

HASSOUN KARAM

L'abduction en conception architecturale
Une sémiologie hypostatique

Thèse présentée
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de doctorat sur mesure en Conception architecturale assistée
par ordinateur
pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.)

Faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2010

Résumé

Cette thèse développe un modèle sémiotique de l'abduction pour représenter un processus de conception architecturale. Elle formalise ce processus par une dualisation hypostatique du rapport sémiotique entre un problème de conception, saisi en tant que signe, et la possibilité de sa matérialisation géométrique. La dualisation réintègre ce signe dans le domaine des systèmes de savoir-concevoir utilisés en conception architecturale, et par conséquent, elle génère de nouvelles solutions architecturales. L'abduction modifie les connaissances préalables engagées dans la production d'une solution (l'hypothèse) et en introduit de nouvelles. La complexité du processus de conception implique, au niveau méthodologique et à partir d'une position épistémologique constructiviste, l'intégration de la subjectivité du concepteur dans le modèle. Ainsi résulte une incertitude des interactions entre problème de conception, production de solution, concepteur et contexte. La sémiotisation de l'abduction architecturale explicite le rôle central de l'interprétation dans la création d'une solution. D'ailleurs, la dualisation s'appuie sur la théorie des possibilités pour opérationnaliser le calcul interprétatif incertain et pour valider les hypothèses générées. En retour, la gestion de la propagation de cette incertitude, dans le modèle sémiotique, facilite l'identification et la formulation des solutions, et rend possible une émergence observationnelle de la nouveauté. Le modèle développé est appliqué à un cas de transformations architecturales géométriques dans un milieu urbain fortement caractérisé.

Abstract

This thesis develops a semiotic model of abduction to represent a process of architectural design. It formalizes this process by the means of a hypostatic dualization, applied to the semiotic relationship between, on the one hand, a design problem, considered as a sign, and on the other, the possibility of its geometric materialization. The dualization reintegrates this sign in the domain of know-how systems used in architectural design, and consequently, it generates new architectural solutions. Abduction modifies and augments the prior knowledge involved in producing the solution (the hypothesis). From a constructivist stance and the ensuing methodological viewpoint, the complexity of the design process implies embedding the designer's subjectivity in the model. Thus arises an uncertainty about the interactions among design problem, solution production, designer and context. Semiotizing architectural abduction reveals the central role played by interpretation in creating a solution. Besides, dualization relies on possibility theory to formalize the resulting, and uncertain, interpretation calculus, and to validate the obtained hypotheses. In return, managing the uncertainty propagation within the semiotic model, facilitates the identification and the formulation of architectural solutions and allows for an observational emergence of novelty. The developed model is applied to a case of architectural geometric transformations in a heavily characterized neighborhood.

Avant-propos

D'abord, je voudrais remercier mon directeur de thèse, Pierre Côté, pour son accompagnement pédagogique pendant toutes les années de ce travail. Je lui suis reconnaissant de m'avoir transmis beaucoup de son savoir et d'avoir été disponible et encourageant. Sans ses conseils éclairés, sans ses critiques pertinentes de mes ébauches et sans les défis qu'il m'a lancés, je n'aurais pu mûrir mes réflexions. Aussi, je remercie mon co-directeur, Luc Noppen, pour sa confiance en moi et les nombreux échanges stimulants portant sur nos intérêts mutuels en architecture et son histoire, et aussi pour la générosité de son soutien moral et matériel indéfectible. Merci, aux membres de mon jury, Bernard Moulin et Luc Lamontagne de l'Université Laval et Jean-Guy Meunier de l'Université du Québec à Montréal.

Je remercie l'École d'architecture de l'Université Laval, corps professoral et employés, pour l'effort déployé dans le suivi de mon programme doctoral. De plus, je tiens à exprimer ma gratitude à mes amis, camarades et collègues, Louis Saint-Pierre, Denis Bourgeois et Ramon Reyes, avec qui j'ai passé de bons moments épistémologiques pendant ce doctorat. Je n'oublie pas KENZA Benali, ni son amitié sincère ni sa sollicitude réconfortante. Je garde en mémoire la présence chaleureuse de Martin Drouin et Marie-Blanche Fourcade.

Enfin, je témoigne ma reconnaissance à ma compagne, Isabelle Caron, pour sa grande affection, son appui inconditionnel et toutes les discussions enrichissantes qui ont nourri mes idées. Cette thèse doit beaucoup à ma famille, qui n'a pas cessé de m'encourager et de m'accompagner par ses prières, surtout à mon père et à ma mère qui m'ont appris, depuis mon enfance, à aimer la connaissance.

À Georgie et Joy

Ad Majorem Dei Gloriam

Table des matières

Résumé	ii
Abstract	iii
Avant-propos	iv
Table des matières	vi
Liste des figures	x
Liste des tableaux	xiii
Liste des symboles	xiv
1 Introduction	1
1.1 Les motivations et les objectifs	2
1.2 La position épistémologique	4
1.3 La méthode	5
1.3.1 Les préceptes systémiques	6
1.3.2 La modélisation systémique	7
1.4 Les thèmes de la thèse	11
1.5 La structure de la thèse	12
1.5.1 Le Chapitre 2	13
1.5.2 Le Chapitre 3	14
1.5.3 Le Chapitre 4	14
1.5.4 Le Chapitre 5	15
1.5.5 Le Chapitre 6	16
1.6 Les limites de la thèse	16
1.7 Remarques de présentation	17
Références	18
2 L'abduction	20
2.1 Introduction	20

2.2	Aperçu historique	20
2.3	Les formes de l'abduction	22
2.3.1	La forme syllogistique	23
2.3.2	La forme perceptive	25
2.4	Le processus abductif	27
2.4.1	La production de l'hypothèse	27
2.4.2	La validation de l'hypothèse	33
2.5	La caractérisation de l'abduction	35
2.5.1	L'abduction est interprétativement synthétique	36
2.5.2	L'abduction est contextuelle	37
2.5.3	L'abduction est téléologiquement mnémonique	38
2.5.4	L'abduction est subjective	39
2.5.5	L'abduction est complexe	41
2.5.6	Conclusion du développement de l'abduction	46
2.6	L'abduction en intelligence artificielle	46
2.6.1	La comparaison des approches abductives	47
2.6.2	L'approche possibiliste	48
2.6.3	L'approche probabiliste	51
2.6.4	L'approche pondérée	54
2.6.5	L'approche logique	57
2.6.6	L'approche ensembliste	61
2.6.7	Synthèse de l'abduction en IA	72
2.7	L'abduction et la CAAO	73
2.7.1	La formalisation de l'abduction en CAAO	73
2.7.2	RETWALL (1987)	77
2.7.3	DESIGN SIMULATOR (1994)	78
2.7.4	La LOGIQUE PROPOSITIONNELLE ABDUCTIVE - LPA (2001)	81
2.7.5	L'approche de l'abduction intégrée (2003)	83
2.7.6	Le raisonnement à base de cas (RBC)	85
2.7.7	Synthèse de l'abduction en CAAO	94
2.7.8	Discussion générale des approches numériques	94
2.8	Conclusion	95
	Références	98
3	La sémiotique	107
3.1	Introduction	107
3.2	Éléments de sémiotique	108
3.2.1	Le signe	108
3.2.2	Les catégories phanérosopiques	113
3.2.3	La trichotomie du signe	115

3.2.4	Le signe triadique	118
3.3	L'approfondissement des systèmes sémiotiques	128
3.3.1	Les modalités de l'hypersigne	128
3.3.2	La dégénérescence phanéroscopique	130
3.3.3	Le signe hexadique	132
3.3.4	La topologie de la subdivision	134
3.3.5	Le calcul interprétatif	136
3.4	La sémiologie de l'abduction	145
3.4.1	La synthèse abductive	146
3.4.2	L'organisation émergente	148
3.4.3	Le renouvellement du savoir-concevoir	149
3.4.4	La forme sémiotique de l'abduction	151
3.5	Conclusion	152
Références		154
4	La conception architecturale	156
4.1	Introduction	156
4.2	La caractérisation de la conception architecturale	157
4.2.1	Les processus de la conception	160
4.2.2	La hiérarchisation des processus de la conception	164
4.3	Les systèmes sémiotiques architecturaux	167
4.3.1	Le traitement du représentamen	167
4.3.2	La désignation de l'objet	168
4.3.3	L'interprétation de l'usage	168
4.4	L'interprétation architecturale	169
4.4.1	La classification du savoir-concevoir	171
4.4.2	Les stratégies interprétatives	173
4.5	La sémiologie générative architecturale	175
4.5.1	La représentation matricielle d'un signe	176
4.5.2	La dualisation hypostatique	177
4.5.3	Discussion	184
4.6	Le cas de la WARTIME HOUSING LIMITED (WHL)	187
4.6.1	Les transformations architecturales de la WHL	187
4.6.2	La géométrie des transformations de la WHL	190
4.6.3	La caractérisation des transformations de la WHL	193
4.6.4	La classification sémiotique des transformations géométriques	197
4.6.5	La sémiologie hypostatique des transformations géométriques	198
4.6.6	La synthèse du cas du WHL	200
4.7	Conclusion	203

Références	205
5 Un modèle sémiotique de l'abduction	209
5.1 Introduction	209
5.2 L'incertitude de l'interprétation	210
5.2.1 La formalisation de la subjectivité	210
5.2.2 La circonscription de l'interprétation	211
5.3 La représentation de l'incertitude	212
5.3.1 La théorie des possibilités	213
5.3.2 Les distributions et les mesures de possibilité	216
5.3.3 Les mesures de nécessité	220
5.3.4 Les relations entre les mesures de possibilité et de nécessité	221
5.3.5 La distribution conjointe de possibilités	223
5.3.6 La distribution marginale de possibilités	224
5.3.7 L'extension cylindrique	225
5.3.8 La distribution conditionnelle de possibilités	225
5.3.9 La spécificité minimale	227
5.3.10 Discussion de la théorie des possibilités	227
5.4 Le modèle sémiotique de l'abduction	228
5.5 L'architecture du modèle sémiotique	233
5.5.1 La structure de l'hypersigne synthétique	233
5.5.2 Le diagramme	239
5.5.3 Un exemple du fonctionnement du modèle	243
5.5.4 La validation d'une hypothèse	246
5.6 Discussion du modèle	253
5.7 Conclusion	255
Références	257
6 Conclusions et perspectives	259
6.1 Les contributions	259
6.2 Les perspectives	261
6.3 Une conclusion générale	264
Références	265
Index	267

Liste des figures

1.1	Les correspondances de la modélisation.	10
1.2	Schéma conceptuel du modèle de la thèse.	12
2.1	La structure du syllogisme.	23
2.2	La perception selon Peirce	28
2.3	La maxime de la représentation	36
2.4	Exemple d'une relation floue	49
2.5	Un réseau de croyance	52
2.6	La preuve dans TACITUS adaptée de (Hobbs et al., 1993).	56
2.7	L'architecture d'un système TMS	59
2.8	Le graphe de dépendance du ATMS	60
2.9	L'inférence dans THEORIST	62
2.10	L'architecture de la Parsimonious covering theory	63
2.11	La classification hiérarchique de RED adaptée de (Punch et al., 1990).	68
2.12	La synthèse de RED et PEIRCE adaptée de (Josephson et Josephson, 1994, p.140) et (Punch et al., 1990, p.39).	69
2.13	Le contrôle dans PEIRCE d'après (Josephson et Josephson, 1994, p.99).	71
2.14	L'abduction en conception architecturale.	74
2.15	L'aspect ampliatif de l'abduction redessiné d'après (Rowe, 1987, p.104).	75
2.16	Le schéma conceptuel de DESIGN SIMULATOR adapté de (Takeda, 1994, p.324).	79
2.17	L'abduction dans DESIGN SIMULATOR adapté de (Takeda, 1994, p.233)	80
2.18	L'architecture de DESIGN SIMULATOR d'après (Takeda, 1994, p.239)	82
2.19	La représentation d'une hypothèse dans la LPA.	82
2.20	La structure de l'inférence dans la LPA d'après (Lin et Wang, 2001).	83
2.21	L'abduction intégrée.	84
2.22	Le cycle de l'inférence dans le RBC adapté de (Aamodt et Plaza, 1994).	86
2.23	Schéma de l'intégration de l'abduction au RBC d'après (Sun et al., 2005, p.970).	91
2.24	Un système abductif hybride (Guéna, 1993).	93
2.25	La grille comparative des approches abductives	96
3.1	Le signe.	109
3.2	La polyvalence sémiotique et sa récursivité.	112

3.3	Hiérarchie des catégories phanérosopiques.	114
3.4	La classification des signes triadiques d'après Peirce (Hartshorne et Weiss, 1960 , CP 2.264).	118
3.5	Un exemple de composition trichotomique.	122
3.6	L'hypersigne.	123
3.7	L'hypersigne d'une toiture.	124
3.8	L'implication des classes dans l'hypersigne.	126
3.9	Les classes ayant des répliques.	126
3.10	Les classes abductives.	128
3.11	Les modalités sémiotiques.	129
3.12	Les éléments phanérosopiques.	130
3.13	Les catégories authentiques et dégénérées.	131
3.14	La subdivision du signe triadique.	132
3.15	Les signes hexadiques (ou l'hypersigne hexadique).	133
3.16	La topologie du signe.	134
3.17	Comparaison des topologies triadique et hexadique	135
3.18	La dimension temporelle de la sémiotique.	136
3.19	Les opérations informationnelles élémentaires.	139
3.20	La propagation de l'information dans l'hypersigne.	141
3.21	La temporalité des classes rhématiques	142
3.22	La composition de l'interprétant d'un sinsigne-indiciaire-dicent	143
4.1	La phanérosopie de l'abduction.	158
4.2	L'abduction architecturale.	160
4.3	Les processus du savoir-concevoir	163
4.4	La hiérarchie du savoir-concevoir en CAAO.	166
4.5	Les trois classes du savoir-concevoir adaptées de (Rosenman et Gero, 1992 , p.113).	171
4.6	La sémiose générative.	175
4.7	La dualisation d'une classe.	178
4.8	Les déterminations de la dualisation.	180
4.9	Le passage de l'interprétant dans les classes dicentes.	186
4.10	Les transformations géométriques adaptées de (Mitchell, 1990 , p.121) et augmentées (en italique).	191
4.11	La caractérisation sémiotique des transformations géométriques.	201
4.12	La sémiotisation du savoir-concevoir du WHL.	202
4.13	Le schéma conceptuel complété.	204
5.1	La taxonomie de l'ignorance d'après (Hunter et Parsons, 1998 , p.9).	212
5.2	Un ensemble flou.	214
5.3	La structure de l'information possible.	215

5.4	Un schéma d'une distribution de possibilités.	217
5.5	Une distribution de possibilité trapézoïdale.	218
5.6	Le maximum de deux distributions de possibilités trapézoïdales (union).	219
5.7	Le minimum de deux distributions de possibilités trapézoïdales (intersection).	220
5.8	Le schéma conceptuel détaillé.	228
5.9	Le fonctionnement du modèle conceptuel.	230
5.10	Les possibilités de combinaison des signes.	232
5.11	L'architecture du modèle.	238
5.12	Exemples de diagrammes sémiotiques architecturaux des habitations WHL.	241
5.13	Les diagrammes abductifs.	243
5.14	Le passage hypostatique.	244
5.15	Le fonctionnement de la dualisation hypostatique.	245
5.16	Les distributions initiales de possibilité du savoir-concevoir.	247
5.17	La grille de validation d'une hypothèse.	248
5.18	Le facteur opérationnel.	248
5.19	Le facteur contextuel.	249
5.20	Le facteur global.	249
5.21	La distribution de possibilités résultant du facteur contextuel.	251
5.22	La distribution de possibilités finale pour chaque opération.	251
5.23	La pondération des intervalles de qualification.	252

Liste des tableaux

1.1	Tableau comparatif des épistémologies.	5
2.1	Les composantes du modèle logique de la conception architecturale.	76
3.1	Les catégories phanérosopiques adaptées de (Sowa, 2000 , p.397).	115
3.2	L'information interprétative.	140
4.1	Un exemple d'application des trois distinctions sémiotiques.	166
4.2	Les systèmes sémiotiques architecturaux.	168
4.3	Représentation matricielle des classes triadiques et leurs dualisations.	185
4.4	Les transformations architecturales du WHL d'après (Marchand et Knight, 1983 , p.132).	194
5.1	Les distributions de possibilités conjointe et marginale.	225
5.2	Exemple d'une extension cylindrique.	225

Liste des symboles

SYMBOLE	CONNOTATION
\cap	intersection ensembliste
\cup	union ensembliste
\wedge	conjonction ou minimum
\vee	disjonction ou maximum
\leq	plus petit ou égal à
$<$	plus petit que
$>$	plus grand que
\geq	plus grand ou égal à
\models	entraîne
$\not\models$	n'entraîne pas
$ $	tel que
\subset	inclusion ensembliste
\subseteq	inclus dans ou égal à
\neq	différent de
\in	appartient à
\notin	n'appartient pas à
\exists	il existe
\forall	quelque soit
\Rightarrow	implique
\rightarrow	correspondance fonctionnelle
\Leftrightarrow	équivalent à
\cdot	multiplication
\neg	négation
$[0, 1]$	intervalle fermé incluant 0 et 1
\bar{A}	complément de A ou non-A

Chapitre 1

Introduction

Cette thèse élabore un modèle sémiotique de l'abduction en conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO). Elle répond, d'un point de vue normatif, à la question de la formalisation du processus créateur appliqué par l'architecte dans la phase préliminaire de la conception. Plus précisément, cette thèse propose une forme sémiotique de l'abduction qui autorise la qualification d'une proposition architecturale de créative et qui produit une nouveauté à partir de ce qui est déjà connu. Un autre aspect de l'interrogation concerne la dimension subjective du savoir-concevoir architectural. La complexité du processus de conception implique, du point de vue méthodologique et à partir d'une position épistémologique constructiviste, l'intégration de l'interprétation du concepteur au modèle. Ainsi, résulte une incertitude des interactions entre problème de conception, production de solution, concepteur et contexte. La sémiotisation de l'abduction architecturale explicite le rôle central de l'interprétation dans la création d'une solution ; le terme interprétation désigne une reformulation d'une connaissance qui lui conserve sa validité et élargit son champ d'application. La prise en considération de cette incertitude abductive, dans le modèle sémiotique, affecte l'identification et la formulation des solutions, et rend possible l'émergence de la nouveauté.

Cette thèse argumente que la dualisation hypostatique du rapport entre un problème de conception, saisi en tant que signe, et la possibilité de sa matérialisation, constitue une opération sémiotique fondamentale dans le fonctionnement du raisonnement abductif. Cette dualisation réintègre ce signe dans le domaine des systèmes de savoir-concevoir architectural, modifie les connaissances antérieures (ou préalables) qui y sont engagées et par conséquent, génère de nouvelles solutions architecturales.

Par ailleurs, la formalisation mathématique de la dualisation s'appuie sur la théorie des possibilités pour opérationnaliser le calcul interprétatif incertain. Le modèle élaboré applique la forme sémiotique de l'abduction à un cas concret de transformations architecturales dans un milieu urbain fortement caractérisé.

1.1 Les motivations et les objectifs

Le questionnement sur la capacité de représentation de l'ordinateur accompagne toujours le développement des théories informatiques, surtout en intelligence artificielle (IA) et en particulier dans le domaine de la représentation des connaissances (RC). La sémiotique est l'étude de la Représentation, développée par Charles Sanders Peirce (1839-1914). Malgré sa pertinence confirmée dans plusieurs disciplines, et l'apport de l'œuvre fondatrice de John Sowa en représentation des connaissances, on constate un manque de modèles sémiotiques en CAAO ; le paradigme dominant étant la sémiologie linguistique saussurienne. Il est supposé que, d'un côté, la facilité d'accès à l'œuvre de De Saussure et ses continuateurs et de son informatisation, et de l'autre, la complexité de la sémiotique peircéenne et sa forme, dans certains cas inachevée, sont des facteurs qui ont favorisé cette dominance. L'usage des deux termes « sémiotique » et « sémiologie » comme synonymes dans la littérature produit une confusion épistémologique. Dans cette recherche, le terme « sémiotique » est utilisé pour désigner les travaux de Peirce et ceux qui s'y réfèrent, « sémiosis » (ou sémiose) désignant le processus continu de la signification, et « sémiologie » pour les études linguistiques.

L'abduction est un mode de raisonnement ampliatif qui produit de nouvelles connaissances. La littérature offre quelques applications de la sémiotique à la représentation de l'abduction mais elles restent souvent au niveau de l'analogie générale dont l'opérationnalisation n'est pas explicitée. L'usage des outils sémiotiques, conceptuels et pratiques, améliore la compréhension de ce raisonnement et augmente la représentativité des modèles de l'inférence abductive en CAAO. Pour cela, plusieurs aspects qui sont relativement implicites dans toute inférence abductive, mais rarement étudiés simultanément, sont approfondis, tels que l'interprétation synthétique, le rôle du contexte, le rapport entre mémoire, connaissances antérieures et finalité, la complexité par le biais de l'émergence, la nouveauté et l'originalité.

Les modèles mathématiques, et a fortiori les formalismes numériques, tentent de cerner, *précisément*, *l'incertitude* environnante. Trois classes générales de représentations de l'incertitude résument cette intention : la représentation déterministe dont l'incertitude résulte des erreurs de mesure, la représentation probabiliste dont l'incertitude dépend de la nature aléa-

toire des phénomènes, et la représentation floue propre à l'approximation d'une observation subjective de ces phénomènes. Cette distinction explicite les principes qui sous-tendent les modèles de chaque classe, et affecte directement l'étude des phénomènes. L'abduction est une inférence fondamentalement incertaine et la connaissance qu'elle produit reste plausible jusqu'à sa validation. À travers son aspect plausible, cette inférence ouvre la voie, dans les sciences de l'artificiel, à la multiplicité des solutions pour un problème particulier, à la créativité et à l'intégration de l'interprétation du concepteur dans le processus de conception. De plus, l'intérêt actuel (renouvelé) pour les recherches cognitives contextuelles (*situated cognition*) en CAAO, incite à formaliser, sous un angle sémio-numérique, le potentiel créatif de l'abduction.

Pour situer d'une façon générale cette thèse dans la réflexion architecturale, un ensemble de questions est posé, en soulignant qu'il n'y a pas d'intention d'y répondre directement par ce texte (si jamais il est possible) :

1. Quelle est la forme, c'est à dire la structure des relations qui existerait entre la nouvelle action créative, porteuse de l'interprétation du concepteur, et la mémoire des édifices, signifiante par sa récurrence temporelle et inscrite dans la matérialité du lieu ?
2. Comment expliciter le contenu informationnel de cette forme, complexe de part sa capacité *poïétique* donc essentiellement incertaine, et le rendre opératoire à travers une représentation, par définition homomorphe au contenu et jamais isomorphe ?
3. Comment se fait le passage informationnel entre un système de savoir-concevoir déterminé par l'individualité de l'instant de réalisation, et une interprétation plurielle, par le nombre des instanciations plus ou moins caractéristiques du milieu, durable dans le temps et capable de se recycler dans de nouvelles réalisations ?
4. Quel est l'apport créatif, aux nouvelles interventions dans un milieu urbain, de l'unicité sous-jacente des formes architecturales constituant ce milieu ?
5. Quelles sont les conditions opératoires d'une restitution qui tend vers une nouveauté, c'est à dire une production intelligible, communicable et efficiente, dans la conception architecturale ?

Les motivations délimitent un vaste domaine d'interventions possibles où il faut identifier des problèmes spécifiques. Cette recherche vise à comprendre, clarifier et approfondir l'apport de la sémiotique à la production abductive des formes architecturales en conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO). Pour atteindre ces finalités, trois objectifs sont identifiés :

1. Élaborer un modèle sémiotique de l'abduction approprié à la phase préliminaire de la conception du projet.

2. Expliciter le processus de l'émergence d'une solution issue d'un savoir-concevoir architectural par le biais des connaissances antérieures et le rôle de l'interprétation du concepteur.
3. Définir un calcul de l'interprétation des connaissances incertaines pour qualifier la production des hypothèses abductives.

1.2 La position épistémologique

Toute réflexion sur la connaissance porte sur trois éléments fondamentaux et interdépendants : la nature de la connaissance (le quoi), la manière de connaître (le comment), et la valeur de la connaissance produite (le pourquoi). Les sciences de la conception assument un développement historico-épistémologique qui les démarque des sciences de la vie, de la matière et du mouvement : ce positionnement est désigné par le terme épistémologies constructivistes (Le Moigne, 1999b). Pour le constructivisme, la connaissance est construite par le modélisateur qui en a le projet, dans ses interactions permanentes avec les phénomènes qu'il perçoit et conçoit. À l'instar des épistémologies positivistes, le constructivisme repose sur deux hypothèses gnoséologiques et deux principes méthodologiques. Pour situer l'apport du courant constructiviste à la thèse ce qui suit offre une comparaison entre ces deux courants (Le Moigne, 1999b) (cf. Tableau 1.1) :

1. Pour le positivisme, le statut gnoséologique est défini par (1) l'hypothèse ontologique : la considération que la réalité est objective, antérieure à son observation et indépendante de l'observateur-modélisateur et (2) l'hypothèse déterministe : le postulat d'une détermination connaissable de la réalité objective par une causalité interne, descriptive et explicative de la réalité observée. Cette détermination est, elle aussi, indépendante de l'observateur. La méthode positiviste a deux principes (1) la modélisation analytique : il faut diviser l'objet observé en des entités aussi réduites que possible et supposées potentiellement connaissables et (2) la raison suffisante qui traduit l'équivalence déductive (l'explication certaine) de cause et effet : si une cause produit un effet, cet effet ne peut être produit que par sa cause.
2. Pour le constructivisme, la nature de la connaissance est définie par (1) l'hypothèse phénoménologique : la connaissance est le processus par lequel le modélisateur construit cette connaissance de même que son résultat ; il perçoit le processus par lequel il interprète l'interaction entre les choses. La cognition devient irréversible dans le temps, dialectique et récursivement auto-générative et auto-organisatrice et (2) l'hypothèse téléologique : la connaissance rend compte de l'intention et de l'auto-finalisation du modélisateur, de cette façon un phénomène modélisé est connu et finalisé par l'action cognitive de sa représentation. La méthode constructiviste est fondée sur deux principes

TAB. 1.1 – Tableau comparatif des épistémologies.

	FONDEMENTS	
ÉPISTÉMOLOGIES	<i>Statut gnoséologique</i>	<i>Principes méthodologiques</i>
<i>positivistes</i>	l'hypothèse ontologique l'hypothèse déterministe	la modélisation analytique la raison suffisante
<i>constructivistes</i>	l'hypothèse phénoménologique l'hypothèse téléologique	la modélisation systémique la raison intelligente

(1) la modélisation systémique : elle assume explicitement le rôle et l'interprétation du modélisateur et de ses projets et privilégie, dans la représentation du phénomène, le projet de la connaissance plus que la chose ; le phénomène est postulé inépuisable dans sa totalité, représenté symboliquement dans sa complexité et évoluant dans son environnement et (2) l'action intelligente : le modélisateur construit et organise les représentations symboliques des connaissances jugées pertinentes à la finalité de son projet d'intervention.

Ce résumé rapide introduit les fondements constructivistes de cette thèse développés par les choix de la méthode, c'est à dire la modélisation systémique présentée dans la section suivante, et du cadre théorique présenté dans les chapitres suivants.

1.3 La méthode

La méthode systémique étudie l'organisation dynamique du fonctionnement des phénomènes complexes. La complexité du problème de la conception, et en particulier, de la conception architecturale, découle du fait qu'il implique la notion « d'imprévisible possible, d'émergence plausible du nouveau et du sens au sein du phénomène que l'on tient pour complexe » (Le Moigne, 1999a, p. 3). La faillite de la méthode analytique, fondée sur la logique disjonctive aristotélicienne, à considérer cette complexité signifiante a incité le développement d'autres logiques – en particulier la logique abductive de Peirce – capables d'appuyer la compréhension et la modélisation de cette classe de phénomènes complexes (Le Moigne, 1999a, p. 37). Dans le cadre de cette thèse, l'accent est mis sur la formalisation sémiotique du *processus créatif* engagé dans la conception architecturale, considérée comme une résolution de problèmes (*problem solving*) nécessitant la production d'une nouvelle connaissance. Ce processus est fondamentalement un raisonnement abductif (Simon, 1977, p. 151). De plus, la pertinence de la sémiotique dans le traitement de l'information complexe, donc incertaine – particulièrement dans les sciences de la conception – résulte de sa capacité à représenter *l'in-*

séparabilité du symbole (ou du signe en général) de sa propre production (Le Moigne, 1999a, p. 102).

Trois thèmes généraux caractérisent les axes de la recherche actuelle en CAAO et permettent de situer, dans ce domaine, la méthode de cette thèse :

1. L'étude empirique de l'activité de la conception : elle utilise l'observation directe du concepteur durant la conception, la collecte d'information sur les perceptions des concepteurs, et l'étude des protocoles de conception individuelle et en collaboration, par exemple, l'étude de l'activité mnémonique des concepteurs pendant la phase préliminaire de la conception (Bilda et Gero, 2007), l'analyse de la communication verbale (Matthews, 2007) et l'étude statistique des processus itératifs (Jin et Chusilp, 2006).
2. La production des systèmes axiomatiques : elle établit un ensemble d'axiomes et un système de raisonnement logique qui en infère des conséquences, pour ensuite mettre en correspondance ces axiomes et ces conséquences avec un domaine de connaissance donné, et en dériver de nouveaux résultats, par exemple, l'utilisation des grammaires formelles dans la production des configurations architecturales (Sass et Oxman, 2006) et la conception paramétrique (Hernandez, 2006).
3. La simulation des processus hypothétiques de la conception : à partir d'un processus cognitif humain ou informatique, on suppose l'existence d'une analogie avec une application pratique de conception et on en développe un prototype numérique particulier, par exemple l'approfondissement du modèle de résolution de problèmes (Harfield, 2007) et la représentation de l'anticipation de l'utilisation d'un objet quelconque par un sujet donné (Zamenopoulos et Alexiou, 2007).

Ces orientations méthodologiques de recherches s'identifient, respectivement, aux trois modes d'inférence fondamentaux : l'induction, la déduction, l'abduction. La distinction entre ces catégories interdépendantes est utile pour saisir leur complémentarité par rapport aux mécanismes du raisonnement humain et leurs domaines d'application, et dans le cas de cette thèse, par rapport au processus abductif du savoir-concevoir architectural.

1.3.1 Les préceptes systémiques

Comment passer de la position épistémologique à la circonscription de l'objet étudié ? La modélisation systémique fournit un cadre opératoire général qui guide la démarche du concepteur par le biais de quatre préceptes : la pertinence, la globalité, la finalité et l'agrégativité (Le Moigne, 1994, p. 33-43).

La *pertinence* définit le système étudié selon un rapport changeant entre, d'un côté, les intentions délibérées du modélisateur, et de l'autre, le déroulement de la modélisation. Le modélisateur juge de l'adéquation des représentations choisies pour modéliser son objet d'étude, en fonction de la progression de sa propre compréhension de cet objet. Le *globalité*, ou « le tout est plus que la somme des parties », saisit le phénomène dans son environnement. Cette contextualisation, qui considère les interactions possibles entre l'objet et son entourage, introduit une dimension émergente dans le modèle : le résultat du fonctionnement de l'objet dans son contexte ne se réduit pas à la somme des fonctionnements de ses composantes. Le comportement émergent du système répond à un objectif. Ainsi le précepte de la *finalité* offre au modélisateur la possibilité de rendre intelligible les divers comportements (les traitements de l'information, de la matière et de l'énergie) en leur attribuant un projet (ou plusieurs). L'intelligibilité ne résulte pas de la démonstration rigoureuse de cause à effet, entre comportement et projet, mais plutôt de la cohérence de l'*argumentation* qui les relie. Le quatrième précepte, l'*agrégativité*, reconnaît la relativité du modèle construit. En fait, choisir et construire les composantes pertinentes au modèle, ainsi que leur mise en relation pour accomplir le projet conçu, évitent le recours à un inventaire exhaustif des composantes possibles d'un tel modèle.

La considération de l'interprétation du concepteur dans la modélisation est un des avantages de la systémique. L'interprétation constitue une des problématiques centrales de l'abduction. En conception architecturale, la projection est une médiation subjective, qui interprète la perception du problème et la transforme par l'intention du concepteur en une solution signifiante par sa faisabilité.

1.3.2 La modélisation systémique

Les préceptes systémiques dénotent une liberté contrôlée, une « rigueur obstinée » dans la production de la connaissance. L'argumentation remplace la démonstration. La construction d'un édifice n'est pas une démonstration de la solution d'un problème de conception ; elle est simplement une argumentation de la faisabilité d'une solution parmi d'autres. L'application de la modélisation systémique à un problème de conception se fait à deux niveaux de représentation :

- l'objet de cette méthode, le Système Général : « la représentation d'un phénomène actif perçu identifiable par ses projets dans un environnement actif, dans lequel il fonctionne et se transforme téléologiquement » (Le Moigne, 1999a, p. 40).
- le modèle créé par le concepteur pour raisonner : « un système complexe est un modèle [conçu] d'un phénomène perçu complexe que l'on construit par modélisation systémique » (Le Moigne, 1999a, p. 41).

Pour passer du cadre général des préceptes à une démarche pratique, la systémique fournit cinq opérations pour la construction d'un modèle et par extension celui d'un modèle sémiotique de l'abduction de la production architecturale (Walliser, 1977, p. 194-201) :

- 1. La délimitation des finalités, de l'environnement et des composantes du modèle.** L'abduction en intelligence artificielle (IA) et en CAAO occupe une place importante dans l'étude de la créativité et la production des connaissances (cf. Chapitre 2). La finalité de ce mode d'inférence est de générer une nouvelle connaissance qui comble une lacune, par exemple, dans le domaine de la conception architecturale, entre un problème à résoudre, et les connaissances actuelles du concepteur. Cette nouvelle connaissance prend la forme d'une hypothèse ou d'une configuration architecturale. La production de cette configuration s'inscrit dans la continuité de l'environnement bâti où elle sera matérialisée par un édifice. Ce milieu, déjà existant, affecte le savoir-concevoir engagé dans la synthèse de la solution en établissant les conditions de validation et d'acceptation de cette solution. La délimitation fonctionne progressivement en partant d'un état grossier du modèle vers un autre plus raffiné. D'ailleurs, la considération de l'environnement (ou contexte) dans le processus créatif confère une spécificité à la solution projetée. La validation éventuelle de la solution se fait par une triple mise en correspondance de sa nouveauté, de son adéquation et de sa spécificité contextuelle.
- 2. Le recensement des entrées et sorties (variables et relations) reliant le modèle et l'environnement.** L'étape de la délimitation du modèle soutient l'identification des entrées et des sorties ainsi que les relations entre modèle et contexte et les processus de régulation. Le point de départ du processus abductif en CAAO est la saisie de l'énoncé du problème ou la commande. Le modélisateur élabore une grille de lecture et de triage des composantes de cette commande ; par exemple, il décide de la pertinence du choix d'une variable ou d'une autre ; il anticipe l'impact de ce choix sur le comportement final du modèle ; etc. Pratiquement, l'inventaire comprend les données possibles (par exemple, les matériaux, les couleurs, les concepts formels), déterminés (par exemple, les configurations géométriques des éléments architectoniques, l'agencement volumétrique) et générales (par exemple, les lois et règlements urbanistiques, le code du bâtiment, les proportions, l'échelle).
- 3. L'organisation des variables et relations aussi bien que leurs interactions.** Après l'identification des composantes, il s'agit de les articuler, c'est-à-dire, expliciter ce qui les unit et ce qui les différencie du point de vue fonctionnel, structurel et transformationnel. Les concepts, les principes et les outils de la sémiotique offrent un cadre opératoire pour l'organisation des connaissances choisies et utilisées lors d'un processus abductif (cf. Chapitre 3), en particulier les connaissances géométriques décrivant une solution architecturale. Dans cette optique, la thèse développe une classification sémiotique des systèmes architecturaux (cf. Chapitre 4). Aussi, cette étape prévoit-elle l'interaction entre le concepteur et le modèle et définit ses opérations nécessaires. De plus, le formalisme mathématique choisi pour l'évaluation d'une hypothèse architectu-

rale, en l'occurrence la théorie des possibilités, tient compte de l'incertitude inhérente à l'inférence abductive.

4. **L'estimation des variables et des relations.** Puisque le modèle traite de la production abductive d'une hypothèse architecturale, en particulier, d'une configuration géométrique, les domaines des valeurs que peuvent prendre les entrées et les sorties du modèle, sont de nature géométrique. Ainsi la thèse s'appuie sur un cas concret d'un milieu bâti, les constructions du WARTIME HOUSING LIMITED (WHL) à Montréal, qui fournit les données architecturales au modèle (cf. Chapitre 4). À partir de documents graphiques et de descriptions textuelles, le modèle représente sémiotiquement les états initiaux et les transformations architecturales de la WHL. Ces représentations du savoir-concevoir architectural dégagent une classification, des caractéristiques volumiques communes et différenciées, qui trace les limites respectives des valeurs de chaque composante du modèle.
5. **La simulation.** La modélisation systémique aboutit à la simulation (cf. Chapitre 5). Cette étape valide la structure théorique et le fonctionnement du modèle (par exemple, la production des hypothèses, la stabilité du modèle, la sensibilité des données, etc.). Le modèle produit une hypothèse architecturale comme solution à un problème de conception par le biais d'un raisonnement abductif sémiotisé. La simulation approfondit la compréhension du modèle et en révèle des caractéristiques que le modélisateur n'a pas considérées pendant son travail. Dans ce dernier cas, elle renforce le rattachement au précepte de globalité (cf. §1.3.1) et autorise une révision et une augmentation de la capacité représentative du modèle.

L'énumération séquentielle de ces opérations ne doit pas camoufler leurs interactions et leur interdépendance ; on peut même parler de simultanéité de la modélisation. L'aboutissement du modèle dépend surtout de l'ajustement itératif de chacune des opérations en fonction des résultats des autres.

D'ailleurs, l'utilisation de la systémique repose sur deux critères concurrents qui orientent l'action du modélisateur : (1) la ressemblance isomorphe entre le modèle en production et le système général et (2) la ressemblance homomorphe entre ce premier et le phénomène perçu (Eugène, 1981, p. 39) (Le Moigne, 1994, p. 79-80). Les deux ressemblances, ou plutôt correspondances, étant définies dans leur sens mathématique (cf. Figure 1.1) : une correspondance entre un ensemble de départ (le phénomène) et un autre d'arrivée (le modèle), est isomorphe (bijective) si à chaque élément de l'ensemble du départ correspond un et un seul élément dans l'ensemble de l'arrivée, et réciproquement ; la correspondance est homomorphe (surjective) si à chaque élément de l'arrivée correspond, au moins, un élément du départ, la réciproque n'étant pas vraie ; la correspondance est dite polymorphe (injective) si à chaque

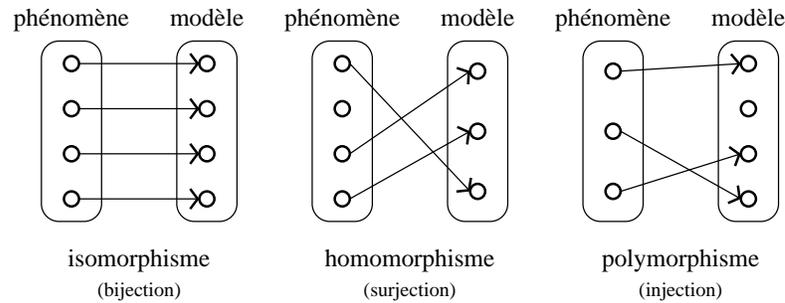


FIG. 1.1 – Les correspondances de la modélisation.

élément de l'ensemble du départ correspond, au moins, un élément de celui de l'arrivée, la réciproque n'étant pas vraie. À souligner, qu'une correspondance qui est, à la fois, injective et surjective, est nécessairement bijective. La facilité de la mise en œuvre de l'isomorphisme et la difficulté propre à l'homomorphisme dénotent l'asymétrie de ces deux relations.

Dans ce cadre général, cette thèse interprète la modélisation systémique par une mise en correspondance, heuristique et bidimensionnelle, entre le phénomène et sa représentation. Alors, les trois morphismes de cette correspondance contribuent à identifier un modèle abductif (Le Moigne, 1994, p. 77) et définissent sa première dimension par l'application d'une variable du phénomène à une autre du modèle. La deuxième dimension est un parcours entre ces trois morphismes, orienté à partir de l'état polymorphe du modèle passant par un homomorphisme et aboutissant, éventuellement, à un isomorphisme. Il s'agit donc d'identifier, a priori, les morphismes entre modèle et phénomène à travers deux opérations (Eugène, 1981, p. 36-38) :

- mettre l'emphasis sur les entrées et les sorties en les modélisant par des applications (dans le sens mathématique), ce qui convient à la modélisation des systèmes dynamiques et algébriques ;
- considérer la finalité du modèle par le processus et la performance de production et introduire de la sorte la question de l'organisation hiérarchique interne du modèle et par conséquent modéliser les systèmes décisionnels.

La complexification d'un système du savoir-concevoir architectural, cerne l'adéquation entre d'un côté, le modèle construit et conçu, et de l'autre, le phénomène perçu. Cette complexification se fait par l'extension du domaine interprétatif du savoir-concevoir, extension produite abductivement par l'identification des interactions efficaces constituant le système considéré. Autrement dit, et d'une façon plus opératoire, l'extension se traduit par l'introduction plausible de catégories additionnelles, à ce savoir-concevoir, qui établissent des espaces intermédiaires de conception contenant de nouvelles possibilités formelles et qui contribuent à cette adéquation ; à l'exemple du passage géométrique d'un triangle à un cercle par l'interca-

lation séquentielle du carré, du pentagone, de l'hexagone et ainsi de suite.

1.4 Les thèmes de la thèse

Cette thèse avance que l'abduction fonctionne en projetant un signe, donné comme point de départ d'un problème de conception, dans le domaine des réalités possibles, pour ensuite dégager des résultats de ce plongement, une hypothèse (solution) à ce problème. En effet, cette projection inverse le rapport analytique, réalité→signe, qui caractérise le phénomène perçu en une forme sémiotique, et le transforme en une nouvelle synthèse de ses qualités anticipées, signe→réalités. De ce point de vue, le processus abductif de la conception architecturale intègre l'interprétation du problème au domaine des systèmes de savoir-concevoir utilisés dans cette conception, pour générer de nouvelles solutions architecturales.

La sémiotique sous-tend les trois axes majeurs de cette thèse :

- l'abduction : le processus inférenciel était subdivisé, jusqu'à Peirce, en deux classes : la déduction et l'induction. Bien que l'inférence abductive, sous une forme très générale, remonte à Aristote, Peirce développe ce raisonnement après l'avoir scindé de l'induction et lui confère un statut opératoire logique. L'abduction exprime un mode synthétique du raisonnement, capable de produire une nouvelle connaissance et par extension, de nouveaux objets ;
- la conception : l'institution du pragmatisme et son développement par Peirce comme articulation active des opérations inférencielles et cognitives ont constitué l'aboutissement de sa réflexion sémiotique sur le sens dans son acception la plus large. Le « faire » devient la signification ultime du « penser » et on ne peut penser qu'en signes : « Toute pensée, ou représentation cognitive, est de la nature d'un signe. "Représentation" et "signe" sont synonymes » (Burks, 1960, CP 8.191) ;
- la représentation de l'incertitude : Peirce fut le premier logicien à créer et à développer une logique floue dans le sens connu aujourd'hui ; son travail fut repris par l'école polonaise du début du vingtième siècle et ultérieurement, d'une façon implicite, dans les travaux sur les ensembles et la logique floue ainsi que sur la théorie des possibilités.

Il est surprenant de constater l'absence quasi générale de l'application de la sémiotique en CAAO. Par exemple, dans son ouvrage fondateur, Mitchell (Mitchell, 1977) mentionne plusieurs théories sur la représentation mais ignore complètement cette sémiotique ; la situation persiste plus tard dans un approfondissement de sa réflexion sur les liens logiques entre conception et représentation (Mitchell, 1990). On peut supposer, à partir d'un regard sur les

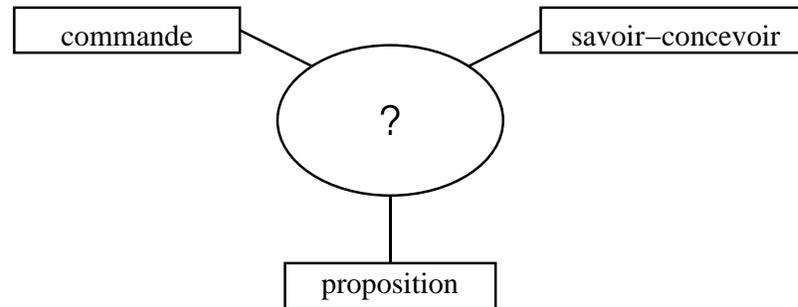


FIG. 1.2 – Schéma conceptuel du modèle de la thèse.

courants actuels en CAAO, que deux causes sont à l'origine de cette absence. La première est la difficulté d'accès à la sémiotique. L'édition originale des manuscrits de Peirce, connue sous le titre de *Collected Papers* ne tient pas compte de l'évolution de sa pensée et juxtapose souvent des textes séparés par des années de modifications, ce qui laisse parfois croire à une incohérence de la pensée peircéenne. Une reconsidération méthodologique fondamentale est en cours actuellement à travers l'édition des *Writings of Charles S. Peirce: A Chronological Edition* par le *Peirce Edition Project* de l'Université de l'Indiana. Elle considère la dimension temporelle dans la présentation des écrits, contextualise leurs développements et facilite leur compréhension. La deuxième hypothèse est l'attrait de la sémiologie saussurienne passée d'une façon sous-jacente dans les paradigmes de la représentation numérique qui se basent, spécifiquement dans le monde anglo-saxon, sur la linguistique chomskienne ; pour une critique du modèle linguistique en CAAO, et son incapacité interprétative, voir par exemple (Snodgrass et Coyne, 1997). D'ailleurs, et dans un cas symptomatique de la confusion entre sémiotique et sémiologie, on n'hésite pas à classer la sémiotique peircéenne comme un sous-champ de la linguistique (Coyne et al., 1990, p. 22).

La sémiotique constitue davantage une méthode de recherche et d'investigation des problèmes de représentation qu'une procédure de résolution automatique (Sowa, 2000, p. 402). Le recours à la sémiotique fournit au concepteur un outil d'exploration et de production d'hypothèses adaptable à la situation actuelle et qui conserve sa flexibilité et sa généralité.

1.5 La structure de la thèse

Cette section décrit brièvement le contenu des chapitres de la thèse. Celle-ci est constituée de deux parties. La première présente le cadre théorique et regroupe les chapitres 2, 3, et 4. Le chapitre 5 constitue la deuxième partie et présente le modèle sémiotique de l'abduction

appliqué à la conception architecturale.

1.5.1 Le Chapitre 2

Ce chapitre débute par une mise en contexte de l'inférence abductive. Son développement historique est discuté à partir des travaux de Peirce. Les deux composantes opérationnelles de l'abduction, c'est à dire la production et la sélection d'une hypothèse sont expliquées. Ce mode d'inférence est ensuite caractérisé par un ensemble de propriétés : l'aspect synthétique, la finalité, la subjectivité, la dépendance contextuelle et la complexité générative.

Par la suite, la question de l'abduction en intelligence artificielle (IA) est étudiée par une revue synoptique d'un ensemble de formalismes et d'applications. Vue l'étendue et la diversité des recherches et des publications, une recension non-exhaustive mais plutôt représentative et caractéristique des approches abductives est donnée. Donc, cinq catégories d'approches sont analysées et critiquées : l'approche possibiliste, l'approche probabiliste, l'approche pondérée, l'approche ensembliste et l'approche logique. Une grille de lecture à quatre critères sert d'échelle de comparaison à ces approches :

1. Les opérations et les conditions heuristiques appliquées, les règles de production et de sélection des hypothèses.
2. La monotonie inférencielle des solutions abductives et leur adéquation par rapport aux problèmes cibles.
3. La généralité des hypothèses produites et leur autonomie par rapport au contexte et aux connaissances antérieures, ainsi que l'anticipation de la résolution de problèmes ultérieurs.
4. L'ontologie des connaissances représentées, leurs formalisations, leurs interactions et leur représentativité du domaine sur lequel porte l'abduction.

La dernière partie de ce chapitre traite des applications abductives en CAAO. Sachant qu'elles sont fondamentalement similaires aux approches en IA, quelques unes sont choisies pour esquisser un état actuel de la recherche, où un désintérêt relatif est constaté et souligné par la faible quantité de publications.

1.5.2 Le Chapitre 3

Ce chapitre traite de la sémiotique et est divisé en trois sections principales : les principes et les systèmes élémentaires sémiotiques, l'approfondissement de ces systèmes et la caractérisation sémiotique de l'abduction. Dans la première section, les fondements de la sémiotique sont considérés : les catégories phanéroscopiques, les composants triadiques du signe c'est-à-dire le représentamen, l'objet et l'interprétant et leurs subdivisions respectives, les sous-signes, les divisions trichotomiques du signe et ses classifications triadiques. La deuxième section approfondit les principes sémiotiques élémentaires. Elle introduit la notion de modalité sémiotique qui exprime la transformation d'un état sémiotique en un autre et examine le rôle de la dégénérescence sémiotique dans la complexification du pouvoir de représentation du signe. À la subdivision triadique du signe, cette section ajoute la subdivision hexadique, pour souligner la nature réursive de l'analyse sémiotique, et en compare les propriétés topologiques et géométriques. Cette section se termine par la construction d'un calcul interprétatif à partir de la théorie sémiotique de l'information. Ce calcul constitue une composante principale du modèle proposé.

La troisième section ébauche une argumentation initiale de la contribution centrale de cette thèse. Elle introduit le concept de l'abstraction hypostatique, son fonctionnement interne et son rôle dans l'abduction, en approfondit la capacité synthétique et générative et lui confère une forme sémiotique.

1.5.3 Le Chapitre 4

Ce chapitre examine le savoir-concevoir architectural. La première section de ce chapitre caractérise la CAAO, ses processus conceptuels fondamentaux tels que les principes premiers, l'analogie, la similarité, la mutation, la combinaison et la substitution et leur hiérarchisation par des opérations sémiotiques de catégorisation. Ces processus délimitent le domaine des connaissances où s'applique l'abduction. La deuxième section met en correspondance ce savoir-concevoir et la sémiotique et introduit les systèmes sémiotiques architecturaux. À l'aide des trois composants d'un signe, une correspondance est établie entre les classes de signes et la matérialisation des systèmes architecturaux de la conception. La troisième section définit le domaine des connaissances de la conception architecturale où s'applique l'inférence abductive et relie les opérations de matérialisation d'une solution à ce raisonnement à travers l'interprétation architecturale. Ce domaine, découpé par trois qualifications principales, la routine, l'innovation et la créativité, est constitué par le savoir-concevoir architectural en tant qu'ensemble des opérations de matérialisation d'une configuration spatiale. Par le biais d'une

revue sommaire de quelques approches de l'interprétation architecturale, de ses stratégies et ses procédures, cette section délimite la place originale qu'occupe cette thèse dans la problématique interprétative actuelle.

La quatrième section développe la sémiose générative architecturale qui constitue la contribution conceptuelle centrale de cette thèse et qui approfondit le résultat du chapitre précédent. Après une formalisation algébrique et matricielle de la sémiotique, l'aspect synthétique de la sémiose abductive est mis en exergue par la notion de dualisation hypostatique. Cette notion confère à la forme sémiotique de l'abduction, telle que construite au chapitre précédent à l'aide de l'abstraction hypostatique, une capacité opératoire. Le fonctionnement et la contribution de cette dualisation sont présentés en détail.

La dernière section présente le cas des maisons de la WARTIME HOUSING LIMITED (WHL) qui argumente sur l'aspect pragmatique de la sémiotisation du savoir-concevoir architectural. Les différentes transformations architecturales de ce cas sont analysées et les caractéristiques de leur savoir-concevoir sont sémiotiquement formalisées. Cette section définit les connaissances utilisées dans le modèle développé.

1.5.4 Le Chapitre 5

Ce chapitre présente le modèle sémiotique de l'inférence abductive. Sachant que l'abduction est essentiellement une inférence incertaine, les deux premières sections de ce chapitre discutent de l'incertitude de l'interprétation et sa représentation pour mettre en évidence son apport à la production des solutions architecturales. Elle examine la représentation mathématique de l'incertitude en IA, et en particulier la théorie des possibilités utilisée par le modèle. Cette théorie offre un cadre flexible et adéquat pour l'intégration de l'interprétation du concepteur au processus abductif de conception architecturale. Elle calcule l'incertitude par deux mesures : la possibilité et la nécessité, au lieu d'une seule comme dans le cas des probabilités. Ces mesures quantifient les degrés respectifs de (1) la conformité des hypothèses de conception à un critère donné, et (2) l'incertitude du concepteur par rapport à cette conformité. Pour chaque mesure, des opérations mathématiques sont élaborées, elles reflètent des états informationnels allant de la certitude totale jusqu'à l'ignorance complète.

Dans la troisième section, le modèle sémiotique de l'abduction explique la mise en relation de la dualisation hypostatique avec l'interprétation architecturale d'un savoir-concevoir précé-

dent et avec la théorie des possibilités. Il clarifie le rôle de cette dualisation dans l'introduction de la nouveauté, par la description de son fonctionnement, et élabore une nouvelle définition de l'émergence des formes architecturales.

La thèse aboutit à l'élaboration d'un modèle sémiotique d'aide à la conception architecturale qui concrétise les contributions développées dans les chapitres précédents. La quatrième section décrit l'architecture du modèle, ses fonctions principales, la modélisation conceptuelle des données et un exemple concret de son utilisation. La dernière section discute de l'apport de ce modèle et de ses développements potentiels.

1.5.5 Le Chapitre 6

Ce chapitre récapitule les contributions principales de la thèse, présente des perspectives futures et se termine par une conclusion générale. Les contributions répondent aux objectifs identifiés à la Section 1.1 et résument le modèle sémiotique du raisonnement abductif, le calcul interprétatif, et l'apport de la sémiotique en CAAO. Les perspectives discutent du développement d'un modèle sémiotique général du raisonnement, de l'approfondissement de la recherche en CAAO par l'intégration de la sémiotique et la cognition située, de la pertinence de la sémiotique à l'enseignement en CAAO, et d'une application pratique dans le domaine du patrimoine urbain.

1.6 Les limites de la thèse

La thèse cible le problème de la modélisation sémiotique de l'abduction en conception architecturale et en propose une solution. Le développement d'un prototype numérique demeure d'un intérêt majeur surtout pour une validation pratique du modèle développé. Toutefois, à cause de la complexité des domaines de recherche engagés dans ce travail, le prototype cède la place à un approfondissement de la modélisation de l'abduction par le biais des concepts et des opérations sémiotiques, et à la clarification et à la description détaillées des structures abstraites nécessaires à un éventuel prototype. L'accent est mis davantage sur la résolution des problèmes théoriques, découlant de la mise en relation de la sémiotique avec la conception architecturale et le raisonnement abductif, et leurs implications pratiques sur la production du modèle.

Bien que la subjectivité du concepteur soit un aspect majeur de tout problème de conception architecturale, la thèse étudie seulement la dimension mathématique de l'incertitude subjective à travers la théorie des possibilités ; les autres dimensions, telles que la psychologie ou la sociologie, ne seront pas abordées. En fait, un des postulats sémiotiques de ce travail stipule que la présence d'un esprit humain n'est pas nécessaire au fonctionnement des signes. Autrement dit, la représentation d'un processus abductif peut se faire sans référence à une subjectivité psychologique ou sociologique ; les éléments sémiotiques sont suffisants pour saisir la complexité de la conception (architecturale) et donner une cohérence à la modélisation de l'abduction, sans une étude des états mentaux et/ou du comportement du concepteur.

La modélisation sémiotique de l'abduction engage uniquement des connaissances géométriques et fait abstraction des autres facteurs de la production (par exemple, les propriétés physiques) des solutions architecturales. Certes, dans la pratique de la conception, il y a toujours un retour, sur la définition volumétrique, qui sera imposé par les matériaux utilisés, le site choisi, les conditions économiques, etc. Cette rétroaction affectera nécessairement la forme finale du projet. Mais, pour la formalisation de l'abduction, la considération de ces facteurs, bien qu'elle augmentera la fidélité de la représentation produite, n'est pas pertinente. La complexité d'un phénomène étant caractérisée par l'irréductibilité des composantes de son modèle, il s'agit plutôt de fournir une argumentation sémiotique *minimale*, incompressible, nécessaire et suffisante, recouvrant le fonctionnement du raisonnement abductif.

1.7 Remarques de présentation

Les références des ouvrages sont regroupées par chapitre pour faciliter la délimitation bibliographique de chaque thème traité. Un index sommaire à la fin du texte renvoie à un nombre d'auteurs et de définitions. Les *Collected Papers* de Peirce sont citées selon l'usage courant dans la littérature : par exemple, (CP 5.171) signifie (C)ollected (P)apers, le volume 5, le paragraphe 171. L'étendue des recherches sur l'abduction, la sémiotique et l'incertitude, en plus de la disponibilité des ouvrages dans la littérature anglophone, ont conduit à citer beaucoup de textes en anglais. Dans la mesure du possible, les citations sont traduites en français. Toutes les traductions sont les miennes à moins que le contraire ne soit exprimé.

Références

Bilda, Z. et Gero, J. S. (2007). The impact of working memory limitations on the design process during conceptualization. *Design Studies*, 28(4) :343–367.

Burks, A. W. (dir.) (1960). *Collected Papers of Charles Sanders Peirce, Volumes VII and VIII, Science and Philosophy and Reviews, Correspondence and Bibliography*. Harvard University Press, Cambridge, MA.

Coyne, R. D., Rosenman, M. A., Radford, A., Balachandran, M., et Gero, J. S. (1990). *Knowledge Based Design Systems*. Addison Wesley, Reading, MA.

Eugène, J. (1981). *Aspects de la Théorie Générale des Systèmes*. Maloine, Paris.

Harfield, S. (2007). On design 'problematization' : Theorising differences in designed outcomes. *Design Studies*, 28(2) :159–173.

Hernandez, C. R. B. (2006). Thinking parametric design : introducing parametric gaudi. *Design Studies*, 27(3) :309–324.

Jin, Y. et Chusilp, P. (2006). Study of mental iteration in different design situations. *Design Studies*, 27(1) :25–55.

Le Moigne, J.-L. (1994). *La théorie du système général : théorie de la modélisation*. Systèmes-décisions : Section Systèmes de gestion. Presses universitaires de France, Paris, 4 édition.

Le Moigne, J.-L. (1999a). *La modélisation des systèmes complexes*. Sciences des organisations. Dunod, Paris.

Le Moigne, J.-L. (1999b). *Les Épistémologies Constructivistes*, volume 2969 de *Que sais-je ?* PUF, Paris.

Matthews, B. (2007). Locating design phenomena : a methodological excursion. *Design Studies*, 28(4) :369–385.

Mitchell, W. J. (1977). *Computer-Aided Architectural Design*. Van Nostrand Reinhold, New York ; Toronto.

Mitchell, W. J. (1990). *The Logic of Architecture : Design, Computation and Cognition*. The MIT Press, Cambridge, MA.

Sass, L. et Oxman, R. (2006). Materializing design : the implications of rapid prototyping in digital design. *Design Studies*, 27(3) :325–355.

Simon, H. A. (1977). *Models of Discovery and other topics in the methods of science*, volume 54 de *Boston studies in the philosophy of science*. D. Reidel Pub. Co, Dordrecht, Pays-Bas ; Boston.

Snodgrass, A. et Coyne, R. (1997). Is designing hermeneutical? *Architectural Theory Review*, 2(1) :65–97. Journal of the Department of Architecture, Planning and Allied Arts, The University of Sydney.

Sowa, J. (2000). *Knowledge Representation : Logical, Philosophical, and Computational Foundations*. Brooks/Cole, Pacific Grove ; Toronto.

Walliser, B. (1977). *Systèmes et Modèles : Introduction critique à l'analyse de systèmes*. Éditions du Seuil, Paris.

Zamenopoulos, T. et Alexiou, K. (2007). Towards an anticipatory view of design. *Design Studies*, 28(4) :411–436.

Chapitre 2

L'abduction

2.1 Introduction

Ce chapitre résume l'état de la question de l'abduction des points de vue théorique et pratique. Il débute par le développement historique de l'abduction dans les travaux de Charles Sanders Peirce. Les deux formes de cette inférence sont distinguées : la forme syllogistique et la forme perceptive. La Section 2.4 considère le processus interne de ce mode de raisonnement suivant deux fonctions principales : la production d'une hypothèse et sa validation. Les caractéristiques de l'abduction rarement considérées par la littérature sont mises en exergue à la Section 2.5. Une revue critique des applications abductives retrace les traits marquants du paysage actuel. D'un côté, la Section 2.6 étudie un nombre d'approches représentatives de la formulation de l'abduction en intelligence artificielle (IA). D'un autre côté, et à l'aide de plusieurs exemples d'applications numériques, la Section 2.7 examine l'évolution de cette inférence dans la conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO). Aux fins de cette thèse, l'abduction est définie comme étant la production d'une configuration architecturale, à partir d'un corps de connaissances, pour répondre à un ensemble de performances requises. De plus, la thèse maintient l'usage des termes connaissances antérieures ou connaissances préalables (*prior knowledge*), fréquemment rencontrés dans cette littérature.

2.2 Aperçu historique

La pensée peircéenne s'articule fondamentalement autour de la capacité synthétique de l'esprit. Dans ce cadre général, Peirce identifie et développe l'abduction comme une inférence

indépendante pour expliquer un phénomène surprenant, à côté de la déduction qui explicite les conséquences d'une connaissance, et de l'induction qui généralise des règles à partir des faits. Bien qu'il soutienne que ces trois types de raisonnement soient intrinsèquement autonomes, il construit néanmoins leur complémentarité dans une logique générale de l'enquête et de la découverte scientifiques. Cette logique débute par la formulation d'une hypothèse permettant à la déduction de fournir une prédiction qui, à son tour, sera validée par l'induction (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.171).

Peirce définit l'abduction par « l'inférence de la meilleure explication » et l'inférence par « l'adoption, consciente et contrôlée, d'une croyance comme une conséquence d'autres connaissances » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.244). Burks (Burks, 1946) divise le développement théorique de l'abduction en deux phases :

1. La première phase étudie cette inférence sous sa forme syllogistique classique et la compare à la déduction et l'induction ; Peirce la nomme Hypothèse. L'hypothèse reste vaguement similaire à l'induction tout en affirmant ses différences. À l'instar de l'induction, l'hypothèse relie une multitude de données en une synthèse mais en diffère par l'apport innovateur de ce caractère ampliatif. L'induction produit une synthèse du même type de ces données tandis que la synthèse hypothétique est d'un type nouveau ; la déduction reste une opération explicative qui exprime un contenu présent dans les prémisses du syllogisme.
2. La deuxième phase, plus approfondie et originale, élabore l'abduction sous sa forme globale de méthode scientifique clairement différenciée de l'induction, met en valeur son interdépendance avec cette dernière et la déduction, et explicite la complexité des processus de la production, du contrôle, de la sélection et de la validation des hypothèses. Dans cette phase, Peirce reconnaît l'apport opératoire de l'abduction à la perception et à la mémoire, qui dépasse le simple syllogisme (Fann, 1970, p. 5). Cette phase témoigne de la maturité de la logique de l'enquête (*logic of inquiry*) où chaque mode d'inférence joue son rôle précis dans la production de nouvelles connaissances (Fann, 1970, p. 31-32). En fait, les deux phases marquent une transformation graduelle du statut de l'abduction, d'une procédure de démonstration vers une méthode de production (Anderson, 1986, p. 147).

$$\text{inférence} \left\{ \begin{array}{l} \text{explicative (analytique ou déductive)} \\ \text{ampliative (synthétique)} \left\{ \begin{array}{l} \text{inductive} \\ \text{abductive} \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (2.1)$$

Au niveau épistémologique, l'originalité de l'approche de Peirce dans la formalisation de l'abduction, le caractère global, complexe et dynamique de sa réflexion, ainsi que l'unicité de

sa méthode épistémologique et sa problématique, tous ces facteurs ont produit plusieurs interprétations de cette forme de raisonnement et de ses rapports avec les deux autres (Burks, 1946, p. 301). Alors, Frankfurt (Frankfurt, 1958, p. 593) considère que la formalisation de Peirce manque de cohérence et la qualifie de paradoxale. L'auteur tente de prouver les incohérences résultantes des diverses explications de Peirce sur ce mode de raisonnement, et réduit l'apport peircéen à la reconnaissance qu'une hypothèse puisse être acceptée comme telle (Frankfurt, 1958, p. 596-597). Cette critique repose sur le fait que l'auteur examine la pensée peircéenne d'un point de vue sériel et analytique tandis qu'elle est, par définition, parallèle, synthétique et constructiviste (avant le terme) : pour Peirce, toute connaissance est le processus de la production de cette connaissance. Notre point de vue trouve un appui chez Anderson (Anderson, 1986, p. 157) qui note la confusion de Frankfurt entre la priorité logique des opérations inférencielles et la priorité temporelle qui organise leurs séquences. Cet auteur argumente la nécessité de la prise en compte simultanée des deux priorités. Pour résoudre le problème de la circularité apparente de l'abduction, Ayim (Ayim, 1974, p. 37-38) propose la notion d'instinct rationnel comme point de départ de l'inférence. Si la production d'une hypothèse est une idée soudaine « The abductive suggestion comes to us as a flash » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.181), le contrôle de l'activité mentale, la vérification des hypothèses, l'identification de l'objectif de l'inférence, sont des facteurs qui garantissent la rationalité et la cohérence de l'inférence « instinctive » (Brogaard, 1999).

Les questionnements précédents s'accordent, implicitement ou explicitement, sur le statut de la plausibilité d'une hypothèse produite par abduction. La plausibilité d'une découverte ou d'une innovation dépend des opérations logiques appliquées sur les connaissances disponibles et effectuées pour la validation de l'hypothèse (Thagard, 1981, p. 258). Non seulement une hypothèse doit relier un fait et une connaissance préalable, mais en plus, elle doit fournir une raison pour intégrer tout fait similaire observé dans le futur. Plus récemment, Kruijff (Kruijff, 2005) explicite l'organisation systémique de l'abduction – surtout la subjectivité ou plutôt l'interprétation de l'observateur par rapport au phénomène observé, la nécessité de la relation entre interprétation et réalité, et le processus de l'émergence des nouvelles connaissances.

2.3 Les formes de l'abduction

Les travaux de Peirce sur l'abduction s'étendent sur plusieurs décennies et l'importance de ce mode de raisonnement, dans la pensée peircéenne, ne cesse d'augmenter avec le temps. Ce développement historique, de plus en plus complexe et profond, est caractérisé par deux formes : le syllogisme et la forme appelée ici perceptive.

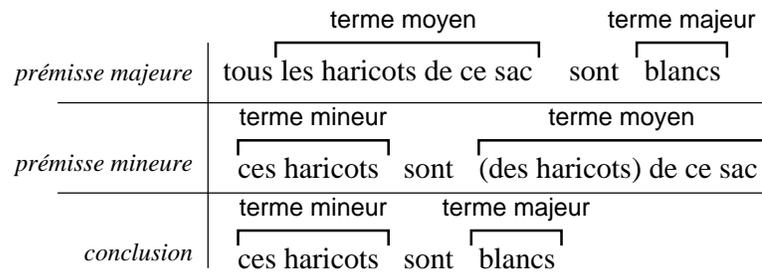


FIG. 2.1 – La structure du syllogisme.

2.3.1 La forme syllogistique

Peirce utilise le syllogisme pour hiérarchiser, comparer et extraire les propriétés des trois modes d'inférence: l'abduction, la déduction et l'induction (Fann, 1970, p. 7). Le développement peircéen de la méthode de recherche scientifique aboutit à une spécialisation de chacun des trois modes d'inférences dans un processus continu:

« ... There are but three elementary kinds of reasoning. The first, which I call abduction ... consists in examining a mass of facts and in allowing these facts to suggest a theory. In this way we gain new ideas; but there is no force in the reasoning. The second kind of reasoning is deduction, or necessary reasoning. It is applicable only to an ideal state of things, or to a state of things in so far as it may conform to an ideal. It merely gives a new aspect to the premises. ... The third way of reasoning is induction, or experimental research. Its procedure is this. Abduction having suggested a theory, we employ deduction to deduce from that ideal theory a promiscuous variety of consequences to the effect that if we perform certain acts, we shall find ourselves confronted with certain experiences. We then proceed to try these experiments, and if the predictions of the theory are verified, we have a proportionate confidence that the experiments that remain to be tried will confirm the theory » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 8.209).

Le syllogisme est un argument composé de trois propositions : la prémisse majeure, la prémisse mineure et la conclusion (cf. Figure 2.1). Ces propositions, considérées ensemble, contiennent toujours trois termes : le terme majeur, le terme moyen (ou médian) et le terme mineur. La prémisse majeure contient une règle générale universelle qui dénote une implication et la prémisse mineure représente un cas particulier sur lequel on applique la règle pour obtenir un résultat. Ce qui suit adopte la forme utilisée dans la littérature : règle (prémisse majeure), cas (prémisse mineure) et résultat (conclusion), en soulignant que dans un syllogisme

inductif le cas et le résultat ont la même nature.

L'abduction : Peirce utilise plusieurs termes pour désigner ce processus : hypothèse, inférence hypothétique, rétroduction, abduction, présomption. L'abduction ne possède ni le caractère certain de la déduction ni la probabilité de l'induction ; elle demeure une inférence plausible. La connaissance qu'elle produit est d'un type différent de celui de l'observation initiale. Sa forme syllogistique est comme suit :

- Règle (Tous les haricots de ce sac sont blancs)
- Résultat (Ces haricots sont blancs)
- Cas (Ces haricots sont de ce sac)

La notation logique suivante formalise cette inférence pour faciliter la comparaison avec les deux autres ; à souligner que cette forme sera critiquée et modifiée plus loin

$$\text{R\`egle} \cup \text{R\`esultat} \Rightarrow \text{Cas} \quad (2.2)$$

La déduction : La déduction produit une connaissance nécessaire, vraie et infaillible à partir de ses prémisses jugées certaines. Ces prémisses sont définies avant toute application pratique ; la déduction est une inférence *a priori*. Le syllogisme déductif est décrit comme suit :

- Règle (Tous les haricots de ce sac sont blancs)
- Cas (Ces haricots sont de ce sac)
- Résultat (Ces haricots sont blancs)

et sa forme logique

$$\text{R\`egle} \cup \text{Cas} \Rightarrow \text{R\`esultat} \quad (2.3)$$

L'induction : L'induction infère une connaissance approximative et probable, quantitative ou qualitativement vérifiable par l'expérience. C'est une inférence *a posteriori* ; elle est définie par une généralisation d'une multitude d'usages, d'observations et de vérifications. À partir d'un ensemble de fait ayant des propriétés, le raisonnement inductif produit une généralisation de ces propriétés. La généralisation produite conserve une similarité avec les propriétés étudiées. C'est l'étape finale de la recherche scientifique et son processus de validation. L'induction est désignée par le syllogisme suivant

- Cas (Ces haricots sont de ce sac)
- Résultat (Ces haricots sont blancs)

- Règle (Il est probable que tous les haricots de ce sac soient blancs)

et sa représentation logique

$$Cas \cup Résultat \Rightarrow Règle \quad (2.4)$$

L'œuvre de Polya (Polya, 1958) mérite d'être mentionnée car elle constitue une des premières tentatives dans l'approfondissement du rôle du raisonnement plausible dans les découvertes mathématiques. L'auteur identifie ce mode d'inférence à l'induction, basée sur l'analogie entre les phénomènes observés, et le formalise par une axiomatisation probabiliste.

L'induction construit une connaissance probable tandis que la déduction rend explicite ce qui est implicite dans une connaissance certaine et l'abduction introduit une nouvelle connaissance plausible. La comparaison des trois formes du syllogisme montre leurs spécificités et leurs similarités structurelles mais néglige une différence essentielle entre l'abduction et les deux autres : l'inférence abductive suppose l'existence d'une explication plausible (à partir du cas) qui relie un fait donné (le résultat) aux connaissances générales du sujet (la règle). Le cas étant donné, la production du résultat déclenche une recherche des connaissances antérieures, mémorisées par le sujet, qui compléteront la règle. Autrement dit, *le cas hypothétique implique la relation qui unit le résultat obtenu à la règle complétée* ; la complétion introduit de cette façon une nouvelle connaissance. Pour souligner cette différence, une forme qui se démarque de la précédente couramment présente dans la littérature, est utilisée. Elle exprime la dynamique interne du raisonnement abductif.

$$Cas \Rightarrow (Règle \Leftarrow Résultat) \quad (2.5)$$

Dans certains de ses écrits, Peirce utilise le terme rétroduction pour désigner l'abduction. L'interprétation de ce terme comme étant une inversion de la déduction crée un problème dans la formalisation de l'abduction. Ce problème est discuté plus loin (cf. §2.5.3). Dans le reste de ce texte, et selon le besoin, la forme perceptive est exclusivement utilisée.

2.3.2 La forme perceptive

La deuxième phase du développement de l'abduction par Peirce témoigne de la maturité de sa réflexion sur cette inférence et d'une évolution radicale du modèle syllogistique vers un modèle, plus apte à représenter le processus créatif d'une hypothèse, que nous appelons le

modèle perceptif. Cette évolution est marquée par la distinction entre la notion de possibilité, corrélat de l'abduction, et celle de probabilité, corrélat de l'induction, et la séparation finale entre ces deux modes d'inférence (Anderson, 1987, p. 19-23):

« But I was too much taken up in considering syllogistic forms and the doctrine of logical extension and comprehension, both of which I made more fundamental than they really are. As long as I held that opinion, my conceptions of Abduction necessarily confused two different kinds of reasoning. When, after repeated attempts, I finally succeeded in clearing the matter up, the fact shone out that *probability proper* had nothing to do with the validity of Abduction » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.102) (nous soulignons).

La représentation courante de cette forme perceptive est :

- « Un fait surprenant C est observé. Mais si A était vrai, C serait une évidence. D'où il serait raisonnable de supposer que A soit vrai » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.189).

<i>ona</i>	C;	observation, évidence, fait
<i>siA</i>	<i>alorsC</i>	recherche d'une explication
<i>donc</i>	A	formulation d'une hypothèse

Cette formulation introduit, dans la définition de l'abduction, la dimension perceptive (la surprise) et par conséquent exprime une différence, voire une lacune à combler, entre les connaissances de l'observateur (antérieures à l'observation) et le cas observé. À noter que la pertinence de la surprise se limite à indiquer cette séparation et qu'il ne s'agit nullement d'introduire, par le biais de ce terme, une dimension psychologique dans l'étude d'un mode d'inférence ; les lois du raisonnement ne sont pas de nature psychologique. Aussi, cette même formulation explicite une deuxième dimension concernant la dynamique de l'inférence. Dans le cas du syllogisme, le raisonnement est univoquement orienté ; il se produit selon une direction unique qui passe d'un terme au suivant. Alors qu'ici la dynamique constatée opère du premier terme vers son antécédent hypothétique. Autrement dit, à partir de la *nécessité* imposée à l'observateur par l'*observation*, il cherche une *possibilité* de compréhension qui, dans son éventuelle *matérialisation* autorise la relation de l'évidence aux connaissances antérieures. Cette dynamique, entre nécessité et possibilité entendues comme duales, possède un caractère générateur ; elle produit la nouvelle connaissance. La dualisation générative, considérée comme fondamentale dans le processus abductif, constitue la thèse principale dans la sémiotisation de cette inférence (cf. §3.4 et §4.5). De plus, la forme perceptive de l'abduction renseigne sur les conditions de la construction d'une hypothèse et, par conséquent, de répondre à la question : d'où vient A ? C'est l'objectif de la section suivante 2.4.

2.4 Le processus abductif

Les sections précédentes examinent l'abduction du point de vue externe. Elles concernent la forme utilisée pour représenter cette inférence. Cette section étudie la dynamique interne de l'abduction et les relations entre ses composantes en mettant l'accent sur l'apport génératif de sa forme perceptive. Bien que le questionnement épistémologique sur la nature de la source d'une hypothèse demeure d'actualité (Sintonen, 2004), la dynamique interne fournit des éléments de clarification. Deux processus sont en jeu dans l'inférence abductive : la production d'une hypothèse (ou d'un ensemble d'hypothèses) et la validation d'une hypothèse finale à travers une sélection parmi celles qui sont produites.

2.4.1 La production de l'hypothèse

La production d'une hypothèse est un problème central et polémique de l'abduction. Les critiques discutées dans §2.2 posent, en effet, la question de la genèse de cette forme d'inférence, d'où viennent les hypothèses ? En quoi une hypothèse est-elle rationnelle ? En somme, y a-t-il une logique de la découverte (Burks, 1946, p. 2) ? Et par extension, y a-t-il une logique de l'invention ? Il s'agit d'expliquer, en ce qui suit, la spécificité de la forme perceptive du processus abductif pour marquer son rôle dans la production d'une hypothèse.

Le fait que Peirce utilise des termes psychologiques comme « instinct » et « conjecture » (*guess*) pour situer le point de départ de l'abduction, introduit une polémique dans la lecture des textes concernés notamment quand il définit l'abduction par « les conjectures spontanées d'une raison instinctive » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 6.475). Cela malgré le fait qu'il distingue clairement entre la logique comme science normative et la psychologie comme science descriptive. Un début de clarification de ce problème résulte de l'étude du lien entre abduction et perception (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.182-5.194).

Peirce identifie trois moments dans la perception en prenant l'exemple d'une chaise devant lui (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 7.626) :

1. La présence d'un percept : c'est la perception brute de la chaise sans aucune analyse ou réflexion
2. L'application d'un jugement perceptif à ce percept : c'est la constatation que « cette chaise est jaune »

3. La constitution d'un *percipuum* qui synthétise la relation entre les deux moments précédents

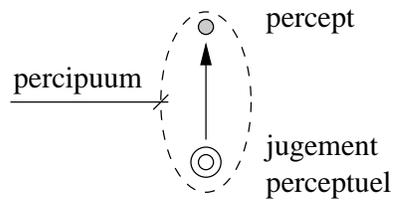


FIG. 2.2 – La perception selon Peirce

Ce processus est illustré à la Figure 2.2 qui schématise les rapports entre les éléments de la perception. Le point plein dénote le percept, le point à la double circonférence indique le jugement perceptif. L'ellipse en trait tireté représente la relation entre jugement perceptif et percept, c'est le percipuum.

2.4.1.1 Le rôle de la perception

L'étude de la forme perceptive de l'abduction vise à extraire des critères qui permettent d'opérationnaliser le point central de ce mode d'inférence, la production d'une hypothèse. Rappelons que la thèse refuse le psychologisme, qui attribue une nature mentale ou psychologique aux lois de la logique. À travers cette forme, Peirce avance que l'apport synthétique majeur de l'abduction résulte de sa capacité de composer des concepts selon une forme générale : « [...] chaque élément général de chaque hypothèse est donné quelque part dans la perception, [...] chaque forme générale de la combinaison des concepts est, dans ses éléments généraux, donnée dans la perception » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.186).

Bien que l'abduction prenne son origine dans la perception, Peirce ne la réduit pas à un simple jugement perceptif. En fait, et en discutant des rapports entre abduction et jugement perceptif, il différencie les deux concepts en utilisant un test d'« inconcevabilité » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.29, 5.187). Ce test consiste en la négation de l'observation que l'on souhaite identifier soit comme une hypothèse, soit comme un jugement perceptif, et de voir si cette négation est concevable ou non. En fait, la négation d'un jugement perceptif est inconcevable, insaisissable : « nous ne pouvons former la moindre conception de ce que serait le démenti [la négation] d'un jugement perceptif » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP

5.186). Dans l'exemple de la chaise jaune, il est inconcevable qu'elle soit non-jaune, c'est-à-dire, qu'elle soit bleue, verte ou d'une autre couleur, puisqu'elle est vraiment jaune. Mais, par contre, on peut dire « cette chaise est une chaise de bureau ». La négation de cette conception, « cette chaise n'est pas une chaise de bureau », est tout à fait possible et rationnelle ; elle peut être une chaise de barbier. Donc cette conception est une hypothèse qu'on peut vérifier, et par conséquent, accepter ou refuser.

