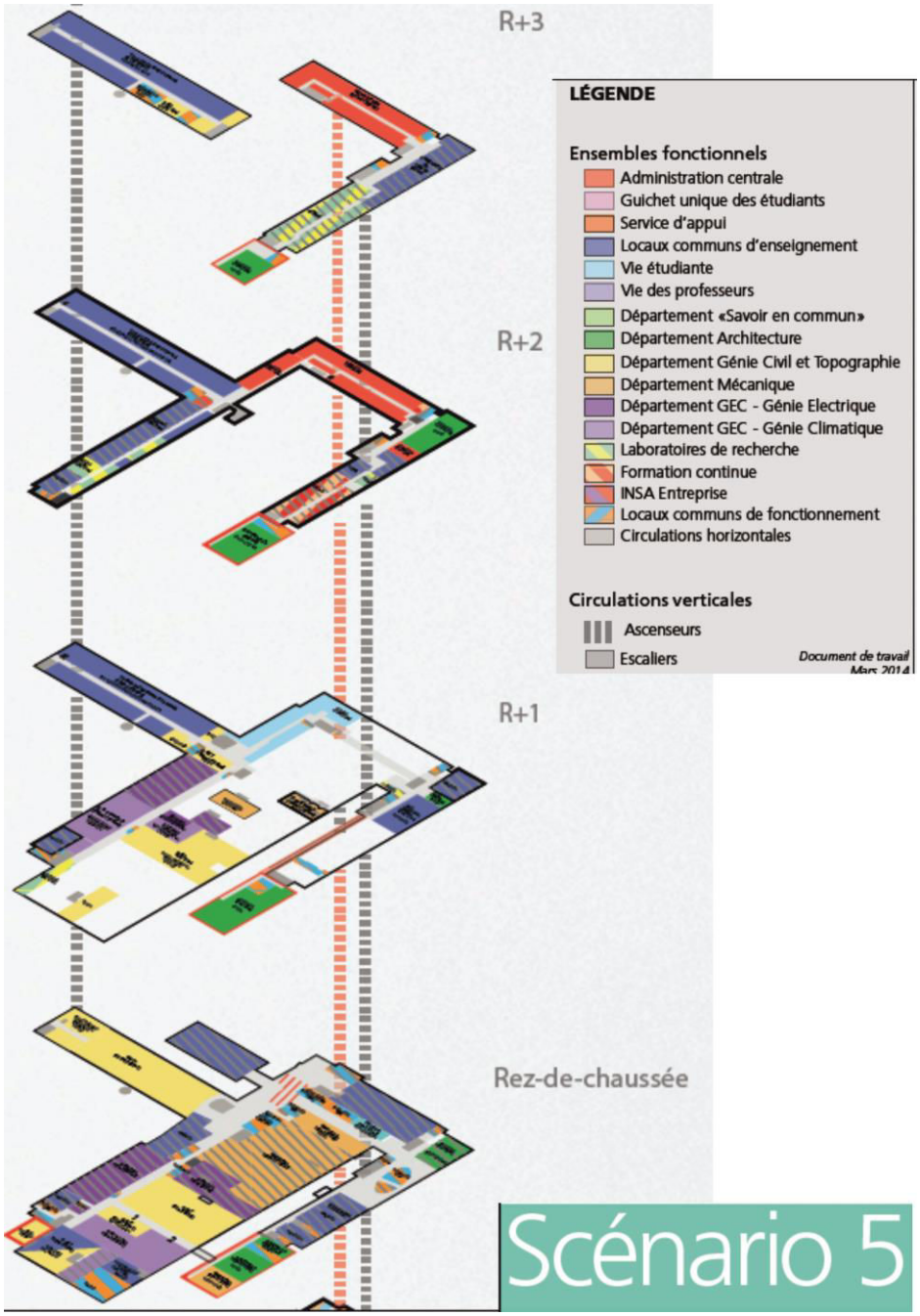
Annexe VII- Cinq Scenarii du projet Extension- Rénovation de l'INSA de Strasbourg




R+2
R+1
Rez-de-chaussée
LÉGENDE
Ensembles fonctionnels
Administration centrale
Guichet unique des étudiants
Service d'appui
Locaux communs d'enseignement
Vie étudiante
Vie des professeurs
Département «Savoir en commun»
Département Architecture
Département Génie Civil et Topographie
Département Mécanique
Département GEC - Génie Electrique
Département GEC - Génie Climatique
Laboratoires de recherche
Formation continue
INSA Entreprise
Locaux communs de fonctionnement
Circulations horizontales
Circulations verticales
Ascenseurs
Escaliers
Document de travail
Mars 2014
Scénario 2


LÉGENDE
Ensembles fonctionnels
Administration centrale
Guichet unique des étudiants
Service d'appui
Locaux communs d'enseignement
Vie étudiante
Vie des professeurs
Département «Savoir en commun»
Département Architecture
Département Génie Civil et Topographie
Département Mécanique
Département GEC - Génie Electrique
Département GEC - Génie Climatique
Laboratoires de recherche
Formation continue
INSA Entreprise
Locaux communs de fonctionnement
Circulations horizontales
Circulations verticales
Ascenseurs
Escaliers
Document de travail
R+1
Rez-de-chaussée
Scénario 3


LÉGENDE
Ensembles fonctionnels
Administration centrale
Guichet unique des étudiants
Service d'appui
Locaux communs d'enseignement
Vie étudiante
Vie des professeurs
Département «Savoir en commun»
Département Architecture
Département Génie Civil et Topographie
Département Mécanique
Département GEC - Génie Electrique
Département GEC - Génie Climatique
Laboratoires de recherche
Formation continue
INSA Entreprise
Locaux communs de fonctionnement
Circulations horizontales
Circulations verticales
Ascenseurs
Escaliers
Document de travail
R+2
R+1
Rez-de-chaussée
Scénario 4


R+3
R+2
R+1
Rez-de-chaussée
LÉGENDE
Ensembles fonctionnels
Administration centrale
Guichet unique des étudiants
Service d'appui
Locaux communs d'enseignement
Vie étudiante
Vie des professeurs
Département «Savoir en commun»
Département Architecture
Département Génie Civil et Topographie
Département Mécanique
Département GEC - Génie Electrique
Département GEC - Génie Climatique
Laboratoires de recherche
Formation continue
INSA Entreprise
Locaux communs de fonctionnement
Circulations horizontales
Circulations verticales
Ascenseurs
Escaliers
Document de travail
Mars 2014
Scénario 5

Annexe VIII- La liste complète des Problèmes et des Solution Partielles et leurs paramètres associés

Problems:

PB01: Functional distribution of spaces is not satisfactory

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

Volume (Cube meter)

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

PB02: Site of INSA is closed to the University Campus

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

PB03: INSA lacks space.

Associated Parameters

Surface (Square meter (M²))

Volume (Cube meter)

PB04: Educational practice needs to be evolved

Associated Parameters

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

PB05: Working group are not be supported by existing spaces

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

Volume (Cube meter)

PB06: Increasing number of staff and student needs more spaces

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

Volume (Cube meter)

Construction cost (Euro)

PB07: Flow inside in existing buildings is a constraint for location finding of the new building

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

Volume (Cube meter)

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

PB08: An access is needed for delivery for future material library [Marketing]

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB09: Flow between the buildings needs to be improved

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

PB10: Reception needs to be improved

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB11: Ground floor of building C should be free

Associated Parameters

Surface (Square meter (M²))

Volume (Cube meter)

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

PB12: Soil Mechanics Lab needs new organization

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB13: Student Life spaces are insufficient

Associated Parameters

Surface (Square meter (M²))

Volume (Cube meter)

PB14: Student Life spaces are poorly located in complex

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

PB15: Prof.'s space is not satisfactory

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M^2))

Volume (Cube meter)

PB16: Firefighter access alongside E. Labbé Street becomes closed

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB17: Some parking places should be removed

Associated Parameters

Surface (Square meter (M^2))

PB18: Functional flow becomes more inadequate

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

PB19: Parking access becomes closed

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB20: Workshop of Fluid Mechanics of Building T should be destroyed

Associated Parameters

Surface (Square meter (M²))

Construction cost (Euro)

Cost of operation (Euro)

PB21: New extension building isn't connected to building L

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB22: Existing technical access from M. Monge Street should be removed

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB23: INSA has a high cost of maintenance in terms of energy

Associated Parameters

Cost of operation (Euro)

PB24: Buildings need an excellent appearance

Associated Parameters

Aesthetic issue

Qualitative measurement

PB25: INSA needs 93m² for Administration service

Associated Parameters

Surface (Square meter (M²))

Construction cost (Euro)

PB26: INSA needs 912m² for Common Educational spaces

Associated Parameters

Surface (Square meter (M²))

Construction cost (Euro)

PB27: INSA needs 316m² of Life spaces

Associated Parameters

Surface (Square meter (M²))

Construction cost (Euro)

PB28: INSA needs 113m² for Dep. of Arch.

Associated Parameters

Surface (Square meter (M²))

Construction cost (Euro)

PB29: INSA needs 380m² for Dep. of GC&T.

Associated Parameters

Surface (Square meter (M²))

Construction cost (Euro)

PB30: INSA needs 105m² for Dep. of GC&E Lab

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Surface (Square meter (M²))

PB31: INSA needs 62m² for public functions

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Surface (Square meter (M²))

PB32: Existing space of second floor of building A is more suitable for education than office

Associated Parameters

Volume (Cube meter)

PB33: INSA partially isn't compliant with security norms

PB34: Dep. of GC&T needs a new lab

Associated Parameters

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

PB35: New building should has a harmonious relation with its surrounding

Associated Parameters

Aesthetic issue

Qualitative measurement

PB36: Construction site should be low noise pollution

Associated Parameters

Noise pollution (Decibel dB)

PB37: Construction should respect Labor code

PB38: Control access should be possible

Associated Parameters

Flow of people (N° of People/h)

Measured by number of person passed per time

PB39: New building should respect the code of disable person

PB40: Facade materials should be self-maintenance

Associated Parameters

Cost of operation (Euro)

PB41: New building should let the evolution (be flexible)

PB42: Recent building (E) doesn't respect the RT 2012

Associated Parameters

Energy consumption (KWH/m²/year)

Cost of operation (Euro)

PB43: INSA works during the project

Associated Parameters

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

PB44: Dep. Arch. needs spaces during renovation of building A

Associated Parameters

Surface (Square meter (M²))

PB45: INSA has just one entrance which limits the connection with campus

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB46: Orientation to building E from main entrance is hard

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

PB47: Exposition/examination space in ground floor of building A disturbs access to building E

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB48: Firefight access to building T from M. Monge Street cannot be closed

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB49: Dep. Arch, Dep. GCT and Dep. GME need a common workshop

Associated Parameters

Surface (Square meter (M^2))

PB50: We cannot touch the renovated part of building T

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Cost of operation (Euro)

PB51: Student Life space needs an access to exterior

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB52: Several entries make hard the access control

Associated Parameters

Cost of operation (Euro)

Flow of people (N° of People/h)

Measured by number of person passed per time

PB53: Cost of security control for several entries is high

Associated Parameters

Cost of operation (Euro)

PB54: Movable wall is expensive

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Cost of operation (Euro)

PB55: Replace the boiler already installed in building T is costly

Associated Parameters

Cost of operation (Euro)