« Je procède maintenant à considérer quels principes devraient nous guider dans l'abduction [...] Ce qui sous-tend tous tels principes est une abduction fondamentale et primaire, une hypothèse que nous devons embrasser au départ, bien qu'elle puisse être indigente de l'appui probatoire. Cette hypothèse est que les faits présents admettent la *rationalisation*, une rationalisation que nous faisons [...] Maintenant, nous avons vu qu'aucune nouvelle vérité ne peut provenir de l'induction ou de la déduction. Elle peut seulement provenir de l'abduction ; et l'abduction n'est, après tout, rien qu'une conjecture. Nous sommes donc limités à espérer que, bien que les explications possibles de nos faits puissent être strictement innombrables, néanmoins notre esprit sera apte, dans un quelconque nombre fini de conjectures, à deviner leur unique explication véridique. Nous sommes limités à admettre cela, indépendamment de n'importe quelle évidence que c'est vrai. Animé par cet espoir, nous devons procéder à la *construction* d'une hypothèse » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 7.219) (nous soulignons).

Le test d'inconcevabilité reformule, en fait, le principe logique de l'identité : X est X , donc X ne peut pas être non- X . Pour l'observateur, (le concepteur), il s'agit de dépasser, voire de se détacher de, la donnée de la perception pour atteindre une opération inférencielle sur cette donnée. Ainsi, ce test pose indirectement la condition du début de l'abduction : il faut que l'hypothèse soit une *mise en relation* d'au moins deux entités (chaise et bureau ; chaise et barbier), et non un énoncé sur l'*identité* d'une seule entité (la chaise, la couleur jaune). L'apport de la perception insiste sur le fait que le jugement perceptif constitue un cas limite de l'abduction (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.186). Cette limite est le minimum requis pour qu'il y ait une inférence abductive ; le jugement perceptif ne peut que constater une qualité donnée tandis que l'abduction génère une composition de plusieurs qualités. La précision du processus génératif de l'abduction procède de cette mise en relation générale des qualités élémentaires de l'observation (de l'évidence, des données) et leurs interactions (Hausman, 1990, p. 272-273).

De plus, la mise en relation obéit à une condition de rationalisation et de contrôle, qui se traduit opératoirement par l'exigence d'une ressemblance : « Le mode de suggestion par lequel, dans l'abduction, les faits suggèrent l'hypothèse, est la ressemblance [iconicité, ana-

logie, similarité, identification], – la ressemblance des faits aux conséquences de l'hypothèse » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 7.218). Fonctionnellement, cette ressemblance suppose l'existence hypothétique d'une nouvelle connaissance (la composition de plusieurs entités) qui serait capable de combler la lacune, indiquée par la surprise, entre les connaissances préalables, qui doivent être modifiées pour accommoder l'introduction de la nouvelle connaissance, et le fait observé. Or, il existe une opération inférencielle qui crée et qui contrôle précisément cette existence hypothétique : l'abstraction hypostatique.

2.4.1.2 L'abstraction hypostatique

L'abstraction hypostatique désigne le processus par lequel une opération inférencielle, portant sur un sujet quelconque, se transforme elle-même en un sujet auquel on applique l'inférence. Parfois appelée réification, elle diffère du simple fait, souvent désigné par abstraction, qui consiste à isoler par la pensée une qualité d'un phénomène et à négliger les autres concomitantes. Peirce désigne cette sorte d'abstraction par préscission (cf. §4.2.2). Pour éviter la confusion entre ces deux types complémentaires de l'abstraction, l'usage du terme abstraction sera réservé à l'opération hypostatique. L'adjectif « hypostatique » est pris dans l'acception de ce qui sous-tend et sert comme appui. Peirce semble ne pas relier explicitement ou reconnaître l'apport de l'abstraction hypostatique à l'abduction mais néanmoins affirme que celle-là

« [...] consiste à prendre un attribut d'un percept ou de plusieurs percepts (après qu'il soit préscindé des autres éléments du percept), afin qu'il prenne une forme propositionnelle dans un jugement [...], et en concevant ce fait comme *la relation* entre le sujet de ce jugement et un autre sujet, dont le mode d'être consiste simplement en la vérité des propositions dont la limite concrète correspondante est le prédicat [l'attribut initialement affecté par l'abstraction] » (nous soulignons) (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 4.235).

Cette citation renferme deux opérations : l'identification d'un attribut du problème considéré et sa transformation en *une relation* entre le sujet de cet attribut et un autre. La relation élaborée sert de limite, au sens de la circonscription d'un domaine d'application, à un nombre de propositions créées à l'aide de cette transformation et supposées vraies.

Par exemple, l'abstraction hypostatique transforme un adjectif, blanc, en un substantif, blancheur (ou couleur). Dans une construction plus complexe, l'abstraction hypostatique légitime le passage du percept « un cube est blanc » à la proposition « un cube possède une couleur (la blancheur) » selon les étapes suivantes :

- isoler le prédicat « ... *est blanc* » ;
- retirer « *est blanc* » du percept qui devient « *un cube ...* » ;
- introduire « *la blancheur* » dans le percept : « *un cube ... la blancheur* » ;
- remplir le vide par « *possède* », la proposition devient « *un cube possède la blancheur* ».

La mise en relation qu'offre cette abstraction conserve la condition de rationalisation et de contrôle puisqu'elle maintient la ressemblance (iconicité, analogie, similarité, identification) entre « blanc » et « blancheur ». De plus, le nouvel attribut, « ... possède ... », ainsi introduit dans l'énoncé, généralise cette analogie en *élargissant potentiellement* la collection d'objets avec qui le cube pourrait partager la blancheur. Par conséquent, cette collection circonscrit les possibilités de concrétisation de la blancheur autrement que par le cube :

« Cette opération merveilleuse qu'est l'abstraction hypostatique[,] par laquelle nous semblons créer des *entia rationis* [êtres de raison] qui sont, néanmoins, parfois réels, nous fournit le moyen de transformer des attributs [des prédicats] des signes que nous pensons[,] ou par lesquels nous pensons, en sujets de la pensée. Nous pensons ainsi à la pensée-signe elle-même, la rendant l'objet d'une autre pensée-signe. Sur quoi, nous pouvons répéter l'opération de l'abstraction hypostatique, et de ces deuxièmes intentions dériver des troisièmes intentions. » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 4.549).

Ce que Peirce désigne par secondes et troisièmes intentions, dénote l'application répétée de l'abstraction hypostatique à son résultat pour produire une abstraction du second degré ou du troisième degré. Par exemple, l'énoncé « ce cube possède la blancheur » devient « ce cube est en relation de possession de la blancheur » et ainsi de suite. Néanmoins, la forme générale de la synthèse d'une hypothèse devient « ... est en relation de possession de ... ». En théorie, cette abstraction peut s'appliquer indéfiniment mais un autre exemple, adapté de Peirce (Lieb, 1953, p. 24-25), montre comment sa complexité croît avec la complexité de son objet et atteint une limite. Soit la proposition « *le pilotis supporte l'étage* » :

- le prédicat a la forme « ... *supporte* ... » ;
- retirer le terme « *supporte* » et le remplacer par « *tient dans la relation de ... à* » où le vide désigne l'endroit qui sera occupé par le substantif « *support* » ; le prédicat devient « ... *tient dans la relation de ... à ...* » ;
- remplacer le résultat obtenu « *tient dans la relation* » par son expression développée équivalente « *exerce la fonction de relat dans la relation* » pour obtenir le prédicat suivant « ... *exerce la fonction de relat dans la relation de ... à ...* » ;
- appliquer encore une fois l'abstraction hypostatique à ce nouveau prédicat pour qu'il prenne la forme « ... *exerce ... de ... à ...* », et pour que la proposition finale devienne « *le pilotis exerce la fonction de relat dans la relation de support à l'étage* ».

L'application de l'abstraction aboutit ici à un point important. Bien que la structure de la proposition finale se trouve élargie (il y a maintenant quatre espaces vides à combler, résultant d'autant d'étapes successives), le terme initial « *exerce la fonction* » ne fait que remplacer « *tient dans la relation* » par une expression synonyme sans élargissement réel de la structure. La dernière transformation exprime donc une redondance et signifie que l'abstraction a atteint sa limite. Toutefois, l'abduction ne se réduit pas à une abstraction hypostatique. D'un côté, la forme de la relation nécessaire à la production d'une hypothèse n'est pas une donnée de la perception ; elle résulte de l'abstraction hypostatique. De l'autre côté, la condition de ressemblance entre les faits observés et les conséquences de l'adoption de l'hypothèse, assure que l'introduction d'une nouvelle qualité, dans la forme générale de mise en relation, et sa combinaison avec d'autres, doit transformer les connaissances antérieures tout en maintenant leur cohérence. L'abduction ne dit pas d'où provient cette nouvelle qualité mais, à travers l'abstraction hypostatique, elle pose les conditions de sa rationalisation et de son intégration dans les connaissances préalables. Ainsi, l'apport synthétique de l'abstraction hypostatique lève un obstacle majeur dans la compréhension du fonctionnement de l'abduction, surtout concernant l'intuition et l'instinct (cf. §2.2 et §2.4.1) ; ces deux termes fréquemment utilisés pour expliquer la naissance d'une idée dans l'esprit. L'esprit produit la synthèse

« dans l'intérêt de l'intelligibilité c'est-à-dire, dans l'intérêt du « Je pense » synthétisant ; et elle [la synthèse] fait ceci en introduisant une idée qui n'est pas contenue dans les données, qui établit des connections qu'elle n'aurait pas pu avoir autrement. Les réalités nous obligent à mettre des choses dans une relation proche et d'autres dans un degré moindre, d'une façon hautement compliquée, et dans un sens inintelligible ; mais le génie de l'esprit, qui saisit toutes ces allusions au sens, y ajoute immensément, les rend précises, et les montre dans une forme intelligible dans l'intuition de l'espace et du temps. L'intuition est regarder l'abstrait dans une forme concrète, à travers l'hypostatisation réaliste des relations » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 1.383).

Désormais, l'hypostatisation, c'est-à-dire la création d'une nouvelle entité qui n'est pas un objet physique mais qui est considérée comme telle, ouvre la voie à l'opérationnalisation de l'abduction selon trois étapes (Hoffmann, 2006, p. 49-50). D'abord, décider de la finalité de l'hypothèse. L'intelligibilité dépasse la simple découverte de la cause du phénomène surprenant, et dans le cas de la conception architecturale, cette intelligibilité doit répondre à la finalité de la solution proposée : la construction. C'est précisément cette acception pragmatique qu'il faut donner à la synthèse abductive. La sous-section §2.5.3 examine ce caractère téléologique. Ensuite, les nouvelles informations introduites dans le raisonnement ont pour contenu des nouvelles connections, parmi les composantes du phénomène donné, et non des objets physiques existants. Ces connections sont organisées en une ou plusieurs structures qui modélisent le comportement éventuel de l'hypothèse dans la résolution du problème de

conception. La sous-section §2.5.1 étudie comment opère la synthèse abductive. Enfin, la validation de ces structures ou plutôt comment elles répondent à l'exigence de l'intelligibilité finale ; c'est le propos de la sous-section §2.4.2.

Jusqu'ici, l'argumentation de la thèse examine le fonctionnement de l'abstraction hypostatique d'un point de vue général. Dans le contexte de la conception architecturale, son fonctionnement exige d'abord une clarification du statut sémiotique des représentations qui y sont utilisées (cf. Chapitre 3) et ensuite une formalisation de l'apport de ce statut à la capacité générative de l'abduction (cf. Chapitre 4).

2.4.2 La validation de l'hypothèse

L'abduction est une inférence synthétique produite par la création d'une relation logique entre les données d'une observation surprenante et les transformations, imposées par la surprise, des connaissances antérieures détenues par l'observateur. Le nombre potentiellement élevé des hypothèses produites impose à l'esprit une sélection critique et une comparaison rigoureuse. La validité d'une hypothèse dépend de son usage. Peirce utilise une analogie « architecturale » pour insister sur la finalité pragmatique « Maintenant le seul moyen de découvrir les principes sur lesquels toute chose devrait être construite est de considérer ce qui est à faire avec la construction après qu'elle soit construite » (Burks, 1960, CP 7.220). Par conséquent il identifie trois principes de validation d'une hypothèse :

1. Son pouvoir explicatif : il s'agit de la raison d'être d'une hypothèse qui rend intelligible, en un seul concept, une multitude de données ou observations. Autrement dit, créer un nouveau lien entre notre connaissance préalable et une information (ou plusieurs) que nous reconnaissons comme surprenante parce qu'elle n'appartient pas encore à cette connaissance. Nous trouvons ici un autre exemple du fondement synthétique de la pensée peircéenne (Burks, 1960, CP 7.220). Un corollaire de ce principe est que « nous ne devons pas faire des hypothèses qui arrêteront absolument l'enquête » (Burks, 1960, CP 7.480) (Fann, 1970, p. 44) c'est à dire des hypothèses qui soient fondamentalement inexplicables.
2. Sa vérifiabilité : ce principe résulte de l'insistance de Peirce sur la contribution de l'abduction au savoir scientifique. Si la logique de l'enquête a son point de départ dans l'abduction, il faut que celle-ci soit vérifiable (Burks, 1960, CP 7.220). La vérification par expérimentation ordonne les hypothèses par leurs degrés de plausibilité (Fann, 1970, p. 44) structurant les croyances et les opinions. La rigueur de l'expérimentation soutient l'imagination dans les sciences de la conception à condition de tenir compte de la finalité pratique de l'objet conçu (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.196). Par exemple,

en conception architecturale, une hypothèse exprime un point de vue sur la matérialisation éventuelle d'un projet. L'acceptation de cette hypothèse dépend de sa capacité à synthétiser, en une configuration, les exigences de la commande architecturale. Pour choisir parmi plusieurs hypothèses, les diverses implications de chacune doivent être explicitées et ensuite comparées. D'un point de vue pratique, la complexité de ces implications empêche d'identifier une solution unique et optimale à la commande ; des compromis sont nécessaires pour façonner une solution qui est plutôt adéquate au lieu d'optimale. Simon désigne cette notion d'adéquation pratique, faisable et acceptable par le terme *satisficing*. D'un autre côté, Peirce considère que pour circonscrire une idée (hypothèse, concept, théorie, . . .), il faut « considérer quels sont *les effets pratiques* que nous pensons pouvoir être produits par l'objet de notre conception. La conception de tous ces effets est la conception complète de l'objet » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.402) (nous soulignons) ; c'est la maxime du pragmatisme peircéen. En rapprochant le terme *satisficing* de Simon de la maxime du pragmatisme, il devient possible d'affirmer qu'une hypothèse architecturale qui n'est pas réalisable, en termes des finalités pratiques du projet, ne peut prétendre à la créativité.

3. Son économie : les deux principes précédents filtrent les hypothèses produites pour en réduire le nombre. Malgré ce tri, le nombre pourrait demeurer grand et l'incertitude sur la validité de chacune reste incontrôlable. L'économie de la validation projette une grille de mesure, sur l'ensemble des hypothèses obtenues, qui organisera le déroulement de ce processus ; des priorités sont accordées aux abductions en fonction de trois critères :
 - (a) le coût de la validation ou plutôt le principe du moindre coût dans la validation. L'argumentation initiale de Peirce concerne l'argent, le temps, l'énergie et l'effort mental investis dans la vérification (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.600, 7.220).
 - (b) la valeur intrinsèque de l'hypothèse ou le principe du rasoir d'Occam qui stipule que « les entités ne doivent pas être multipliées sans nécessité ». Peirce reformule ce principe par la simplicité explicative d'une hypothèse sans prétendre qu'une hypothèse simple soit nécessairement la plus explicative (Fann, 1970, p. 48), toutes choses étant égales par ailleurs.
 - (c) le potentiel de prédiction d'une hypothèse n'est pas absolu ; certains phénomènes, à l'intérieur du domaine considéré, ne peuvent être couverts par l'abduction. La validation prend compte de cette incertitude dans le déroulement de l'inférence par :
 - i. la formulation prudente de la requête qui subdivise une hypothèse en ses composantes élémentaires (Fann, 1970, p. 50). Ces composantes seront testées une à la fois en réduisant à chaque pas de l'inférence, le parcours de l'espace des composantes possibles à sa moitié. Peirce donne l'exemple du parcours d'un domaine d'un million de possibilités par un minimum de vingt

questions ; chaque question est formulée de façon à obtenir uniquement une de deux réponses équiprobables : oui ou non. Alors, à la question suivante, les composantes possibles sont réduites de leur moitié. Nous retrouvons ici un exemple des mesures courantes de complexité dans certains algorithmes informatiques : $O = \log_2 n$ où O désigne la complexité, n le nombre des hypothèses et \log_2 le logarithme népérien en base 2 ;

- ii. la maximalité explicative de l'hypothèse qui désigne l'ensemble des faits que ses composantes élémentaires peuvent couvrir. En logique, cette maximalité est synonyme d'*extension (breadth)*. L'utilité effective d'une hypothèse dépasse l'explication du fait présent, ici et maintenant, pour porter sur d'autres observations éventuelles où ce même fait pourrait apparaître : « Il est ainsi, une bonne économie, toutes choses étant égales, de rendre nos hypothèses aussi étendues que possible » (Burks, 1960, CP 7.221). Donc, l'efficacité dépend des conséquences des applications futures de chaque hypothèse et la sélection entre deux possibilités doit tenir compte de leurs maximalités respectives.

Les trois principes de validation structurent l'approche de la sélection d'une hypothèse mais n'assurent pas sa vérité ; c'est la tâche de l'induction de soumettre une hypothèse à la vérification (Fann, 1970, p. 51). Bien que la production d'une hypothèse et sa validation puissent être conceptuellement séparées, d'un point de vue pratique, et spécialement en conception architecturale, chacun de ces deux processus affecte l'autre dans une interdépendance continue et simultanée (Marty, 1990, p. 248) (Fann, 1970, p. 42). Peirce souligne que l'abduction ne nous engage à rien (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.602), mais les seules garanties offertes sont la rationalité de l'hypothèse et la possibilité de circonscrire l'incertitude, inhérente à toute inférence abductive, dans un cadre contrôlable.

2.5 La caractérisation de l'abduction

Après avoir défini l'abduction et mis en évidence son fonctionnement logique, nous la caractérisons par un ensemble de propriétés reliées au processus de conception architecturale. Le choix de cet ensemble résulte de l'approche systémique, et de propriétés et de caractéristiques attribuées à un système, et confère une cohérence à la modélisation ultérieure de l'abduction.

2.5.1 L'abduction est interprétativement synthétique

L'abduction relie un phénomène donné, perçu ou conçu, à un corps de connaissances préalables dont il est essentiellement différent. Le caractère synthétique de l'abduction est développé pour expliciter sa pertinence à la conception architecturale.

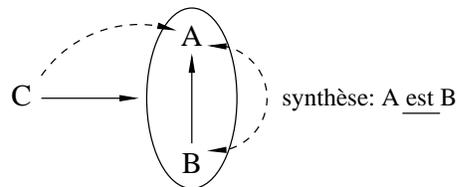


FIG. 2.3 – La maxime de la représentation

Peirce élabore une maxime de la Représentation : « A est B » équivaut à « C représente A en représentant que B représente A » (Peirce, 1987, p. 15) qui peut être traduite par un schéma conceptuel (cf. Fig 2.3) où les flèches pleines indiquent les relations du premier niveau des données (la relation « B représente A » et la relation « C représentant que B représente A ») et les flèches tiretées désignent le deuxième niveau synthétique (« C représente A » et la synthèse « A est B »). Cette maxime est le fondement de toute synthèse ; elle explique comment deux choses différentes peuvent être unies par l'esprit. L'union ne possède pas impérativement un caractère absolu de vérité mais plutôt une possibilité et un potentiel de matérialisation. La possibilité, actualisée par un observateur, exprime l'identité hypothétique entre les deux données « A serait B ».

L'action de l'observateur est une interprétation synthétique, c'est à dire une reformulation d'une connaissance qui lui conserve sa validité et élargit son champ d'application. L'extension de ce domaine résulte de la matérialisation d'une nouvelle propriété de cette connaissance à partir d'une (ré)organisation de ses éléments constituants. De la sorte, par la synthèse, l'abduction comble le manque de connaissances constaté à la surprise et prévoit les surprises ultérieures (Burks, 1946, p. 303) ; il s'agit de transformer l'observation surprenante en une nouvelle connaissance anticipante. De plus, et bien qu'elle participe à la solution du problème abductif, la synthèse y introduit plusieurs problèmes, cruciaux en conception architecturale, tels que le rapport avec le contexte, l'émergence et l'incertitude (Ueda, 2001, p. 322) aussi bien que l'interprétation du concepteur et la mémoire. Ces questions sont traitées dans les sous sections qui suivent.

2.5.2 L'abduction est contextuelle

L'abduction doit rendre compte de l'impact de l'hypothèse produite sur (1) les connaissances disponibles et leurs transformations historiques et (2) sur le fait observé considéré comme un état initial, de la production d'une nouvelle connaissance, soumis à des conditions contextuelles. En fait, la définition de la notion de contexte manque de consensus en intelligence artificielle (IA) à cause de la diversité des domaines de recherches et des applications (Bazire et Brézillon, 2005, Bouquet et al., 2003). Les définitions suivantes reflètent cette diversité : un contexte est un découpage spatio-temporel du monde, réel ou imaginaire, incluant les gens et les objets ainsi que leurs transformations. Ce découpage contient le problème considéré et lui confère un sens (Barwise et Perry, 1983) ; dans un langage logique, le contexte est un méta-objet abstrait sur lequel on peut appliquer les mêmes opérations logiques que sur un objet régulier (McCarthy, 1986, p. 555) ; « une collection des gens et des objets avoisinants, ainsi que les changements de ces objets dans le temps » (Schilit et al., 1994, p. 85) (nous traduisons) ; « le contexte est toute information qui peut être utilisée pour caractériser la situation d'une entité, qu'elle soit une personne, un lieu, ou un objet, qui est considérée pertinente à l'interaction entre un usager et une application » (Dey, 2001, p. 5) (nous traduisons) ; « le contexte est ce qui contraint une étape de la résolution d'un problème sans y intervenir explicitement » (nous traduisons) (Bazire et Brézillon, 2005, p. 32). Néanmoins, il y a un accord tacite sur l'interdépendance entre l'acceptation de ce terme et son usage spécifique dans la résolution d'un problème particulier, le contexte implique une utilisation « locale » d'une connaissance (Brézillon, 1999, p. 72).

Cet aspect localement pragmatique du contexte introduit dans le raisonnement abductif deux facteurs de la qualité d'une hypothèse. Les termes observation et problème sont utilisés comme synonymes et de même pour hypothèse et solution :

1. Les objectifs du concepteur (ou solveur du problème) qui dépassent la simple obtention d'une explication causale et plausible pour atteindre une compréhension de l'observation dans le cadre de son utilisation ultérieure (Leake, 1992, p. 198). Ces objectifs dépendent d'autres informations que celles contenues dans l'observation (ou la donnée du problème), qui représentent les contraintes sous lesquelles le problème doit être résolu (Leake, 1992, p. 107). Aussi, la contextualisation nuance et élargit le champ des solutions potentielles et rend signifiante l'adoption de la solution finale : « Meaningful designs are achieved, therefore, when certain goals are achieved within a particular context » (Coyne et Gero, 1985, p. 422).
2. Les croyances, les expériences et les connaissances passées du concepteur qui, d'un côté, sont initialement incompatibles avec les données de l'observation, et de l'autre, seront modifiées par la génération de la nouvelle connaissance hypothétique pour réta-

blir la compatibilité. La délimitation contextuelle des critères constituant une hypothèse répond au postulat systémique qu'un phénomène ne peut être saisi sans son contexte et à une exigence pratique du calcul de la solution du problème : « to perform this «closing» of criteria, the problem solver must make use of general contextual knowledge » (Mitchell, 1977, p. 62).

L'acceptation d'une hypothèse (ou solution) dépend donc de la relation de l'observation (ou problème) à son contexte. Cette contextualisation affecte la représentation que possède le concepteur de la donnée du problème (observation ou évidence) et la relie à son interprétation : « Thus, in changing explanatory contexts, the symbol itself gets *reinterpreted* » (Haugeland, 1985, p. 116)

2.5.3 L'abduction est téléologiquement mnémonique

L'interprétation synthétique renvoie vers une finalité : la production d'une nouvelle connaissance, et dans le cas de la conception, d'un nouvel objet architectural. En discutant d'une façon générale les capacités inférencielles des modèles, Sowa (Sowa, 2000, p. 384) énonce des critères de représentativité de la logique « [...] logic must accommodate *plans for the future, historical entities that no longer exist, hypotheses whose truth value is unknown, and stories in which some or all the characters and events are fictitious* » (nous soulignons). Le travail de March (March, 1976, p. 16–22) figure parmi les premières mises en relation de la conception architecturale et l'abduction ; abduction qu'il qualifie de raisonnement productif. Cet auteur note les caractéristiques propres aux trois modes d'inférences : « Deduction proves that something *must* be; induction shows that something *actually* is operative; abduction merely suggests that something *may* be » (March, 1976, p. 17). Les deux citations précédentes relient la mémoire à la finalité. La conception architecturale, dans sa phase préliminaire, s'articule autour de la projection d'une forme architecturale hypothétique dans le futur. Cette projection se fait sous condition, parmi d'autres, d'adéquation aux connaissances facilitant la concrétisation du projet architectural. Le terme « téléologiquement mnémonique » qualifie ce renvoi. En fait, ce terme se rapproche de la « téléologie du développement » (*developmental teleology*) de Peirce, citée par Anderson (Anderson, 1987, p. 5) pour désigner la dynamique de l'élaboration créative d'une finalité, et dans le cas de la CAAO, d'une solution : un objectif prend forme au cours d'un processus créatif et non à son début. Toutefois, notre ajout de la composante mnémonique assure la continuité de cette créativité avec les connaissances antérieures d'un système donné (personne ou machine).

Certaines recherches sur la formalisation logique de l'abduction considèrent ce mode de raisonnement comme une déduction inverse (Aliseda, 2003, p. 26) (Mayer et Pirri, 1996), (Charniak et McDermott, 1985). La formulation de l'abduction par une déduction inverse, néglige l'intrant de la transformation historique et temporelle des connaissances du concepteur : elle souffre d'amnésie génétique. Cette thèse ne traite pas des aspects psychologiques ou comportementaux de la génération des hypothèses mais il faut souligner l'apport de l'œuvre psychologique de Berlyne (Berlyne, 1960) en faveur de la considération des connaissances antérieures dans cette génération. Ces recherches comportementalistes stipulent que l'innovation et la créativité résultent souvent d'un recours à une relation similarité-différence par rapport à des artefacts connus. La section §4.4.1 clarifie la différence entre innovation et créativité. D'ailleurs, il existe une littérature remarquablement abondante sur l'étude descriptive du comportement psychologique des concepteurs associé à la créativité, notamment la réflexion sur le dessin et l'utilisation des organigrammes et graphes, par exemple (Goldschmidt et Tatsa, 2005, Segers et al., 2005, van der Lugt, 2000), tandis que les études normatives sur la créativité et sa formalisation logique semblent plus restreintes.

L'intégration d'une dimension mémorielle à l'abduction rend compte par conséquent de l'apport, à la génération de l'hypothèse, des connaissances antérieures, de leurs contextes historiques et leurs usages et finalités possibles.

2.5.4 L'abduction est subjective

Bien que l'abduction possède une forme logique, sa capacité générative échappe au contrôle que pourrait lui imposer cette forme (Burks, 1946, p. 305) (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.188). L'abduction explicite le rôle de la subjectivité du concepteur et du contexte dans le processus inférenciel. Le paradigme formaliste en IA postule que la signification résulte, d'une façon nécessaire et suffisante, de la formalisation de la syntaxe dans une représentation donnée : « if you take care of the syntax, the semantics will take care of itself » (Haugeland, 1985, p. 106). Plusieurs facteurs implicites dans la considération rétro-déductive de l'abduction (cf. §2.5.3) transforment la subjectivité en une variable superflue dont l'ajout, bien qu'il augmente l'expressivité du formalisme, rend contingente l'intégration du concepteur au contexte. Parmi ces facteurs, et le plus saillant, la possibilité de subdiviser une proposition en ses composantes élémentaires pour les recomposer en une nouvelle (cf. §2.5.5.1). Notons que pour Peirce l'abduction n'est pas une autre forme de la perception (Anderson, 1987, p. 17) mais plutôt une *observation abstractive* synthétique et génératrice de savoir (cf. §2.5.1) :

« La logique, dans son sens général, comme je crois l'avoir montré, n'est

qu'un autre nom de la sémiotique (σημειωτική), la doctrine quasi nécessaire ou formelle des signes. En décrivant cette doctrine comme « quasi nécessaire » ou formelle, je veux dire que nous observons les caractères des signes que nous connaissons et que cette observation, par un processus que je n'aurai pas d'objection à appeler abstraction, nous sommes conduits à des énoncés, éminemment faillibles, et par conséquent en un sens nullement nécessaires, concernant ce que *doivent être* les caractères de tous les signes utilisés par une intelligence « scientifique », c'est-à-dire une intelligence capable d'apprendre par expérience. Quant à ce processus d'abstraction, il est lui-même une sorte d'observation. La faculté que j'appelle observation abstractive est une faculté que les gens ordinaires reconnaissent parfaitement, mais à laquelle parfois les théories des philosophes ne font guère de place. C'est une expérience familière à tout être humain qui désire quelque chose qu'il n'a pas présentement le moyen de se faire payer et qui fait suivre ce désir de la question : « Est-ce que je désirerais cette chose autant, si j'avais largement les moyens de me l'offrir ? » Pour répondre à cette question, il s'examine et fait ainsi ce que j'appelle une observation abstractive. Il fait par l'imagination une sorte de diagramme-squelette ou de schéma-silhouette de lui-même, considère quelles modifications cet état de choses hypothétique exigerait qu'il introduise dans ce tableau et l'examine alors, c'est-à-dire *observe* ce qu'il a imaginé pour voir si le même désir ardent s'y trouve toujours. Grâce à ce processus, qui ressemble fort au raisonnement mathématique, nous pouvons parvenir à des conclusions portant sur ce qui *serait vrai* des signes dans tous les cas, à condition que l'intelligence qui les utilise fût scientifique [...] » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.227) (traduction de (Deledalle, 1978, p. 120-121)).

L'intérêt de cette citation en justifie la longueur. La Logique telle que transformée par Peirce en une théorie des signes anticipe le précepte systémique de la subjectivité ; sémiotiquement parlant, le sujet qui opère le raisonnement ne peut pas se séparer de ses capacités synthétiques et logiques, et a fortiori de l'abduction. D'ailleurs, une métaphore de Le Corbusier aide à clarifier davantage la notion de l'observation abstractive : « il faut toujours dire ce que l'on voit et, ce qui est plus, voir ce que l'on voit ». En CAAO, Coyne plaide pour un rôle central de la subjectivité dans les sciences de la conception (Coyne, 1991, p. 368-369). Bien que sa critique vise le discours scientifique, il constate l'inadéquation pratique de l'objectivité à la compréhension des processus de la conception et souligne une crise implicite, induite par cet obstacle, quant à la *créativité* de la conception. Le sujet (l'observateur, le concepteur) fait partie intégrante de l'inférence. Cette intégration assure une meilleure compréhension des processus de conception et par conséquent de leurs représentations. Le rapport subjectif à la conception est approfondi par le développement de la notion de l'interprétant sémiotique au

Chapitre 3.

2.5.5 L'abduction est complexe

La modélisation des processus employés par le concepteur occupe une place centrale en conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO). La complexité de ce problème reflète les interactions entre plusieurs de ses composantes conceptuelles telles l'émergence, la créativité, l'originalité et la nouveauté. Les paragraphes suivants explicitent les rapports opératoires de l'abduction à chaque composante.

2.5.5.1 L'émergence

Les sources théoriques de l'étude de l'émergence en tant que phénomène indépendant remontent au 19^{ème} siècle (Knight, 2003, p. 125-126). L'intérêt en CAAO pour cette notion résulte de la complexité auto-organisée de la conception architecturale (Testa et al., 2001), de la volonté de distancier le concepteur de la formalisation de la conception et d'affecter à cette distance un potentiel génératif. Autrement dit, le résultat de l'application d'un nombre prédéfini d'axiomes, à un problème de conception, produit un ensemble de propriétés nominalement extérieur à ces axiomes. « *L'abduction* est cette sorte d'opération qui suggère un énoncé nullement contenu dans les données dont il procède... Par sa propre définition l'abduction conduit vers une hypothèse qui est entièrement étrangère aux données », cité par (Hoffmann, 1999, p. 272). Pour expliquer cette indépendance de l'abduction, un exemple comparatif est utilisé. Si une commande architecturale est énoncée comme suit : « construire une cabane », la solution architecturale peut appartenir à un ensemble presque infini de configuration. Si la commande contient des données géométriques : « le plan de la cabane doit être rectangulaire », la solution devient plus définie et en même temps dépendante de cette information géométrique. Encore, si la commande est : « le plan de la cabane doit être rectangulaire, sa hauteur est de 3 mètres, avec une toiture à deux versants », la solution devient de plus en plus déterminée et la configuration finale de moins en moins créative. Plus la configuration est dépendante des données, moins elle devient abductive.

La littérature sur la conception propose plusieurs définitions de l'émergence en fonction du domaine étudié et de l'usage voulu. Une définition psychologique de l'émergence traduit un changement cognitif chez le concepteur qui se rend compte « soudainement » de l'existence d'une alternative à la solution présente dans son esprit et concrétisé sous une représentation donnée (Navinchandra, 1991, p. 87-89). Le point de vue méréologique, particulièrement

élaboré par les grammaires formelles de Stiny, résume l'émergence à la production d'une forme n'appartenant pas à l'état initial du langage formel choisi (Knight, 2003) et à une explicitation des éléments composant la forme « The complete structure of a shape is given by all its subshapes » (Mitchell, 1990, p. 102). Toutefois, cette notion arithmétique contient des nuances. Toujours dans le domaine des grammaires formelles, l'émergence générative dépasse la simple sommation des parties sous conditions de relaxation de leurs interactions (Flemming, 1987) mais dépend de la cardinalité de l'ensemble des représentations appartenant à une seule forme élémentaire (Soufi et Edmonds, 1996, p. 458). D'ailleurs, l'approche systémique insiste sur le fait que les interactions entre les parties d'un système confèrent à son comportement global une plus-value organisationnelle et fonctionnelle. Le principe systémique de l'émergence stipule que le tout est plus que la somme des parties. Un autre point de vue met l'accent sur l'aspect déductif de l'émergence et considère qu'elle rend explicite ce qui est implicite dans une représentation (Ding et Gero, 2001, p. 707) (Gero, 1996, p. 438). À l'opposé de cette position, cette thèse définit l'émergence, par rapport à un acte de conception, comme un résultat *a posteriori* et non comme un choix *a priori*.

En étudiant les conditions économiques de la production et la validation d'une hypothèse (cf. §2.4.2), Peirce identifie un processus opératoire que nous considérons fondamental dans la représentation de cette inférence et qui est rarement souligné dans la littérature qui traite de l'apport génératif de l'abduction (Fann, 1970, p. 50-51). Les paragraphes suivants décrivent ce processus et explicitent son apport à l'émergence de nouvelles connaissances.

La première étape constitue la décomposition de l'hypothèse en ses composantes logiques élémentaires et la vérification de la plausibilité de chacune dans l'explication du phénomène donné dans son contexte original:

« ... because very rarely can we positively expect a given hypothesis to prove entirely satisfactory; and we must always consider what will happen when the hypothesis proposed breaks down... The secret of the business lies in the caution which breaks a hypothesis into its smallest logical components, and only risks one of them at a time. . . » (Burks, 1960, CP 7.220).

La deuxième étape vérifie les parties de l'hypothèse dans les autres contextes où le phénomène serait observé. Peirce affirme que la décomposition d'une hypothèse selon ses composantes élémentaires et la validation de chacune d'elles doivent expliquer le phénomène étudié quand il apparaît dans d'autres contextes. L'exigence du changement contextuel assure la généralité de l'explication souhaitée et tend vers la finalité de toute abduction qui est de couvrir

la plus grande variété possible du même phénomène « ... to embrace the manifold of observed facts in one statement, and other things being equal that theory best fulfills its function which brings the most facts under a single formula » (Burks, 1960, CP 7.410).

Ce processus met en évidence la nécessité d'adjoindre à la décomposition de l'hypothèse sa signification globale dans toutes les étapes de la validation. Il s'agit donc de représenter et d'explicitier, dans la validation, la différence entre d'un côté, l'apport de l'ensemble des composantes élémentaires à l'explication du phénomène, et de l'autre, l'apport de l'hypothèse considérée dans son entièreté émergente et détachée de ses parties. Cette différence définit une mesure de la nouveauté apportée par l'abduction.

2.5.5.2 La créativité

Si, et dans une certaine mesure, l'étude de la forme de l'abduction met l'accent sur son apport explicatif ou son potentiel d'explicitation de ce qui se trouve déjà dans les données, elle n'empêche pas la mise en évidence d'un deuxième apport à la créativité. L'intérêt de la CAAO pour l'abduction tient à la pertinence de sa capacité génératrice aux problèmes de conception architecturale (Gero et Maher, 1992). D'une observation surprenante, elle crée une connaissance compréhensible (Josephson et Josephson, 1994, p. 28). De plus, par analogie à la conception architecturale : ayant une description initialement qualitative de la commande, l'abduction produit un édifice concret. La créativité est un autre corrélat de l'émergence abductive et son statut dans les recherches peirciennes demeure un sujet d'approfondissement constant. Suivant le point de vue de (Rosenman et Gero, 1992, p. 111), nous distinguons entre *création* et *créativité*. La création désigne la matérialisation d'un objet qui n'existait pas auparavant. La créativité, possédant les propriétés de la création, ajoute une qualification plus élevée comme l'ingéniosité et l'imagination et reflète de nouvelles qualités dans l'œuvre produite. À noter, qu'une création peut faire preuve de peu ou de beaucoup de créativité.

L'abduction offre donc au concepteur un domaine de qualités possibles où la solution peut être matérialisée. À l'état initial de la conception, ces qualités possèdent un certain degré d'imprécision et d'incertitude. Ce n'est qu'à travers une mise en correspondance continue avec les objectifs fixés, que ces qualités de sens (*sense-qualities* selon Peirce) acquièrent leur statut définitif, et se concrétisent dans une configuration géométrique particulière. Par un exemple architectural, Peirce exprime l'analogie entre, d'une part, le passage des qualités aux finalités, et de l'autre, la créativité abductive:

« We can hardly but suppose that those sense-qualities that we now experience, colors, odors, sounds, feelings of every description, loves, griefs, surprise, are but the relics of an ancient ruined continuum of qualities, like a few columns standing here and there in testimony that here some old-world forum with its basilica and temples had once made a magnificent *ensemble*. And just as that forum, before it was actually built, had had a vague underexistence in the mind of him who planned its construction, so too the cosmos of sense-qualities, which I would have you to suppose in some early stage of being was as real as your personal life is this minute, had in an antecedent stage of development a vaguer being, before the relations of its dimensions became definite and contracted » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 6.197), cité dans (Anderson, 1987, p. 127).

D'un autre point de vue, Hoffman (Hoffmann, 1999) critique le potentiel créatif de l'abduction en interprétant l'explication de l'observation constatée, fournie par l'hypothèse, en tant que preuve de sa présence préalable dans les prémisses du raisonnement. C'est une interprétation radicale de la créativité, dont la source, selon Peirce, est contenue partiellement dans les connaissances antérieures de l'observateur (cf. §2.5.3 et §2.5.5.4). Toutefois, cette critique signifie que la différenciation entre le contenu inférenciel de l'abduction, développé par l'observateur (ou concepteur), et son contenu perceptif imposé par l'observation, renforce le potentiel créatif de ce raisonnement (Hoffmann, 1999, p. 278). D'ailleurs, l'œuvre d'Anderson remplace la génération d'une hypothèse dans l'étude de la création et la créativité artistique, et répond aux critiques négatives du potentiel créatif de l'abduction (Anderson, 1987).

2.5.5.3 L'originalité

La qualification d'une hypothèse n'est pas absolument binaire, vrai ou fausse, acceptable ou inacceptable. Elle s'adapte à la granularité des composantes de cette hypothèse. Pour juger le statut génératif d'une abduction, Peirce identifie 5 *degrés* d'originalité, par ordre décroissant (Anderson, 1987, p. 45) :

1. « Montrer pour la première fois qu'un certain élément, bien que vaguement caractérisé, soit un élément qui doit être reconnu comme distinct par rapport à d'autres éléments ».
2. « Montrer que cet élément ou celui-là n'est pas requis ».
3. « Conférer une distinction, – une distinction opérationnelle et pragmatique, à des concepts déjà reconnus ».
4. « Construire un système qui éclaire la vérité ».
5. « Critiquer illuminativement et originalement les œuvres des autres ».

L'utilisation des verbes d'actions dans ces degrés dénote leur caractère opératoire dans la sélection d'une hypothèse. Par rapport aux problèmes de la conception architecturale, les degrés pertinent sont les trois premiers et particulièrement la tête de la liste. L'originalité en conception architecturale nous invite à adresser son corrélat, la nouveauté.

2.5.5.4 La nouveauté

« L'abduction est le processus de formation d'une hypothèse explicative. C'est la seule opération logique qui introduit [dans le raisonnement] une toute nouvelle idée » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.717).

La nouveauté, telle que perçue par Peirce, consiste en une « re-représentation » d'un phénomène étudié plutôt qu'une invention de la représentation de ce phénomène. Il identifie deux modes opératoires de la nouveauté abductive (Anderson, 1987, p. 47-48) :

La réorganisation combinatoire. Une combinaison est produite à partir d'un ensemble d'éléments existants et connus, sous condition qu'elle n'ait pas été concrétisée auparavant. L'organisation utilise les relations présentes entre les éléments mais elle est, par elle-même, une nouvelle combinaison.

La création de concepts. Cette création introduit une idée entièrement nouvelle dans l'ensemble des connaissances actuelles. Malgré son insistance sur l'apport créatif de l'abduction, Peirce conserve le caractère mnémonique (cf. §2.5.3) et nuance ses propos sur la radicalité de la nouveauté abductive ; pour lui l'inférence « est une nouvelle expérience qui implique quelque chose d'ancien et quelque chose jusque là inconnu » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 7.536).

Pour Peirce, la médiation est nécessaire à la nouveauté abductive (Anderson, 1987, p. 38) ; le terme médiation est pris dans son acception la plus large. Mitchell (Mitchell, 1977, p. 59) évoque le refus de Lady Lovelace d'accorder à un système informatique une puissance innovatrice et surprenante, du fait que la présence à l'esprit d'une information s'accompagne immédiatement de toutes ses conséquences. Il oppose à cette négation l'argument d'Alan Turing qui démontre la fausseté de l'immédiateté et qui assure, à la représentation numérique, une complexité générative à travers les interactions des procédures de composition et les contraintes de validation des hypothèses aussi bien que la cardinalité du corps de connaissances représentées dans ce système.

2.5.6 Conclusion du développement de l'abduction

L'abduction est une inférence simultanément complémentaire et distincte de la déduction et de l'induction. Elle constitue une dialogique entre la production d'une hypothèse et sa validation, et synthétise une nouvelle relation entre une information donnée et un corps de connaissances existant. La complexité de son fonctionnement est mise en évidence par ses liens avec la conservation mnémorique des expériences passées, la subjectivité du concepteur, sa dépendance contextuelle et sa capacité générative.

2.6 L'abduction en intelligence artificielle

Après avoir mis en évidence, dans les sections précédentes, les formes logiques de l'abduction, sa dynamique interne et ses caractéristiques, cette section discute de sa modélisation numérique symbolique en intelligence artificielle (IA).

Peirce anticipe en 1887 la computation actuelle des processus en étudiant les *machines logiques* (Burks, 1946, p. 304-305). L'étude de l'abduction accompagne l'intelligence artificielle depuis ses débuts : (Morgan, 1971) propose un système général de règles de production, basé sur la logique des prédicats et met en évidence un aspect rétro-déductif de la génération des hypothèses. Dans le contexte du diagnostic médical, on différencie rétro-déduction d'abduction par rapport à la validité de l'hypothèse (Pople, 1973) : la première inférence permet de la vérifier et par conséquent de décider de son acceptation et la deuxième établit les conditions de cette validité.

Les applications abductives couvrent plusieurs domaines parmi lesquels le diagnostic médical, le raisonnement non monotone, la représentation de l'incertitude, la reconnaissance d'images, la compréhension du langage naturel, la conception, la planification, la résolution de problème et la gestion de bases de données. Le texte qui suit examine quelques exemples représentatifs de la recherche dans ces domaines et distingue cinq approches de l'abduction :

- l'approche possibiliste (Gebhart et Kruse, 1995) et (Dubois et Prade, 1992) ;
- l'approche probabiliste, par exemple (Dubois et al., 2007, Pearl et Russell, 2003), ainsi que (Poole, 1993) et (Charniak et Shimony, 1994) ;
- l'approche pondérée, par exemple (Hobbs, 2001) et (Hobbs et al., 1993) ;
- l'approche ensembliste (Bylander et al., 1991) et (Peng et Reggia, 1990) ;

- l'approche logique (Hermann et Pichler, 2008, Prendinger et Ishizuka, 2005), ainsi que (Inoue et Sakama, 2002) et (Flach et Kakas, 2000).

La catégorisation proposée a pour objectif de faciliter la présentation ; certaines applications pouvant être classées simultanément sous plus d'une catégorie. D'une façon générale, toutes les approches s'accordent sur une représentation générique de l'abduction : ayant une observation à intégrer dans une connaissance préalable, élaborer une conjecture qui relie les deux. Cette conjecture doit être consistante avec la connaissance et non évidente par rapport à l'intégration de l'observation.

2.6.1 La comparaison des approches abductives

Pour synthétiser et comprendre le « paysage » abductif en IA et comparer ses composantes (approches et applications), cette section applique, sur les approches choisies, une grille de lecture de quatre critères. Cette grille se décompose en sous-critères plus détaillés ; cet usage se fait selon la nécessité correspondant à chaque approche :

1. Les opérations et les conditions heuristiques appliquées, les règles de production et de sélection des hypothèses et leurs interactions. Les sous-critères sont o , qui définit la capacité de l'hypothèse produite à résoudre toutes les données de l'observation donnée (le problème posé) et n qui dénote la résolution d'une partie de ces données.
2. La généralité des hypothèses produites et leur autonomie par rapport au contexte et aux connaissances antérieures, en plus de l'anticipation de la résolution de problèmes ultérieurs. Ses sous-critères sont la dépendance, qui reflète une adaptation du modèle numérique à un domaine autre que celui utilisé pour son élaboration et l'indépendance qui est son opposée et désigne la flexibilité de ce modèle.
3. La monotonie inférencielle des solutions abductives et leur adéquation par rapport aux problèmes cibles. Elle se subdivise en deux sous-critères : la contradiction qui définit la possibilité de détecter les erreurs à plusieurs moments pertinents du raisonnement, et l'annulation qui facilite le retrait d'une hypothèse jugée inacceptable, temporairement ou définitivement, sans affecter la progression de l'inférence.
4. La formalisation des connaissances représentées, et leur représentativité du domaine sur lequel porte l'abduction. Les sous-critères sont : l'exhaustivité qui désigne la capacité du modèle utilisé à résoudre tous les problèmes de ce domaine et la compatibilité qui représente la possibilité qu'une partie de l'hypothèse puisse répondre à plusieurs données de l'observation.

2.6.2 L'approche possibiliste

L'approche possibiliste caractérise l'influence des connaissances de l'observateur sur le raisonnement abductif. Les degrés de confiance assignés par l'observateur à un ensemble d'énoncés y imposent un ordre et affectent par conséquent le choix de la solution au problème posé. Les paragraphes suivants explorent uniquement les modèles de base en théorie des possibilités et leurs applications à l'abduction. Cette approche est développée en détail à la Section §5.3.1.

2.6.2.1 Le modèle relationnel possibiliste

Le modèle relationnel quantifie le rapport vague entre cause et effet. Soit un ensemble O d'observations o_1, o_2, \dots, o_n qui peuvent avoir comme causes un ensemble H d'hypothèses h_1, h_2, \dots, h_m (cf. Figure. 2.4). À cette figure, le lien entre une hypothèse et une observation est désignée par un couple (h_i, o_j) qui peut avoir une valeur dans l'intervalle $[0, 1]$. Cette valeur représente la mesure dans laquelle une hypothèse est reliée à une observation ; elle dénote, en effet, l'incertitude que possède un observateur sur le lien entre hypothèse et observation. L'ensemble de ces couples est une relation floue R (cases foncées dans la Figure 2.4) ; c'est un sous-ensemble du produit cartésien $H \times O$. L'absence d'une valeur (ou la valeur 0) dans une case de la figure, indique le manque d'un lien entre l'hypothèse et l'observation (pour cette case). Les valeurs propres aux observations sont aussi définies sur un domaine $[0, 1]$. Dans le cas général, une relation floue est représentée par un sous ensemble du produit cartésien $2^H \times O$, si la conjonction des hypothèses est essentielle pour les observations.

Dans cette approche relationnelle, le problème est d'identifier, pour un ensemble d'observations données O , l'ensemble d'hypothèses $H' \subseteq H$ qui les a causées. H' doit être consistant avec R ; H' ne contredit pas R . Les hypothèses sont considérées indépendantes les unes par rapport aux autres et la relation floue représente toutes les connaissances des domaines de H et O . L'identification de cet ensemble se fait par la solution de l'équation suivante où la forme $\mu_F(x)$ représente le degré de possibilité d'appartenance d'une variable x à un ensemble F (Dubois et Prade, 1992, p. 4) :

$$\max_i [\min(\mu_{H'}(h_i), \mu_R(h_i, o_j)) = \mu_O(o)], \quad \forall j \wedge \forall i \quad (2.6)$$

Dans cette équation, $\mu_{H'}(h_i)$ désigne le degré de possibilité de l'hypothèse élémentaire h_i dans l'hypothèse finale H' . Autrement dit, dans quelle mesure h_i participe à l'élaboration de H' . $\mu_{H'}(h_i, o_j)$ représente le degré de possibilité du lien entre une hypothèse h_i et une

observation o_j , *min* et *max* calculent respectivement le minimum et le maximum de deux ou de plusieurs degrés de possibilités.

		observations				
		o_1	o_2	o_3	o_4	o_5
hypothèses	h_1	$h_1 o_1$			$h_1 o_4$	$h_1 o_5$
	h_2	$h_2 o_1$	$h_2 o_3$		$h_2 o_4$	
	h_3		$h_3 o_3$			
	h_4	$h_4 o_1$			$h_4 o_5$	

FIG. 2.4 – Exemple d'une relation floue

Dans le cas où cette équation possède plusieurs solutions, leurs minimalités respectives servent à en choisir la plus acceptable (Dubois et Prade, 1992, p. 5). Un cas problématique se présente quand l'équation n'a pas de solution. Dans ce cas, et d'un point de vue pratique, il faut réduire la cardinalité de O , c'est-à-dire trouver les hypothèses qui produiraient un sous-ensemble de O . Cette réduction peut résulter du choix des observations les plus importantes ou de la recherche du nombre maximal d'observation que H' pourrait causer.

2.6.2.2 Le modèle conditionnel possibiliste

Ce modèle quantifie la relation entre une observation et sa cause hypothétique. Il s'agit d'identifier le degré de possibilité $\Pi(h | o)$ pour que h fasse partie de l'hypothèse H , étant donné le degré de possibilité de $o \in O$. La version possibiliste du théorème de Bayes (cf. §) calcule le degré recherché :

$$\min(\Pi(h | o), \Pi(o)) = \min(\Pi(o | h), \Pi(h)) \text{ ou son équivalent} \quad (2.7)$$

$$\Pi(h | o) = \frac{\Pi(o | h) \times \Pi(h)}{\Pi(o)} \quad (2.8)$$

et nous obtenons deux solutions (Dubois et Prade, 1992, p. 7) :

$$\Pi(h | o) = \min(\Pi(o | h), \Pi(o)) \quad (2.9)$$

$$\text{si } \min(\Pi(o | h), \Pi(o)) < \min(\Pi(o | \neg h), \Pi(\neg h)) \quad (2.10)$$

$$\Pi(h | o) = 1 \text{ dans les autres cas} \quad (2.11)$$

L'aspect qualitatif du modèle conditionnel possibiliste induit deux limitations inférencielles :

- l'impossibilité de changer un degré constitué a priori et qui est fortement accepté ;
- l'aboutissement de l'inférence n'est pas assuré si une même observation y est introduite de façon récurrente.

La règle de conditionnement de Dempster justifie le dépassement de ces limitations et le calcul du degré recherché résulte de la solution de l'équation (Dubois et Prade, 1992, p. 8) :

$$\Pi(h | o) = \min\left(1, \frac{\Pi(o | h) \times \Pi(h)}{\Pi(o | \neg h) \times \Pi(\neg h)}\right) \quad (2.12)$$

Les opérateurs du modèle conditionnel possibiliste sont discutés en détail dans §2.7.

2.6.2.3 Le modèle logique possibiliste

En considérant les ensembles d'observations et d'hypothèses utilisés précédemment et un corps de connaissances T du domaine des observations, le modèle logique possibiliste identifie une conjonction minimale C d'hypothèses justifiant la vérité des observations. La minimalité d'une conjonction désigne son inclusion ensembliste dans d'autres conjonctions, et par conséquent cette conjonction peut représenter l'ensemble des hypothèses le plus spécifique et le plus restreint pour une observation donnée. La logique possibiliste quantifie le choix d'une conjonction minimale C par la limite inférieure α de sa mesure de nécessité $N(C)$ (cf. §5.3.3) : $N(C) \geq \alpha$ avec $0 < \alpha \leq 1$ et $\alpha \in \{\alpha, \beta, \dots\}$ = un ensemble des degrés de nécessité. L'affectation de la limite inférieure devient ainsi une pondération de la conjonction. Dans le simple cas d'une seule hypothèse h et d'une seule observation o , h est une explication (justification, cause) de o , si en ajoutant h à T nous obtenons $N(o) \geq \alpha$. Pour identifier une hypothèse, l'inférence logique doit vérifier la formule suivante (Dubois et Prade, 2004, p. 4) :

$$N(h) \geq \beta \text{ et } N(\neg h \vee o) \geq \alpha \Rightarrow N(o) \geq \min(\beta, \alpha) \quad (2.13)$$

Cette implication signifie que le degré de nécessité rattaché à une conclusion $N(o)$ doit être le plus petit parmi les degrés rattachés aux prémisses utilisées dans l'inférence. Dans le cas général où l'inférence traite plusieurs observations, on a pour toutes les hypothèses contenues dans une conjonction :

$$\forall i, N(h_i) \geq \beta_i \text{ et } N(\neg h_i \vee o_j) \geq \alpha_{ij} \Rightarrow N(o_j) \geq \max_{i=1,n} \min(\beta_i, \alpha_{ij}) \quad (2.14)$$

L'ordre introduit sur les hypothèses par les pondérations calculées est plus important que les valeurs précises de ces dernières. En comparant les hypothèses ordonnées, le modèle élimine celles qui sont faiblement utiles ou trop incertaines. De plus, ce modèle représente simultanément, dans une inférence, la propagation de l'incertitude et ses causes (Benferhat et al., 1993, p. 5).

2.6.3 L'approche probabiliste

Les réseaux bayésiens de croyance (*bayesian belief networks*) sont un modèle répandu pour la représentation probabiliste de l'abduction, par exemple (Pearl et Russell, 2003), (Pearl, 1988) et (Darwiche et Provan, 1997). Un réseau de croyance est un graphe orienté acyclique, composé par des nœuds qui représentent chacun un énoncé (une proposition ou une variable) et qui peuvent contenir une probabilité antérieure, et des arcs pondérés qui désignent la dépendance entre deux nœuds (cf. Figure. 2.5). Cette dépendance est calculée par une probabilité conditionnelle en considérant tous les parents du nœud concerné (cf. Équation 2.15). L'absence d'un arc entre deux nœuds indique le manque d'influence causale directe entre eux. Les énoncés sont exhaustifs (ils couvrent toute la connaissance disponible dans une situation donnée) et mutuellement exclusifs (l'occurrence d'un événement lié à un nœud exclut celle d'un autre). Un réseau de croyance décrit la connaissance causale d'une situation donnée. Les chemins du réseau ne représentent ni le processus d'inférence ni le flux informationnel appliqués à cette situation. À noter qu'une des premières applications des probabilités bayésiennes en conception architecturale remonte à March (March, 1976, p. 22-28).

L'abduction dans un réseau bayésien se fait par la propagation des probabilités pour effectuer une révision des croyances (*belief revision*). Cette propagation se déroule en trois étapes :

1. Ayant une observation à expliquer, un certain nombre de nœuds reçoit les probabilités disponibles à partir d'un ensemble de données qui décrivent cette observation ; c'est *l'affectation partielle*. Donc, un nœud affecté représente un énoncé ayant un degré de probabilité sur l'observation. L'affectation est dite *complète* si les probabilités couvrent tous les nœuds du réseau.
2. Pour produire une hypothèse explicative de l'observation, la révision des croyances est un algorithme qui parcourt le réseau, identifie les parents des nœuds de l'observation, et calcule l'affectation complète la plus probable du réseau tout en préservant la consistance avec l'observation. Une affectation totale est consistante si elle ne modifie pas les probabilités assignées par une affectation partielle précédente.
3. L'ensemble des nœuds parents identifiés de cette façon et affecté de leurs probabilités respectives constitue une hypothèse probable. Dans le cas où la révision produit

plusieurs hypothèses acceptables, l'algorithme choisit celle qui est la plus probable.

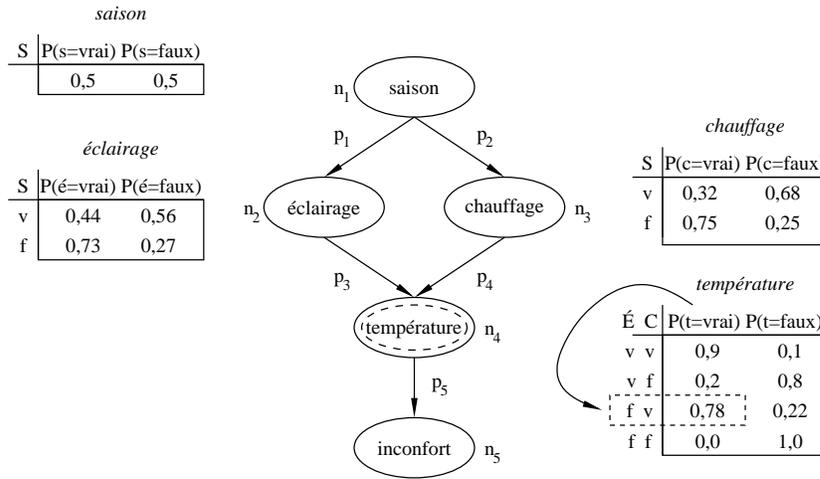


FIG. 2.5 – Un réseau de croyance

Aussi, dans le cas où n est un nœud et $P(n)$ sa probabilité, a son parent et $P(a)$ sa probabilité, la probabilité conditionnelle de a après avoir constaté n est définie par $P(a | n)$:

$$P(a | n) = \frac{P(a \wedge n)}{P(n)} \tag{2.15}$$

Sachant que $P(a \wedge n)$ désigne la probabilité que a et n aient lieu ensemble, nous avons $P(a \wedge n) = P(n | a) \times P(a)$ et en la remplaçant dans l'équation 2.15, nous obtenons le théorème de Bayes qui généralise les probabilités conditionnelles et constitue le fondement de la révision des croyances dans les réseaux bayésiens :

$$P(a | n) = \frac{P(n | a) \times P(a)}{P(n)} \tag{2.16}$$

Dans le cas où le nœud n a un nombre k de parents a_i , la probabilité conditionnelle d'un parent a_x par rapport à ce nœud est

$$P(a_x | n) = \frac{P(n | a_x) \times P(a_x)}{\sum_{i=1}^k [P(a_i) \times P(n | a_i)]} \tag{2.17}$$

Ce théorème est traduit en une forme plus descriptive (cf. Équation 2.18) par une correspondance de terme à terme avec l'équation 2.16. Dans cette forme, la croyance révisée à calculer

est appelée *probabilité postérieure*, la croyance initiale contenue dans un nœud avant la révision est appelée *probabilité antérieure* (parfois probabilité marginale, préalable ou a-priori), la probabilité du parent du nœud est désignée par l'*évidence* (ou marginale), la *vraisemblance* est la probabilité connue du nœud par rapport à la probabilité antérieure du parent :

$$postérieure = \frac{vraisemblance \times préalable}{évidence} \quad (2.18)$$

En somme, l'approche probabiliste de l'abduction formalise le rapport entre l'observation et l'hypothèse par une dépendance conditionnelle. Dans le cas où o est une observation et h une hypothèse, cette approche traduit la relation « si h alors o » (cf. §2.3.2) en une probabilité P calculée par le théorème de Bayes, quantifiant de la sorte la validité de h ayant constaté o . Par un exemple simplifié, le confort d'un bâtiment donné est étudié par une description des relations causales qui y agissent (cf. Figure. 2.5). La saison n_1 (ensoleillé ou nuageux) affecte l'éclairage électrique n_2 (lampes allumées ou éteintes) aussi bien que l'utilisation du chauffage mécanique n_3 (en état de fonctionnement ou en arrêt). L'éclairage et le chauffage agissent sur la température interne n_4 du bâtiment (hausse ou baisse), dont dépend le confort thermique n_5 (ambiance confortable ou désagréable). Chaque tableau de la Figure 2.5 correspond à la probabilité conditionnelle d'un nœud (la pondération de sa relation avec ses parents) excepté pour le confort qui n'en a pas. Le tableau du nœud saison représente la probabilité antérieure et non la probabilité conditionnelle ; ce nœud n'ayant pas de parents. Les constantes booléennes $vrai = v = 1$ et $faux = f = 0$ représentent la probabilité antérieure de chaque nœud. Par exemple, la probabilité qu'il y ait une hausse de température ($t = vrai$) ayant observé que l'éclairage est éteint ($é = faux$) et le chauffage fonctionne ($c = vrai$), est 0,78, encadrée dans le tableau de la température (cf. Figure. 2.5).

Un usager du bâtiment ressent un inconfort thermique ; deux causes sont probables : l'éclairage ($é = vrai$) ou le chauffage ($c = vrai$) ; il faut donc identifier laquelle est plus probable. Autrement dit et en utilisant l'Équation 2.17, calculer $P(é = vrai, c = faux | t = vrai)$ et $P(é = faux, c = vrai | t = vrai)$ et choisir la plus probable des deux.

L'abduction dans les réseaux bayésiens s'appuie sur la causalité comme principe structurant de la connaissance du domaine étudié. Cet aspect causal confère à la représentation une stabilité par rapport au phénomène étudié et une convergence garantie vers une solution (Weiss et Freeman, 2001). Alors la relation entre deux nœuds parent-enfant se modifie localement dans le réseau tout en conservant la cohérence globale du modèle, ce qui facilite son application dans des contextes différents. De plus, l'utilisation de ce type de réseaux explicite les structures internes des phénomènes observés (Brand, 1999).

Un problème d'expressivité de ces réseaux concerne la représentation des processus d'inférence. Les postulats de l'exhaustivité et de l'exclusivité ne modélisent pas fidèlement certains phénomènes réels, dont les composantes sont fortement reliées et parfois incomplètes. De plus, l'interaction entre les données et la complexité du calcul quand le nombre de nœuds du réseau est élevé, peuvent rendre l'abduction bayésienne difficile et coûteuse, et l'algorithme est NP-complet. En effet, pour calculer la probabilité entre deux nœuds, toutes les probabilités des nœuds qui en dépendent, en amont et en aval, doivent aussi être calculées. Un autre problème concerne la pertinence des probabilités antérieures, essentielles pour ce type de réseaux. La qualité de l'inférence dépend critiqueusement de la distribution de ces probabilités, de leur représentation statistique et surtout de la fiabilité de leur source. Plusieurs développements récents tentent de combler certaines des lacunes des réseaux bayésiens. Par exemple, la propagation de la croyance bénéficie de la flouisation du paramètre affecté à la probabilité d'un nœud donné (Li et Kao, 2005). En effet, cette flouisation facilite l'introduction de nouvelles contraintes sur les domaines des valeurs des probabilités. D'ailleurs, l'obtention d'une probabilité préalable demeure un problème actuel. Il est possible d'utiliser les réseaux bayésiens sans recours direct à cette probabilité, en utilisant une fonction de vraisemblance maximale basée sur la théorie de l'événement conditionnel (Dubois et al., 2007).

2.6.4 L'approche pondérée

À l'instar des approches possibiliste et probabiliste, l'approche pondérée applique un jugement de plausibilité sur les hypothèses produites. La structure générale de l'inférence est un graphe causal reliant des antécédents à des conséquences ou des règles à leurs propositions dérivées. Globalement, l'inférence correspond à un parcours de ce graphe et la composition de l'hypothèse à un chaînage arrière (*backward chaining*).

2.6.4.1 TACITUS (THE ABDUCTIVE COMMONSENSE INFERENCE TEXT UNDERSTANDING SYSTEM) (1986)

TACITUS est un système d'interprétation du langage naturel à partir de textes. Muni d'une base de connaissances de la grammaire de la langue anglaise, il analyse la syntaxe d'un texte donné et l'interprète par des expressions dans la logique des prédicats du premier ordre (Hobbs et al., 1993, Hobbs, 1986). L'interprétation d'une phrase revient à prouver logiquement la cohérence de son expression logique correspondante, en tenant compte de ses contraintes, en réduisant les redondances et en ajoutant d'autres hypothèses au besoin (Hobbs et al., 1993, p. 69-70). Puisqu'il est fréquent d'avoir, dans le langage naturel, des ambiguïtés et des références implicites entre les objets du discours et leurs relations, l'abduction

dans TACITUS réduit l'incertitude en identifiant la structure syntaxique de ces objets et leurs relations pour assurer la cohérence de l'interprétation inférée. Le système contient trois modules :

Le module de l'analyse de syntaxe et la traduction sémantique. Il contient les règles grammaticales de la langue anglaise. Ce module produit une expression logique du texte donné, sans référence au contexte ou à une connaissance extérieure. Par exemple : « le bureau de Boston a appelé » (Hobbs et al., 1993, p. 73) génère l'expression logique suivante constituée par des propositions élémentaires

$$(\exists x, y, z, e) \text{appel}(e, x) \wedge \text{personne}(x) \wedge \text{relation}(x, y) \quad (2.19)$$

$$\wedge \text{bureau}(y) \wedge \text{Boston}(z) \wedge \text{nn}(z, y) \quad (2.20)$$

- autrement dit, il y a un événement d'appel e par x où x est une personne. x peut être ou non le sujet explicite de la phrase, il y est relié par $\text{relation}(x, y)$. y est un bureau et il est en relation indéterminée nn avec z qui désigne Boston.
- dans cet exemple l'hypothèse à produire est l'identité de la personne qui a appelé de Boston.

Le module pragmatique. Il reçoit l'expression logique et produit, à partir d'une base de connaissance, les antécédents de chaque proposition élémentaire, nécessaires à son interprétation. Dans cette base, les antécédents sont organisées en axiomes selon la forme $P \Rightarrow Q$, où P est l'antécédent et Q la proposition élémentaire (nous développons plus loin cette forme). Ce module construit un graphe de preuve où les antécédents de chaque proposition élémentaire sont reliés par un chemin (Figure. 2.6) et ajoute à l'expression logique les contraintes inférencielles utilisées dans l'extraction des antécédents. De plus, il affecte à chaque proposition élémentaire un *coût* qui reflète sa plausibilité par rapport à l'interprétation globale de l'expression logique. Dans l'exemple choisi, les axiomes appartiennent à la grammaire du langage naturel (ici, l'anglais) et sont :

- il y a une ville qui s'appelle Boston : $\text{Boston}(B)$;
- il y a un bureau à Boston : $\text{bureau}(O) \wedge (O, B)$;
- John est une personne qui travaille au bureau : $\text{personne}(J) \wedge \text{travaille} - \text{pour}(J, O)$;
- la relation « à » peut être traduite par un group nominal : si y se trouve à z , il est possible qu'il y ait une relation entre eux : $\hat{a}(y, z) \Rightarrow \text{nn}(z, y)$;
- une personne qui travaille pour une organisation est en relation avec cette organisation : $\text{travaille} - \text{pour}(x, y) \Rightarrow \text{relation}(x, y)$;

Dans ce module, les axiomes sont représentés par une expression logique (clause de Horn) :

$$P_1^{w_1}, P_2^{w_2}, \dots, P_n^{w_n} \Rightarrow Q^c \quad (2.21)$$

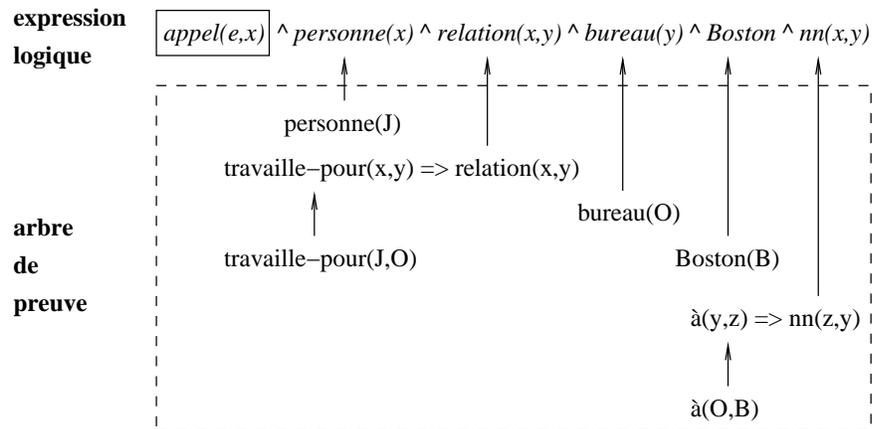


FIG. 2.6 – La preuve dans TACITUS adaptée de (Hobbs et al., 1993).

où P désigne un antécédent, w la pondération ou le poids de P , avec $0 < w \leq 1$. La pondération mesure la participation de P dans l'interprétation de la proposition élémentaire Q ; c représente le coût de production de cette explication partielle. TACITUS utilise le chaînage arrière pour retracer les antécédents de chaque proposition et pour calculer l'impact de l'adoption de chaque antécédent dans l'explication de cette proposition. Par exemple, pour $P_1^{w_1}$, son impact est $w_1 \cdot c$ et pour $P_2^{w_2}$, $w_2 \cdot c$. À leur tour, les antécédents peuvent être interprétés de la même manière et la pondération se propage dans l'arbre de la preuve (cf. Figure 2.6).

Le module pragmatique utilise une autre forme de proposition pour représenter l'incertitude dans ce système : la proposition « Et Cetera » (Hobbs et al., 1993, p. 83). Le chaînage arrière qui parcourt la base de connaissances pourrait rencontrer des incomplétudes dues à l'aspect non monotone de l'inférence abductive. La proposition *etc* circonscrit cette incomplétude et lui assigne un coût sans l'éliminer de la base de connaissances. L'intérêt de cette circonscription est de pouvoir y revenir dans une étape ultérieure et la compléter.

Le gestionnaire des tâches. Enfin, le gestionnaire des tâches produit l'interprétation finale du texte à partir de l'expression élaborée dans la base pragmatique. Celle-ci ayant déjà extrait et organisé toutes les informations nécessaires à ce module. Dans le cas de notre exemple, cette interprétation pourrait être le nom de la personne qui a appelé. Le gestionnaire compare et sélectionne les hypothèses les plus plausibles d'après leurs coûts respectifs. Le coût d'une hypothèse résulte de la somme de tous les coûts des propositions utilisées dans sa preuve. La meilleure hypothèse est la moins coûteuse.

L'interprétation dans TACITUS infère les antécédents qui impliquent la forme logique et non ses conséquences. Dans ce cas, l'interprétation est une « preuve » abductive de sa cohérence. Ce système dépend fortement de l'organisation ontologique de la base de connaissances –

la grammaire étant supposée complète. Cette dépendance met numériquement en évidence l'importance de la pragmatique dans l'interprétation d'un texte ou d'un discours, et dans l'abduction en général. La notion de pondération des axiomes s'apparente plus à la notion de possibilité au sens de la théorie des possibilités de Zadeh, qu'à la notion de probabilité. Les applications de ce système se trouvent spécialement dans les domaines linguistiques (compréhension de texte, reconstitution de documents) (Horn et Ward, 2001) et aussi dans le contrôle industriel, la gestion des bases de données et messageries et le diagnostic médical (Hobbs, 2001).

2.6.5 L'approche logique

L'approche logique repose sur deux paradigmes : le raisonnement non monotone et la résolution de problèmes (*problem solving*). Un système de raisonnement est dit monotone s'il déduit des connaissances vraies à partir d'une base de connaissances valide et si l'ajout de nouvelles informations à cette base ne modifie pas la vérité des connaissances déduites ; le nombre des assertions vraies augmente avec la croissance des connaissances utilisées. Toutefois, dans certaines applications pratiques, le système doit traiter des problèmes contenant des connaissances incomplètes, contradictoires et changeantes qui affectent le résultat de l'inférence. Le raisonnement non monotone pallie ces problèmes par le traitement des connaissances plausibles et des croyances hypothétiques, ainsi que le maintien de la consistance de la base de connaissances et des inférences produites, par le retrait des inférences qui ne sont plus vraies. Par définition, une inférence est consistante avec une base de donnée si elle ne contredit pas les connaissances qui y sont contenues.

La résolution de problèmes (*problem solving*) désigne une approche de la production d'un ensemble de moyens pour atteindre un objectif (Newell et Simon, 1972). Deux notions principales caractérisent cette approche (Newell et al., 1967, p. 65-75) :

- l'espace du problème qui est composé par un ensemble d'états hiérarchisés contenant les connaissances du domaine (objets, situations, propriétés, événements, etc.) ;
- l'heuristique qui contient :
 - un ensemble d'opérations de production d'un nouvel état à partir d'un état initial, transformant par conséquent l'espace du problème ;
 - un ensemble de procédures de vérification qui comparent un état donné, constituant *hypothétiquement* une partie de la solution, à une description de celle-ci, qui différencient deux états de connaissances donnés et qui réduisent l'écart informationnel entre deux états ;
 - un ensemble de procédures de contrôle pour sélectionner les opérations de produc-

tion et de vérification à appliquer.

La résolution devient de cette manière une recherche et un parcours, dans l'espace des problèmes du domaine concerné, à partir d'un état initial (la donnée du problème) vers un état final (la spécification de la solution). L'heuristique oriente le parcours par une réduction graduelle de la différence informationnelle entre l'état courant de l'inférence et la spécification. Plus l'espace du problème est grand, plus l'efficacité de la recherche devient critique.

2.6.5.1 TRUTH MAINTENANCE SYSTEM (TMS) (1979)

Le *Truth Maintenance System* (TMS) adapte le paradigme de résolution de problème au raisonnement non monotone (Doyle, 1979). Dans ce qui suit, les termes « solution » et « hypothèse » sont utilisées indifféremment. Ce système constitue un des deux modules nécessaires à un solveur de problèmes non monotones (Forbus et De Kleer, 1993) (cf. Figure. 2.7) :

Un moteur d'inférence. Il contient la base de connaissances et les procédures d'inférence.

Il produit les hypothèses et les justifications de leurs productions et les envoie au TMS.

Il reconnaît les inconsistances indiquées par le TMS et modifie par conséquent ses connaissances.

Un système de maintenance. Il reçoit et vérifie les inférences produites par le moteur, détermine leurs degrés de validité (croyances), conserve et maintient leurs justifications, et indique au moteur la présence des contradictions et des inconsistances. Les croyances varient sur un ensemble de six degrés :

- vraie : une assertion considérée totalement acceptable par le système ;
- fausse : une assertion considérée totalement inacceptable par le système ;
- actuellement-vraie : une assertion vraie mais dont le degré de croyance pourra varier ;
- actuellement-fausse : une assertion fausse mais dont le degré de croyance pourra varier ;
- acceptée : une assertion dont le degré de croyance est obtenu à partir d'autres inférences ;
- indifférente : l'état de la assertion considérée n'affecte pas le raisonnement ultérieur du système.

Les variantes du TMS s'adaptent à des tâches spécifiques dans un domaine particulier de connaissances : le *Justification-based TMS* (JTMS) où l'accent est mis sur la gestion des conséquences de assertions, *Logic-based TMS* qui reconnaît la sémantique des propositions utilisées dans l'inférence (Shapiro, 1998), le *Fuzzy Logic-based TMS* qui utilise la logique

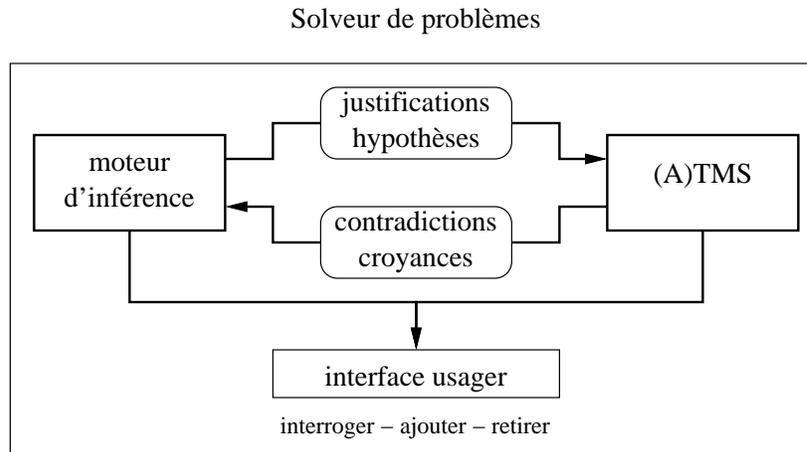


FIG. 2.7 – L'architecture d'un système TMS

floue pour gérer les données vagues et imprécises (Mohamed et al., 1996) et le *Possibilistic ATMS* qui adapte la logique possibiliste au raisonnement abductif (Benferhat et al., 1993). Pour étudier les caractéristiques générales de ces classes, nous choisissons le cas représentatif du système : *Assumption-based TMS*.

2.6.5.2 ASSUMPTION-BASED TRUTH MAINTENANCE SYSTEM (ATMS) (1986)

Un ATMS aide un solveur de problème à explorer et à comparer plusieurs contextes de résolution pour valider, justifier et décider de l'acceptation d'une solution à un problème donné (DeKleer, 1986a, DeKleer, 1986b, DeKleer, 1986c). Ce modèle a une structure en graphe où les nœuds représentent un fait donné, une condition ou une règle d'utilisation d'une certaine information. Nous établissons un nombre de définitions pour faciliter la description du fonctionnement de ce système (cf. Figure. 2.8) :

Une assertion (*assumption*). Elle désigne une proposition (ou énoncé) fournie *a priori* au système, dont il peut inférer d'autres assertions.

Un nœud. Il représente une assertion reçue du moteur. Chaque nœud possède deux états possibles : présentement admissible (*in*) ou présentement inadmissible (*out*). De plus, il contient ses justifications et ses conséquences, un degré de croyance.

Une justification. Elle décrit le processus de production d'un nœud (conséquent) à partir d'un autre (antécédent) et la dépendance entre les deux.

Un environnement. Il définit un ensemble d'assertions décrivant une partie de l'espace des solutions possibles. Autrement dit, c'est la totalité des connaissances où la partie considérée de la solution est acceptable.

Un contexte. Il contient un environnement donné et ses nœuds dérivés.

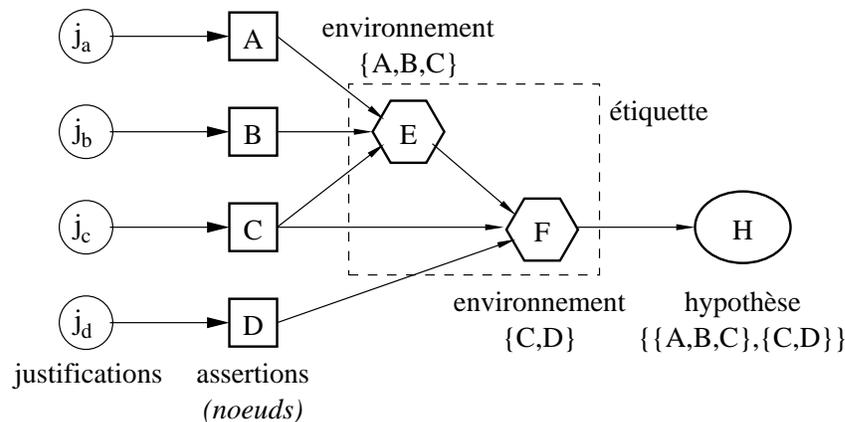


FIG. 2.8 – Le graphe de dépendance du ATMS

Une étiquette (label). Elle est attachée à un nœud du ATMS et désigne tous les environnements dont il peut être dérivé.

L'inférence dans ce type de systèmes se déroule d'une façon cyclique. Le solveur traite le problème et cherche une solution jusqu'à la rencontre d'une incomplétude de la justification de cette solution, dans la base de connaissances ; l'incomplétude empêche la continuation du traitement. Il formule une hypothèse sur la cause de l'incomplétude et l'envoie au ATMS. Ayant reçu cette hypothèse, le ATMS la décompose en ses entités élémentaires et les représente par des nœuds. Il relie chacun de ces nœuds aux justifications qui ont produit l'hypothèse et leur affecte un degré de croyance selon leurs liens. Ainsi, les causes de l'incomplétude initiale, les environnements qui justifient l'hypothèse reçue et leurs croyances sont renvoyés au moteur par le ATMS. La modification du degré de croyance pour un nœud donné, vise à amplifier le gain informationnel entre deux hypothèses et, par conséquent, se rapprocher progressivement de la description de la solution (DeKleer, 1986a, p. 142). Le raisonnement dans un ATMS se résume à l'étiquetage de tous les nœuds qui justifient l'hypothèse traitée, sous quatre conditions de cohérence :

- la consistance : aucun environnement subsumé par l'étiquette ne contient des inconsistances ;
- la robustesse : un nœud est dérivable à partir de tous les environnements de l'étiquette ;
- la complétude : l'étiquette contient tous les environnements d'où on peut dériver le nœud considéré ;
- la minimalité : un environnement dans une étiquette ne peut en contenir un autre.

Un ATMS traite plusieurs ensembles d'assertions, parfois contradictoires et incompatibles, pour une seule hypothèse tandis qu'un JTMS (cf. §2.6.5.1) ne considère qu'un seul ensemble d'assertions. Il retient, pour chaque hypothèse, les parcours inférenciels dans le graphe qui

affectent sa production. Mais il ne considère pas la sémantique de ces propositions. De plus, un ATMS représente les connaissances par la logique des propositions et sa performance sémantique dépend de son augmentation par un *Logic-based* TMS. Le système produit une hypothèse qui couvre entièrement les observations constatées. Son efficacité à manipuler des solutions complexes dépend principalement des quatre conditions de cohérence citées précédemment. Le traitement simultané de plusieurs environnements peut ralentir l'inférence.

2.6.6 L'approche ensembliste

L'approche ensembliste étudie le rapport entre problème et solution par le biais de leur décomposition selon leurs composants élémentaires et par l'application des outils de la théorie des ensembles à cette décomposition.

2.6.6.1 THEORIST (1987)

THEORIST est un environnement de raisonnement non monotone, développé en 1987 à partir du ATMS, qui a pour objectif la production d'une hypothèse explicative pour un fait observé (Poole et al., 1987). Cette approche, qui utilise la logique des prédicats du premier ordre et distingue entre l'explication d'une hypothèse et la prédiction d'une conséquence, organise l'inférence entre deux niveaux (cf. Figure.2.9). :

- l'ensemble des faits F qui représentent la connaissance du domaine qui sont considérés *a priori* comme vrais et cohérents. Dans le système, un fait est représenté par une formule fermée, avec les quantificateurs universels et existentiels, où toutes les variables sont quantifiées ;
- l'ensemble de toutes les hypothèses possibles H dont la vérité est modifiable pendant l'inférence. H' est l'ensemble des composantes élémentaires qui constituent les hypothèses. Une hypothèse est représentée par une formule ouverte contenant des variables libres.

La distinction entre ces deux niveaux conserve l'aspect non monotone de ce système et facilite la modification de la connaissance en cours de l'inférence. À la constatation d'une observation O à expliquer, THEORIST recherche et sélectionne dans H' un sous ensemble de composantes S appelé *scénario*, dont l'union consistante avec F serait une *explication* de O :

$$\begin{aligned} S &\subset H' \\ F \cup S &\models O \end{aligned}$$

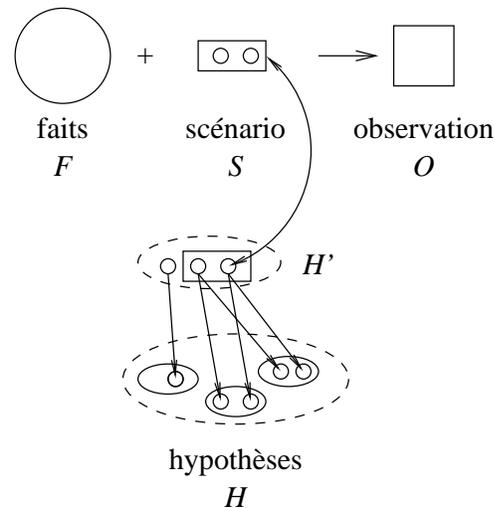


FIG. 2.9 – L'inférence dans THEORIST

$$F \cup S \neq \text{faux}$$

La formulation d'une hypothèse utilise deux stratégies :

- l'exhaustivité de H ou la génération du plus grand nombre d'hypothèse possibles (ou scénarios) dans cet ensemble. Cette stratégie élargit les ensembles H et F ;
- la minimalité de l'explication : il s'agit d'éviter les hypothèses redondantes en exigeant qu'un scénario plausible ne puisse en contenir un autre qui serait aussi plausible.

La formulation logique proposée ici s'est répandue dans plusieurs autres approches. THEORIST combine les composantes élémentaires en une hypothèse consistante mais ne génère pas de nouvelles hypothèses. La différenciation entre explication et prédiction confère une sémantique claire à son usage mais complexifie aussi le calcul, dans certains cas limites, au point de le rendre indécidable (Poole, 1989, p. 109).

2.6.6.2 PARSIMONIOUS COVERING THEORY (PCT) (1990)

Cette approche modélise les processus d'abduction utilisés dans le domaine du diagnostic médical, à partir d'un nombre d'études sur le comportement et le raisonnement pratique des experts (Peng et Reggia, 1990). Elle applique le raisonnement probabiliste bayésien à un modèle ensembliste. La base de connaissances de la PCT contient trois ensembles :

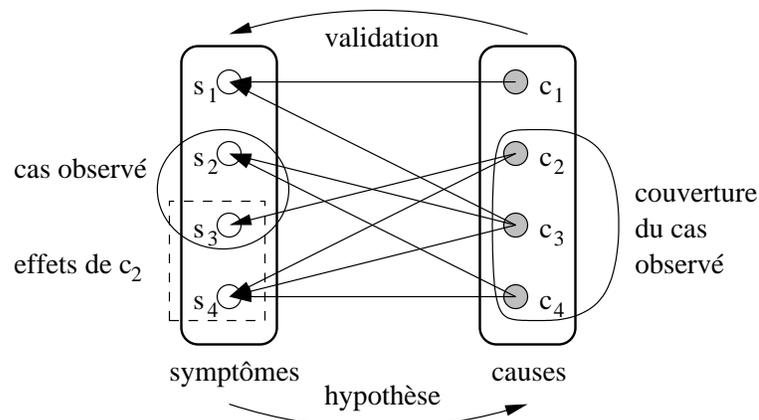


FIG. 2.10 – L'architecture de la Parsimonious covering theory

- les causes pathologiques (*disorders*) propres au domaine considéré par l'application ; cet ensemble est désigné par C ;
- les symptômes possibles (*manifestations*) qui découlent de ces causes ; S représente cet ensemble, et
- toutes les relations possibles, R , entre une cause (ou plusieurs) et un symptôme (ou plusieurs) (cf. Figure. 2.10). Une relation prend la forme $r = \langle c_i, s_j \rangle$ et signifie que c_i serait (ou seraient) la cause de s_j .

La base de connaissances est donc représentée par $\{C, S, R\}$ et les symptômes propres au cas examiné par S^* . Les symptômes s_j propres à une cause c constituent un ensemble d'effets de c (cf. Figure. 2.10). Une couverture (*cover*) ou une hypothèse h est un ensemble de causes c_i dont les effets couvrent un nombre de symptômes s_j (cf. Figure. 2.10). Dans cette théorie, la parcimonie regroupe trois critères de sélection d'une hypothèse :

- la pertinence : une hypothèse h est pertinente si S^* est inclus dans les symptômes couverts par h ;
- la minimalité : une hypothèse h de S^* est minimale si sa cardinalité est la plus petite de toutes les hypothèses possibles de S^* ;
- la redondance : une hypothèse h est non redondante si aucun de ses sous-ensembles, pris individuellement, ne peut être une couverture de S^* ; elle est redondante dans le cas contraire.

Dans un premier temps, la constatation de S^* déclenche le solveur de problèmes qui construit une hypothèse h contenant les relations qui pourraient expliquer les éléments de l'observation ; h s'ajoute à un ensemble d'hypothèses H déjà formé. Au début du diagnostic, H peut être vide. Dans un deuxième temps, la validation de H se fait à deux niveaux : atteindre une couverture (une explication) optimale, en terme de probabilité, des symptômes constatés et

une couverture parcimonieuse pour réduire cet ensemble à son strict nécessaire.

Après ce test, si l'hypothèse est jugée valable, l'inférence abductive s'arrête, sinon le cycle se boucle pour expliquer les symptômes qui n'ont pas été couverts. La sélection d'une ou plusieurs hypothèses optimales et parcimonieuses résulte d'une comparaison des degrés de probabilités affectées aux hypothèses possibles dans H . Pendant l'inférence, la cardinalité de H varie : des hypothèses sont rajoutées ou retirées, et un graphe causal se construit entre les causes et les symptômes, exprimant les informations contenues dans la base de connaissances concernant le cas observé. Plusieurs couches pourraient se créer entre les symptômes et les causes pour représenter des états intermédiaires du diagnostic et chaque couche créée contiendrait plusieurs explications pour une seule observation.

La PCT sépare la base de connaissances du moteur de résolution de problèmes aussi bien que le contrôle de l'inférence et ses algorithmes heuristiques, ce qui permet d'appliquer cette approche à différents domaines. Les observations sont indépendantes les unes des autres ; la connaissance est supposée complète mais le système détecte les incomplétudes. Malgré la nécessité ressentie par les auteurs d'avoir des structures hiérarchiques pour organiser les hypothèses, cette théorie ne tient pas compte de leurs interactions et manque d'opérations heuristiques propres au domaine étudié (Peng et Reggia, 1990, p. 263). À cela s'ajoute la complexité de la recherche dans le graphe, de l'interaction avec l'utilisateur et de la formulation des requêtes, qui croît avec la taille de la base de connaissances. Enfin, à noter l'extension récente de cette théorie par la logique floue (Massruha et al., 2003).

2.6.6.3 Le système PI (1988)

L'originalité de ce système tient à sa représentation numérique des problèmes épistémologiques au lieu des applications concrètes, tels que l'explication, la découverte scientifique, la justification et l'évaluation (Thagard, 1988). PI adapte la résolution de problèmes (cf. §2.6.5.1) à des processus inductifs (d'où l'abréviation PI, pour Processus Inductifs) en utilisant quatre types d'abduction comme stratégies heuristiques (Thagard, 1988, p. 54-61). Dans la discussion de ce système, les termes hypothèse et théorie sont utilisés comme synonymes :

L'abduction simple. Elle génère des hypothèses sur des objets connus. La nouveauté résulte de la nouvelle application d'un prédicat à un objet existant. L'exemple de l'auteur est adapté ici pour le rendre plus intuitif :

$Flotte(a)$	doit être expliqué	(pourquoi a flotte-t-il)
$SiBois(x)$	donc $Flotte(x)$	(tout ce qui est en bois flotte)

Donc hypothétiquement nous avons $Bois(a)$ (a est en bois)

L'abduction existentielle. Elle postule la présence d'entités préalablement inconnues comme cause d'une observation surprenante. L'auteur cite l'exemple du phlogistique, fluide imaginé par Georg E. Stahl (XVIIe) pour justifier la perte du poids d'un corps qui brûle (avant que Lavoisier prouve la fausseté de ce principe) :

expliquer la perte du poids d'un corps x
 si y se dégage de x *alors* x perd du poids
donc un fluide y contenu dans x s'est dégagé

L'abduction par composition de règles (*rule-forming*). Il s'agit de postuler l'existence d'une règle pour expliquer une autre règle. Ce type est une extension de l'abduction simple par l'introduction d'un moyen terme entre l'observation et l'hypothèse qui pourrait l'expliquer :

$F(a)$ connaissance donnée (a est F)
 $G(a)$ observation à expliquer (pourquoi a est G)
 si $F(a)$ est $H(a)$ *alors* $G(a)$ (F est H , règle supposée)
donc hypothétiquement tout F est H

L'abduction par analogie. Elle utilise les savoirs accumulés pour produire des hypothèses, quand il y a similarité entre le problème actuel et les expériences passées. Il est possible aussi d'appliquer les mêmes hypothèses passées mais avec des modifications (cf. §2.7.6.3). La forme de ce type peut être l'une des trois précédents.

Le système PI interprète la formulation de Peirce en plaçant la validation (ou sélection) de l'hypothèse (cf. §2.4.2) à l'extérieur de l'abduction (Thagard, 1988, p. 53). Néanmoins, PI propose trois critères pour l'évaluation d'une théorie :

1. L'universalité (*consilience*) (Thagard, 1988, p. 78,88) qui désigne la capacité explicative d'une théorie en termes de sa couverture de plusieurs domaines ou disciplines scientifiques : une théorie donnée T_1 est plus universelle qu'une autre T_2 si l'ensemble des domaines expliqués par T_1 est plus grand que celui de T_2 (Mayer et Pirri, 1996, p. 97). Cette notion est semblable à la maximalité explicative de Peirce (cf. §2.4.2). La mesure de l'universalité dépend du nombre de succès dans l'explication des observations étudiées e par rapport au nombre des observations pertinentes p :

$$\text{universalité}(H) = \frac{e}{p}$$

2. La simplicité qui, pour une hypothèse donnée, dépend des hypothèses auxiliaires dont elle a besoin pour expliquer une observation (Thagard, 1988, p. 82,89). PI introduit la notion de « co-hypothèse » pour formaliser le fait que deux (ou plusieurs) hypothèses soient créées pour expliquer une seule observation. Pour une hypothèse H , ayant le nombre des co-hypothèses c , et le nombre d'observations expliquées o , la formule suivante calcule la simplicité :

$$\text{simplicité}(H) = \frac{o - c}{o}, \quad \text{si } o \leq c, \text{ alors } \text{simplicité}(H) = 0$$

3. L'analogie (Thagard, 1988, p. 92) qui mesure la qualité explicative d'une théorie. Plus une théorie utilise des concepts déjà validés, plus sa qualité explicative croît. Cette notion peut être interprétée par la robustesse d'une hypothèse parce que ce terme est plus signifiant que l'analogie dans ce cas précis :

$$\text{robustesse}(H) = \text{simplicité}(H) * \text{universalité}(H)$$

Donc, pour obtenir la meilleure théorie (hypothèse) explicative, PI a besoin simultanément de son universalité et de sa simplicité. Les critères de sélection proposés se rapprochent de ceux énoncés par Peirce pour l'économie de la validation (cf. §2.4.2). PI reflète une originalité par l'application de l'abduction à l'épistémologie. Il assure la monotonie de l'hypothèse produite, qui peut être partielle, et contrôle l'incomplétude dans les données. Toutefois, ce système ne traite pas suffisamment les connaissances préalables pour éviter les hypothèses non plausibles (Thagard, 1988, p. 72).

2.6.6.4 Le système RED (1990)

Utilisé dans le diagnostic médical, le système RED identifie les anticorps du sang humain pour garantir la sécurité de la transfusion sanguine (Punch et al., 1990). Sa tâche principale est d'élaborer une hypothèse, en terme d'anticorps, pour expliquer certaines réactions entre un échantillon sanguin et la présence d'antigènes. Trois modules composent ce système :

Le producteur. Il examine d'abord l'échantillon fourni en utilisant une *classification hiérarchique* des anticorps. Cette hiérarchie contient les connaissances du domaine et elle est organisée du plus général au plus spécifique avec un nœud pour chaque anticorps (cf. Figure. 2.11). La détermination de la plausibilité d'un anticorps est calculée à partir de la comparaison entre l'anticorps observé dans l'échantillon et la connaissance ; ce calcul est exécuté pour tous les anticorps présents.

L'assembleur. Il reçoit du producteur la liste des anticorps observés et leurs plausibilités respectives. Ce module fonctionne sous trois conditions concurrentes :

- la couverture : l'hypothèse produite doit expliquer toutes les réactions observées en présence des antigènes ;
- la plausibilité : l'assembleur compare les hypothèses produites et en choisit la plus plausible ;
- la compatibilité : les anticorps contenus dans l'hypothèse plausible doivent être compatibles avec la connaissance médicale.

L'algorithme de l'assemblage se déroule en cinq étapes :

1. Il choisit dans l'ensemble des réactions remarquées une observation à expliquer.
2. Il identifie dans la liste donnée les anticorps plausibles dont la présence pourrait expliquer cette réaction.
3. Il assemble ces anticorps en une première hypothèse. Si plusieurs hypothèses sont produites, il en sélectionne la plus plausible.
4. Ensuite, il choisit une autre réaction et ses anticorps plausibles sont rajoutés à cette première hypothèse. En cas d'incompatibilité entre les anticorps ajoutés et les précédents, le module a deux choix : ou rejeter cette hypothèse et revenir au point 3, ou éliminer les anticorps incompatibles dans cette hypothèse tout en négligeant les réactions qu'ils expliquent.
5. Il remet à jour l'ensemble des réactions en éliminant celles qui sont expliquées par la nouvelle hypothèse, et s'il en reste encore, revenir au point 1.

Le critique. Il est déclenché uniquement si l'assembleur produit une explication complète et consistante, pour évaluer cette hypothèse et l'améliorer le cas échéant. Deux critères guident l'évaluation :

- la parcimonie : il est possible, pendant l'assemblage, que deux éléments expliquent la même observation et soient ajoutés à l'hypothèse. Le critique examine les éléments de l'hypothèse pour en éliminer les redondants tout en conservant sa complétude et sa consistance ;
- la minimalité explicative : le critique identifie les hypothèses qui sont essentielles à expliquer certaines réactions observées, et dont le manque empêcherait la complétude de l'explication. Ces hypothèses constituent donc le noyau de toute explication complète.

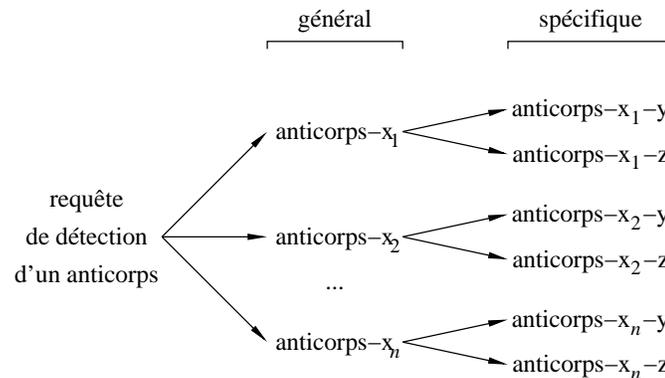


FIG. 2.11 – La classification hiérarchique de RED adaptée de (Punch et al., 1990).

Par suite, ce système conçoit la résolution d'un problème abductif, i.e. la production d'une hypothèse, en terme de *tâches génériques* (Josephson et Josephson, 1994, p. 53). RED décompose l'objectif à atteindre en plusieurs tâches, par exemple la classification hiérarchique, l'évaluation des plausibilités, l'assemblage et la critique. Des tâches complexes résultent de l'organisation de plusieurs tâches élémentaires. Une tâche est définie par :

1. Les deux types de l'information traitées : les intrants (*input*) et les extrants (*output*).
2. Le formalisme utilisé pour la représentation de la connaissance nécessaire à l'exécution de la tâche.
3. Les procédures de contrôle utilisées par la tâche.

L'approche par tâches rend possible la modularité d'un système abductif et par conséquent son adaptation à plusieurs domaines de connaissances. Le développement de ce système aboutit à RED-2 (Tanner et Josephson, 1994). Tout en conservant la même architecture, ce système améliore l'interaction entre les trois modules du système précédent aux niveaux de la gestion de la plausibilité, la rectitude de l'hypothèse produite et la facilité de la production.

Pour expliquer un ensemble d'observations données, ce système débute par la formulation d'un objectif général qui se subdivise en trois tâches particulières (cf. Figure. 2.12) :

1. Par une recherche dans la base de connaissances du domaine approprié, RED identifie les informations élémentaires qui expliquent les observations ; c'est l'étape de l'évocation. Une information évoquée (ou hypothèse élémentaire) doit être rattachée à l'hypothèse finale en fonction de sa couverture explicative qui mesure le nombre d'observations qu'elle explique et son degré de confiance qui mesure sa pertinence à l'explication de l'observation (Josephson et Josephson, 1994, p. 140-142). Pour réduire la recherche,

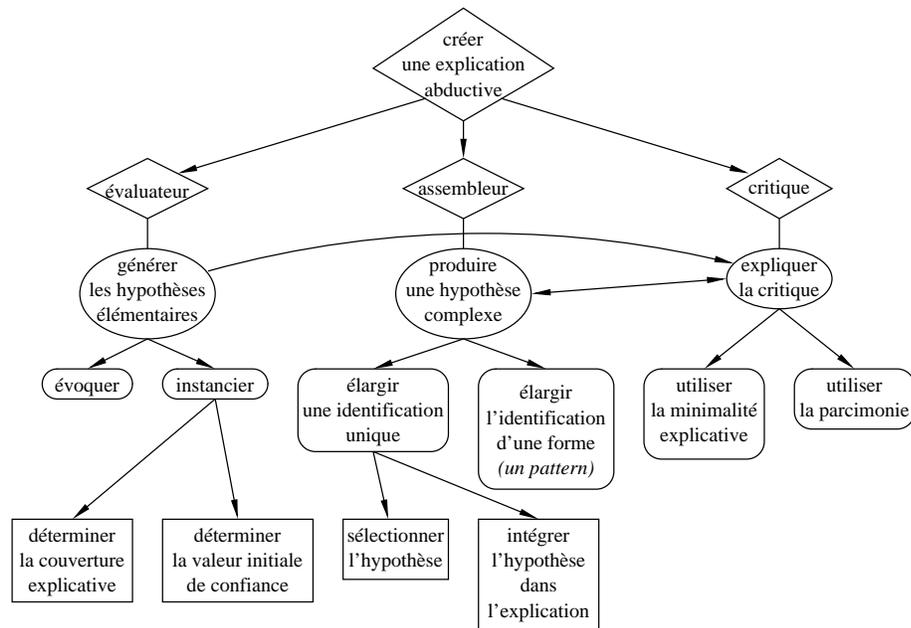


FIG. 2.12 – La synthèse de RED et PEIRCE adaptée de (Josephson et Josephson, 1994, p.140) et (Punch et al., 1990, p.39).

ce système considère l'échelle des hypothèses élémentaires choisies : à prime abord, il favorise les catégories générales dans la base des connaissances et si les observations nécessitent des informations détaillées, il cherche dans les sous-catégories.

2. Ensuite les hypothèses élémentaires sont combinées pour accroître leur potentiel explicatif. Certaines informations peuvent expliquer la même observation et sont remplacées par une seule, à laquelle d'autres s'ajoutent itérativement. Cette étape représente une mise en contexte des hypothèses élémentaires par rapport aux connaissances générales du domaine, et détermine les conditions de la composition de l'hypothèse finale : elle caractérise cette hypothèse en termes de plausibilité maximale, consistance causale et cardinalité minimale (Punch et al., 1990, p. 39)
3. À chaque itération, le système vérifie et critique le nouvel ajout et maintient la monotonie de l'inférence (cf. Figure. 2.12). Il évalue dans quelle mesure l'hypothèse finale correspond à l'objectif général et les connaissances du domaine et exprime le coût de son calcul. Dans cette étape il est possible qu'il y ait des incompatibilités ou des redondances. RED-2 contrôle les interactions entre les hypothèses élémentaires et résout les conflits qui peuvent en résulter.

Les systèmes RED sont fortement dépendants du domaine de leurs applications et de sa structure, et utilisent une seule stratégie de recherche. Ces systèmes gèrent explicitement l'interaction entre les composantes d'une hypothèse (la compatibilité et l'incompatibilité dans

l'addition), autorisant la production d'une hypothèse incomplète ou partielle et assurent sa monotonie. Les connaissances utilisées doivent être organisées de la même façon et leurs changements affecte négativement les qualités de l'hypothèse produite s'ils ne sont pas suivis d'une modification de la stratégie.

2.6.6.5 PEIRCE (1990)

L'analyse proposée ici complète celle de la sous-section §2.6.6.4 sur l'approche ensembliste. PEIRCE propose une généralisation de la stratégie de contrôle utilisée par les systèmes RED et un environnement pratique de production de systèmes abductifs (Josephson et Josephson, 1994, Punch et al., 1990). L'aspect strictement procédural des algorithmes des systèmes RED réduit le champ de leurs applications. En effet, ces algorithmes codent les connaissances utilisées dans la détection des anticorps sanguins. Toute tentative d'application de ces systèmes à d'autres problèmes nécessite une révision fondamentale de ces algorithmes pour les adapter aux nouvelles situations. Dans PEIRCE, la modularité par tâches génériques (cf. §2.6.6.4) accroît la flexibilité de l'inférence en offrant une sélection de méthodes de contrôle adaptées aux objectifs cibles. Pendant l'inférence et selon le besoin, il devient possible d'utiliser des opérateurs ponctuels pour améliorer les hypothèses. Cette flexibilité induit une indépendance des connaissances utilisées tout en augmentant la performance (Josephson et Josephson, 1994, p. 94).

L'apport de PEIRCE à l'architecture des systèmes RED facilite la prise de décision lors de l'exécution d'une tâche de résolution. Il rassemble en une structure modulaire de trois niveaux la gestion de l'inférence abductive (cf. Figure. 2.13) :

- la méthode tactique représente un objectif partiel dans la production de l'hypothèse. Elle est définie par les objets sur lesquels elle s'applique, les opérateurs qu'elle utilise et les modifications qui en résultent sur le cheminement de l'inférence ;
- le commanditaire (*sponsor*) contient les connaissances et les conditions nécessaires pour décider de l'exécution d'une méthode donnée. Son action affecte le déroulement de l'inférence vers l'objectif général. Plus spécifiquement, il calcule une mesure de classification pour sa méthode selon les connaissances qu'il possède et la satisfaction de ses conditions ;
- le sélecteur organise les méthodes qui lui sont associées par l'intermédiaire des commanditaires et, à un moment donné de l'inférence, choisit la plus appropriée selon le classement des commanditaires et les connaissances du domaine. Toutefois, il est possible que le sélecteur ne puisse pas identifier une méthode optimale à cause d'un manque de connaissances. Dans ce cas, il effectue un choix aléatoire parmi les plus plausibles. Un autre cas critique est celui de l'égalité entre deux ou plusieurs classe-

ments. Ici, le système a recours à une échelle de priorité, établie par l'utilisateur, pour décider de la sélection.

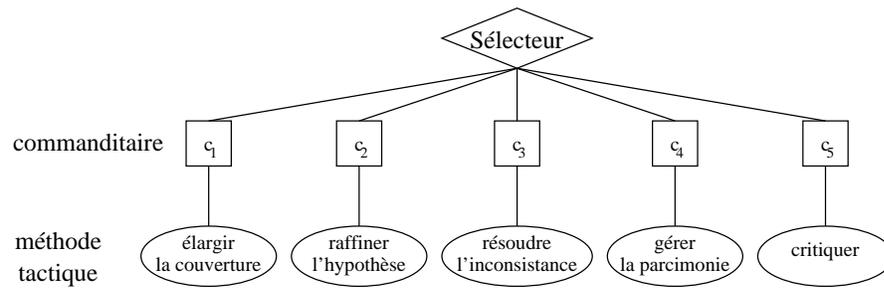


FIG. 2.13 – Le contrôle dans PEIRCE d'après (Josephson et Josephson, 1994, p.99).

Malgré l'efficacité accrue des systèmes RED par le développement de PEIRCE, la complexité computationnelle de la génération d'une hypothèse reste problématique, voire « intraitable » (Bylander et al., 1991). L'aspect composite et hiérarchisé d'une hypothèse finale construite à partir d'une ensemble d'hypothèses élémentaires (ou constituants) affecte négativement l'efficacité des algorithmes utilisés. Chaque constituant explique une ou plusieurs parties de l'observation étudiée ; le nombre des hypothèses finales varie exponentiellement par rapport aux constituants et la validation individuelle de chacun risque de rendre le système inutilisable. Le problème peut être réduit par le contrôle de la recherche dans l'espace des hypothèses possibles mais avec les conditions de consistance, de compatibilité et de complétude, de plausibilité, de retrait et d'ajout d'éléments, cette réduction reste pratiquement négligeable (Josephson et Josephson, 1994, p. 203-204).

Pour améliorer les performances de PEIRCE tout en contrôlant l'accroissement de la complexité, PEIRCE-IGTT (INTEGRATED GENERIC TASK TOOL) adopte une stratégie de gestion des interactions entre les constituants (Josephson et Josephson, 1994, p. 209-210). La stratégie affecte en particulier les rôles du critique et du producteur (cf. §2.6.6.4 et Figure. 2.12). Le producteur ayant fourni un constituant, le critique en examine l'état :

- si le constituant est la seule explication possible d'une observation, il est classé *essentiel* et retourné à l'assembleur, avant d'en recevoir un autre. Cet étiquetage se poursuit jusqu'à l'épuisement des constituants essentiels. Si le constituant n'est pas essentiel, il est identifié selon son degré de plausibilité et conservé à l'extérieur de l'assembleur selon deux catégories : les *meilleures hypothèses claires* (*clear-best hypotheses*) qui sont des constituants ayant un haut degré de plausibilité et les *hypothèses faibles* (*weak-best hypotheses*) qui sont de simples conjectures ou spéculations dont la capacité explicative est très faibles. De plus et à chaque pas, le critique vérifie la parcimonie des constituants pour éliminer les redondances ;

- s'il reste des observations inexpliquées c'est à dire l'hypothèse finale est encore incomplète, le producteur cherche les *meilleures hypothèses claires* et les envoie de nouveau à l'assembleur ;
- en dernier lieu et si l'incomplétude persiste, le système a recours aux *hypothèses faibles* ;
- le système applique d'autres classifications sur des constituants : inutile et incroyables (*disbelieved*) mais ces éléments ne participent pas à la production de l'hypothèse finale.

D'un point de vue pratique, l'efficacité de PEIRCE-IGTT est un compromis entre la complexité du calcul et l'incomplétude de l'hypothèse. Au lieu d'être optimale, l'hypothèse est *satisfaisante* (nous utilisons ce terme comme synonyme du néologisme *satisficing* de Herbert Simon). Les trois classifications fournies par le critique prennent en charge la granularité des constituants : un constituant donné est plus fin et plus précis s'il est essentiel. Ainsi, la stratégie utilisée gère l'incertitude inhérente à toute abduction par des degrés de plausibilité qui dépendent du domaine des observations. Ce système gère l'incompatibilité entre les composantes d'une hypothèse et assure explicitement sa monotonie.

Les systèmes RED, PEIRCE et PEIRCE-IGTT sont des systèmes de validations de règles générales produites plus par induction que par abduction. Les hypothèses produites obéissent à des inférences statistiques sur une population d'éléments donnés ; l'émergence d'une nouvelle connaissance n'est pas conforme au critère de nouveauté tel que défini par Peirce qui insiste sur l'indépendance de l'hypothèse par rapport aux données qu'elle explique (cf. §2.5.5.1).

2.6.7 Synthèse de l'abduction en IA

Les cinq approches abductives en IA retracent l'évolution de l'informatisation de ce mode d'inférence et explicite les divergences entre les points de vue adoptés. Le modèle théorique commun à ces approches se résume à la forme suivante : ayant un domaine de connaissance et une observation à expliquer, l'inférence abductive produit une ou plusieurs hypothèses explicatives à partir de ce domaine. Ces hypothèses doivent être compatibles avec le domaine et prouver que l'explication de l'observation ne peut se faire sans leur intégration dans ce domaine. De plus, les approches conçoivent le rapport entre problème et solution sous un aspect causal qu'il s'agit de découvrir (Ray et Inoue, 2007). La divergence principale, entre ces cinq approches, concerne la définition de l'hypothèse acceptable et le processus de son incorporation au domaine de connaissances utilisées. À noter que la majorité de ces approches représentent l'abduction comme une déduction inverse. D'ailleurs, d'autres approches qui, jusqu'à présent, occupaient une place mineure dans les recherches sur l'abduction en IA,

commencent à questionner les positions dominantes, par exemple, l'approche basée sur les réseaux de neurones (Ariton et Ariton, 2007).

La grille de critères, définie plus haut (cf. §2.6.1) pour l'évaluation des approches abductives, est discutée en détail à la sous-section §2.7.8. Elle est synthétisée dans la Figure. 2.25. La section suivante continue l'étude du développement de la « mécanisation » de l'abduction par des exemples spécifiques en CAAO.

2.7 L'abduction et la CAAO

La conception est une opération synthétique ayant pour finalité la production d'un objet. La question de l'abduction en conception architecturale couvre particulièrement les processus créatifs utilisés par les concepteurs en plus de la nouveauté comme qualification de l'œuvre produite. Dans cette perspective, la production d'un objet architectural résulte de la mise en correspondance de la commande du projet et des connaissances que possède le concepteur (cf. Figure. 2.14). Le processus créatif engagé dans la conception, considérée comme une résolution de problème, nécessite une organisation flexible de ces connaissances, de la définition du problème et du contrôle de leurs interactions. Le raisonnement abductif s'adapte à la conception, en tant que problème faiblement défini (*ill-defined*), et garantit un aboutissement faisable du processus créatif (Simon, 1977, p. 151).

Ayant étudié à la Section 2.6 les approches représentatives de l'abduction en intelligence artificielle (IA), et après un bref aperçu historique sur la formalisation de l'abduction, cette section examine plusieurs systèmes et retrace l'historique de l'étude de l'abduction dans le domaine de la CAAO.

2.7.1 La formalisation de l'abduction en CAAO

L'abduction trouve ses premières applications en conception architecturale avec le courant DESIGN METHOD et son aspect ampliatif sous-tend la production architecturale (March, 1976, p. 16-18). L'apport créatif de ce mode d'inférence à la conception architecturale s'inscrit dans une complémentarité avec les deux autres processus inférenciels, à savoir, l'induction et la déduction. L'abduction produit un objet selon les principes généralement admis de la *composition* architecturale. La déduction prédit le comportement de cet objet et son usage potentiel

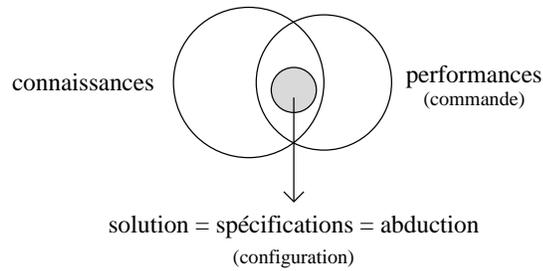


FIG. 2.14 – L'abduction en conception architecturale.

par une décomposition et une analyse des rapports de ses parties à sa totalité. L'induction vérifie et évalue l'adéquation de cet objet aux objectifs fixés, selon une règle ou *supposition* de conformité.

Toutefois, cette complémentarité n'est pas nécessairement séquentielle. Dans une étude du comportement des architectes durant le processus de conception, Rowe (Rowe, 1987, p. 103) note le recours fréquent à l'abduction, sans contraintes d'ordre et selon l'évolution temporelle de la conception. De plus, pour souligner l'aspect ampliatif de l'abduction, l'auteur le définit comme étant « une appropriation extérieure au contexte immédiat de l'espace du problème, utilisée pour sa promesse de fournir un plus haut niveau d'organisation » (Rowe, 1987, p. 102). Par exemple, soit un élément A appartenant à un plan abstrait X et soit C un autre élément d'un plan abstrait Y différent de X (cf. Figure. 2.15). Le problème est d'intégrer les deux éléments A et B en un seul plan tenant compte de X et Y . La solution est une « appropriation » extérieure aux domaines de A et B , c'est à dire changer de point de vue, et considérer que X et Y sont deux plans dans un espace tridimensionnel D , pouvant être reliés par une surface courbe B qui unit A et B en élargissant leurs domaine respectifs. D'ailleurs, il est surprenant de noter l'absence du traitement de l'abduction, de la déduction et de l'induction, dans la formalisation logique de la conception architecturale par Mitchell (Mitchell, 1990).

La représentation numérique de l'abduction en CAAO s'appuie fortement sur une formalisation logique à l'aide d'un ensemble de termes fondamentaux (Coyne et al., 1990, p. 71), (Coyne, 1988) :

- un vocabulaire V regroupant les éléments utilisés, par un système ou un concepteur, pour produire une description ;
- une description D qui représente les résultats du processus de conception. En fait, la description organise le vocabulaire en une structure cohérente ;
- une interprétation I qui représente les intentions, les objectifs ou les exigences d'un problème de conception. Dans les cas de l'évaluation ou de l'analyse d'un objet exis-

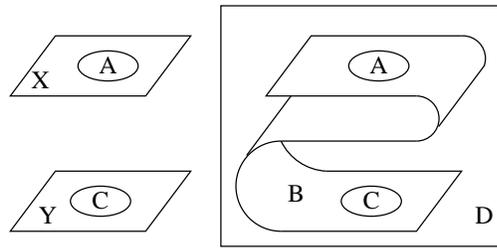


FIG. 2.15 – L'aspect ampliatif de l'abduction redessiné d'après (Rowe, 1987, p.104).

tant, l'interprétation désigne les résultats de ces deux opérations ;

- une connaissance C propre au domaine du problème donné. Cette connaissance relie les interprétations au vocabulaire. Il est parfois utile de différencier entre la connaissance interprétative C_i et la connaissance syntaxique C_s .

Les possibilités d'organisation logique de ces termes les mettent en correspondance avec les trois modes d'inférence, (abduction, déduction et induction) (cf. Tableau 2.1). Donc la conception abductive (ou la description D) devient une transformation d'un ensemble regroupant la connaissance du domaine (interprétative ou syntaxique), les intentions et les performances requises. D'une façon intuitive, l'abduction a pour objectif la description d'un objet pour qu'il soit simultanément conforme aux intentions du concepteur et les connaissances que possède celui-ci d'un domaine particulier. Elle est représentée par l'équation logique suivante : $D = \tau(C_i, I)$ où τ désigne un opérateur de transformation souvent modélisé par une procédure de contrôle (Coyne et al., 1990, p. 72-73). Bien qu'exprimée sous cette forme, le problème de la caractérisation de l'abduction (cf. §2.2 et §2.4.1) semble encourager son implémentation par une forme inverse de la déduction (Coyne et al., 1990, p. 54, 278) (voir aussi §2.5.3 pour les critiques de la déduction inverse) :

si < descriptions > alors < performances > forme déductive
si < performances > alors < descriptions > forme déductive inverse (abduction)

Une difficulté principale dans cette approche est le statut de l'opérateur τ . En effet, une comparaison entre les équations logiques de l'abduction et de la déduction, dans le Tableau 2.1, révèle l'équivalence ontologique entre les composantes de ces équations excepté pour les deux opérateurs utilisés. Bien que les auteurs précités ne l'expriment pas, il est plausible d'établir une équivalence entre τ , considéré maintenant comme une procédure de contrôle, et trois conditions générales et nécessaires pour encadrer l'implémentation par la déduction inverse (Coyne et al., 1990, p. 282-288) :

- l'hypothèse du monde clos (*closed-world assumption*) qui limite les connaissances à celles que possède le système de raisonnement à son état initial et empêche tout ajout

TAB. 2.1 – Les composantes du modèle logique de la conception architecturale.

VOCABULAIRE	DESCRIPTION	INTERPRÉTATION	CONNAISSANCE
$V = \tau_1(D, C_s)$	$D = \tau_2(C_i, I)$ $D = \tau_3(C_s, V)$	$I = \tau_4(C_i, D)$	$C_i = \tau_5(\{D_1, D_2, \dots\}, I)$ $C_s = \tau_6(\{D_1, D_2, \dots\}, V)$
	<i>abduction et production syntaxique</i>	<i>déduction</i>	<i>induction</i>

pendant de l'inférence. Le système postule donc la complétude des connaissances utilisées et par conséquent l'hypothèse produite répond à toutes les observations du problème considéré ;

- la connaissance non conflictuelle qui exige que les informations traitées soient consistantes entre elles et le demeurent pendant le raisonnement. Alors, la monotonie des solutions générées est assurée ;
- la précision du domaine des solutions qui assigne à chaque problème une et une seule solution optimale.

La nécessité de ces conditions résulte de la contrainte fondamentale de monotonie inférentielle imposée par le choix de la logique des prédicats du premier ordre comme langage de représentation dans ce modèle (Mitchell, 1990, p. 80). Elle reflète notamment la difficulté de transformer le fondement causal d'une déduction en un fondement téléologique d'une abduction. Néanmoins, à travers leur mise en correspondance avec τ pour un problème donné, elles délimitent les espaces de solutions possibles où les compromis entre plusieurs variables de ce problème peuvent être réalisés.

À l'instar de certains modèles en IA, le modèle logique de l'abduction en CAAO est articulé autour de la représentation de ce mode d'inférence par une déduction inverse. Dans ce modèle, l'interprétation, synonyme de sémantique au sens linguistique, est essentiellement déductive (Coyne et al., 1990, p. 234, 280) (cf. Tableau 2.1) et par conséquent, se limite à rendre explicite ce qui est implicite dans les connaissances contenues dans le système. Malgré les contraintes ajoutées pour assurer la monotonie de la déduction inverse, sa capacité créative reste discutable. Par exemple, en reprenant l'équation logique de l'abduction $D = \tau(C_i, I)$, soit $C_i = \{\text{ventiler}(x) \rightarrow \text{confortable}(x)\}$ une connaissance donnée qui établit une relation entre le confort d'un espace architectural quelconque et sa ventilation, $I = \{\text{confortable}(s)\}$ une exigence dans un problème de conception : il faut que la salle s soit confortable. Par abduction, il faut inférer $D = \{\text{ventiler}(s)\}$ c'est à dire que s soit ventilée. Ainsi, en plus des conditions de monotonie représentées par τ , faut-il que le système contienne s et qu'elle puisse, *a priori*, satisfaire C_i (Tomiyama et al., 2003) !

2.7.2 RETWALL (1987)

RETWALL est un système expert à base de connaissances (*knowledge-based system*) pour l'aide à la conception des murs de soutènement (Hutchinson et al., 1987). À partir d'un ensemble d'informations (topographiques, mécaniques, etc.) sur un terrain donné et en examinant neuf types de murs inclus dans sa base de connaissances, ce système produit des spécifications finales pour le dimensionnement d'un mur adapté à ce terrain.

Les informations du terrain produisent un ensemble de propriétés générales qui sont raffinées itérativement pour aboutir à la sélection d'un type de mur adéquat. L'étape suivante examine les possibilités structurales, physique et géométriques du mur pour en produire une description finale de dimensionnement. RETWALL applique deux processus de raffinement : les chaînages arrière et avant. Une collecte d'informations supplémentaires à l'inférence se fait par une interface graphique. Pendant le fonctionnement du système l'utilisateur peut introduire certaines données et orienter de la sorte la conception, sans modifier la base des connaissances. Techniquement parlant, ce système utilise des règles de production essentiellement déductives dont les conclusions sont validées sous certaines contraintes en mécanique des sols. Le contrôle de l'inférence par le chaînage arrière transforme ces règles en une déduction inverse (cf. §2.7.1) :

si < évidence > *alors* < événement > forme déductive
si < hypothèse > *alors* < évidence > forme déductive inverse

Dans ce système, les règles inversées sont classées en catégories selon la connaissance propre à chaque spécification du problème (Coyne et al., 1990, p. 293-294). Par exemple,

- déterminer la nécessité d'un mur de soutènement :

si le milieu est marin et *si* la hauteur de la marée est donnée,
alors il est nécessaire d'avoir un mur *et* sa hauteur est *h*.

- décider de l'usage de remblais :

si le terrassement est requis *alors* il est nécessaire de remblayer.

- vérifier l'adéquation de la maçonnerie en parpaing ou en pierre de taille :

si la hauteur est *h* *alors* il faut éviter la maçonnerie en parpaing.

- identifier la classification du sol :

si la composition chimique est c et la propriété mécanique est p ,
alors le sol est argileux.

- sélectionner le type de structure du mur :

si les charges sur le mur sont en dessous d'une limite l ,
alors le mur peut être en pierre de taille.

RETWALL interprète les spécifications du problème par un prototype initial qui est raffiné graduellement pour aboutir à une description précise et optimale de la solution (un mur de soutènement). Les propriétés du prototype sont prédéfinies dans le système par un ensemble de variables dont les valeurs sont calculées au cours de l'inférence. Les étapes du calcul suivent l'ordre de l'importance des spécifications. Par exemple, en premier lieu, il faut déterminer la nature du site (sol, inclinaison, etc), ensuite, les forces présentes (charges, remblais, terrassement, etc.) et en fin le type de structure adéquat et ses dimensions. Ce système est déterministe dans la mesure où les solutions appartiennent à un nombre limité de prototypes et que ceux-ci répondent à des exigences mécaniques, pratiques et économiques strictes.

2.7.3 DESIGN SIMULATOR (1994)

DESIGN SIMULATOR est un prototype de conception développé à partir d'une approche logique hybride qui intègre l'abduction, la déduction et la circonscription (Takeda, 1994). L'abduction identifie les configurations possibles de la matérialisation d'un objet, la déduction explicite les propriétés qualitatives et quantitatives de cet objet et la circonscription résout les conflits qui émergent pendant l'inférence. Dans ce prototype, le raisonnement se fait à deux niveaux (cf. Figure. 2.16) :

- le niveau de l'objet contient la description de la solution en cours d'élaboration (Ds), la connaissance qui lui est propre au moment présent de l'inférence (Cs), ses spécifications et ses comportements requis (Pr). Ayant les connaissances Cs et les spécifications requises Pr , le prototype produit une description plausible de la solution Ds . Ensuite, les propriétés de cette description sont extraites, par déduction, à partir des connaissances Cs et vérifiées par circonscription pour éliminer les contradictions et maintenir leur consistance avec les spécifications initiales. Les étapes de l'abduction, la déduction

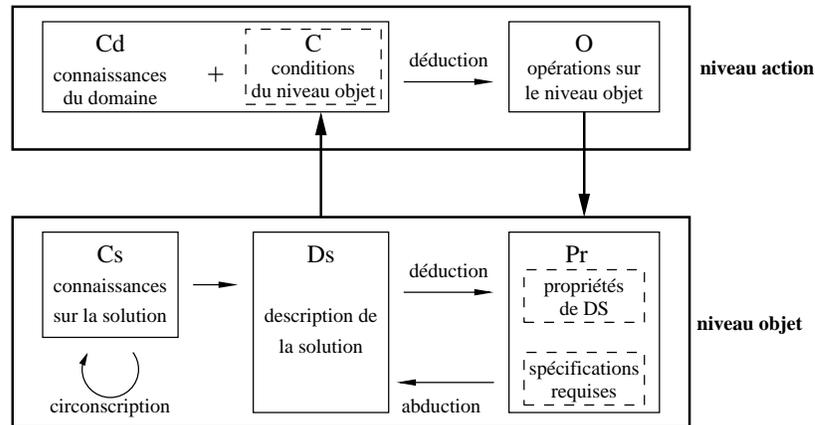


FIG. 2.16 – Le schéma conceptuel de DESIGN SIMULATOR adapté de (Takeda, 1994, p.324).

et la circonscription sont appliquées successivement jusqu'à l'obtention d'une solution acceptable qui satisfait les spécifications. Dans le cas d'un échec de production, les connaissances de la solution et/ou les spécifications peuvent être modifiées. Ces modifications sont prises en considération par le niveau de l'action ;

- le niveau de l'action gère, contrôle et modifie les composantes du niveau de l'objet, à savoir Ds , Cs et Pr , et leurs interrelations. Pendant l'élaboration de la solution, les trois états respectifs de ces composantes sont envoyées au niveau de l'action, qui infère les opérations à exécuter au niveau de l'objet (cf. Figure. 2.16). Par exemple, si la solution envisagée est un objet métallique, le niveau de l'action rattache les spécifications requises de cet objet à une base de connaissances sur les métaux et par conséquent oblige l'abduction, la déduction et la circonscription à utiliser cette base. Pour conserver la monotonie de l'inférence à ce niveau, le prototype identifie la complétude des solutions proposées, c'est à dire il reconnaît quelles sont les solutions qui se rapprochent des spécifications requises plus que d'autres. Cette identification organise les solutions par degrés de possibilité et accorde le choix entre plusieurs alternatives.

L'abduction est définie dans DESIGN SIMULATOR par le couple (H, T) , formé d'une hypothèse H et d'une théorie T , qui explique une observation donnée O à partir de la connaissance du domaine T_0 (*background theory*) (Takeda, 1994, p. 232). Ce couple doit satisfaire les conditions logiques suivantes :

$$\begin{aligned}
 T &\subseteq T_0, \\
 T \cup H &\text{ est consistant,} \\
 T &\not\models O, \\
 H \cup T &\models O, \text{ et} \\
 (H, T) &\text{ est minimal et unique}
 \end{aligned}$$

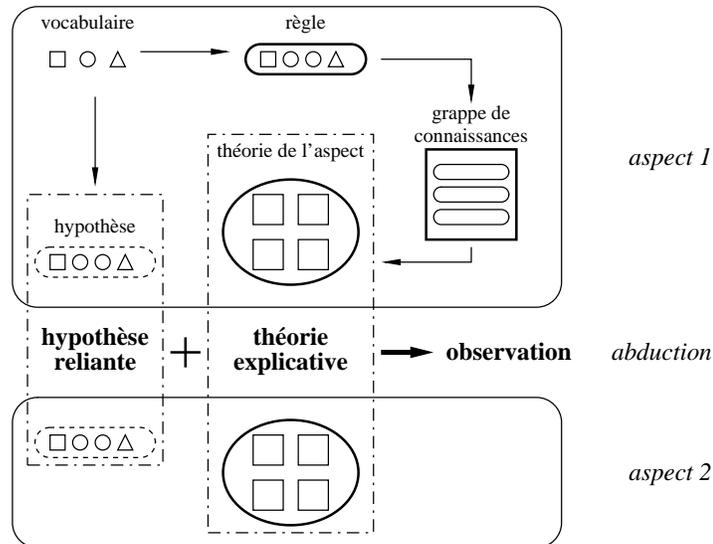


FIG. 2.17 – L'abduction dans DESIGN SIMULATOR adapté de (Takeda, 1994, p.233)

Pour formaliser la connaissance du domaine, ce prototype considère qu'elle est subdivisée en plusieurs *aspects*. Chaque aspect désigne une perspective différente de la description d'un objet. Par exemple, pour décrire une toiture, un aspect serait les connaissances en géométrie euclidienne, un autre aspect serait les connaissances en isolation thermique, etc. D'un point de vue logique, un aspect est composé d'un vocabulaire de termes, de plusieurs grappes (*clusters*) de connaissances, chacune étant formée par un ensemble de règles elles-mêmes constituées à partir de ces termes, et d'une théorie (de cet aspect) contenant plusieurs grappes (cf. Figure. 2.17). Pour produire une description d'une solution à un problème, ce prototype sélectionne dans chaque aspect une hypothèse élémentaire plausible et synthétise le résultat en une seule hypothèse générale et cohérente, et à partir des théories des aspects, une théorie explicative unique est élaborée (cf. Figure. 2.17).

En plus du mécanisme de l'inférence et des bases de connaissances, l'architecture de DESIGN SIMULATOR contient deux autres composantes : le gestionnaire des *mondes possibles* et un module ATMS (cf. Figure. 2.18). Seul le fonctionnement du gestionnaire est examiné ici. Le module ATMS sert à valider les justifications des comportement du gestionnaire et du niveau de l'objet ; pour une description détaillée de ce module, voir §2.6.5.2. Un monde possible désigne, à un moment donné de l'inférence, les états des trois composantes du niveau de l'objet : la description de la solution, sa connaissance et les spécifications requises. La conservation de la monotonie du raisonnement signifie qu'un monde donné est plus déterminé que son précédent, c'est à dire plus proche de la solution. Si, à partir d'une seule solution, le concepteur obtient deux descriptions différentes pour un seul objet, deux mondes sont alors créés par le gestionnaire et sont considérés des descendants du monde possible présent. Dans

le cas d'une contradiction entre une description de solution et les spécifications requises, la révision et la correction se font par un retour arrière (*backtracking*) jusqu'au dernier monde qui ne contredit pas la description de la solution.

DESIGN SIMULATOR est un prototype hybride qui combine l'abduction et la déduction pour produire une description d'une solution à un problème de conception. Son originalité réside dans la subdivision de la connaissance du domaine en plusieurs sous domaines ou aspects, et la répartition de l'inférence entre deux niveaux : l'objet et le processus (l'action). La formalisation proposée de l'abduction exprime comment cette connaissance est utilisée dans la solution souhaitée. De plus, il tient compte de la minimalité de la solution produite et assure sa monotonie et sa cohérence par l'utilisation de la circonscription et le gestionnaire des mondes possibles.

2.7.4 La LOGIQUE PROPOSITIONNELLE ABDUCTIVE - LPA (2001)

Cette approche développe une extension de la logique propositionnelle pour la rendre plus efficace dans le traitement non monotone (cf. §2.6.5.1) de l'abduction (Lin et Wang, 2001). La LPA conserve les axiomes et les opérations de base de la logique propositionnelle et y ajoute des opérations d'inférence et de retrait non monotones. Une inférence prend la forme $\{p_1, p_2, \dots, p_n\} _o e$ où e désigne l'énoncé inféré (ou hypothèse), p est une prémisses de e et o représente une opération inférencielle (cf. Figure. 2.19). Les prémisses élémentaires et les règles d'inférences formalisés par cette approche sont désignés par le terme croyances (Lin et Wang, 2001, p. 132). Ce système applique trois opérations d'inférence, appelées dérivations, pour générer de nouvelles connaissances :

- la dérivation déductive $\{p_1, p_2, \dots, p_n\} _d e$ signifie que e est déductivement vrai si toutes les prémisses p sont vraies ;
- la dérivation abductive $\{p_1, p_2, \dots, p_n\} _a e$ signifie que e est abductivement possible si toutes les prémisses p sont vraies ;
- la dérivation conjecturale (*assumptive derivation*) $\{ \}_ _e$ indique que e est supposé vrai sans prémisses ni opérations inférencielles.

La dérivation ajoute de nouvelles croyances à celles déjà contenues dans le système. Pour chaque hypothèse dérivée (cf. Figure. 2.19) et pour gérer les inconsistances qui peuvent en résulter, la LPA utilise trois opérations de retrait :

- le retrait exclusif est utilisé lors de la détection d'une inconsistance, c'est à dire, l'existence simultanée dans le système d'une croyance (prémisse ou énoncé) supposée vraie (ou admissible) et son contraire supposé vrai aussi. Dans ce cas, deux alternatives de

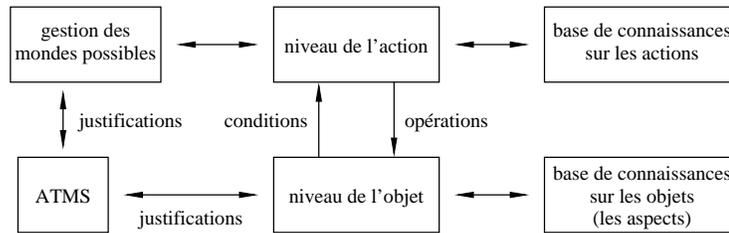


FIG. 2.18 – L'architecture de DESIGN SIMULATOR d'après (Takeda, 1994, p.239)

retrait sont produites en ordonnant la séquence du retrait. La première alternative est constituée, d'abord par le retrait de la croyance en question suivi de son contraire et la deuxième est composée par l'ordre inverse ;

- le retrait concluant est utilisé si le retrait exclusif à pour objet une prémisses. Par conséquent, tous les énoncés dérivés, déductivement ou abductivement, de cette prémisses sont retirés ;
- le retrait d'un énoncé est appliqué au cas où le retrait exclusif affecte une croyance inférée à partir d'un ensemble de prémisses. Si cette croyance est déductivement inférée, cette opération de retrait vérifie consécutivement la possibilité d'éliminer chacune des prémisses dans cet ensemble. Une fois, la prémisses en cause identifiée, elle est retirée et la croyance est figée temporairement, c'est à dire que le système ne peut plus l'utiliser pour les inférences ultérieures. Si la croyance est abductivement produite, elle est identifiée comme étant une hypothèse inacceptable et est simplement retirée tout en conservant ses prémisses.

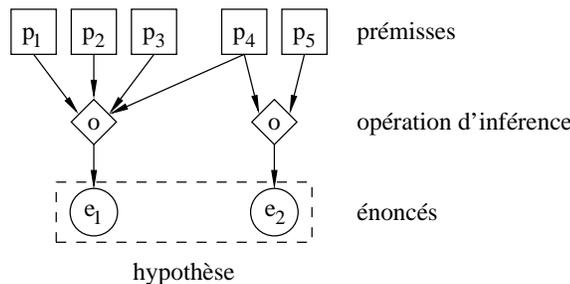


FIG. 2.19 – La représentation d'une hypothèse dans la LPA.

Cette approche utilise une structure en graphe orienté où un nœud représente une hypothèse produite par la résultante des dérivations appliquées sur des nœuds précédents (cf. Figure. 2.20). Cette figure montre un exemple d'inférence. À partir d'un ensemble de prémisses $\{a, a \rightarrow b, c, c \rightarrow \neg d \wedge \neg e, a \rightarrow d \wedge e\}$ constituant une hypothèse initiale, une hypothèse finale $\{b, d \wedge e\}$ est produite. L'inférence détecte les contradictions possibles résultant des opérations appliquées sur les nœuds et les retire du graphe conservant alors la monotonie

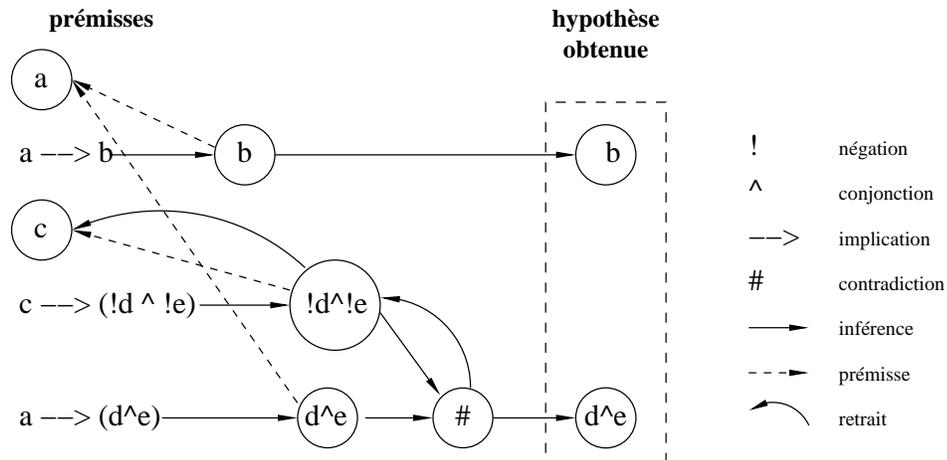


FIG. 2.20 – La structure de l'inférence dans la LPA d'après (Lin et Wang, 2001).

inférentielle de l'hypothèse (cf. 2.6.1).

La LPA augmente l'expressivité de la logique propositionnelle et l'adapte au raisonnement non monotone. Les ajouts de cette approche maintiennent la consistance des inférences produites, détecte et élimine les contradictions causées par l'introduction de nouveaux énoncés. Les opérations de dérivations produisent des hypothèses plausibles qui sont validées par les opérations de retrait. Toutefois, ce système ne clarifie pas la différence entre le raisonnement non monotone et l'abduction ; le texte laisse sous-entendre qu'ils sont similaires. La formulation des dérivations déductives et abductives n'explicité pas leur différence. De plus, et telle que présentée, la LPA ne peut pas évaluer plusieurs hypothèses et les hiérarchiser selon des critères de préférences ou de plausibilité. La complétude d'une hypothèse et sa minimalité ne sont pas considérées. Pour une grande base de connaissances, le coût et la complexité de la validation deviennent problématiques : l'hypothèse produite est directement intégrée dans les connaissances disponibles et ce n'est que pendant une dérivation ultérieure que sa plausibilité est vérifiée. Toutefois, certaines recherches récentes, par exemple (Hermann et Pichler, 2008), réussissent à combler ces lacunes.

2.7.5 L'approche de l'abduction intégrée (2003)

Cette approche explicité l'apport synthétique de l'abduction à la conception créative. Elle explicité la pertinence d'une méta-connaissance des relations entre les différentes théories utilisées dans la résolution d'un problème de conception. Cette méta-connaissance étant plus efficace, du point de vue créativité, qu'une connaissance spécifique et approfondie pour cha-

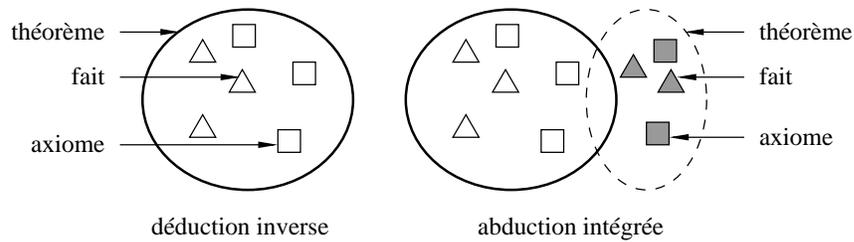


FIG. 2.21 – L'abduction intégrée.

cune de ces théories.

La critique principale introduite par cette approche considère que la forme de l'abduction la plus répandue et telle que représentée par une déduction inverse n'est pas innovatrice et a fortiori, n'est pas créative (Tomiyaama et al., 2003, Takeda et al., 2001). Ayant un ensemble d'axiomes A représentant les connaissances du domaine, un ensemble de théorèmes T qui désigne les données du problème, la déduction inverse produit un « nouveau » fait F . Par exemple, on sait que si une maison a un toiture, elle est confortable (A), il s'agit de déterminer si un espace est confortable (T), et alors par abduction, c'est espace confortable peut être une maison (F) :

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \text{si } \textit{maison}(m) \text{ alors } \textit{avoir}(m, \textit{toiture}) \text{ et} \\
 A_2 &= \text{si } \textit{avoir}(m, \textit{toiture}) \text{ alors } \textit{confortable}(m) \\
 T &= \textit{confortable}(x) \\
 F &= \textit{maison}(x)
 \end{aligned}$$

Cette forme suppose que l'hypothèse recherchée est, de toute évidence, déjà implicitement connue avant l'inférence. Pour résoudre ce problème, l'approche de l'abduction intégrée produit une transformation des connaissances antérieures. Cette transformation contient un nouveau concept et une nouvelle loi. La production se fait en deux étapes : la généralisation à partir des données et ensuite une combinaison des concepts résultants. À partir de cette combinaison, le nouvel espace des solutions, constitué de cette manière, est parcouru pour obtenir une configuration qui répond au problème (cf. Figure. 2.21).

À l'encontre de la déduction inverse concernée par la relation causale entre observation et hypothèse, l'abduction intégrée s'articule davantage autour de la finalité de l'hypothèse. Cette approche établit une équivalence entre la combinaison et le processus abduction. Elle produit une solution satisfaisante mais ne considère pas l'exhaustivité du domaine de connaissance

puisque celui-ci est en extension continue. La formalisation des connaissances par la logique des prédicats du premier ordre lui confère une indépendance par rapport au contexte, sous condition que les nouveaux concepts produits soient compatibles avec les connaissances antérieures. Toutefois, et telle que formulée dans l'abduction intégrée, la critique principale de la déduction inverse, bien que justifiée, reste faible, et elle peut être aussi adressée à cette approche même (l'abduction intégrée) qui demeure encore à un stade de développement.

2.7.6 Le raisonnement à base de cas (RBC)

Le raisonnement à base de cas est un formalisme développé en IA à partir des recherches sur la mémoire humaine et les processus cognitifs qu'elle engage dans la résolution des problèmes (Schank, 1999, Schank, 1982) (Kolodner, 1993a). Son postulat fondamental stipule que la mémoire organise dynamiquement les expériences passées par épisode (ou cas) et séquences (*pattern, script*). Face à un problème, l'inférence appelle les expériences (solutions) antérieures, en choisit une (ou plusieurs) par similarité avec la situation actuelle, modifie ce choix pour le rendre adéquat et l'applique à la résolution du problème. L'ajout d'une base de connaissances générales propres au domaine du problème, aux connaissances spécifiques des cas mémorisés, améliore l'efficacité de ce formalisme (Bareiss, 1989). Par conséquent, la production de la solution devient plus flexible et dépasse les limites d'une mémoire simplement épisodique.

Quant au fonctionnement d'un système RBC, le cycle de production d'une solution est subdivisé en quatre opérations séquentielle (Aamodt et Plaza, 1994) :

- rechercher l'ensemble des cas de solution les plus similaires au problème posé au début de l'inférence. Une mesure sert à comparer ces solutions et à les classer selon leurs degrés de similitude ;
- réutiliser le cas le plus similaire et le combiner avec les données initiales pour produire une première version de la solution. Pareillement, cette opération adapte le cas choisi au contexte du problème étudié. La réutilisation peut être totale ou partielle ;
- réviser la solution obtenue et valider son utilité par rapport au problème. La révision applique les modifications nécessaires pour rehausser l'adéquation de cette solution ;
- retenir la solution finale et l'inclure dans la base des cas. Au lieu d'appliquer directement cette intégration, et de conserver la solution entière, un système peut modifier les cas précédents pour qu'ils intègrent les propriétés de cette solution. La conservation de cette solution constitue donc un apprentissage pour le système.

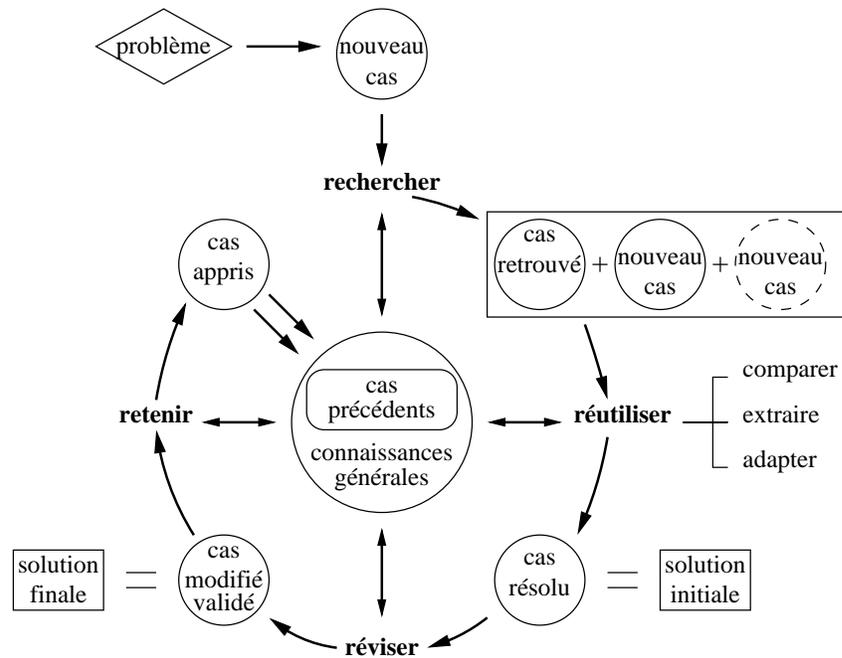


FIG. 2.22 – Le cycle de l'inférence dans le RBC adapté de (Aamodt et Plaza, 1994).

L'indexation adéquate des cas et par conséquent leur hiérarchisation, autant que le choix d'une mesure de similarité constituent des problèmes importants de ce formalisme. Au sujet de l'économie, l'indexation facilite la recherche et l'identification d'un cas plausible, surtout dans une grande base de cas, particulièrement en CAAO (Aygen et Flemming, 1998). La mesure de similarité doit s'adapter au domaine des connaissances engagées par le problème et la solution souhaitée pour fournir une plausibilité pertinente à chaque cas. D'un point de vue méthodologique, et à travers l'organisation des cas et la gestion des quatre opérations fondamentales, le RBC aide à mieux comprendre les processus cognitifs de créativité utilisés en conception, tels que l'analogie dans l'élaboration d'une solution, l'évaluation et la critique de l'état actuel de l'inférence en cours, la fusion des idées à partir de plusieurs sources, l'adaptation des connaissances antérieures aux contraintes contextuelles du problème donné, et les stratégies de contrôle de ces processus (Simina et Kolodner, 1997, Wills et Kolodner, 1994, Kolodner, 1993b).

2.7.6.1 Le RBC en CAAO

La diversité des recherches et des applications sur le RBC en CAAO témoigne d'un intérêt et d'une place importants accordés à ce formalisme (Raduma, 2000), (Börner, 1998), (Dave et al., 1994). À noter, les travaux de Maher *et. al* qui constituent une référence incontournable dans ce domaine, spécialement en rapport avec l'étude de la créativité en conception

architecturale, (Maher, 1998, Maher et Pu, 1997, Maher et de Silva Garza, 1996). Les exemples qui suivent retracent brièvement le développement du RBC en CAAO. Sachant que ces exemples utilisent les mêmes opérations fondamentales (cf. Figure. 2.22), leurs descriptions se limitent à leurs particularités respectives dans le traitement d'un problème de conception.

ARCHIE (1991-1992). La littérature considère ce système, d'un point de vue historique, comme étant la première application du raisonnement à base de cas à la conception architecturale (Domeshek et Kolodner, 1992) et (Domeshek et Kolodner, 1991). Il est développé en deux phases. Dans la première, il aide l'utilisateur à structurer le problème de conception à travers une interface graphique qui décrit les composantes de la configuration architecturale souhaitée. Il fournit en retour, à partir d'une comparaison avec les cas mémorisés, un ensemble de solutions qui peuvent correspondre à ce problème. Chaque cas conserve, en plus de la solution, les problèmes périphériques au problème résolu et par conséquent, en avise l'utilisateur. La deuxième phase de développement améliore les capacités de la première version et simplifie la production des solutions. Elle offre à l'utilisateur des « histoires » (*stories*) de solutions plus détaillées et adaptées au contexte du problème. L'addition des histoires explicite le raisonnement ayant conduit à la solution et met en évidence l'interdépendance entre un objectif particulier du problème à résoudre et plusieurs choix de matérialisation de sa solution. De plus, des critères d'évaluations des solutions sont proposés et l'interface devient plus intuitive.

CADRE (1992). Ce système est spécialisé dans les adaptations géométriques et topologiques d'un précédent architectural à un nouveau site (Hua et Faltings, 1993). Par une comparaison entre l'ancien et le nouveau site, CADRE identifie, dans les solutions mémorisées, les configurations architecturales à conserver et celles qui doivent être adaptées. Le système différencie entre deux types de cas. Le cas profond (*deep case*) qui contient la solution et son historique de conception et le cas superficiel (*shallow case*) qui ne contient que la solution. Ce type de cas, léger et plus facile à modéliser est utilisé comme fondement du raisonnement dans ce système. Il fournit au concepteur :

- la structure de la solution nécessaire à la satisfaction d'un objectif de conception. Cette structure est représentée par un ensemble de contraintes géométriques sur la forme du bâtiment ;
- les compromis possibles parmi les exigences fonctionnelles architecturales. Celles-ci sont en correspondance bijective avec les contraintes. En effet, la satisfaction ou la non-satisfaction d'une contrainte explicite un compromis à faire entre deux exigences fonctionnelles ;
- les considérations implicites de la solution telles que le style architectural. Elles ne sont pas explicitement considérées par le système.

CADRE modifie une solution passée pour l'adapter aux contraintes d'un nouveau site. Il ne traite pas la combinaison des cas. La solution finale est une version modifiée de la solution passée. L'adaptation conserve une similarité fonctionnelle, géométrique et stylistique entre les deux solutions. L'utilisation des cas profonds peut améliorer la créativité de ce système et élargir l'espace des solutions possibles.

SEED (1993-1997). SEED est un environnement modulaire d'aide à la conception architecturale, particulièrement pendant sa phase préliminaire où l'on explore des solutions architecturales rudimentaires (Flemming et Snyder, 1997, Woodbury et al., 1995). Chaque module prend en charge un problème spécifique de cette phase tel que la programmation architecturale, la production d'organigrammes fonctionnels, l'évaluation de la configuration tridimensionnelle d'un bâtiment, le traitement des réglementations et des standards de construction et la conservation de précédents (les cas). Pour conserver l'uniformité de la représentation des connaissances dans SEED, le module du RBC utilise la même structure présente dans les autres modules et qui est composée de deux unités :

- l'unité de conception (*design unit*) qui modélise l'entité élémentaire de ce système et ses propriétés telles que la configuration formelle, les dimensions et le positionnement spatial ;
- l'unité fonctionnelle (*functional unit*) qui définit le problème de conception par les contraintes formelles, spatiales et géométrique, que doit satisfaire l'unité de conception. De plus, elle est subdivisée en sous-unités qui raffinent la description du problème. Une unité de conception est rattaché à plusieurs unités fonctionnelles.

La recherche d'une solution, dans SEED, récupère les unités fonctionnelles ayant un degré élevé de similarité avec les spécifications du problème. Par conséquent, les unités de conception rattachées aux unités récupérées sont intégrées dans la solution. De plus, ces unités de conception introduisent dans la description du problème, par le biais de leurs unités fonctionnelles non-récupérées, d'autres spécifications à résoudre ; le cycle est bouclé. Le module du RBC considère que l'accumulation des expériences (solutions) est un effet secondaire de la conception architecturale et par conséquent, elle se fait d'une façon transparente par rapport à l'utilisateur de SEED (Flemming et al., 1994, p. 448). De plus, la remémoration et la réutilisation des précédents aussi bien que la rapidité d'accès appuient l'orientation pratique de ce système.

FABEL (1996). À l'instar de SEED, FABEL est un système modulaire qui unifie, en un seul environnement, le RBC et le formalisme des systèmes experts (Voss, 1997). Ce système définit la conception par les systèmes architecturaux (plancher, murs, fenêtres, etc.), les systèmes techniques (ventilation, mécanique, électricité, etc.), les systèmes fonctionnels (accès, circulations, utilisation, etc.) et les systèmes géométriques (posi-

tions, orientations, dimensions, échelles). Par conséquent, un cas contient la description d'un objet dérivée d'une combinaison de ces systèmes. Les modules de FABEL correspondent aux quatre opérations fondamentales de recherche, réutilisation, révision et rétention (cf. Figure. 2.22). Pour adapter la solution souhaitée à son contexte, FABEL offre plusieurs alternatives pour l'exécution de chaque opération, notamment pour la recherche et la réutilisation. Par exemple, la recherche, dans la base de cas, utilise huit fonctions adaptées aux composantes de la solution souhaitée (Voss, 1997), (Hovestadt et al., 1994, p. 109-123). Ces composantes peuvent être un attribut, une matrice de valeurs, une relation topologique ou un mot-clé. L'opération de réutilisation possède trois fonctions de transformations : topologique (e.g. agrandir une dimension), additive (e.g. ajouter un pilier) et compensatrice (e.g. assurer le respect d'une contrainte donnée). De plus, FABEL détecte dix types de récurrences formelles (*pattern*) dans l'agencement (*layout*) des cas qui constituent une solution donnée (Hovestadt et al., 1994, p. 73-78). Par exemple, une enfilade de locaux donnant sur un corridor est détectée et représentée par une liste abstraite de points. Cette abstraction, qui est un aspect original de ce système, aide à identifier d'autres cas pouvant constituer une transformation de cette enfilade, et par conséquent, contribue à les intégrer dans la production de la solution.

FABEL est un système suffisamment général pour couvrir les tâches principales en conception architecturale et en construction industrielle (Gebhardt et al., 1997). Sa modularité et la disponibilité d'un ensemble de fonctions adaptées à la complexité de la conception assurent une flexibilité de ses applications en CAAO. De plus, la diversité des fonctions obéissent à une sémantique claire définie à partir des éléments architectoniques contenus dans la base de cas. En effet, ces fonctions offrent plusieurs possibilités d'interprétation d'une solution architecturale (un cas). L'organisation modulaire de FABEL facilite son développement ultérieur surtout la gestion de l'interaction de ces modules (Voss, 1997).

GENCAD (2001). GENCAD est un système de conception qui utilise un algorithme génétique pour l'opération de réutilisation des cas (de Silva Garza et Maher, 2001). En développant particulièrement la composante d'adaptation de la réutilisation (cf. Figure. 2.22), cet algorithme élargit la capacité créative du RBC par la production et la modification aléatoires d'un ensemble de solutions. Cet ensemble est ensuite adapté et raffiné pour le rendre adéquat au problème initial de conception. Deux fonctions élémentaires composent l'algorithme : le croisement (*crossover*) et la mutation. À partir de deux cas conservés, le croisement combine une partie des propriétés de l'un avec une partie des propriétés de l'autre, et ensuite les deux autres parties respectives restantes. Il en résulte deux nouveaux cas contenant chacun des propriétés provenant des deux cas parents. La mutation transforme les propriétés d'un seul cas parent et produit un seul nouveau cas. Les solutions produites par ces deux fonctions sont évaluées pour en choisir celles qui

répondent aux exigences du problème. La solution finale est rajoutée à la base de cas du système. Si l'évaluation ne produit pas une solution satisfaisante, l'algorithme reprend tous les cas générés et recommence l'adaptation. La capacité créative de GENCAD est mesurée au niveau du cas produit et du processus de production. Ainsi, le cas produit qui conserve une partie des propriétés de ses parents mais représentée d'une façon nouvelle, est jugé plus créatif qu'un autre qui ne contient aucune trace de ses antécédents ou qui répète la même configuration héritée de ses parents. Un processus est considéré créatif s'il produit un cas créatif et si la séquence des opérations qui le composent n'a pas été réalisée auparavant, en cours de l'inférence, ou elle y est rarement observée. Toutefois, cette créativité combinatoire peut devenir problématique, du point de vue de la complexité de l'évaluation des solutions, si la base des cas est assez grande.

Les cinq applications précédentes mettent en évidence plusieurs aspects pertinents du RBC en CAAO. Ces aspects sont la description de la conception par ses tâches élémentaires et leurs interactions, la conservation de l'historique de la production d'une solution et sa réutilisation dans l'élaboration de nouvelles solutions, la structure des cas et leurs contenus, et les modifications des quatre opérations fondamentales de recherche, réutilisation, révision et rétention pour les adapter aux spécificités de la conception architecturale. Cette évidence représente, en effet, le contexte pratique de l'intégration de l'abduction au RBC pour améliorer ses performances. Ce qui suit présente une approche générale de l'intégration de l'abduction au RBC et un système abductif à base de cas.

2.7.6.2 Une approche hybride d'intégration de l'abduction au RBC (2005)

L'approche suivante présente une intégration hybride de l'abduction et la déduction au RBC (Sun et al., 2005). Il s'agit de combiner les particularités de chacun des deux raisonnements dans le cadre d'un solveur de problème pour uniformiser leur usage en RBC.

Le raisonnement abductif à base de cas est représenté par la formule suivante :

$$\begin{aligned}
 P &\rightarrow Q \text{ (on sait que } P \text{ implique } Q\text{)} \\
 Q &\sim Q' \text{ (on a une similarité entre } Q \text{ et } Q'\text{)} \\
 &Q' \text{ (on a } Q'\text{)} \\
 P &\rightarrow Q' \text{ (alors il est plausible d'avoir } P \text{ comme une justification de } Q'\text{)}
 \end{aligned}$$

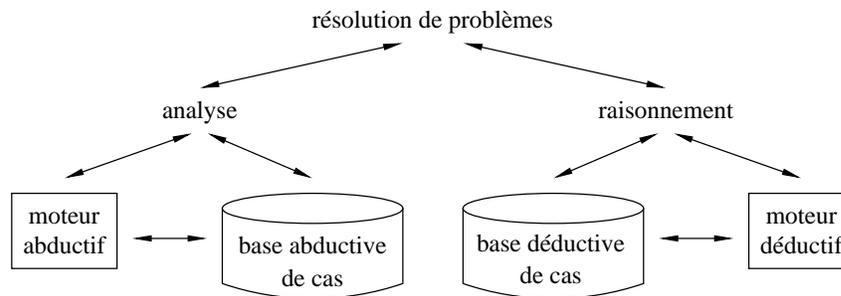


FIG. 2.23 – Schéma de l'intégration de l'abduction au RBC d'après (Sun et al., 2005, p.970).