PB56: Exposition room of Service of INSA Enterprise should be in the center of complex

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB57: The INSA site is occupied

Associated Parameters

Surface (Square meter (M^2))

PB58: The entry of the basement of building E cannot be closed

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB59: It might hurt the bas-relief of Building A

Associated Parameters

Cost of operation (Euro)

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

PB60: It may produce problems but we have no information (it is about architectural design, so another systemic level)

PB61: It may produce problems but we have no information (it is about technical design, so another systemic level)

PB62: We need a buffer space

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

Surface (Square meter (M^2))

PB63: Central zoon of INSA is occupied by building T and D

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB64: Buffer space is costly to build

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

PB65: Footbridge complicates the circulation

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB66: Future building should be located

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB67: New building places in free zone of INSA site

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M^2))

PB68: Construction is on an occupied site

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M^2))

PB69: Court alongside of blvd. de la Victoire is reserved by campus for future project

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PB70: This location increase complexity of flow between the existing buildings

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PB72: INSA consumes a lot of energy

Associated Parameters

Energy consumption (KWH/m²/year)

PB73: Existing buildings T and D make hard access to Building E

Associated Parameters

Cost of operation (Euro)

Existing buildings

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of access (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Partial Solutions:

PS01: Redistribute spaces in existing buildings

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS02: Build a new building in extension

Associated Parameters

Aesthetic issue

Qualitative measurement

Construction cost (Euro)

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS03: Install the Soundproofing on the walls

Associated Parameters

Noise pollution (Decibel dB)

Construction cost (Euro)

PS04: Renovate Heat-Insulation

Associated Parameters

Energy consumption (KWH/m²/year)

Construction cost (Euro)

PS05: Modernize the facade

Associated Parameters

Aesthetic issue

Qualitative measurement

Spatial Position of Entrance existing location (m)

PS06: Install Sunscreen with the height 2m in South of Building A

Associated Parameters

Aesthetic issue

Qualitative measurement

Construction cost (Euro)

Energy consumption (KWH/m²/year)

PS07: Adjust the illumination

Associated Parameters

Illuminance (Lux (lx))

Construction cost (Euro)

Energy consumption (KWH/m²/year)

PS08: Redo electrical distribution network

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Energy consumption (KWH/m²/year)

PS09: Renovate HVAC (heating, ventilating, and air-conditioning) system

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Cost of operation (Euro)

Energy consumption (KWH/m²/year)

PS10: Build new spaces for thematic researches

Associated Parameters

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

Surface (Square meter (M²))

PS11: Upgrade to Fire safety norms

PS12: Adapt to accessibility standards

PS13: Re-structure the technical platforms

Associated Parameters

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS14: Free the zones occupied by Dep. Arch. in Building A

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS15: Dedicate 1902m² to Dep. Arch of new building of 2631m²

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS16: Place the main access in center of INSA complex

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS17: Dedicate 348m² to a TD classroom of new building of 2631m²

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS18: Build only one counter for students

Associated Parameters

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

PS19: Build new spaces for Student Life

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS20: Remove Dep. of Arch from building A

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS21: Tackling the thermal problem of CAO MECA Room

Associated Parameters

Energy consumption (KWH/m²/year)

PS22: Re-organize the main Entry

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

PS23: Change the place of elevator of building A&D

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS24: Build a Structure-Test workshop

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M^2))

PS25: Re-build East wing of second floor of Building D

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS26: Build a mezzanine in the Lab. T0.47 having a link with office R1.08 in building T

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS27: Install interior insulation

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Energy consumption (KWH/m²/year)

PS28: Build a mezzanine of 50m² in T0.23 in Building T

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS29: Use the forklift to improve delivery access to building C and L

Associated Parameters

Cost of operation (Euro)

PS30: Retrieve another space instead of build new mezzanines

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS31: Improve the delivery access from Entry to Hall of Building D

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

PS32: Re-structure of third floor of Building A

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS33: Build Prototype workshop

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS34: Install Sunscreen with the height 2m in South of Building C

Associated Parameters

Aesthetic issue

Qualitative measurement

Construction cost (Euro)

Energy consumption (KWH/m²/year)

PS35: Install Sunscreen with the height 2m in South of Building T

Associated Parameters

Aesthetic issue

Qualitative measurement

Construction cost (Euro)

Energy consumption (KWH/m²/year)

PS36: Install the insulation by uninstalling and reinstalling the bas-relief of West facade of building A

Associated Parameters

Aesthetic issue

Qualitative measurement

Construction cost (Euro)

Energy consumption (KWH/m²/year)

PS37: Redo the sealing of building T

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Energy consumption (KWH/m²/year)

PS38: Regroup the administration service in second floor of building A

Associated Parameters

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS39: Place the students counter in crossing of building D, C, and L

Associated Parameters

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS40: Build a new amphitheater of 290m² for 200 places

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS41: Install a moving wall in renovation of third floor of building A to have at a time 4 classrooms, and a grand hall

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS42: Destroy the Model room

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS43: Build a new room for Prof.

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M^2))

PS44: Build a space for the Student Trustee

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M^2))

PS45: Displace the prototype workshop in the new extension of GC Platform

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS46: Replace the Dep. of Arch in the new building

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS47: Place the Dep. Arch, Dep. GC, Dep. GCE close together

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS48: Build a new extension for topography in first floor of building C

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS49: Build a new mezzanine in T1.23 in building T across the East facade

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS50: Build a new mezzanine in T0.47 in building T across the South facade

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

Volume (Cube meter)

PS51: Build a Carpentry/Model workshop

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS52: Build an extension of 150m² for Climatherm Lab

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS53: Displace the carpentry workshop of building T to the new building

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS54: Dedicate 91m² of the new building to public spaces

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS55: Build the new extension building across Rue E. LABBE (Scenario proposed by the Pre-Program but missing in the Program of INSA)

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Construction cost (Euro)

PS56: Build the new extension building on existing workshop of Fluid mechanics of building T; (Scenario proposed by the Preprogram but missing in the Program of INSA)]

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Construction cost (Euro)

PS57: Build the new extension building across rue M. Monge (All the five senairios of the Program of INSA are based on this proposition)

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Construction cost (Euro)

PS58: Build a footbridge through building T

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Construction cost (Euro)

PS59: Regroup the Administration service in building A, D and C

Associated Parameters

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

PS60: Dedicate 10m² of new building for dangerous materials

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS61: Dedicate 33m² of new building to the Atelier of Green spaces

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS62: Reuse Atelier E2.01 of building E after replacing of Dep. of Arch.

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M²))

PS63: Phase the project

Associated Parameters

Time (Day)

PS64: Start with construction of the new building (phase 1)

Associated Parameters

Time (Day)

PS65: Renovate building C and L after construction of new building and before renovation of Building A and the second floor of building D (Phase 2)

Associated Parameters

Time (Day)

PS66: Renovate the central zone - e.g. second floor of building D, first, second and third floors of building A (phase 3)

Associated Parameters

Time (Day)

PS67: Renovate the Reception zone (ground floor, entrance, elevator) (Phase 5)

Associated Parameters

Time (Day)

PS68: Renovate the first floor of building D (Phase 4)

Associated Parameters

Time (Day)

PS69: Finish the renovation of Building T (Phase 6)

Associated Parameters

Time (Day)

PS70: Do a "mirror" initiative (opértion-tiroir) for construction schedule

Associated Parameters

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

Time (Day)

PS71: Build a Public Entrance in M. Monge Street

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

PS72: Build the new building on the court alongside blvd. Victoire (former parking)

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M^2))

PS73: Build a new building having a distribution hub for INSA flow in the center of complex

Associated Parameters

Flow of people (N° of People/h)

Measured by number of person passed per time

Shape-Geometry of space (meter & degree (angle) - m & °)

Length, width and height and angle

Performance (Euro)

Can be translated by efficiency rate measured by Euro

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

Horizontal and vertical Distance and proximity

Surface (Square meter (M^2))

PS74: Build the new building as a Low-energy (BBC)

Associated Parameters

Construction cost (Euro)

Cost of operation (Euro)

Energy consumption ($KWH/m^2/year$)

PS75: Build several entries

Associated Parameters

Spatial location of the Distribution Hub (meter)

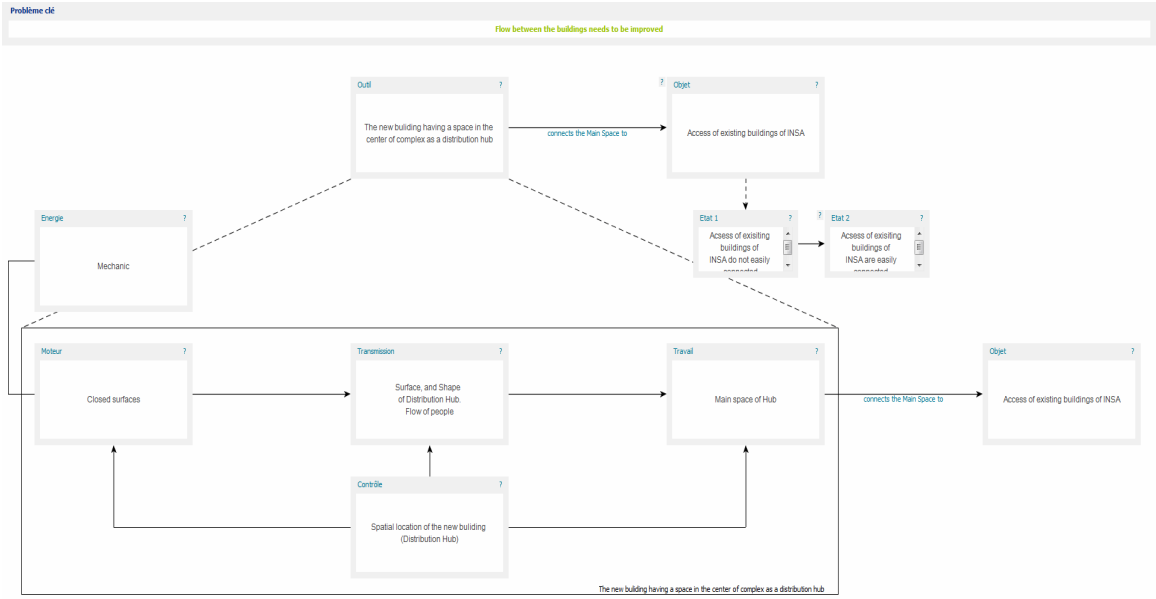
Horizontal and vertical Distance and proximity

Spatial Position of Entrance existing location (m)

Shape-Geometry of Hub (Meter & degree)

length, width, and height and angle

Annexe IX- Le modèle d'intégralité des parties du système



Outil
Terme désignant l'élément étudié d'où le champ (ou la Fonction Principale Utile) prend origine et agit sur l'objet.
The new building having a space in the center of complex as a distribution hub

Fonction Principale Utile
Fonction réalisée par l'outil et exclusivement à destination de l'objet. Elle doit être définie par un verbe non-transitif conjugué au présent (« pousse », « mesure » , « contient », ...)
connects the Main Space to
Distribution Hub distributes the flow of people. -> Distribution Hub directs the flow.-> Distribution Hub changes the spatial position of flow. ->

Objet
Terme désignant l'élément sur lequel la Fonction Principale Utile, initiée par l'outil, agit.
Access of existing buildings of INSA
(Corridors, halls, Entrance)

Etat
État de l'objet avant que la Fonction Pricipale Utile n'agisse
Access of existing buildings of INSA do not easily connected
(corridors, halls, Entrance)

Etat
État de l'objet après que la Fonction Principale Utile a agi
Accesses of existing buildings of INSA are easily connected.
(corridors, halls, Entrance)

Energie
Terme désignant l'élément producteur de la source énergétique nécessaire à la réalisation de la Fonction Principale Utile étudiée.
Mechanic

Moteur
Terme désignant l'élément du système étudié transformant l'énergie en champ exploitable et utile à la réalisation de la Fonction Principale Utile étudiée.