Le raisonnement déductif est représenté par l'équation :

$$\begin{array}{l}
 P' \quad (\text{on a } P') \\
 P \sim P' \quad (\text{on a une similarité entre } P \text{ et } P') \\
 P \rightarrow Q \quad (\text{on sait que } P \text{ implique } Q) \\
 \therefore Q' \quad (\text{alors il est plausible d'avoir } Q')
 \end{array}$$

Les moteurs abductif et déductif contiennent les processus qui gèrent respectivement les deux bases de cas pour inférer des connaissances requises par l'utilisateur. Le module abductif reçoit en entrée une description du problème à résoudre. À partir des solutions précédentes contenues dans la base abductive, et selon une fonction de mesure de la similarité entre cas précédent et problème reçu, le moteur abductif analyse les composantes du problème et produit, par chaînage arrière, des justifications ou des cas qui pourraient résoudre ces composantes. Ces justifications sont envoyées ensuite à la base déductive, qui contient des cas de règles d'inférences propres au domaine de savoir du problème considéré (cf. Figure 2.23). Pour chaque justification, le moteur déductif examine les règles qui s'y appliquent et qui valident son apport à la résolution du problème ; chaque validation constitue une partie de la solution

Cette approche remplace la mémoire de travail (*working memory*) par une interface graphique qui contient la description du problème, l'état des prémisses engagées dans l'inférence et les conclusions inférées. Dans le RBC déductif, la similarité entre les prémisses n'implique pas une identité entre les conclusions et par conséquent, l'inférence déductive $P' \rightarrow Q'$ peut être incertaine ou plausible, ce qui contredit le fondement de la déduction. De plus, cette approche ne différencie pas nettement entre la base abductive de cas et la base déductive.

2.7.6.3 Un système abductif à base de cas (1993)

L'abduction complète l'inférence de l'induction et de la déduction. Cette sous-section présente un système de conception architecturale hybride à base de cas, qui intègre ces trois formes du raisonnement (Guéna, 1993). Ce système est en effet un solveur de contraintes géométriques à base de cas (*case-based constraint solving*) : ayant les variables du problème, leurs domaines de valeurs respectifs et des contraintes entre les variables, il s'agit de trouver la valeur optimale pour chaque variable en respectant les contraintes imposées.

L'architecture de ce système est composée de trois niveaux, un pour chaque mode d'inférence (cf. Figure. 2.24) :

1. Le niveau abductif cherche dans la mémoire centrale les anciennes configurations (ou solutions) géométriques qui ressemblent, dans une certaine mesure, à la configuration du problème actuel. Une configuration est représentée par un triplet variable-valeurs-contraintes :
 - (a) la spécification ordonne les éléments de la commande du problème selon leurs priorités ; certaines contraintes plus importantes que d'autres sont satisfaites en premier lieu ;
 - (b) la remémoration extrait de la mémoire centrale une configuration (ou plusieurs) dont les performances sont semblables à celles exigées par les spécifications. Cette opération procède par une réduction successive du nombre de configurations plausibles ;
 - (c) l'adaptation modifie certains aspects de cette configuration pour la rendre plus conforme à la commande. L'adaptation se fait par une combinaison avec d'autres anciennes configurations.
2. Le niveau déductif reçoit la configuration hypothétique du problème construite au niveau précédent :
 - (a) la génération produit une ou plusieurs solutions concrètes à cette configuration, en interaction avec l'utilisateur du système. De cette façon les variables du problème obtiennent leurs valeurs ;
 - (b) la vérification valide ensuite le choix de la solution. Cette opération explicite le cheminement de l'inférence dans l'espace des solutions plausibles et en garde une trace. De plus, l'opération constate la réussite ou l'échec de la production de la solution en la comparant aux connaissances du domaine utilisé (réglementation, lois physiques, etc.).

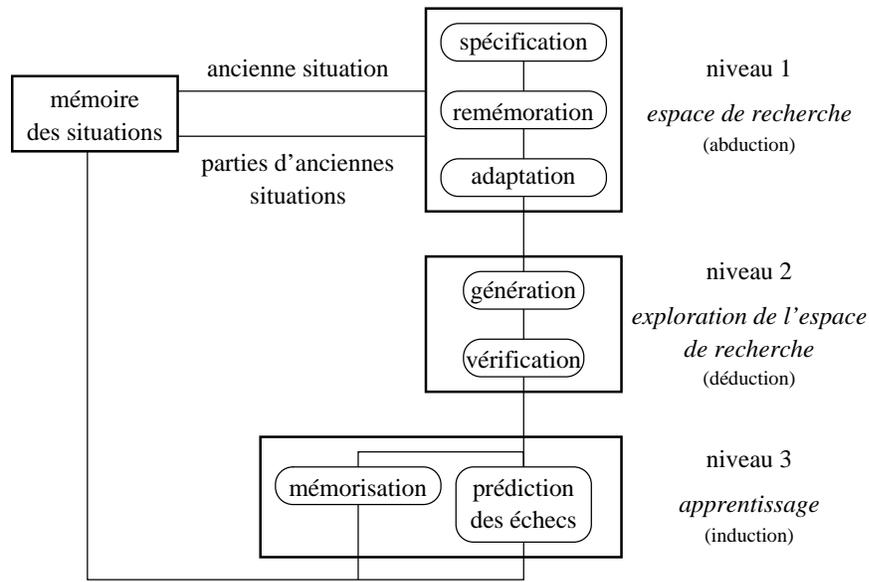


FIG. 2.24 – Un système abductif hybride (Guéna, 1993).

3. Le niveau inductif généralise les expériences acquises pendant la résolution d'un problème et en conserve les plus efficaces dans la mémoire du système ; c'est un processus d'apprentissage. L'expérience y est représentée par un schéma (*frame*) :
 - (a) la prédiction des échecs examine la trace produite au niveau précédent et en fournit les causes. Cette opération évite la réutilisation ultérieure, dans le cas d'un nouveau problème, des éléments qui ont causé l'échec de la solution actuelle si ce nouveau problème ressemble à la commande présente. Les causes sont renvoyées au premier niveau pour reproduire de nouvelles configurations ;
 - (b) la mémorisation des solutions réussies accroît l'expérience du solveur et élargit l'espace des schémas conservés, en particulier les domaines des valeurs appliquées à ces solutions ; le système apprend et devient plus efficace.

Ce système à base de cas s'applique pendant la phase préliminaire de la conception architecturale. Il remplace l'enchaînement causal, fréquent dans la majorité des systèmes étudiés précédemment, par un raisonnement analogique où la similarité avec les expériences passées joue un rôle important. La dépendance par rapport aux expériences passées renforce le lien de ce modèle avec le contexte d'utilisation et le domaine des connaissances choisies. Par conséquent les opérations heuristiques sont adaptées à chaque problème. Aussi, justifie-t-il la production d'une hypothèse incomplète qui pourrait être complétée, si le problème se présente ultérieurement, avec l'apprentissage et l'acquisition de nouvelles connaissances. L'utilisation des solutions préalables réduit la complexité et le coût de la génération et la sélection des hypothèses. De plus, dans ce système l'intégration des trois modes d'inférence assure

une flexibilité à son usage et soutient amplement la sélection d'une hypothèse. Toutefois, la production des hypothèses n'est pas explicitement traitée. Le système considère qu'elles sont déjà présentes dans sa mémoire, ou au moins que leurs composantes élémentaires le sont, et limite les opérations utilisées pour introduire les nouvelles connaissances à un nombre restreint de variables géométriques.

2.7.7 Synthèse de l'abduction en CAAO

L'abduction assure une cohérence à la reformulation récurrente du problème de conception et introduit de nouvelles variables qui aident dans l'élaboration et la recherche de la solution. La diversité des tâches en conception et leurs spécificités respectives sont mise en évidence par la variété des systèmes abductifs présentés précédemment. L'accent est mis sur l'importance du raisonnement à base de cas dont la similarité, dans son acception la plus générale, constitue le processus par lequel le problème à résoudre et la solution hypothétique sont mis en correspondance. D'ailleurs, la monotonie préservée par des conditions explicites sur la formalisation de l'abduction devient un problème fondamental pour la caractérisation de la créativité abductive, et par conséquent de sa représentation numérique (Mitchell, 1990, p. 81). Le problème de caractérisation persiste au point où le modèle abductif en IA et en CAAO est qualifié de non opérationnel (Coyne, 1995, p. 227-228).

2.7.8 Discussion générale des approches numériques

La Sous-section §2.6.1 établit une grille de critères pour l'évaluation des approches abductives. Elle s'adresse, selon des degrés différents, aux tâches requises (recherche et sélection, composition et combinaison, évaluation et vérification), par chacune des approches et des postulats fondamentaux qui les sous-tendent. Nous discutons ici, en détail, des remarques saillantes que cette grille a explicité (cf. Figure. 2.25) :

1. Les opérations et les conditions heuristiques appliquées à l'inférence des hypothèses présupposent la considération de leurs interactions externes et internes (entre leurs composantes élémentaires) aux niveaux de la dépendance et la compatibilité. De plus, les règles d'assemblage et de sélection des hypothèses et leur complétude sont affectées par la composition et l'annulation (ou le retrait d'une composante ou d'une hypothèse). La sélection et la validation d'une hypothèse dépend aussi de l'identification de l'incertitude et des opérations utilisées dans sa gestion (par exemple, les probabilités et possibilités conditionnelles), et des conditions préalables d'arrêt de l'inférence en fonction du coût et de la complexité.

2. Il est rare (sinon impossible) qu'une stratégie de recherche, de combinaison et de validation, soit universellement applicable indépendamment du contexte. Cette constatation demeure valable aussi pour la gestion de la cohérence et la monotonie et l'incertitude (cf. point suivant). Certaines approches favorisent l'indépendance et par conséquent une généralité relative de l'application (les réseaux bayésiens). D'autres, notamment le raisonnement à base de cas, optent pour une forte dépendance au contexte et à la spécificité des problèmes traités. La contextualisation pose la question de l'anticipation de la résolution de problèmes ultérieurs et des prévisions à intégrer au système pour assurer son adaptation. De plus, la contextualisation favorise l'application de l'abduction qui ne peut être que contextuelle.
3. Les approches présentées élargissent itérativement la monotonie inférencielle des solutions abductives. Certaines sont plus prudentes que les autres et vérifient la cohérence de l'inférence à chaque pas. Les approches qui défèrent la vérification ajoutent une incertitude à la production et incluent des fonctions d'annulation. Il est courant d'obtenir des hypothèses partielles qui résolvent une partie des données du problème ; dans ce cas, la quantité produite peut compenser l'incomplétude, la faisabilité pratique remplace l'optimum, et par conséquent l'adéquation par rapport aux problèmes étudiés est maintenue.
4. Le choix des connaissances représentées dans un système implique la décision d'écartier d'autres connaissances. Cette décision présuppose un parti pris concernant les problèmes potentiels que traitera ce système et les critères d'acceptation d'une hypothèse en tant que solution faisable et pertinente. De plus, chaque domaine étudié impose ses contraintes sur la formalisation numérique et l'usage des algorithmes, en particulier ceux qui traitent l'incertitude dans un sens général. Comme déjà remarqué, l'abduction est essentiellement incertaine, les données peuvent être imprécises et vagues, incomplètes et contradictoire, leurs interactions complexes et changeantes (dépendance, composition, compatibilité, annulation). Le jugement du concepteur (ou de l'utilisateur) du système quant à la probabilité, la plausibilité ou la possibilité d'une information affecte la modélisation de ces connaissances et leur utilisation ; la flexibilité est requise mais sous condition d'une complexité computationnelle acceptable.

2.8 Conclusion

L'abduction occupe une place importante dans les recherches en intelligence artificielle (IA). Le développement historique de ce mode de raisonnement, dans le cadre général de la pensée de Peirce, est marqué par la transition d'une formalisation syllogistique à une forme appelée perceptive. Les deux processus fondamentaux de production et de sélection d'hypothèses ont été explicités, aussi bien que leur interdépendance et l'importance de leur simultanéité

		<i>Approche Possibiliste</i>	<i>Réseaux Bayésiens</i>	<i>TACTUS</i>	<i>ATMS</i>	<i>THEORIST</i>	<i>PCT</i>	<i>PI</i>	<i>RED</i>	<i>PEIRCE</i>	<i>RETWALL</i>	<i>DESIGN SIMULATOR</i>	<i>LPA</i>	<i>RBC</i>	<i>Abduction intégrée</i>
heuristique	complétude		■	■	■		■				■	■			
	satisfaisabilité	■				■		■	■	■			■	■	■
contexte	dépendance			■				■	■		■				
	indépendance	■	■		■	■	■			■			■	■	■
monotonie	contradiction		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	annulation		■				■	■	■	■		■	■	■	
ontologie	exhaustivité	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■		■	
	compatibilité	■			■		■					■	■		■
		<i>Intelligence artificielle</i>										<i>CAAO</i>			

FIG. 2.25 – La grille comparative des approches abductives

dans cette inférence. De plus, plusieurs caractéristiques nécessaires au développement de l'abduction en CAAO ont été mises en évidence. Le caractère synthétique de cette inférence et sa relation avec l'interprétation subjective du concepteur, la considération de la mémoire et sa contextualisation, la transformation des connaissances antérieures engagés dans l'abduction, la complexité conceptuelle de cette inférence considérée du point de vue de la conception par l'émergence, la créativité, l'originalité et la nouveauté, tous ces facteurs contribuent à mieux comprendre la dynamique abductive.

Au sujet de la représentation numérique de l'abduction, cinq approches générales en IA et des exemples en CAAO pour chacune ont été présentés. Leurs propriétés respectives sont mises en évidence par une grille comparative (cf. Figure. 2.25) qui traite des formalismes et des structures de données utilisées, des opérations de recherche et de sélection dans les espaces d'hypothèses, des processus de contrôle et de gestion de l'incertitude, de la dépendance par rapport au contexte et aux connaissances du domaine étudié, et de l'ontologie de ces connaissances. Les applications couvrent des champs divers et témoignent de l'efficacité de l'abduction dans la découverte et l'invention scientifiques.

La représentation normative de cette inférence demeure la principale source de questionnement et de développement en IA. La sémiotique de Charles Sanders Peirce est incontournable dans toute réflexion sur l'abduction. Bien que la mécanisation du raisonnement hypothétique

ait atteint un degré très avancé, on constate un manque de modèles sémiotiques de l'abduction en IA et en particulier en CAAO. Cette thèse argumente qu'une amélioration de la compréhension du processus abductif utilisé en conception et une augmentation de l'efficacité des outils numériques de la CAAO nécessitent un changement de registre fourni par la sémiotique, une sorte de cybernétique du deuxième ordre, une approche où le concepteur construit sa conception qui l'affecte en retour. Donc, le chapitre suivant étudie les fondements de la sémiotique et ses outils opératoires pour en dégager une formalisation de l'abduction.

Références

Aamodt, A. et Plaza, E. (1994). Case-based reasoning : Foundational issues, methodological variations, and system approaches. *Artificial Intelligence Communications*, 7(1) :39–59.

Aliseda, A. (2003). Mathematical reasoning vs. abductive reasoning : a structural approach. *Synthese*, 134(1-2) :25–44.

Anderson, D. R. (1986). The evolution of Peirce’s concept of abduction. *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 23(2) :145–163.

Anderson, D. R. (1987). *Creativity and the Philosophy and C.S. Peirce*, volume 27 de *Martinus Nijhoff Philosophy Library*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.

Ariton, V. et Ariton, D. (2007). Neural network models for abduction problems solving. In Apolloni, B., Howlett, R. J., et Jain, L. C. (dir.), *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, 11th International Conference, KES 2007, XVII Italian Workshop on Neural Networks, Vietri sul Mare, Italy, September 12-14, 2007. Proceedings, Part 1*, number 4692 in *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 52–59, Berlin. Springer-Verlag.

Aygen, Z. et Flemming, U. (1998). Classification of precedents : A hybrid approach to indexing and retrieving design cases in seed (a software environment for the early phases of building design). In *Proceedings of The Third Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia - CAADRIA '98*, pages 435–444. Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA.

Ayim, M. (1974). Retroduction : the rational instinct. *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 10(1) :34–43.

Bareiss, R. (1989). *Exemplar-based knowledge acquisition : a unified approach to concept representation, classification, and learning*. Academic Press, Boston.

Barwise, J. et Perry, J. (1983). *Situations and Attitudes*. The MIT Press, Cambridge, MA.

Bazire, M. et Brézillon, P. (2005). Understanding context before using it. In Dey, A., Kokinov, B., Leake, D., et Turner, R. (dir.), *Modeling and Using Context. 5th International and Interdisciplinary Conference CONTEXT 2005, Paris, France, July 5-8, 2005, Proceedings*, volume 3554 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 29–40, Berlin/Heidelberg. Springer.

- Benferhat, S., Dubois, D., Lang, J., et Prade, H. (1993). Hypothetical reasoning in possibilistic logic : Basic notions, applications and implementation issues. In Wang, P. Z. et Loe, K. F. (dir.), *Between Mind and Computer : Fuzzy Science and Engineering*, chapitre 1, pages 1–29. World Scientific.
- Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, Arousal and Curiosity*. McGraw-Hill, New York.
- Börner, K. (1998). CBR for Design. In Lenz, M., Bartsch-Spörl, B., Burkhard, H.-D., et Wess, S. (dir.), *Case-Based Reasoning Technology : From Foundations to Applications*, volume 1400 de *Lecture Notes in Computer Science*, chapitre 8, pages 201–234. Springer, Berlin.
- Bouquet, P., Ghidini, C., Giunchiglia, F., et Blanzieri, E. (2003). Theories and uses of context in knowledge representation and reasoning. *Journal of Pragmatics*, 35(3) :455–484.
- Brand, M. (1999). Pattern discovery via entropy minimization. In Heckerman, D. et Whittaker, J. (dir.), *Proceedings of the Seventh International Workshop on Artificial Intelligence and Statistics, 1999*, San Francisco. Morgan Kaufmann.
- Brézillon, P. (1999). Context in problem solving : a survey. *The Knowledge Engineering Review*, 14(1) :47–80.
- Brogaard, B. O. (1999). Peirce on abduction and rational control. *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 35(1) :129–155.
- Burks, A. W. (1946). Peirce’s theory of abduction. *Philosophy of Science*, 13(4) :301–306.
- Burks, A. W. (dir.) (1960). *Collected Papers of Charles Sanders Peirce, Volumes VII and VIII, Science and Philosophy and Reviews, Correspondence and Bibliography*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Bylander, T., Allemang, D., Tanner, M. C., et Josephson, J. R. (1991). The computational complexity of abduction. *Artificial Intelligence*, 49(1-3) :25–60.
- Charniak, E. et McDermott, D. (1985). *Introduction to Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Charniak, E. et Shimony, S. E. (1994). Cost-based abduction and map explanation. *Artificial Intelligence*, 66(2) :345–374.
- Coyne, R. D. (1988). *Logic Models of Design*. Pitman, Londres.
- Coyne, R. D. (1991). Objectivity and the design process. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 18(3) :361–371.
- Coyne, R. D. (1995). *Designing Information Technology in the Postmodern Age : from Method to Metaphor*. Leonardo. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Coyne, R. D. et Gero, J. S. (1985). Design Knowledge and Context. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 12(4) :419–442.
- Coyne, R. D., Rosenman, M. A., Radford, A., Balachandran, M., et Gero, J. S. (1990). *Knowledge Based Design Systems*. Addison Wesley, Reading, MA.

- Darwiche, A. et Provan, G. (1997). Query dags : a practical paradigm for implementing belief network inference. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 6 :147–176.
- Dave, B., Schmitt, G., Faltings, B., et Smith, I. (1994). Case based design in architecture. In Gero, J. et Sudweeks, F. (dir.), *Artificial Intelligence in Design - AID '94*, pages 145–162, Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.
- de Silva Garza, A. G. et Maher, M. L. (2001). GENCAD : A hybrid analogical/evolutionary model of creative design. In Gero, J. S. et Maher, M. L. (dir.), *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Models of Creative Design*.
- DeKleer, J. (1986a). An assumption-based TMS. *Artificial Intelligence*, 28(2) :127–162.
- DeKleer, J. (1986b). Extending the ATMS. *Artificial Intelligence*, 28(2) :163–196.
- DeKleer, J. (1986c). Problem Solving with the ATMS. *Artificial Intelligence*, 28(2) :197–224.
- Deledalle, G. (dir.) (1978). *Charles S. Peirce : Écrits sur le Signe*. Ordre philosophique. Éditions du Seuil, Paris.
- Dey, A. K. (2001). Understanding and using context. *Personal Ubiquitous Computing*, 5(1) :4–7.
- Ding, L. et Gero, J. S. (2001). The emergence of the representation of style in design. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 28(5) :707–731.
- Domeshek, E. et Kolodner, J. (1991). Towards a case-based aid for conceptual design. *International Journal of Expert Systems*, 4(2) :201–220.
- Domeshek, E. et Kolodner, J. (1992). A case-based design aid for architecture conference on artificial intelligence and design. In Gero, J. S. (dir.), *Proceedings of the Second International*, pages 497–516, Pays-Bas. Kluwer Academic Press.
- Doyle, J. (1979). A Truth Maintenance System. *Artificial Intelligence*, 12(3) :232–272.
- Dubois, D., Gilio, A., et Kern-Isberner, G. (2007). Probabilistic abduction without priors. *International Journal of Approximate Reasoning*, in press :uncorrected proof.
- Dubois, D. et Prade, H. (1992). Possibilistic abduction. In Bouchon-Meunier, B., Valverde, L., et Yager, R. R. (dir.), *IPMU 92 - Advanced Methods in Artificial intelligence*, pages 3–12, Berlin. 4th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Palma de Mallorca, Spain, July 6-10, Springer-Verlag.
- Dubois, D. et Prade, H. (2004). Possibilistic logic : a retrospective and prospective view. *Fuzzy Sets and Systems*, 144(1) :3–23.
- Fann, K. T. (1970). *Peirce's Theory of Abduction*. Martinus Nijhoff, The Hague.
- Flach, P. A. et Kakas, A. C. (dir.) (2000). *Abduction and Induction : Essays on their relation and integration*. Kluwer Academic Publishers, Pays-Bas.

- Flemming, U. (1987). More than the sum of parts : the grammar of Queen Anne houses. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 14(3) :323–350.
- Flemming, U., Coyne, R., et Snyder, J. (1994). Case-based design in the SEED system. In Khozeimeh, K. (dir.), *Computing in Civil Engineering, vol. 1, Proceedings of the First Congress held in conjunction with the A/E/C Systems*, pages 446–453, New York. American Society of Civil Engineers.
- Flemming, U. et Snyder, J. (1997). Building and databases : the SEED experience. In *Internationales Kolloquium ber Anwendungen der Informatik und Mathematik in Architektur und Bauwesen*.
- Forbus, K. D. et De Kleer, J. (1993). *Building Problem Solvers*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Frankfurt, H. G. (1958). Peirce's notion of abduction. *The Journal of Philosophy*, 55(14) :593–597.
- Gebhardt, F., Voss, A., Gräther, W., et Schmidt-Belz, B. (1997). *Reasoning with complex cases*, volume 393 de *The Kluwer Series in Engineering and Computer Science*. Kluwer Academic Publishers.
- Gebhart, J. et Kruse, R. (1995). A numerical framework for possibilistic abduction. In Bouchon-Meunier, B., Yager, R. R., et Zadeh, L. (dir.), *Advances in Intelligent Computing - IPMU'94, 5th International Conference on Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems*, Lecture Notes in Computer Science, Berlin. International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Paris, France, Springer.
- Gero, J. S. (1996). Creativity, emergence and evolution in design : concepts and framework. *Knowledge-Based systems*, 9(7) :435–448.
- Gero, J. S. et Maher, M. L. (dir.) (1992). *Modeling creativity and knowledge-based creative design*. Lawrence Erlbaum associates, Hillsdale, NJ.
- Goldschmidt, G. et Tatsa, D. (2005). How good are good ideas ? correlates of design creativity. *Design Studies*, 26(6) :593–611.
- Guéna, F. (1993). Une architecture de système à base de connaissances fondée sur l'abduction, la déduction et l'induction. In Beheshti, M. et Zreik, K. (dir.), *Advanced Technologies : architecture, planning, civil engineering*, pages 77–87. Elsevier.
- Hartshorne, C. et Weiss, P. (dir.) (1960). *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Haugeland, J. (1985). *Artificial Intelligence : the very idea*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Hausman, C. R. (1990). In and out of Peirce's percepts. *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 26(3) :271–308.

- Hermann, M. et Pichler, R. (2008). Counting complexity of minimal cardinality and minimal weight abduction. In Hölldobler, S., Lutz, C., et Wansing, H. (dir.), *Logics in Artificial Intelligence. Eleventh European Conference, JELIA 2008, Dresden, Germany, September 28-October 1, 2008, Proceedings*, number 5293 in Lecture Notes in Artificial Intelligence, pages 206–208, Berlin. Springer-Verlag.
- Hobbs, J. R. (1986). Overview of the TACITUS project. In *HLT '86 : Proceedings of the workshop on Strategic computing natural language, Marina del Rey, California*, pages 19–25, Morristown, NJ. Association for Computational Linguistics.
- Hobbs, J. R. (2001). *Abduction in Natural Language Understanding*, chapitre 4. Volume 16 of (Horn et Ward, 2001).
- Hobbs, J. R., Stickel, M., Appelt, D., et Martin, P. (1993). Interpretation as abduction. *Artificial Intelligence*, 63(1-2) :69–142.
- Hoffmann, M. (1999). Problems with Peirce's concept of abduction. *Foundations of Science*, 4(3) :271–305.
- Hoffmann, M. H. G. (2006). Signs as means for discoveries : Peirce and his concepts of "diagrammatic reasoning, "theorematic deduction," "hypostatic abstraction," and "theoric transformation". In Hoffmann, M. H. G., Lenhard, J., et Seeger, F. (dir.), *Activity and Sign - Grounding Mathematics Education*, pages 45–56. Springer.
- Horn, L. et Ward, G. (dir.) (2001). *The Handbook of Pragmatics*, volume 16 de *Blackwell Handbooks in Linguistics*. Blackwell, Malden, MA.
- Hovestadt, L., Schmit-Belz, B., Gräther, W., Linowski, B., Coulon, C., Steffens, R., Barsch-Spörl, B., Tammer, E., Börner, K., Schaaf, J. W., Knauff, M., Schlieder, C., Dürschke, H., et Voss, A. (1994). Similarity concepts and retrieval methods. FABEL project. Rapport technique NR-13, Institute for Applied Information Technology, University of Freiburg, Freiburg, Allemagne.
- Hua, K. et Faltings, B. (1993). Exploring case-based building design CADRE. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AI EDAM)*, 7(2) :135–144.
- Hutchinson, P., Rosenman, M., et Gero, J. (1987). RETWALL : An expert system for the selection and preliminary design of earth retaining structures. *Knowledge-based Systems*, 1(1) :11–23.
- Inoue, K. et Sakama, C. (2002). Disjunctive explanation in abductive logic programming. *Linköping Electronic Articles in Computer and Information Science*, 7(7) :1–24.
- Josephson, J. R. et Josephson, S. G. (dir.) (1994). *Abductive Inference : Computation, philosophy, technology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Knight, T. (2003). Computing with emergence. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 30(1) :125–155.

- Kolodner, J. (1993a). *Case based reasoning*. Morgan Kaufmann, San Francisco.
- Kolodner, J. (1993b). Understanding creativity : A case-based approach. In Richter, M., Wess, S., Althoff, K.-D., et Maurer, T. (dir.), *Topics in Case-Based Reasoning. Selected papers from the First European Workshop on Case-Based Reasoning - EWCBR 1993*, pages 3–20, Berlin. Springer-Verlag.
- Kruijff, G.-J. M. (2005). Peirce's late theory of abduction : A comprehensive account. *Semiotica*, 153(1/4) :431–454.
- Leake, D. B. (1992). *Evaluating Explanations : a content theory*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Li, H.-L. et Kao, H.-Y. (2005). Constrained abductive reasoning with fuzzy parameters in bayesian networks. *Computers & Operations Research*, 32(1) :87–105.
- Lieb, I. C. (dir.) (1953). *Charles S. Peirce's Letters to Lady Welby*. Whitlock's Inc, New Haven, CT.
- Lin, F.-T. et Wang, H. (2001). Using apl to explore the non-monotonicity in design process. In Pentillä, H. (dir.), *Architectural Information Management. Proceedings of the 19th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe, Helsinki*, pages 131–136, Helsinki. Ecaade2001, Helsinki University of Technology.
- Maher, M. L. (1998). CBR as a framework for design : Augmenting cbr with other ai techniques. In Aha, D. et Daniels, J. J. (dir.), *Case-Based Reasoning Integrations : Papers from the AAAI Workshop*, pages 96–101. The AAAI Press.
- Maher, M. L. et de Silva Garza, A. G. (1996). Developing case-based reasoning for structural design. *IEEE Intelligent Systems*, 11(3) :42–52.
- Maher, M. L. et Pu, P. (dir.) (1997). *Issues and Applications of Case-Based Reasoning in Design*. Lawrence Erlbaum Associates Inc, Nahwah, New Jersey.
- March, L. (1976). The Logic of Design and the Question of Value. In March, L. (dir.), *The Architecture of Form*, pages 1–40. Cambridge University Press, Cambridge.
- Marty, R. (1990). *L'Algèbre des Signes : Essai de sémiotique scientifique d'après Charles Sanders Peirce*, volume 24 de *Foundations of Semiotics*. John Benjamins, Amsterdam ; Philadelphie.
- Massruha, S. M. F. S., Sandri, S. A., et Wainer, J. (2003). Fuzzy covering theory : an alternative approach for diagnostic problem solving. web.
- Mayer, M. C. et Pirri, F. (1996). Abduction is not deduction-in-reverse. *Journal of the Interest Group in Pure and applied Logics*, 4(1) :86–104.
- McCarthy, J. (1986). Notes on formalizing contexts. In Kehler, T. et Rosenschein, S. (dir.), *Proceedings of the Fifth National Conference on Artificial Intelligence*, pages 555–560, Los Altos, CA. Morgan Kaufmann.

- Mitchell, W. J. (1977). *Computer-Aided Architectural Design*. Van Nostrand Reinhold, New York ; Toronto.
- Mitchell, W. J. (1990). *The Logic of Architecture : Design, Computation and Cognition*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Mohamed, F., Marzouki, M., et Touati, M. H. (1996). Flames : A fuzzy logic atms and model-based expert system for analog diagnosis. In *EDTC '96 : Proceedings of the 1996 European conference on Design and Test*, pages 259–263, Washington, DC. IEEE Computer Society.
- Morgan, C. G. (1971). Hypothesis generation by machine. *Artificial Intelligence*, 2(2) :179–187.
- Navinchandra, D. (1991). *Exploration and Innovation in Design : Towards a Computational Model*. Springer-Verlag, New York.
- Newell, A., Shaw, J. C., et Simon, H. A. (1967). The processes of creative thinking. In Gruber, H. E., Terrel, G., et Wertheimer, M. (dir.), *Contemporary Approaches to Creative Thinking*, chapitre 3, pages 63–119. Atherton Press, New York.
- Newell, A. et Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Pearl, J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems : networks of plausible inference*. The Morgan Kaufmann series in representation and reasoning. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.
- Pearl, J. et Russell, S. (2003). Bayesian Networks. In Arbib, M. A. (dir.), *Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, chapitre 3, pages 149–152. MIT Press, 2 edition.
- Peirce, C. S. (1987). *Textes Fondamentaux de Sémiotique ; traduits de l'anglais et annotés par Berthe Fouchier-Axelsen et Clara Foz*. Collection d'épistémologie. Méridiens Klincksieck, Paris.
- Peng, Y. et Reggia, J. A. (1990). *Abductive Inference Models for Diagnostic Problem-Solving*. Symbolic computation. Artificial intelligence. Springer-Verlag, New York.
- Polya, G. (1958). *Les Mathématiques et le Raisonnement Plausible*. Gauthier-Villars, Paris.
- Poole, D. (1989). Explanation and prediction : An architecture for default and abductive reasoning. *Computational Intelligence*, 5(2) :97–110.
- Poole, D. (1993). Probabilistic horn abduction and bayesian networks. *Artificial Intelligence*, 64(1) :81–129.
- Poole, D., Goebel, R., et Aleliunas, R. (1987). THEORIST : a logical reasoning system for defaults and diagnosis. In Cercone, N. et McCalla, G. (dir.), *The Knowledge Frontier : essays in the representation of knowledge*, pages 331–352. Springer-Verlag, New York.
- Pople, H. E. (1973). On the mechanization of abductive logic. In Nilsson, N. (dir.), *Proceedings of the third international conference on artificial intelligence*, pages 147–152, Stanford, CA. IJCAI-73, William Kaufmann.

- Prendinger, H. et Ishizuka, M. (2005). A creative abduction approach to knowledge discovery. *Knowledge-Based Systems*, 18(7) :321–326.
- Punch, W. F., Tanner, M. C., Josephson, J. R., et Smith, J. W. (1990). PEIRCE : A tool for experimenting with abduction. *IEEE Expert*, 5(5) :34–44.
- Raduma, P. (2000). Modeling CBR representation for architectural design reuse. In Staab, S. et O’Leary, D. (dir.), *Bringing Knowledge to Business Processes : Papers from 2000 AAAI Spring Symposium*, pages 1–7. The AAAI Press.
- Ray, O. et Inoue, K. (2007). A consequence finding approach for full clausal abduction. In Corruble, V., Takeda, M., et Suzuki, E. (dir.), *Discovery Science. 10th International Conference, DS 2007, Sendai, Japan, October 1-4, 2007, Proceedings*, number 4755 in Lecture Notes in Artificial Intelligence, pages 173–184, Berlin. Springer-Verlag.
- Rosenman, M. A. et Gero, J. S. (1992). Creativity in design using a design prototype approach. In (Gero et Maher, 1992), chapitre 6, pages 111–138.
- Rowe, P. G. (1987). *Design Thinking*. the MIT Press, Cambridge, MA.
- Schank, R. C. (1982). *Dynamic memory : a theory of reminding and learning in computers and people*. Cambridge University Press, Cambridge, 1 edition.
- Schank, R. C. (1999). *Dynamic memory revisited*. Cambridge University Press, Cambridge, 2 edition.
- Schilit, B., Adams, N., et Want, R. (1994). Context-aware computing applications. In *Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1994*, pages 85–90, Santa Cruz, CA. IEEE.
- Segers, N., de Vries, B., et Achten, H. (2005). Do word graphs stimulate design ? *Design Studies*, 26(6) :625–647.
- Shapiro, S. C. (1998). Belief revision and truth maintenance. Technical report 98-10, Department of Computer Science and Engineering, State University of New York, Buffalo, Buffalo, New York.
- Simina, M. et Kolodner, J. (1997). Creative design : Reasoning and understanding. In *ICCB-97 Proceedings*, pages 587–598, Providence, RI.
- Simon, H. A. (1977). *Models of Discovery and other topics in the methods of science*, volume 54 de *Boston studies in the philosophy of science*. D. Reidel Pub. Co, Dordrecht, Pays-Bas ; Boston.
- Sintonen, M. (2004). Reasoning to hypotheses : Where do questions come ? *Foundations of Science*, 9(3) :249–266.
- Soufi, B. et Edmonds, E. (1996). The cognitive basis of emergence : implications for design support. *Design Studies*, 17(4) :451–463.
- Sowa, J. (2000). *Knowledge Representation : Logical, Philosophical, and Computational Foundations*. Brooks/Cole, Pacific Grove ; Toronto.

- Sun, Z., Finnie, G., et Weber, K. (2005). Abductive case based reasoning. *International Journal of Intelligent Systems*, 20(9) :957–983.
- Takeda, H. (1994). Abduction for design. In Gero, J. S. et Tyugu, E. (dir.), *Formal Design Method for CAD, IFIP Transactions B-18*, pages 221–244, Amsterdam. Elsevier Science Publishers.
- Takeda, H., Yoshioka, M., et Tomiyama, T. (2001). A general framework for modeling of synthesis - integration of theories of synthesis. In *13th International Conference on Engineering Design - ICED 01*, pages 307–314.
- Tanner, M. et Josephson, J. R. (1994). The role of explanatory relationships in strategies for abduction. *IEEE Expert*, 9(3) :54–59.
- Testa, P., O'Reilly, U.-M., Weiser, D., et Ross, I. (2001). A crosscutting research program and curriculum integrating architecture and artificial intelligence. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 28(4) :481–498.
- Thagard, P. (1981). The autonomy of a logic of discovery. In Sumner, L. W., Slater, J. G., et Wilson, F. (dir.), *Pragmatism and Purpose : essays presented to Thomas A. Goudge*, chapitre 2, pages 248–260. University of Toronto Press, Toronto.
- Thagard, P. (1988). *Computational Philosophy of Science*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Tomiyama, T., Takeda, H., Yoshioka, M., et Shimoura, Y. (2003). Abduction for creative design. In Lipton, H., Antonsson, E. K., et Koza, J. R. (dir.), *Working Notes for AAAI-2003 Spring Symposium Series on Computational Synthesis : From Basic Building Blocks to High Level Functionality*.
- Ueda, K. (2001). Emergent synthesis. *Artificial Intelligence in Engineering*, 15(4) :319–320.
- van der Lugt, R. (2000). Developing a graphic tool for creative problem solving in design groups. *Design Studies*, 21(5) :505–522.
- Voss, A. (1997). Design specialists in FABEL. In (Maher et Pu, 1997), pages 301–336.
- Weiss, Y. et Freeman, W. T. (2001). Correctness of belief propagation in gaussian graphical models of arbitrary topology. *Neural Computation*, 13(10) :2173–2200.
- Wills, L. M. et Kolodner, J. L. (1994). Towards more creative case-based design systems. In *Proceedings of the twelfth national conference on Artificial intelligence*, pages 50–55, Menlo Park, CA. American Association for Artificial Intelligence.
- Woodbury, R., Flemming, U., Coyne, R., Fennes, S. J., et Garrett, J. (1995). The SEED project : A software environment to support the early phases in building design. In *Proceedings of the Eighth International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems*, pages 781–786. ACM.

Chapitre 3

La sémiotique

3.1 Introduction

La sémiotique est la science qui étudie les signes et la signification. La Relation dans son sens le plus général constitue la notion fondamentale de cette théorie. Le raisonnement sur les phénomènes, extérieurs et intérieurs, perçus et conçus se fait par le moyen de systèmes de relations en interaction d'où émerge une représentation signifiante et intelligible. La capacité synthétique de la sémiotique, qui résulte de sa considération de l'interaction triadique objet-représentamen-interprétant (que nous traduisons, dans le cadre général des sciences de la conception, par phénomène-modèle-concepteur), s'adapte à la modélisation de la dynamique inférencielle de l'abduction. De plus, l'intégration du concepteur dans ce processus, par le biais de la composante interprétative de la sémiotique (soit l'interprétant), contextualise le contenu de la représentation et introduit un niveau supplémentaire de complexité productive de solutions architecturales.

Le chapitre précédent fournit les fondements conceptuels de l'abduction et de sa représentation. Il met en évidence le manque de modèles sémiotiques de l'abduction en intelligence artificielle (IA) et en conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO). De plus, il explicite le rôle centrale et essentiel que joue l'abstraction hypostatique dans la production d'une hypothèse et son contrôle (cf. §2.4.1.2).

Le chapitre présent construit un cadre sémiotique de modélisation de l'abduction en conception architecturale. La deuxième section du chapitre explique l'organisation des systèmes

sémiotiques, leurs définitions et leurs composantes. La troisième section approfondit cette explication et en dégage les conséquences surtout au niveau de l'élaboration d'un calcul interprétatif. Ensuite, la quatrième section met en exergue le rapport entre sémiotique et abduction, et élabore une forme sémiotique de l'abduction à travers l'abstraction hypostatique.

3.2 Éléments de sémiotique

Cette section examine les concepts élémentaires de la sémiotique tels que le signe et ses corrélats, les catégories phanérosopiques, la trichotomie, la triadicité, les classes de signes triadiques et la notion de réplique.

3.2.1 Le signe

Selon Peirce, la signification est une relation dynamique entre trois corrélats élémentaires du signe (cf. Figure. 3.1) : (1) le représentamen, par exemple le plan architectural d'une maison, (2) son objet, c'est la maison en tant qu'édifice architectural et (3) son interprétant, qui désigne pour un observateur donné, la maison comme concept, connaissances et propriétés (Peirce, 1987, p. 38). Le représentamen médiatise la connaissance de l'objet par l'interprétant « Un signe ou *représentamen* est un premier qui entretient avec un second appelé son *objet*, une relation triadique si authentique qu'il peut déterminer un troisième, appelé son *interprétant*, à entretenir avec son objet la même relation triadique qu'il entretient lui-même avec ce même objet » (Deledalle, 1978, p. 147, CP 2.274). La signification est donc fondamentalement un rapport triadique non réductible à une somme de relation diadique ou binaire (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.484) ; Peirce appelle cette dynamique de relations la *sémiose* et pour insister sur son caractère continu, il la désigne par *la sémiose illimitée*.

Peirce utilise le terme *représentamen* pour dénoter le premier corrélat du signe jusqu'en 1905 (Marty, 1990, p. 69) et l'abandonne ensuite en faveur du terme signe. Puisque l'usage indifférent des deux synonymes, établi dans la littérature, pourrait introduire dans ce texte une confusion entre le corrélat (représentamen) et la totalité (le signe), la distinction sera maintenue et elle se fera selon la nécessité du contexte de citation. De plus, le terme acte sémiotique désigne la construction logique du signe dans sa totalité.

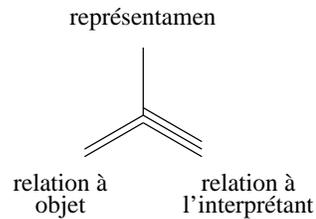


FIG. 3.1 – Le signe.

La littérature contient un nombre élevé de définitions du signe chez Peirce (Sanders, 1970, Burks et Weiss, 1945). L'abondance et la variété de ces définitions reflètent le caractère dynamique de la sémiotique et l'adaptation nécessaire de la définition du signe à son contexte d'utilisation (Marty, 1990, p. 367-384). Cette thèse adopte la définition suivante : « un signe est quelque chose par la connaissance duquel nous connaissons quelque chose de plus » (Deledalle, 1978, p. 30) aussi dans (Burks, 1960, CP 8.332). Les corrélats sont définis comme suit (cf. Figure 3.1) :

3.2.1.1 Le représentamen

Le représentamen définit le phénomène tel qu'il se présente à un observateur. Il peut être conçu et perçu. Il constitue la donnée de base de la signification. Un représentamen transmet à l'interprétant une *partie* des informations contenues dans son objet ; il renvoie à *un aspect particulier* de cet objet. La littérature dénote cet aspect par le terme « fondement » (*ground*). Dans notre exemple architectural, le plan comme représentamen pourrait contenir la qualité spatiale, les dimensions, l'orientation, la circulation, etc. De plus, le même plan peut être considéré, non plus sous l'aspect constructif d'un édifice, mais plutôt une technique de dessin en soi ou un critère esthétique graphique sans rapport avec l'objet architectural. Cette polyvalence sémiotique conserve et explicite la médiation du signe entre un objet et un interprétant.

3.2.1.2 L'objet

L'objet désigne l'entité à laquelle le signe renvoie. La connaissance de l'objet, toujours partielle, ne peut se faire qu'à travers le représentamen. Par exemple, notre plan architectural montre uniquement un agencement spatial propre à une maison. Mais il ne pourrait pas véhiculer la qualité tactile d'une texture ; pour cela il faut un autre représentamen, un échantillon physique de la texture. Pour exprimer cette différence, Peirce raffine la notion d'objet par sa

subdivision en deux entités :

- l'objet dynamique composé par toutes les propriétés architecturales de la maison. Il est situé, en partie, à l'extérieur de l'acte sémiotique (ou l'inférence) *en cours* portant sur le plan ;
- l'objet immédiat composé uniquement par l'aspect véhiculé par le représentamen et sur lequel porte l'inférence. Dans notre exemple, l'agencement spatial du plan renvoie à l'objet immédiat.

Loin d'être une simple énumération de possibilités au niveau de l'objet, la capacité de transmission informationnelle, désignée par la polyvalence sémiotique, possède un caractère complexe, récursif et incertain de connaissances :

« Les objets – car un signe peut en avoir plusieurs – peuvent, chacun d'eux, être une seule chose existante connue ou une chose dont on croit qu'elle a existé antérieurement, ou dont on s'attend à ce qu'elle existe, ou une collection de ces choses, ou une qualité ou une relation ou un fait connus ; et cet objet unique peut être, à son tour, une collection, ou un tout de parties, ou il peut avoir quelque mode d'être tel que quelque acte permis dont l'être n'empêche pas sa négation d'être également permise, ou quelque chose d'une nature générale désirée, requise ou invariablement trouvée dans certaines circonstances générales » (Deledalle, 1978, p. 124 ; CP 2.232)

Il s'agit de clarifier maintenant les caractéristiques de la polyvalence sémiotique (cf. Figure 3.2). Les nouvelles relations créées entre un représentamen et son objet décrivent la place que tient celui-ci dans l'organisation d'un acte sémiotique. Et d'après le rapport méréologique entre la partie et le tout, et la récursivité qui hiérarchise cette méréologie à plusieurs niveaux, chaque objet affecte par sa place celle des autres objets du même représentamen. Par conséquent, un objet pourrait contenir une partie des interactions propres aux objets qu'il subsume et qui influencera, en retour, ses rapport avec les autres. Il en résulte qu'un réseau complexe (et non compliqué) de relations hiérarchisées émerge : « A system is a set of objects comprising all that stand to one another in a group of connected relations » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 4.5). De plus, le fait qu'un acte puisse être possible ainsi que son contraire exprime l'incertitude inhérente à la polyvalence, incertitude qui prend, dans certains cas limites, la forme de l'ignorance totale par rapport à la possibilité de l'existence de l'objet. Nous examinons en détail le rapport entre incertitude et ignorance dans le Chapitre 5, §5.3.2.

3.2.1.3 L'interprétant

L'interprétant constitue une opération essentielle pour engendrer la signification ; il saisit l'objet à travers la médiation du signe. En effet, pour que cette production ait lieu, il faut que le signe soit transformé en un autre signe « A sign is not a sign unless it *translates* itself into another sign in which it is more fully developed » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.594) (nous soulignons). Le terme « transformation » remplace « traduction » parce qu'il exprime mieux la plus-value informationnelle produite par l'interprétant ; la traduction connote une certaine fidélité et conservation dans la transmission d'un contenu, alors que l'interprétation est censée l'augmenter. Ici, deux états se distinguent : avant et après l'interprétation. Ces deux états successifs ne peuvent avoir lieu que dans une continuité générale du raisonnement et le signe conséquent contient une partie de l'information propre à son antécédent à laquelle est ajoutée une nouvelle connaissance résultant de l'interprétation : « L'objectif entier d'un signe est qu'il soit interprété dans un autre signe... Quand un signe détermine une interprétation de lui-même dans un autre signe, il produit un effet externe par rapport à lui-même, un effet physique, bien que le signe produisant l'effet puisse lui-même être non pas un objet existant mais simplement un type » (Burks, 1960, CP 8.191). Sans cette opération de transformation, la relation entre le signe et l'objet n'existerait plus (Deledalle, 1978, p. 218). D'après la caractérisation de la polyvalence sémiotique au paragraphe précédent, notamment ce qui porte sur la contextualisation des objets les uns par rapport aux autres, l'interprétant précise l'information du signe et la place dans le contexte d'autres signes pour restituer une partie de l'information perdue pendant l'inférence. Dans la validation de cette inférence, l'interprétant joue le rôle d'un catalyseur (et ce n'est pas sans fondement d'utiliser ce terme, Peirce était un chimiste de formation) :

« [En bref, un signe est] tout ce qui détermine quelque chose d'autre (son interprétant) à référer à un objet auquel lui-même réfère (son objet) de la même manière, l'interprétant devenant à son tour un signe, et ainsi de suite, ad infinitum. Il est certain que la conscience intelligente doit entrer dans la série. Si la série des interprétants successifs s'arrête, le signe devient par là même à tout le moins imparfait. Si, une idée interprétante ayant été déterminée dans une conscience individuelle, cette idée ne détermine pas de signe extérieur, mais que la conscience soit anéantie ou bien perde toute mémoire ou tout autre effet significatif du signe, il devient absolument impossible de dire qu'il y eut jamais cette idée dans cette conscience ; dans ce cas il est difficile de voir comment cela pourrait avoir une signification de dire que cette conscience eut jamais cette idée, puisque le dire serait un interprétant de cette idée (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.303) » (Deledalle, 1978, p. 126).

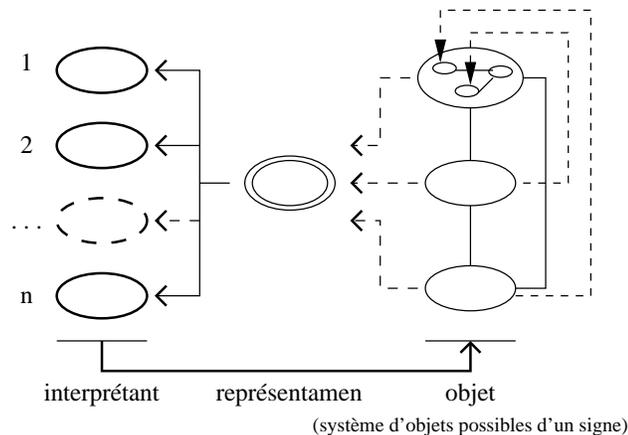


FIG. 3.2 – La polyvalence sémiotique et sa récursivité.

Avant de poursuivre l'examen de l'interprétant, il s'agit de mettre en exergue une distinction fondamentale, faite par Peirce, entre deux termes : « interprétant » et « interprète ». En tant que corrélat élémentaire du signe, l'interprétant est une fonction et non une personne. Par exemple, dans un dictionnaire français-anglais, le mot « homme » en français est l'*interprétant* du mot « man » en anglais. L'interprétant produit un nouveau signe à partir d'un signe initial sans égard à la présence d'un interprète humain. Peirce examine la relation entre ces deux termes dans son étude de l'aspect communicationnel de la sémiotique, mais ceci dépasse le cadre de cette thèse et, donc, ne sera pas considéré ici.

L'interprétant se subdivise en trois types. Les écrits de Peirce posent plusieurs questions sur cette subdivision. Toutefois, deux nomenclatures résument cette diversité (Lalor, 1997, Short, 1996, Liszka, 1990), (Deledalle, 1978, p. 218-226) et (Lieb, 1953, p. 51-54) :

- la subdivision immédiat-dynamique-final ;
- la subdivision émotif-énergétique-logique.

L'interprétant immédiat. Il définit la saisie, directe et non contrôlée, du représentamen par l'interprétant. À ce moment de la signification, la compréhension reste vague et très générale. L'interprétant immédiat indique un potentiel d'interprétation, l'*interprétabilité* du signe (Liszka, 1990, p. 26). Dans l'exemple du plan architectural, c'est le simple sentiment de la présence du plan.

L'interprétant dynamique. C'est l'action imposée, effectivement et réellement, ici et maintenant par le représentamen et qui dépasse le simple sentiment. Nous reconnaissons que c'est un plan architectural.

L'interprétant final. Il désigne la connaissance que pourrait procurer le représentamen si son étude est poussée jusqu'à sa limite : « le sens d'un signe est le signe dans lequel il doit être traduit » (Everaert-Desmedt, 1990, p. 42 ; CP 4.132).

Une relation triadique (hexadique, décadique, etc.) délimite des positions fonctionnelles pour ses corrélats. Le représentamen transmet à l'interprétant un aspect particulier de l'objet ; l'objet détermine le représentamen pour l'interprétant ; l'interprétant perçoit l'objet uniquement à travers le représentamen. l'interprétant devient représentamen pour le même objet. En parlant d'objet ou d'interprétant, il faut entendre toujours respectivement : relation du représentamen à l'objet et relation du représentamen à l'interprétant.

3.2.2 Les catégories phanéroscopiques

La composition triadique du signe (représentamen-objet-interprétant) repose sur trois catégories de relations fondamentales, que Peirce appelle catégories phanéroscopiques. Il définit la phanéroscopie par l'étude de « la totalité collective de tout ce qui est présent à l'esprit, de n'importe quelle façon ou dans n'importe quel sens, qu'il corresponde ou non à une chose réelle » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 1.284). Ces catégories sont nécessaires et suffisantes pour toute signification. De par leur nécessité, elles structurent la dynamique de l'interprétation par l'établissement des conditions initiales de l'inférence et qualifient chacun des trois corrélats du signe (cf. §3.2.1). Leur caractère nécessaire n'implique pas un déterminisme fini : la signification reste un processus ouvert et continu, affectant en retour ses propres conditions initiales.

Ces catégories sont (Peirce, 1998, Peirce, 1867) :

1. **La priméité** définit une auto-référence du phénomène considéré qui exclut toute référence à un autre phénomène ; c'est la *qualification abstraite* du phénomène en soi. Autrement dit, toute entité physique ou mentale peut être considérée un début d'une réflexion sans qu'il y ait une prédétermination de cette priméité. Le côté opératoire de cette catégorie réside dans la circonscription, *sui generis*, et la sélection d'un aspect particulier de la réalité indépendamment de son contexte. La priméité définit la *possibilité pure* et, par conséquent, ne précise nullement ce qui viendrait en second lieu. Par exemple, en architecture on peut choisir d'imaginer une couleur, un mur, un bâtiment, un matériau, etc. Un élément du phénomène concerné qui appartient à la priméité est appelé un priman (cf. Figure. 3.12). La relation du représentamen à lui même est un priman.
2. **La secondéité** désigne la référence à l'*interaction efficiente* individualisée entre deux phénomènes ; cette référence présuppose nécessairement la priméité et en constitue une délimitation. La secondéité concrétise, dans des objets ponctuels, les qualités de la priméité. Elle met en évidence le contexte particulier où se déroule la sémiuse. Pour continuer l'exemple architectural, la construction du mur concrétise le choix initial

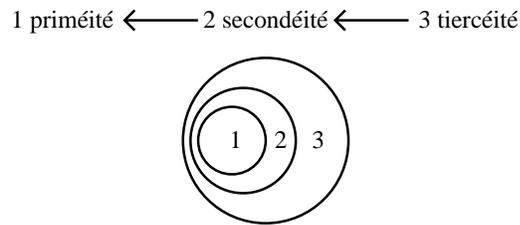


FIG. 3.3 – Hiérarchie des catégories phanéroscopiques.

de la priméité et délimite matériellement sa possibilité. La secondéité actualise donc la priméité et lui confère une existence réelle. Toutefois, l'opération qui a conduit de la représentation du mur à sa construction n'est qu'une interaction unique dans un ensemble infini de possibilités. La secondéité réduit l'incertitude mais reste singulière, imprévisible et non reproductible. Les éléments du phénomène qui appartiennent à la secondéité sont appelés les secondans. Bien qu'un ou plusieurs primans puissent être impliqués dans un secondan, celui-ci n'est pas un ensemble ou une somme de primans (cf. Figure. 3.12). La relation du représentamen à l'objet est un secondan.

3. **La tiercéité**, qui à son tour présuppose la secondéité, désigne la formalisation par un observateur d'une *loi* nécessaire qui synthétise l'auto-référence (priméité) et l'interaction (secondéité). La tiercéité généralise l'individualité d'un objet et l'insère, à la fois, dans une totalité et une continuité inférencielles, et par conséquent, elle rend cette unicité intelligible. Cette catégorie prépare l'action future (la projection) et l'application anticipée de la connaissance véhiculée par la secondéité. Dans notre exemple architectural, cette catégorie établit une procédure particulière de construction de murs. Simultanément, la loi signifie que le rapport entre toute *représentation* de mur et son *instanciation* est formellement identique à cette loi. La tiercéité résume une multitude de phénomènes possibles en une seule forme intelligible ; elle rationalise l'incertitude dans la cognition et assure la reproductibilité d'autres phénomènes. Le terme tertian désigne les éléments de la tiercéité. À l'instar du secondan, et malgré que plusieurs secondans puissent être impliqués dans un tertian, celui-ci n'en est pas une somme ni un ensemble de trois primans (cf. Figure. 3.12). La relation du représentamen à l'interprétant est un tertian.

Les trois catégories sont reliées par une hiérarchie d'implication ayant une sémioticité croissante (Bense, 1975, p. 108) : la tiercéité implique la secondéité qui implique la priméité (cf. Figure. 3.3).

TAB. 3.1 – Les catégories phanéroscopiques adaptées de (Sowa, 2000, p.397).

	PRIMÉITÉ	SECONDÉITÉ	TIERCÉITÉ
	QUALITÉ	INDEXICALITÉ	MÉDIATION
MATÉRIALITÉ état du représentamen	<i>Qualisigne</i> qualité 1.1	<i>Sinsigne</i> existence 1.2	<i>Légisigne</i> généralité 1.3
RELATION relation du représentamen à son objet	<i>Icône</i> ressemblance 2.1	<i>Indice</i> contiguïté 2.2	<i>Symbole</i> convention 2.3
FORMALISATION relation du représentamen à l'interprétant	<i>Rhème</i> possibilité 3.1	<i>Dicent</i> information 3.2	<i>Argument</i> interprétation 3.3

3.2.3 La trichotomie du signe

Peirce applique les catégories phanéroscopiques aux trois relations intrinsèques du signe : la relation du représentamen à lui-même, la relation du représentamen à l'objet et celle de l'interprétant au représentamen. Cette application génère, dans chaque corrélat du signe, trois distinctions catégorielles : les subdivisions trichotomiques (cf. Tableau 3.1).

Soulignant l'apport peircéen, implicitement effectif et potentiel en intelligence artificielle (IA), Sowa n'hésite pas à qualifier cette dernière de sémiotique computationnelle (*Computational semiotics*) (Sowa, 2000, p. 402). L'auteur argumente largement l'intérêt de l'application de la sémiotique peircéenne au domaine de la modélisation numérique des connaissances (intelligence artificielle, raisonnement symbolique, réseaux neuronaux et phénoménologie). Il souligne l'aspect opératoire de cette triple trichotomie de relations qui se traduit dans la catégorisation, non pas des objets, mais des rapports et interactions qu'ils entretiennent, et le synthétise par neuf catégories fondamentales (Sowa, 2000, p. 396-397). Cette synthèse est raffinée par l'ajout d'explications pour chaque catégorie ; son utilité sera argumentée dans le Chapitre 4. Le fondement triadique de ce tableau nécessite une distinction terminologique. Le terme sous-signé identifie chacun des neuf éléments du tableau et le terme signe indique une composition comprenant trois sous-signés appartenant respectivement à la matérialité du représentamen, à la relation de celui-ci avec l'objet et à la formalisation de l'interprétant (cf. Tableau 3.1) :

Un qualisigne est une qualité potentielle sans identité propre, une apparence arbitraire, un sentiment instantané, le signe en lui-même (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.244). Par exemple, le rythme de la façade d'une arcade saisi indépendamment de la matérialité des colonnes et des arcs, les notions de transparence, de matérialité, de continuité, de

séparation.

Un sinsigne est une entité réelle, unique, identifiée dans et distincte de son contexte. Le sinsigne matérialise un qualisigne et la présence d'un sinsigne implique nécessairement un qualisigne ; il est considéré pour son existence singulière (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.245). Toute chose matérielle peut être un sinsigne : un édifice, un arbre, un ordinateur, un dessin sur l'écran d'un ordinateur, un plan architectural, un cri.

Un légisigne est une existence cognitive et codifiée d'une loi, c'est la définition d'un type au sens général. Un légisigne peut être établi a priori (par convention) ou a posteriori (par habitude) (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.246). Des exemples de ce sous-signes : la règle municipale qui impose le recul d'édifice par rapport à la voie publique, la loi physique de résistance du béton à la compression, les lois de la gravitation universelle, l'usage d'un marteau pour enfoncer un clou, savoir comment dessiner un cercle avec un compas.

Une icône est une ressemblance entre une ou plusieurs qualités d'un objet et une ou plusieurs qualités d'un signe, c'est une analogie ou une similarité, une relation intrinsèque (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.247 ; 2.304). Par exemple, la couleur dorée, dans certaines représentations religieuses, équivaut à la divinité ou à la sainteté ; le dessin d'une courbe fermée pour signifier un espace clos ; un échantillon en papier bleu pour représenter une couleur bleue.

Un indice ou index est une dépendance causale entre l'objet et le signe, une contiguïté, une relation existentielle nécessaire permettant au signe d'indiquer son objet individuel (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.248). Les indices regroupent : les traces d'une roue de voiture dans la boue, un fichier sur le disque dur d'un ordinateur, un pronom démonstratif, un morceau d'une essence de bois, des ruines architecturales.

Un symbole est une convention de relation entre le signe et l'objet établie par une récurrence ou une acceptation sociale. Le signe remplace son objet selon une loi qui décode ce remplacement (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.249). Par exemple, un panneau de signalisation routière, le dessin d'une note musicale, les dimensions métriques dans un plan architectural.

Un rhème est une possibilité qualitative d'un signe. Du point de vue logique, le rhème correspond à une variable qui pourrait prendre n'importe quelle valeur pour un prédicat donné ; l'on peut rapprocher ce sous-signes de l'idée d'un contenant vide en attente d'être rempli. Le signe prend sa place dans l'inférence indépendamment de son contenu (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.250). De par sa possibilité, le rhème reste incertain ; sa valeur de vérité est indéterminée et indécidable. Il constitue le fondement de l'abduction (cf. §3.2.4.4). Sont des rhèmes : l'espace vide dans une phrase comme « . . . est blanc » puisque il exprime une possibilité de complétude ; la notion de paroi en architecture utilisée sans égard à son actualisation éventuelle ; le dessin d'un rectangle qui pourrait désigner un terrain de sport ou une fenêtre ou une boîte.

Un dicent est une hypothèse interprétative et concrète de la relation entre un objet et un signe ; elle peut être vérifiée, validée et acceptée. Dans une proposition logique, qui est elle-même un dicent, les deux corrélats correspondent à deux constantes respectives du prédicat et du sujet. Le signe communique une information sur son objet selon une forme individualisée (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.251). Par exemple, l'indication que fournit une girouette, placée sur un édifice, sur la direction du vent ; la porte d'un local qui permet d'y entrer ou d'en sortir ; un nom propre placé à côté d'un portrait.

Un argument est un signe de raisonnement, une forme de la contextualisation de l'interprétation. L'argument marque une étape d'aboutissement temporaire de la sémiose. La connaissance interprétée explicite de cette façon ses propres fondements par un métalangage. Le signe parle de lui-même (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.252). La plaidoirie d'un avocat est un argument, ainsi que les postulats mathématiques qui valident une démonstration géométrique, la programmation orientée-objet, l'évaluation de l'usage et d'occupation d'un édifice.

Donc, chaque sous-signé admet une connaissance différente des autres. Elle est régie par la place occupée par le sous-signé à deux niveaux : l'inclusion dans un corrélat triadique (représentamen/objet/interprétant) et l'inclusion dans une des trois catégories phanéroscopiques (priméité, secondéité, tiercéité) (cf. les cases numérotées dans le Tableau 3.1). En fait, la composition d'un sous-signé se fait en deux temps :

1. Premièrement, l'identification de la catégorie phanéroscopique correspond à .1 pour la priméité, à .2 pour la secondéité et à .3 pour la tiercéité.
2. Deuxièmement, l'identification, de l'appartenance du résultat du premier temps, à une des trois relations : celle du représentamen avec lui même, désignée par 1 ; la relation du représentamen avec l'objet dénotée par 2 et la relation du représentamen avec l'interprétant signifiée par 3.

Alors, la représentation numérique d'un sous-signé prend la forme d'une juxtaposition de deux chiffres. Par exemple, la composition d'un sinsigné présuppose l'identification de la secondéité dans le signe perçu (.2), suivie par l'identification du caractère de « représentamen » dans cette secondéité (1(.2)). Le sinsigné est donc désigné par (1.2), l'indice par (2.2), le dicent par (3.2) et ainsi de suite (cf. Tableau 3.1). Toutefois, un sous-signé ne peut exister, sémiotiquement parlant, d'une façon indépendante ; il faut qu'il entre en relation avec d'autres sous-signés pour qu'il puisse remplir son rôle. La sous-section suivante étudie les compositions possibles des sous-signés et le contenu informationnel qui en résulte. La notion de contenu informationnel est détaillée dans la sous-section §3.3.5.

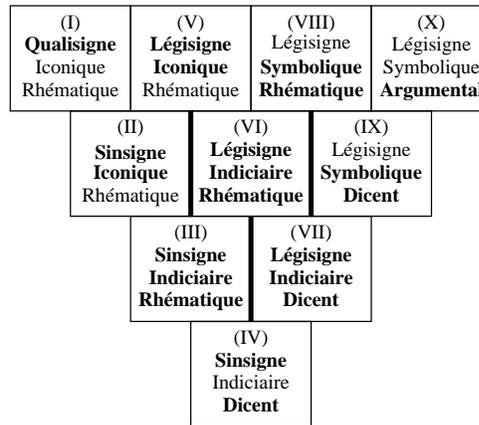


FIG. 3.4 – La classification des signes triadiques d’après Peirce (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.264).

3.2.4 Le signe triadique

La combinaison des neuf sous-signes élémentaires, d’après le Tableau 3.1, obéit aux règles d’implication des catégories phanéroscopiques : un priman peut être inclus dans un secondan ou un tertian ; mais le contraire n’est pas valide. De même, un secondan peut être inclus dans un tertian et non le contraire. L’application de ces contraintes aux corrélats du signe, crée dix classes de signes hiérarchisées (cf. Figure 3.4). Techniquement parlant, les contraintes de présupposition entre les catégories phanéroscopiques et les corrélats triadiques réduisent le nombre des combinaisons possibles de vingt-sept à dix (cf. §3.2.2). Une matrice carrée, de neuf entrées, qui contient seulement trois sous-signes dépeint graphiquement chaque classe de signes (cf. Figure 3.5). Pour faciliter la compréhension de la composition d’une classe, elle est analysée en trois étapes successives : la sélection du représentamen, la sélection de la relation du représentamen à l’objet, et ensuite la sélection de la relation du représentamen à l’interprétant (cf. Figure 3.5).

3.2.4.1 Les classes triadiques

Dans chaque définition de classe, les caractères italiques soulignent des assertions qui seront utiles dans l’interprétation du contenu de cette définition. Les références bibliographiques renvoient consécutivement aux traductions de Deledalle et les *Collected Papers*. D’après l’implication des trois catégories phanéroscopiques (cf. §3.2.2), et dans certains cas, il est possible d’identifier un signe par le biais d’un de ses sous-signes. Par exemple, un qualisigne implique nécessairement une icône et un rhème, donc tout signe qui est un qualisigne

est effectivement un qualisigne-iconique-rhématique. Dans d'autres cas, deux sous-signes sont nécessaires pour la désignation complète d'un signe. Par exemple, la donnée d'un sinsigne a besoin, au moins, de la donnée d'un autre sous-signé pour que la désignation complète du signe puisse être accomplie. Ainsi, un sinsigne-...-dicent désigne nécessairement un sinsigne-indiciaire-dicent, tandis que la donnée d'un sinsigne-indiciaire demeure imprécise et pourrait désigner soit un sinsigne-indiciaire-rhématique, soit un sinsigne-indiciaire-dicent. À partir de ces considérations, Peirce adopte une terminologie économique des classes de signes. Ses termes (en gras) ont été complétés par les termes entre deux crochets pour faciliter la référence de chaque terme à sa définition ; certains des exemples donnés reprennent ceux qui sont utilisés, précédemment, dans la description des sous-signes pour les caractériser davantage :

1. Première classe : « Un **qualisigne** [iconique rhématique] [par exemple, un sentiment de rouge] est toute qualité dans la mesure où elle est un signe. Puisqu'une qualité est tout ce qu'elle est positivement en elle-même, une qualité ne peut dénoter un objet qu'en vertu de quelque élément commun ou qualité ; de sorte qu'un qualisigne est nécessairement une icône. De plus, *puisque une qualité est une simple possibilité logique, elle ne peut être interprétée que comme un signe d'essence, c'est-à-dire comme un rhème* » (Deledalle, 1978, p. 179-180 ; CP 2.254). Cette classe regroupe donc les formalisations possibles d'une qualité. Autres exemples : un concept quelconque, la matérialité, le repos, la couleur, la transparence.
2. Deuxième classe : « Un **sinsigne iconique** [rhématique] [par exemple, un diagramme individuel] est tout objet d'expérience dans la mesure où *une qualité qu'il possède lui fait déterminer l'idée d'un objet*. Étant une icône – et donc purement un signe ressemblance – de tout ce à quoi il ressemble, il ne peut être interprété que comme un signe d'essence ou rhème. Il matérialisera un qualisigne » (Deledalle, 1978, p. 180 ; CP 2.255). L'ensemble des signes de cette classe désigne les formalisations *matérielles* possibles d'une similarité qualitative entre l'objet et son représentamen. Toutefois, la similarité relationnelle n'exprime pas nécessairement une similarité matérielle. Le représentamen possède une propriété déterminée qui correspond à une autre, que l'interprétant conçoit plausiblement dans l'objet. De toute évidence, et puisque le représentamen existe matériellement, la détermination de cette propriété se fait par sélection dans l'ensemble des propriétés du représentamen. Autres exemples de cette classe : une vitre qui représente la transparence, un échantillon de couleur.
3. Troisième classe : « Un **sinsigne indiciaire rhématique** [par exemple, un cri spontané] est tout objet d'expérience directe dans la mesure où il dirige l'attention sur un objet qui est la cause de sa présence. Il implique nécessairement un sinsigne iconique d'une sorte particulière mais il en diffère tout à fait puisqu'*il attire l'attention de l'interprète sur l'objet même qui est dénoté* » (Deledalle, 1978, p. 180 ; CP 2.256). Il s'agit d'une formalisation matérielle qui exprime la présence d'une relation *imposée*, entre le représentamen et son objet, sans aucun contenu spécifique sur la nature de cette relation. Le

sinsigne iconique impliqué dans un sinsigne-indiciaire-rhématique sert de support matériel pour mettre en évidence cette imposition. Cette classe imbrique, dans la sémiose, un premier niveau de contextualisation ; la présence d'un signe-cause impose celle d'un signe-effet. Autres exemples de cette classe : la photo d'une porte comme une simple possibilité d'entrer dans une construction, une flèche indiquant une direction.

4. Quatrième classe : « Un **sinsigne** [indiciaire] **dicent** [par exemple, une girouette] est tout objet d'expérience directe, dans la mesure où il est un signe et communique en tant que tel des informations concernant son objet. Ce qu'il ne peut faire qu'en étant réellement affecté par son objet ; de sorte qu'il est réellement un indice. *La seule information qu'il peut fournir concerne un fait réel.* Un tel signe doit impliquer un sinsigne iconique pour matérialiser l'information et un sinsigne indiciaire rhématique pour indiquer l'objet auquel l'information renvoie. Mais le mode de combinaison, ou syntaxe, de l'un et de l'autre doit également être significatif » (Deledalle, 1978, p. 180 ; CP 2.257) ; ce mode est examiné dans la sous-section 3.3.5.3. L'information d'un signe sur son objet émerge à ce niveau. L'intervention de la mémoire de l'interprétant recrée le lien intégral entre le signe et l'objet. Par conséquent, la relation véhiculée contient la nécessité et la causalité qui relie l'objet à son représentamen ; c'est un rapport imposé par le représentamen. Autres exemples de cette classe : un pont reliant deux rives, le porche d'une habitation.
5. Cinquième classe : « Un **légisigne iconique** [rhématique] [par exemple, un diagramme indépendamment de son individualité factuelle] est toute loi générale ou type, dans la mesure où il requiert chacune de ses instances pour *matérialiser une qualité déterminée qui le rend apte à susciter dans l'esprit l'idée d'un objet semblable.* Étant une icône, il doit être un rhème. Étant un légisigne son mode d'être consiste à gouverner des répliques singulières dont chacune sera un sinsigne iconique d'une sorte particulière » (Deledalle, 1978, p. 180-181 ; CP 2.258). Cette classe intègre une mémoire typologique reproductible dans la signification. Elle représente *la possibilité* de l'application routinière d'un corps de connaissance, unique et relativement réduit, à la confection d'un objet matériel. Toutefois, le processus de la signification n'engage pas d'autres opérations que celles déjà présentes et connues ; il n'apprend pas, il reproduit. C'est une mémoire brute ; l'interprétation et la production ne sont que répétition et surtout identification par analogie ou similarité. Autres exemples de cette classe : la médiation de la couleur orange entre le rouge et le jaune, une courbe fermée pour connoter une clôture spatiale.
6. Sixième classe : « Un **légisigne indiciaire rhématique** [par exemple, un pronom démonstratif] est tout type ou loi générale, quelle que soit la manière dont il a été établi, qui requiert que chacune de ses instances soit réellement affectée par son objet, *simplement de manière à attirer l'attention sur cet objet.* Chacune de ses répliques sera un sinsigne-indiciaire-rhématique d'un genre particulier. L'interprétant d'un légisigne indiciaire rhématique le représente comme un légisigne iconique ; et aussi l'est-il

dans une certaine mesure—mais dans une très petite mesure » (Deledalle, 1978, p. 181 ; CP 2.259). À ce stade de la sémiose, la mémoire devient efficiente et contraignante. Les signes de cette classe ne transmettent pas d'information sur leurs objets ; ils les indiquent simplement. De plus, les légisignes indiciaires rhématiques expriment une mesure incertaine de conformité d'un individu à une règle donnée. Autres exemples de cette classe : les noms propres, la chute d'un corps comme exemple de la loi de la gravitation.

7. Septième classe : « Un **légisigne indiciaire dicent** [par exemple, un cri de la rue] est tout type ou loi générale, quelle que soit la manière dont il a été établi, qui requiert que chacune de ses instances soit réellement affectée par son objet, de manière à fournir des informations déterminées concernant cet objet. *Il doit comprendre un légisigne iconique pour signifier l'information et un légisigne indiciaire rhématique pour dénoter le sujet de cette information.* Chacune de ses répliques sera un sinsigne [indiciaire] dicent d'un genre particulier » (Deledalle, 1978, p. 181 ; CP 2.260). Le contexte entre en jeu ; les légisignes-indiciaires-dicents généralisent le comportement de l'objet à partir de son contenu informationnel, contraint par le contexte et transmis intégralement au représentamen. L'apprentissage efficient devient contextualisé. Autres exemples de cette classe : l'appel d'un taxi, l'usage d'un escalier, une télécommande.
8. Huitième classe : « Un [légisigne] **symbolique rhématique** ou rhème symbolique [par exemple, un nom commun] est un signe lié à son objet par une association d'idées générales de telle façon que ses répliques suscitent une image dans l'esprit, laquelle image, suivant certaines habitudes ou dispositions de cet esprit, tend à produire un concept général ; et la réplique est interprétée comme étant le signe d'objet qui est une instance de ce concept [...] Le symbole rhématique, comme tout symbole, a nécessairement lui-même la nature d'un type général ; il est donc un légisigne. *Sa réplique cependant est un sinsigne indiciaire rhématique d'un genre particulier, en ce que l'image qu'il suggère à l'esprit agit sur un symbole déjà dans cet esprit, pour donner naissance à un concept général* » (Deledalle, 1978, p. 181-182 ; CP 2.261). L'interprétant reconnaît la loi qui affecte son interprétation (et production) et acquiert une autonomie cognitive. L'actualisation de cette loi par des instances particulières accroît l'effet pratique de la mémoire déjà présente, par conséquent la restitution mnémonique récupère quelques propriétés du contexte. Autres exemples de cette classe : l'ordre dorique, la définition d'un rectangle, un drapeau national.
9. Neuvième classe : « Un [légisigne] **symbolique dicent** [ou proposition ordinaire] est un signe lié à son objet par une association d'idées générales et agissant comme un symbole rhématique, sauf que *son interprétant visé représente le symbole dicent comme étant, par rapport à ce qu'il signifie, réellement affecté par son objet de sorte que l'existence ou la loi qu'il suscite dans l'esprit doit être réellement liée à l'objet indiqué* [...] Il est nécessairement un légisigne » (Deledalle, 1978, p. 182 ; CP 2.262). Par exemple un plan architectural coté. Les convention graphiques et les mesures de

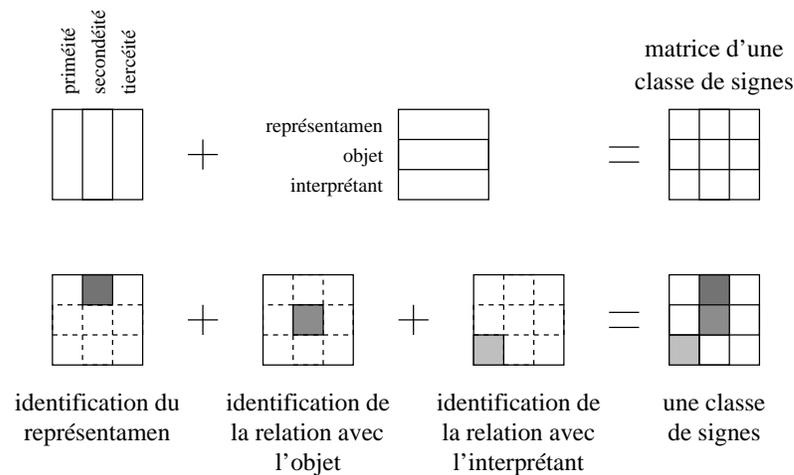


FIG. 3.5 – Un exemple de composition trichotomique.

ce plan informent sur les dimensions d'un local donné, sa forme, sa topologie, etc. Ces propriétés sont en fait établies par convention pour représenter rigoureusement les qualités spatiales de ce local. De cette manière et par exemple, même si la transcription change du système impérial au système métrique, l'étendue représentée ne sera pas modifiée. Il y a ici une instanciation du contenu informationnel d'une loi ou convention, supposée nécessaire et efficiente, dans le phénomène étudié. L'interprétant identifie un objet auquel il impose une appartenance à cette convention. Autres exemples de cette classe : le mètre à mesurer, une partition musicale, une montre.

10. Dixième classe : « Un [légisigne] **symbolique argumental** est un signe dont l'interprétant représente son objet comme étant un signe ultérieur par le moyen d'une loi, à savoir que *le passage de toutes ces prémisses à ces conclusions tend vers la vérité*. Il est donc manifeste que son objet doit être général ; autrement dit l'argument doit être un symbole. En tant que symbole, il doit en outre être un légisigne. Sa réplique est un sinsigne [indiciaire] dicent » (Deledalle, 1978, p. 183 ; CP 2.263). Cette classe de signes formalise la pluralité efficiente des qualités communes à tous les objets produits sous un contexte particulier. La pluralité concernée médiatise donc entre une totalité signifiante logiquement construite, et les modalités concrètes et particulières de la production ou de l'interprétation d'un objet individualisé. Elle contient les « germes » de la matérialisation éventuelle d'un objet destiné à intégrer ce contexte. Autres exemples de cette classe : un logiciel, une plaidoirie, une théorie scientifique, la grammaire française.

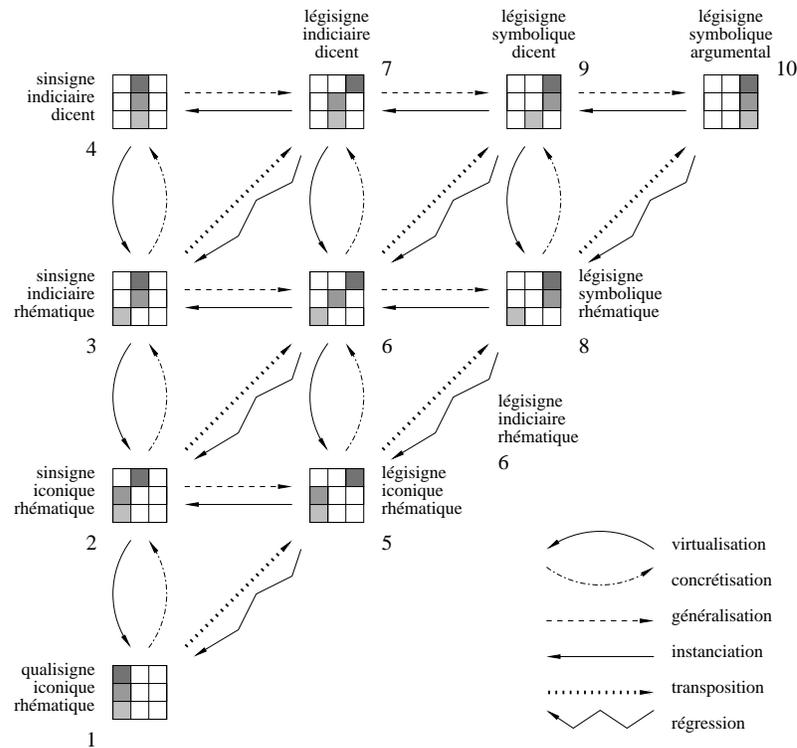


FIG. 3.6 – L'hypersigne.