Closed surfaces

Wall, ceiling, floor

Transmission
Terme désignant l'élément du système étudié véhiculant le champ de l'élément moteur vers l'élément de travail.

Surface and Shape of Distribution Hub.

Flow of people

Travail
Terme désignant l'élément du système étudié délivrant physiquement la Fonction Principale Utile à l'objet.

Main space of Hub

Open surfaces of distribution Hub

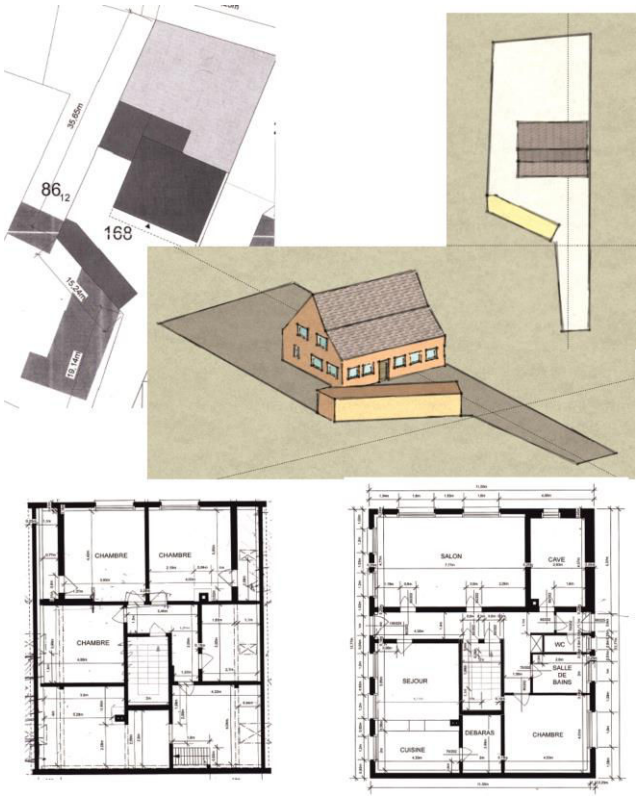
Contrôle
Terme désignant l'élément du système pilotant les variations nécessaires dans la réalisation de la Fonction Principale Utile par le biais d'une action sur au moins un des trois autres éléments constitutifs du système étudié.

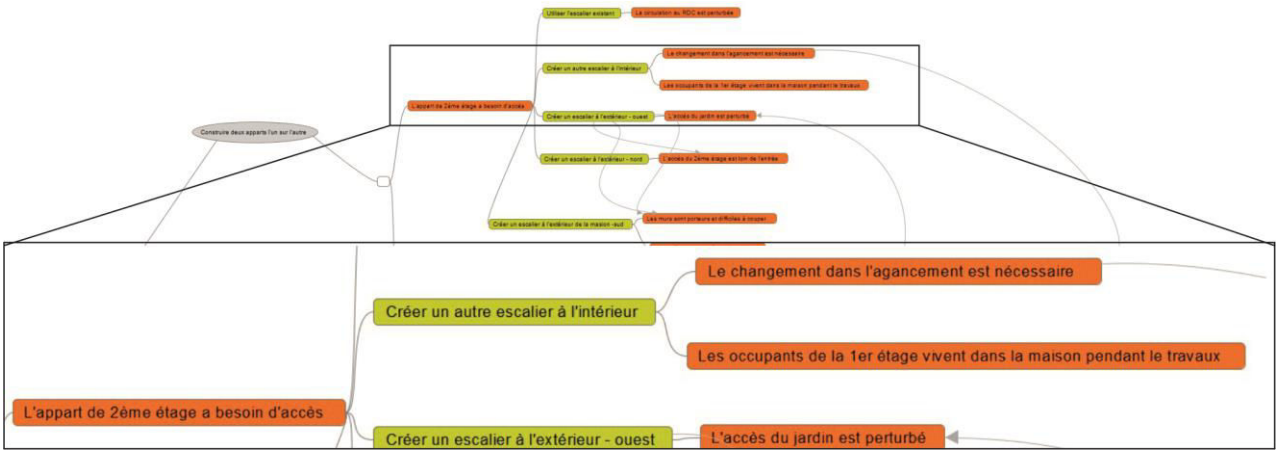
Spatial location of the new building (Distribution Hub)

Annexe X- Le cas d'école

Le propriétaire d'une maison ancienne de deux étages souhaite rénover sa maison et la transformer en deux appartements. De plus, le parking existant est obsolète. Le budget est limité et le propriétaire vie dans la maison pendant les travaux.

Nous avons modélisé les objectifs, les contraintes et les propositions du programme du Projet sous forme d'un Graphe.





Annexe XI- Le Questionnaire A

A- L'évaluation du Graphe

Nous avons modélisé le programme du Projet Extension – Rénovation de l'INSA de Strasbourg sous forme d'un Graphe.

Après la représentation du Graphe, veuillez répondre aux questions suivantes :

Question 1 : **À votre avis, le graphe peut-il exprimer des objectifs et des contraintes concernant les aspects formel et fonctionnel du projet ?**

OUI □ Parfois □ NON □

Expliquez votre réponse :

Question 2 : **À votre avis, le graphe peut-il exprimer des objectifs et des contraintes concernant les aspects budgétaire et temporel du projet ?**

OUI ☐ Parfois ☐ NON ☐

Expliquez votre réponse :

Question 3 : **Un programme architectural doit présenter clairement des problèmes du projet.**

Comment évaluez-vous la clarté de la présentation des problèmes à travers le programme type ?

Ambigu □ Plutôt ambigu □ Plutôt claire □ Claire □

Comment évaluez-vous la clarté de la présentation des problèmes à travers le graphe?

Ambigu □ Plutôt ambigu □ Plutôt claire □ Claire □

Expliquez votre réponse :

Question 4 : **Un programme architectural présente un ensemble de problèmes du projet. Le concepteur utilise le programme comme moyen d'une représentation synthétique des objectifs, des besoins et des contraintes**

Comment évaluez-vous l'efficacité du programme type pour cette représentation synthétique ? Choisissez entre 1 et 4 ……..

Comment évaluez-vous l'efficacité du graphe pour cette représentation synthétique ? Choisissez entre 1 et 4. ……..

Expliquez votre réponse :

Traçabilité

Question 5 : **Un programme architectural identifie des problèmes du projet. Le concepteur peut utiliser le programme comme aide-mémoire.**

Comment évaluez-vous la capacité d'un programme type à permettre de retrouver les causes d'un problème ? Choisissez entre 1 et 4 : …….

Comment évaluez-vous la capacité du graphe à permettre de retrouver les causes d'un problème ? Choisissez entre 1 et 4 : …….

Expliquez votre réponse :

Intégralité

Question 6 : **Dans un projet architectural, les problèmes sont liés. Il est important de connaître l'influence mutuelle entre les problèmes. me type ?** Dans un projet architectural, les problèmes sont liés. Il est important de connaître l'influence mutuelle entre les problèmes.

Comment évaluez-vous la capacité d'un programme type pour visualiser les liens entre les problèmes ? Choisissez entre 1 et 4 : ……

Comment évaluez-vous la capacité du graphe pour visualiser les liens entre les problèmes ? Choisissez entre 1 et 4 : ……

Expliquez votre réponse :

Aide à la prise de décision

Question 7 : **En présentant des objectifs, des besoins et des contraintes, le programme est en mesure de contribuer à l'évaluation des concepts architecturaux proposés.**

Comment évaluez-vous la capacité du programme type à aider à cette évaluation ? Choisissez entre 1 et 4 : ……

Comment évaluez-vous la capacité du graphe à aider à cette évaluation ? Choisissez entre 1 et 4 : ……

Expliquez votre réponse :

Outil de communication

Question 8 : **À votre avis, le graphe peut-il aider les architectes à établir un dialogue avec les autres participants du projet ?**

Pas du tout ☐ Un peu☐ Moyen ☐ Parfaitement ☐

Expliquez votre réponse:

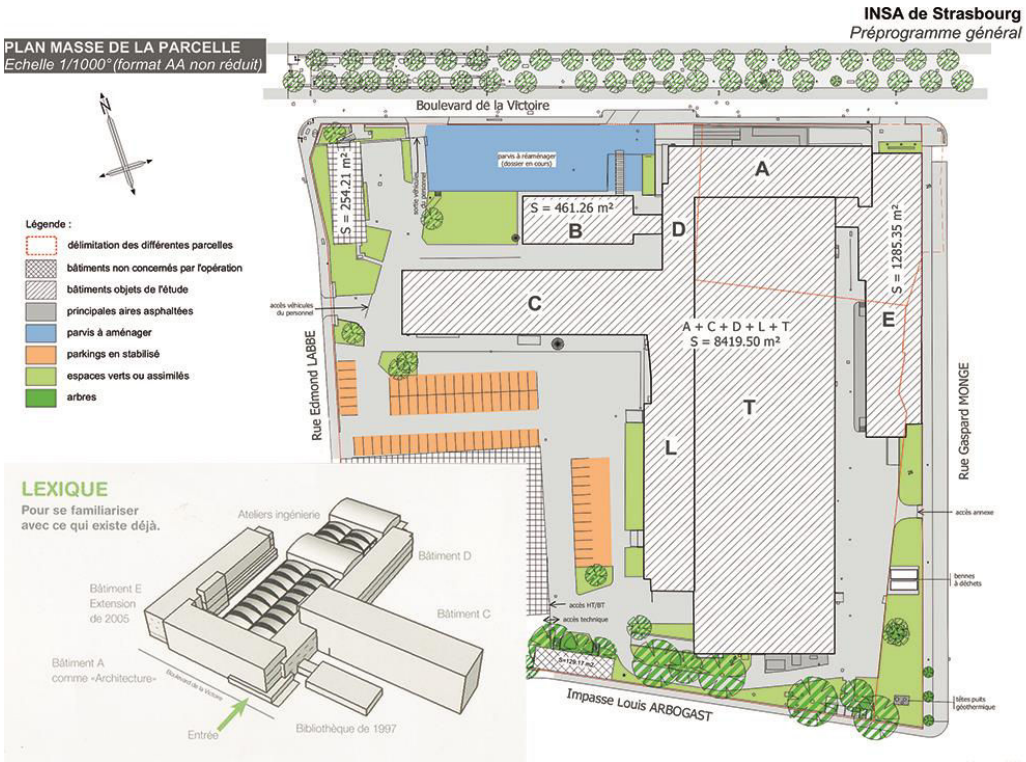
Commentaire : les apports, les limites, les inconvénients *etc*.?

……
……
……
……

Annexe XII- Le Questionnaire B

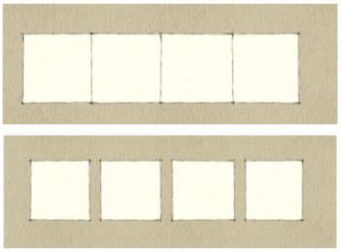
Le meilleur endroit pour un nouveau hall de distribution (avec l'espace détente, le guichet étudient, la cafétéria *etc*.) est le bâtiment T, car il se situe au centre du site de l'INSA et donne accès à tous les bâtiments. Mais, nous ne pouvons pas détruire le bâtiment T pour construire le nouveau hall d'entrée, car il vient d'être rénové.

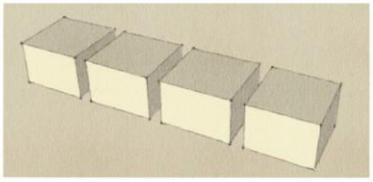
Les concepts suivants sont proposés pour répondre à cette contradiction. Comment évaluez –vous ces concepts ?



Concept 1 *Séparer l'objet dans l'espace*

La présentation graphique

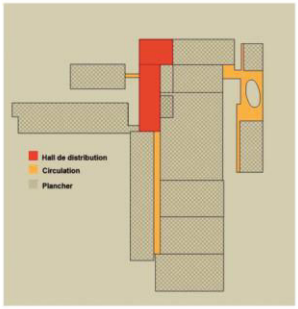


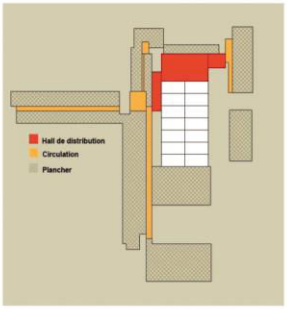


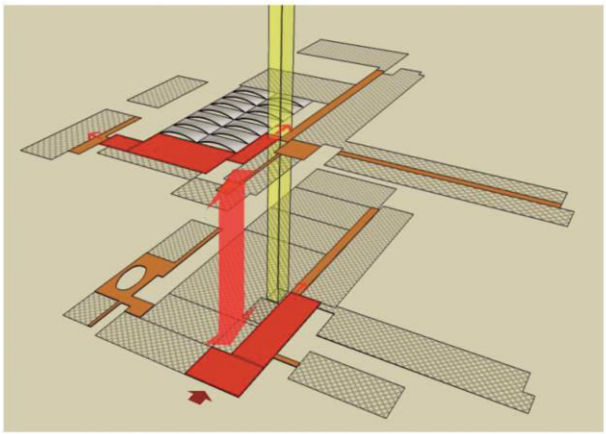
L'interprétation possible du concept

Séparer le Hall
Séparer le Hall de l'Entrée

Le diagramme spatial







Pertinent ☐ Pertinent, mais produit un autre problème ☐ Pas pertinent ☐

Intéressant ☐ très ☐ peu ☐ sans intérêt ☐

Concept 2 *Système transition*

La présentation graphique

L'interprétation possible du concept

Changer la distribution des fonctionnements des espaces voisins du Hall existant

Pertinent ☐ Pertinent, mais produit un autre problème ☐ Pas pertinent ☐

Intéressant ☐ très ☐ peu ☐ sans intérêt ☐

Concept 3

Augmenter les objets emboîtés (objets gigognes)

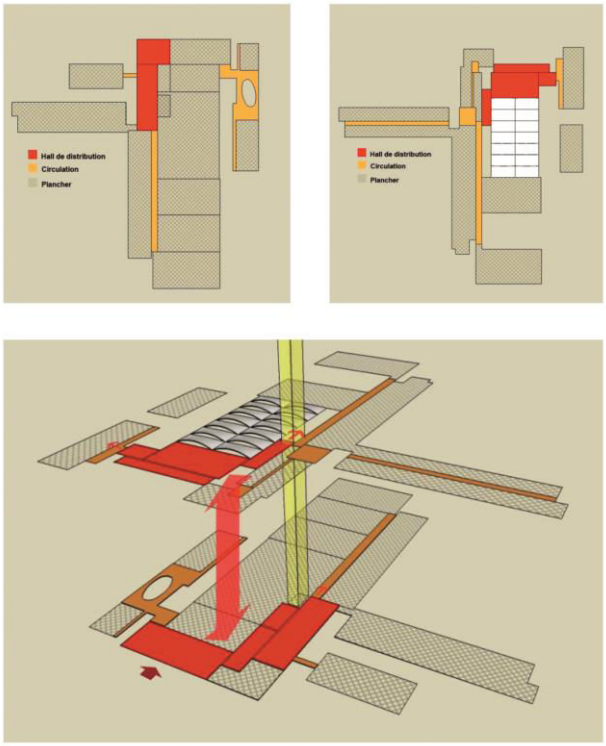
La présentation graphique

L'interprétation possible du concept

Placer Le Hall de distribution dans la salle d'examen

Placer occasionnellement des activités du Hall dans la salle d'examen

Le diagramme spatial

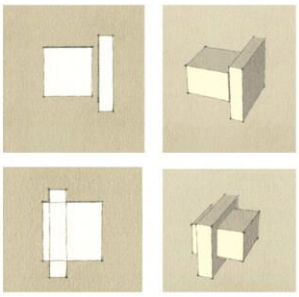


Pertinent ☐ Pertinent, mais produit un autre problème ☐ Pas pertinent ☐

Intéressant ☐ très ☐ peu ☐ sans intérêt ☐

Concept 4 *Faire traverser par un autre objet*

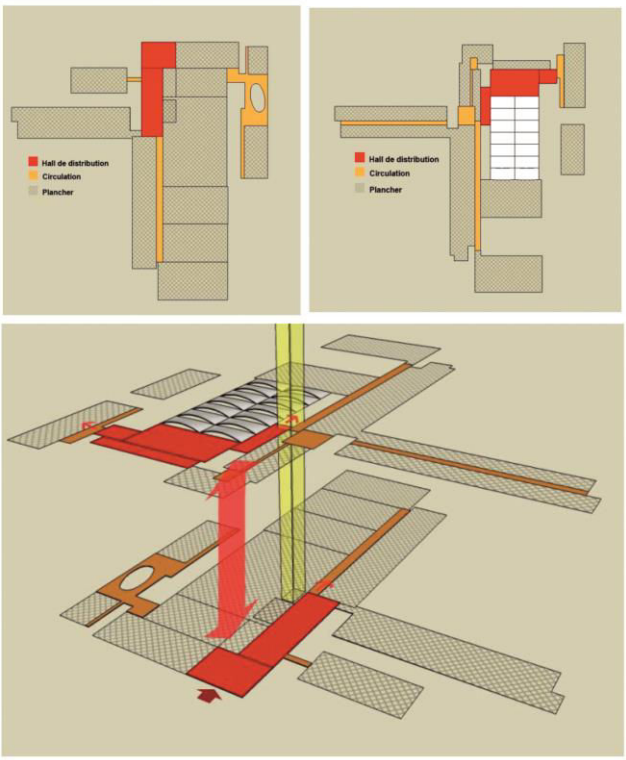
La présentation graphique



L'interprétation possible du concept

Aménage les sheds du bâtiment T pour le passage de piétons
Faire traverser seulement des piliers de nouveau hall dans le bâtiment T

Le diagramme spatial



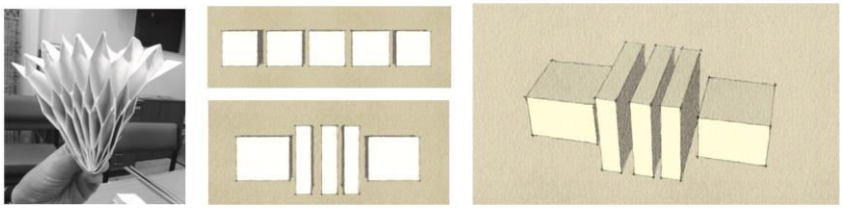
Pertinent ☐ Pertinent, mais produit un autre problème ☐ Pas pertinent ☐