D'ailleurs, la Figure 3.7 offre davantage d'exemples concrets d'application de ces classes à la qualification sémiotique d'une toiture.

La disposition des dix classes dans le tableau original de Peirce (cf. Figure 3.4) est réarrangée pour obtenir une nouvelle organisation en treillis (cf. Figure 3.6) qui aide à expliciter les rapports entre ces classes et le passage d'une classe à une autre. Cette organisation est désignée par le terme « hypersigne ». Les dix classes constituent des possibilités heuristiques pour l'analyse et l'interprétation des phénomènes. Leurs validités respectives tiennent plus de leur participation collective et cohérente à la capacité explicative de la sémiotique, qu'à une vérification de leurs correspondances individuelles à des phénomènes existants. Le fait que la sémiotique soit une heuristique et non une simple taxonomie, aide à distinguer dans les dix classes une double fonction :

- organiser en système, les états par lesquels un signe passe au cours de son interprétation et,
- dans une moindre mesure, différencier entre les multiples appartenances possibles d'un signe.

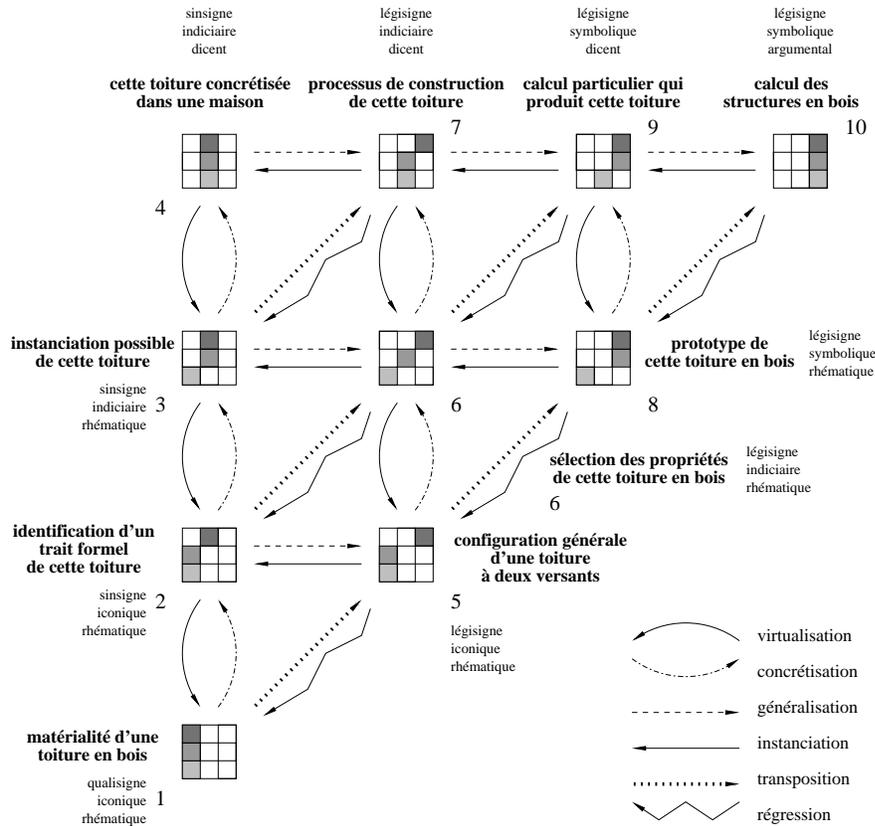


FIG. 3.7 – L'hypersigne d'une toiture.

Pour distinguer les relations entre l'hypersigne, en tant que schème général de l'organisation des signes, et la création architecturale, la Figure 3.7 offre un exemple qui met en correspondance ce schème avec une toiture où chaque classe de signes correspond à un moment de la conception, et qui montre comment un seul objet (la toiture) peut être illustré par les dix classes.

3.2.4.2 La complexité des corrélats

D'un point de vue externe, les classes de signes agencent les trois corrélats en unités distinctes et autonomes. Observés de l'intérieur de chaque classe, les rapports mutuels des corrélats obéissent à trois lois d'organisation, selon les complexités respectives des corrélats. Ces lois procurent une grille analytique pour « distinguer le premier, le second, et le troisième corrélats de n'importe quelle relation triadique (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.235) » :

« Le premier corrélat est celui des trois qui est considéré comme étant de la nature la plus simple, étant une simple possibilité si n'importe lequel des trois est

de cette nature, et n'étant une loi que lorsque chacun des trois est de cette nature (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.235) ».

« Le troisième corrélat est celui des trois qui est considéré comme étant de la nature la plus complexe, étant une loi si n'importe lequel des trois est une loi, et n'étant une simple possibilité que lorsque chacun des trois est de cette nature (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.236) ».

« Le deuxième corrélat est celui des trois qui est considéré comme étant de la complexité moyenne, de sorte que si deux [corrélats] sont de la même nature, c'est-à-dire ou de simples possibilités, ou des existences réelles, ou des lois, alors le deuxième corrélat est de cette même nature, alors que si les trois [corrélats] sont tous de natures différentes, le deuxième corrélat est une existence réelle (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.237) ».

Par conséquent, l'identification de la complexité d'un corrélat et sa fonction dans la sémirose dépendent essentiellement de celles des deux autres corrélats. En fait, la nature relative de cette qualification autorise la modification du rôle assigné à chaque corrélat. Il devient possible de considérer un corrélat comme étant un représentamen, à un moment donné, et un interprétant à un autre. Ce changement de fonction exprime, en plus de la variation du flux informationnel à l'intérieur du signe et de l'hypersigne, l'influence du *contexte* de la sémirose sur l'affectation des rôles sémiotiques représentamen/objet/interprétant. Par exemple, un sinsigne-indiciaire-rhématique établit une relation triadique entre trois composants élémentaires : un représentamen, un objet et un interprétant. Chaque composant peut appartenir à un signe différent. Le représentamen élémentaire est choisi dans un signe dont on néglige la relation à l'objet et à l'interprétant, l'objet élémentaire appartient à un second signe dont on néglige le représentamen et l'interprétant, et l'interprétant élémentaire provient d'un troisième signe dont on oublie le représentamen et la relation à l'objet.

Le déploiement de la hiérarchie des catégories phanéroscopiques (cf. Figure 3.3) sur l'hypersigne en dégage une implication des complexités respectives des dix classes (cf. Figure 3.8). Cette condition stipule que la considération d'une classe donnée dans la sémirose entraîne la considération de toutes les classes qui y sont impliquées. D'après leurs définitions et suivant leurs positions dans l'hypersigne, tous les signes s'emboîtent alors selon un ordre de complexité croissant et bidirectionnel : de bas en haut et de gauche à droite. À noter que cet ordre n'est que l'opposé de l'implication des classes.

3.2.4.3 La réplique

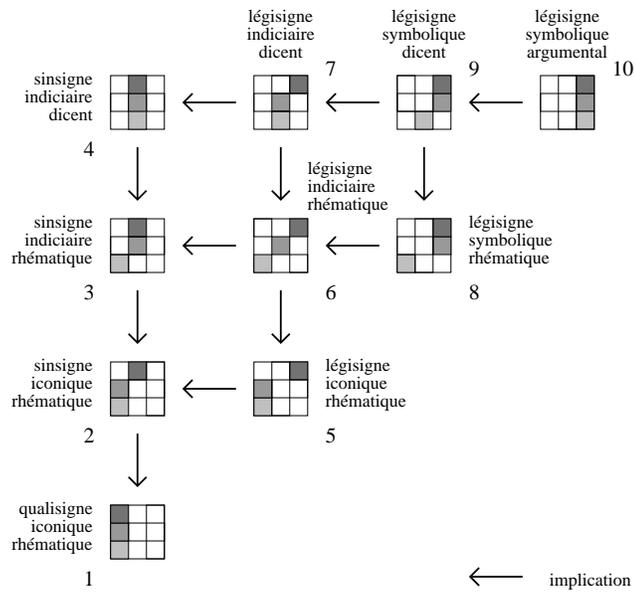


FIG. 3.8 – L’implication des classes dans l’hypersigne.

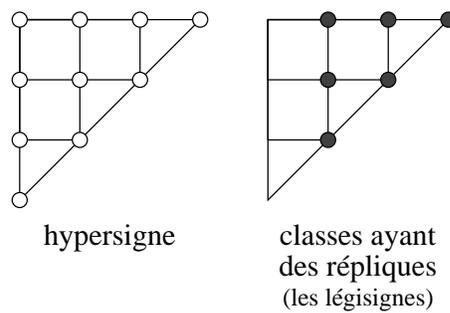


FIG. 3.9 – Les classes ayant des répliques.

Chaque classe de légisignes détermine une classe de *répliques* matérielles, c'est-à-dire une classe de sinsignes ; un légisigne ne peut être perçu physiquement ni matérialisé que dans un sinsigne-réplique (cf. Figure 3.9). Par la notion de réplique, Peirce différencie entre un sinsigne simple, dont l'existence ne dépend pas d'une règle ou d'une loi, et un sinsigne plus complexe qui exprime, en plus de ses propriétés, la relation d'héritage entre un *type* bien défini et son *instanciation* dans un objet réel. Donc, la réplique contient, dans toutes ses manifestations et à l'identique, les propriétés de son légisigne (Burks, 1960, CP 8.334). À souligner que les classes 1 à 4, soit la qualisigne-iconique-rhématique, la sinsigne-iconique-rhématique, la sinsigne-indiciaire-rhématique et la sinsigne-indiciaire-dicente ne possèdent pas de répliques et que les sinsignes-répliques suivent le même ordre de complexité correspondant à leurs légisignes respectifs.

3.2.4.4 Les classes abductives

À travers l'appartenance de leur interprétant à la priméité (la catégorie du possible), les six classes rhématiques désignent six états initiaux de l'inférence abductive (cf. Figure 3.10). Chacune de ces classes met en évidence une propriété distincte de ce mode de raisonnement.

Le qualisigne-iconique-rhématique reflète le plus le caractère anticipant de l'abduction qui, à cet état initial, évalue la pertinence d'une ressemblance possible (analogie ou similarité, cf. §4.2.1), quoique encore vague, entre l'observation donnée (le problème à résoudre) et l'hypothèse postulée (la solution). Le sinsigne-iconique-rhématique explicite la possibilité de cohérence entre les composantes élémentaires de l'observation. Il effectue une première sélection critique parmi ces composantes pour l'utiliser dans les étapes ultérieures du raisonnement. Le sinsigne-indiciaire-rhématique exprime la possibilité de l'inclusion de ces composantes élémentaires dans l'actualisation de l'hypothèse. Il mesure cette inclusion par le degré de dépendance entre une composante du problème et une composante de la solution. Le légisigne-iconique-rhématique répand dans l'abduction un changement de perspective sur les connaissances générales qui sous-tendent la relation des éléments du problème à ceux de la solution. C'est dans ce signe que transparaît l'effet de l'abduction sur les connaissances antérieures du concepteur (cf. §2.5.3). Le légisigne-indiciaire-rhématique désigne l'actualisation possible d'une solution spécifique au problème donné. Ce signe établit une correspondance plausible entre le problème et la solution. Le légisigne-symbolique-rhématique généralise la solution produite et constitue une extension des connaissances antérieures par l'inclusion de cette solution.

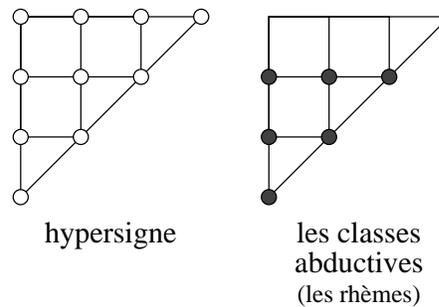


FIG. 3.10 – Les classes abductives.

La généralisation assure la cohérence du processus abductif qui peut être appliqué de la sorte à d'autres problèmes éventuels. Elle joue plus un rôle de validation et de contrôle qu'une condition nécessaire à la production d'une hypothèse. Par l'intermédiaire de ces classes, l'obtention d'une nouvelle solution dépend de l'introduction d'une nouvelle relation du représentamen à l'interprétant, en l'occurrence, un dicisigne. Autrement dit, *la forme sémiotique générale de l'abduction est un passage d'une classe rhématique à une classe dicente* (cf. Figure. 3.7).

3.3 L'approfondissement des systèmes sémiotiques

Après avoir étudié les fondements de la sémiotique, il s'agit maintenant d'approfondir les apports respectifs de quelques uns des systèmes précédents : le fonctionnement interne de l'hypersigne par le biais des modalités de transformations des classes de signes, l'accroissement du caractère opératoire des catégories phanéroscopiques à travers la notion de dégénérescence, le raffinement du signe triadique par sa subdivision hexadique et la topologie de cette subdivision, et enfin, l'élaboration d'un calcul interprétatif.

3.3.1 Les modalités de l'hypersigne

Le changement de l'état d'un sous-signé affecte la classe à laquelle il appartient. Par exemple, un changement traduit le passage d'un sinsigne à un légisigne, et dans le cas où ce sinsigne appartient à la classe sinsigne-indiciaire-dicent, la nouvelle classe devient un légisigne-indiciaire-dicent. L'hypersigne justifie la construction des parcours que peut suivre un sous-signé et par conséquent, une classe de signes. Six modalités de parcours sont possibles (cf. Figure 3.6 et Figure 3.11) :

1. La virtualisation désigne tout changement d'un sous-signé secondan à un sous-signé

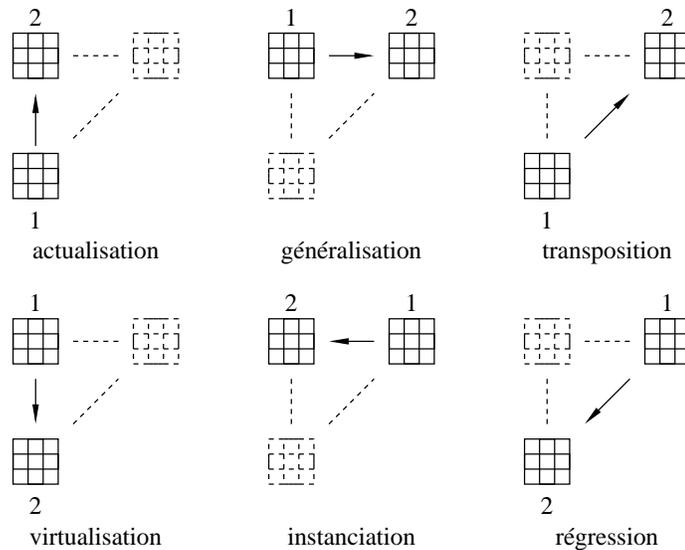


FIG. 3.11 – Les modalités sémiotiques.

priman.

2. L'actualisation (ou la concrétisation) montre le changement d'un sous-signe priman en un sous-signe secondan ; c'est la modalité contraire de la virtualisation.
3. La généralisation signifie le passage d'un sous-signe secondan à un sous-signe tertian.
4. L'instanciation désigne le passage d'un sous-signe tertian à un sous-signe secondan ; c'est la modalité duale de la généralisation.
5. La transposition montre deux types de changements :
 - (a) soit d'un sous-signe priman à un sous-signe tertian
 - (b) soit le changement simultané de deux sous-signes : un sous-signe priman devient un sous-signe secondan et un deuxième sous-signe secondan devient tertian.
6. La régression signifie, à l'instar de la transposition dont elle est la modalité contraire, deux types de changements :
 - (a) soit le passage d'un sous-signe tertian à un sous-signe priman
 - (b) soit la transformation concurrente de deux sous- signes : un sous-signe secondan devient priman et un deuxième sous-signe tertian devient secondan.

L'interprétant est le centre de la sémiose ; il peut être considéré un signe en soi et par conséquent, assure l'émergence de nouvelles représentations (cf. §3.2.1.3). La continuité, générée de telle manière pendant l'inférence, engage la variété des possibilités, à chaque moment de ce processus, et incorpore récursivement, au trois corrélats du signe, les modalités discutées précédemment. La multitude des combinaisons possibles, chacune formée par une

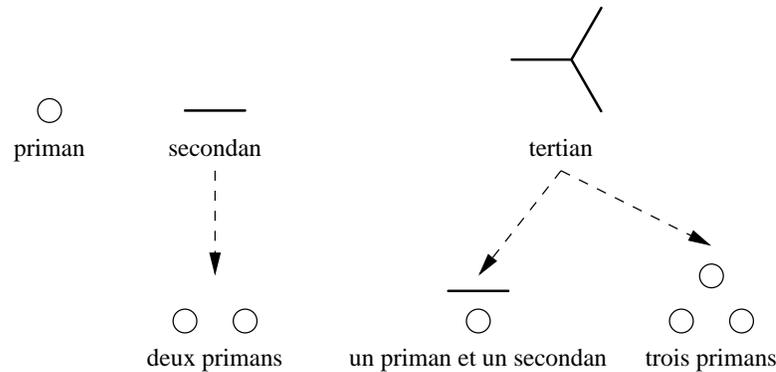


FIG. 3.12 – Les éléments phanéroscopiques.

suite de modalités, exprime la capacité générative de l'interprétation et par conséquent dépasse l'aspect analytique de la sémiotique. Par exemple, une séquence serait : instanciation-virtualisation-transposition. Ces combinaisons posent un premier jalon dans la description de la transformation des signes et servent de base au développement du calcul interprétatif et de l'information sémiotique (cf. §3.3.5).

3.3.2 La dégénérescence phanéroscopique

Pour des raisons de méthode, l'approfondissement de l'étude des catégories phanéroscopiques a été retardée jusqu'ici. Bien qu'il soit possible de le faire d'une façon abstraite, l'utilisation graphique de la trichotomie du signe explique mieux l'intérêt de ce développement. Dans chaque signe, il est possible de discerner un caractère qui peut être un priman, ou un secundan ou tertian, et par conséquent de le considérer en tant que centre de l'observation ; il devient l'élément efficient dans le signe.

À partir des trois catégories phanéroscopiques (cf. §3.2.2), Peirce en dérive trois autres qu'il appelle les catégories dégénérées qui se rapportent à la secondéité et la tiercéité. Le caractère fondamental de la priméité ne permet pas sa dégénérescence :

1. La secondéité dégénérée : deux primans remplacent le secundan efficient dans le signe. Cette catégorie reflète l'incapacité de l'interprétant à saisir la relation initiale (authentique, imposée) entre le représentamen et son objet. Ainsi, il la remplace par une juxtaposition de deux primans. Cette incapacité résulterait de l'inadéquation inhérente au représentamen à transmettre la relation, ou du bruit qui accompagne la formation globale du signe et empêche son incorporation dans le représentamen, ou n'importe quelle perte d'information dans la sémiose.

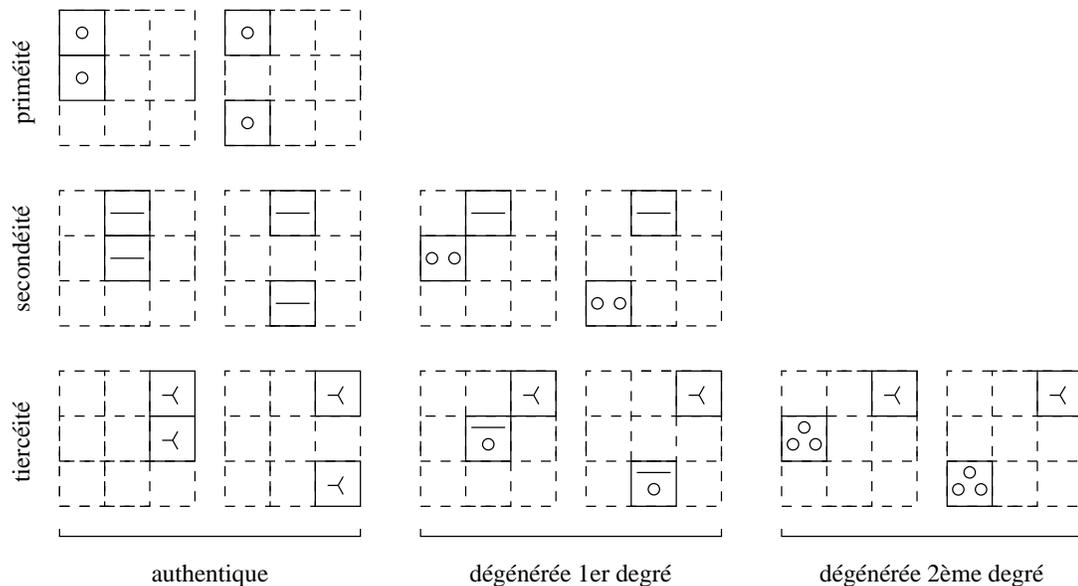


FIG. 3.13 – Les catégories authentiques et dégénérées.

2. La tiercéité dégénérée au premier degré : un secondan et un priman remplacent le tertian efficient dans le représentamen. L'interprétant remplace la généralité (médiation ou formalisation ; cf. Tableau 3.1) authentique du tertian par un couple « artificiel » composée d'une secondéité authentique et d'une priméité. À l'instar de la dégénérescence de la secondéité, celle de la tiercéité du premier degré résulte d'une incapacité, d'un bruit dans la formation du signe ou autre perte informationnelle.
3. La tiercéité dégénérée au deuxième degré : trois primans remplacent le tertian efficient dans le représentamen. L'interprétant ne peut saisir aucune relation ni généralité et se contente de leur substituer un triplet de primans. Les causes de la perte informationnelle sont les mêmes que pour les deux catégories précédentes.

Les dégénérescences expriment des emboîtements de degrés d'incertitude dans le contenu informationnel des signes. Elles s'appliquent aux deux relations du représentamen à son objet et à son interprétant. La Figure 3.12 schématise les éléments phanéroscopiques et leurs dégénérescence. La flèche tiretée indique la dégénérescence et son aboutissement montre le(s) résultat(s) possible(s) de cette dernière. La schématisation clarifie pour chaque classe de signes, et par un dessin, ses catégories authentiques et dégénérées. En cherchant la similarité entre une matrice de la Figure 3.13 et une seule classe de la Figure 3.6, nous distinguons ce qu'il y a d'authentique et de dégénéré pour chaque signe : par exemple, la classe des légisignes-indiciaires-dicents, est composée de deux tiercéités dégénérées au premier degré, les sinsignes-iconiques-rhématiques contiennent deux secondéités dégénérées, un légisigne-symbolique-rhématique contient une tiercéité authentique et une tiercéité dégénérée du deuxième degré, un légisigne-symbolique-argumental est une tiercéité authentique, et

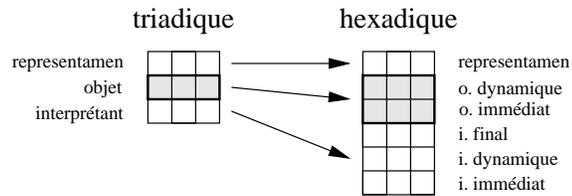


FIG. 3.14 – La subdivision du signe triadique.

ainsi de suite.

3.3.3 Le signe hexadique

Jusqu'ici, le signe est considéré sous sa forme triadique c'est à dire ses trois corrélats : le représentamen, l'objet et l'interprétant et leurs relations. Toutefois, la subdivision de l'objet en deux types et l'interprétant en trois, raffine la capacité sémiotique du signe (cf. §3.2.1) et génère une sémiotique hexadique interne au signe (cf. Figure 3.14), par comparaison à la forme triadique précédente qui est externe. La subdivision obéit à un principe récursif :

« Nous avons une division des objets selon trois classes. La première de celles-ci a une subdivision, la seconde deux, la troisième trois. La première des subdivisions de toute classe a une autre subdivision, la seconde deux, la troisième trois et ainsi de suite partout. De plus, chacune de ces subdivisions ressort directement des trois références à un fondement, corrélat, et interprétant qui ne sont que les notions de premier, second et troisième. » (Fisch, 1981, p. 486)

Autrement dit, et en guise de récapitulation de la Sous-section 3.2.1 :

1. Le représentamen ne se divise pas.
2. L'objet se divise en deux : un objet immédiat et un objet dynamique.
3. L'interprétant se divise en trois : l'interprétant immédiat, l'interprétant dynamique et l'interprétant final.

La subdivision des dix classes triadiques produit vingt-huit classes hexadiques (cf. Figure 3.15). Dans cette figure, pour faciliter la comparaison avec l'hypersigne triadique, la position initiale des classes triadiques avant la subdivision est encadrée, et le raffinement du signe s'exprime par l'introduction des nouvelles classes hexadiques intermédiaires entre ces positions. La subdivision hexadique obéit toujours aux lois d'implication et d'inclusion des trois catégories phanérosopiques (cf. §3.2.2).

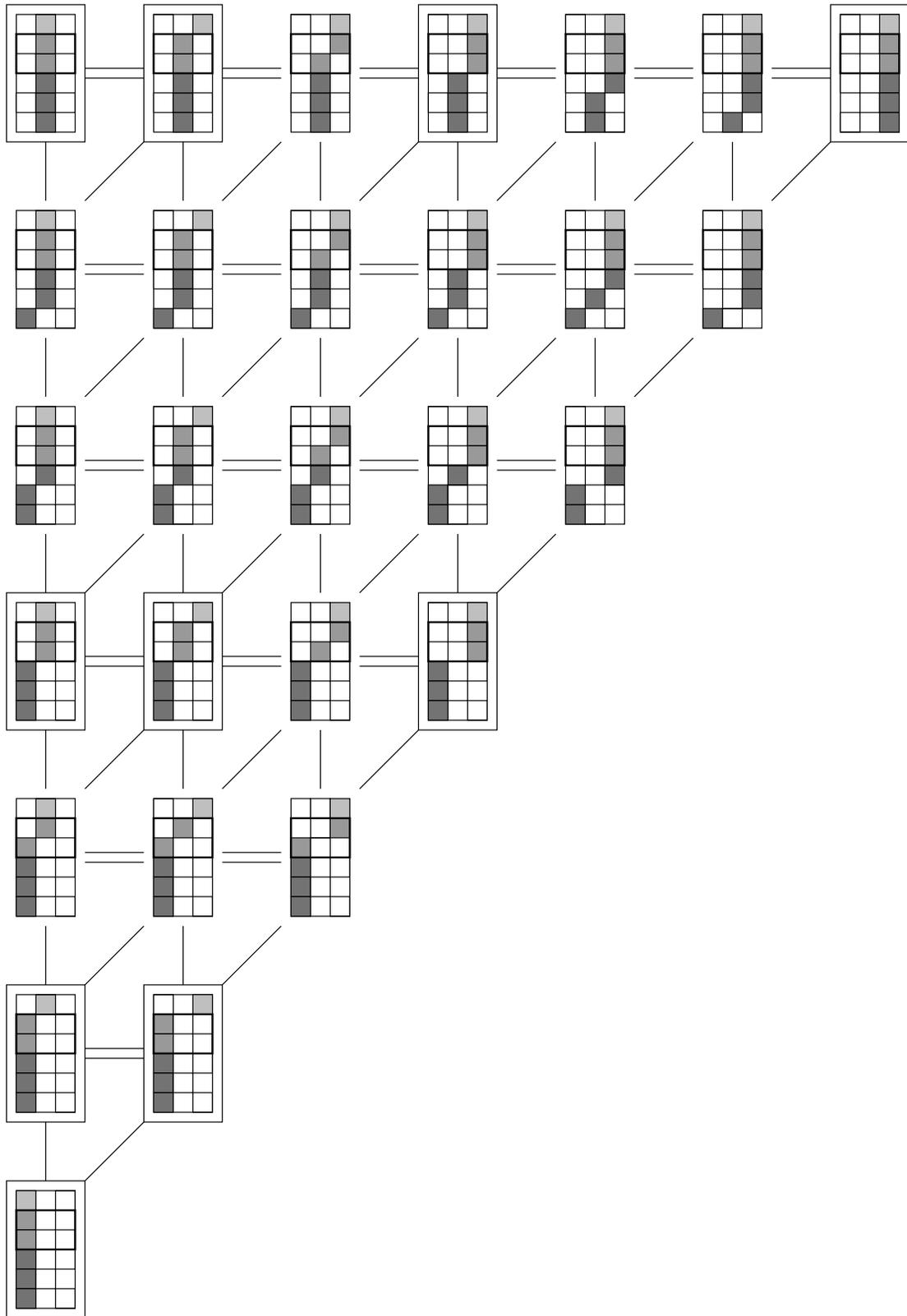


FIG. 3.15 – Les signes hexadiques (ou l’hyperseigne hexadique).

3.3.4 La topologie de la subdivision

Cette sous-section examine les caractéristiques topologiques et géométriques de la subdivision du signe triadique en un signe hexadique qui explicite d'une manière visuelle et graphique, les propriétés sémiotiques du signe.

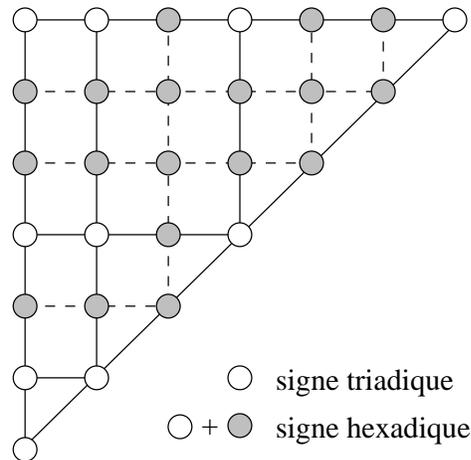


FIG. 3.16 – La topologie du signe.

La Figure 3.16 sert de référence où les cercles blancs indiquent la place des dix signes triadiques. Pris ensemble, les cercles ombragés et les blancs reproduisent les vingt-huit classes hexadiques. Cette analyse est résumée à travers une grille synoptique (cf. Figure 3.17). La première colonne de la grille indique le niveau étudié du signe triadique. La deuxième colonne montre, par les polygones en trait gras, la topologie du niveau triadique étudié. La troisième colonne montre, par les polygones en trait gras, la topologie du niveau hexadique obtenu après subdivision du niveau triadique. Dans les schémas des deux colonnes précédentes, les polygones désignent les régions respectives du signe triadique et hexadique qui contiennent la même forme de représentamen, d'objet et d'interprétant. La quatrième colonne indique le niveau étudié du signe hexadique (cf. Figure 3.14).

Donc, en passant de la division triadique à la subdivision hexadique :

- la subdivision hexadique du représentamen conserve la topologie triadique (cf. Figure 3.17(b) et 3.17(c)). La subdivision apporte uniquement une densification géométrique qui se traduit par l'ajout des classes hexadiques.
- l'objet subit une fragmentation topologique ; trois régions s'ajoutent la division triadique et les secondités dégénérées apparaissent clairement. Une interface, indiquée

par les cercles pleins, apparaît et dénote les classes qui sont communes à deux régions. Dans cette interface, le contenu informationnel de l'objet change d'état.

- c'est au niveau de l'interprétant que se présentent les propriétés les plus intéressantes de la subdivision hexadique. Il y a une diversification des régions de l'interprétant par rapport à l'objet et au représentamen. À l'instar de la subdivision hexadique de l'objet, une interface émerge. Elle regroupe les classes de signes qui peuvent appartenir simultanément à deux découpages, et par conséquent qui définissent les passages de l'interprétant entre deux états possibles ; un passage indique un changement du contenu informationnel de l'interprétant. De plus, la subdivision hexadique de l'interprétant récupère la topologie de l'hypersigne triadique, encadrée en pointillé (cf. Figure 3.17(k)). Cette partie de l'interprétant hexadique est identique au diagramme de l'hypersigne (cf. Figure 3.6).

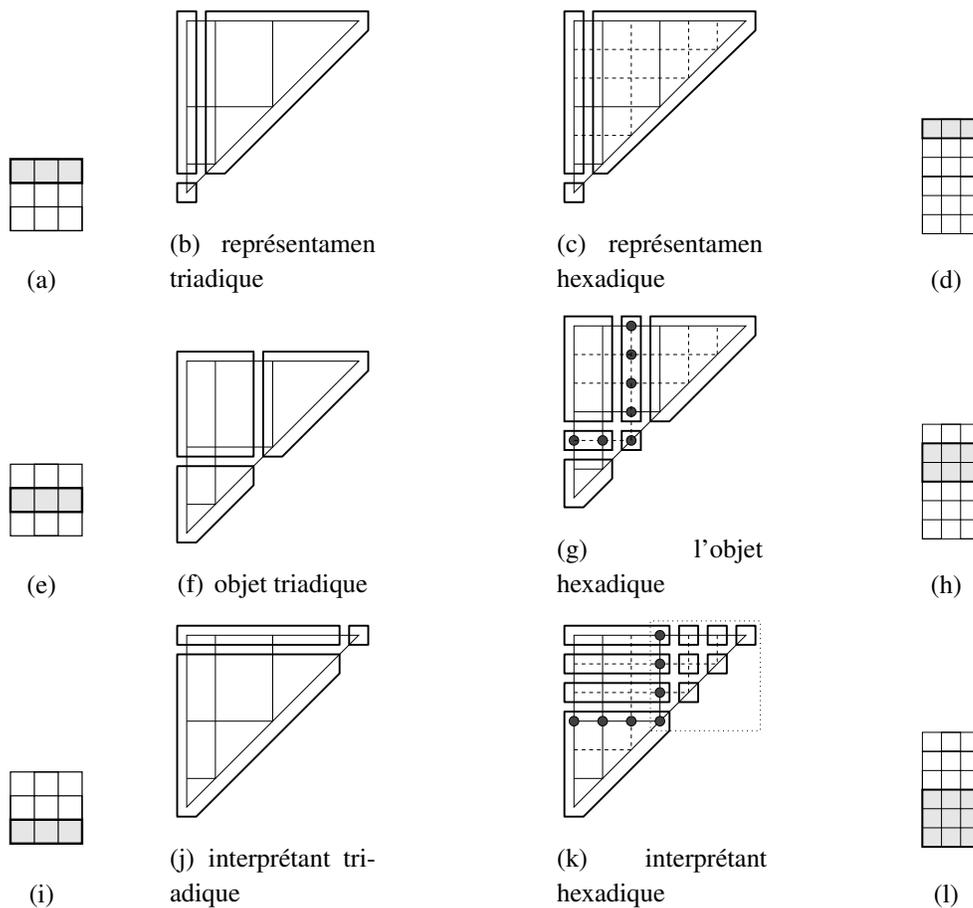


FIG. 3.17 – Comparaison des topologies triadique et hexadique

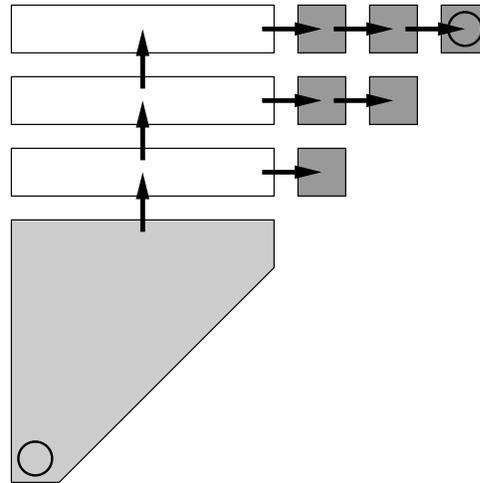


FIG. 3.18 – La dimension temporelle de la sémiotique.

La subdivision hexadique d'un signe exprime les propriétés dynamiques de l'interprétation sémiotique. Le parcours d'un interprétant dans l'hypersigne hexadique, en commençant par les deux positions extrêmes (cf. Figure 3.18), met en évidence une accélération de la transformation du contenu informationnel entre ces deux pôles : dans la zone grise du bas de la figure, la relation du signe avec son interprétant hexadique ne change pas. Dans la zone blanche, trois états de cette relation sont possibles, et dans les zones foncées, il y en a six. À un même niveau de subdivision, l'échelle du fonctionnement de l'interprétant, et par extension du représentamen et de l'objet, n'est pas homogène mais hétérogène, et elle peut être considérée comme une dimension temporelle de la transformation d'un contenu informationnel sémiotique. Cette thèse traite uniquement de la forme triadique d'un signe ; la forme hexadique en constitue un approfondissement, certes intéressant, mais qui dépasse le cadre de ce travail.

3.3.5 Le calcul interprétatif

Dans ce qui précède la définition du contenu informationnel demeure implicite. Le positionnement d'un signe dans l'hypersigne approprié (triadique ou hexadique) impose des contraintes sur l'interprétation possible de ce signe. Suivant la position, le parcours et l'état précédent de l'inférence, l'interprétation utilise et transforme l'information contenue dans le signe. Comment la sémiotique définit-elle ce contenu informationnel ?

3.3.5.1 L'information sémiotique

Dans l'étendue de sa pensée, Peirce n'a pas manqué de développer une théorie de l'information (Pietarinen, 2006, Liszka, 1990, Nauta, 1972). Cette théorie originale confirme le rôle de l'interprétant dans la sémiose, notamment dans la production de l'information. Peirce relie l'interprétation à l'information par l'intermédiaire de la connotation (*comprehension, depth*) et la dénotation (*extension, breadth*) : « [l'information est] la quantité de l'interprétant » (Liszka, 1990, p. 32) (Peirce, 1987, p. 33). De cette façon, pour un signe donné, sa dénotation regroupe tous les objets auxquels il peut s'appliquer et sa connotation désigne l'ensemble de ses attributs (ou propriétés ou caractéristiques). Selon Peirce, les deux termes sont reliés à l'information par l'équation suivante :

$$\text{Dénotation} \times \text{Connotation} = \text{Information} \quad (3.1)$$

Sémiotiquement parlant, la dénotation traduit la relation entre le représentamen et l'objet, la connotation constitue la relation entre l'objet et l'interprétant, et l'information désigne la relation entre le représentamen et l'interprétant ; à noter que dans les deux paragraphes suivants de Peirce, l'utilisation du terme symbole est synonyme de signe tel que défini précédemment :

- « Un symbole dans sa référence à son objet, a une triple référence :
- 1ère, sa référence directe à son objet, ou les choses réelles qu'il représente ;
 - 2ème, sa référence à son fondement à travers son objet, ou les caractères communs de ces objets ;
 - 3ème, sa référence à son interprétant à travers son objet, ou tous les faits connus à propos de son objet.

Ceux qui sont ainsi mentionnés, dans la mesure où ils sont connus, sont [respectivement] :

- 1ère, l'*ampleur* [dénotation] informée du symbole ;
- 2ème, la *profondeur* [connotation] informée du symbole ;
- 3ème, la somme des propositions synthétiques dans lesquelles le symbole est sujet ou prédicat, ou l'*information* concernant le symbole. » (Peirce, 1984, p. 82)

Le rapport entre la dénotation et la connotation n'est pas constant ; une augmentation ou une diminution d'un de ces deux termes dans l'équation 3.1 n'entraîne pas nécessairement une modification de l'autre. D'ailleurs, le symbole de l'égalité dans cette équation signifie une équivalence logique, plus générale que l'égalité arithmétique. Néanmoins, ce rapport peut être constant dans le cas où l'information ne change pas. Trois règles principales conditionnent ce rapport :

« Il est évident que l'ampleur et la profondeur d'un symbole [...] mesurent l'information qui le concerne, c'est-à-dire, les propositions synthétiques dont il est le sujet ou le prédicat. Ceci résulte directement des définitions de l'ampleur, de la profondeur et de l'information. Conséquemment, il résulte :

- que, aussi longtemps que l'*information reste constante*, plus grande est l'ampleur [dénotation], moindre est la profondeur [connotation] (nous soulignons) ;
- que toute augmentation de l'information est accompagnée par une augmentation de la profondeur [connotation] ou de l'ampleur [dénotation], indépendamment de l'autre quantité ;
- que, quand il n'y a pas d'information, il n'y a ni profondeur [connotation] ou ni ampleur [dénotation], et la réciproque est vraie.

Ce sont les vraies et évidentes relations de l'ampleur [dénotation] et la profondeur [connotation]. Elles seront naturellement suggérées [comprises] si nous désignons l'information par aire, et écrivons– (Peirce, 1984, p. 83) »

$$\text{Ampleur} \times \text{Profondeur} = \text{Aire} \quad (3.2)$$

Chaque classe possède trois façons de participer à une inférence et son rôle obéit aux règles de la complexité interne des composants du signe représentamen-objet-interprétant (cf. §3.2.4.2) aussi bien qu'à l'organisation externe dans l'hypersigne (cf. §3.2.4.3). L'information sémiotique n'est pas statistique. Elle repose sur la notion fondamentale de détermination inclusive des catégories phanéroscopiques (cf. Figure 3.3). De la sorte, chaque classe de signes devient un moment dans un processus informationnel continu et déploie l'état des représentations, faites par un concepteur à partir de ses connaissances, dans un système général d'états. Il s'agit maintenant de préciser la dynamique de cette propagation dans l'hypersigne.

3.3.5.2 Les opérations informationnelles

En plus de la caractérisation du représentamen, de l'objet et de l'interprétant respectivement par la connotation, la dénotation et l'information, Peirce définit cinq opérations élémentaires pour manipuler la connotation et la dénotation (Liszka, 1990, p.36) (cf. Figure 3.19) :

L'extension. Elle désigne toute augmentation de la dénotation avec ou sans modification de l'information.

La restriction. Elle indique une réduction de la dénotation avec ou sans modification de l'information ; c'est l'opération contraire de l'extension.

La détermination. Elle signifie une augmentation de la connotation avec modification de l'information.

L'appauvrissement ou épuisement (*depletion*). Cette opération réduit la connotation avec ou sans changement de l'information ; c'est l'opération contraire de la détermination.

La découverte. Elle reflète une augmentation de l'information.

	connotation	dénotation	information
extension		+	
restriction		—	
détermination	+		
appauvrissement	—		
découverte			+
<i>dégénérescence</i>			—

FIG. 3.19 – Les opérations informationnelles élémentaires.

À ces opérations et à leurs combinaisons, nous en ajoutons quatre nouvelles pour accroître l'expressivité de ce calcul interprétatif (en italiques gras dans la Figure 3.19 et le Tableau 3.2) :

La *dégénérescence*. Elle indique toute diminution simultanée de la dénotation et la connotation accompagnée d'une réduction de l'information.

La *redondance*. Elle signifie une opération composée qui (1) amplifie simultanément la dénotation et la connotation ou (2) réduit simultanément la dénotation et la connotation. Mais, dans les deux cas, l'information garde sa constance. C'est précisément cette double constatation (augmentation ou réduction des termes du côté gauche de l'Équation 3.1, et constance du côté droit) qui autorise l'identification d'une redondance. Celle-ci est particulièrement utile dans la création d'un ordre dans une composition architecturale, où la présence répétitive d'un élément donné reflète une règle de cette composition, tout en conservant la même information véhiculée par l'élément choisi.

L'*ignorance*. Elle désigne une opération composée qui simultanément accroît et réduit la dénotation. Une autre qualification de l'ignorance est possible : toute composition simultanée de l'augmentation et la réduction de la connotation, évidemment avec une absence d'information. Cette opération ne peut être intentionnelle.

L'*erreur*. Elle reflète toute réduction de la dénotation et de la connotation accompagnée par une augmentation de l'information, et toute augmentation de la dénotation et la connotation résultant en une réduction de l'information. À la manière de la redondance,

TAB. 3.2 – L'information interprétative.

	OPÉRATIONS	RÉSULTATS
D_r, C_c, I_r	restriction	<i>restriction</i>
D_r, C_a, I_c	détermination × restriction	<i>spécification (descent)</i>
D_c, C_a, I_a	détermination × découverte	<i>amplification</i>
D_a, C_c, I_a	extension × découverte	<i>induction</i>
D_a, C_r, I_c	extension × appauvrissement	généralisation (<i>ascent</i>)
D_a, C_r, I_r	appauvrissement	abstraction (<i>prescission</i>)
D_r, C_r, I_r	restriction × appauvrissement	<i>dégénérescence</i>
D_a, C_a, I_c	extension × détermination	<i>redondance</i>
D_r, C_r, I_c	restriction × appauvrissement	<i>redondance</i>
D_r, D_a	extension × restriction	<i>ignorance</i>
C_r, C_a	détermination × appauvrissement	<i>ignorance</i>
D_r, C_r, I_a	restriction × appauvrissement	<i>erreur</i>
D_a, C_a, I_r	détermination × extension	<i>erreur</i>

il faut une condition de simultanéité de la modification des deux côtés de l'Équation 3.1 pour détecter l'erreur. Et à l'instar de l'ignorance, l'erreur n'est pas une opération intentionnelle.

Les opérations informationnelles sont regroupées dans le Tableau 3.2, dans la première colonne, où les trois termes de l'Équation 3.1 sont désignés par leur première lettre : *D* pour dénotation, *C* pour connotation et *I* pour information. Un indice est affecté à chaque terme pour une des mesures suivantes : *a* pour augmentation, *r* pour réduction et *c* pour constance. Par exemple, la séquence D_c, C_a, I_a de la troisième ligne exprime une constance de la dénotation accompagnée d'une augmentation de la connotation et de l'information, par conséquent, elle signifie une détermination et une découverte simultanée, donc une amplification.

Le développement du calcul interprétatif doit s'accompagner d'une mise en correspondance entre l'élargissement des opérations informationnelles et les classes de signes. L'application de ces opérations aux dix classes de signes révèle une vue globale du calcul interprétatif, où chaque signe joue un rôle spécifique dans l'augmentation, la réduction et la constance de l'information. À souligner qu'on trouve les premiers essais (d'ailleurs rares) de développement d'un calcul sémiotique en linguistique (Watt, 2001, Watt, 1995). Cet essai se concentre sur l'explicitation de la nature algébrique et fonctionnelle d'un verbe donné. Par exemple, le verbe « signifier », est analysé selon les propriétés de transitivité, de symétrie et de réflexivité, mais sans mise en relation avec la théorie de l'information de Peirce.

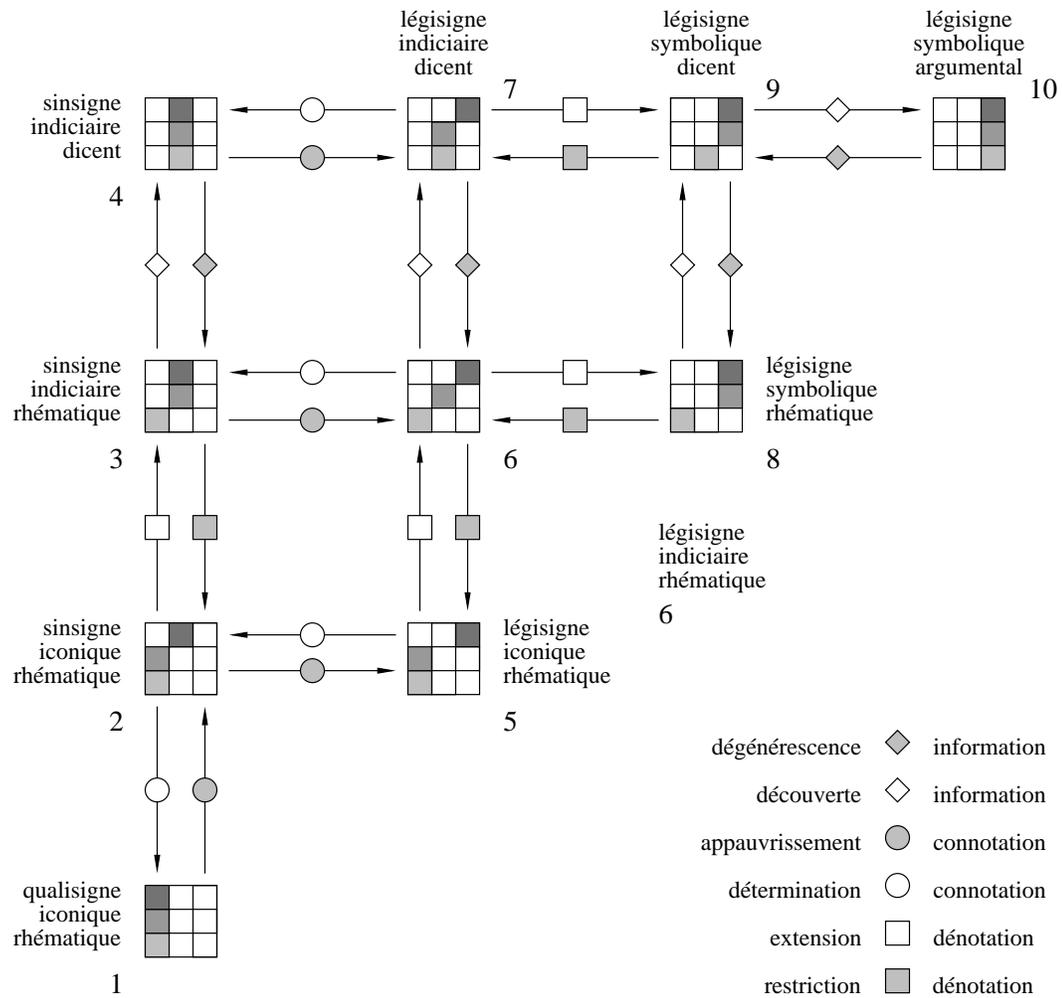


FIG. 3.20 – La propagation de l’information dans l’hypersigne.

Mesurer l’apport de chaque signe à un état informationnel donné respecte, d’un côté, l’aspect compositionnel de l’information sémiotique (cf. Équation 3.1) et, d’un autre, les conditions de l’augmentation, de la réduction et de la constance. Il y a des signes qui connotent sans dénoter (par exemple, le sinsigne-iconique-rhématique), des signes qui dénotent sans connoter (par exemple, le sinsigne-indiciaire-iconique) et d’autres qui informent (qui connotent et dénotent ; par exemple, le sinsigne-indiciaire-dicent). Cette différenciation conserve toujours l’implication des classes (cf. Figure 3.8). La Figure 3.20 montre la propagation de l’information et ses composantes dans l’hypersigne.

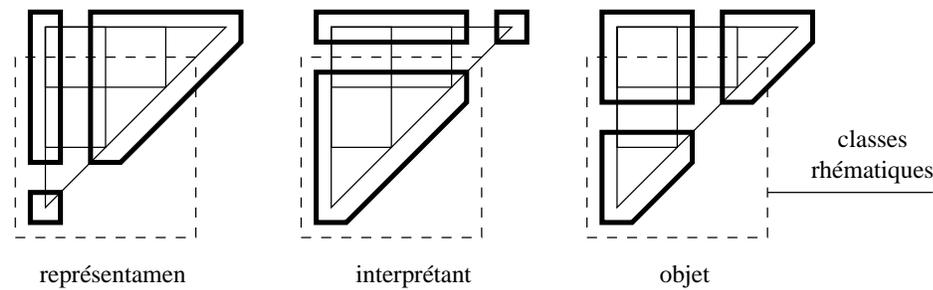


FIG. 3.21 – La temporalité des classes rhématiques

Dans le cas du signe triadique, la dimension temporelle de l'hypersigne renforce la différenciation entre les classes rhématiques, les trois classes dicentes et la classe argumentale (cf. §3.2.4.4). En comparant les schémas topologiques du représentamen, de l'objet et de l'interprétant de ces classes thématiques (cf. Figure. 3.21) aussi bien que la propagation de l'information dans l'hypersigne (cf. Figure 3.20), on remarque que celui de l'interprétant est plus « lent » que les deux autres. Autrement dit, l'acquisition et le traitement de l'information dans les classes rhématiques sont plus stables que dans les classes dicentes et argumentale. Cette stabilité crée une zone de modération ou plutôt une d'interface régulatrice entre, d'un côté, les changements des représentamens et de l'autre, les états des objets de ces classes rhématiques. L'approfondissement de la temporalité des signes n'est pas pertinent à la thèse.

3.3.5.3 La fonction informationnelle du sinsigne-indiciaire-dicent

Dans la définition de la classe des sinsignes-indiciaires-dicents (cf. §3.2.4.1), le mode de combinaison des deux signes impliqués dans chaque membre de celle-ci (un sinsigne-indiciaire-rhématique et un sinsigne-iconique-rhématique) demeure sommaire. Pour expliciter l'apport informationnel de cette classe, il s'agit maintenant de détailler ce mode. Le sinsigne-indiciaire-dicent joue un rôle central dans la progression de la sémiose. Les classes rhématiques ne font que suggérer des possibilités tandis que les classes dicentes élaborent des propositions (au sens logique) dont le contenu informationnel, concrétisé par leurs répliques (les sinsignes-indiciaires-dicents) pourrait être confirmé ou infirmé.

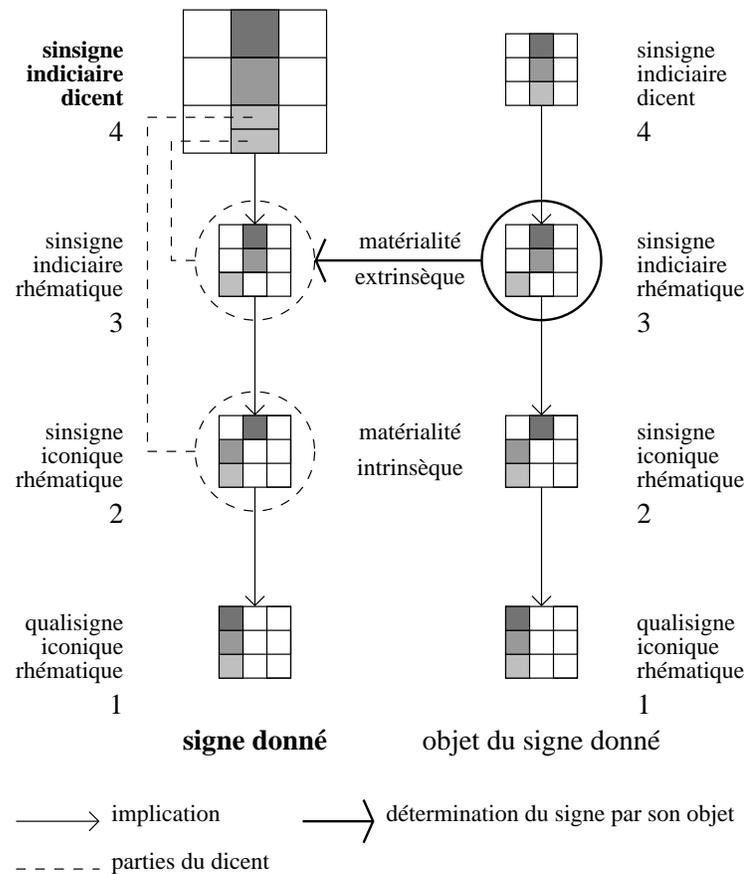


FIG. 3.22 – La composition de l’interprétant d’un sinsigne-indiciaire-dicent

Considérons un sinsigne-indiciaire-dicent (cf. Figure 3.22). Dans ce signe, la relation avec l’interprétant (la composante dicente) combine deux parties. La première provenant du sinsigne iconique-rhématique impliqué (dans ce signe) et dont le contenu relève de la matérialité intrinsèque de ce signe. La deuxième partie provient du sinsigne-indiciaire-rhématique, lui aussi impliqué dans le même signe, et dont le contenu résulte de l’action, réelle et extrinsèque, de l’objet extérieur auquel renvoie le sinsigne-indiciaire-dicent considéré. Puisque la composante dicente d’un signe est une relation réelle et existante, un sinsigne-indiciaire-dicent combine, réellement, une qualité réelle qui lui est intrinsèque et une autre qualité réelle qui lui est extrinsèque (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.309-2.317).

Par exemple, considérons une porte dans un local. La matérialité intrinsèque de la porte, sa capacité d’être ouverte et la qualité extrinsèque, la présence réelle du local de l’autre côté, sont mis en relation réelle quand un usager ouvre la porte et accède au local. Ainsi, le contenu informationnel de la porte, « vous pouvez accéder à un local par ici », est vérifié chaque fois

qu'on l'utilise.

Le pouvoir synthétique d'un sinsigne-indiciaire-dicent va de pair avec la complexité inhérente à tout système sémiotique. En fait, deux sinsignes-indiciaires-dicents ne peuvent être en relation réelle (physique, matérielle, contiguïté. . .) qu'à travers leurs sinsignes-indiciaires-rhématiques respectifs. Les deux sinsignes-indiciaires-dicents sont deux entités existantes par elles-mêmes, indépendantes l'une de l'autre. Et comme un signe ne peut transmettre la totalité des propriétés de son objet, la perte d'information entre l'objet et le signe se traduit par un déplacement d'une classe de signes supérieure vers une classe inférieure : quand un sinsigne-indiciaire-dicent entre en relation avec un autre sinsigne-indiciaire-dicent, ce dernier reçoit l'implication matérielle du premier à travers son sinsigne-indiciaire-rhématique (impliqué dans le second). Un signe donné ne peut impliquer (ou transmettre) qu'un signe équivalent ou inférieur.

3.3.5.4 L'information abductive

Dans une inférence abductive, la caractérisation du contenu informationnel d'un signe obéit à une contrainte de similarité, dans une acception générale de ce terme, entre l'objet et son représentant : « L'hypothèse [l'abduction] apporte à l'esprit une *image* des vraies *qualités d'une chose* – elle nous informe donc de la *compréhension* mais pas de l'Extension, c'est-à-dire elle représente une représentation qui a une Compréhension sans Extension ; en d'autres termes elle représente une *ressemblance*. » (Fisch, 1981, p. 485) (nous soulignons).

Le point de départ de la nouveauté abductive réside dans la construction ou l'invention de cette *forme de qualité* (*image* dans la citation précédente) transmise par similarité ; elle appartient donc à une classe rhématique. Toutefois, sachant que les classes rhématiques ne peuvent véhiculer de l'information mais uniquement une structure vide d'information, le remplissage de la nouvelle forme de qualité, c'est-à-dire l'identification de ses propriétés réelles dépend du contexte de son invention. L'abduction contextualise le contenu informationnel d'un signe (cf. §2.5.2). En fait, un signe n'existe qu'en relation avec d'autres signes. Toute modification du contenu informationnel d'un signe, en connotation et/ou en dénotation, affecte le contenu des autres signes présents. En comparant l'apport informationnel, les influences particulières de la déduction, de l'induction et de l'abduction, sur le contenu informationnel du au Raisonnement, Peirce souligne qu'« [i]l y a, donc, cette différence importante entre l'induction et l'hypothèse [l'abduction], que la première augmente potentiellement l'ampleur [dénotation] d'un terme, et augmente réellement la profondeur [connotation] d'un autre, alors que la dernière augmente potentiellement la profondeur d'un terme, et augmente réellement l'ampleur

de l'autre. » (Peirce, 1984, p. 85).

Le développement d'un calcul interprétatif dote la sémiose en général et l'abduction en particulier d'un groupe d'opérations de mesure du contenu informationnel et de sa progression. L'apport majeur de ce calcul est l'identification de la propagation de l'information dans l'hy-persigne et par conséquent, il indique comment se fait l'augmentation de l'information, augmentation nécessaire à l'abduction (cf. Figure 3.20). De plus, le calcul cerne la structure informationnelle interne d'un signe et identifie comment, à travers la manipulation de la dénotation et la connotation, elle affecte les relations externes du signe avec son contexte. Enfin, le calcul établit les conditions de fonctionnement de la nouvelle qualité postulée par l'abduction. Elle doit *réorganiser* et *amplifier* le contenu informationnel actuel de la sémiose en lui conférant une propriété qui n'y est pas présente (cf. §2.5.5.4) :

« [...] Mais le plus haut genre de synthèse est celui que l'esprit est contraint de faire ni par les attractions centripètes des sentiments ou les représentations elles-mêmes, ni par une force transcendantale de nécessité, mais dans l'intérêt de l'intelligibilité, c'est-à-dire, dans l'intérêt du «Je pense» synthétisant lui-même ; et ceci il [l'esprit] le fait en introduisant une idée non contenue dans les données, qui [l'idée] donne des connexions qu'elles [les données] n'auraient pas eues autrement. » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 1.383)

Mais quel est le processus qui génère cette qualité nouvelle ? Et quel est sa forme sémiotique ?

3.4 La sémiose de l'abduction

Cette section identifie un processus générateur de nouveauté, décrit son fonctionnement, examine sa pertinence à la conception architecturale et aboutit à une forme sémiotique de l'abduction. La forme élaborée constitue une contribution de la thèse.

La production de l'hypothèse dépend des données fournies à l'observateur par la perception et du contrôle des opérations inférencielles qu'il utilise, par exemple, le test d'inconcevabilité, l'abstraction hypostatique (cf. §2.4.1.2). La production se situe dans la continuité de l'*interprétation* que fait l'observateur de ses connaissances antérieures ; rappelons que le terme *interprétation* désigne une restructuration d'une connaissance, dans un contexte donné, qui lui conserve sa validité et élargit son champ d'application. D'ailleurs, ce n'est pas l'adoption d'une donnée statique qui produit la nouvelle connaissance mais l'interaction entre deux

niveaux : les représentations faites par l'observateur à partir des données et les opérations appliquées sur ces représentations. L'abstraction hypostatique fournit à l'abduction une caractérisation efficiente et contrôlée des éléments perçus en vue de leur concrétisation ; cette caractérisation aide dans l'identification des opérations qui traitent et transforment ces éléments (Kruiff, 2005, p. 16).

À travers l'action de l'interprétant, le contenu informationnel du phénomène surprenant à expliquer, c'est-à-dire le problème à résoudre, subit une suite de transformations. Cette action a pour objectif de relier, par la création d'une nouvelle information, le problème aux connaissances antérieures du concepteur. Pour atteindre ce but, les transformations appliquées traitent de la connotation, la dénotation et l'information de chaque signe et de leurs influences sur les autres signes. Mais ce traitement est fortement caractérisé par le rôle *synthétique* de la *double mise en relation* (connotation \times dénotation). La double mise en relation agit en tant que dénominateur commun de ces transformations et leur confère le caractère procédural des opérations de synthèse telles que définies simultanément par la maxime de la Représentation (cf. §2.5.1), l'observation abstractive (cf. §2.5.4), la constitution du percipuum (cf. Figure 2.2) ainsi que l'abstraction hypostatique (cf. §2.4.1.2). D'ailleurs, sachant que l'information est la quantité de l'interprétant (cf. §3.3.5.1), ce contenu informationnel est lui-même un interprétant. Par conséquent, le processus générateur de nouveauté doit interpréter un interprétant. À noter que si l'abstraction hypostatique représente une limite de l'interprétation (cf. §2.4.1.2), l'abduction dépasse de cette limite. La proposition résultante de cette abstraction forme une hypothèse, un sinsigne-indiciaire-dicent, dont le champ de validation recouvre le domaine de concrétisation des qualités possibles connotées par les rhèmes (les nouveaux espaces vides du prédicat). Autrement dit, le domaine de concrétisation est défini par l'hypersigne pour la simple raison que toute concrétisation sera analysée selon une des dix classes de signes triadiques. D'ailleurs, traduits selon des termes sémiotiques, le prédicat devient l'interprétant du signe et le sujet devient l'objet du signe (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.473). De plus, et toujours dans cette sous-section le premier exemple de fonctionnement (un cube est blanc) se rapporte à une caractérisation intensionnelle de l'abstraction ; elle concerne une propriété ou plutôt une *connotation* d'une *qualité*, tandis que le deuxième exemple (le pilotis support l'étage) reflète un aspect extensionnel en exprimant la *dénotation*, par le sujet (le pilotis), d'une *classe de corrélats* agissant comme support.

3.4.1 La synthèse abductive

La forme sémiotique d'une proposition appartient à l'ensemble des classes dicentes et de leurs répliques. Un sinsigne-indiciaire-dicent fournit une information réelle, sur son objet, qui peut

être soumise à une vérification. La réalité de cette information provient du fait que l'interprétant la conçoit indépendante de l'existence du représentamen et par conséquent lui est extérieure. De la sorte, à la qualité possible rhématique (communiquée à un premier moment de l'inférence abductive) l'interprétant adjoint, au moment suivant et par abstraction hypostatique, une information dicente, qui peut être vérifiée ou validée. De cette manière, l'interprétant réalise une mise en relation, une synthèse entre deux signes : l'interprétant initial et son interprétation de celui-ci. Dans ce cas-ci, il n'y a pas de circularité vicieuse mais plutôt une récursivité générative qui se traduit sous la forme logique (...(*interprétant* (*interprétant* (...)))).

Toutefois, la synthèse créative (l'hypothèse produite) ne dépend pas uniquement du premier interprétant, qui forme l'observation de la qualité initiale mais surtout de l'interprétant du deuxième moment. Il diffère essentiellement du premier interprétant, non seulement à cause de la nouvelle relation, mais parce qu'il contrôle le premier et doit contenir le processus par lequel lui-même est formé. L'abstraction incorpore l'organisation des données de l'hypothèse par le biais de la différenciation entre le premier interprétant et le second. Le second appartient à un méta-niveau qui établit *une forme régulière* de relations non contenues dans la donnée du problème mais qui pourraient déterminer celui-ci comme une particularité de cette forme. La citation suivante de Peirce confirme cette formulation de l'organisation créative de l'abstraction :

« C'est, bien sûr, un exemple de l'application de l'abstraction hypostatique quand la propriété ou *la pensée d'être un individu singulier est transposée sur un autre niveau qui fait des affirmations au sujet de cette pensée.* » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 4.235) (nous soulignons)

Il s'agit maintenant de clarifier la définition d'une hypothèse comme forme régulière de relations. Dans les sciences exactes, la régularité correspond à la prédiction. Dans les sciences de la conception, la régularité reflète une cohérence interne de l'hypothèse qui conserve son indépendance par rapport à ses qualités constituantes. La validation d'une hypothèse relève du maintien de cette cohérence interne tout en établissant une autre cohérence externe avec les connaissances du domaine concerné. À noter qu'une hypothèse validée ne devient pas une règle :

« Chaque symbole est une entité de raison [ens rationis dans le texte], parce qu'il consiste en une habitude, en une régularité; maintenant chaque régularité consiste en *une occurrence future et conditionnelle de faits qui ne sont pas eux-mêmes cette régularité.* » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 4.464) (nous soulignons)

Par exemple, si un édifice architectural, dont la forme traduit une prouesse technique, s'effondre après un certain temps d'occupation et de fonctionnement satisfaisants, l'hypothèse formelle qui fut reconnue avant et pendant la construction comme valide, ne l'est plus, au moins dans ses dimensions structurelles. Dans ce cas, la cohérence externe du savoir-concevoir avec les connaissances techniques fait défaut.

Admettre une hypothèse modifie l'état d'un système sémiotique en augmentant temporairement ses connaissances (cf. §3.3.5.4). En retour, ces connaissances modifient la forme synthétique obtenue par l'abstraction hypostatique. De cette façon, la validation d'une hypothèse et son acceptation subséquente se déroulent dans la dialogique entre expérience (les connaissances antérieures, le savoir-concevoir) et anticipation (l'actualisation conditionnelle de l'hypothèse dans un temps futur). Le rapport de l'abstraction hypostatique au savoir-concevoir architectural est étudié au Chapitre 4.

3.4.2 L'organisation émergente

L'abstraction hypostatique met en évidence le caractère essentiellement *émergent* de l'action organisatrice de la nouvelle information (l'hypothèse) conçue comme un lien entre un problème à résoudre et un corps de connaissances antérieures ; ce corps qui ne peut résoudre ce problème sans cette information. Le terme *émergent* est utilisé au sens qu'il procède non pas de la simple insertion d'une information dans un système général de connaissances mais plutôt du constat que l'action organisatrice (de cette information) reste extérieure aux conditions de concrétisation de la solution du problème. En fait, les propriétés de la nouvelle hypothèse ne sont nullement similaires ou analogues à celles des composantes de son actualisation.

La Sous-section 2.5.5.1 examine la place et le rôle de l'émergence en CAAO. Il semble que l'intérêt pour cette notion provient de la volonté de représenter la créativité architecturale comme un phénomène supposé intuitif, instant et immédiat, en somme ce qui est dénoté par le *flash* mental. Les recherches qui s'intéressent à cette question tentent de décrire la structure psychologique de la créativité. Par le biais de l'abstraction, qui structure et contrôle le processus génératif, la nature de la synthèse abductive ne demeure plus exclusivement sujette à la psychologie de l'architecte et à son intuition, mais en revanche, elle offre une alternative critique, fortement médiante, de la représentation de la créativité :

« [...] L'intuition est la considération de l'abstrait dans une forme concrète, par l'hypostatization réaliste des relations ; c'est l'unique méthode de la pensée de valeur. Très superficielle est la notion répandue que c'est quelque chose [l'hy-

postatisation] à éviter. [...] Le vrai précepte n'est pas de s'abstenir d'hypostasier, mais de le faire intelligemment. » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 1.383)

L'abduction s'articule autour de l'élaboration d'une nouvelle qualité et la validation du rôle de celle-ci dans la solution d'un problème. La question posée, par la citation précédente, sur l'application intelligente de l'abstraction hypostatique dépend de l'action organisatrice de cette qualité qui différencie entre ce qui est pertinent à la solution anticipée et ce qui l'est moins. L'usage du terme singulier « qualité » ne doit pas cacher le fait que la donnée d'un seul percept, par exemple, un cube blanc, peut offrir à l'abstraction deux prédicats potentiels : la blancheur et la cubicité. Mais le point de départ de l'organisation intelligente de l'abstraction réside dans la *sélection* des qualités. Autrement dit en termes de classes sémiotiques, le choix d'un sinsigne-iconique-rhématique (ou d'une réplique d'un légisigne-iconique-rhématique), parmi une collection de tels signes, pour connoter un qualisigne-iconique-rhématique, se fait par un sinsigne-indiciaire-rhématique (ou par une réplique d'un légisigne-indiciaire-rhématique ou d'un légisigne-symbolique-rhématique). Les trois dernières classes de signes dirigent l'attention de l'interprétant vers l'objet, par une propriété réelle du représentamen :

« L'attention est une certaine modification du contenu de la conscience en ce qui concerne un centre. Ce centre est où il y a une forte réaction de volition (*sense-will*), qui confère à l'idée la nature d'un index (girouette, poteau indicateur, ou toute autre connexion aveugle et contraignante entre la pensée et l'objet). Maintenant, le sujet d'une proposition est juste un tel index. De là, le vrai phénomène de faire attention à une qualité, disons le blanc, ou de la rendre le centre de la pensée, consiste à penser à elle [la qualité] en tant que sujet dont les autres éléments de la pensée sont des attributs. » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 2.428)

Pour son action organisatrice, l'abstraction saisit l'avantage offert par la structure intrinsèque du domaine des classes rhématiques. En effet, l'emboîtement des classes, tel que décrit aux Sous-sections 3.2.4.2 et 3.2.4.3, agit comme une suite de conditions qui assurent la *saturation progressive* des exigences de l'organisation.

3.4.3 Le renouvellement du savoir-concevoir

L'explicitation du fonctionnement de l'abstraction hypostatique approfondit la qualification du processus générateur de nouveauté. En fait, la dynamique de l'abstraction hypostatique contient deux processus indissociables (cf. §2.4.1.2) : l'extraction du substantif à partir des données initiales (du problème à résoudre) et l'incorporation de nouvelles relations par l'ajout

des rhèmes (les espaces vides) dans le prédicat (la solution ou l'hypothèse). On remarque que le premier processus traduit une dimension connotative (cf. §3.3.5.1) ; il traite les propriétés internes du percept. Tandis que le deuxième processus concerne une dimension dénotative (cf. §3.3.5.1) puisqu'il relie, par de nouvelles relations, le sujet principal de l'hypothèse aux ajouts conséquents. L'information sémiotique du signe-interprétant s'amplifie avec la détermination de sa connotation et l'extension de sa dénotation et, par conséquent, elle accroît sa propre capacité de médiation :

« [...] à travers l'abstraction, les éléments transitoires de la pensée, [...], sont traduits en éléments substantifs [...]. Ainsi, il devient possible d'étudier leurs relations et d'appliquer à ces relations des découvertes déjà faites en respectant des relations qui leur sont analogues. De cette façon, par exemple, *les opérations deviennent elles-mêmes les sujets des opérations.* » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 3.642) (nous soulignons).

Comment produire une nouveauté à partir de ce qui est déjà connu ? En conception architecturale, la production d'une hypothèse, par exemple concernant la couleur d'un édifice, procède généralement des conditions d'actualisation de l'apparence suggérée, et particulièrement des connaissances antérieures accumulées par l'architecte. Il s'agit donc de clarifier le rôle de l'abstraction dans la création de quelque chose de neuf en utilisant les mêmes connaissances. Le processus-clé dans la citation précédente (que nous soulignons) est la ré-application d'une opération, sur le résultat d'une première application de cette opération ou d'une autre.

Par exemple, on suppose que le changement de l'apparence d'un mur est le problème à résoudre. En choisissant le domaine de la peinture comme espace de solutions, peindre le mur en rouge en serait une. D'ailleurs, en choisissant le domaine des matériaux pour y chercher la solution, remplacer la brique par la pierre serait une autre solution. On suppose maintenant l'existence d'un automate-peintre qui exécute cette tâche et qui connaît une seule couleur, le bleu. Suite à chaque requête de peinture, l'automate utilise la même couleur. À un moment donné, on amplifie les connaissances de l'automate en y introduisant d'autres couleurs et une fonction de choix. À partir de ce moment, l'automate peut choisir une couleur différente à chaque requête. D'une certaine façon, cet automate devient créatif, mais à la longue, son travail devient répétitif ; il n'y a pas une transformation de ses connaissances. Encore une fois, on augmente les connaissances et on y introduit la possibilité de faire une abstraction hypostatique par l'application d'une opération à une autre, qui peut être la même. L'automate applique l'abstraction au changement de couleur pour obtenir une méta-opération de changement, c'est-à-dire *le changement du changement* de la couleur. Cette méta-opération reflète une transformation dans les connaissances antérieures de l'automate : il doit trouver une connaissance qui autorise une modification de l'opération par laquelle il affecte l'appa-

rence du mur. Autrement dit, il abandonne le domaine de la peinture pour celui des matériaux.

On pourrait objecter à cette créativité en soutenant que le domaine des matériaux, tout comme celui des couleurs, préexistait à la solution dans l'automate. Mais, la modification créative des connaissances se situe au niveau de l'introduction, par abstraction hypostatique, d'une *nouvelle méta-opération médiatisante qui combine deux autres plus élémentaires* (cf. §2.5.5.4). Évidemment, la validité des opérations ainsi produites, c'est-à-dire des hypothèses, reste à vérifier, mais ceci ne réduit pas la plausibilité ou la possibilité créative de l'abstraction hypostatique.

Sachant que toute connaissance est déterminée par une connaissance précédente, la validité de l'altération, en tant qu'abduction créative, ne se fait pas par rapport au choix d'une couleur différente ou d'un autre matériau, mais plutôt en fonction des répercussions sur le savoir-concevoir de l'architecte (augmentation, réduction ou constance) résultant des modifications *possibles* et *valables* de l'apparence du mur (géométriques ou physiques ou autres). Le Chapitre 4 relie l'abduction à la qualification d'un espace de conception en termes de routine, innovation et créativité (cf. §4.4.1).

3.4.4 La forme sémiotique de l'abduction

En tant que mode de raisonnement, l'abduction appartient à la tiercéité, mais ce raisonnement est seulement possible, d'où son appartenance additionnelle à la priméité : l'abduction est une priméité d'une tiercéité, ce qui renvoie son point de départ aux six classes de signes rhématiques (cf. Figure 3.6) (Anderson, 1987, p. 41-42). La tiercéité induit la nécessité méthodologique du processus inférenciel et la priméité assure la production de possibilités de formes. De cette façon, ce jeu de forces détermine un champ créatif délimité, à sa borne inférieure, par la nécessité du contrôle de l'inférence et par l'a priori du problème à résoudre, et à sa borne supérieure, par la créativité du concepteur et les possibilités de matérialisation de la solution recherchée : « L'abduction est, d'ailleurs, le cas limite de la pensée auto-contrôlée » (Anderson, 1987, p. 42). Rappelons que puisque les interprétations respectives des classes rhématiques constituent des possibilités formelles incertaines, ces classes ne fournissent pas des informations concrètes sur la nature de leurs objets.

L'abstraction applique un interprétant à un autre interprétant. Le résultat de cette double opération dénote un objet, au sens sémiotique : « Quand nous parlons de la profondeur, ou de la signification, d'un signe nous recourons à l'abstraction hypostatique, ce processus par lequel nous considérons une pensée comme une chose, et faisons d'un signe-interprétant l'objet d'un signe » (Peirce Edition Project, 1998, p. 394). Cependant, et puisque l'objet d'un signe n'est connu qu'à travers son actualisation par ce signe et en particulier par son représentamen, il est nécessaire d'amplifier cette citation en formulant l'abduction, en termes des corrélats triadiques, comme suit : *l'amplification informationnelle hypothétique, produite par l'abstraction hypostatique, se fait par l'introduction d'un nouveau signe dont le représentamen matérialisera la réorganisation de l'interprétant en un objet* . De cette manière, la définition explicite un mode opératoire qui n'est pas évident dans la citation précédente.

Cette section répond à la question fondamentale de la construction contrôlée d'une structure rationnelle de production de la nouveauté dans l'abduction. Il ne s'agit pas de modéliser une source d'intuition qui fournit des informations mais plutôt de dire comment la nouveauté peut être traitée dans un raisonnement et y être validée. Décider de la nouveauté ou de la créativité d'une solution à un problème demeure essentiellement contextuel.

3.5 Conclusion

Ce chapitre étudie d'abord les concepts, les principes et les opérateurs fondamentaux de la sémiotique. Il accrédite la dimension sémiotique de l'abduction en mettant en évidence le rôle central de l'interprétation. Il établit une correspondance entre, d'un côté, les propriétés des éléments principaux de la sémiotique et leurs relations, et de l'autre, les caractéristiques de l'abduction.

L'approfondissement conceptuel des outils fournis par la sémiotique, aboutit à un développement d'un calcul interprétatif portant sur le contenu informationnel du signe. Les modalités du parcours de l'hypersigne, couplés à ce calcul, expriment les transformations informationnelles possibles entre les états sémiotiques de l'abduction. Le résultat de leurs combinaisons se répercute sur l'interprétation, par une hiérarchisation de l'acquisition, du traitement, de l'organisation et du stockage de son contenu informationnel.

De plus, l'étude de l'information sémiotique, en termes de connotation et dénotation, autorise la conception de l'abduction comme une abstraction hypostatique. La formalisation

sémiotique de cette conception de l'abduction est une contribution originale de cette thèse. L'abduction prend une forme sémiotique récursive qui applique, à un interprétant initial, un autre interprétant pour concevoir un objet qui détermine un nouveau représentamen. Celui-ci constitue l'unique méthode de la nouveauté dans la sémiologie. Cette formulation questionne la pertinence et la place de l'intuition, dans son acception courante, en conception architecturale. L'abstraction hypostatique peut se substituer à l'intuition en tant que processus rationnel générateur de solutions.

En prenant la formule de René Thom « tout ce qui est précis est insignifiant » et en extrayant littéralement sa duale « tout ce qui est signifiant est incertain », une relation triadique est mise en évidence entre la signification, l'incertitude et la représentation. Toutefois, l'usage du terme vague est modifié pour qu'il soit remplacé par le terme incertain. En fait, Peirce considère la connaissance, en plus de son aspect continu et donc vague, par son caractère perfectible et par conséquent incertain. D'ailleurs, la signification, la continuité et le vague sont fortement reliés dans la pensée peircéenne ([Chauviré, 1995](#), [Nadin, 1980](#)).

Après avoir étudié l'abduction et ses représentations numériques dans le chapitre précédent, et ayant élaboré une forme sémiotique correspondante dans celui-ci, le chapitre suivant approfondit cette nouvelle formalisation de l'abduction, lui confère des caractéristiques opérationnelles en relation avec le savoir-concevoir de la conception architecturale et l'applique à un cas concret.

Références

Anderson, D. R. (1987). *Creativity and the Philosophy and C.S. Peirce*, volume 27 de *Martinus Nijhoff Philosophy Library*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.

Bense, M. (1975). Sémiotique, esthétique et design. *Architecture d'Aujourd'hui*, 2(178) :107–112.

Burks, A. et Weiss, P. (1945). Peirce's sixty-six signs. *The Journal of Philosophy*, 42(14) :383–388.

Burks, A. W. (dir.) (1960). *Collected Papers of Charles Sanders Peirce, Volumes VII and VIII, Science and Philosophy and Reviews, Correspondence and Bibliography*. Harvard University Press, Cambridge, MA.

Chauviré, C. (1995). *Peirce et la Signification : Introduction à la Logique du Vague*. Presses Universitaires de France, Paris.

Deledalle, G. (dir.) (1978). *Charles S. Peirce : Écrits sur le Signe*. Ordre philosophique. Éditions du Seuil, Paris.