Intéressant ☐ très ☐ peu ☐ sans intérêt ☐

Concept 5 & 6

La présentation graphique

Changer l'agrégation/ la concentration de l'objet

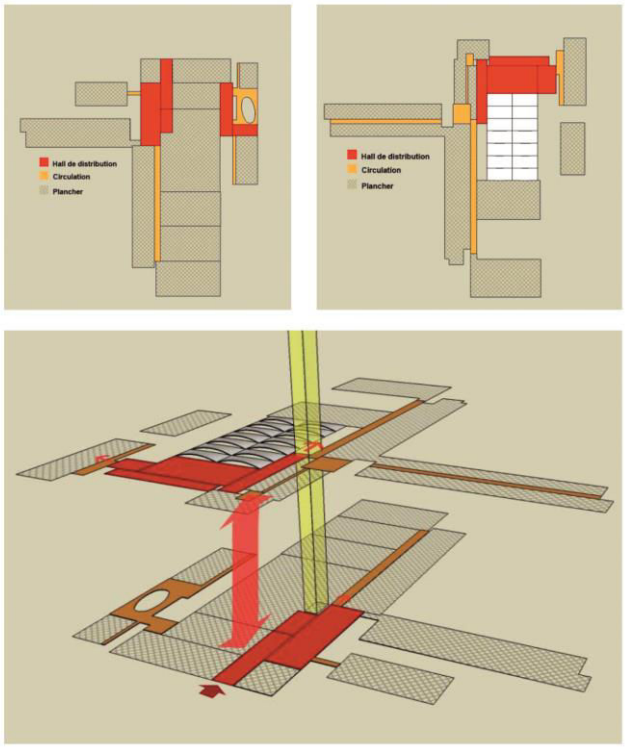


L'interprétation possible du concept

Varier la géométrie du Hall de distribution

Varier la disparité des fonctions dans le Halle

Le diagramme spatial



Pertinent ☐ Pertinent, mais produit un autre problème ☐ Pas pertinent ☐

Intéressant ☐ très ☐ peu ☐ sans intérêt ☐

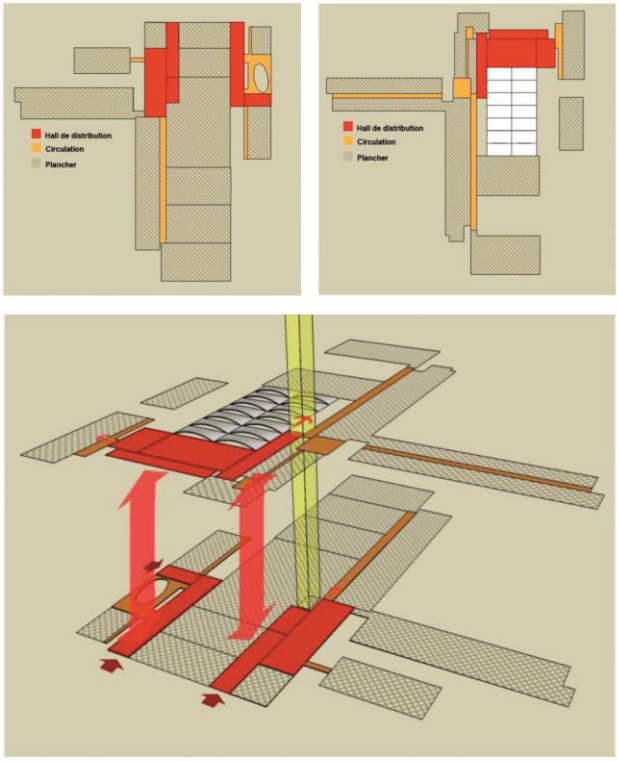
Concept 7

Utiliser l'environnement extérieur

L'interprétation possible du concept

Utiliser la rue Monge
Utiliser l'espace vide entre le bâtiment E et T

Le diagramme spatial



Pertinent ☐ Pertinent, mais produit un autre problème ☐ Pas pertinent ☐

Intéressant ☐ très ☐ peu ☐ sans intérêt ☐

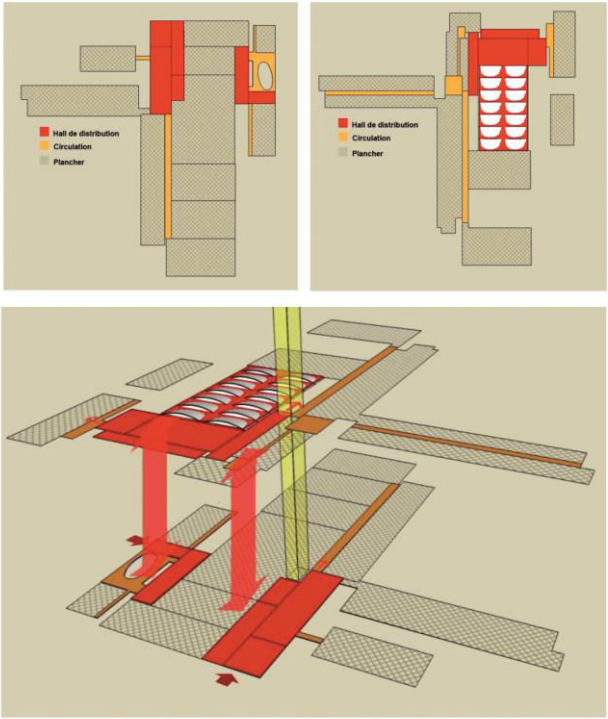
Concept 8

Utiliser l'environnement extérieur en ajoutant de nouveaux éléments

L'interprétation possible du concept

Utiliser la rue Monge
Utiliser l'espace vide entre le bâtiment E et T et créer un escalier pour avoir accès au toit du Bâtiment T

Le diagramme spatial



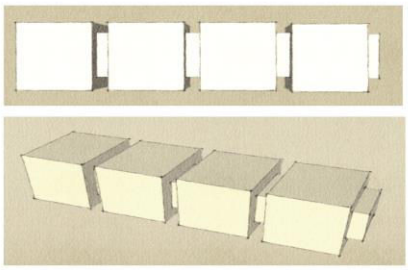
Pertinent ☐ Pertinent, mais produit un autre problème ☐ Pas pertinent ☐

Intéressant ☐ très ☐ peu ☐ sans intérêt ☐

Concept 9

Utiliser la structure de chaine

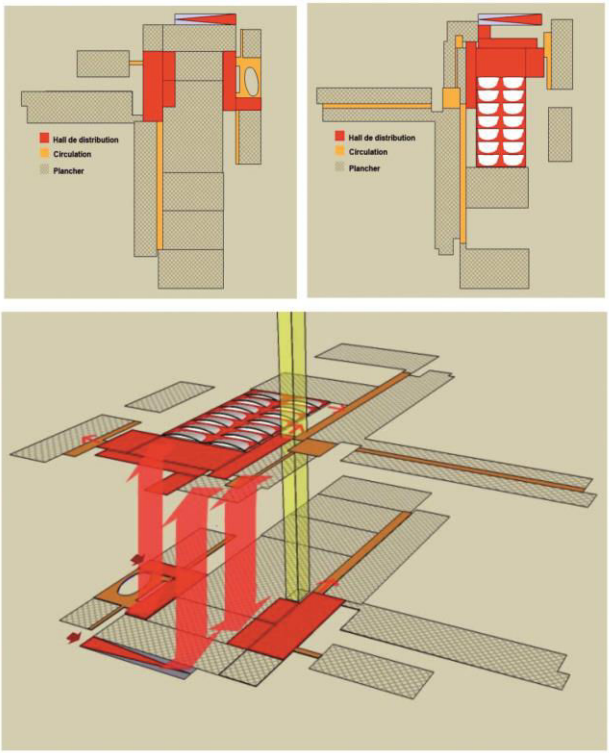
La présentation graphique



L'interprétation possible du concept

Créer plusieurs (petits) espaces mobiles et les relier
Construire le Hall sur plusieurs niveaux

Le diagramme spatial

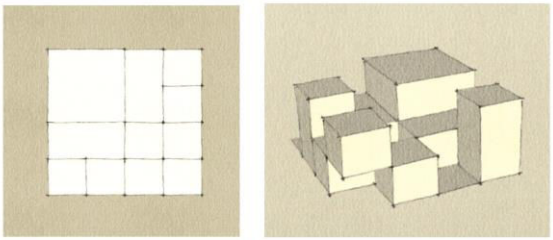


Pertinent ☐ Pertinent, mais produit un autre problème ☐ Pas pertinent ☐

Intéressant ☐ très ☐ peu ☐ sans intérêt ☐

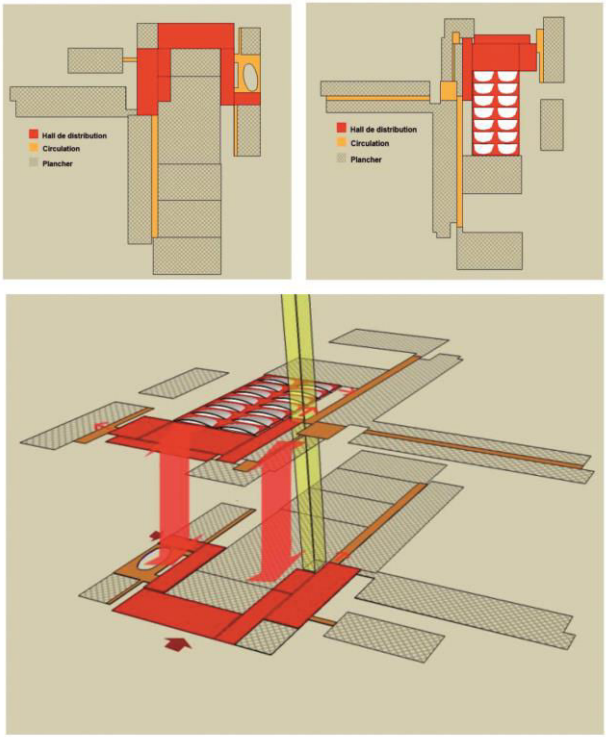
Concept 10

La présentation graphique — *Segmenter l'objet*



L'interprétation possible du concept

Le diagramme spatial — Segmenter le Hall de distribution et diviser le Hall
Construire le Hall aux plusieurs niveaux



Pertinent ☐ Pertinent, mais produit un autre problème ☐ Pas pertinent ☐

Intéressant ☐ très ☐ peu ☐ sans intérêt ☐

Annexe XIII- Le groupe de discussion (*focus group*)

	Nom	Prénom	Architecte	Pratique Architecturale	Programmiste	Maître d'ouvrage	Enseignant	Connaissance du graphe	Connaissance de l'INSA	Connaissance de Projet de l'INSA	Sexe	Âge	Experience
1	PICON	Louis	1	1			1		1	0	H	2	3
2	RAHBAR	Shabnam	1	1					1	0	F	2	2
3	ORTH	Jacques	1	1			1	1	1	0	H	3	3
4	DUBREU	Benjamin	1	1			1	1	1	1	H	2	3
5	ALBISSER	Eric	1	0			1		1	0	H	3	3
6	LAFAURY	Emeline	1	0	1	1			1	0	F	2	2
7	FARNIA	Hamed	1	1					1	0	H	1	1
8	GUENE	Franck	1	0			1	1	1	1	H	3	3
9	VIROT	Jean-Jacques	1	0			1		1	1	H	3	3
10	WITTMANN	Guillaume	1	1		1			1	0	H	1	1
11	Mme XX	Mme	1	1			1		1		F	2	3
12	GROSS	Yves	1	1	1	1	1		1		H	3	3
13	KNOCHEL	Justine	1	1			1		1		F	2	3
			13	9	2	3	9	3	13	3	9	15%	15%
		Oui	100%	69%	15%	23%	69%	23%	100%	23%	69%	46%	15%
		Non	0%	31%	85%	77%	31%	77%	0%	77%	31%	38%	69%

402

Annexe XIV- Le dépouillement du Questionnaire A

	Problème comme contradic		**Clarté d'Énoncé**		**Exhaustivité**		**Traçabilité**		**Intégralité**		**Support de prise de décisio**		**Moyen de Communication**
Nom	Fontion et Fo	Budget et Te	Programme Ty	Graphe	Programme	Graphe	Programme T	Graphe	Programme T	Graphe	Programme T	Graphe	Question 8
Réponse 1	***Oui***	***Oui***	***4***	***4***	***4***	***4***	***4***	***4***	***4***	***4***	***4***	***4***	***Parfaitement***
Réponse 2	***Parfois***	***Parfois***	***3***	***3***	***3***	***3***	***3***	***3***	***3***	***3***	***3***	***3***	***Moyen***
Réponse 3	***Non***	***Non***	***2***	***2***	***2***	***2***	***2***	***2***	***2***	***2***	***2***	***2***	***Un peu***
Réponse 4	***Pas de réponse***	***Pas de réponse***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***1***	***Pas du tout***
Réponse 5			***Pas de réponse***	***Pas de réponse***	***Pas de réponse***	***Pas de réponse***	***Pas de réponse***	***Pas de réponse***	***Pas de réponse***	***Pas de réponse***	***Pas de réponse***	***Pas de réponse***	***Pas de réponse***
PICON	Oui	Oui	4	3	3	3	3	4	3	4	Pas de répon	3	Moyen
RAHBAR	Oui	Oui	3	4	2	3	2	4	2	4	2	3	Parfaitement
ORTH	Oui	Oui	2	4	4	Pas de répon	2	4	1	4	3	4	Moyen
DUBREU	Oui	Oui	3	Pas de répon	4	1	Pas de répon	Pas de répon	2	3	4	Pas de répon	Moyen
ALBISSER	Oui	Oui	2	4	4	2	2	4	1	4	3	4	Moyen
LAFAURY	Oui	Oui	3	3	2	3	1	4	2	4	3	3	Parfaitement
FARNIA	Oui	Oui	2	3	3	4	2	4	2	4	1	4	Parfaitement
GUENE	Oui	Parfois	2	2	2	2	1	4	1	3	1	1	Moyen
VIROT	Parfois	Oui	2	3	2	3	2	3	3	3	2	3	Parfaitement
WITTMANN	Oui	Parfois	2	1	3	2	1	2	1	2	3	2	Un peu
Mme XX	Oui	Oui	2	3	3	4	2	4	1	4	3	4	Parfaitement
GROSS	Oui	Oui	3	3	3	4	4	4	1	4	3	4	Parfaitement
KNOCHEL	Oui	Oui	2	3	3	4	2	4	1	4	3	4	Parfaitement
Réponse 1	92,3%	84,6%	7,7%	23,1%	23,1%	30,8%	7,7%	76,9%	0,0%	69,2%	7,7%	46,2%	53,8%
Réponse 2	7,7%	15,4%	30,8%	53,8%	46,2%	30,8%	7,7%	7,7%	15,4%	23,1%	53,8%	30,8%	38,5%
Réponse 3	0,0%	0,0%	61,5%	7,7%	30,8%	23,1%	53,8%	7,7%	30,8%	7,7%	15,4%	7,7%	7,7%
Réponse 4	0,0%	0,0%	0,0%	7,7%	0,0%	7,7%	23,1%	0,0%	53,8%	0,0%	15,4%	7,7%	0,0%
Réponse 5	0,0%	0,0%	0,0%	7,7%	0,0%	7,7%	7,7%	7,7%	0,0%	0,0%	7,7%	7,7%	0,0%