Everaert-Desmedt, N. (1990). *Le Processus Interprétatif : Introduction à la Sémiotique de Charles S. Peirce*. Philosophie et langage. Pierre Mardaga, Liège.

Fisch, M. H. (dir.) (1981). *Writings of Charles S. Peirce : A Chronological Edition, Volume I, 1857-1866*. Indiana University Press, Bloomington, IN.

Hartshorne, C. et Weiss, P. (dir.) (1960). *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Harvard University Press, Cambridge, MA.

Kruijff, G.-J. M. (2005). Peirce's late theory of abduction : A comprehensive account. *Semiotica*, 153(1/4) :431–454.

Lalor, B. (1997). The Classification of Peirce's Interpretants. *Semiotica*, 114(1-2) :31–40.

Lieb, I. C. (dir.) (1953). *Charles S. Peirce's Letters to Lady Welby*. Whitlock's Inc, New Haven, CT.

Liszka, J. J. (1990). Peirce's Interpretant. *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 26(1) :17–35.

- Marty, R. (1990). *L'Algèbre des Signes : Essai de sémiotique scientifique d'après Charles Sanders Peirce*, volume 24 de *Foundations of Semiotics*. John Benjamins, Amsterdam ; Philadelphie.
- Nadin, M. (1980). The logic of vagueness and the category of synecchism. *The Monist*, 63(3) :351–363.
- Nauta, D. (1972). *The Meaning of Information*, volume 20 de *Approaches to Semiotics*. Mouton, The Hague.
- Peirce, C. S. (1867). On a new list of categories. In Moore, E. C. (dir.), *Writings of Charles S. Peirce : A Chronological Edition, Volume II, 1867-1871*, pages 49–59. Indiana University Press, Bloomington, IN.
- Peirce, C. S. (1984). Upon logical comprehension and extension. In Moore, E. C. (dir.), *Writings of Charles S. Peirce. A Chronological Edition*, volume 2, pages 70–86. Indiana University Press. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 7 (1868), 416-432. Presented 13 November 1867.
- Peirce, C. S. (1987). *Textes Fondamentaux de Sémiotique ; traduits de l'anglais et annotés par Berthe Fouchier-Axelsen et Clara Foz*. Collection d'épistémologie. Méridiens Klincksieck, Paris.
- Peirce, C. S. (1998). Sundry logical conceptions. In ([Peirce Edition Project, 1998](#)), pages 265–288.
- Peirce Edition Project (dir.) (1998). *The Essential Peirce. Selected Philosophical Writings (1893-1913)*, volume 2. Indiana University Press, Bloomington, IN.
- Pietarinen, A.-V. J. (2006). *Signs of Logic : Peircean Themes on the Philosophy of Language, Games, and Communication*, volume 329 de *Synthese Library*, chapitre An Introduction To Peirce's Logic And Semeiotics, pages 3–48. Springer, Dordrecht.
- Sanders, G. (1970). Peirce's sixty-six signs ? *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 6(1) :3–16.
- Short, T. L. (1996). Interpreting Peirce's interpretant : A response to Lalor, Liszka, and Meyers. *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 32(4) :488–541.
- Sowa, J. (2000). *Knowledge Representation : Logical, Philosophical, and Computational Foundations*. Brooks/Cole, Pacific Grove ; Toronto.
- Watt, W. C. (1995). Towards a semiotic calculus. *Cruzeiro Semiótico*, 22/25 :151–160.
- Watt, W. C. (2001). How to signify with "signify". *Interdisciplinary Journal of Germanic Linguistics and Semiotic Analysis*, 6(2) :233–255.

Chapitre 4

La conception architecturale

4.1 Introduction

Le Chapitre 3 relie l'abduction à la sémiotique, par l'intermédiaire de l'abstraction hypostatique. Cette abstraction modélise l'abduction à travers la transformation sémiotique d'un interprétant conçu en un objet hypothétique par la médiation d'un nouveau représentamen. En effet, cette transformation plonge le signe hypothétique dans le domaine des possibilités et conduit ainsi à la production de nouvelles solutions architecturales. En ce qui suit, le terme dualisation hypostatique désigne cette transformation ; à noter que cette acception de la dualisation diffère de celle parfois utilisée en logique propositionnelle (Eiter et Makino, 2003).

Le chapitre présent expose la contribution majeure de la thèse. Il approfondit le résultat du Chapitre 3 en conférant à la dualisation une capacité opératoire. Il établit une correspondance entre la forme sémiotique de l'abduction et le savoir-concevoir architectural par le biais de la dualisation ainsi augmentée. La Section 4.2 étudie les rapports entre la conception architecturale et la sémiotique. Elle examine la diversité des considérations de l'acte synthétique en conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO), caractérise les processus du savoir-concevoir que cette discipline engage, tels que le recours aux principes premiers, l'analogie, la similarité, la mutation, la combinaison et la substitution et les augmente, et en développe une hiérarchisation originale. La Section 4.3 conçoit les systèmes sémiotiques architecturaux à travers les trois composants d'un signe : le représentamen, la relation à l'objet et la relation à l'interprétant et les mets en correspondance avec l'hypersigne. La Section 4.4 analyse l'interprétation architecturale et ses stratégies en tant que récupération d'un savoir-concevoir existant. Elle relie les catégories de ce savoir-concevoir telles que la routine, l'innovation et la

créativité à son réinvestissement (du savoir-concevoir) dans la production de la nouveauté architecturale. La Section 4.5 présente la contribution majeure de cette thèse et explique l'opérationnalisation de la dualisation. La Section 4.6 interroge un cas concret des transformations architecturales d'un milieu bâti, fournit une application pratique des développements des sections précédentes et prépare les données du modèle sémiotique de l'abduction.

4.2 La caractérisation de la conception architecturale

L'abduction en conception architecturale dénote le processus de configuration, ou d'un ensemble de spécifications, qui répond à un problème de performances (cf. Figure 4.1). D'un point de vue dynamique, l'abduction effectue un transfert de signes d'un système de signes vers un autre. Cette thèse considère qu'en conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO), le processus abductif prend forme à partir d'une dualisation hypostatique de la qualification sémiotique du problème traité. La dualisation est développée à la Section 4.5. Cette qualification étant un diagramme sémiotique dans l'hypersigne (cf. Figure 3.6), constitué par un nombre de classes, leurs relations et les résultats de leurs interactions. À remarquer que l'indépendance des classes de signes vis-à-vis des phénomènes existants, soulignée dans la Figure 3.6 leur accorde une adéquation à la conception architecturale : libres de la condition de correspondre à ce *qui est*, les classes formalisent les modalités de ce qui *pourrait être* :

« Engineering, medicine, business, *architecture* and painting are concerned not with the necessary but with the contingent – not with how things are but with how they might be – in short, with design [...] The engineer, and more generally the designer, is concerned with *how things ought to be* – how they ought to be in order to attain goals, and to function [...] With goals and "oughts" we also introduce into the picture the dichotomy between normative and descriptive. Natural science has found a way to exclude the normative and to concern itself solely with how things are [...] Artificial things can be characterized in terms of functions, goals and adaptation (Simon, 1996, p. xii) » (nous soulignons).

La conception architecturale est fondamentalement un « problème faiblement structuré » (*wicked problem*) dont le type général se distingue par un ensemble de définitions. Cet ensemble instaure un cadre de directives de conception (Rittel et Webber, 1973) :

- il n'y a pas une formulation définitive d'un problème faiblement structuré : la compréhension du problème résulte du développement de la solution. L'analyse des données du problème affecte la synthèse de la solution qui, à son tour et après évaluation, influence cette compréhension ;
- un problème faiblement structuré n'a pas une règle d'arrêt ; les critères de l'atteinte de la solution ne sont pas prédéfinis. Il y aura toujours une possibilité d'améliorer la

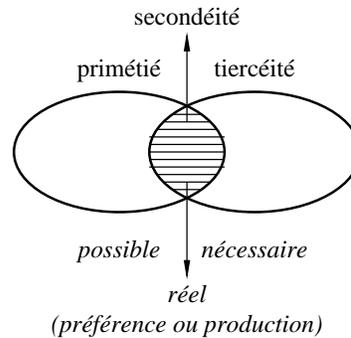


FIG. 4.1 – La phanérocopie de l'abduction.

solution proposée. La convergence vers la solution dépend fortement du contexte dans son acception la plus générale ;

- la solution est bonne ou mauvaise, et non vraie ou fausse. L'acceptation d'une solution résulte de la cohérence de l'*argumentation* utilisée pour arrimer cette solution au problème et non d'une *démonstration* de sa vérité ;
- il n'y a pas un test immédiat et ultime pour valider une solution. La mise en correspondance entre l'hypothèse produite et la réalité souhaitée dépend, parmi plusieurs facteurs, de l'expérience du concepteur et des données propres au problème étudié ;
- chaque application d'une solution d'un problème faiblement structuré produit nécessairement des conséquences. Celles-ci peuvent causer des problèmes différents du problème initial ;
- un problème faiblement structuré n'a pas un ensemble exhaustif des solutions possibles. La complexité de ce type de problème, résultant de l'impossibilité de réduire l'ensemble de ses données à un ensemble plus petit, nécessite la considération simultanée des domaines de validation de chacune de ces données et de leur interdépendance ;
- un problème faiblement structuré est fondamentalement unique. La transposition de la solution d'un problème précédent à un autre actuel ne peut se faire sans modifications et adaptations ;
- un problème faiblement structuré peut être examiné comme un symptôme d'un autre problème ;
- l'existence d'une différence entre les représentations d'un même problème faiblement structuré peut s'expliquer de plusieurs façons. Le choix de l'explication détermine la nature de la solution ;
- le concepteur n'a pas droit à l'erreur. La concrétisation matérielle d'une solution hypothétique implique des coûts social, économique et énergétique considérables, particulièrement en conception architecturale.

À part cette classification générale, les recherches en CAAO définissent la conception selon différentes perspectives. Asimow (Asimow, 1962) la considère d'un point de vue fonctionnel comme une satisfaction des besoins humains et une production, à volonté, des objets et des services. Aussi, elle est « un processus d'invention d'objets physiques qui expriment un nouvel ordre physique et de nouvelles organisations et formes en réponse à une fonction » (Alexander, 1964, p. 6). Pour Gregory (Gregory, 1966, p. 3) c'est une analogie générale qui met en correspondance les processus de productions architecturales, littéraires et industrielles. Simon (Simon, 1974, p. 13) en donne une définition téléologique : « l'ingénierie, la médecine, l'architecture, la peinture ne sont pas concernées d'abord par le nécessaire mais par le contingent – non pas par la façon dont les choses sont, mais par la façon dont elles pourraient être – en bref par la conception ». Rowe (Rowe, 1987, p. 1) propose une définition procédurale « [...] design appears to be a fundamental means of inquiry by which man realizes and gives shape to ideas of dwelling and settlement ». L'interdépendance des éléments constitutifs de la conception nécessite sa définition en termes relationnels : « a design is an element in an n-ary relation among drawings, other kinds of descriptions, and correlative devices as needed » (Stiny, 1990, p. 97). De plus, la formalisation logique considère le processus de conception comme « [...] une séquence d'opérations appliquées sur les représentations d'une forme, dans un effort de satisfaire des prédicats admissibles dans l'espace des conceptions » (Mitchell, 1990, p. 179). Un autre point de vue ensembliste décrit la conception par le processus de la ensemble de descriptions d'un artefact qui satisfait un ensemble donné d'exigences de performance et de contraintes (Coyne et al., 1990, p. 6). Dans une perspective constructiviste, la conception architecturale se transforme en une « conversation » réfléchie entre le concepteur et les matériaux d'un contexte donné (Schön et Wiggins, 1992, p. 135). D'ailleurs, l'aspect pragmatique de la conception permet de la considérer comme une activité intentionnelle, contrainte, décisionnelle, exploratoire et pédagogique (Gero, 1996, p. 435). En introduisant l'exploration de l'espace des solutions possibles dans la définition de la conception, celle-ci devient une hiérarchisation créative des composantes de ces solutions (Woodbury et al., 1999, p. 287). Kalay (Kalay, 1999, p. 14) interprète la « bonne » conception comme étant celle qui réalise le plus possible des objectifs désirés, tout en causant le moindre nombre d'effets secondaires et de conséquences indésirables. Plus récemment, et dans le cadre d'un approfondissement de la capacité représentative des modèles numériques utilisés dans la création, la conception devient une opération non-déterministe qui produit une nouveauté formelle (Knight et Stiny, 2001).

D'un point de vue sémiotique, cette thèse définit la conception par la représentation d'un espace de signes où il est plausible de construire une forme de relation, entre certains signes, qui pourrait être réellement et matériellement concrétisée indépendamment de cette représentation. Dans ce texte, l'espace de signes contient uniquement les dix classes triadiques et la solution architecturale, objectif de la conception, sera un édifice physique dont la nature ma-

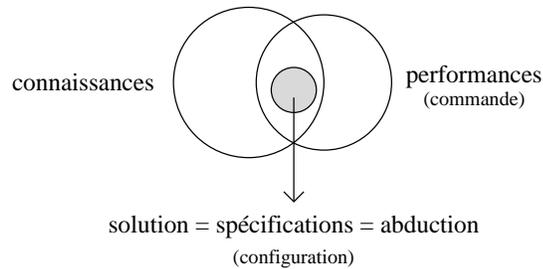


FIG. 4.2 – L'abduction architecturale.

térielle ne dépend nullement de ces classes. Il ne s'agit pas d'une définition paradoxale mais plutôt d'une reconnaissance, implicite dans la définition, de la séparation fondamentale entre Objet et Signe franchie uniquement par l'Interprétation. Un signe n'épuise jamais son objet ; il ne peut le représenter que sous *un* aspect donné en négligeant d'autres. La production et la manipulation des signes pendant la conception (architecturale) se font sous cette condition essentielle de l'existence d'une marge de possibilités de nouvelles relations ; marge résultant de la « perte originelle » inhérente à la détermination du Signe par l'Objet. C'est cette perte constitutive de la Représentation qui sera comblée (récupérée, dépassée. . .) par l'action réelle de l'Interprétant, c'est-à-dire par la production d'une hypothèse (une solution architecturale).

La formulation d'une seule définition générale de la conception pourrait être utile. Mais, la diversité non exhaustive de ces définitions reflète leur complémentarité et, surtout, la dépendance de la spécification de la conception au contexte et à la finalité des problèmes architecturaux envisagés.

4.2.1 Les processus de la conception

En étudiant les rapports de production de la forme architecturale aux processus de sa signification, Broadbent ([Broadbent et al., 1980](#)) différencie clairement entre la sémiotique peircéenne (signe-objet-interprétant) et la sémiologie saussurienne (signifiant-signifié) et en optant pour la première, plus générale, argumente en faveur de son caractère non-déterministe dans le traitement de ces rapports ([Broadbent et al., 1980](#), p. 337, 352). La comparaison de ces deux théories du signe dépasse le cadre de la thèse. D'ailleurs, la signification correspond à une référence possible entre une forme architecturale et une entité non présente au moment de l'observation ou de la conception ([Mitchell, 1990](#), p. 202). Au niveau interprétatif représentant les processus de création architecturale, la qualification du savoir-concevoir nécessite une généralisation des opérations élémentaires engagées dans la conception. Broadbent analyse

quatre catégories de processus de conception (Broadbent, 1973, p. 412-430) : pragmatique, iconique, analogique et canonique. En outre, Rosenman et Gero (Rosenman et Gero, 1992, p. 127-130) en proposent aussi quatre, respectivement équivalentes : combinatoire, analogique, mutation, et principes premiers.

Les deux ensembles de définitions s'accordent d'une façon générale sur tous les termes mais la mise en correspondance de chaque terme avec son équivalent ne peut être complètement précisée. Toutefois, nous avons mis en correspondance « iconique (Broadbent) » et « analogique (Rosenman et Gero) » et par conséquent, « analogique (Broadbent) » et « mutation (Rosenman et Gero) » parce que chaque terme, à l'intérieur de sa correspondance, reflète convenablement le contenu informationnel (cf. §3.3.5) de son équivalent. Dans ce qui suit, la terminologie de Rosenman et Gero est adoptée en soulignant qu'il semble qu'ils ont été influencés par les catégories de Broadbent bien que leurs références ne le citent pas.

4.2.1.1 La combinaison

La combinaison désigne la sélection d'un ensemble d'éléments, ou de propriétés, dans plusieurs objets et leur organisation pour produire un nouvel objet (cf. Figure 4.3(e)). Elle réduit l'individualité de chaque élément et, d'une certaine façon, augmente l'entropie de cet objet. La combinaison matérialise des possibilités de compatibilité et d'appartenance, des éléments traités, à une même classe de solutions. Si elle utilise des opérations déjà connues, elle tend vers un emprunt, formel ou conceptuel, par le biais de la similarité et par conséquent s'inscrit dans une conception de routine (cf. §4.4.1.1). Par contre, si la combinaison introduit de nouvelles relations entre les éléments concernés, elle réfère à une conception innovatrice (cf. §4.4.1.2) ou créative (cf. §4.4.1.3). Ces nouvelles relations conservent « l'histoire » des parties agrégées.

4.2.1.2 La mutation

La mutation représente la modification de la structure d'un élément existant dans l'objet considéré par la conception (cf. Figure 4.3(d)). La modification affecte les propriétés intrinsèques de cet objet telles que le volume, la masse et la géométrie. Alors, trois résultats sont possibles : une augmentation ou une réduction ou une constance du contenu informationnel (cf. §3.3.5) de l'objet. Ce processus utilise une même forme de relations sur laquelle il applique des transformations (par exemple, allonger, raccourcir, arrondir, modifier l'échelle, etc.). De plus, la mutation organise hiérarchiquement les transitions entre les autres processus

de conception.

4.2.1.3 L'analogie

L'analogie a pour finalité la recherche d'une solution à partir de l'extérieur du domaine de connaissances du problème de conception étudié (cf. Figure 4.3(b) - croquis montrant l'Opéra de Sydney dont la forme, en coques emboîtées, est inspirée des voiles d'un bateau). Elle définit la production d'associations de ressemblance entre les données de ce problème et les généralisations extérieures à ce domaine. Elle puise une abstraction d'une forme de relations dans un domaine différent du problème considéré et marque fortement l'intention du concepteur. D'un côté, l'appel à un autre domaine peut prendre une forme iconique-rhématique où le concepteur s'intéresse à une ressemblance générale et conceptuelle, sans implication impérative de matérialisation dans l'objet considéré. C'est pourquoi la recherche analogique conduit à une structure abstraite, une forme de relations essentiellement polyvalente et adaptable aux données du problème. D'un autre côté, l'analogie indiciaire-dicente transpose, du domaine extérieur au domaine du problème, une information complète, utilisable, sans modification ou adaptation, dans la matérialisation de l'objet architectural souhaité.

4.2.1.4 Les principes premiers

À l'opposé des trois catégories précédentes qui se basent sur une structure d'objet existante (dont la description à l'intérieur ou à l'extérieur du domaine), cette catégorie de conception invente de nouvelles relations entre les éléments de son problème (cf. Figure 4.3(a)). L'utilisation des principes premiers tend à nier « l'histoire » d'une forme architecturale résultant d'un problème donné. Dans ce processus de conception, il s'agit de faire table rase des connaissances antérieures qui ont produit des solutions à ce problème, dans sa généralité, et d'introduire ces nouvelles relations. Dans ce cas « d'amnésie », la question de la nouveauté, telle que développée dans §2.5.5.4 reste relative. Cette amnésie désigne, en effet, la mesure de la créativité des principes premiers, qui s'exprime par une différence affirmée, au niveau du contenu informationnel (cf. §3.3.5), entre les connaissances antérieures et la configuration architecturale matérialisée dans la nouvelle solution proposée.

Dans la littérature, ces processus du savoir-concevoir architectural (cf. Figure. 4.3) semblent exister indépendamment les uns des autres et induire une fragmentation du contenu informationnel engagé dans la matérialisation des objets architecturaux. En fait, la littérature semble

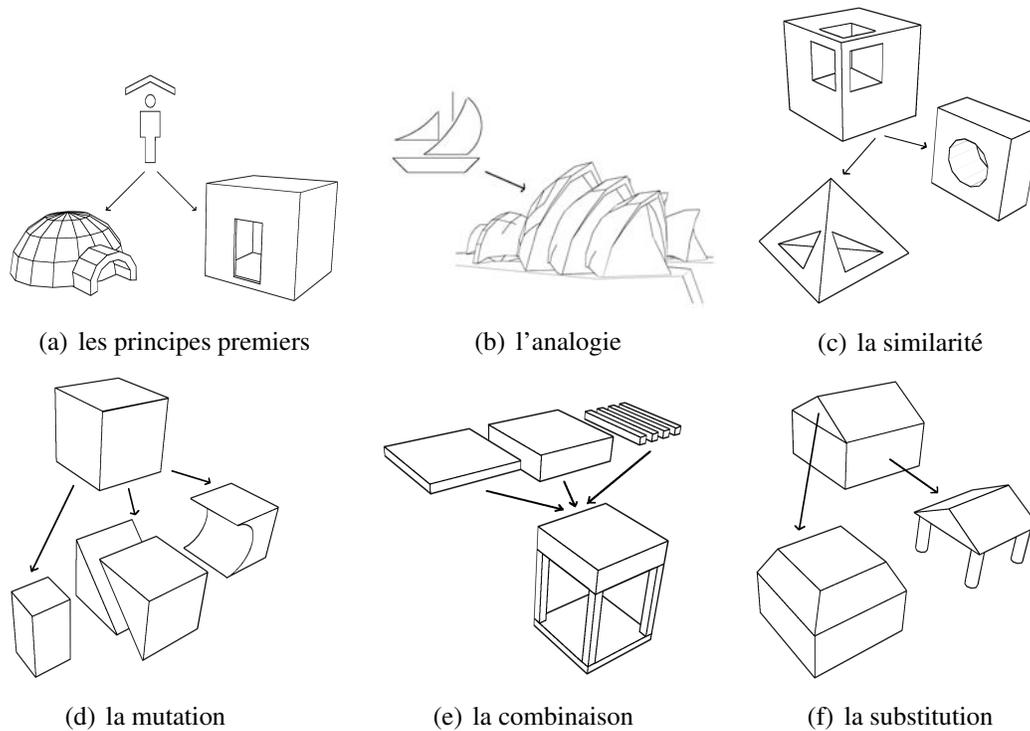


FIG. 4.3 – Les processus du savoir-concevoir

avoir négligé et la formalisation des relations qui existeraient parmi ces processus et leur participation dans un cadre théorique unificateur. Pour pallier ce problème, il est important d'expliciter et d'organiser les interactions que peuvent avoir ces processus. Par conséquent, cette thèse élabore et ajoute deux autres processus fondamentaux : la substitution et la similarité, qui raffinent la description des quatre précédents et contribue à leur organisation (cf. Figure 4.4).

4.2.1.5 La substitution

La substitution désigne l'élimination d'un objet ou d'un élément de cet objet et son remplacement par un autre (cf. Figure 4.3(f)). Dans le cas où l'objet initial fait partie d'un tout, la substitution peut éliminer de ce tout, une partie de « l'histoire » propre à l'objet substitué. À l'inverse de la combinaison, elle tente d'augmenter la négentropie de l'objet. L'utilisation d'une substitution dénote une négation du potentiel mutationnel ou combinatoire de cet objet en plus d'une introduction de nouvelles propriétés dans l'objet composé dont le substitut fait maintenant partie. D'ailleurs, à l'opposé de la mutation, qui affecte les propriétés intrinsèques de l'objet manipulé, et à l'instar de la combinaison, cette opération de remplacement traite des propriétés extrinsèques de son objet : la position spatiale, l'orientation, la translation et

la rotation. Elle les conserve dans la mesure où le substitué remplissait certaines conditions mais insuffisamment par rapport à un changement du contexte survenu à un moment donné de la conception. De là, ce changement affecte la finalité de la substitution mais il est rare qu'il soit radical. Le cas échéant, il signifie que les propriétés de l'objet substitué ne répondent plus aux données du problème considéré.

4.2.1.6 La similarité

La similarité représente la production d'un objet à partir d'une classe de relations de ressemblance entre les données du problème considéré et une solution (ou modèle ou type de solution) d'un autre problème dans un même domaine de connaissance (par opposition à l'analogie) (cf. Figure 4.3(c)). Par exemple, construire un casino (problème architectural donné) ayant la forme d'une pyramide égyptienne (solution architecturale précédente) est un cas de similarité géométrique, bien que les matériaux, l'échelle et le traitement des façades (pour ne citer que ces propriétés) ne soient pas similaires ; on pourrait considérer la similarité comme un cas particulier de l'analogie. Elle cherche donc une réplique particulière qui pourrait conserver le contenu informationnel (cf. §3.3.5) de son modèle. Toute application typologique réduit le champ de l'interprétation : « typologies should properly be regarded as situational rather than universal » (Mitchell, 1990, p. 91).

Par ailleurs, les six processus reflètent la notion du temps en architecture, qui trouve son expression tangible dans l'accumulation matérielle des productions qui en résultent, et cette catégorisation temporelle synthétise « comment les œuvres se transforment et quelles sont [...] leurs potentialités d'adaptation, leur plasticité temporelle » (Prost, 1992, p. 150). Cette dimension ouvre la perspective des rapports entre la sémiologie, en tant que processus continu de signification, et la production de la forme architecturale. Une étude de cas de l'influence de la stratification du savoir-concevoir à travers les transformations d'un milieu bâti est développée plus loin (cf. §4.6).

4.2.2 La hiérarchisation des processus de la conception

Le recours à un processus du savoir-concevoir ne se fait pas indépendamment des autres processus. En fait, les six processus constituent un système au sens qu'ils se définissent les uns par rapport aux autres tout en conservant leur autonomie du découpage du domaine du savoir-concevoir. L'utilisation des catégories phanéroscopiques (cf. §3.2.2) explicite cette propriété

systemique, facilite la hiérarchisation des interactions entre ces processus et leur mise en correspondance avec la classification des signes.

Peirce discerne trois opérations fondamentales de distinction ; chacune mise en correspondance avec une catégorie (Fisch, 1981, p. 518-519), (Peirce, 1987, p. 24-25), (Peirce, 1998, p. 270-271) :

4.2.2.1 La dissociation

Cette opération, corrélate de la priméité, traduit la possibilité de désigner un concept (un signe) indépendamment d'un autre, et dans la perspective de la hiérarchisation (du savoir-concevoir), elle fonde la capacité de cerner le domaine d'application de chaque processus du savoir-concevoir par rapports aux autres. Autrement dit, elle met en valeur les propriétés intrinsèques de chaque concept et son autonomie par rapport à l'autre. Par exemple, l'appartenance d'une action à la combinaison n'implique pas nécessairement son appartenance à l'analogie. Le pouvoir de différenciation de la dissociation est le plus fort parmi les trois distinctions.

4.2.2.2 La préscission

Corrélat de la secondéité, la préscission définit un critère de distinction méréologique. Par exemple, en considérant un élément dans un ensemble, elle fait abstraction des autres éléments. Bien que la préscission attire l'attention uniquement à cet élément, elle n'annule pas la conservation de la relation des autres éléments à cet ensemble. La préscission possède un pouvoir séparateur moins fort que celui de la dissociation.

4.2.2.3 La discrimination

Par sa classification sous la catégorie de la tiercéité, la discrimination explicite la nature de la préscission entre deux concepts (deux signes). Elle reconnaît la différence entre la présence d'un élément dans un raisonnement et son absence. La capacité de distinction de la discrimination est la plus faible des trois opérations.

TAB. 4.1 – Un exemple d’application des trois distinctions sémiotiques.

	DISSOCIATION	PRÉSCISSION	DISCRIMINATION
espace → couleur	faux	vrai	vrai
couleur → espace	faux	faux	vrai
couleur → rouge	vrai	vrai	vrai
rouge → couleur	faux	faux	faux
rouge → bleu	vrai	vrai	vrai
bleu → rouge	vrai	vrai	vrai

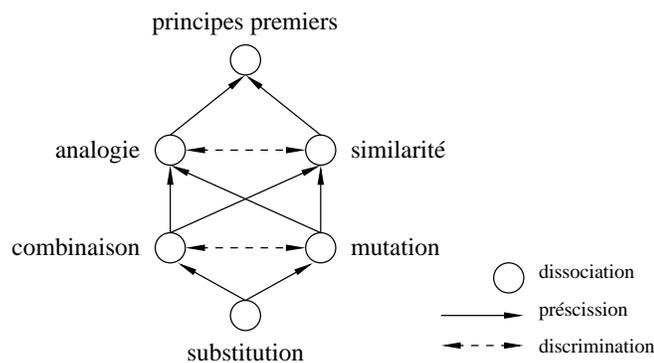


FIG. 4.4 – La hiérarchie du savoir-concevoir en CAAO.

Pour clarifier le fonctionnement de chaque opération, le Tableau 4.1 emprunte à Peirce son exemple (Fisch, 1981, p. 519), sur la distinction entre espace, couleur et la rougeité. Dans ce tableau, chaque champ de la première colonne représente deux termes reliés par une flèche qui désigne une des trois distinctions (dissociation, préscission et discrimination). La flèche doit être lue : ... est dissocié (ou préscindé ou discriminé) de ... Les entrées des autres colonnes qualifient cette proposition par deux valeurs booléennes : vrai et faux. Par exemple, la deuxième ligne de ce tableau signifie : on ne peut dissocier la couleur de l’espace ; on ne peut préscinder la couleur de l’espace ; on peut discriminer la couleur de l’espace ; la cinquième ligne doit être lue comme suit : on peut dissocier le rouge du bleu ; on peut préscinder le rouge du bleu ; on peut discriminer le rouge du bleu.

L’application de ces trois distinctions aux six processus du savoir-concevoir établit une séquence générale entre les opérations de matérialisation qui composent chacun de ces processus. La Figure 4.4 représente la hiérarchisation qui résulte de cette application. La dissociation assure l’exhaustivité des six processus, pris ensemble, dans la description conceptuelle du savoir-concevoir. La préscission signifie que son premier terme peut être logiquement indépendant du second. Par exemple, le recours à la mutation peut être indépendant du recours à la substitution tandis que l’inverse n’est vrai que dans la mesure où la substitution dépend

de la combinaison. La discrimination entre deux termes reflète le fait que, bien que reliés par une généralisation, ils peuvent se matérialiser indépendamment l'un de l'autre. Par exemple, une opération de mutation peut se réaliser indépendamment de la combinaison mais non de la similarité ou de l'analogie. La formalisation de l'interprétation profitera de cette hiérarchie (cf. 5.2.2).

4.3 Les systèmes sémiotiques architecturaux

Les systèmes généraux engagés dans la conception architecturale sont sémiotiquement caractérisés par une application dans les catégories phanéroscopiques (cf. Tableau 4.2). Cette caractérisation délimite la place qu'occupe chaque système et ses sous-systèmes dans la sémiologie générative, aussi bien que ses interactions avec les autres systèmes. Ayant défini l'abduction, dans le dernier paragraphe de la Section 3.4, par une interface entre possibilités et nécessités, et suite à sa schématisation selon les catégories phanéroscopiques (cf. Figure 4.1), nous approfondissons cette définition par une synthèse qui regroupe et la caractérisation sémiotique et la schématisation précédentes (cf. Tableau 4.2). Les lignes de ce tableau introduisent trois niveaux d'application et de matérialisation du savoir-concevoir architectural : le traitement du représentamen ou des données du problème de conception, la désignation de l'objet ou l'identification des composantes de la solution envisagée et l'interprétation de l'utilisation ou la gestion et le contrôle des deux niveaux précédents.

4.3.1 Le traitement du représentamen

C'est la première étape dans la résolution d'un problème architectural. Suivant la subdivision trichotomique du représentamen, son traitement par des opérations de sélection, de concrétisation et de régulation, contient trois niveaux emboîtés (cf. Tableau 4.2) :

1. Le qualisigne regroupe les possibilités matérielles et perceptuelles telles que les couleurs, les textures, les matériaux, les éclairages, l'ensoleillement, les masses, le confort, la visibilité, etc.
2. Le sinsigne contient le choix et la concrétisation individuelle d'un objet dans une configuration spatiale, matérielle et géométrique exacte et bien définie.
3. Le légisigne contrôle la concrétisation par les lois mathématiques, physiques, sociales, les réglementations administratives et surtout les conditions propres à la production de chaque objet.

TAB. 4.2 – Les systèmes sémiotiques architecturaux.

	Possibilité	Production	Nécessité
<i>traitement du représentamen</i>	QUALISIGNE matérialité	SINSIGNE configuration d'un élément	LÉGISIGNE conditions et lois
<i>désignation de l'objet</i>	ICÔNE intention conceptuelle	INDEX composition des éléments	SYMBOLE conformité formelle
<i>interprétation de l'utilisation</i>	RHÈME variations conceptuelles	DICISIGNE implications informationnelles	ARGUMENT contextualisation et évaluation

4.3.2 La désignation de l'objet

Après avoir identifié les éléments du problème, le processus de la conception passe à l'exploration de la production des solutions. À l'instar du représentamen, la désignation de l'objet par un ensemble de propriétés et de processus suit trois subdivisions trichotomiques (cf. Tableau 4.2) :

1. L'icône désigne l'inventaire des intentions conceptuelles qui pourraient répondre aux performances exigées dans le problème de conception (ou commande architecturale). Ces intentions dénotent par la ressemblance, les notions de répartition fonctionnelle, de qualité spatiale, de délimitation des espaces intérieurs et extérieurs, d'une identification initiale des formes (volumes, plans et lignes).
2. L'index matérialise la composition d'un ensemble d'éléments concrets dans un objectif de définir les espaces architecturaux (entrées, circulations, aménagements, implantation, etc.) et les systèmes techniques (structure, mécanique, ventilation, électricité, chauffage, etc.)
3. Le symbole définit la conformité finale des compositions de plusieurs systèmes indicateurs par rapport à l'intention initiale. Il confère l'échelle, les proportions et la métrique qui assurent la cohérence de l'édifice à construire.

4.3.3 L'interprétation de l'usage

L'interprétant constitue l'aboutissement de la sémiologie et en même temps, assure sa continuité et sa progression vers une nouvelle phase d'inférence. Il contient la trichotomie suivante de l'usage éventuel de l'objet (cf. Tableau 4.2) :

1. Le rhème représente les possibilités de variation des intentions conceptuelles et des compositions géométriques indépendamment de leurs individualités respectives il s'agit de cerner les différentes spécifications (ou solutions) qui seraient validées ultérieurement
2. Le dicisigne considère les informations résultantes du choix d'une configuration particulière. Pour chaque possibilité identifiée par le rhème, il établit les procédures de construction et les transformations nécessaires à son adéquation.
3. L'argument prend en charge la contextualisation des spécifications qui constituent la solution architecturale ; le contexte étant considéré dans son sens le plus large. L'évaluation d'une hypothèse architecturale se fait à ce niveau.

En plus de l'identification des processus de la conception (cf. §4.2.1) et leur hiérarchisation (cf. §4.2.2), et par le biais du traitement du représentamen, de la désignation de l'objet et de l'interprétation de l'usage, l'organisation sémiotique des systèmes généraux de la conception architecturale offre une étape supplémentaire vers une opérationnalisation du savoir-concevoir, et éventuellement vers l'élaboration du modèle sémiotique de l'abduction.

4.4 L'interprétation architecturale

Il s'agit maintenant de relier l'abduction aux opérations de matérialisation d'une solution architecturale. La maxime du pragmatisme peircéen contribue à faire ce lien par le fait de « considérer quels sont *les effets pratiques* que nous pensons pouvoir être produits par l'objet de notre conception. La conception de tous ces effets est la conception complète de l'objet » (Hartshorne et Weiss, 1960, CP 5.2). Cette maxime transpose un problème de conception du domaine de la signification au domaine de la concrétisation du possible et du savoir-concevoir architectural. Le lien créé de la sorte introduit la créativité dans toute interprétation et par conséquent replace l'abduction au centre de la conception (cf. §2.5.5.4).

Quelques réflexions théoriques générales aident à cerner la nécessité de l'interprétation sémiotique abductive. En fait, elle résulte du « fait même que certains éléments [...] sont non opératoires, c'est-à-dire non transposables directement en matériau architectural, et qu'il faut bien par ailleurs, « mettre en forme » pour apporter une solution » (Prost, 1992, p. 67). De plus, la mise en évidence de la contribution des connaissances antérieures à la nouveauté architecturale renforce la relation entre interprétation pragmatique et signification « le recyclage en architecture, c'est-à-dire l'appropriation d'éléments du passé, extraits de leur contexte

d'origine et réutilisés en un cadre signifiant contemporain, apparaît comme un moyen particulier de construire une identité collective » (Morisset et Noppen, 1995, p. 109).

Donc, nous retrouvons dans cet énoncé opératoire les trois critères constitutifs de l'interprétation :

1. Le choix, par le concepteur, des éléments pertinents et leur réinsertion dans la nouvelle solution. Ce critère exprime le rapport entre le langage de conception individuellement construit et sa portée générale, répond au problème de la saisie du sens du tout architectural en rapport avec ses parties et circonscrit l'appui apporté par le pouvoir représentatif d'un formalisme à l'interprétation (Rowe, 1987, p. 195).
2. La signification changeante dans le temps : l'intention originelle de l'objet et l'ensemble des significations qui lui sont accordées par le temps, pour représenter la dimension mémorielle de l'interprétation : « la mémoire collective des gens construite par les objets et les espaces, une mémoire qui à son tour construit le futur » (Rossi, 1990, p. 130).
3. L'intégration de l'objet conçu dans le contexte actuel et son adaptation à celui-ci. L'abduction architecturale devient une interface entre les changements théoriques et pratiques que subissent les connaissances antérieures et les exigences nécessaires du problème à résoudre ; elle assure la continuité temporelle et « se ré-approprie le passé et la culture du site, en demeurant néanmoins [...] contemporaine » (Morisset et Noppen, 1995, p. 127).

Ces critères forment une approche normative et indépendante du comportement individuel du concepteur. Bien que cette thèse ne traite pas de l'approche descriptive du comportement créatif, il est important de souligner une autre approche de l'interprétation qui se rattache à l'analyse du déroulement contextuel de la conception. Un exemple de cette approche étudie l'aspect dynamique des processus psychologiques utilisés par les architectes pendant la conception (Goldschmidt, 1988). Par le biais d'une analyse des mécanismes mentaux de découverte et de reformulation du problème, et à travers l'observation des dessins architecturaux ainsi que des entrevues verbales, cette étude argumente la place centrale occupée par l'interprétation dans la conception, et en particulier le passage d'un état initial de la considération du problème à un état suivant enrichi en informations par l'interprétation.

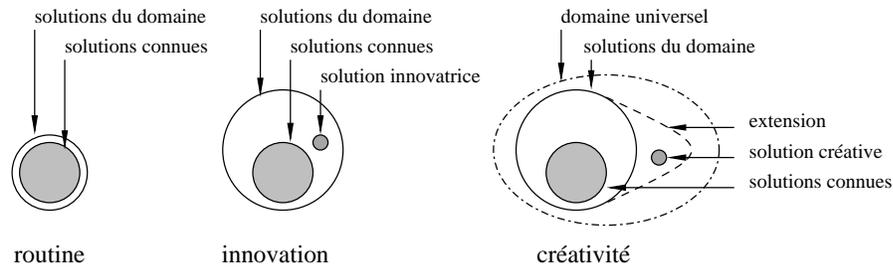


FIG. 4.5 – Les trois classes du savoir-concevoir adaptées de (Rosenman et Gero, 1992, p.113).

4.4.1 La classification du savoir-concevoir

Les processus du savoir-concevoir et leur hiérarchisation (cf. §4.2.2) se matérialisent sémiotiquement par le traitement du représentamen, par la désignation de l'objet et l'interprétation de l'usage. En retour, les critères de l'opérationnalisation conditionnent l'interprétation architecturale par rapport à la solution souhaitée. Quelle serait la nature de l'espace de la conception sous l'influence de cette solution ? Est-ce que la solution introduit une nouveauté dans cet espace ? Ou est-elle une simple répétition d'une solution précédente ? L'étude du problème de conception donné identifie les variables de la solution et leurs domaines de valeurs possibles. Les relations entre les variables et leurs valeurs qualifient les processus de conception (cf. §4.2.1) selon trois catégories générales : la routine, l'innovation et la créativité (Gero, 2002, Rosenman et Gero, 1992, p. 113) (cf. Figure 4.5).

4.4.1.1 La routine

Le processus de conception contient un ensemble d'étapes précises pour la production de la solution. Celle-ci est connue à l'avance (Navinchandra, 1991, p. 2) ou au moins prévisible. Les variables du problème, en plus de leurs valeurs possibles, sont finies et connues. Le concepteur (ou le système) possède toutes les connaissances du domaine propre au problème de conception donné et les opérations de contrôle nécessaires à l'inférence de la solution. Dans le cas d'une conception de routine, la production d'un artefact, c'est-à-dire la solution du problème, est un processus d'instanciation d'un objet à partir d'un type bien défini. De plus, en explicitant clairement les limites de l'espace des solutions et l'heuristique utilisée, la routine rend le problème de conception « tractable » et la production de la solution efficace.

4.4.1.2 L'innovation

Le savoir-concevoir innovateur partage avec la routine la finitude et la complétude des variables du problème, mais, dans le cas de l'innovation, leurs domaines de valeurs, bien que finis, sont trop larges pour être totalement connus. De plus, les données du problème peuvent changer pendant l'inférence et les compromis nécessaires à la production de la solution ne sont pas connus à l'avance (Navinchandra, 1991, p. 3). Les connaissances antérieures disponibles, et les heuristiques utilisés dans la recherche de la solution, n'imposent pas la forme finale du produit. La solution peut conserver une certaine similarité structurelle avec une précédente, mais reste néanmoins différente. En reprenant le rapport entre un type formel et la matérialisation d'un objet, le savoir-concevoir innovateur crée un nouveau sous-type, à partir d'un type connu, pour instancier cet objet. Cette filiation entre la routine et l'innovation demeure problématique : l'innovation doit rompre avec la routine puisqu'elle (l'innovation) propose un *usage différent* de l'objet produit tandis que la routine adapte l'usage des précédents choisis (Roozenburg, 1993, p. 14).

4.4.1.3 La créativité

Le Chapitre 2, surtout la Section 2.5.5, ainsi que les applications qui y sont présentées, mettent en évidence, à des degrés différents, la capacité générative de l'abduction et en particulier, son aspect créatif. Principalement, les recherches sur la créativité en CAAO puisent leurs fondements conceptuels dans les travaux en psychologie behavioriste des années 50 et 60. Trois conditions générales sont nécessaires à la modélisation d'un savoir-concevoir créatif (Akin, 1990, p. 108) :

1. La reconnaissance que la solution recherchée dépend, en fait, des connaissances antérieures. L'intuition soudaine, le flash mental, le saut créatif, le « Aha ! », ne sont que des confirmations de cet a priori. D'ailleurs, les recherches en analyse de protocole de la conception (*design protocol analysis*) relativisent l'apport de cette intuition à la conception et la place qu'elle y occupe (Cross, 1997, p. 427-428). L'abduction en tant qu'anticipation est plus adéquate à la modélisation de la créativité que l'intuition soudaine. Bien qu'elle puisse paraître paradoxale, la production du nouveau à partir du connu résulte de la généralisation des connaissances antérieures et leur organisation en une hiérarchie de niveaux d'abstraction (Oxman, 1990, p. 20).
2. La reformulation du problème qui est un processus plus lent que la reconnaissance et qui indique un changement intentionnel du point de vue posé sur ce problème. Ce changement traduit une interprétation différente du contexte du problème par le concepteur. D'ailleurs, un argument philosophique souligne que la créativité interprétative n'est pas méthodique et par conséquent ne peut pas être généralisée, ce qui confirme en fait l'unicité de la contextualisation d'une solution (Coyne, 1997, p. 141). Par exemple, Frank Lloyd Wright utilise un seul organigramme fonctionnel pour la répartition des

espaces dans un plan architectural et le reformule pour répondre à trois commandes architecturales différentes (Mitchell, 1990, p. 120).

3. La continuité entre deux moments du cycle de la conception, qui nécessite l'élaboration d'une connaissance procédurale. Cette connaissance conserve les reformulations historiques des connaissances antérieures et les réinvestit dans les nouvelles solutions architecturales. La dimension de cette continuité est étudiée sur une longue période qui couvre celles des deux conditions précédentes. Elle dépasse en fait la résolution d'un seul problème et la production de sa solution, pour s'inscrire davantage dans une approche générale de la Conception.

La représentation du processus d'extension de l'espace des solutions joue un rôle important dans la qualification créative de la conception. À côté des modèles génératifs, de la grammaire formelle, par exemple (Knight et Stiny, 2001) et des modèles évolutifs, par exemple (Poon et Maher, 1997), l'analyse de protocole offre une réponse psychologique et comportementale à cette difficulté par le biais de la généralisation des actions appliquées par les concepteurs à la résolution du problème donné (Dorst et Cross, 2001). Un autre exemple du rôle de l'aspect comportemental, dans l'extension de l'espace des solutions possibles, souligne la contribution de la synthèse mentale dans la créativité (Kokotovich et Purcell, 2000). La créativité dépend de la capacité du concepteur à formuler une image mentale synthétique des données du problème et à manipuler cette image. D'un autre côté, les rapports entre les aspects personnel et social de la perception de l'émergence des formes contribuent à la contextualisation de la qualification créative d'une production architecturale (Liu, 2000). Sachant que cette thèse n'est pas concernée par l'aspect psychologique ou comportementaliste de la créativité, les exemples précédents mettent en valeur la différence fondamentale entre l'apport de certains courants de recherches en CAAO et l'apport original de la dualisation sémiotique à cette créativité.

4.4.2 Les stratégies interprétatives

Quels sont les stratégies possibles et pratiques de l'interprétation architecturale ? Rowe en développe trois qui forment un « cadre de référence avec une dimension, à la fois, axiologique et objective » (Rowe, 1987, p. 176) :

1. La construction d'un langage formel, indépendant du paysage urbain où s'insère la matérialisation abductive, ou un autre langage figuratif inspiré par ce paysage. Cette stratégie a des liens évidents avec le concept des principes premiers mentionné plus haut et offre un choix binaire entre l'acceptation de la stratification historique ou son rejet.

2. Le bricolage à partir d'un ensemble hétérogène et fini d'éléments, outils et règles, sans relations évidentes à la production d'une solution abductive. Le bricolage met en valeur l'accumulation des moments transformants du lieu et par conséquent, la continuité temporelle de l'œuvre architecturale (Louridas, 1999, p. 533).
3. L'usage (toujours polémique) du type architectural, son pouvoir d'abstraction et de généralisation, et ses trois rapports temporels et spatiaux avec le contexte de l'abduction : continuité, réaction et refus.

La complexité de l'usage, à travers les trois catégories interprétative, des processus de la combinaison, la mutation et l'analogie, la substitution et la similarité en plus des principes premiers pour la première stratégie, pose la question des modes de régulation et contrôle de leurs applications, et nécessite par conséquent une grille de validation de l'interprétation :

- la correspondance ou l'explicitation des contraintes sous-jacentes au problème donné et à la stratégie utilisée ;
- l'adéquation générique ou comment assurer la compatibilité entre interprétation et finalité ;
- la cohérence ou comment la stratégie organise les composantes architecturales pour communiquer et décrire l'intention (Rowe, 1987, p. 189).

L'interprétation créative introduit, dans l'espace des solutions, de nouvelles variables en plus de leurs nouveaux domaines de valeurs. Dans ce cas, il y a une extension de l'espace de design utilisé par le concepteur. Cette extension se fait au cours de l'inférence (la conception) et selon les besoins du moment. La dynamique des changements que subissent les connaissances utilisées, à travers l'extension, complexifie cette classe de savoir-concevoir, et par conséquent, augmente la capacité créative du concepteur en augmentant le nombre des solutions possibles.

C'est la création d'un nouveau type, complètement différent, qui produit de nouveaux objets. L'interprétation sémiotique est directement liée aux matérialisations possibles de l'abduction. Les processus du savoir-concevoir architectural, par leur complémentarité et leurs interactions concrétisent les modalités de transformations des dix classes de signes, et constituent le domaine de l'aboutissement de la sémiologie générative.

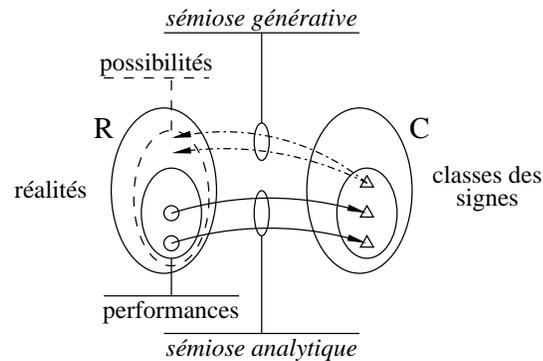


FIG. 4.6 – La sémiose générative.

4.5 La sémiose générative architecturale

Cette section résume la démarche développée dans les chapitres précédents et présente la contribution principale de la thèse. Elle développe l'aspect producteur de la sémiose générative et attribue à la forme sémiotique de l'abduction, modélisée par le biais de l'abstraction hypostatique, une capacité opératoire. En effet, une application analytique de la sémiotique à un phénomène donné fournit les classes de signes qui le composent et leurs relations. Autrement dit, cette application qualifie l'observation par un diagramme sémiotique dans l'hyper-signe. Il y a une bijection entre les sous-systèmes de ce phénomène et la totalité des classes obtenues ; les relations de ces classes telles que spécifiées dans l'hyper-signe récupèrent les interactions de ces sous-systèmes (cf. Figure 3.6).

À l'encontre de cette analyse, une application générative de la sémiotique produit, pour chaque classe de signes une ou plusieurs possibilités de matérialisation et, par conséquent, un espace de solutions possibles. Cet espace peut se réduire au même espace de la sémiose analytique (cf. Figure 4.6), et de cette manière l'abduction resterait une conception de routine (cf. §4.4.1.1). Pour un problème faiblement structuré, l'intérêt d'une abduction résulte donc de sa capacité heuristique à élargir l'espace des possibilités et à y introduire de nouvelles configurations architecturales : «[...] this mode of inquiry [l'abduction] is very common in design. We often employ heuristics that allow us to import autonomous constraints into our problem spaces in order to facilitate further activity. In fact, in the case of ill-defined and wicked problems abduction is the rule rather than the exception » (Rowe, 1987, p. 103). La sémiose générative architecturale constitue le concept primordial du modèle à élaborer.

4.5.1 La représentation matricielle d'un signe

La définition d'un signe par le biais de ses composants est rappelée ici pour lui donner une forme matricielle (d'après (Bense, 1975, p. 108) et (Deledalle, 1979, p. 56), tous deux possiblement inspirés par Peirce (Peirce Edition Project, 1998, p. 485)), qui facilite son application dans le calcul interprétatif. Une classe triadique S confère une structure à trois relations : celle du représentamen R_R avec lui même, la relation de l'objet au représentamen O_R et la relation entre le représentamen et l'interprétant I_R . En utilisant une notation algébrique, cette classe prend la forme : $S = (R_R, O_R, I_R)$. Chacune des trois relations examinée à travers la grille des catégories phanérosopiques (cf. Tableau 3.1) produit trois états, appelés aussi précédemment sous-signes. Pour R_R , ces états sont, successivement, le qualisigne, le sinsigne et le légisigne, et sa notation algébrique devient : $R_R(\text{qualisigne}, \text{sinsigne}, \text{légisigne})$. Pour simplifier la notation, chaque terme est remplacé par deux nombres entiers correspondant à ses coordonnées dans le Tableau 3.1, par conséquent cette notation devient $R(1.1, 1.2, 1.3)$. La relation O_R possède trois états : l'icône, l'indice et le symbole. Sa représentation algébrique est : $O_R(\text{icône}, \text{indice}, \text{symbole})$ et sa simplification $O(2.1, 2.2, 2.3)$. La relation I contient trois états successifs : le rhème, le dicent et l'argument. Sa notation algébrique est : $I_R(\text{rhème}, \text{dicent}, \text{argument})$ et sa simplification $I(3.1, 3.2, 3.3)$. Alors, le développement de la définition S prend la forme :

$$S = [R_R(\text{qualisigne}, \text{sinsigne}, \text{légisigne}); \\ O_R(\text{icône}, \text{indice}, \text{symbole}); \\ I_R(\text{rhème}, \text{dicent}, \text{argument})]$$

et sa forme matricielle :

$$S = \begin{bmatrix} 1.1 & 1.2 & 1.3 \\ 2.1 & 2.2 & 2.3 \\ 3.1 & 3.2 & 3.3 \end{bmatrix}$$

$$S = [R(1.1, 1.2, 1.3); O(2.1, 2.2, 2.3); I(3.1, 3.2, 3.3)]$$

En plus de la formalisation numérique des relations internes de chaque sous-signe, il s'agit maintenant de souligner, dans cette formalisation, leur séquence externe. En effet, les trois sous-signes d'une classe de signes donnée obéissent à la loi d'inclusion des catégories phanérosopiques : $R \rightarrow O : I$, où, d'après Bense, la flèche simple \rightarrow dénote la relation du représentamen avec l'objet, et les deux points : désignent l'interprétation, par l'interprétant de cette

relation. Par exemple, un sinsigne-indiciaire-rhématique est représenté par $(1.2 \rightarrow 2.2 : 3.1)$. Le Tableau 4.3 met en correspondance les classes de signes et leurs représentations matricielles.

4.5.2 La dualisation hypostatique

L'opérationnalisation de la sémiologie abductive s'effectue en appliquant, schématiquement, la transposée de la matrice des rapports internes de la production des sous-signes de chaque classe. Bense développe cette opération du point de vue de l'analyse esthétique et la désigne par le terme dualisation (Bense, 1975) ; elle a pour objectif la délimitation de la place qu'occupe un objet donné dans une œuvre d'art qui le représente. La littérature disponible sur cette opération semble négliger son aspect synthétique et la relation entre dualisation sémiotique et abstraction hypostatique (Walther, 1997). Ainsi, la contribution de la thèse consiste à développer l'aspect synthétique de cette transposition et son rapport à l'abstraction hypostatique et à en faire une utilisation fondamentalement différente et appropriée à la conception architecturale ; nous l'appelons dualisation hypostatique. Les paragraphes suivants examinent en détail cette dualisation, sa formalisation et son rôle dans l'abduction.

4.5.2.1 La formalisation de la dualisation hypostatique

Avant d'aborder les propriétés de la dualisation hypostatique et ses rapports avec l'abduction, il s'agit d'expliquer sa formalisation à partir d'une classe de signes quelconque. La construction formelle suit un processus en deux temps :

1. Premièrement, les éléments internes de chaque sous-signe sont inversés. Par exemple, dans le cas du sinsigne-indiciaire-rhématique $(1.2 \rightarrow 2.2 : 3.1)$, le sinsigne devient (2.1) , l'indice devient (2.2) et le rhème devient (1.3) (cf. Figure 4.7).
2. Deuxièmement, les relations initiales entre ces sous-signes s'appliquent aux nouvelles notations obtenues, tout en conservant leur séquence initiale. Par conséquent, la dualisation du sinsigne-indiciaire-rhématique prend la forme $(2.1 \rightarrow 2.2 : 1.3)$ (cf. Figure 4.7). Pour les dualisations des autres classes, voir le Tableau 4.3.

L'exemple qui suit illustre l'usage de la dualisation dans l'analyse architecturale. Il s'agit de qualifier sémiotiquement un escalier hélicoïdal en bois d'un château de la renaissance allemande, reliant le rez-de-chaussée aux étages supérieurs (Helmholtz et Blomeyer, 1975, p. 115). Cette qualification répond à trois questions :

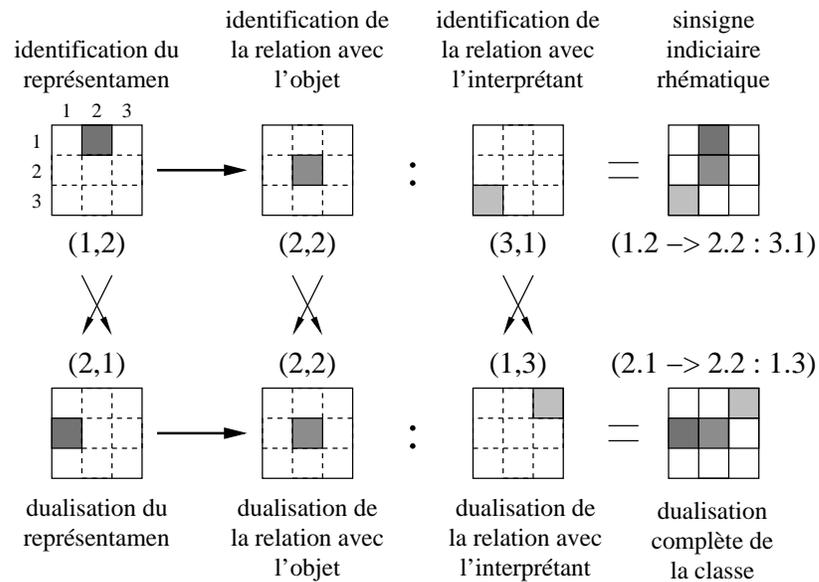


FIG. 4.7 – La dualisation d'une classe.

- la définition du contexte initial de l'escalier (matériaux, technique de construction, dimensions et usage) ;
- la constatation de l'état actuel (qualité physique et usage courant) ;
- l'évolution de l'usage de cet objet (restauration et transformation nécessaires).

L'analyse de l'escalier fournit deux ensembles de données. Le premier contient les classes sémiotiques qui décrivent l'escalier en tant que signe existant. Le deuxième ensemble contient la dualisation de cet objet. Les trois dualisations suivantes décrivent l'analyse architecturale effectuée :

- la classe du qualisigne-iconique-rhématique (1.1 → 2.1 : 3.1) est dualisée par (1.1 → 1.2 : 1.3). Cette dualisation exprime la réalisation de la forme singulière de cet escalier par le choix du matériau selon les règles géométriques (ou physiques, etc.) ;
- la classe du sinsigne-indiciaire-dicent (1.2 → 2.2 : 3.2) est dualisée par (2.1 → 2.2 : 2.3). Cette dualisation désigne la concrétisation du rôle de l'escalier (circulation verticale) suivant un nombre de conventions (forme des marches, dimensions, pente, etc.) ;
- la classe du légisigne-symbolique-argumental (1.3 → 2.3 : 3.3) est dualisée par (3.1 → 3.2 : 3.3). Cette dualisation représente l'utilisation de la configuration spatiale de cet escalier (efficacité, confort, etc.) intégrée maintenant à son contexte architectural (accessibilité, relations avec les étages, etc).

Alors, le résultat de l'analyse explicite, a posteriori, les connaissances utilisées dans la matérialisation du choix du concepteur. En conception architecturale, il s'agit de procéder, *a priori*, à la transformation de ces connaissances par l'ajout d'une nouvelle information pour produire une nouvelle hypothèse architecturale.

4.5.2.2 Le fonctionnement de la dualisation hypostatique

La sémiologie est un mouvement continu dans le temps. La forme sémiotique de l'abduction est une transformation de l'interprétant en un nouvel objet par la médiation d'un nouveau référentiel (cf. §3.4.4). Le passage, par l'interprétation, d'un moment donné au moment suivant introduit une nouvelle information. L'émergence de cette nouveauté dépend de la classe du signe perçu au premier moment et de l'action de l'interprétant. D'après Bense (Bense, 1975), l'information *effectivement* transmise se trouve en opposition avec l'identification analytique du signe perçu à une des dix classes triadiques (cf. §3.2.4). Cette opposition reflète, simultanément, le caractère réel et pratique de l'information obtenue de cette façon et l'aspect théorique de la classe utilisée pour situer le signe perçu dans l'hypersigne (cf. Figure 3.6). Le premier moment identifie la classe à laquelle appartient le signe perçu. Dans un deuxième temps, l'interprétant, moteur fondamental de toute activité sémiotique en particulier l'abduction, *synthétise* un lien entre l'information de la classe identifiée (cf. §3.3.5) et le contexte réel où se produit l'interprétation et où le signe peut se matérialiser. .

4.5.2.3 La production d'une nouvelle information

Quel est le rôle de la dualisation hypostatique dans la production de l'information ? Pour répondre à cette question et illustrer la production d'une nouvelle information et son apport à l'abduction, un schéma géométrique est utilisé (cf. Figure 4.8). Le dessin en λ représente la structure triadique d'un signe avec trois sommets r, o, i , résultante du premier temps de la sémiologie. Le cercle composé de trois arcs fléchés en schématise le deuxième temps, celui de la dualisation. Pour l'intérêt pédagogique de ce schéma, un observateur externe au signe, est supposé parcourir le cercle dans les deux sens, en s'arrêtant à chacune des extrémités des arcs et aux trois sommets. Le point de départ, choisi au hasard se situe au sommet o (cf. le dessin -a- du schéma). À partir de ce point de vue, l'observateur ne voit que la branche o de la structure triadique. La classe du signe identifiée au premier moment de la sémiologie se trouve entièrement résumée à ce point de vue. L'observateur substitue, par son interprétation, l'*objet* à la totalité du signe perçu. Cette substitution transforme cet objet en un nouveau signe qui sera éventuellement traité au moment suivant de la sémiologie. L'observateur continue son chemin et arrive au sommet r (cf. le dessin -b- du schéma). De ce point de vue, il ne perçoit du

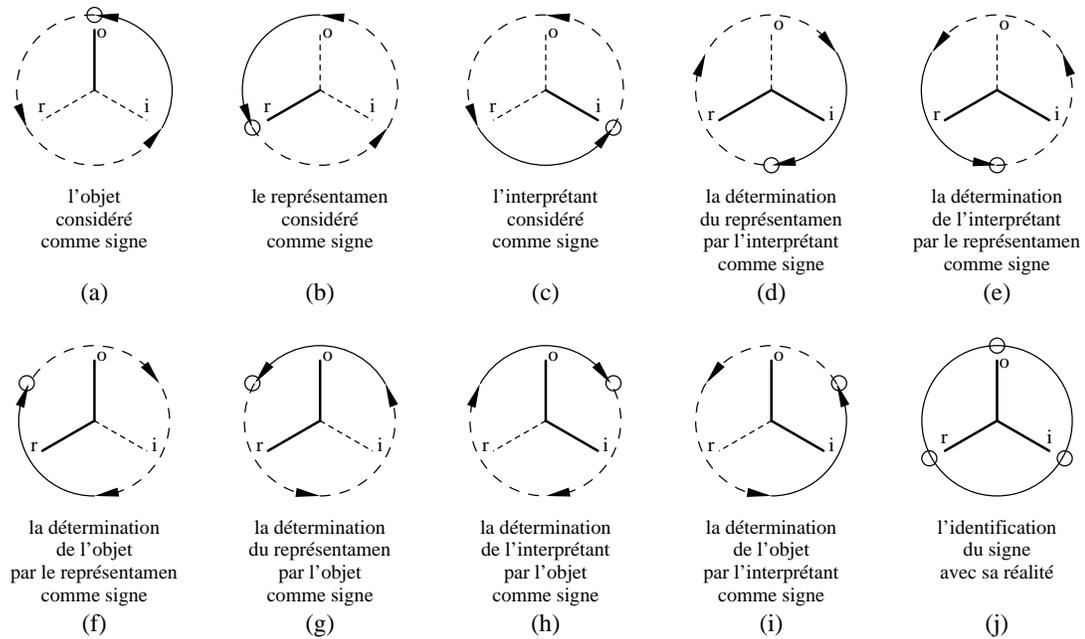


FIG. 4.8 – Les déterminations de la dualisation.

signe que le représentamen, qui à son tour, deviendra un signe entier dans le progression de la sémiotique. Le résultat est le même quand l'observateur arrive au sommet *i*, où l'interprétant du signe est transformé en un signe entier (cf. le dessin -c- du schéma).

Toutefois, l'observateur peut se placer entre deux sommets de la relation triadique. Par exemple, entre les sommets *r* et *i*. Dans ce cas, deux considérations sont possibles selon le sens du parcours. Premièrement, si l'observateur passe par le sommet *i* avant d'arriver à cet arrêt (cf. le dessin -d- du schéma), ce point de vue lui permet de considérer la détermination du représentamen par l'interprétant comme un signe entier, utilisable dans la progression de la sémiotique. Deuxièmement, et en passant par le sommet *r* avant d'arriver à ce point de vue, l'observateur extrait, de la relation triadique, la détermination de l'interprétant par le représentamen et la transforme en un signe entier (cf. le dessin -e- du schéma). Ces deux dessins mettent en évidence deux déterminations opposées. Quatre autres déterminations, sont extraites par le même procédé : la détermination de l'objet par le représentamen (cf. le dessin -f- du schéma) et son opposée (cf. le dessin -g- du schéma), la détermination de l'interprétant par l'objet (cf. le dessin -h- du schéma) et son opposée (cf. le dessin -i- du schéma).

En retenant la métaphore géométrique, quand l'observateur échappe à la circularité de son parcours et s'élève en dessus du plan du schéma, il perçoit, à partir de ce point de vue, la totalité de la relation triadique (cf. le dessin -j- du schéma), qui sera transformée en un

nouveau signe, reflétant la réalité concrète de cette relation et pouvant être intégrée dans la sémiotique. Par exemple, dans la Figure 4.7, et d'après les définitions des sous-signes (cf. §3.2.3) et des classes triadiques (cf. §3.2.4), la dualisation du sinsigne-indiciaire-rhématique explicite la détermination imposée par la priméité iconique de l'objet (2.1) sur la tiercéité légisigne du représentamen (1.3) pour produire la secondéité indiciaire (2.2). Autrement dit, et en rappelant le principe créatif de la phanéroscopie de l'abduction (cf. Figure. 4.1), l'utilisation de la ressemblance (analogie, similarité) (2.1), entre le signe et son objet, pour obtenir une indication quelconque (2.2) reliant ces deux termes, détermine la production par l'interprétant d'une information appropriée (1.3) à cette indication.

Une classe triadique produit une et une seule dualisation. Mais une détermination, résultante de la dualisation, peut se concrétiser à travers une ou plusieurs classes. La détermination d'une nouvelle information s'applique, particulièrement, à d'autres sinsigne-indiciaire-dicents, et à toutes les classes de signes généralisant de la sorte son résultat, et par conséquent, élargissant le domaine des possibilités de matérialisation : la dualisation synthétise *une forme de relation possible* partagée par plusieurs signes. Elle sert à identifier la compatibilité entre, d'un côté, un signe considéré comme une donnée du problème de conception, et de l'autre, une possibilité de matérialisation vue comme une partie de la solution recherchée. Autrement dit, la dualisation hypostatique n'énumère pas les possibilités de matérialisation d'une solution, elle fournit plutôt, à travers chaque détermination, une forme unique de leur concordance avec la donnée du problème. De plus, dans la sémiotique, la diversité des états de l'interprétant concernent toujours le même objet. Par exemple, un architecte qui étudie le programme fonctionnel (représentamen) d'une maison à construire (objet), l'interprète de plusieurs façons, tout en conservant l'unicité de son objet. Il peut choisir de développer la relation entre l'espace de séjour et celui des services, avant d'arrêter son choix sur la configuration géométrique d'une zone de transition entre ces deux espaces.

4.5.2.4 La dualisation hypostatique et le contexte

La dualisation explicite le rôle du contexte dans l'interprétant. En effet, le passage d'un signe donné à un autre reflète un changement dans le contexte où ce signe est perçu. L'acquisition d'une nouvelle information constitue une condition nécessaire à ce passage. En continuant l'exemple précédent, à un moment donné de la conception, l'architecte a l'idée d'utiliser une passerelle pour relier les espaces du séjour et des services : c'est un sinsigne-indiciaire-rhématique. En concrétisant ce choix par une intégration dans l'ensemble des autres éléments architectoniques (volumes des espaces concernés, ensoleillement, accès, etc.), ce signe devient un sinsigne-indiciaire-dicent, car il désigne maintenant une relation concrète, dimensionnée et fonctionnelle.

Ce passage conserve la trace de la modification du contexte de la passerelle. La comparaison des deux dualisations respectives des deux états (cf. Tableau. 4.3), révèle comment se fait ce passage, et par conséquent la place occupée par la nouvelle information : l'interprétant du premier temps de la conception (3.1) est dualisé en (1.3), c'est-à-dire, il peut maintenant matérialiser son choix par un système symbolique formel (cf. Tableau. 4.2), dont les composantes correspondent à la définition sémiotique d'un objet symbolique (cf. §4.3.2).

4.5.2.5 La dualisation et les connaissances antérieures

L'abduction engage une transformation des connaissances antérieures pour produire une solution à un problème. La propagation, dans l'inférence abductive, de l'information jugée utile à la solution et choisie parmi les dix dualisations possibles, dépend de l'adaptation de ces connaissances au contexte du problème. Quelle est la forme sémiotique de ces connaissances ?

« Le mot « signe », tel qu'il sera utilisé ici, dénote tout objet de pensée qui excite n'importe quel type d'action mentale, qu'elle soit volontaire ou non, concernant quelque chose connu par ailleurs. [...] Chaque signe dénote quelque chose, et toute chose qu'il dénote est désignée par « son objet ». [...] Je désigne par « interprétant » l'idée ou l'action mentale qu'un signe excite et qu'il détermine l'interprète à attribuer à son Objet ou à ses Objets. Car un signe ne peut dénoter un objet qui ne soit pas connu par ailleurs de son interprète, pour la raison évidente que s'il ne connaît pas déjà du tout l'Objet, il ne peut posséder ces idées, seulement par lesquelles son attention peut être concentrée sur ce même objet dénoté. Chaque objet d'expérience excite une idée quelconque ; mais si cette idée n'est pas *suffisamment associée* et de la bonne façon à une *expérience précédente* pour *concentrer l'attention*, elle ne sera pas un signe.

Un signe a nécessairement pour Objet quelque fragment de l'histoire, c'est-à-dire, de l'histoire des idées. Il doit exciter une idée quelconque. Cette idée pourrait totalement concentrer l'attention, comme dans un signe tel que « homme », « vertu », « manière » » (nous soulignons ; traduction d'après (Marty, 1990, p. 379)).

La relation représentamen-objet constitue la forme générale de ce fragment de l'histoire, étant effectivement une expérience précédente, et l'interprétant en assure la transmission, rendue *subjective* par la fixation de l'attention, à travers l'abstraction hypostatique (cf. §3.4.2). Dans l'exemple de la passerelle (cf. §4.5.2.4), cette transmission de l'information désigne les relations symboliques avec les autres éléments architectoniques. Bien que la dualisation tienne compte de l'histoire du développement d'un signe donné (ou plusieurs) et qu'elle délimite un

espace de possibilités de matérialisation, elle anticipe la solution architecturale par l'introduction continue de la nouveauté dans cet espace. La solution souhaitée n'est plus *causalement déterminée* par les connaissances antérieures, ayant la forme des précédents architecturaux, mais elle les *recycle* constamment dans une nouvelle configuration selon le changement du contexte. Le choix d'une information par la fixation de l'attention indique, de la part du concepteur, une anticipation quoique partielle de la solution (cf. §2.5.3). Cet aspect anticipant différencie l'abduction, dans sa forme sémiotique, des autres formes causales discutées dans le Chapitre 2.

4.5.2.6 La dualisation des classes triadiques

La dualisation de chacune des dix classes triadiques propose une concrétisation possible comme réponse à une donnée du problème de conception, identifiée par une classe particulière. La dualisation n'isole pas cette donnée, mais explicite davantage ses rapports avec les autres données. De plus, il est utile de rappeler que la dualisation suit le schéma conceptuel de la phanéroskopie de l'abduction qui stipule que la réalisation matérielle (secondéité) résulte de la conjonction de la nécessité (tiercéité) et de la possibilité (priméité) (cf. Figure 4.1). Les descriptions suivantes, qui suivent l'ordre établi dans le Tableau 4.3, expliquent le résultat de la dualisation pour chaque classe, numéroté selon l'hypersigne (cf. Figure 3.6) :

1. Les contraintes contextuelles (légisigne) du problème de conception (par exemple, les contraintes climatiques, géographiques, topographiques, physiques) identifient une classe de matériaux (qualisigne) qui se concrétisent dans une configuration unique (sin-signé).
2. Ces mêmes contraintes (légisigne) affectent la sélection des idées-maîtresses (icône), par exemple, le parti architectural, de la solution en cours d'élaboration, en vue de leur matérialisation dans cette configuration (sinsigne).
3. Ces contraintes imposent (légisigne) l'organisation de ces idées-maîtresses (icône) selon un *système* de configurations architecturales interdépendantes (indice).
4. Les normes établies par les conventions sociales et économiques (symbole), par exemple, les règlements de construction, le gabarit, les proportions, l'échelle, déterminent le choix des idées-maîtresses (icône) à matérialiser dans un système de configurations (indice).
5. Les contraintes contextuelles (légisigne) influencent le *rapport* rhématique entre idée-maîtresse et matériau, plutôt que chacun des deux indépendamment de l'autre, pour l'introduire dans la matérialisation de la configuration singulière (sinsigne).
6. Ces mêmes contraintes (légisigne), imposées sur le même rapport entre idée-maîtresse et matériau (rhème), offrent la possibilité de l'intégrer, non plus dans une configura-

tion, mais plutôt dans un système de configurations ou d'agencements architecturaux (indice).

7. Les normes conventionnelles (symbole) agissent sur ce rapport rhématique pour l'instancier dans un système d'agencement architectural (indice).
8. Les lois contextuelles (légisigne) s'imposent sur le rapport rhématique pour le matérialiser, à travers une fonction architecturale (dicisigne), dans le système des configurations.
9. Les normes symboliques influencent la concrétisation de ce rapport rhématique dans un système fonctionnel architectural (dicisigne).
10. Les règles de l'interprétation (argument), par exemple, l'évaluation de l'usage de l'objet architectural ou de sa conformité à la commande initiale, affectent le rapport rhématique dans sa réalisation par un système fonctionnel (dicisigne).

En plus de mettre en évidence le fonctionnement général de la dualisation appliquée aux dix classes triadiques, ces descriptions expriment les interdépendances qui en résultent. Les descriptions 1, 2, 3, 5, 6 et 8 appartiennent aux classes abductives rhématiques (cf. 3.2.4.4) et désignent un sous-système dans l'hypersigne où débute la production d'une solution architecturale. Les descriptions 4, 7 et 9 appartiennent aux classes dicentes et représentent l'aboutissement souhaité de l'abduction tandis que la dixième description relève de la classe argumentale et évalue la concrétisation de la solution.

4.5.3 Discussion

Dans un raisonnement abductif, l'apport génératif de la dualisation hypostatique s'applique particulièrement aux classes dont l'interprétant contient un potentiel de possibilités, c'est-à-dire un rhème (il y a six classes rhématiques, cf. §3.2.4.4). Cette constatation assure que l'interprétant, ayant identifié le potentiel de concrétisation du signe analysé, puisse transformer ce rhème (possibilité) en un dicisigne (réalité).

En fait, l'hypersigne et en particulier les six classes abductives précisent les relations qu'entretient l'interprétant avec les deux autres composants du signe (représentamen, objet). Étant donné que l'interprétant reste dans le domaine rhématique, ces relations ne rendent compte que du moment initial de l'abduction. La formalisation d'une hypothèse dépend de l'identification d'une information concrète et utile qui matérialisera la solution de ce problème. Par exemple, la classe du légisigne-indiciaire-rhématique, suggère les propriétés plausibles d'une

TAB. 4.3 – Représentation matricielle des classes triadiques et leurs dualisations.

CLASSE		FORME NUMÉRIQUE	DUALISATION	
qualisigne iconique rhématique	 1	$(1.1 \rightarrow 2.1 : 3.1)$	$(1.1 \rightarrow 1.2 : 1.3)$	
sinsigne iconique rhématique	 2	$(1.2 \rightarrow 2.1 : 3.1)$	$(2.1 \rightarrow 1.2 : 1.3)$	
sinsigne indiciaire rhématique	 3	$(1.2 \rightarrow 2.2 : 3.1)$	$(2.1 \rightarrow 2.2 : 1.3)$	
sinsigne indiciaire dicent	 4	$(1.2 \rightarrow 2.2 : 3.2)$	$(2.1 \rightarrow 2.2 : 2.3)$	
légisigne iconique rhématique	 5	$(1.3 \rightarrow 2.1 : 3.1)$	$(3.1 \rightarrow 1..2 : 1.3)$	
légisigne indiciaire rhématique	 6	$(1.3 \rightarrow 2.2 : 3.1)$	$(3.1 \rightarrow 2.2 : 1.3)$	
légisigne indiciaire dicent	 7	$(1.3 \rightarrow 2.2 : 3.2)$	$(3.1 \rightarrow 2.2 : 2.3)$	
légisigne symbolique rhématique	 8	$(1.3 \rightarrow 2.3 : 3.1)$	$(3.1 \rightarrow 3.2 : 1.3)$	
légisigne symbolique dicent	 9	$(1.3 \rightarrow 2.3 : 3.2)$	$(3.1 \rightarrow 3.2 : 2.3)$	
légisigne symbolique argumental	 10	$(1.3 \rightarrow 2.3 : 3.3)$	$(3.1 \rightarrow 3.2 : 3.3)$	

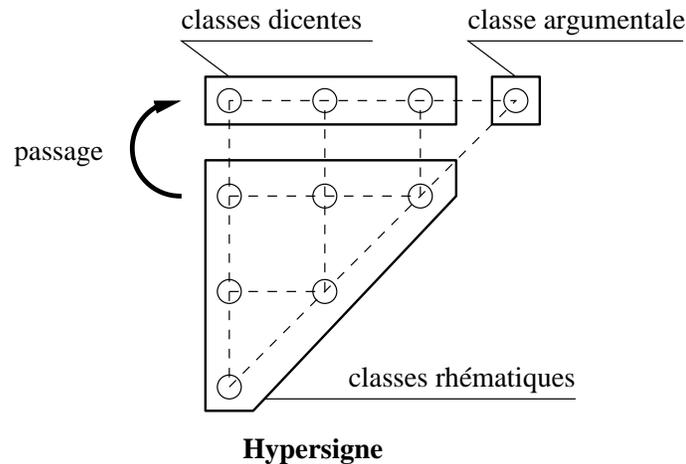


FIG. 4.9 – Le passage de l'interprétant dans les classes dicentes.

toiture en bois à deux versants. Pour établir une forme définitive de cette toiture, au moins à un moment donné du processus de la conception, l'architecte a besoin de sélectionner les dimensions géométriques de cette toiture. Le sous-signe dicent remplit le rôle d'identification et de sélection de ces dimensions. Donc, pour que l'inférence abductive progresse, il est désormais nécessaire que l'interprétant passe du domaine rhématique au domaine dicent. La Figure 4.9 schématise ce passage et souligne la fonction d'interface accomplie par, d'un côté les trois classes rhématiques supérieures (sinsigne-indiciaire, légisigne-indiciaire et légisigne-symbolique), et de l'autre, les trois classes dicentes (sinsigne-indiciaire, légisigne-indiciaire et légisigne symbolique). D'ailleurs, l'unique classe argumentale de l'hypersigne participe à la complétude de l'inférence abductive, sous condition que l'architecte puisse changer les connaissances antérieures pendant l'inférence.

En résumé, et pour répondre à la question posée sur son rôle, la dualisation hypostatique explicite un composant qui est *efficient* dans un signe et le transforme en un *nouvel* objet entier utilisable dans la progression de l'abduction. Elle produit, à travers les déterminations des composants d'un signe, *une forme de relation*. Elle assure le passage d'un moment sémiotique à un autre et, par conséquent, maintient la continuité de la sémiose. La généralisation de cette dualisation, sur toutes les classes d'un hypersigne, crée un espace global où le concepteur choisit, compose et valide des hypothèses pour un problème spécifique. Chaque classe projette, dans cet espace, son contenu informationnel efficient (cf. §3.3.5), ses interactions avec les autres classes au moment présent de l'abduction, et surtout, les transformations précédentes de ce contenu au cours de l'inférence. La dualisation résume davantage les propriétés de l'espace des solutions que la désignation concrète d'une solution unique. Par le biais de cette synthèse, les deux directions analytique et générative sont prises en compte par la sémiose de l'abduction (cf. §3.4).

4.6 Le cas de la WARTIME HOUSING LIMITED (WHL)

Pour arrimer le développement conceptuel de la thèse à un exemple concret, cette section discute des transformations architecturales en tant que savoir-concevoir caractérisé et en tant que représentation de la mémoire collective, à travers le cas de la corporation WARTIME HOUSING LIMITED. L'élaboration du modèle sémiotique de l'abduction (cf. Chapitre 5) utilise les connaissances dégagées de cette étude.

L'entrée du Canada dans la deuxième guerre mondiale incite le gouvernement fédéral à intervenir dans le domaine du logement social pour le nombre croissant des ouvriers de l'industrie militaire et des vétérans. Une corporation de la couronne, la WHL est instituée et chargée de la gestion des programmes de construction. Par conséquent, des dizaines de milliers d'unités d'habitation modulaires sont construites à travers le pays, et transformées au fil du temps par leurs occupants. Cet héritage et ses rapports avec la collectivité de ses usagers constitue l'objet d'une multitude de recherches qui témoignent de son importance. Pour situer la modélisation de la sémiologie abductive en conception architecturale, dans un contexte plus large et pour souligner son originalité, quelques travaux sont présentés. Marchand et Knight ([Marchand et Knight, 1983](#)) s'intéressent à la relation entre la typologie des modifications de ces habitations et l'imaginaire psychosocial de leur collectivité. À partir de ce point de vue, les auteurs s'essayent à l'interprétation des motivations individuelles des résidents en relation avec le choix d'une modification ou d'une autre. Wade ([Wade, 1986](#)) analyse le processus politique de cette intervention massive et offre une large documentation bibliographique. Adams et Sijpkes ([Adams et Sijpkes, 1995](#)) étudient les transformations architecturales d'un point de vue socioanthropologique ; leur étude fournit un récit détaillé des processus individuels de l'appropriation des maisons WHL par le biais du savoir-faire technique de leurs occupants. De plus, Evenden ([Evenden, 1997](#)) relie les transformations ponctuelles de ces habitations à l'émergence d'un paysage culturel mnémotique défini par une opposition entre l'uniformité des types d'habitation de base utilisés et la diversité des modes d'appropriation des habitants.

4.6.1 Les transformations architecturales de la WHL

Dans le cadre de l'élaboration d'un modèle sémiotique de l'abduction en CAAO, cette thèse s'intéresse particulièrement à la formalisation sémiotique du rapport des transformations architecturales d'un certain nombre d'unités de la WHL, situées à Montréal, au savoir-faire qu'elles ont nécessité dans leur conception architecturale. La formalisation définit un espace

de solutions, où l'inférence abductive puise sa nouveauté et sa créativité. Ainsi, le modèle abductif (cf. Chapitre 5) utilisera les résultats de la recherche de Marchand et Knight pour concrétiser les éléments du savoir-concevoir architectural et pour consolider son aspect opératoire. Les transformations architecturales effectuées par la collectivité des habitants reflètent le processus d'appropriation d'un milieu bâti. L'analyse du cas des habitations de la WHL met en évidence la diversité et la cohérence du savoir-concevoir utilisé dans la matérialisation de l'imaginaire collectif. Ces transformations sont réparties sur trois niveaux d'interventions (Marchand et Knight, 1983, p. 107) :

1. Les modifications spatiales telles que l'addition frontale et/ou latérale d'un volume, par exemple, la construction d'un porche ou d'un garage, l'extension de la salle de séjour, la surélévation et l'addition d'un étage et le réaménagement du sous-sol, l'ajout d'un escalier extérieur. Ce niveau d'interventions a pour but l'augmentation de la surface habitable et de ses dépendances aussi bien que le réaménagement de l'organigramme fonctionnel de l'habitation.
2. Les modifications fonctionnelles portant sur les matériaux utilisés, par exemple, le remplacement d'un matériau par un autre plus durable, les dimensions des éléments architecturaux (par exemple, l'agrandissement des fenêtres et des lucarnes) et aussi sur des éléments structuraux. Ce niveau de transformation améliore les performances techniques et physique de l'habitation.
3. Les modifications esthétiques de l'apparence de la maison (par exemple, le changement des couleurs des façades ou de la texture des murs, l'ajout d'éléments décoratifs). Ce niveau, qui n'affecte pas la structure de l'habitation, accompagne les deux niveaux précédents et renforce leurs expressions architecturales.

À travers la diversité des formes résultantes de ces trois niveaux d'appropriation, l'analyse effectuée révèle trois attitudes fondamentales de la part des habitants, par rapport à l'usage de ces modifications (Marchand et Knight, 1983, p. 137) :

1. L'appropriation totale traduite par une conservation des maisons à leur état original. Cette attitude s'exprime par une absence de modifications. Les interventions se contentent de l'entretien minimal, régulier ou circonstanciel, de la structure et de la forme et du remplacement des éléments usés par le passage du temps. Certains ajouts minimaux, tels qu'une rampe, une balustrade, l'ajout d'un porche, accentuent cette forme. Les auteurs soulignent aussi l'équivalence entre cette appropriation et son opposé, l'indifférence totale.
2. La modification partielle de l'état initial qui conserve la forme originale. Cet état reste nettement identifiable sous les couches successives des interventions. Celles-ci affectent surtout l'apparence de l'habitation par l'utilisation de matériaux contemporains qui remplacent les originaux. Les transformations s'appliquent particulièrement

aux dimensions de la toiture et du porche de l'entrée. L'ajout d'espaces fonctionnels, dont les dimensions restent réduits par rapport à ceux de l'état initial, ne cachent pas ce dernier.

3. La transformation totale qui change la configuration formelle de l'état initial et qui produit une habitation différente. L'ajout de nouveaux volumes (la création partielle ou totale d'un étage sous les combles, un espace entier sur la façade principale et/ou latérale) aussi bien que l'agrandissement des dimensions des pièces existantes camouflent cet état. Dans certains cas, cette appropriation fondamentale se fait par des étapes successives traduisant une adaptation continue aux besoins changeants des occupants.

Les préoccupations spatiales, fonctionnelles et décoratives des occupants des habitations du WHL effectuées selon les trois degrés d'appropriation précédents, mettent en évidence le rôle important, dans la représentation des transformations architecturales, d'un ensemble d'éléments privilégiés (Marchand et Knight, 1983, p. 145-152). La toiture est un des éléments principaux de la définition formelle des transformations appliquées. Elle subit des extensions frontales et latérales pour couvrir des espaces existants ou ajoutés (porche, galerie de l'entrée, protection des murs exposés aux intempéries), et des changements de dimensions et de formes résultant de l'utilisation des combles à des fins d'habitation. Cependant, certaines modifications de la toiture sont purement formelles et esthétiques. Le savoir-concevoir utilisé dans ces actions, est de nature mutationnelle.

Le changement des façades suit l'évolution de l'occupation des maisons du WHL. Les extensions volumétriques, frontales ou latérales, partielles ou totales, horizontales ou verticales, adaptent les espaces affectés à une nouvelle façon d'habiter. De forme parallélépipédique, elles se greffent perpendiculairement aux façades et la recherche ne mentionne pas des exceptions, par exemple des agencements obliques ou à angle. Ces transformations combinatoires prolongent les espaces intérieurs sans rupture topologique : l'addition d'un volume ne crée pas un espace de transition qui le sépare du volume initial. Toutefois, la construction d'une galerie à l'entrée, introduit une transition dans la relation intérieur-extérieur. La constatation de l'uniformité formelle des additions volumétriques, dans l'échantillon étudié, reflète un usage de la similarité, comme processus du savoir-concevoir, dans la concrétisation de l'appropriation d'une habitation.

Suivant la position spatiale et la nécessité des nouvelles fonctions souhaitées, des ouvertures sont ajoutées (portes, fenêtres, lucarne). En plus d'être, à travers quelques exemples constatés, des conséquences de transformations volumétriques, les ouvertures marquent une nouvelle appropriation des relations conceptuelles (public-privé, ouvert-fermé, circulation-

obstruction, transparence-intimité) et engagent des principes premiers de savoir-concevoir. Dans certains cas, les dimensions des fenêtres sont doublées, d'autres sont condamnées. L'ajout ou la transformation de la taille des lucarnes accompagnent la modification de l'usage des combles pour accroître la surface habitable des maisons. Parfois, les lucarnes dénotent une volonté, purement formelle, de changement de l'apparence de l'habitation sans nécessité fonctionnelle. La modification de l'entrée principale, par la combinaison d'un portique et d'un fronton ou du cloisonnement du porche, met en évidence un cas particulier de l'accentuation des ouvertures.

4.6.2 La géométrie des transformations de la WHL

La recherche effectuée sur les maisons de la WHL classe l'ensemble des transformations architecturales sous huit types originaux, organisés par un ordre croissant de l'importance des interventions (Marchand et Knight, 1983, p. 111, 118) (cf. Tableau. 4.4). En vue du développement du modèle abductif, il s'agit de préciser la correspondance entre la description de ces modifications (cf. §4.6.1) et les opérations géométriques possibles. La classification qui suit s'appuie sur l'organisation proposée par (Mitchell, 1990, p. 121) et l'augmente par un ensemble d'opérations concernant les modifications géométriques discontinues. Les contributions sont en italiques dans cette figure (cf. Figure 4.10).

4.6.2.1 Le modèle Cape-Cod

Le plan de la maison est une surface carrée ou rectangulaire. Le volume parallélépipédique résultant est surmonté d'une toiture à deux versants, dont les bords suivent le périmètre de ce plan. Il possède un nombre minimal de fenêtres sur les façades et, dans quelques exemples, un portique à l'entrée principale.

4.6.2.2 Le modèle Cape-Cod consolidé

Légèrement différent du modèle originel, la version consolidée se distingue par un porche fermé, qui accentue de la sorte la conception d'un espace de transition, et un découpage des surfaces et des lignes des façades par l'application de couleurs (les cadres des fenêtres, la bordure de la toiture). Ce découpage exemplifie l'utilisation minimale d'une technique (la peinture) dans la création d'une transformation.

transformation géométrique

	continue		discontinue		
topologique	élasticité		<i>percer</i>	<i>subdiviser</i>	<i>relier</i>
linéaire	perspective				
affine	cisaillement	étirement			
similaire	homothétie				
isométrique	réflexion		<i>intercaler</i>		<i>répéter</i>
isométrique propre	rotation	translation	<i>ajouter</i>	<i>éliminer</i>	<i>substituer</i>
identité	<i>une forme géométrique</i>				

FIG. 4.10 – Les transformations géométriques adaptées de (Mitchell, 1990, p.121) et augmentées (en italique).

4.6.2.3 Le cottage de banlieue

Ce cas de transformation constitue un premier degré de distanciation par rapport au modèle Cape-Cod. La volumétrie initiale garde son gabarit avec de petites extensions planes de la toiture et l'ajout de deux lucarnes sur la toiture qui pourraient refléter l'usage des combles à des fins d'habitation. Le cottage élimine le porche de l'entrée. Dans certains cas, des interventions au niveau de la fenestration, telles que le remplacement d'une fenêtre par un *bay-window* expriment une modification du rapport visuel entre l'intérieur et l'extérieur.

4.6.2.4 Le Ranch

Dans ce modèle, les transformations effectuées modifient l'esthétique et l'image de la maison initiale, par l'utilisation de la peinture, l'extension plane de la toiture, la substitution répétitive de quelques nouveaux éléments, plus décoratifs que structuraux, aux anciens et le remplacement du revêtement des murs extérieurs. Le porche de l'entrée maintient sa fonction d'espace de transition ouvert et couvert. Les gains d'espaces fonctionnels restent minimaux et quasi-absents. Parfois, un petit espace latéral sous appentis est ajouté (remise, débarras).

4.6.2.5 La maison québécoise

Ce modèle transformé témoigne de l'acceptation partielle de l'état initial – le modèle Cape Cod. Les interventions architecturales en affectent deux parties principales. Premièrement, la

façade de l'entrée devient une galerie couverte d'un appentis sur poteaux, avec une introduction symétrique de deux balustrades séparées par un accès. Cette galerie désigne un espace de transition, entre l'intérieur de la maison et l'extérieur public, couvert, ouvert des trois côtés et qui occupe toute la longueur de la façade. La volumétrie obtenue accentue le rapport frontal avec l'espace public. Deuxièmement, les combles reçoivent deux lucarnes. Dans certains exemples de ce modèle, une grande lucarne remplace les deux petites. Comme souligné auparavant, les lucarnes ne confirment pas la récupération des combles pour augmenter la surface habitable.

4.6.2.6 Le bungalow pittoresque

Indice d'un refus total du modèle original de la WHL, la transformation en bungalow crée une forme architecturale nettement différenciée. Horizontalement, l'extension volumétrique fermée couvre toute la façade principale mais sa subdivision laisse une petite surface pour une terrasse extérieure couverte intégrée à cette extension. Sa profondeur augmente la surface des espaces intérieurs, surtout la salle de séjour. Une toiture de deux versant, perpendiculaire à la toiture principale, surmonte cette extension. La hauteur de la nouvelle toiture est inférieure à celle de l'originale.

4.6.2.7 La maison à deux étages

Le besoin d'augmenter la surface habitable de l'habitation originelle, s'exprime nettement par l'addition d'un deuxième étage. Cette extension volumétrique verticale respecte le périmètre de l'étage inférieur et le recouvre totalement. La toiture à deux versants est conservée. Dans certains cas, la bordure de la toiture initiale est préservée. Parfois, la transformation cache la stratification historique en unifiant le traitement des façades. La forme résultante ne retient plus l'état original. Dans des exemples plus rares, l'étage supérieur est doté d'une toiture en mansarde dont les saillies ou les larmiers soulignent la séparation de l'étage inférieur. L'ajout de nouvelles ouvertures (fenêtres, lucarnes) aussi bien que leurs configurations en nombre et dimensions s'affranchissent du tracé des ouvertures au r-d-c.

4.6.2.8 La villa

A l'instar du bungalow, ce type d'habitation affirme une volonté de rompre avec le modèle de Cape-Cod. L'ajout d'un volume à deux versants, perpendiculairement à la façade principale, transforme le plan du carré de la maison en un « L ». L'espace latéral vide résultant de cette

extension, limité par les deux ailes, reçoit une couverture en appentis créant donc une terrasse abritée partiellement fermée constituant un espace de transition différent de ceux créés par les autres types de transformations architecturales. Le raccord de la toiture du nouveau volume à celle de la partie existante se fait à la hauteur de la toiture initiale. Dans certains cas, des lucarnes sont ajoutées à la toiture. Puisque la longueur originale de la façade est plutôt réduite, cette transformation agrandit ou crée un seul espace intérieur (séjour, chambre, etc.)

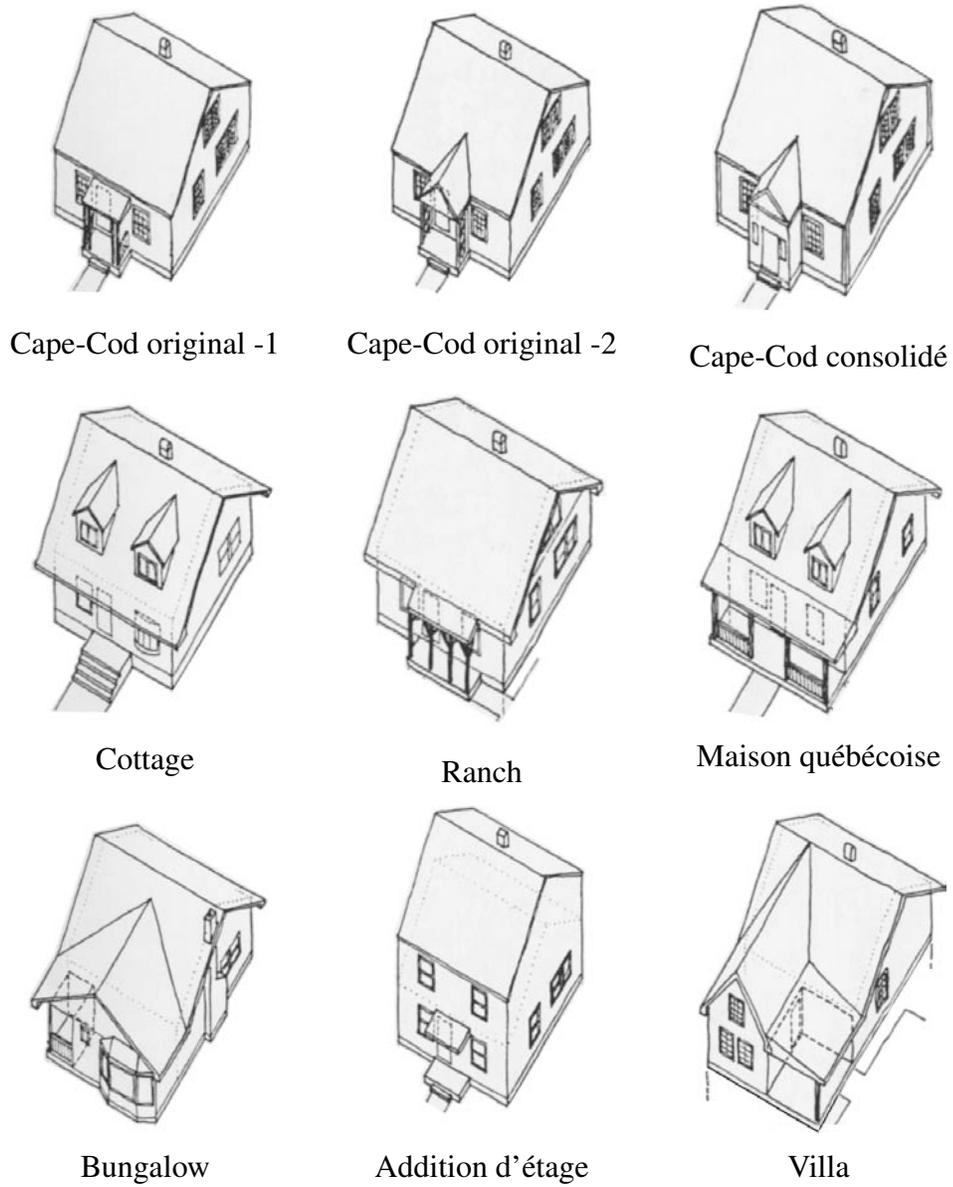
Considérés en tant que moments diachroniques et synchroniques dans l’histoire d’une configuration architecturale abstraite, les huit modèles reflètent une adaptation du savoir-concevoir architectural, d’un côté, à son contexte et de l’autre, à l’intention de matérialisation formelle d’une solution souhaitée. La qualification et la quantification de cette adaptation se font par la distinction entre les performances techniques, fonctionnelles et symboliques (Prost, 1992, p. 146). À noter que les interactions entre la technique et la structure affectent, à plusieurs degrés, le caractère sémiotique de l’interprétation architecturale (lire abduction). Cette position résulte du fait que « le système architectural consiste en catégories coordonnées de tâches de la construction qui sont liées à un style et à un système technique plus ou moins limité au moyen de règles sémantiques déterminées » (Norberg-Schulz, 1974, p. 293). La sous-section suivante examine la détermination de ces règles en fonction des six processus de la conception (cf. §4.2.1).

4.6.3 La caractérisation des transformations de la WHL

Les huit modèles de maisons transformées résument un savoir-concevoir vernaculaire caractérisé : « [...] il s’agit surtout de la représentation de façons traditionnelles de faire les choses, développée dans un contexte et une époque donnée et dont le sens et la raison d’être sont perdus » (Marchand et Knight, 1983, p. 136). La définition et la hiérarchisation des six processus du savoir-concevoir architectural (cf. §4.2.1) reliées aux propriétés des modèles constatés, et la sémiotisation des systèmes architecturaux (cf. §4.3) confèrent une formalisation sémiotique aux transformations. Cette formalisation organise les connaissances utilisables par le modèle abductif. Les paragraphes suivants extraient les opérations concrètes et constitutives de ces transformations (cf. Figure 4.11).

4.6.3.1 Les opérations des principes premiers

Ce processus désigne le recours à un ensemble de concepts fondamentaux dans la conception d’une forme architecturale tels que la séparation entre l’espace intérieur et l’espace extérieur,



TAB. 4.4 – Les transformations architecturales du WHL d’après (Marchand et Knight, 1983, p.132).

la création d'espace de transition, l'extension fonctionnelle des espaces et la préservation de leur continuité topologique, la transparence et le rapport visuel privé/public. De plus, les principes premiers interviennent dans la régulation de la transformation, à partir des choix possibles d'équilibration entre l'ancien état et le nouveau : (1) rupture et discontinuité, (2) pastiche et plagiat stylistique du passé et (3) affirmation du nouveau au dépend du passé. La régulation dégage les modalités d'appropriation (localisation de l'intervention, mesure du potentiel de transformation ultérieure, savoir-concevoir investi, et à un niveau émergent, la culture de la collectivité) (Prost, 1992, pp. 137-139).

4.6.3.2 Les opérations de la combinaison

La combinaison agit à deux niveaux ; horizontal et vertical. Horizontalement, elle crée de nouveaux espaces : salle de séjour, galerie, stationnement couvert sur la façade principale, remise ou débarras sur les côtés, et un rythme par la répétition d'un élément sélectionné (poteau, lucarne, fenêtre). Verticalement, elle ajoute un étage complet ou partiel, un appentis ou un fronton sur le porche de l'entrée.

4.6.3.3 Les opérations de la mutation

L'appropriation des maisons de la WHL, accentue la place de la mutation dans la conception architecturale par la variété des applications de ce savoir-concevoir. En effet, la mutation est le processus qui affecte la quasi-totalité des éléments architectoniques. Par exemple, la toiture est prolongée latéralement pour protéger les murs et pour souligner son importance visuelle dans la composition architecturale. Ses bords se transforment en avant-toit ou larmier. En considérant les espaces habitables, la mutation change leurs dimensions, leurs formes géométriques, leurs rapports topologiques de circulation et de fonctionnement. La mutation correspond bien aussi à l'ajout d'un étage si l'on considère cet ajout en relation avec la totalité de la maison qui se mute en deux étages.

4.6.3.4 Les opérations de l'analogie

L'analyse de l'ensemble des transformations de la WHL, qu'elles soient de nature structurale, fonctionnelle ou esthétique, et malgré leur diversité apparente, dénote une uniformité conceptuelle et visuelle. Les interventions puisent leurs connaissances dans la pratique *courante* de la construction contemporaine du vernaculaire et ne se réfèrent pas à des solutions

qui lui sont extérieures, par exemple, l'utilisation des formes courbes. Cet enracinement fortement contextuel, examiné à travers la définition de l'analogie (cf. §4.2.1.3) ne permet pas de préciser les interventions sur ce milieu bâti par l'analogie. Toutefois, ce manque offre des possibilités d'introduire de nouveaux concepts formels, fonctionnels et esthétiques.

4.6.3.5 Les opérations de la substitution

La substitution traduit parfois un effort minimal dans la conception. Surtout quand l'objet substitué est faiblement relié aux autres parties de la composition. Ce processus isole l'intervention dans un domaine réduit de contraintes spatiales, matérielles et économiques. Les modifications constatées dans l'étude de la WHL ont un recours fréquent à cette catégorie du savoir-concevoir. Par exemple, au niveau de l'image de l'habitation, l'utilisation des peintures pour changer la perception visuelle des murs extérieurs, la substitution d'un matériau de revêtement par un autre. Quant aux formes architecturales, la substitution remplace une toiture à deux versants par une mansarde, le remplacement d'une fenêtre originale par une *bay-window*.

4.6.3.6 Les opérations de la similarité

Le processus de la similarité joue un rôle dans le choix des matériaux pour rendre la forme architecturale conforme à un modèle préétabli. Dans le type « ranch », la pierre remplace le revêtement extérieur des murs, originellement en bois. Le porche de l'entrée reproduit une enfilade de poteaux massifs et robuste en bois, remplaçant les supports initiaux, visuellement fragiles. D'ailleurs, la comparaison des deux types, le bungalow et la villa, met en évidence la similarité processuelle engagée dans leurs transformations. En termes généraux, ces deux types subissent la même extension, sur la façade principale, qui crée une terrasse et un agrandissement d'une surface intérieure. Les deux toitures ont la même forme (deux versants) et la même orientation spatiale (perpendicularité à la toiture principale), mais diffèrent par leurs dimensions. Les interventions sur les habitations de la WHL conservent une similarité interne par rapport à l'état initial, c'est-à-dire une absence de formes courbes dans le répertoire des formes manifestées qui consolide la prépondérance de la linéarité et la planarité de ces transformations. L'aspect vernaculaire de la similarité, désignée dans l'étude utilisée par le terme *imitation*, renforce, d'une façon paradoxale, son détachement des ses sources d'inspiration et son ancrage dans la réalité du contexte présent (Marchand et Knight, 1983, p. 136).

4.6.4 La classification sémiotique des transformations géométriques

Pour compléter la caractérisation des transformations architecturales de la WHL, il s'agit maintenant de mettre en correspondance les opérations géométriques avec les classes des légisignes, puisque chaque opération désigne une règle de production formelle et non un signe individuel. Deux conditions régissent cette correspondance.

Premièrement, l'organisation des niveaux géométrique et topologique (cf. Figure 4.10) suit le principe de la moindre contrainte : moins un niveau est contraint par les exigences de la branche géométrique, plus il monte dans la hiérarchie. Ce principe nécessite un rappel de la hiérarchisation des branches de la géométrie : la topologie, qui étudie uniquement les relations entre les objets, est moins contrainte que la géométrie linéaire, qui, en plus des relations entre les objets, examine leurs positionnements linéaires. À ces deux contraintes, la géométrie affine et similaire ajoute celles de la conservation du parallélisme et de l'angle droit. Et finalement, la plus contrainte de toutes les branches, la géométrie isométrique exige, en plus de toutes les contraintes précédentes, le maintien de la distance métrique. Donc, l'ordre croissant, suivant les contraintes des branches géométriques, serait : la topologie, la géométrie linéaire, la géométrie affine et similaire, la géométrie isométrique. Par exemple, une opération linéaire est moins contrainte qu'une autre affine : la première ne conserve que la linéarité tandis que la seconde exige la conservation des parallèles en plus de la linéarité. Ce principe de la moindre contrainte s'applique aussi aux classes des signes par le biais du principe de l'implication des catégories (cf. §3.2.4.2), et par conséquent aux légisignes : par exemple, un légisigne-iconique-rhématique est moins contraint qu'un légisigne-indiciaire rhématique. À noter que la classe légisigne-symbolique-argumentale ne participe pas à la classification des opérations géométriques car son caractère général porte sur les fondements d'une théorie et sur sa validité et non sur l'aspect pratique d'une de ses composantes.

La deuxième condition stipule que la correspondance n'est pas nécessairement bijective. Deux niveaux géométriques peuvent avoir comme image une seule classe de légisignes. Parfois, un signe triadique ne peut se distinguer d'un autre, à moins d'approfondir l'analyse sémiotique au niveau hexadique.

Munie de ces deux conditions, la correspondance s'établit comme suit (cf. Figure 4.11) :

- les opérations topologiques sont des légisignes-iconiques-rhématiques ;
- les opérations linéaires sont des légisignes-indiciaires-rhématiques ;
- les opérations affines et similaires sont des légisignes-symboliques-rhématiques ;
- les opérations isométriques sont des légisignes-indiciaires-dicents ;

- les opérations isométriques propres sont des légisignes-symboliques-dicents.

De quelle façon la dualisation hypostatique est-elle reliée aux opérations géométriques ?

4.6.5 La sémiologie hypostatique des transformations géométriques

Généralement, d'un point de vue sémiotique, une configuration architecturale est un signe qui a pour objet une commande architecturale. Plus particulièrement, une forme architecturale, considérée comme un signe, peut avoir pour objet une opération géométrique. La classification des transformations architecturales de la WHL, en huit modèles, témoigne d'une régularité dans les opérations géométriques utilisées pour concrétiser cette commande. Sémiotiquement parlant, la régularité (Peirce parle d'un habitus) possède la forme d'un légisigne-symbolique-argumental ; elle décrit, pour chaque modèle et simultanément, la séquence ordonnée des opérations nécessaires à la création du signe (de ce modèle) pour répondre aux exigences de la commande architecturale, et la structure et le fonctionnement de celles-là (à travers ce même modèle) : « [...] comprendre un signe, c'est apprendre ce qu'il faut *faire* pour produire une situation concrète où l'on puisse obtenir l'expérience perceptive de l'objet auquel le signe se réfère » (Eco, 1985, p. 52) (nous soulignons). Ce qui revient à dire que comprendre, géométriquement, une configuration architecturale, c'est être capable d'appliquer des opérations géométriques pour la reproduire.

4.6.5.1 De l'analyse d'une forme architecturale à sa production

Dans le cas de l'abduction architecturale, l'utilisation des connaissances antérieures (ou préalables) ne vise pas à reproduire la même configuration géométrique mais plutôt à en générer une nouvelle. Puisque le signe ne peut transmettre son objet que sous un certain rapport (cf. §3.2.1), tout en négligeant d'autres, cette perte de l'information crée une marge d'interprétation qui sert justement à cette génération, en passant par une modification de la relation entre opération géométrique (objet du signe) et forme architecturale (signe). L'interprétation analytique constate que la forme architecturale concrète provient d'une opération géométrique possible, tandis qu'une interprétation synthétique ou générative (la conception architecturale ; cf. Figure 4.6) examine quelle forme architecturale possible pourrait être produite par une opération géométrique concrète. On remarque ici qu'il y a un déplacement du centre d'intérêt de la sémiologie : de la saisie d'un signe vers la transformation réelle et effective des conditions de sa production, c'est-à-dire les opérations géométriques. Par son action, ce déplacement revêt un caractère innovateur car il introduit dans la sémiologie un élément qui n'existait pas

auparavant, c'est-à-dire la modification d'une opération géométrique, qui est elle-même une autre opération. Comme discuté ailleurs (cf. §3.4.1), la dualisation hypostatique accomplit ce déplacement par le biais de l'interprétant ; celui-ci anticipe « quelles modifications l'hypothétique état de choses demanderait pour être réalisé [...] ([CP] 2.227) » (Eco, 1985, p. 36). Ceci résume bien l'aspect abductif de la conception architecturale qui requiert une modification contrôlée des connaissances préalables. Nous appelons cette sémiose augmentée d'une dualisation hypostatique, la sémiose hypostatique.

En ce qui concerne cette thèse, ces connaissances appartiennent au domaine de la géométrie, et organisent l'espace de leurs applications pratiques selon des niveaux allant de la topologie à l'isométrie propre (cf. Figure 4.10). Malgré que cet espace semble réduit à cause du nombre fini des opérations énumérées, il est évident que leurs compositions possibles éliminent toute prévisibilité (voire tout déterminisme) dans la production d'une forme géométrique. La règle élémentaire qui commande les compositions applique une opération sur une autre. Par exemple, répéter un percement, courber une homothétie, etc. Cette même règle instaure le mode fondamental de modification des connaissances géométriques préalables et, couplée à la hiérarchie de l'espace des applications susmentionné, traduit le comportement de l'abstraction hypostatique (appliquer d'une façon contrôlée une opération sur une autre). Rappelons que, dans cet espace, le passage d'un niveau à un autre s'accompagne soit de l'ajout d'une contrainte, soit de son retrait. Le couplage accorde une structure interne à toute séquence d'opérations qui contrôle l'étendue de la composition ; certaines opérations en impliquent nécessairement d'autres. Néanmoins, les modifications des connaissances préalables s'organisent selon « les opérations essentielles qui doivent être mises en acte par un *agent* qui utilise certains *instruments* pour modifier un *objet* donné dans le but de vaincre la résistance d'un *contre-agent* pour pouvoir obtenir certains *résultats* » (Eco, 1985, p. 53). Ainsi, pour produire une nouvelle solution architecturale, la résistance que doit vaincre l'agent réside dans la monotonie de ces connaissances. L'élargissement de l'espace des solutions géométriques découle de cette sémiose hypostatique munie maintenant d'un contrôle.

4.6.5.2 La composition des opérations géométriques

Il reste à décrire comment la sémiose hypostatique génère une configuration architecturale en composant deux classes légisignes, désignant chacune une opération géométrique. La composition produit une classe légisigne contenant les propriétés de ces composantes, donc une nouvelle opération géométrique. Rappelons que le résultat n'équivaut pas, nécessairement, à une application séquentielle des deux composantes, mais à la modification d'une opération par la seconde. Là encore, intervient le principe de l'organisation complexe d'un signe (cf. §3.2.4.2). En fait, la nouvelle classe et ses deux composantes peuvent être envisagées en tant

que signes sur lesquels on applique ce principe.

Si les deux classes ont la même complexité, c'est-à-dire elles sont identiques, le résultat de leur composition sera une classe ayant la même complexité. Par exemple, la composition de deux classes légisignes-indiciaires-dicentes donnera une classe légisigne-indiciaire-dicente. Si les deux classes n'ont pas la même complexité, la classe résultante aura la complexité de la classe composante la plus complexe. Par exemple, la composition d'un légisigne-iconique-rhématique avec un légisigne-indiciaire-dicent, donnera un légisigne-indiciaire-dicent. Pour valider la construction sémiotique de la composition, il faut examiner le comportement matériel des répliques des classes composantes et de la résultante.

Considérons deux opérations géométriques : percer, sémiotisée par un légisigne-iconique-rhématique et dont la réplique se matérialise par une ouverture quelconque dans un mur, et répéter, sémiotisée par un légisigne-indiciaire-dicent et dont la réplique se matérialise, pour les fins de l'exemple, par une rangée de quatre ouvertures. Percer, dans un sens topologique, ne fournit pas d'information sur les propriétés géométriques de la forme finale des quatre ouvertures ; cette opération ne pourrait que mettre en évidence l'absence de la matérialité. Par contre, la répétition organise son objet (ici, les quatre ouvertures) par une action plus complexe que celle de l'absence. Cette action engage des connaissances métriques, similaires, affines, linéaires et topologiques qui, dans la modification résultante, affecteront aussi l'action de percer. Par conséquent, le résultat, c'est-à-dire l'identification de la classe de signes adéquate, doit exprimer la complexité la plus grande de celles des deux opérations élémentaires.

La modification des connaissances antérieures, par le biais de l'application d'une opération géométrique sur une autre, s'étend, par associativité, à l'utilisation de plus que deux opérations. L'ordre de l'application des opérations conserve son importance pour la forme finale mais il n'intervient pas dans le calcul de la complexité sémiotique.

4.6.6 La synthèse du cas du WHL

L'abduction d'une solution architecturale nécessite « au-delà d'une imagination technique, fonctionnelle ou plastique, une imagination historique qui trouve son fondement dans la mémoire composite des lieux et dans les rapports passé/présent/futur » (Prost, 1992, p. 145). Les transformations architecturales du WHL expriment des rapports mnémoniques d'identi-

processus opération	processus						
	principe premier	analogie	similarité	mutation	combinaison	substitution	
élasticité	×	×		×			légisigne–iconique–rhématique
percer			×	×			légisigne–iconique–rhématique
subdiviser			×	×			légisigne–iconique–rhématique
relier			×	×	×		légisigne–iconique–rhématique
perspective		×	×	×			légisigne–indiciaire–rhématique
cisaillement		×	×	×			légisigne–symbolique–rhématique
étirement		×	×	×			légisigne–symbolique–rhématique
homothétie		×	×	×			légisigne–symbolique–rhématique
réflexion			×		×	×	légisigne–indiciaire–dicent
répéter		×	×		×		légisigne–indiciaire–dicent
intercaler					×	×	légisigne–indiciaire–dicent
rotation		×	×		×	×	légisigne–symbolique–dicent
translation		×	×		×	×	légisigne–symbolique–dicent
ajouter					×	×	légisigne–symbolique–dicent
éliminer					×	×	légisigne–symbolique–dicent
substituer					×	×	légisigne–symbolique–dicent

FIG. 4.11 – La caractérisation sémiotique des transformations géométriques.

	possibilité	concrétisation	nécessité
matérialité	matériaux: bois verre brique aluminium pierre tôle couleurs, textures	configuration singulière: étage stationnement toiture galerie murs terrasse remise porche lucarne poteau porte fenêtre	lois physiques contraintes du site processus de construction orientation: soleil belle-vue vents
relations	transparence séparation transition continuité extérieur/intérieur vide/plein	composition architecturale: extension répétition ajout d'étage accès/circulation relations volumétriques positionnement	dimensions/mesures échelle gabarit tracé régulateur trame/module
formalité	choix des aspects: formel fonctionnel matériel conceptuel psychologique	fonctions: circulation ensevelissement aération enveloppe délimitation spatiale	évaluation intégration occupation et usage évolution transformations

FIG. 4.12 – La sémiotisation du savoir-concevoir du WHL.

fication et d'appropriation, de la collectivité des habitants à leur milieu bâti. L'observation de ces transformations à travers la classification du savoir-concevoir en termes de routine, d'innovation et de créativité, met en évidence trois constatations.

Premièrement, une partie de ces interventions appartiennent à la conception routinière. Le modèle architectural initial est conservé dans ses caractéristiques principales et la succession des transformations ne modifie que quelques valeurs de ses paramètres. La structure formelle globale demeure intacte. Deuxièmement, l'autre partie des interventions reflète une conception innovatrice. Tout en conservant une cohérence formelle avec le modèle initial, certains exemples créent de nouveaux sous-types architecturaux, ayant des configurations différentes de ce modèle. Les ajouts de volumes et les modifications de textures et de couleurs, même s'ils cachent visuellement l'état initial, ne constituent pas une coupure nette de style. Troisièmement, les transformations architecturales du WHL appartiennent au domaine de la conception de routine et de l'innovation (cf. §4.4.1.1 et §4.4.1.2). Ces interventions ne produisent pas de nouvelles formes, au moins dans les exemples recensés par l'étude utilisée. Cette remarque souligne le manque de créativité, telle que définie précédemment (cf. §4.4.1.3), dans la matérialisation de ces rapports d'appropriation.

La mise en correspondance, entre les systèmes sémiotiques architecturaux (cf. §4.3) et la caractérisation des transformations du WHL, produit une qualification sémiotique du savoir-concevoir et des opérations de concrétisation des éléments architecturaux, utilisés dans l'abduction. La Figure 4.12 résume cette qualification selon une forme matricielle qui organise les éléments retenus, en vue du développement du modèle abductif. La Sous-section 5.5.2 concrétise la mise en rapport des connaissances du WHL et des systèmes sémiotiques architecturaux.

4.7 Conclusion

Ce chapitre approfondit la spécification de la conception architecturale par le découpage sémiotique des connaissances architecturales, par l'organisation des processus du savoir-concevoir et par la mise en relation des opérations géométriques et les classes des légisignes. Aux quatre processus de conception répandus dans la littérature, à savoir, les principes premiers, l'analogie, la mutation et la combinaison, deux autres ont été ajoutés, la similarité et la substitution. D'ailleurs, l'utilisation de trois opérations de distinction sémiotiques, la dissociation, la préscission et la discrimination, dégage une hiérarchisation de ces six catégories, nécessaire pour la sémiotisation du savoir-concevoir. La conception est une anticipation d'une solution à un problème donné. La dualisation hypostatique rationalise l'anticipation de la solution architecturale et définit une procédure sémiotique qui interprète la correspondance entre la perception des qualités d'un signe donné et la possibilité de sa concrétisation. Elle rend opératoire le rôle de l'interprétant dans la créativité abductive et crée des liens entre les connaissances antérieures modifiées par l'interprétation et par la contextualisation de la solution anticipée. Le développement de la capacité synthétique de la dualisation en CAAO constitue une contribution originale de cette thèse.

Une configuration architecturale émerge, à travers une dualisation hypostatique, du rapport existant entre le problème à résoudre et les possibilités de sa matérialisation. Les stratégies de l'interprétation architecturale élargissent le domaine de cette matérialisation par l'introduction de nouvelles variables et de nouveaux domaines de valeurs qui leur correspondent. La sémiose générative complète le schéma conceptuel de la conception architecturale (cf. Figure 1.2) et y positionne la forme sémiotique de l'abduction (cf. Figure 4.13). Cette forme, augmentée du fonctionnement de la dualisation, donne lieu à une interaction de signes bien déterminée, la sémiose hypostatique.

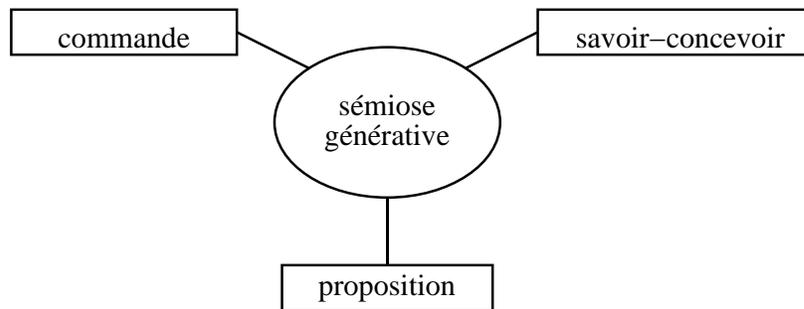


FIG. 4.13 – Le schéma conceptuel complété.

La production architecturale se fait par une sémiose générative et hypostatique qui, à l'opposé de la sémiose analytique, distingue davantage *un champ de possibilités* qu'une configuration architecturale unique. À travers la qualification des transformations architecturales du WHL, ce chapitre explicite les rapports du savoir-concevoir architectural à l'abduction ; il organise et complète l'ensemble des processus qui y sont engagés. De plus, l'étude des opérations géométriques des huit types d'habitations augmente les classifications déjà présentes dans la littérature et fournit les données élémentaires pour l'élaboration du modèle sémiotique.

Le chapitre suivant développe un modèle de la forme sémiotique de l'abduction élaborée à travers la forme complétée du schéma conceptuel. Il valide la capacité générative de la dualisation hypostatique, dans la production d'une solution architecturale, à partir de l'interprétation des connaissances incertaines qui caractérisent le domaine des possibilités de la matérialisation de cette solution.

Références

- Adams, A. et Sijpkens, P. (1995). Wartime housing and architectural change, 1942-1992. *Canadian Folklore Canadien*, 17(2) :13–29.
- Akin, Ö. (1990). Necessary conditions for design expertise and creativity. *Design Studies*, 11(2) :107–113.
- Alexander, C. (1964). *Notes on the synthesis of form*. Harvard University Press, Cambridge.
- Asimow, M. (1962). *Introduction to Design*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Bense, M. (1975). Sémiotique, esthétique et design. *Architecture d'Aujourd'hui*, 2(178) :107–112.
- Broadbent, G. (1973). *Design in architecture and the human sciences*. Wiley, New York.
- Broadbent, G., Hunt, R., et Jenkcs, C. (dir.) (1980). *Signs, symbols and architecture*. Wiley, New York.
- Coyne, R. D. (1997). Creativity as commonplace. *Design Studies*, 18(2) :135–141.
- Coyne, R. D., Rosenman, M. A., Radford, A., Balachandran, M., et Gero, J. S. (1990). *Knowledge Based Design Systems*. Addison Wesley, Reading, MA.
- Cross, N. (1997). Descriptive models of creative design : application to an example. *Design Studies*, 18(4) :427–440.
- Deledalle, G. (1979). *Théorie et Pratique du signe : Introduction à la Sémiotique de Charles S. Peirce*. Langages et sociétés. Payot, Paris.
- Dorst, K. et Cross, N. (2001). Creativity in the design process : co-evolution of problem-solution. *Design Studies*, 22(5) :425–437.
- Eco, U. (1985). *Lector in Fabula*. Bernard Grasset, Paris.
- Eiter, T. et Makino, K. (2003). Abduction and the dualization problem. In Grieser, G. (dir.), *6th International Conference, DS 2003, Sapporo, Japan, October 17-19, 2003, Proceedings*, number 2843 in Lecture Notes in Artificial Intelligence, pages 1–20, Berlin. Springer-Verlag.
- Evenden, L. J. (1997). Warime housing as cultural landscape : National creation and personal creativity. *Urban History Review*, 25(2) :41–52.

- Fisch, M. H. (dir.) (1981). *Writings of Charles S. Peirce : A Chronological Edition, Volume I, 1857-1866*. Indiana University Press, Bloomington, IN.
- Gero, J. S. (1996). Creativity, emergence and evolution in design : concepts and framework. *Knowledge-Based systems*, 9(7) :435–448.
- Gero, J. S. (2002). Computational models of creative designing based on situated cognition. In *C&C '02 : Proceedings of the 4th conference on Creativity & Cognition, Loughborough, UK*, pages 3–10, New York. ACM Press.
- Goldschmidt, G. (1988). Interpretation : its role in architectural designing. *Design Studies*, 9(4) :235–245.
- Gregory, S. A. (1966). *The Design Method*. Butterworths, London.
- Hartshorne, C. et Weiss, P. (dir.) (1960). *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Helmholtz, R. M. et Blomeyer, G. R. (1975). Une application de la sémiotique au champ de l'architecture. *Architecture d'Aujourd'hui*, 47(178) :113–116.
- Kalay, Y. E. (1999). The future of caad : From computer-aided design to computer-aided collaboration. In Augenbroe, G. et Eastman, C. (dir.), *Computers in Buildings : Proceedings of the CAAD Futures 99 Conference*, pages 13–30, Dordrecht, The Netherlands. CAAD Futures 99, Kluwer Academic Publishers.
- Knight, T. et Stiny, G. (2001). Classical and non-classical computation. *Architectural Research Quarterly*, 5(4) :355–372.
- Kokotovich, V. et Purcell, T. (2000). Mental synthesis and creativity in design : an experimental examination. *Design Studies*, 21(5) :437–449.
- Liu, Y.-T. (2000). Creativity or novelty ? *Design Studies*, 21(3) :261–276.
- Louridas, P. (1999). Design as bricolage : anthropology meets design thinking. *Design Studies*, 20(6) :517–535.
- Marchand, D. et Knight, A. (1983). W. h. ltd : 40 ans de transformations. rapport de recherche exploratoire soumis à la société canadienne d'hypothèques et de logement. Rapport de recherche, École d'architecture, Université de Montréal, Montréal.
- Marty, R. (1990). *L'Algèbre des Signes : Essai de sémiotique scientifique d'après Charles Sanders Peirce*, volume 24 de *Foundations of Semiotics*. John Benjamins, Amsterdam ; Philadelphie.
- Mitchell, W. J. (1990). *The Logic of Architecture : Design, Computation and Cognition*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Morisset, L. K. et Noppen, L. (1995). À la recherche d'identités. In Noppen, L. (dir.), *Architecture, Forme Urbaine et Identité Collective*. Septentrion et CÉLAT, Sillery, Québec.
- Navinchandra, D. (1991). *Exploration and Innovation in Design : Towards a Computational Model*. Springer-Verlag, New York.

- Norberg-Schulz, C. (1974). *Système logique de l'architecture*. Architecture + recherches. Dessart et Mardaga, Bruxelles.
- Oxman, R. (1990). Prior knowledge in design : a dynamic knowledge-based model of design and creativity. *Design Studies*, 11(1) :17–28.
- Peirce, C. S. (1987). *Textes Fondamentaux de Sémiotique ; traduits de l'anglais et annotés par Berthe Fouchier-Axelsen et Clara Foz*. Collection d'épistémologie. Méridiens Klincksieck, Paris.
- Peirce, C. S. (1998). *New Elements (Kaina Stoicheia)*, chapitre 22, pages 300–324. Volume 2 of (Peirce Edition Project, 1998). Peirce Edition Project.
- Peirce Edition Project (dir.) (1998). *The Essential Peirce. Selected Philosophical Writings (1893-1913)*, volume 2. Indiana University Press, Bloomington, IN.
- Poon, J. et Maher, M. L. (1997). Co-evolution and emergence in design. *Artificial Intelligence in Engineering*, 11(3) :319–327.
- Prost, R. (1992). *Conception architecturale : une investigation méthodologique*. L'Harmattan, Paris.
- Rittel, H. W. et Webber, M. M. (1973). Planning problems are wicked problems. *Policy Sciences*, 4(2) :155–169.
- Roozenburg, N. F. (1993). On the pattern of reasoning in innovative design. *Design Studies*, 14(1) :4–18.
- Rosenman, M. A. et Gero, J. S. (1992). Creativity in design using a design prototype approach. In Gero, J. S. et Maher, M. L. (dir.), *Modeling creativity and knowledge-based creative design*, chapitre 6, pages 111–138. Lawrence Erlbaum associates, Hillsdale, NJ.
- Rossi, A. (1990). *L'architecture de la ville*. Architectures. Livre et communication, Paris.
- Rowe, P. G. (1987). *Design Thinking*. the MIT Press, Cambridge, MA.
- Schön, D. et Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing and their function in design. *Design Studies*, 13(2) :135–156.
- Simon, H. A. (1974). *La science des systèmes, science de l'artificiel*. Hommes et groupes. Épi, Paris.
- Simon, H. A. (1996). *The sciences of the artificial*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Stiny, G. (1990). What is a design ? *Environment and Planning B : Planning and Design*, 17 :97–103.
- Wade, J. (1986). Wartime housing limited, 1941-1947 : Canadian housing policy at the crossroads. *Urban History Review*, 15(1) :41–59. Special Issue on the History of Canadian Housing Policy.
- Walther, E. (1997). Contributions of the stuttgart school to peircean semiotics. In Rauch, I. et Carr, G. F. (dir.), *Semiotics around the World : Synthesis in Diversity. Proceedings of the Fifth Congress of the International Association for Semiotic Studies, Berkeley, 1994*, volume 2 de *Approaches to Semiotics*, pages 1105–1108, Berlin. Mouton de Gruyter.

Woodbury, R., Burrow, A., Datta, S., et T-W.Chang (1999). Typed feature structures and design space exploration. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AI EDAM)*, 13 :287–302.

Chapitre 5

Un modèle sémiotique de l'abduction

5.1 Introduction

Après avoir identifié la forme sémiotique de l'abduction au Chapitre 3, en particulier la Sous-section 3.4.4, et avoir développé les rapports de cette forme à la conception architecturale par le biais de la dualisation hypostatique au Chapitre 4, le présent chapitre concrétise ces contributions par le biais d'un modèle sémiotique de l'abduction. D'abord, et pour dégager des directives mathématiques pour la modélisation, la Section 5.2 étudie le caractère incertain de l'interprétation et son rôle dans la conception en générale, et dans la conception architecturale en particulier. Ensuite, et à travers une revue des formalismes de la représentation mathématique de l'incertitude, la Section 5.3.1 expose l'approche adoptée pour la modélisation des connaissances incertaines de l'inférence abductive. En particulier, les concepts de la théorie des possibilités, ses opérations principales et leurs propriétés y sont étudiés. Cette même section argumente une correspondance entre, d'un côté, les outils offerts par cette théorie, et de l'autre, la gestion des connaissances incertaines ainsi qu'une intégration de la subjectivité du concepteur dans la représentation incertaine de la sémiose abductive. La Section 5.4 décrit le modèle sémiotique créé qui répond à l'implémentation du schéma conceptuel complété (cf. Figure 4.13). Les directives de modélisation dégagée dans les sections précédentes trouvent leur application à la Section 5.5 qui valide ce modèle. Le chapitre se termine par une discussion du modèle et des possibilités de son développement futur.

5.2 L'incertitude de l'interprétation

L'abduction est une interprétation incertaine. Le traitement des connaissances et des informations incertaines est inhérent à toute activité humaine, en particulier à la CAAO. La littérature de ce domaine utilise les termes « mal défini » (*ill-defined*), ou faiblement structuré, pour qualifier les problèmes de conception où la connaissance incertaine, incomplète et parfois erronée doit être traitée (Mitchell, 1977, p.60). Cette section étudie et critique d'abord des réflexions générales sur l'incertitude, sur son apport au raisonnement, à travers la formalisation de la subjectivité et la circonscription de l'interprétation, et sa place dans la représentation des connaissances.

5.2.1 La formalisation de la subjectivité

Face à une situation incertaine, l'observateur s'engage dans un processus de prise de décision, fondé sur l'information à traiter et sur l'utilité de son choix. Entre une position normative qui présente une heuristique définie à suivre et une position descriptive qui réplique le comportement de l'observateur, la formalisation de ce processus ne peut se faire sans la quantification d'un intervalle minimal de stabilité de la rationalité du choix (Alexander, 1975, p.363). La rationalité de la prise de décision fut développée par la théorie de l'utilité et on peut l'énoncer comme suit : « dans une situation donnée, un individu est supposé choisir entre les options disponibles de façon telle que l'utilité espérée, déduite du choix, soit aussi grande que possible » (traduction libre de Patricia Apps dans (March, 1976, p.463)). Le débat actuel dans la communauté des chercheurs sur la sémantique de la quantification de l'incertitude s'articule autour de deux points de vue : (1) objectiviste, basé sur l'aspect fréquentiste des probabilités qui représente uniquement l'occurrence relative d'un événement donné dans une suite d'événements, indépendamment de l'observateur et par conséquent, refuse toute signification aux nombres et (2) subjectiviste, qui considère la conviction de l'observateur par rapport à cette occurrence (Shafer et Pearl, 1990).

À noter que ce débat n'écarte pas les autres formalismes non-probabilistes comme la théorie des possibilités. Dubois et Prade (Dubois et Prade, 1993) démontrent les liens entre l'approche probabiliste et cette théorie et par conséquent son adéquation à la représentation de la rationalité. Savage (Savage, 1990, p.15) formalise la relation de l'observateur avec l'information par une question centrale des formalismes subjectifs : « to what degree of conviction does this new data entitle me? ». Il développe une définition opératoire de la rationalité en établissant d'abord un ensemble d'axiomes de préférences qui orientent le choix (par l'ob-

servateur) d'une alternative parmi plusieurs. Ensuite il met en correspondance d'un côté, les probabilités des représentations possibles du phénomène et, de l'autre, les utilités des conséquences possibles du choix de l'observateur. La correspondance quantifie ainsi l'équivalence entre les préférences et l'organisation hiérarchique des choix obtenue par le calcul de leurs probabilités et utilités (Shafer et Pearl, 1990, p.8).

5.2.2 La circonscription de l'interprétation

Le développement du raisonnement imparfait en intelligence artificielle (IA) cible l'ignorance en tant que problème majeur. L'organisation hiérarchique des types de l'ignorance (cf. Figure 5.1) reflète la diversité des approches nécessaires pour traiter ce problème complexe (Hunter et Parsons, 1998, p.9). Alors, cette thèse se situe dans cette taxonomie par l'étude de « l'incertitude vague » (cf. encadré dans Figure 5.1). Smets et Gabbay (Smets, 1998, Gabbay et Smets, 1998) clarifient les rapports entre un formalisme donné et le phénomène qu'il représente par les définitions suivantes :

- une information est inconsistante quand il y a inadéquation entre le phénomène et sa représentation ; plusieurs degrés d'inconsistance sont possibles et par conséquent la hiérarchisation des modèles inconsistants représente, dans le formalisme, la quantité informationnelle à traiter pour restaurer la consistance ;
- une information est imprécise quand il existe plusieurs modèles possibles du phénomène dont la hiérarchisation représente les degrés de similarité avec le phénomène et par conséquent fournit une classification d'un modèle donné par rapport à l'ensemble des modèles possibles ;
- une information est incertaine quand l'opinion de l'observateur intervient dans la validation et le choix d'un modèle jugé plus représentatif que les autres. De la sorte, on introduit un deuxième niveau d'organisation de l'information imprécise.

Le rôle central de l'interprétant sémiotique, tel que argumenté dans le Chapitre 4, nécessite une circonscription de l'information incertaine à deux niveaux : l'état des prémisses et le degré de confiance dans les inférences. Dans le cas des formalismes quantitatifs de la représentation de l'incertitude (cf. §5.3), la croyance dans les prémisses (l'opinion du concepteur) peut être partielle mais les inférences ont un degré de plausibilité élevé, tandis que pour les formalismes symboliques (cf. §5.3), les prémisses sont complètement acceptées (ou non) et le degré de confiance dans leur inférence provient des suppositions qui fondent ces prémisses. L'organisation hiérarchique des prémisses affecte le processus de l'interprétation incertaine, d'où la pertinence opérée sur les catégories du savoir-concevoir (principes premiers, analogie, mutation, similarité, agrégation et substitution ; cf. 4.2.2). De plus, la structure de la représen-

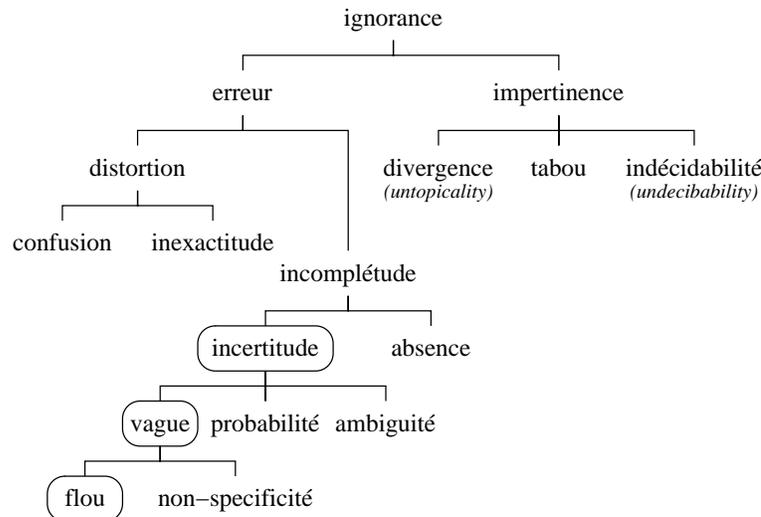


FIG. 5.1 – La taxonomie de l'ignorance d'après (Hunter et Parsons, 1998, p.9).

tation numérique utilisée doit être construite d'une façon à éviter que les bouclages et les itérations de l'inférence ne soient considérés comme des corroborations (Shafer et Pearl, 1990, p.3). Le choix d'un formalisme dépend toujours de son efficacité par rapport à la tâche voulue et de la considération de ses axiomes.

5.3 La représentation de l'incertitude

La littérature classe les formalismes de l'incertitude en deux catégories : les représentations quantitatives et les représentations symboliques (Hunter et Parsons, 1998, Gabbay et Smets, 1998, Shafer et Pearl, 1990). Les approches quantitatives regroupent la représentation probabiliste qui inclut les probabilités classiques et bayésiennes, la théorie des possibilités basée sur les ensembles flous, les facteurs de certitude (*uncertainty factors*) et le modèle de croyances transférables (*transferable belief model*). Les approches symboliques regroupent les logiques non monotones (*default logic*), le *truth maintenance system*, la circonscription (*circumscription*) et la *theory of endorsements*.

Paris propose une approche mathématique unifiée qui permet de juger de la pertinence de chaque formalisme selon le problème étudié (Paris, 1994). La sémantique et la syntaxe des représentations sont dépendantes du type d'interprétation subsumé par les théories, et par conséquent de la pragmatique de leurs usages. Fondamentalement, les méthodes numériques restent subjectives par rapport à la transformation des propriétés qualitatives, du phénomène

observé, en des données quantitatives (Kanal et Lemmer, 1986, p.10). Ces formalismes font partie de la théorie générale de l'information qui regroupe aussi les ensembles aléatoires, les intervalles de probabilités, les mesures générales floues (*general fuzzy measures*) et l'analyse des intervalles (*interval analysis*).

Ayant fait un choix parmi ces formalismes en vue de son utilisation dans le modèle proposé, la sous-section suivante présente uniquement la théorie des possibilités, ses fondements et ses propriétés.

5.3.1 La théorie des possibilités

Pour aborder la théorie des possibilités, il est nécessaire de présenter brièvement son fondement sur les ensembles flous. Un ensemble flou est une fonction caractéristique qui désigne l'appartenance d'un élément à cet ensemble. Au lieu que cette appartenance soit binaire comme dans le cas des ensembles usuels, c'est-à-dire ou l'élément appartient à l'ensemble ou non, elle est plutôt graduée : un élément a peut appartenir à un ensemble A avec le degré de 0,5, un autre élément b appartient à cet ensemble avec un degré de 0,2, etc. L'appartenance totale est désignée par le degré 1 et son contraire par 0. Par exemple, en étudiant la longueur d'une salle, un architecte peut identifier trois catégories de longueur : la petite, la moyenne et la grande (cf. Figure 5.2). Il assigne à chaque catégorie un intervalle de mesures métriques : toute longueur entre 1 et 3 mètres est jugée petite, entre 4 et 6 moyenne et entre 7 et plus, elle devient grande. Toutefois, il existe des situations où la classification nette n'est pas possible » Par exemple, si cet architecte décide d'une longueur de 3,5m, comment peut-il la qualifier ? Les ensembles flous permettent de représenter ces situations où le contenu d'une information n'est pas nettement précis, mais varie plutôt sur un domaine donné.

Les zones de la Figure 5.2 représentent deux types d'informations :

- une information précise où la longueur est strictement grande ou moyenne ou petite. Les zones de cette information sont de forme rectangulaire. Toute longueur située à l'intérieur d'une de ces zones a un degré d'appartenance de 1, à la catégorie correspondante à cette zone.
- une information imprécise où l'information varie sur un intervalle. Les zones d'appartenance imprécise et vague sont représentés par des triangles et leurs recouvrements. Ainsi, le degré d'appartenance de la longueur 3,8 m à la petite catégorie est 0,35 et à la catégorie moyenne est 0,75. Cette longueur n'appartient pas à la grande catégorie et par conséquent son degré d'appartenance est 0.

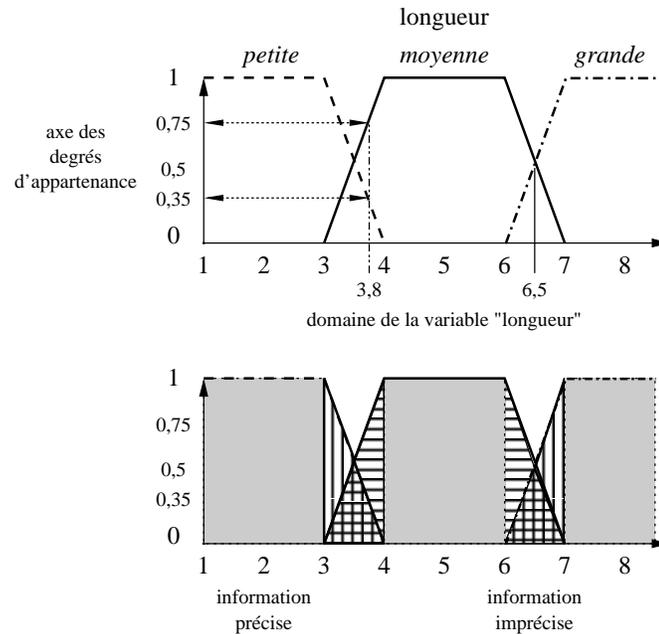


FIG. 5.2 – Un ensemble flou.

Le contenu informationnel de la production d'une forme peut être continu et/ou discontinu. La flouisation (*fuzzification*) de l'information crée donc des zones d'enchevêtrement où l'appartenance à deux ou plusieurs catégories de savoir-concevoir devient possible, voire souhaitable. Ces zones soulignent les passages que subirait une forme donnée sous l'effet des transformations géométriques qui lui sont appliquées, et par conséquent elles représentent un cheminement téléologique vers la solution du problème de conception donné. Ce simple exemple montre la richesse offerte par les ensembles flous pour la représentation des connaissances et surtout celles en rapport avec la vie quotidienne, où le vague, les nuances et l'imperfection des informations sont plutôt la règle.

La théorie des possibilités (TP) fut développée par Zadeh (Zadeh, 1978) pour représenter des contraintes et des conditions flexibles, inférées à partir d'informations vagues et décrites par des ensembles flous (Dubois et al., 2000, p.343). Une information est représentée par un couple (*Énoncé, Confiance*) où le premier terme désigne une information et le deuxième la confiance en cet énoncé. Une analyse plus fine de l'énoncé explicite son contenu en un triplet (*Objet, Attribut, Valeur*) (Dubois et Prade, 1988, p.7-8) (cf. Figure 5.3). De cette manière, la caractérisation de l'information se fait par quatre termes :

- Objet : ce terme représente une ou plusieurs entités affectées par l'énoncé ;
- Attribut : il représente une propriété de l'objet qualifiée par la valeur. Un énoncé peut contenir plusieurs attributs ;
- Valeur : elle désigne l'ensemble (quantitatif ou qualitatif) mis en correspondance avec

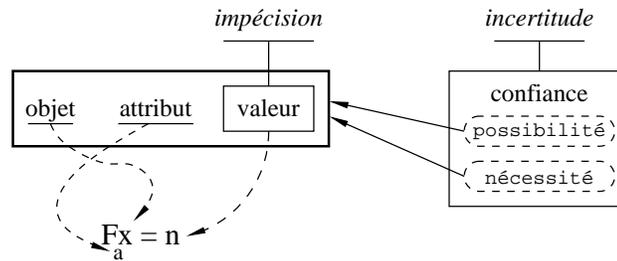


FIG. 5.3 – La structure de l'information possible.

- l'attribut. Le vague ou le flou qui caractérise une information se situe à ce niveau ;
- Confiance : ce terme mesure la conformité, l'adéquation, la similarité de l'énoncé par une échelle qui peut être établie par l'observateur.

Par une expansion des deux termes de l'énoncé, nous obtenons donc la forme suivante : $(((\text{Objet}, \text{Attribut}), \text{Valeur}), \text{Confiance})$. Cette formalisation articule les deux définitions de l'imprécision c'est-à-dire la présence d'une multitude de valeurs, et l'incertitude qui dénote la confiance dans la conformité de l'énoncé à la réalité ou à une échelle de croyance a priori.

La distinction introduite entre imprécision et incertitude caractérise l'aspect synthétique de la TP : les ensembles flous représentent l'imprécision et la confiance quantifie le contenu informationnel incertain portant sur cette imprécision. La confiance procède de deux notions interdépendantes : la possibilité et la nécessité. Pour clarifier la terminologie utilisée subséquentement, nous discutons quatre acceptions du terme possibilité (Dubois et al., 2000, p.354) :

1. La faisabilité réfère à la satisfaction de certaines contraintes données portant sur l'exécution et l'accomplissement d'une tâche. Cette acception prend sa signification dans la place qu'occupe la satisfaction dans l'espace, exhaustif et ordonné, constitué par les connaissances disponibles.
2. La plausibilité concerne la croyance en l'accord d'une constatation avec une référence donnée.
3. La consistance qualifie logiquement l'accord entre une information à traiter et un corps de connaissances considéré comme un domaine de validation. Cette information peut donc être contradictoire ou compatible par rapport à ce domaine.
4. La permissivité s'inscrit dans un cadre épistémologique et éthique. Elle dénote la résultante morale d'un nombre de règles et de contraintes qui gèrent et sanctionnent déontologiquement la production dans une discipline donnée. Cette thèse ne s'intéresse pas à cette acception.

De plus, la nécessité dénote trois acceptions :

1. Une contrainte inévitable ayant trait à la vérité d'un énoncé. Toutefois, l'admissibilité de cette vérité conserve son caractère temporaire dans l'inférence incertaine qu'est l'abduction.
2. Une condition absolue prérequise au déroulement de l'inférence. Dans le cas de la production d'une solution en conception architecturale, le caractère absolu des conditions prérequis appartient plutôt au contexte du problème.
3. L'impossibilité du contraire et l'absence totale des exceptions. Cette acception se rapproche de la première mais elle demeure très relative dans le cadre de la TP vu que cette théorie, de par ses postulats, considère la dialogie entre un énoncé et son contraire.

La possibilité et la nécessité décrivent l'état informationnel d'un observateur, d'un système ou, dans le cas de ce travail, d'un interprétant. Comment modéliser, qualifier et quantifier cet état ? Et quelle est la forme mathématique de l'interprétation incertaine dans la théorie des possibilités ?

5.3.2 Les distributions et les mesures de possibilité

Dans ce qui suit, les structures mathématiques suivantes sont utilisées : E un ensemble fini d'énoncés élémentaires e_1, e_2, \dots (parfois appelé le référent ou le domaine) ; 2^E l'ensemble fini des parties de E ; $A, B \in 2^E$ désignés par le terme énoncé ; $\bar{A}, \bar{B} \in 2^E$ les complémentaires respectifs de A et B dans E ; x une variable qui prend ses valeurs dans E ; \emptyset est l'ensemble vide. De plus, le terme « mesures de confiance » désigne les mesures de possibilité et de nécessité (Dubois et Prade, 1988, p.13-15). Par exemple :

$$\begin{aligned} E &= \{a, b, c\} \\ 2^E &= \{\{a\}, \{b\}, \{c\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{b, c\}, \{a, b, c\}, \{\emptyset\}\} \\ A &= \{a, c\} \quad \text{et} \quad \bar{A} = \{b\} \\ B &= \{a, b, c\} \quad \text{et} \quad \bar{B} = \{\emptyset\} \end{aligned}$$

Une distribution de possibilité π d'un ensemble E sur un intervalle $[0, 1]$ est une fonction entre les éléments e de E et cet intervalle. Elle affecte à chaque énoncé un nombre réel, entre 0 et 1, appelé degré de possibilité. Par conséquent, cette fonction ordonne les énoncés élémentaires sur cet intervalle entre une borne inférieure (la plus petite valeur affectée) et une autre supérieure (la plus grande valeur affectée). Dans le cas où l'intervalle est numérique, il est inclus dans l'ensemble des réels \mathbb{R} , mais la fonction peut aussi bien s'appliquer à des

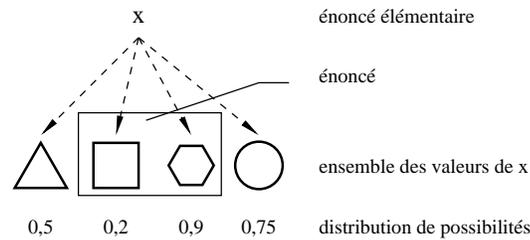


FIG. 5.4 – Un schéma d'une distribution de possibilités.

échelles symboliques ou un intervalle d'entiers. La distribution de possibilité est définie par (cf. Figure 5.4) :

$$\pi : e \in E \rightarrow [0,1] \quad (5.1)$$

La distribution de possibilité représente une distinction graduée entre les états de connaissance disponibles concernant un énoncé élémentaire donné (cf. Figure 5.5). Par exemple, dans cette figure, le référentiel est défini par un ensemble de longueurs métriques et la distribution concerne le critère « longueur moyenne ». De la sorte, la distribution reflète l'opinion subjective d'un observateur par rapport à un état de connaissance donné. Plusieurs états peuvent avoir simultanément la même valeur. Cette distinction est ordonnée entre deux limites : la possibilité et l'impossibilité :

- $\pi_x(e) = 0$: l'énoncé $x = e$ est impossible, exclu des choix ou du raisonnement ;
- $\pi_x(e) = 1$: l'énoncé $x = e$ est totalement possible, prévisible et non-surprenant ;
- $\pi_x(e) = 0,8$: l'énoncé $x = e$ est possible à un degré de 0,8 ;

- si l'ensemble E contient toutes les valeurs possibles de x , il est exhaustif. La normalisation d'une distribution assure, pour cet ensemble, qu'il existe au moins un énoncé élémentaire qui soit totalement possible :

si $\exists e \in E \mid \pi_x(e) = 1$, alors la distribution est normalisée.

Par ailleurs, une distribution de possibilité représente deux états de connaissance particuliers : (1) l'ignorance totale, si tous les énoncés élémentaires sont totalement possibles et (2) la connaissance totale, si un seul énoncé élémentaire est totalement possible et tous les autres sont totalement impossibles :

$$\forall e \in E, \pi_x(e) = 1 \text{ (ignorance totale)} \quad (5.2)$$

$$\exists e_i \in E \mid \pi_x(e_i) = 1 \text{ et } \forall e_j \in E, \pi_x(e_j) = 0 \text{ (connaissance totale)} \quad (5.3)$$

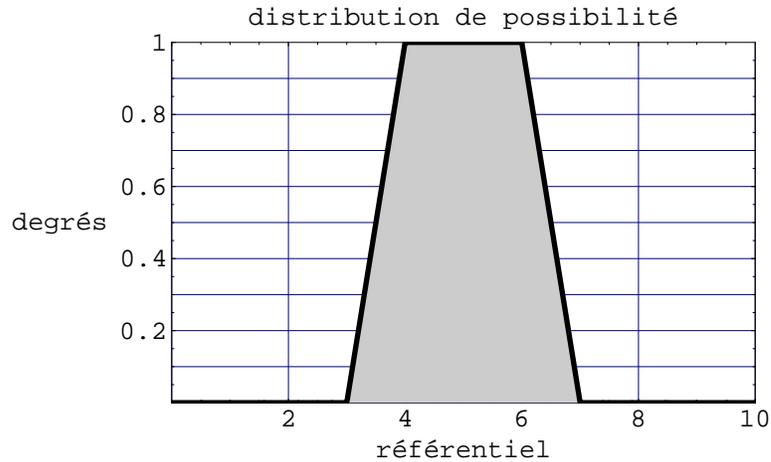


FIG. 5.5 – Une distribution de possibilité trapézoïdale.

Une mesure de possibilité Π sur E est une fonction définie par $\Pi : 2^E \rightarrow [0, 1]$. Elle affecte un degré de possibilité à chaque sous-ensemble de E et tel que

$$\Pi(\emptyset) = 0 \tag{5.4}$$

$$\Pi(E) = 1 \text{ (si elle est normalisée)} \tag{5.5}$$

La disjonction logique (ou l'union) de deux énoncés quelconques, $\forall A, B \in 2^E$, signifie que la possibilité de la proposition « A ou B » équivaut à la plus grande des deux mesures de possibilité concernées (cf. Figure 5.6). Par exemple, pour réaliser effectivement cette proposition, il suffit de réaliser l'énoncé le plus possible. La littérature dénote cette propriété par le terme *maxitivité* (*maxitivity*) ou *f-additivité* (*f-additivity*) (Dubois et al., 2000, p.354) :

$$\Pi(A \cup B) = \max(\Pi(A), \Pi(B)) \tag{5.6}$$

- si E est un ensemble fini, et sous la condition de la maxitivité, l'ordre créé par π sur les éléments de E permet de récupérer l'ordre sur les éléments de Π (Dubois et al., 1997, p.63). Alors, on peut construire Π à partir de la distribution π : la mesure de possibilité d'un sous-ensemble d'énoncés élémentaires équivaut au degré de possibilité le plus élevé parmi tous ses éléments :

$$\Pi(A) = \sup(\pi(e) \mid e \in A) \tag{5.7}$$

- la maxitivité se généralise à n'importe quel nombre de sous-ensembles de E à condition que ce dernier soit fini :

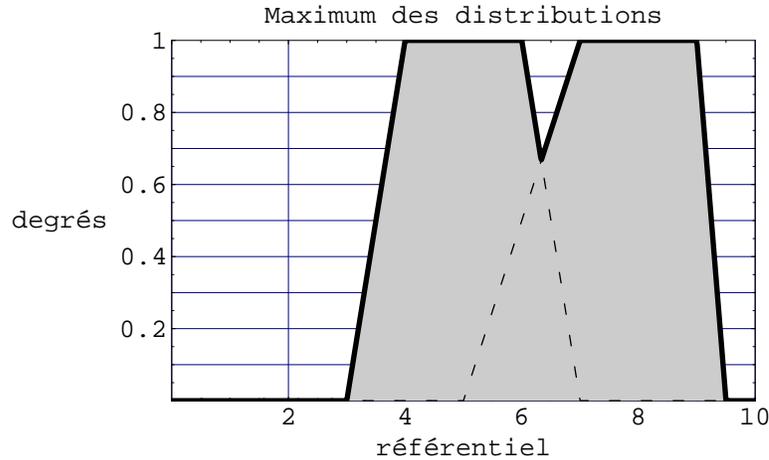


FIG. 5.6 – Le maximum de deux distributions de possibilités trapézoïdales (union).

$$\forall A_i \in 2^E, \Pi \left(\bigcup_{i=1,2,\dots} A_i \right) = \sup_{i=1,2,\dots} \Pi(A_i) \quad (5.8)$$

De même, la conjonction logique (ou l'intersection) de deux énoncés quelconques, $\forall A, B \in 2^E$, équivaut au degré de possibilité le moins élevé de leurs mesures de possibilités respectives (cf. Figure 5.7) :

$$\Pi(A \cap B) \leq \min(\Pi(A), \Pi(B)) \text{ théoriquement} \quad (5.9)$$

$$\Pi(A \cap B) < \min(\Pi(A), \Pi(B)) \text{ pratiquement} \quad (5.10)$$

- l'incompatibilité de deux énoncés quelconques exprime le fait qu'ils peuvent être possibles tout en étant *simultanément* impossibles :

$$\Pi(A) \neq 0, \quad \Pi(B) \neq 0, \text{ et } \Pi(A \cap B) = 0 \quad (5.11)$$

- deux énoncés contraires (complémentaires) dans 2^E peuvent avoir le même degré de possibilité ; la possibilité de l'un n'exclue pas celle de l'autre. Si deux énoncés contraires sont complètement possibles alors cette situation représente l'ignorance totale chez le sujet de l'inférence :

$$\Pi(A) = \Pi(\bar{A}) = 1 \quad (5.12)$$

De plus, l'application de la maxitivité au cas de l'ignorance rend explicite le fait quand deux énoncés opposés sont traités sur un même référent, au moins un est complètement possible.

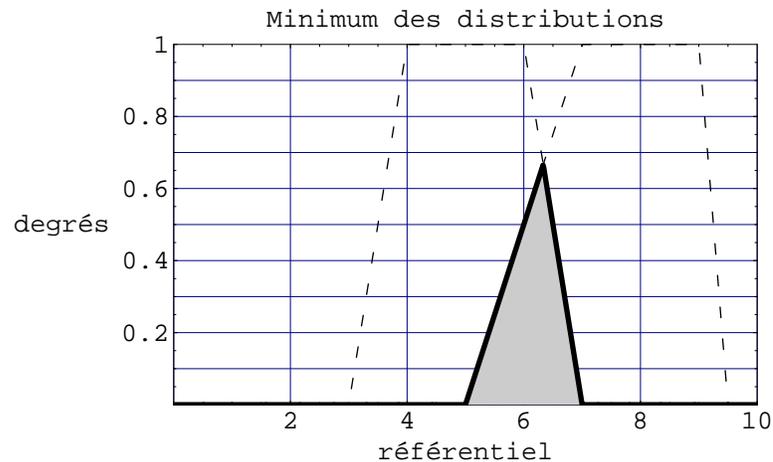


FIG. 5.7 – Le minimum de deux distributions de possibilités trapézoïdales (intersection).

Autrement dit, en considérant simultanément deux énoncés contraires, quand l'un n'est pas complètement possible, l'autre *doit* l'être :

$$\max (\Pi(A), \Pi(\bar{A})) = 1 \quad (5.13)$$

Par ailleurs, la maxitivité met en évidence une propriété importante de la théorie des possibilités : la faiblesse de l'influence du degré de possibilité d'un énoncé sur celui de son contraire : la connaissance de l'un ne détermine pas l'autre et la seule contrainte qui leur est imposée est :

$$\Pi(A) + \Pi(\bar{A}) \geq 1 \quad (5.14)$$

5.3.3 Les mesures de nécessité

La mesure de possibilité d'un énoncé informe sur le degré de sa conformité à une référence donnée. Dans certains cas, cette mesure qualifie ou quantifie l'étendue de la réalisation effective de l'énoncé, ou aussi l'amplitude de sa validité ainsi que la préférence d'un observateur par rapport à cet énoncé. Toutefois, elle ne transmet aucune information sur la certitude de ses conformité, étendue et amplitude.

Par exemple, ayant une mesure de possibilité normalisée, soit un énoncé A totalement possible avec $\Pi(A) = 1$. D'après l'Équation 5.12, $\Pi(\bar{A}) = 1$. Jusqu'ici, aucune des équations précédentes ne permet de représenter l'indétermination qui découle de cette ignorance. La mesure de nécessité comble cette lacune.

Une mesure de nécessité N sur E est une fonction définie par $N : 2^E \rightarrow [0, 1]$ et telle que

$$N(\emptyset) = 0 \quad (5.15)$$

$$N(E) = 1 \text{ (si elle est normalisée)} \quad (5.16)$$

– la disjonction (ou l'union) de deux mesures de nécessité :

$$N(A \cup B) = \max(N(A), N(B)) \text{ théoriquement} \quad (5.17)$$

$$N(A \cup B) > \max(N(A), N(B)) \text{ pratiquement} \quad (5.18)$$

– la conjonction (ou l'intersection) des mesures de nécessité de deux énoncés quelconques $\forall A, B \in 2^E$:

$$N(A \cap B) \leq \min(N(A), N(B)) \quad (5.19)$$

De plus, considérer que deux énoncés complémentaires soient simultanément nécessaires exprime l'incohérence dans l'inférence et par conséquent sa non-nécessité. La cohérence, qui exclue que deux énoncés contraires puissent être simultanément nécessaires, diffère de l'incompatibilité de deux énoncés quelconques (cf. Équation 5.11). Il suffit que l'un des deux énoncés complémentaires soit nécessaire pour que l'autre devient totalement non nécessaire :

$$\min(N(A), N(\bar{A})) = 0 \quad (5.20)$$

À l'instar des mesures de possibilité de deux énoncés complémentaires et d'après l'Équation 5.20, les mesures de nécessité de deux énoncés contraires sont reliés par une faible dépendance :

$$N(A) + N(\bar{A}) \leq 1 \quad (5.21)$$

5.3.4 Les relations entre les mesures de possibilité et de nécessité

Rappelons que pour un énoncé A , la mesure de sa possibilité quantifie le degré de sa conformité (ou amplitude, préférence, validité, faisabilité) par rapport à un état de connaissance donné et dans quelle mesure il existe au moins un élément dans A qui soit possible. La mesure de nécessité de ce même énoncé, quantifie le degré d'incertitude sur cette conformité (ou amplitude, préférence, validité, faisabilité) ; autrement dit, (1) dans quelle mesure aucun

élément extérieur à A n'est possible ou (2) dans quelle mesure, le fait d'avoir la distribution π implique une certitude sur A .