403

Annexe XV- L'interface d'« *Architectural Program: Parameters, Values, and Relationships* »

ARCHITECTURAL PROGRAM: PARAMETERS

Access to the application
List all users
Change password
View Average Matrix
Add/Edit Parameters
Add/Edit Users
Add/Edit Admins
Log Out

USERS

S	Id
○	31 Ara
○	32 Sha
○	33 Har

Edit User

CREATE A

User Name

Add User

ARCHITECTURAL PROGRAM: PAR

Access to the application
List all users
Change password
View Average Matrix
Add/Edit Parameters
Add/Edit Users
Add/Edit Admins
Log Out

PARAMETERS

S	Id	Name	Enabled
○	32	1 : amlior fonction	Yes
○	33	2 :	
○	34	3 :	
○	35	4 :	
○	36	5 :	
○	37	6 :	
○	38	7 :	
○	39	8 :	
○	40	9 :	
○	41	10 :	

	1 : amlior fonction	2 : mis nrm sé	3 : rd cnso én	4 : cnst locau	5 : rstr envlp	6 : emblsm loc	7 : rep exgn f	8 : resp ecnm	9 : amlior cir	10 : res plt tc	11 : mantnce	12 : impltn fcl	13 : racrd résa	14 : pltfrm cmn	15 : rgrp admin	16 : spc vi etu	17 : gich etud	18 : livrsn fcl	19 : Eff max ét	20 : Ident
1 : amlior fonction	0	1	1	3	0	1	3	3	3	2	1	0	2	1	2	0	0	3	3	2
: mis nrm sé	2	0	2	0	1	0	1	2	2	3	0	2	0	0	0	0	0	0	3	1
: rd cnso én	0	0	0	2	3	0	3	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	2	2
4 : cnst locau	2	1	2	0	0	1	3	3	2	0	2	0	1	3	3	3	2	0	3	2
5 : rstr envlp	0	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
: emblsm loc	0	0	2	0	2	0	2	2	1	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0
7 : rep exgn f	3	3	2	3	0	1	0	1	3	2	2	2	2	3	3	2	3	2	3	1
8 : resp ecnm	2	0	2	3	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0
9 : amlior cir	3	2	1	3	1	0	3	0	0	1	1	2	1	3	3	2	2	3	0	0

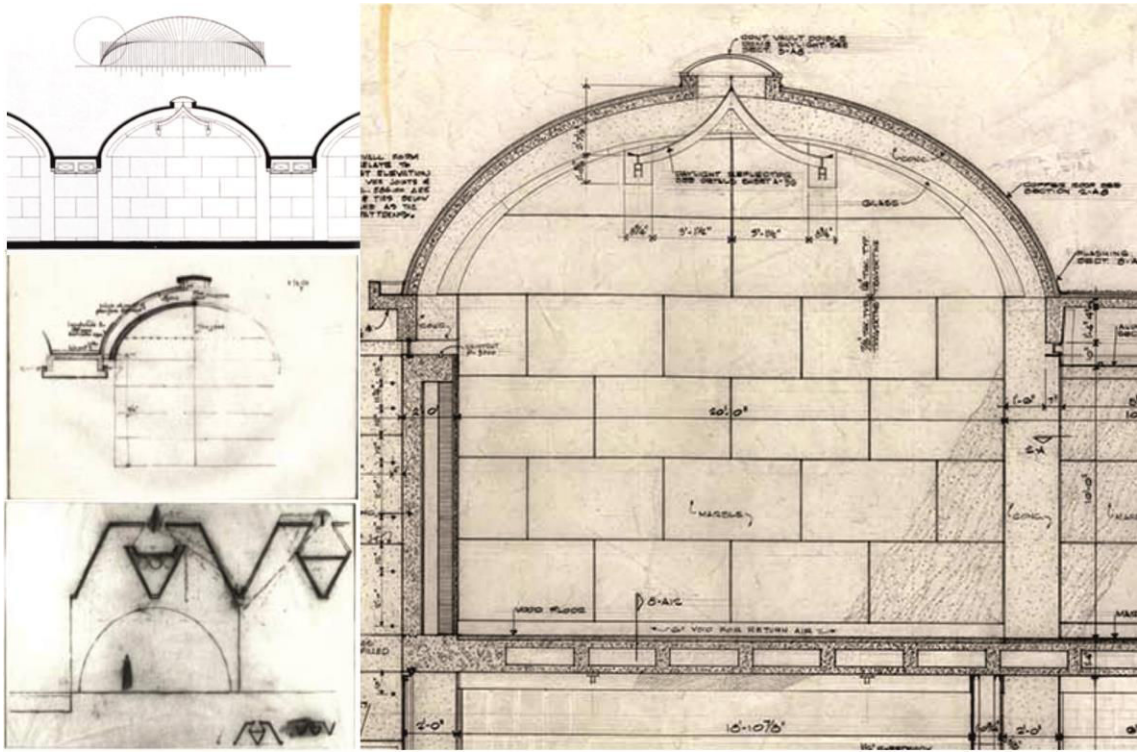
Annexe XVI- Le dépouillement du Questionnaire B

	Concept 1		Concept 2		Concept 3		Concept 4		Concept 5		Concept 6		Concept 7		Concept 8		Concept 9		Concept 10	
	Pertinence	Intérêt	Pertinence	Intérêt	Pertinence	Intérêt	Pertinence	Intérêt	Pertinence	Intérêt	Pertinence	Intérêt	Pertinence	Intérêt	Pertinence	Intérêt	Pertinence	Intérêt	Pertinence	Intérêt
PICON	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
RAHBAR	3	4	0	3	1	1	3	3	3	3	3	3	2	0	3	0	0	3	3	4
DUBREU	3	0	3	0	1	0	2	0	3	0	3	0	3	0	3	0	0	0	3	0
LAFAURY	2	3	2	3	1	3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
FARNIA	2	2	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	0	3	3
GUENE	1	2	2	4	1	2	3	4	2	2	2	2	2	0	2	4	2	2	1	1
VIROT	2	3	2	2	2	2	3	3	3	4	3	4	2	4	2	3	2	3	3	3
WITTMANN	2	4	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	1	2	3	3
3 Pertinent	3	37,5%	3	37,5%	2	25,0%	6	75,0%	7	87,5%	7	87,5%	4	50,0%	5	62,5%	2	25,0%	7	87,5%
2 Pertinent mais	4	50,0%	4	50,0%	1	12,5%	1	12,5%	1	12,5%	1	12,5%	4	50,0%	3	37,5%	3	37,5%	0	0,0%
1 Pas pertinent	1	12,5%	0	0,0%	4	50,0%	1	12,5%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	12,5%	1	12,5%
0 Pas de reponse	0	0,0%	1	12,5%	1	12,5%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	2	25,0%	0	0,0%
4 Très intéressant	2	25,0%	1	12,5%	0	0,0%	1	12,5%	1	12,5%	1	12,5%	1	12,5%	1	12,5%	0	0,0%	1	12,5%
3 Intéressant	3	37,5%	5	62,5%	4	50,0%	5	62,5%	5	62,5%	5	62,5%	4	50,0%	5	62,5%	4	50,0%	5	62,5%
2 Peu intéressant	2	25,0%	1	12,5%	2	25,0%	1	12,5%	1	12,5%	1	12,5%	0	0,0%	0	0,0%	2	25,0%	0	0,0%
1 Sans intérêt	0	0,0%	0	0,0%	1	12,5%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	12,5%
0 Pas de reponse	1	12,5%	1	12,5%	1	12,5%	1	12,5%	1	12,5%	1	12,5%	3	37,5%	2	25,0%	2	25,0%	1	12,5%

405

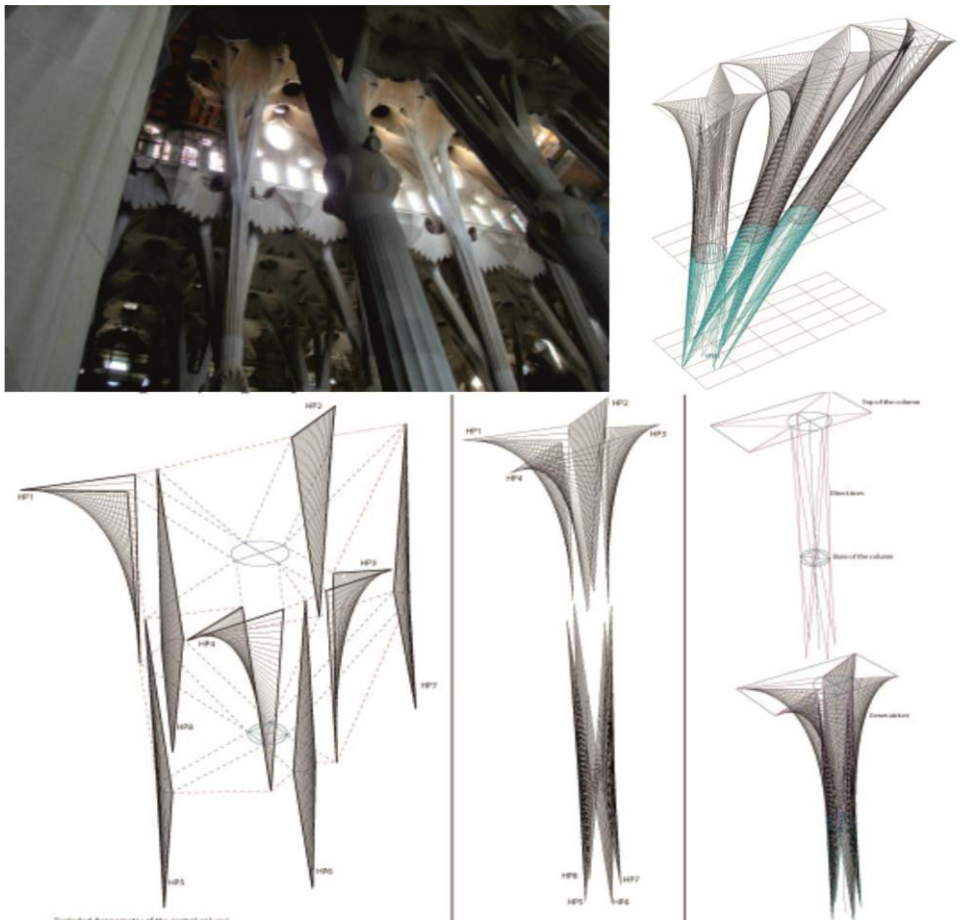
Annexe XVII- Certains concepts architecturaux analysés à l'aide des concepts de la TRIZ

Projet	Kimbell Art Museum
Architecte	Louis I. Kahn
Contradiction	Avoir les plafonds à la fois haut (9m) et bas (6m). Laisser passer la lumière mais empêcher le rayonnement direct et les réflexions
Solution	Utiliser des diffuseurs de lumière en forme de cycloïde qui renvoient la lumière naturelle depuis une fente étroite située au zénith.
Cette solution correspond au concept de la TRIZ	*Principes Inventifs :* PI32- Le changement de couleur (Modifier le degré de transparence d'un objet ou de l'environnement) *Standards Inventifs* : SI 1.2.1- Élimination de l'interaction nocive en introduisant une substance étrangère SI 2.2.6- 2.2.6. Structuration de la substance



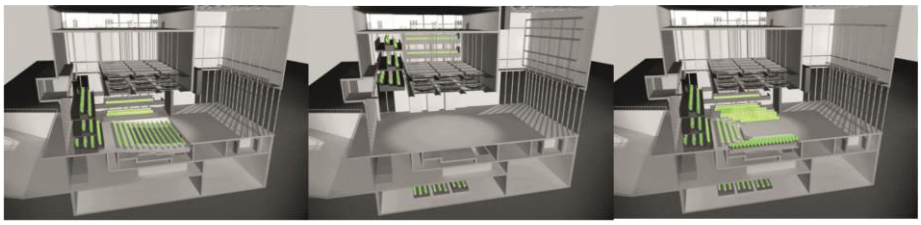
Source des images : internet

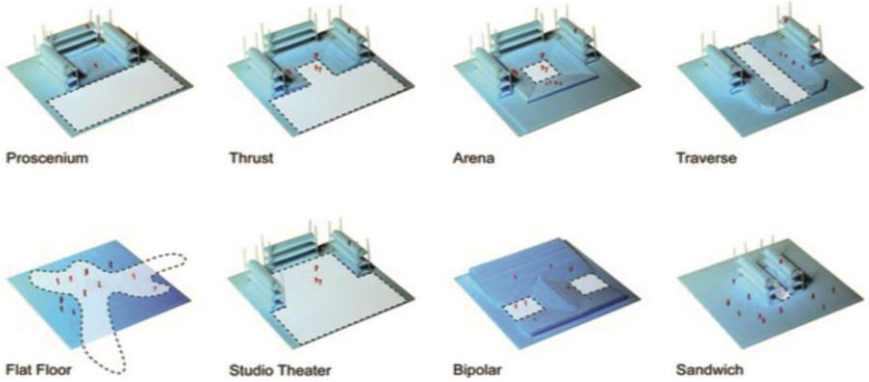
Projet	Sagrada Família
Architecte	Antoni Gaudí
Contradiction	Avoir les colons ayant des résistances nécessaires mais laisser passer la lumière.
Solution	Utiliser les formes hyperboloïdes pour les lucarnes et les voûtes. Cet effet géométrique a été considéré comme le secret de Gaudi qui lui permet à la fois de ne pas remplir les espaces entre les colons, d'altérer les voûtes et de générer par des lignes droites des cercles et des étoiles.
Cette solution correspond au concept de la TRIZ	*Standards Inventifs* : SI 3.1.5- Les propriétés incompatibles du système et de ses parties Les pointeurs indiquent l'effet géométrique « hyperboloïde et paraboloïde » qui est relié aux « Changer la forme géométrique en hyperboloïde à une surface plane », « Soutenir les structures de bâtiments », « Orientation et connexion des objets », « Focalisation d'énergie optique »



Source des images : internet

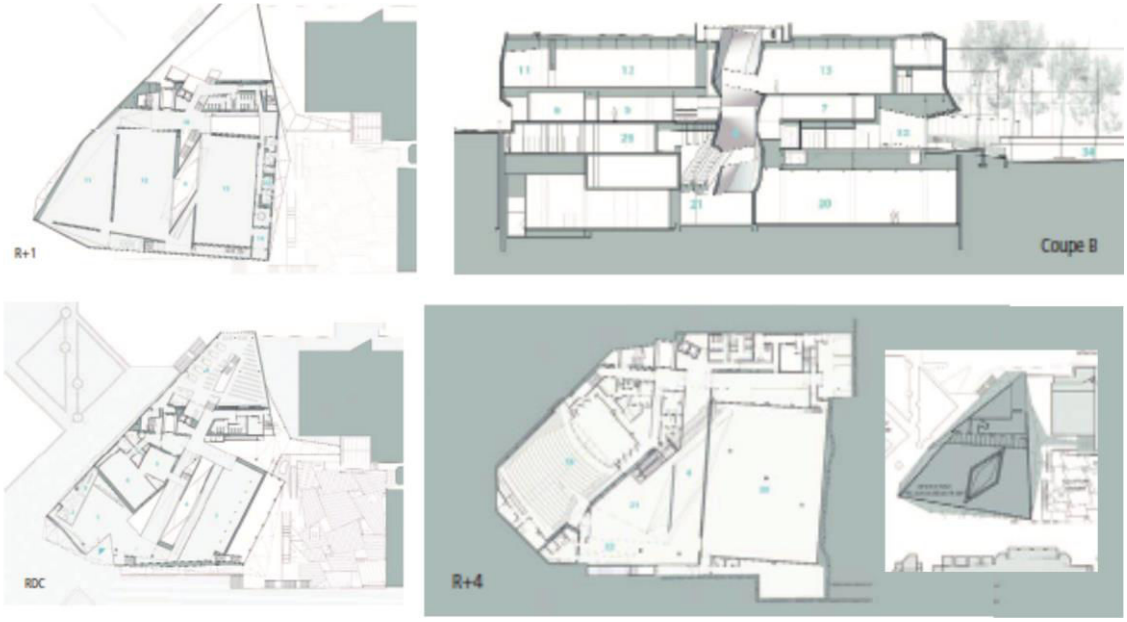
Projet	AT&T Performing Arts Center Dee et Charles Wyly Theatre - Dallas, Texas
Architecte	DESIGN ARCHITECT REX | OMA
Contradiction	Le bâtiment devait être flexible et multiforme tout en exigeant des coûts d'exploitation minimes.
Solution	Le plancher, l'auditorium et les parois sont mobiles. Le RDC peut être modifié dans un large éventail de configurations (proscenium, scène, arène, traversée, stage, plancher plat) avec seulement une petite équipe en quelques heures.
Cette solution correspond au concept de la TRIZ	*Principes Inventifs* : PI1- La segmentation (Réaliser un objet démontable); PI6- L'universalité (Faire en sorte que l'objet remplisse plusieurs fonctions) ; PI7- La poupée russe (Placer un objet dans un autre qui, à son tour, sera placé dans un autre et ainsi de suite) ; PI15- Le dynamisme (Diviser un objet en éléments pouvant se déplacer les uns par rapport aux autres) *Méthodes de Séparation* : M2- Séparer l'objet dans le temps *Standards Inventifs* : Standard 2.4.8- Dynamisation (accroître l'efficacité d'un système par la transition vers une structure souple et modifiable)





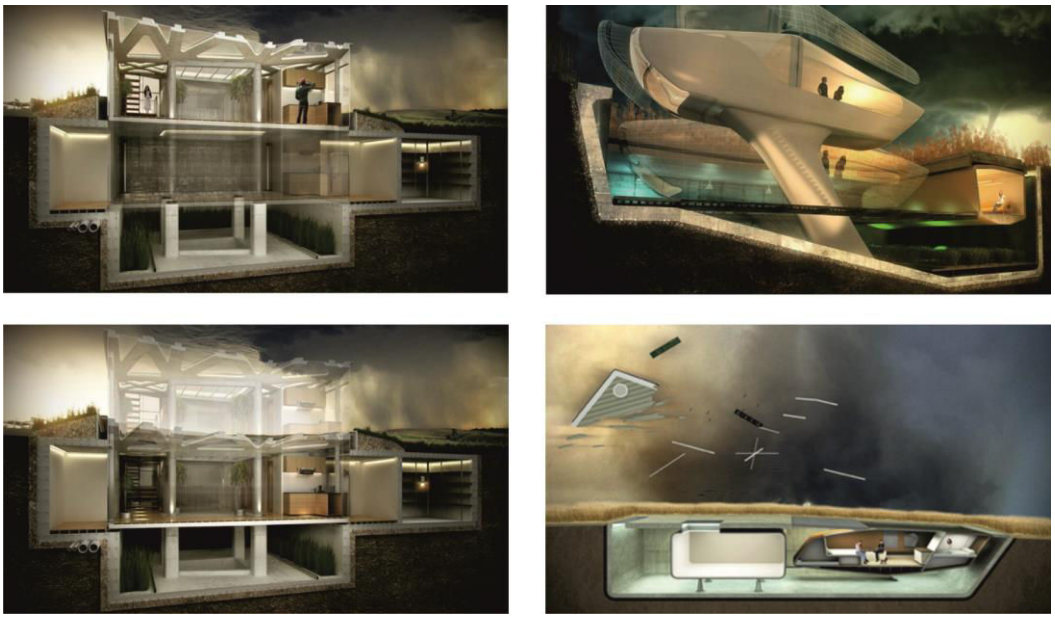
Source des images : internet

Projet	Nouvelle aile du musée d'Art moderne de Tel-Aviv
Architecte	Preston Scott Cohen
Contradiction	Construire de « grandes salles rectangulaires » dans un site avec la géométrie triangulaire
Solution	Superposer les niveaux du musée selon des axes différents d'étage en étage. Les divers plateaux sont unifiés verticalement par une circulation centrale, également puits de lumière « chute de lumière » qui répond aux différentes géométries des étages. Aussi revêt-elle une spatialité distincte et complexe, composée d'une succession de surfaces à double courbure mariant rampes de circulation, parois verticales et ouvertures horizontales.
Cette solution correspond au concept de la TRIZ	*Principes Inventifs* : PI1- La segmentation ; PI6- L'universalité (Faire en sorte que l'objet remplisse plusieurs fonctions) ; PI14- La sphéricité (remplacer des parties linéaires par des parties courbes, des surfaces planes par des surfaces sphériques) *Méthodes de Séparation* : M1- Séparer l'objet dans l'espace



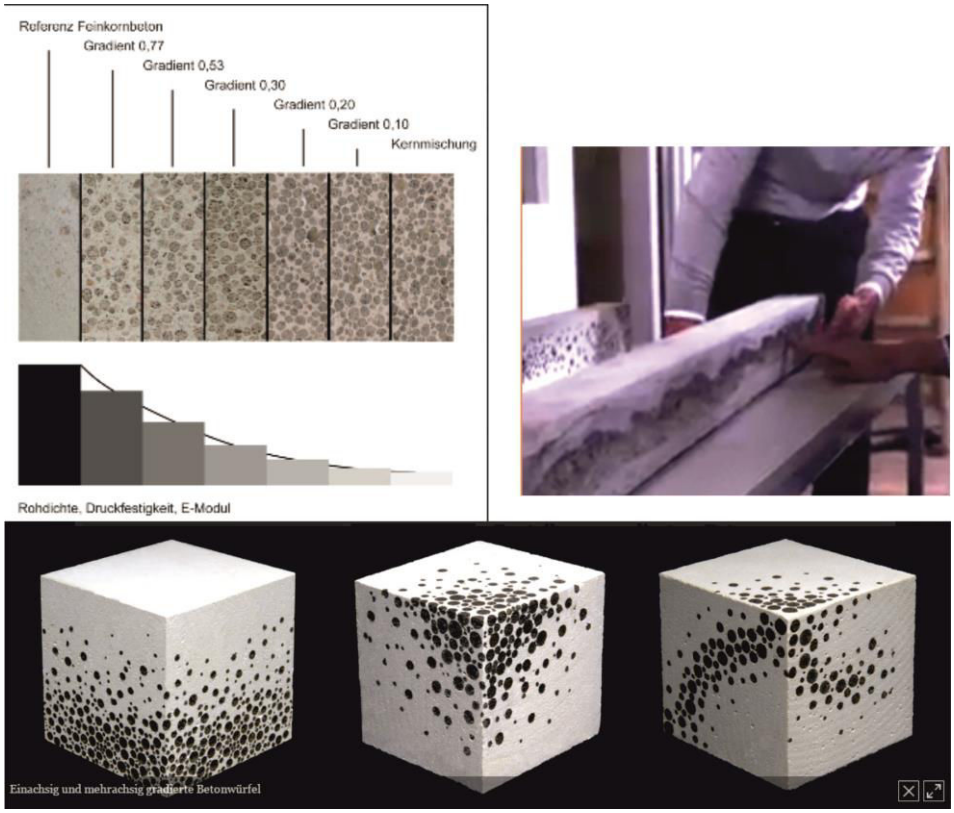
Source des images : internet

Projet	Erupting Stability: Tornado Proof House
Architecte	Ted Givens
Contradiction	Construire une maison résistante à la tornade mais pas au sous-sol
Solution	Une série de leviers hydrauliques sont utilisés pour déplacer la maison et pour déplier la peau extérieure en réponse à une stimulation externe. Les revêtements photocatalyseurs et nanotubes de carbone sont appliqués pour absorber des pollutions et les tourner en carburant pour alimenter le système hydraulique.
Cette solution correspond au concept de la TRIZ	*Principes Inventifs* : PI 7. La poupée russe (Faire passer un objet au travers d'un autre par ses cavités) PI15- Le dynamisme (Diviser un objet en éléments pouvant se déplacer les uns par rapport aux autres) PI22. La transformation d'un moins en plus (Utiliser des facteurs nuisibles, notamment des effets néfastes de l'environnement, pour obtenir un effet positif) PI29- Le système hydraulique ou pneumatique (Remplacer les parties solides d'un objet par du gaz ou du liquide) *Méthodes de Séparation* : M2- Séparer l'objet dans le temps *Standards Inventifs* : Standard 1.1.4- Vépole basé sur l'environnement



Source des images : internet

Projet	Composants en béton gradué
Réalisateur	Lightweight Structures and Conceptual Design (ILEK), l'Univesrité de Stuttgart
Contradiction	Changer localement la résistance d'une structure unique en béton
Solution	Manipuler la porosité, les fibres et leur alignement, ainsi que la composition de matériaux différents
Cette solution correspond au concept de la TRIZ	*Principes Inventifs* : PI3- La qualité locale (Passer d'une structure homogène d'un objet (ou de l'environnement ou d'une action extérieure) vers une structure hétérogène) ; PI31- Le matériau poreux (Si l'objet est déjà poreux, remplir les pores avec une substance); PI35- Le changement de paramètres physiques et chimiques d'un objet (Modifier sa concentration ou sa consistance) ; PI40- Les matériaux composites *Standards Inventifs* : Standard 2.2.6 - Structuration des substances ; Standard 2.2.3- Transition vers les substances capillaires-poreuses



Source des images : internet

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES STRASBOURG

Amirabbas NAJARI

DE L'USAGE DU CONCEPT DE CONTRADICTION EN PHASE AMONT DE LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Apports de la théorie TRIZ à l'énoncé des problèmes architecturaux: une étude empirique

Résumé

Cette thèse, consacrée à la représentation des problèmes et contradictions architecturaux dans la phase amont de la conception, s'inscrit dans la problématique de l'agentivité potentielle de cette phase pour concevoir des concepts et des solutions innovantes. En tant qu'une recherche interdisciplinaire, cette thèse a pour ambition de contribuer aux recherches visant l'appropriation de parts de connaissances élaborées par la TRIZ dans le savoir architectural. Elle se développe donc en transversalité en examinant la possibilité d'appliquer IDM-TRIZ, son ontologie et son formalisme de représentation de contradiction dans les phases amont de la conception architecturale. L'objectif principal est d'évaluer les apports du concept de contradiction de la théorie TRIZ à l'énoncé des problèmes et des contradictions du projet architectural. Si l'accent est mis sur cet objectif, l'évaluation des apports des techniques et outils de la résolution de contradiction de TRIZ en préconception architecturale constitue l'objectif secondaire de cette étude.

Ainsi, la contribution scientifique espérée de notre recherche consiste à examiner des apports éventuels de la notion de contradiction au sens TRIZ à la fois comme stratégie conceptuelle en architecture guidant la recherche et la structuration des informations *et* comme modèle d'interprétation et de représentation des éléments fondamentaux de la conception, à savoir les objectifs, les contraintes et les solutions en phase amont du processus de conception.

Un projet réel a été choisi comme l'objet de l'étude empirique effectuée dans le cadre de la thèse. Deux résultats principaux de cette étude sont *a)* un ensemble des objectifs, des contraintes et des scénarios sous forme de contradiction à travers le Graphe Problèmes – Solution Partielles ; *b)* un ensemble de dix concepts de solution pour une contradiction du projet liée au problème identifié comme le problème clé.

Ces résultats ont été évalués à travers une série d'entretiens semi-directifs avec treize architectes. Ces résultats ainsi que deux questionnaires L'évaluation des résultats montre *I)* la possibilité d'énoncer les objectifs, les contraintes et les propositions du projet sous forme de contradiction à travers le Graphe Problèmes – Solution Partielles (avec 92.3 % de réponse positive pour ceux qui concernent la fonction et la forme ; et 85 % pour ceux concernant l'économie et le temps); *II)* la contribution significative du Graphe de Problèmes aux qualités de la clarté des énoncés de problèmes; à la traçabilité des problèmes et à la l'intégralité de la présentation de l'Espace de problèmes ; *III)* que l'ensemble de techniques et d'outils de TRIZ pourrait contribuer à la génération des concepts de solution en phase amont de la conception architecturale. Le taux d'affirmation varie selon le concept évalué ; cependant, ils attestent la pertinence (avec une moyenne de 58 % d'affirmation) et l'intérêt (avec une moyenne de 67 % d'affirmation) des concepts.

La conclusion de la thèse porte sur l'intérêt et l'inconvénient de l'usage du concept de contradiction de TRIZ comme stratégie conceptuelle de la construction de l'Espace de problèmes architecturaux en phase amont de la conception architecturale. De même, elle présente certaines réflexions sur les limites de TRIZ pour une application architecturale. Une discussion est menée sur les développements requis dans IDM-TRIZ pour mieux s'adapter à la pratique architecturale et mieux s'intégrer aux recherches courantes en programmation architecturale. En mettant la contribution de la thèse dans le champ plus large de l'appropriation de parts de connaissances élaborées par la TRIZ dans le savoir architectural, la conclusion se termine par la proposition de certaines pistes d'exploration qui désignent une perspective pour la recherche ultérieure sur les apports potentiels de la TRIZ en conception architecturale.

MOTS-CLÉS : *Contradiction, Programmation Architecturale, TRIZ, Stratégie de Conception, Formulation de Problèmes, IDM.*

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES STRASBOURG

Amirabbas NAJARI

On the Use of the Concept of Contradiction in Early Phases of Architectural Design

Contributions of TRIZ Theory to Architectural Problem Statement: An Empirical Study

Abstract

This thesis is devoted to the representation of architectural problems and contradictions in the early phase of architectural design process. It also focuses on its potential agency to generate new concepts and innovative solutions. This thesis aims to contribute to the research on knowledge transfer from TRIZ to architectural design methodologies. It is a cross-disciplinary study on the applicability of IDM-TRIZ, its ontology and formalism in the early phases of an architectural design. The main objective of this dissertation is to evaluate the contributions of the concept of contradiction of the TRIZ theory to problem and contradiction statement in architectural projects. The secondary objective of this study is to evaluate the contribution of the TRIZ techniques and their tools to architectural contradiction solving. Thereby, the expected scientific contributions of this research is to examine the concept of contradiction as a conceptual strategy for seeking and structuring the information about a project and as a model for interpretation and representation of the objectives, constraints, and alternative solutions in the early phases of the architectural design process.

In our empirical study, the IDM-TRIZ method is applied to an architectural program of a real project and has produced two results: *A)* a structured set of the objectives, constraints, requirements and the alternative solutions of this program presented as contradiction by using Problem Graph, *B)* a set of ten concepts of solution to resolve one of the contradictions related to the problem identified as the core problem of the project.

These results were evaluated through a series of semi-structured interviews. This evaluation shows that *I)* it is possible to represent the objectives, constraints, and alternative solutions of an architectural project as contradiction by the Problem Graph

(with 92.3% positive response for the elements concerning form and function, and 85% for those concerning economy and time), *II)* the contribution of the Problem Graph to the program qualities, such as clarity of problem statement; traceability of problems and the entirety of the Problems space, is significant, and, *III)* the TRIZ techniques and their tools could contribute to concept generation in the early phases of architectural designs. The evaluation is different for each concept, but it attests the relevance of the concepts (with an average of 58%) and their interest (with an average of 67%).

The findings of this thesis discusses the advantages and the disadvantages of the use of TRIZ concept of contradiction as a conceptual strategy for building the Problem space in the early phases of architectural designs. The conclusion presents some thoughts on TRIZ limitations for an architectural endeavor as well as some perspectives for further research aiming integrating the TRIZ into current research in architectural design. Also, some further developments in the IDM-TRIZ which allows better adapting to architectural practice are discussed.

KEYWORDS*: Contradiction, Architectural Programming, TRIZ, Architectural Design Strategy, Problem Structuring, IDM.*

Liste de publications

Najari A., S. Dubois, M. Barth et M. Sonntag, 2015. From Altshuller to Alexander: Towards a bridge between architects and engineers, TRIZ FUTURE CONFERENCE, Oct. 2015, Lausanne, Procedia CIRP TFC (2015), Elsevier, Paper accepted.

Najari A., M. Barth et M. Sonntag, 2014. A novel approach to Architectural Problem Space Framing using TRIZ-based Contradiction Approach, TRIZ FUTURE CONFERENCE, Oct. 2014, Lausanne, Procedia CIRP TFC (2014), Elsevier.

Najari A., M. Barth et M. Sonntag, 2014. Contribution de la notion de Contradiction à la Stratégie Conceptuelle pour la phase amont de la Conception Architecturale. Dans S. Kubicki et al. (ed.) Interaction(s) des maquettes numériques: PUN - Editions Universitaires de Lorraine, Nancy. pp. 113-123. ISBN : 978-8143-0171-9

NAJARI A. et S. Rahbar Behbahani, 2010, Modèle et Concept Architectural, l'acte d SCAN 10, 9-10 septembre 2010, Marseille.