Les relations entre une mesure de possibilité et une mesure de nécessité développent la grammaire inférencielle examinée dans les paragraphes précédents. Les mesures de possibilité et de nécessité sont reliées par une double complémentarité : la nécessité d'un énoncé signifie l'impossibilité de son contraire (son complément) (cf. Équation 5.20). Cette complémentarité provient de la logique modale où la nécessité d'un énoncé est la négation de la possibilité de son énoncé contraire. Autrement dit, plus un énoncé devient nécessaire et moins son complément devient possible (Smets, 1994, p.25) :

$$\forall A \in 2^E, \Pi(A) = 1 - N(\bar{A}) \quad (5.22)$$

- ainsi, on obtient la mesure de nécessité d'un énoncé A à partir de cette complémentarité (cf. Équation 5.7) ; le terme *inf* désigne la borne inférieure obtenue par une opération donnée, autrement dit, le plus petit degré de nécessité obtenu par la soustraction :

$$N(A) = \inf(1 - \pi(e) \mid e \notin A) \quad (5.23)$$

- ou ce qui revient au même en remplaçant A par son complément \bar{A} :

$$N(A) = \inf(1 - \pi(e) \mid e \in \bar{A})$$

- la hiérarchie des mesures de possibilité et de nécessité d'un énoncé et leur composition respectent deux conditions :

$$\Pi(A) \geq N(A) \quad (5.24)$$

$$\max(\Pi(A), 1 - N(A)) = 1 \quad (5.25)$$

- de plus, un énoncé relativement possible, entraîne un manque de sa certitude et par conséquent de sa nécessité, mais l'inverse n'est pas vrai :

$$si \Pi(A) < 1 \text{ alors } N(A) = 0 \quad (5.26)$$

- tandis qu'un énoncé relativement nécessaire entraîne une confiance totale dans sa possibilité ; l'inverse n'est pas vrai :

$$si N(A) > 0 \text{ alors } \Pi(A) = 1 \quad (5.27)$$

Les cas où *au moins une* des deux mesures de possibilité et de nécessité d'un *seul* énoncé est totalement quantifiée, augmentent la capacité interprétative de la grammaire inférencielle de la théorie des possibilités :

- on est certain (ou assuré) de la validité (ou conformité ou réalisation) d'un énoncé :

$$\Pi(A) = 1 \quad \text{et} \quad N(A) = 1$$

- on est certain (ou assuré) de la validité (ou conformité ou réalisation) de l'énoncé contraire de celui qui est donné :

$$\Pi(A) = 1 \quad \text{et} \quad N(A) = 0$$

- on est *davantage certains* de l'énoncé contraire que de celui qui est donné :

$$\Pi(A) < 1 \quad \text{et} \quad N(A) = 0$$

- par ailleurs, le cas de l'ignorance totale (cf. Équation 5.12) peut se formuler autrement avec :

$$\Pi(A) < 1 \quad \text{et} \quad N(A) = 0$$

L'étude des rapports entre mesures de possibilité et mesures de nécessité explicite leur adéquation à la représentation d'un ensemble d'états de connaissance plus nuancés que ceux exprimés par chacune de ces mesures prise séparément. Un énoncé et son opposé sont faiblement reliés. Cette relation non déterministe constitue une marge interprétative qui enrichit l'espace des solutions d'un problème donné.

5.3.5 La distribution conjointe de possibilités

Les sous-sections précédentes analysent les distributions de possibilité pour une seule variable x dans un seul ensemble E . Il s'agit maintenant de complexifier les résultats ainsi obtenus, en étudiant les relations entre plusieurs variables sur plusieurs domaines. Le cas étudié est composé d'un nombre de variables x_i , où $i = 1, \dots, n$, qui prennent, respectivement, leurs valeurs dans n ensembles différents E_i d'énoncés élémentaires. Une distribution conjointe de possibilité π_{x_1, \dots, x_n} est une fonction définie sur le produit cartésien $E_1 \times E_2 \dots \times E_n$ (qui contient les n -uples (x_1, x_2, \dots, x_n)) et prend ses valeurs dans l'intervalle $[0, 1]$. Elle représente

le degré de possibilité de chaque n -uple et quantifie la restriction sur le lien entre tous ses termes (cf. Tableau 5.1) :

$$\forall (x_1, \dots, x_n) \in E_1 \times \dots \times E_n : \pi_{x_1, \dots, x_n}(x_1, \dots, x_n) \rightarrow [0, 1] \quad (5.28)$$

5.3.6 La distribution marginale de possibilités

La distribution conjointe de possibilité couvre toutes les variables de son produit cartésien. Pour calculer la restriction imposée à une variable par rapport à un domaine particulier, toutes les valeurs du produit sont projetées sur ce domaine. Alors la distribution marginale de possibilité de ce domaine est obtenue :

$$\pi_{x_i}(e_i) = \sup_{e_j, j \neq i} \pi_{x_1, \dots, x_n}(e_1, \dots, e_n) \quad (5.29)$$

Autrement dit, pour chaque énoncé élémentaire du domaine concerné, la projection identifie le plus grand degré de possibilité *sup* parmi les n -uples qui contiennent cet énoncé. La nouvelle distribution obtenue est appelée distribution marginale de possibilité. Par exemple, soit x et y deux variables sur deux ensembles d'énoncés élémentaires $E = \{e_1, e_2, e_3\}$ et $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, \}$, le Tableau 5.1 représente leur distribution conjointe où le nombre inscrit dans chaque case contient le degré de possibilité du couple (e_i, f_j) correspondant (e.g. $\pi_{EF}(e_3, f_4) = 0, 1$), et la distribution marginale par rapport à E après projection (e.g. $\pi_E(e_3) = 0, 9$). Dans ce cas, l'Équation 5.29 devient

$$\pi_E(e_i) = \max_{f \in F} (\pi_{EF}(e_i, f_j)) \quad (5.30)$$

- dans le cas général, il est possible de déduire que la distribution conjointe est inférieure ou égale au minimum des distributions marginales de tous les ensembles concernés :

$$\pi_{x_1, \dots, x_n} \leq \min(\pi_{x_1}, \pi_{x_2}, \dots, \pi_{x_n}) \quad (5.31)$$

- par conséquent, pour deux variables x et y , si l'égalité est vérifiée dans l'équation précédente (5.31), la distribution conjointe est dite *séparable* et les deux variables sont *non-interactives* (Dubois et al., 2000, p.365) :

$$\pi_{x,y} = \min(\pi_x, \pi_y) \quad (5.32)$$

E/F	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
e_1	0,8	0,5	0,7	0,4	0,6
e_2	0,3	0,5	0,2	0,5	0,1
e_3	0,8	0,9	0,7	0,1	0,2

projection
 \Rightarrow

E	
e_1	0,8
e_2	0,5
e_3	0,9

distribution conjointe *distribution marginale*

TAB. 5.1 – Les distributions de possibilités conjointe et marginale.

E	
e_1	0,8
e_2	0,3
e_3	0,2

projection
 \Rightarrow

E/F	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
e_1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
e_2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
e_3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

distribution de possibilité *extension cylindrique*

TAB. 5.2 – Exemple d'une extension cylindrique.

À noter le fait que la distribution conjointe puisse être égale au minimum de deux distributions de possibilité n'implique pas le fait inverse : le minimum de deux distributions de possibilité ne représente pas une relation ou une restriction entre elles.

5.3.7 L'extension cylindrique

À l'opposé de la distribution marginale qui, dans un produit cartésien de deux ou plusieurs variables, extrait la participation d'une variable en négligeant celles des autres, l'extension cylindrique impose la distribution de possibilité d'une seule variable à toutes les n -uples, (cf. Tableau 5.2).

$$\pi_{EF}(e_i, f_j) = \pi_E(e_i), \forall e \in E, \forall f \in F \quad (5.33)$$

Dans le cas de ce produit cartésien, l'extension cylindrique dénote, pour une variable, ici e_i , la distribution conjointe de possibilités la moins informative et la plus redondante.

5.3.8 La distribution conditionnelle de possibilités

Le conditionnement des possibilités raffine la fonction de la distribution conjointe (cf. Équation 5.32) et y ajoute la notion d'indépendance. L'état de croyance que possède un obser-

vateur, à moment de l'inférence, change avec l'acquisition de nouvelles connaissances. Le terme « révision de croyance » (*belief revision*) représente le processus de ce changement. La différence entre deux états de croyance successifs mesure la dépendance entre la nouvelle connaissance et la connaissance préalable. La littérature offre plusieurs définitions de la distribution conditionnelle (Dubois et al., 2000, p.368), (De Cooman, 1997), (Liau et Lin, 1996). Toutefois, il est possible d'élaborer une définition générale avec ses diverses représentations.

Soit deux énoncés A et B constitués par des énoncés élémentaires, alors une distribution conditionnelle de possibilité $\pi(a | b)$ quantifie le degré de possibilité de a , ayant constaté la possibilité de b et $\forall a \in A$ et $\forall b \in B$. Ainsi les deux énoncés A et B sont indépendants si

$$\pi(a | b) = \pi(a), \forall a \in A, \forall b \in B \quad (5.34)$$

De plus, une distribution conditionnelle dans un ensemble d'énoncés élémentaires est définie par rapport à la mesure de possibilité de cet ensemble. Elle représente la confiance accordée à un énoncé élémentaire sachant la mesure de possibilité de l'ensemble auquel il pourrait appartenir (Liau et Lin, 1996, p.166) :

$$\pi(x | A) = \begin{cases} 1 & \text{si } \pi(x) = \Pi(A), x \in A \\ \pi(x) & \text{si } \pi(x) < \Pi(A), x \in A \\ 0 & \text{si } x \notin A \end{cases} \quad (5.35)$$

De Cooman (De Cooman, 1997) étudie en détail le développement de la mesure de possibilité conditionnelle, les solutions proposées pour sa définition et son usage ainsi que les problèmes persistants de cette question. Le conditionnement d'une mesure de possibilité $\Pi(A | B)$ représente la dépendance entre deux énoncés : quelle serait la mesure de possibilité d'un énoncé A après avoir constaté la possibilité d'un autre énoncé B . La version possibiliste du théorème de Bayes donne :

$$\min(\Pi(A | B), \Pi(B)) = \min(\Pi(B | A), \Pi(A)) \quad (5.36)$$

– et suivant (Farinas del Cerro et Herzig, 1995, p.293) :

$$\begin{aligned} \Pi(A | B) &= 1 \quad \text{si } \Pi(A \cap B) = \Pi(A) \\ \Pi(A | B) &= \Pi(A \cap B) \quad \text{si } \Pi(A \cap B) < \Pi(A) \end{aligned}$$

– si A et B sont deux énoncés incompatibles (cf. Équation 5.11) alors :

$$\Pi(A | B) = 0 \quad \text{si} \quad A \cap B = \emptyset$$

– et par dualité, on obtient la nécessité conditionnelle :

$$N(B | A) = 1 - \Pi(\bar{B} | A)$$

5.3.9 La spécificité minimale

L'axiome fondamental de la théorie des possibilités est le principe de spécificité minimale (*minimal specificity principle*) (Dubois et al., 2000, p.358). Pour deux distributions de possibilités π et π' , si toutes les valeurs de π sont plus petites que celles de π' , π est plus spécifique et restrictive que π' : elle est plus informative. Un autre axiome est la monotonie continue de l'inférence : pour deux énoncés quelconques A et B , si B implique A (c'est-à-dire A est inclus dans B), alors on a, *au moins*, autant de confiance en B qu'en A (Dubois et Prade, 1988, p.13), f désigne une mesure de confiance (possibilité ou nécessité) :

$$A \subseteq B \Rightarrow f(A) \leq f(B)$$

5.3.10 Discussion de la théorie des possibilités

La théorie des possibilités offre une riche sémantique pour représenter et inférer des connaissances incertaines ainsi que pour exprimer des états informationnels tels que l'ignorance et la certitude totales, la nécessité et la possibilité d'une information. Elle traite un corps de connaissances imprécis et vague mais cohérent (Dubois et al., 2000, p.414). À travers cette flexibilité inférencielle et l'inclusion du tiers « exclu », elle s'adapte particulièrement bien à la conception architecturale. Elle structure la subjectivité du concepteur et maintient sa cohérence interprétative. Un autre avantage est traduit par le fait que les transformations monotones de l'échelle utilisée, par exemple l'intervalle $[0, 1]$, n'affectent pas la croyance dans les énoncés (Smets, 1994, p.25). En fait, l'ordre induit, sur les énoncés élémentaires, par les opérateurs *max* et *min* est conservé bien que les valeurs prises par la mesure de possibilité puissent varier d'un observateur à un autre. Notons ici une affinité entre cette théorie et la sémiotique, au niveau du rôle de l'ordinalité d'après l'ordre des catégories phanéroscopiques, la priméité, la secondéité et la tiercéité (cf. §3.2.2), ordre qui organise la représentation des connaissances choisies dans la réalité, par une inclusion continue et croissante. De plus, et surtout pour l'abduction architecturale, le parcours de cette inclusion par l'interprétant explicite les moments efficients de la matérialisation d'une solution.

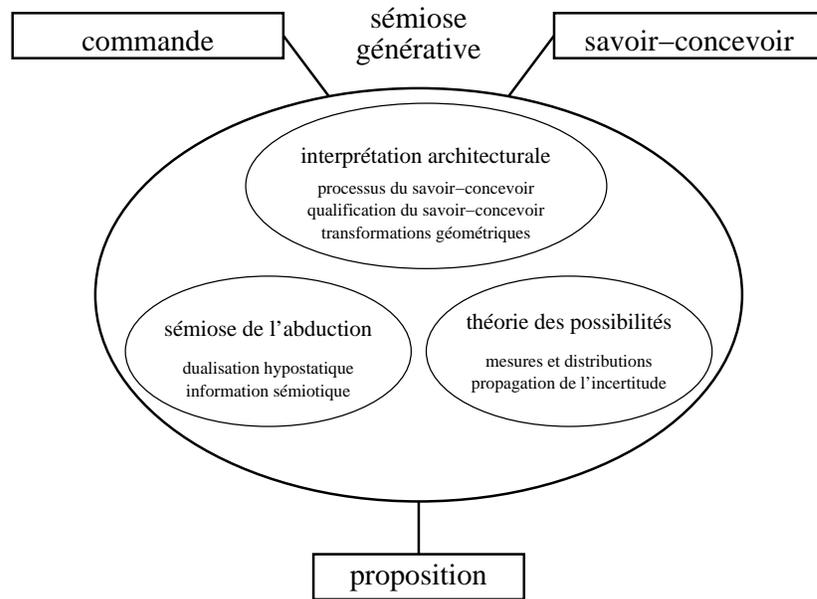


FIG. 5.8 – Le schéma conceptuel détaillé.

L'étude de la théorie des possibilités achève l'approfondissement du schéma conceptuel de la thèse (cf. Figure 5.8). Ce schéma fonde la sémiotique générative architecturale sur trois concepts fondamentaux : la modélisation de la forme sémiotique de l'abduction par l'intermédiaire de la dualisation hypostatique, la qualification de l'interprétation architecturale à travers les transformations géométriques du savoir-concevoir et la quantification possibiliste de cette interprétation. La section suivante décrit le fonctionnement général du modèle sémiotique de l'abduction basé sur ce schéma.

5.4 Le modèle sémiotique de l'abduction

Pour préparer le développement du modèle de la sémiotique abductive, il s'agit ici de clarifier le fonctionnement du noyau du schéma conceptuel constitué par la dualisation hypostatique (cf. Figure 5.9). Soit un signe quelconque qui sert de point de départ de la dualisation hypostatique. En un premier temps, l'application de la dualisation sur ce signe, appelé signe initial, fournit un deuxième signe appelé signe hypostatique. Ce signe se caractérise, temporairement, par la présence de l'interprétant du signe initial dans la relation du représentamen (hypostatique) à son objet. Autrement dit, l'*interprétant* initial se transforme en un *objet* du signe hypostatique, conformément à la forme sémiotique de l'abduction (cf. §3.4.4). À ce stade de la sémiotique générative, le représentamen et l'interprétant du signe hypostatique sont encore non identifiés. Néanmoins, et dans un second temps de la dualisation, ce représenta-

men hypostatique obéit à une contrainte de différenciation, qui le distingue du représentamen initial. La raison de cette distinction résulte de la nécessité, pour le représentamen hypostatique, de représenter maintenant une nouvelle relation synthétique entre le premier composant de l'objet hypostatique (l'interprétant initial) et une donnée supplémentaire introduite dans la sémiose par le recours aux connaissances antérieures : l'objet hypostatique doit être différent de l'objet initial et cette différence fonde le nouvel acquis qualitatif recherché par l'abduction. La participation du savoir-concevoir précédent sous la forme de la relation du représentamen à l'objet récupère, en effet, la capacité mnémonique inhérente à toute sémiose et autorise l'application d'une opération passée de savoir-concevoir sur l'interprétant dualisé. (cf. §4.5.2.5). En fait, cette relation deviendra, dans un troisième temps, l'objet hypostatique final produit par la dualisation. Concernant l'autre composant non identifié, l'interprétant hypostatique, il peut établir maintenant la détermination du représentamen hypostatique par l'objet hypostatique constitué par la relation synthétique précédente. Ce rôle de l'interprétant hypostatique ne diffère nullement de celui de l'interprétant en général, excepté que maintenant il devient un dicisigne et non plus un rhème. Par conséquent, l'interprétant hypostatique doit obéir aux règles de fonctionnement d'un sinsigne-indiciaire-dicent. En transformant l'interprétant initial en une composante possible d'une forme de relation, la dualisation hypostatique ouvre le champ à l'introduction régulée d'un savoir-concevoir précédent qui pourrait être validé et accepté en tant que solution à un problème.

La dualisation hypostatique formalise le champ des possibilités de participation d'un signe à un système de signes. En effet, la forme de relation, qui appartient à l'ensemble des dix déterminations possibles (cf. §4.5.2.3), ramène cette participation à la combinaison de deux signes. Cette capacité synthétique élémentaire introduit, dans l'interprétation, la prise en compte de la complexité de chaque signe participant (cf. §3.2.4.2) et explicite les conditions de la combinaison. Simultanément, la forme de relation met en évidence le rôle de la récursivité, inhérente à la définition d'un signe, dans les dix combinaisons possibles (cf. §3.2.4.2 et Figure 5.10).

À la figure 5.10, chaque dessin représente une classe de signes triadiques dont le rôle dans la synthèse est souligné par un ou plusieurs termes et dont le chiffre renvoie au numéro de cette classe dans l'hypersigne. Pour clarifier davantage ce rôle, l'on examine le dessin 3, c'est-à-dire la classe des sinsignes-indiciaires-rhématiques. Le schéma triadique du signe (cf. 3.1) affecte, généralement, à chaque corrélat élémentaire (du signe) un nombre de traits qui en indiquent la catégorie : un trait pour le représentamen (priman), deux traits pour la relation à l'objet (secondan) et trois pour la relation à l'interprétant (tertian) (cf. §3.2.2). Mais, pour refléter la particularité de chaque classe de signes, la nouvelle représentation graphique doit se complexifier. Ainsi, quand un représentamen, dénoté dans la figure par r , est un qualisigne,

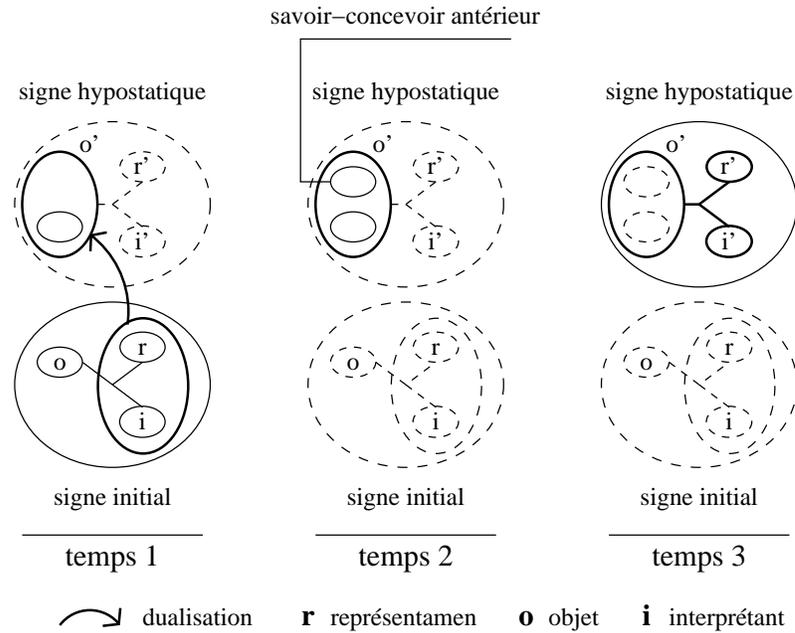


FIG. 5.9 – Le fonctionnement du modèle conceptuel.

il conserve son trait unique ; quand il devient un sinsigne, il sera représenté par deux traits, et quand il devient un légisigne, il sera exprimé par trois traits. Cette complexification s'applique aussi, de la même façon, à la relation avec l'objet (dénotté dans la figure par *o*) partant d'une icône (un trait), passant par un indice (deux traits) et aboutissant au symbole (trois traits), et à celle avec l'interprétant (dénotté dans la figure par *i*) débutant par un rhème (un trait), passant par un dicent (deux traits) et finissant en un argument (trois traits). Donc, le cercle tireté croise toujours trois groupes, chacun pouvant avoir un, deux ou trois traits : un groupe pour le représentamen, un autre pour la relation à l'objet et le dernier pour la relation à l'interprétant. Dans l'exemple choisi ici, la classe des sinsignes-indiciaires-rhématiques prend la forme d'un cercle avec deux traits pour le sinsigne, deux traits pour l'indice et un trait pour le rhème. Ce qui veut dire que le cercle avec ses intersections, dans tous les dessins de cette figure, n'est en fait qu'une autre représentation, augmentée, du signe triadique. L'augmentation met en évidence que chaque corrélat d'un signe (un des trois groupes de traits à l'intérieur du cercle tireté) peut faire partie d'un autre signe différent (dessiné selon le schéma en fourche, à l'extérieur du cercle).

Ce graphisme montre, d'un côté, comment chaque signe peut être relié, au moins, à trois autres signes, qui seraient à leurs tours reliés à d'autres, dans un réseau en constante expansion, et d'un autre, il exprime la capacité synthétique d'un signe mieux que la représentation matricielle précédemment utilisée (un tableau de 3 x 3 carrés).

Au moment initial, la sémiose se concentre sur les liens situés à l'intérieur du cercle tireté, mais au moment suivant, elle considère les relations que les liens extérieurs au cercle pourraient entretenir avec d'autres signes pour aboutir de la sorte à un réseau de signes. Cette formalisation de la récursivité synthétique du Signe est une contribution originale de la thèse. Par exemple, relier deux signes quelconques par une analogie se fait à l'aide d'une réplique d'un légisigne-iconique-rhématique (un sinsigne-iconique-rhématique) (cf. le signe 5 dans la figure 5.10). Même si les deux signes appartiennent à deux classes différentes, le fait de décider de les relier par une analogie réduit la complexité du nouveau signe (le sinsigne-iconique-rhématique) à son strict minimum : il est un signe qui relie par une analogie (iconicité). À noter dans la synthèse de ces deux signes, le caractère opératoire de la complexité relative de chaque composant du signe (représentamen, objet, interprétant), selon trois grades : faible, moyenne et élevée (cf. §3.2.4.2). Bien que les deux signes puissent avoir deux complexités différentes, l'opérationnalisation impose la désignation d'une nouvelle complexité basée sur l'analogie, ce qui revient à dire que le nouvel interprétant établit une équivalence minimale entre les deux complexités respectives des deux signes. Par conséquent, la complexité du nouveau signe (le sinsigne-iconique-rhématique) se trouve au moins égale à la plus petite des deux signes initiaux. À noter qu'il n'y a pas de contradiction entre l'utilisation de la complexité minimale, mise en œuvre ici pour trouver le plus petit caractère commun à deux signes, et l'application de la complexité maximale pour trouver une classe sémiotique qui puisse couvrir le résultat de la combinaison de deux signes (cf. §4.6.5).

Le modèle sémiotique de l'abduction explicite le processus de la récupération et la restitution d'un savoir-concevoir antérieur dans la production d'une nouveauté. Il garantit la cohérence de la sémiose abductive en conférant le même caractère sémiotique à l'élargissement hypostatique du champ de l'interprétation architecturale. Les transformations apportées par la dualisation à la structure d'un signe, circonscrivent le processus de l'émergence possible d'une nouvelle information ; émergence conditionnée par l'intervention de l'interprétant. Le fait que ce modèle offre une formalisation de l'intervention du concepteur ne contraint pas le choix à un ensemble prédéfini de solutions mais conserve toute la marge de subjectivité nécessaire à l'acte de conception : la sélection de l'opération de transformation des connaissances antérieures n'est limitée que par ces connaissances. La section suivante décrit l'architecture du modèle sémiotique et argumente sa faisabilité en tant qu'outil d'aide à la conception architecturale.

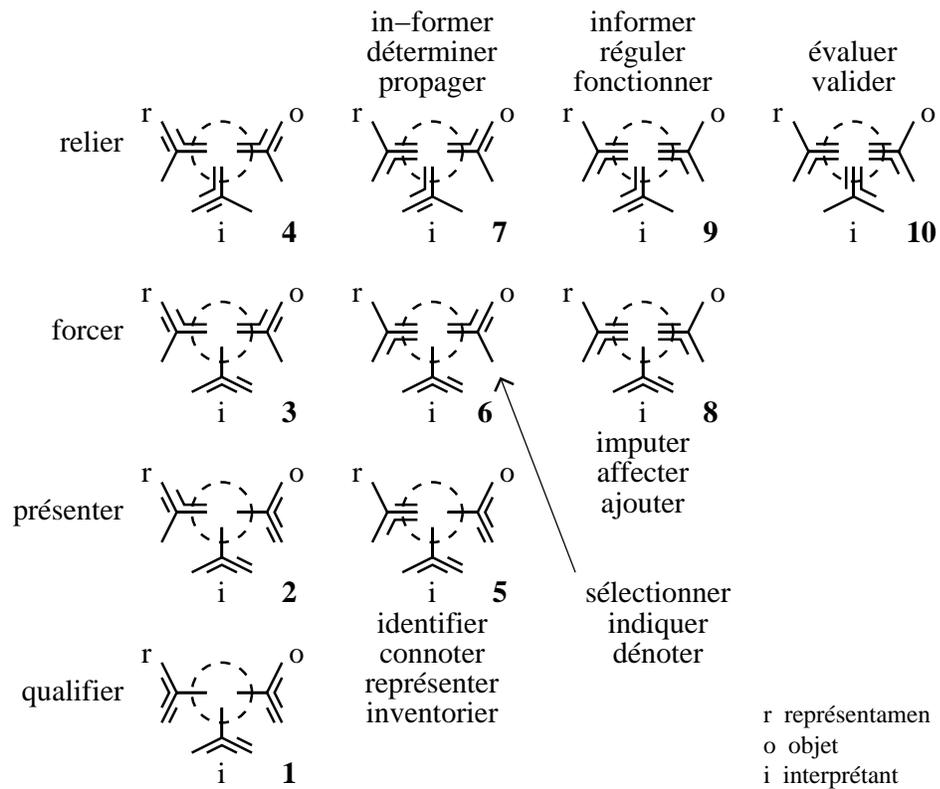


FIG. 5.10 – Les possibilités de combinaison des signes.

5.5 L'architecture du modèle sémiotique

Le modèle reprend les concepts sémiotiques élaborés dans le Chapitre 3, le savoir-concevoir architectural tel que caractérisé dans le Chapitre 4, et en particulier, la dualisation hypostatique de la sémiose abductive ainsi que la classification sémiotique des transformations géométriques, et les modélise à l'aide des outils de la théorie des possibilités. L'objectif pratique du modèle répond à une nécessité d'appuyer le processus de la conception architecturale dans ses phases initiales où les idées principales d'un projet sont explorées. Cette section décrit la structure du modèle, ses composantes et son fonctionnement.

5.5.1 La structure de l'hypersigne synthétique

Deux développements fondamentaux dans cette thèse autorisent l'utilisation du terme hypersigne synthétique pour décrire la structure générale du modèle. D'abord, la sémiose synthétique et générative (cf. §3.4.1 et §4.5) qui comble une lacune présente dans les recherches sémiotiques. Celles-ci pourraient être qualifiées, dans leur majorité, de recherches en sémiose analytique. À ce développement s'ajoute celui de la dualisation hypostatique (cf. §4.5.2) qui fournit une forme opératoire de la sémiose abductive. La description de la structure fonctionnelle du modèle débute par les dix classes triadiques (cf. §3.2.4.1) et met en évidence leurs caractéristiques synthétiques ; la Figure 4.11 met en correspondance les classes sémiotiques et les opérations géométriques architecturales.

5.5.1.1 Le qualisigne-iconique-rhématique

Ce signe représente une qualité. Celle-ci n'a pas une existence matérielle ; elle demeure conceptuelle. La progression de la sémiose synthétique, et d'ailleurs, la sémiose analytique, ressort essentiellement de l'identification de cette qualité. Un cycle de sémiose synthétique traite fondamentalement une qualité à la fois, ce qui revient à dire que remplacer une qualité par une autre implique l'ajout d'un deuxième cycle sémiotique qui, soit approfondit le précédent, soit le remplace. Dans la représentation du savoir-concevoir architectural, le qualisigne-iconique-rhématique correspond à un principe premier.

5.5.1.2 Le sinsigne-iconique-rhématique

Un sinsigne-iconique-rhématique concrétise, par une analogie, un qualisigne-iconique-rhématique. Le sinsigne-iconique-rhématique résulte d'une constatation et/ou d'une intention d'exprimer une affinité entre un représentamen et son objet. Cette affinité réside dans la matérialité de ce signe ; c'est une affinité intrinsèque. Il est toujours possible d'exprimer cette affinité par un autre sinsigne-iconique-rhématique et cette possibilité confère le caractère rhématique (possible et contingent) à cette classe de signes. Par exemple, un sinsigne-iconique-rhématique « cube en bois » connote le matériau « bois ». Mais quand on considère ce même sinsigne sous l'aspect « inflammabilité », on change le qualisigne-iconique-rhématique qu'il contient. De la sorte, le qualisigne-iconique-rhématique « bois » est remplacé par un qualisigne-iconique-rhématique « inflammabilité ». En fait, le sinsigne-iconique-rhématique synthétise plusieurs qualisignes-iconiques-rhématiques en un sous-système élémentaire du modèle, c'est-à-dire, un même sinsigne-iconique-rhématique peut impliquer plusieurs qualisignes. Mais il réduit la connotation de ce système à un seul qualisigne-iconique-rhématique auquel il affecte, pendant la sémiose courante, le caractère le plus primordial de l'inférence.

5.5.1.3 Le légisigne-iconique-rhématique

Un légisigne-iconique-rhématique, dont la réplique est un sinsigne-iconique-rhématique, relie par affinité intrinsèque plusieurs sinsignes-iconiques-rhématiques. Il établit l'analogie entre deux sinsignes-iconiques-rhématiques ou plus et stipule qu'un seul qualisigne-iconique-rhématique puisse appartenir à plusieurs sinsignes-iconiques-rhématiques. Cette classe de légisignes inventorie les connotations propres d'un seul sinsigne-iconique-rhématique en comparant le signe présent à un ensemble de qualités connues. De plus, une réplique d'un légisigne-iconique-rhématique contient la propriété d'être analogue à une autre. Par exemple, ce légisigne identifie un cube en bois à une sphère ayant cette même qualité, sans égard à l'essence de la matière ligneuse. Par ailleurs, peut-il, à partir de la description (architecturale) d'un qualisigne-iconique-rhématique, identifier les autres qualisignes-iconiques-rhématiques qui lui ressemblent, et de là, obtenir les sinsignes-iconiques-rhématiques qui contiennent ces qualités. Aussi, par l'opération inverse, peut-il prendre un seul sinsigne-iconique-rhématique, pour ensuite rechercher ses qualisignes-iconiques-rhématiques correspondants et obtenir de cette façon ses qualités possibles. Un légisigne-iconique-rhématique exprime les intensions possibles d'un sinsigne-iconique-rhématique (cf. §3.3.5.1).

5.5.1.4 Le sinsigne-indiciaire-rhématique

Un sinsigne-indiciaire-rhématique signifie une relation réelle, extrinsèque mais possible entre le représentamen et l'objet, matérialisée par un sinsigne-iconique-rhématique. Il existe une propriété matérielle dans ce signe qui le prédispose à entrer en relation concrète avec d'autres signes ; il dénote un raccordement qui pourrait être imposé, entre un représentamen donné et un autre. Par exemple, la porte d'un édifice qui indique l'endroit de l'accès, une toiture inclinée pour faciliter l'écoulement de l'eau de pluie. En effet, un sinsigne-indiciaire-rhématique véhicule un sinsigne-iconique-rhématique sélectionné, parmi d'autres, pour signifier cette relation matérielle possible à l'objet d'un signe. Voir aussi le paragraphe suivant sur le légisigne-indiciaire-rhématique.

5.5.1.5 Le légisigne-indiciaire-rhématique

Un légisigne-indiciaire-rhématique, dont la réplique est un sinsigne-indiciaire-rhématique, constate les relations réelles, extrinsèques et possibles, d'un sinsigne-iconique-rhématique avec un autre signe (extérieur au moment présent de la sémiose). Ce légisigne dénote comment la qualité représentée par le sinsigne-iconique-rhématique en question peut être matériellement et physiquement reliée à une autre qualité d'un autre signe. À noter, que ce signe introduit le premier niveau de relation extrinsèque dans la sémiose. Les classes précédentes dans la hiérarchie de l'hypersigne synthétique traitent uniquement des relations intrinsèques appartenant au signe considéré. Un légisigne-indiciaire-rhématique construit une structure vide faite de plusieurs sinsignes-indiciaires-rhématiques. La réplique d'un légisigne-indiciaire-rhématique, contient la possibilité de participer à une structure. Cette structure regroupe des raccordements possibles entre le signe courant et d'autres signes potentiels ; Un légisigne-indiciaire-rhématique exprime les extensions possibles d'un sinsigne-indiciaire-rhématique (cf. §3.3.5.1).

À ce qui précède, le légisigne-indiciaire-rhématique ajoute une autre dimension synthétique. Il organise les trois composants d'un signe, représentamen, objet et interprétant, dans un nouveau signe, selon leurs complexités respectives (cf. §3.2.4.2). La complexité d'une réplique d'un légisigne-indiciaire-rhématique est plus grande que celle d'un sinsigne-indiciaire-rhématique qui n'en est pas une. Par ailleurs, un légisigne-indiciaire-rhématique désigne le contexte possible de la présence du signe considéré. Dans le modèle sémiotique de l'abduction, l'ensemble des liens entretenus par un signe avec les autres signes présents reflète ce contexte admissible ; le lien étant une détermination externe entre les classes avoisinantes de l'hypersigne prises deux à deux. Concrètement, un légisigne-indiciaire-rhématique affectant

deux signes reliés, transforme le signe avec la moindre complexité, en un représentant d'un nouveau signe, et l'autre devient l'objet de celui-ci.

5.5.1.6 Le légisigne-symbolique-rhématique

Un légisigne-symbolique-rhématique, dont la réplique est un sinsigne-indiciaire-rhématique (différent de la réplique d'un légisigne-indiciaire-dicent), construit une synthèse possible en remplissant la structure vide créée par un légisigne-indiciaire-rhématique. Le remplissage se fait par différents sinsignes-indiciaires-rhématiques. D'un point de vue synthétique, le légisigne-symbolique-rhématique définit une règle de combinaison des qualités identifiées par un légisigne-iconique-rhématique et structurées par un légisigne-indiciaire-rhématique et explicite la propriété émergente possible de l'organisation de ces sinsignes-indiciaires-rhématiques ; une propriété extérieure à la réalité matérielle du signe. Cette propriété est la même, dans une certaine limite, pour toute structure analogue ou similaire. Les qualités d'une réplique de cette classe de légisignes sont modifiables dans le respect de la propriété émergente. Autrement dit, cette classe établit une possible analogie émergente par une sélection conventionnelle de qualités.

5.5.1.7 Le sinsigne-indiciaire-dicent

Un sinsigne-indiciaire-dicent désigne une information contextuelle unique, portant sur la relation réelle et extrinsèque, entretenue par ce signe et un autre. Cette information est réellement partagée par ces deux signes dont le premier est le seul à être considéré, au moment présent de la sémiose. Il représente le choix arrêté du concepteur sur la matérialisation spécifique d'une qualité (ou plutôt d'une partie de la solution au problème de conception). Chaque sinsigne de cette classe informe, par un sinsigne-iconique-rhématique qu'il contient, sur un qualisigne-iconique-rhématique sur lequel il attire l'attention par un sinsigne-indiciaire-rhématique. Cette information, bien que réduite à la simple relation de transitivité, valide la participation d'une qualité recherchée à une combinaison (ou agrégation ou structure) de qualités déjà validées et acceptées pour la solution du problème.

5.5.1.8 Le légisigne-indiciaire-dicent

Un légisigne-indiciaire-dicent impose la propagation d'une information à travers plusieurs de ses répliques (sinsignes-indiciaires-dicents) connectées selon un nombre de relations extrinsèques sélectionnées. Cette information provient de la matérialité du signe pour être véhicu-

lée. Chaque réplique conserve son propre contenu informationnel et la propagation déduit la résultante (par exemple, somme et/ou produit) de leurs interactions. Le fonctionnement de cette classe de signes dépend effectivement de l'organisation ; tout changement dans cette dernière amène une altération de la propagation informationnelle.

De plus, ce légisigne indique une validité d'existence simultanée de deux informations, ou plusieurs, dans une seule structure de la solution au problème de conception. La présence de l'une implique physiquement celle de l'autre. Ce signe assure que l'implication matérielle d'une relation passe à une deuxième relation. Autrement dit, le résultat de la composition de deux déterminations réelles est une détermination réelle. Les deux déterminations n'ayant pas nécessairement le même contenu. Conséquemment, la propagation de l'information dans l'hypersigne subdivise celui-ci en régions d'affinités et de compatibilités informationnelles, ainsi que de validité d'un signe-information. L'action synthétique d'un légisigne-indiciaire-dicent combine réellement les structures des répliques des légisignes-indiciaires-rhématiques. Elle établit leurs signes communs qui expriment les modes de transmission entre deux régions informationnelles distinctes.

5.5.1.9 Le légisigne-symbolique-dicent

Un légisigne-symbolique-dicent représente la propriété émergente réelle de la synthèse de plusieurs sinsignes-indiciaires-dicents qui sont ses répliques. Il indique une clôture du cycle courant de la sémiose ; la synthèse de la solution du problème prend une forme concrète et temporairement achevée. Cette classe de signes définit par quelle convention une information réelle est mise en rapport avec son objet et par conséquent, tout changement dans la relation symbolique représentamen-objet constitue une modification de la structure globale qui relie toutes ces répliques. La propriété émergente de la structure sélectionnée, où cette information se propage, est maintenant « informée » et peut être validée.

Un légisigne-symbolique-dicent assure une constance de l'information et du fonctionnement de ses répliques, une régularité de l'interprétation du signe considéré, une cohérence de la propagation informationnelle et une concrétisation de la propriété émergente résultant de la composition de plusieurs qualités. De plus, ce signe certifie que la présence d'un ensemble de qualités régulées par un système de mesures produit la même information. Enfin, il identifie la qualité émergente des déterminations d'un ensemble de qualités co-présentes. Autrement dit, un légisigne-symbolique-dicent représente une propriété globale d'un système de mesures choisies.

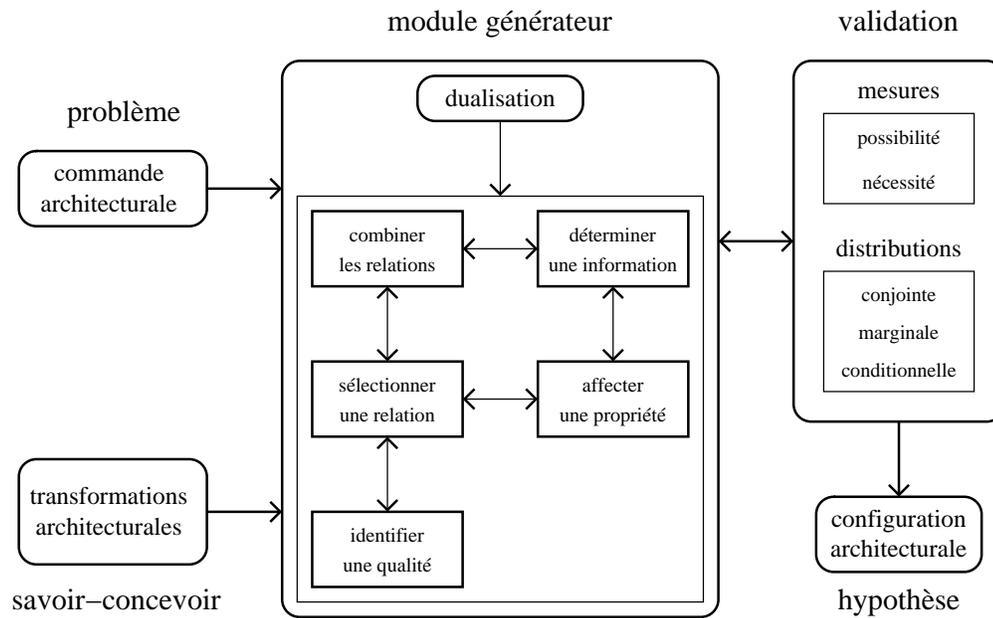


FIG. 5.11 – L'architecture du modèle.

5.5.1.10 Le légisigne-symbolique-argumental

Un légisigne-symbolique-argumental représente une rétroaction générale et un retour sur l'acte de synthèse, c'est-à-dire une évaluation du cycle sémiotique ; le Signe réfléchit sur lui-même. Ce légisigne examine la synthèse résultante du fonctionnement du modèle et marque la fin d'un premier moment de sémiologie, analytique ou synthétique, où le concepteur considère que son œuvre est achevée. Par le développement d'un légisigne-symbolique-argumental et de ses répliques (sinsignes-indiciaires-dicents), le concepteur critique le résultat concret de sa synthèse. En effet, cette classe de légisignes élabore le processus conventionnel de validation de l'information véhiculée par un sinsigne-indiciaire-dicent : une réplique d'un légisigne symbolique-argumental valide l'information d'un sinsigne-indiciaire-dicent concernant un qualisigne-iconique-rhématique.

Les six classes légisignes assurent les fonctions primordiales du modèle. Elles suivent une hiérarchie d'application résultant de la structure même de l'hypersigne. Ainsi, l'utilisation du légisigne-symbolique-argumental implique celles du légisigne-symbolique-dicent et du légisigne-symbolique-rhématique. À leur tour, ces deux classes impliquent le fonctionnement d'autres classes. La figure 3.8 offre une description complète de l'organisation de l'implication.

Par ailleurs, un signe représente une propriété unique de la donnée du problème, ou des connaissances disponibles dans le système ou de la solution abductive. Chaque signe a un degré attribué par une mesure de possibilité et de nécessité, selon le cours de l'inférence. Il est connecté à ses voisins immédiats dans le diagramme auquel il appartient. Une connexion est toujours bidirectionnelle et bifonctionnelle, de cette manière le signe peut accéder aux autres voisins par une composition successive des modalités et par conséquent il subit une transformation de sa mesure de possibilité. Rappelons qu'une modalité de l'hypersigne dénote le passage d'une classe de signe à une autre (cf. 3.11) et l'application d'une opération interprétative, et qu'un hypersigne possède six types de modalités : la généralisation, la transposition, la matérialisation, l'instanciation, la virtualisation et la régression. Dans un diagramme, chaque signe est relié à un autre par deux modalités différentes ; celles-ci s'appliquent aux distributions de possibilités contenues dans les sous-signes de ce signe, et par conséquent à ses mesures de confiance. Chaque sous-signes modélise l'état d'un composant triadique d'un signe soit : un représentamen, ou un objet ou un interprétant (cf. Tableau 3.1). Les opérations informationnelles développées à la Sous-section 3.3.5.2 (extension, restriction, détermination, etc.) s'appliquent au degré de possibilité d'un signe.

5.5.2 Le diagramme

Après avoir identifié les fonctions principales du modèle, leurs domaines d'applications dans l'hypersigne et leur organisation, il s'agit d'élaborer, en ce qui suit, la structure des signes qui y sont traités. Un diagramme, composé d'un seul ensemble *connexe* de plusieurs signes et de leurs modalités, représente l'intrant principal du modèle. L'implication hiérarchisée des classes autorise la désignation d'un diagramme par son signe le plus complexe (cf. §3.2.4.3).

D'un point de vue pratique, un diagramme contient la description minimale d'une information utile représentée dans le modèle. Pour qualifier un diagramme, le modèle utilise deux notions : la somme et le produit d'un diagramme (Marty, 1990, p.242-245) (cf. Figure. 5.11) :

- puisque la structure d'un diagramme est représentée par un treillis, déterminer le produit d'un diagramme revient à identifier la plus petite classe qu'il contient dans la hiérarchie de l'hypersigne (cf. Figure. 3.6), c'est-à-dire un qualisigne-iconique-rhématique. En fait, le produit traduit une autre contrainte de l'implication qui concerne la construction cumulative d'un diagramme : celle-ci débute toujours par cette classe de signes fondamentale. De cette manière, le produit représente une propriété partagée par tous les signes d'un diagramme et reflète un degré minimal de nécessité de leur ensemble ;
- la somme d'un diagramme est la plus grande classe de signes incluse dans ce dia-

gramme, et par conséquent la propriété qu'elle contient qualifie l'interaction de ces signes. Par dualité du produit, la somme désigne le résultat possible des modifications appliquées séquentiellement, par les signes de ce diagramme, à sa qualité principale. Autrement dit, c'est la différence maximale des mesures de possibilités entre la contribution des signes considérés séparément (sans leurs interactions), et l'effet de leurs interactions. À noter que la dualisation hypostatique s'applique à la somme d'un diagramme.

Les huit types de transformations architecturales de la WARTIME HOUSING LIMITED (WHL) (cf. §4.6.2) possèdent en commun un certain nombre d'éléments architecturaux dont la mise en correspondance respective avec l'hypersigne synthétique se traduit par cinq diagrammes sémiotiques. Dans le modèle, chaque diagramme représente un type de connaissances illustrés à la Figure 5.12.

Le diagramme du légisigne-iconique-rhématique (cf. Figure 5.12(a)) prend en charge la représentation de plusieurs éléments architecturaux tels que le carré parallélépipédique de la maison, la toiture à deux versants, et même la répétition d'un élément dans une seule maison, tel que les lucarnes. Il s'agit de la reconnaissance d'une caractéristique donnée.

Le diagramme du légisigne-indiciaire-rhématique (cf. Figure 5.12(b)) regroupe les éléments architecturaux, tels que l'auvent, le porche, la toiture, l'extension du plan de la toiture, l'extension volumétrique horizontale ou verticale, la lucarne, etc. dont l'existence indique la présence d'un autre élément. En fait, ce diagramme dénote une relation causale entre deux éléments, qui provient de la configuration matérielle qui les unit sans égard à un système de mesures ou de conventions. Par exemple, le fait d'envisager une extension volumétrique horizontale implique la pré-existence d'un volume initial auquel s'applique cette opération.

La qualité d'une forme architecturale résulte de l'application d'un système de règles, représenté par le diagramme du légisigne-symbolique-rhématique (cf. Figure 5.12(c)), qui contraint cette forme à exprimer une propriété de par son appartenance à une classe d'objets architecturaux. Néanmoins, cette appartenance ne spécifie pas les conditions physiques requises pour matérialiser chaque objet et n'exige qu'une ressemblance générale entre les instances de cette classe. Le diagramme ne concerne pas l'unicité ou l'individualité de la forme architecturale en considération ; tout ce qu'il peut suggérer se résume par une qualité émergente, créée par un système minimal de conditions (géométriques, physiques, etc.). Par exemple, la perpendicularité, en tant que contrainte de positionnement spatial de deux objets, affecte l'orientation

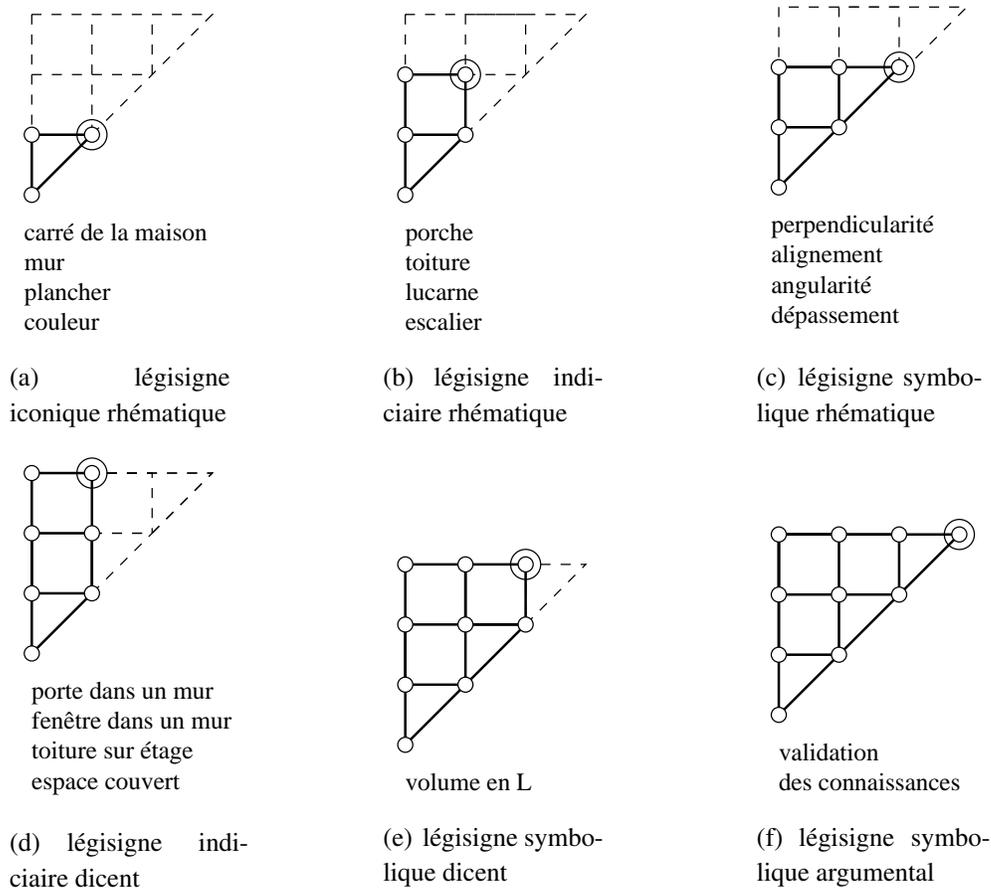


FIG. 5.12 – Exemples de diagrammes sémiotiques architecturaux des habitations WHL.

de chacun d'eux pour que l'angle formé par deux axes abstraits, choisis respectivement dans ces objets, soit dans un angle plan de 90 degrés. Mais l'orthogonalité, observée dans l'agencement concret de deux objets, est indépendante de la matérialité propre de chaque objet ; c'est selon cette acception qu'il faut comprendre la notion de qualité émergente. Ce diagramme représente d'autres contraintes géométriques comme l'alignement et l'angularité, etc.

L'agencement de deux composantes architecturales suit une condition physique nécessaire à son bon fonctionnement. Le diagramme du légisigne-indiciaire-dicent (cf. Figure 5.12(d)) signifie que cette détermination réelle existe d'une manière inconditionnelle par rapport aux systèmes de conventions et de règles. D'un côté, le lien physique imposé aux deux composantes peut être asymétrique, c'est-à-dire l'une des deux, de par sa matérialité, crée ce lien et influence l'existence de la deuxième. Par exemple, l'extension d'un étage supérieur en porte-à-faux recouvre un espace juxtaposé à l'étage inférieur. Dans ce cas, la création d'un espace couvert est conditionné physiquement par l'étage supérieur. D'un autre côté, cette détermination physique peut être symétrique comme dans le cas d'un escalier. Ici, cet élément architectural établit un passage bidirectionnel entre un étage inférieur et un autre supérieur. La symétrie peut être généralisée à d'autres types d'espaces de circulation. Ce diagramme recouvre aussi les systèmes d'accès et d'ensoleillement, de superposition d'éléments et d'extensions physiques des espaces, l'intersection de deux espaces...

Considérée à travers le diagramme du légisigne-symbolique-dicent (cf. Figure 5.12(e)), la production d'une qualité spatiale obéit à deux types de contraintes. Le premier type concerne les conventions sociales, économiques, et surtout géométriques, qui fixeront la forme de cette qualité. Le deuxième type affecte l'anticipation de l'usage de l'espace souhaité après sa construction. En effet, ce diagramme assure, voire impose, une concordance entre l'intention de l'architecte et le comportement de l'utilisateur en présence de ou dans cet espace. Toutefois, la prise en compte des deux types introduit implicitement dans la sémiologie de la conception architecturale, la dépendance de l'occupation et de l'utilisation aux systèmes de règles : le changement d'une norme peut influencer le fonctionnement de l'espace conçu. Par exemple, dans le cas de la villa en « L » de la WHL (cf. §4.6.2.8), la réduction de la longueur de l'extension affecte l'usage du volume délimité par les deux bras du « L » : d'une terrasse de séjour extérieur et habitable, ce volume se transforme en un simple porche d'entrée latéral, utilisé pour marquer l'accès et protéger la façade des intempéries.

Enfin, le diagramme du légisigne-symbolique-argumental (cf. Figure 5.12(f)) concerne d'une façon générale, la validation des fondements et des connaissances scientifiques utilisés dans les autres diagrammes. En fait, il possède un rôle épistémologique qui assure la cohérence de

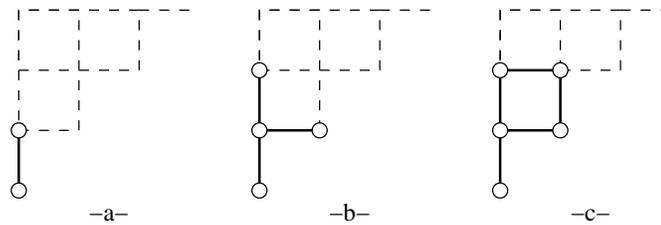


FIG. 5.13 – Les diagrammes abductifs.

tous les systèmes de références engagés dans la production architecturale.

La place prépondérante occupée par la notion de diagramme rappelle qu'un signe n'existe que dans un système de signes (cf. §3.2.1.2) et que la présence d'un signe implique les signes dont il est la somme. La constatation du rôle de la somme affecte les rapports entre deux diagrammes. En effet, les signes appartenant à l'intersection de deux diagrammes expriment les relations possibles de transformations entre leurs sommes respectives. De plus, le diagramme constitue un système d'états élémentaires d'un signe donné, reliés par les modalités sémiotiques (cf. §3.3.1). Plusieurs diagrammes définissent le contexte d'une configuration architecturale autonome. Par exemple, dans l'étude de la théorie des possibilités, considérer l'ensemble d'énoncés élémentaires $\{a, b, c, d\}$ revient à dire que c est un diagramme correspondant à une configuration donnée et les autres lettres constituent son contexte. L'application du calcul interprétatif aux parcours des modalités exprime le contenu informationnel du diagramme traité, à un moment donné (cf. Figure 3.20) et suggère, selon le cas, les ajouts de signes nécessaires pour compléter ce contenu : le modèle identifie la somme et le produit de ce diagramme, l'ajout de la somme n'intervient que dans le cas où deux signes incommensurables occupent la place du signe le plus complexe d'un diagramme donné. Par ailleurs, la donnée élémentaire d'un problème de conception prend la forme d'un diagramme dont la somme pourrait être un légisigne, ou qui ne contient aucun légisigne ou une réplique (cf. Figure 5.13).

5.5.3 Un exemple du fonctionnement du modèle

Dans son état actuel, le modèle dispose des connaissances géométriques tirées de l'étude des habitations de la WHL (cf. §4.6). Par conséquent, il résout uniquement les problèmes de la production des formes en conception architecturale et a recours à un ensemble fini d'opérations de transformations géométriques (cf. Figure 4.11). Néanmoins, cette restriction sur le domaine des problèmes ne réduit pas la portée générale du modèle sémiotique de l'abduction.

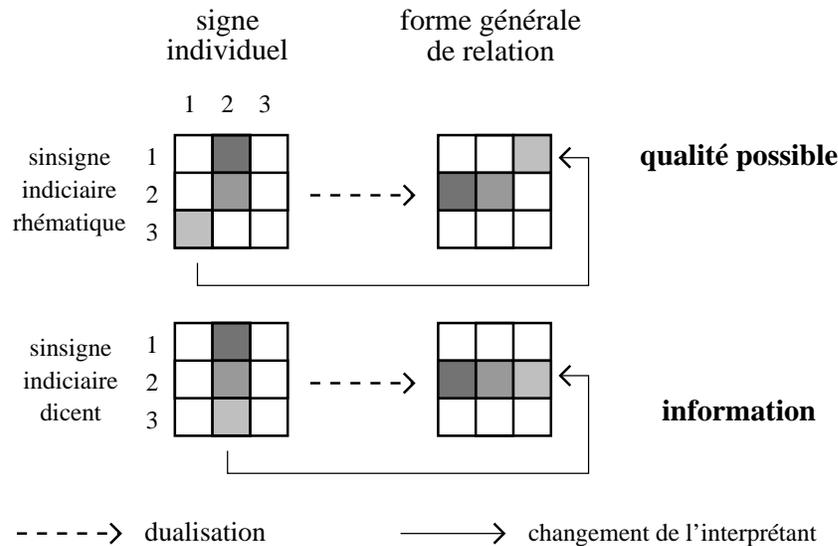


FIG. 5.14 – Le passage hypostatique.

Le cas pratique suivant illustre les propos du modèle. Pour alléger la description des opérations, le texte utilise la forme matricielle d'un signe, par exemple, $(1.2 \rightarrow 2.1 : 3.1)$ décrit un sinsigne-iconique-rhématique (cf. §4.5.1). Soit un architecte qui souhaite concevoir une toiture pour une habitation donnée. En tant que réplique d'un légisigne-symbolique-rhématique, qui dénote un système de règles physiques et géométriques définissant les propriétés d'une toiture, celle-ci correspond à un sinsigne-indiciaire-rhématique $(1.2 \rightarrow 2.2 : 3.1)$. La dualisation hypostatique de ce signe produit une forme de relation, $O \rightarrow R$, qui contient la détermination du représentamen par l'objet du signe (cf. §4.5.2.3). C'est-à-dire, l'idée d'étanchéité détermine la fonction de la toiture qui agit en tant que signe indiquant, pour un interprétant, la possibilité d'évacuer les précipitations (pluie, neige) inconditionnellement par rapport à sa configuration matérielle. La dualisation hypostatique autorise la conversion de la description donnée de la toiture en une description de son fonctionnement. L'acte de la conception, dont il est question dans cet exemple, concerne précisément la production d'une nouvelle configuration de ce fonctionnement ; l'abduction sémiotique doit construire un signe architectural dont la configuration matérielle devrait être validée par la transformation des connaissances antérieures (cf. §4.5.2.5 et §4.6.5).

Comment la dualisation de l'interprétant facilite-t-elle cette transformation ? Un sinsigne-indiciaire-rhématique ne peut transmettre de l'information ; il peut uniquement fixer l'attention sur son objet. Donc, pour obtenir une information sur la configuration souhaitée, l'abduction doit utiliser un sinsigne-indiciaire-dicent $(1.2 \rightarrow 2.2 : 3.2)$ (cf. §3.3.5.3). Celui-ci constitue la limite informationnelle maximale que peut atteindre une détermination $O \rightarrow R$. La différence entre les deux signes précédents réside dans le troisième composant : l'interpré-

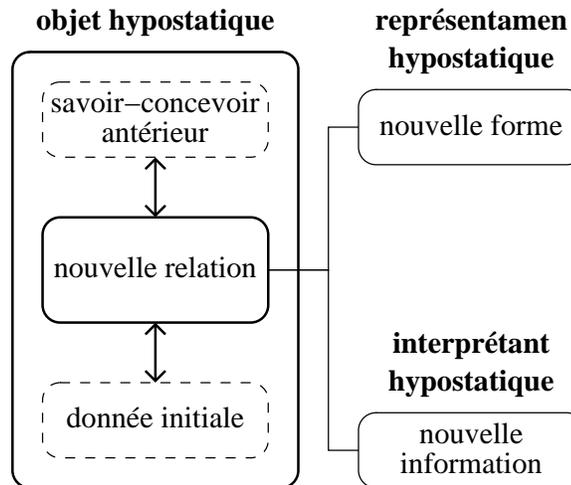


FIG. 5.15 – Le fonctionnement de la dualisation hypostatique.

tant qui passe d'un état rhématique (qualité possible) à un état dicent (information concrète) (cf. Figure 5.14). Quand le représentamen d'un sinsigne-indiciaire-rhématique (1.2) se dualise en (2.1), il s'agit en réalité de (2.(1.2)), c'est à dire la matérialité du représentamen est considérée comme une relation possible à l'objet. La dualisation du deuxième composant (2.2) en (2.2), représentée effectivement par(2.(2.2)), désigne un transfert d'une qualité matérielle de l'objet vers la matérialité du représentamen : l'évacuation nécessaire à l'étanchéité doit exister dans le fonctionnement de la toiture. Pour ce qui est de l'interprétant (3.1) et sa dualisation (1.3) qui est réellement (1.(3.1)), il s'agit d'exprimer ce qu'il y a de médiateur et de représentatif dans l'interprétant ; (1.(3.1)) veut dire que c'est une qualité et non une présence matérielle qui remplit la fonction de conduit pour la détermination. Autrement dit, quel est l'élément, que l'interprétant essaie d'atteindre, qui agit comme transmetteur de la qualité souhaitée ?

La dualisation du représentamen et de l'objet du sinsigne-indiciaire-dicent (1.2 → 2.2 : 3.2), fournit les mêmes contenus que ceux du sinsigne-indiciaire-rhématique. Mais son interprétant a la forme (3.2) qui se dualise en (2.3), et réellement en (2.(3.2)). Ceci exprime le fait que l'information, transmise par ce signe, appartient au système de conventions qui régit sa production et son utilisation. À noter que le sous-signe correspondant à la notion de convention est le symbole (cf. §3.2.3). En somme, l'interprétant dualisé ne traite plus d'une qualité possible (1.(3.1)), l'étanchéité, mais plutôt des conditions de sa matérialisation (2.(3.2)), l'évacuation ; l'interprétant obtient l'élément transmetteur recherché. De cette façon, la dualisation hypostatique autorise le passage inférenciel de la notion de toiture étanche, à celle de son fonctionnement, à celle de sa géométrie, à celle des goûts formels et préférences culturelles, etc. Et c'est précisément ce passage qui ouvre le champ de l'interprétation à l'in-

roduction de la nouveauté (cf. Figure 5.14). L'architecte peut de cette manière dépasser les formes précédentes de toitures qu'il connaît pour explorer leurs transformations ; il considère les opérations qui ont produit ces formes comme étant elles-mêmes des objets de transformations (cf. §3.4.3). En effet, il dépasse de la sorte le savoir-concevoir de la routine pour innover ou concevoir des solutions créatives. Par exemple, s'il choisit la toiture à deux versants comme donnée initiale du problème (une forme saisie dans les réalisations précédentes), il peut envisager l'hypothèse d'une toiture courbe ou en mansarde (transformation géométrique de l'évacuation), ou celle d'une toiture plate (transformation fonctionnelle de l'évacuation), ou de combiner une partie courbe et une partie à deux versants, etc.

La Figure 5.15 amplifie une partie du fonctionnement interne de la dualisation, qui traite spécifiquement de la production du signe hypostatique tel que décrit dans la Figure 5.9. Elle applique, dans la production d'un nouveau signe, la notion de passage hypostatique à l'objet, pour y constituer une nouvelle relation qui sera matérialisée par le représentant et sera utilisée par l'interprétant. Cette application résume l'apport principal de la dualisation hypostatique à la sémiose générative de l'abduction.

5.5.4 La validation d'une hypothèse

Le modèle produit plusieurs hypothèses pour un problème donné concernant un seul élément architectural, par exemple, la création d'une toiture. Chaque hypothèse contient un ensemble d'opérations géométriques. Pour alléger la description du processus de validation d'une hypothèse, l'exemple utilisera sept des huit types de transformations architecturale de la WARTIME HOUSING LIMITED (WHL), le modèle Cape-Cod, le cottage de banlieue, le ranch, la maison québécoise, le bungalow pittoresque, la maison à deux étages et la villa (cf. §4.6.2) ; les trois types Cape-Cod sont en fait identiques, exceptées quelques transformations mineures. De plus, cinq opérations de transformation géométrique sont choisies parmi la totalité identifiée précédemment (cf. Figure 4.11). À noter que l'approche possibiliste du modèle aborde la validation d'un point de vue qualitatif, d'où l'utilisation de plusieurs variables sans affectation de valeurs numériques. Cette approche met l'accent plus sur les relations entre les différents composantes du problème que sur leurs quantifications, utilise une échelle ordinale plutôt que des quantités et contourne la question de la sémantique des nombres, utilisés dans une approche quantitative, et de la validation de leurs provenances (par exemple, source statistique, probabilités) (Dubois et al., 2000, p.356).

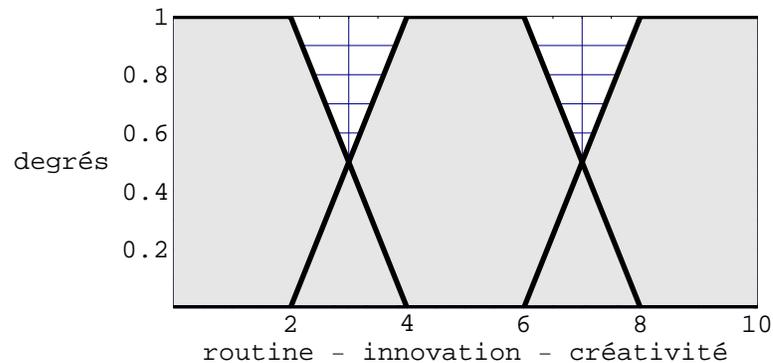


FIG. 5.16 – Les distributions initiales de possibilité du savoir-concevoir.

La validation d'une solution, et conséquemment son acceptation, dépend de la qualification des hypothèses par rapport à une échelle de préférences. Dans le cas du savoir-concevoir architectural, cette échelle contient trois grandes catégories : la routine, l'innovation et la créativité (cf. §4.4.1). Le modèle utilise une fonction de possibilité trapézoïdale normalisée, par catégorie, pour modéliser la qualification d'une solution (cf. Figure 5.16). En effet, cette distribution raffine la qualification en ajoutant deux catégories intermédiaires entre les trois principales et sa normalisation assure que la solution sera qualifiée selon, au moins, une de ces catégories (cf. §5.3.2). De cette façon, toute qualification de routine (située entre 0 et 2) aura comme degré de possibilité 1, de même pour une qualification d'innovation entre 4 et 6 ainsi que pour celle de la créativité entre 8 et 10. Dans le cadre de l'approche qualitative adoptée, il est nécessaire de conférer une qualification intrinsèque aux catégories intermédiaires, c'est-à-dire remplacer les intersections par des distributions de possibilités indépendantes de celles des trois catégories initiales. Alors, une hypothèse qualifiée de routine-innovation, entre 2 et 4, aura un degré de possibilité 1 et de même pour la qualification innovation-créativité. L'introduction des distributions intermédiaires transforme la fonction de possibilité trapézoïdale originale en une simple distribution rectangulaire. Toutes les cinq distributions auront un degré de possibilité nul à l'extérieur de leur domaine de possibilité total. Ce changement permet que les distributions partagent le référentiel en cinq domaines de la même largeur et raffine le calcul sans affecter la validité du raisonnement incertain.

La Figure 5.17 montre le paysage des transformations architecturales qualifiées à l'aide d'une matrice dont les lignes représentent l'ensemble des opérations géométriques, $O = \{extension, ajout, rotation, élasticité, répétition\}$, et les colonnes dénotent l'ensemble T des sept types architecturaux considérés comme contextes de ces opérations. Pour faciliter la comparaison, les cinq catégories du savoir-concevoir, la routine, la routine-innovation, l'innovation, l'innovation-créativité et la créativité sont exprimées respectivement par les éléments de l'ensemble $C = \{r, ri, i, ic, c\}$ ayant les degrés de possibilité $\tilde{\pi}$ suivants $\{0, u, v, y, z, 1\}$ où

		contexte architectural						
		cape-cod	cottage	ranch	québécoise	bungalow	deux-étages	villa
transformation géométrique	Toiture							
	extension	1	2	2	3	4	1	4
	ajout	–	2	–	2	3	–	3
	rotation	–	–	–	–	3	–	3
	élasticité	–	–	–	–	–	–	–
répétition	–	2	1	2	–	–	–	

FIG. 5.17 – La grille de validation d'une hypothèse.

		opération géométrique				
		extension	ajout	rotation	élasticité	répétition
Toiture						
degré de nécessité		b	c	a	1	c

facteur opérationnel f_o

FIG. 5.18 – Le facteur opérationnel.

0 connote une impossibilité totale et 1 connote la possibilité totale, tandis que u signifie une faible possibilité, v une bonne possibilité, y une très bonne possibilité et z une forte possibilité (le tilde indique l'état initial de la possibilité tel que donné par la description du problème). L'absence de qualification souligne le fait que l'opération choisie ne s'applique pas au type architectural désigné et reflète l'ignorance totale, par conséquent, le degré de possibilité attribué est 1 (cf. Équation 5.2). Les transformations de la WHL forment le contexte où sera validée la solution produite. La qualification d'une hypothèse demeure une caractérisation relative et fortement contextuelle. Donc, une extension perpendiculaire de la toiture dans le type bungalow peut être considérée innovatrice en comparaison avec le type Cape-Cod mais routinière en comparaison avec celui de la villa. Cette diversité de qualifications reflète une complexité résultant de trois facteurs.

Le premier facteur, appelé facteur opérationnel f_o , appartient au domaine des opérations de transformations géométriques : dans quelle mesure une opération est importante dans la validation de l'hypothèse ? Chaque opération agit sur une propriété (ou plusieurs) de l'élément architectural ; son impact varie selon cette propriété. Par exemple, une simple extension de la toiture affecte moins le type d'habitation que l'ajout d'une lucarne. Chaque facteur détermine, pour une hypothèse, un ensemble de valeurs qui pourront lui être affectés. Le référentiel des

		contexte architectural						
		cape-cod	cottage	ranch	québécoise	bungalow	deux-étages	villa
transformation géométrique	Toiture							
	extension	u	u	u	y	1	v	z
	ajout	v	v	y	v	v	z	z
	rotation	u	v	y	1	1	u	1
	élasticité	z	z	z	z	z	z	z
	répétition	z	y	1	1	y	y	v

facteur contextuel f_c

FIG. 5.19 – Le facteur contextuel.

		contexte architectural						
		cape-cod	cottage	ranch	québécoise	bungalow	deux-étages	villa
Toiture								
degré de nécessité	p	r	r	s	1	s	1	

facteur global f_g

FIG. 5.20 – Le facteur global.

valeurs du facteur opérationnel est $f_o = \{0, a, b, c, 1\}$, où 0 signifie une importance nulle et 1 la plus grande importance, tandis que les variables indiquent un ordre d'importance croissant entre les deux extrêmes (cf. Figure 5.18). Le choix du nombre des valeurs est subjectif ; son augmentation ou sa réduction raffine ou grossit la qualification.

Le deuxième facteur, appelé facteur contextuel f_c , provient de l'importance accordée au type architectural, c'est-à-dire dans quelle mesure on est certain qu'une habitation, par exemple du type Cape-Cod, soit importante dans la qualification de la toiture ? Le modèle considère que la formulation inverse de cette question reste équivalente à l'originale en terme de distribution de possibilité. Ce facteur exprime le rôle joué par le contexte (la présence des autres éléments dans le type architectural) dans la validation de l'élément architectural choisi (la toiture) (cf. Figure 5.19). Les valeurs du facteur contextuel sont : $f_c = \{0, u, v, y, z, 1\}$ et 0 signifie une impossibilité totale et 1 la possibilité totale. Ce facteur qualifie l'influence d'un type architectural sur plusieurs opérations.

Le troisième facteur, appelé facteur global f_g , mesure l'impact de l'opération choisie dans le contexte global des sept types de transformations architecturales. Autrement dit, il définit une comparaison de la nécessité des facteurs contextuels dans la production de l'hypothèse. Le facteur global a les valeurs suivantes : $f_g = \{0, p, q, r, s, 1\}$ et suit le même ordre croissant que le facteur contextuel (cf. Figure 5.20). À noter que les deux derniers facteurs possèdent le même nombre de degrés mais il est possible de leur accorder de tels ensembles ayant des cardinalités différentes.

En plus d'exprimer la complexité de la qualification, les trois facteurs déterminent un emboîtement graduel des affinités entre les composantes d'une hypothèse : à partir des valeurs intrinsèques des opérations, le modèle passe à leurs relations avec un contexte particulier pour aboutir ensuite à la description du comportement de chaque opération dans le paysage global des transformations architecturales. La qualification finale d'une hypothèse résulte de l'application de ces facteurs à la distribution initiale de possibilités (cf. Figure 5.17). Toutefois, l'emboîtement conceptuel des facteurs n'impose pas un ordre dans leur application ; le fait qu'une opération soit plus importante qu'une autre dans un type architectural ne signifie pas qu'elle l'est d'une façon absolue. Par ailleurs, il est admissible de supposer une commensurabilité entre les facteurs contextuel et global, sachant que c'est plutôt l'ordinalité des éléments de chaque facteur qui compte (cf. §5.3.10).

Dans ce qui suit, le modèle utilise des opérateurs de combinaison de possibilités adaptés de (Dubois et al., 2001). Pour calculer les degrés de possibilité d'une hypothèse composée de plusieurs opérations, le modèle doit avoir les degrés de possibilité π_i^j de chaque opération par une application du facteur contextuel f_c sur la distribution initiale de possibilité $\tilde{\pi}_i^j$, avec i l'indice de l'opération géométrique, $i \in \{1, \dots, 5\}$ et j celui des types architecturaux, $j \in \{1, \dots, 7\}$ (cf. Figure 5.17). D'abord, ce facteur, qui représente des degrés de nécessité, doit être transformé en une distribution de possibilité par l'équation 5.22, pour être ensuite combiné avec la distribution initiale de possibilité. Puisque tous les degrés utilisés sont des variables qualitatives et non des nombres réels, leur conversion est une bijection entre l'ensemble de départ, par exemple $\{0, u, v, y, z, 1\}$, et son inverse $\{1, z, y, v, u, 0\}$, c'est-à-dire le degré u de l'ensemble de départ a comme complément z dans l'ensemble inverse :

$$\pi_i^j = \max\left(\tilde{\pi}_i^j, (1 - f_{c_{ij}})\right) \quad (5.37)$$

Cette maximisation étend la qualification initiale de l'opération géométrique ciblée à tout le domaine des classifications du savoir-concevoir C . La figure 5.21 montre le résultat de cette étape. Chaque entrée de la matrice de cette figure désigne une distribution de possibilités sur les cinq classifications du savoir-concevoir allant de la routine à la créativité. Sachant

contexte architectural							
Toiture	cape-cod	cottage	ranch	québécoise	bungalow	deux-étages	villa
extension	1zzzz	z1zzz	z1zzz	vv1vv	00010	lyyyy	uuulu
ajout	11111	ylyyy	11111	ylyyy	yylyy	11111	uuulu
rotation	11111	11111	11111	11111	00100	11111	00100
élasticité	11111	11111	11111	11111	11111	11111	11111
répétition	11111	v1vvv	10000	01000	11111	11111	11111

FIG. 5.21 – La distribution de possibilités résultant du facteur contextuel.

distribution agrégée par opération					
Toiture	extension	ajout	rotation	élasticité	répétition
distribution de possibilité	zyzly	zz1zz	zz1zz	11111	11111

FIG. 5.22 – La distribution de possibilités finale pour chaque opération.

que l'approche possibiliste adoptée est qualitative, la présence des variables conserve cette propriété. Par exemple, l'élasticité est totalement possible, sur le référentiel routine-(routine-innovation)-innovation-(innovation-créativité)-créativité, dans tous les contextes. Tandis qu'il est totalement possible de qualifier la rotation d'opération innovatrice dans le contexte du bungalow.

Pour calculer une distribution de possibilités unique pour chaque opération, le modèle pondère toutes les distributions déjà disponibles (cf. Figure 5.21) par une conjonction *min* entre le facteur global (cf. Figure 5.20) et chaque degré de possibilité, pour ensuite agréger le résultat de la pondération par une disjonction *max* pour chaque contexte (cf. Figure 5.22) :

$$\pi_i(c) = \max_j \left[\min \left(f_{g_j}, \pi_i^j(c) \right) \right] \quad (5.38)$$

Dans ce résultat, l'utilisation d'une disjonction *max*, pour agréger les possibilités, conserve le maximum d'information fournie par l'ensemble des contextes. Ayant obtenu la qualification d'une opération dans ces contextes, le modèle cherche le résultat de la combinaison totale des opérations.

pondération des intervalles

$1-f_o$	0	a	b	c	1
routine	r	ri	i	ic	c
routine–innovation	ri	ri	i	ic	c
innovation	i	i	i	ic	c
innovation–créativité	ic	ic	ic	ic	c
créativité	c	c	c	c	c

FIG. 5.23 – La pondération des intervalles de qualification.

Bien que le référentiel de la qualification contienne cinq catégories, les limites entre elles demeurent floues ; par exemple, il est possible d’avoir une qualification routine-innovation qui est proche de celle de la routine ou de l’innovation. Ce fait oblige l’intégration, dans le calcul de la qualification finale, du facteur opérationnel mais pondéré. La pondération autorise l’application d’une valeur de ce facteur (appartenant à une seule opération) à un intervalle $I \subseteq T = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ couvrant effectivement plus d’une catégorie de qualification. Autrement dit, plus une opération est importante, plus son influence sur la validation finale de l’hypothèse est grande. La figure 5.23, adaptée de (Dubois et al., 2001), représente, par les colonnes, les valeurs de pondération. Par exemple, si l’opération de la répétition est jugée importante (nécessaire) à un degré c (cf. Figure 5.18), le degré de possibilité de son complément est $a = 1 - c$, par l’équation 5.22. L’intervalle d’influence sur l’hypothèse finale, du complément, couvre les qualifications innovation-créativité et créativité, $I = \{ri(1), ri(2), i(3), ic(4), c(5)\}$ puisque $I \subseteq T$, et par conséquent conditionne les qualifications fournies par les autres opérations et ayant un degré d’importance moindre. À souligner que la validité mathématique de la pondération repose sur le principe d’extension d’une distribution tel que démontré par (Zadeh, 1975, p. 236-241).

La validation finale de l’hypothèse provient de la combinaison disjunctive des distributions de possibilités obtenues pour chaque opération de transformation géométrique (cf. Figure 5.22). Cette combinaison utilise la même fonction qui calcule l’agrégation élémentaire (cf. Équation 5.38) mais elle l’applique sur un intervalle pondéré et retourne une distribution de possibilités pour les cinq qualifications :

$$\pi(c) = I_i(\min(\pi_1(o_1), \dots, \pi_6(o_6))) \tag{5.39}$$

La distribution de possibilités finale de l’hypothèse est **zzzzy**. Son interprétation suppose qu’une conception d’une toiture à l’aide des cinq opérations géométriques (extension, ajout,

rotation, élasticité et répétition), dans le contexte des transformations architecturale de la WHL, sera fortement innovatrice (le degré **z**) tandis qu'elle serait possiblement très créative. Ce résultat ressort particulièrement de l'introduction de l'élasticité, opération qui n'est pas utilisée dans les transformations étudiées.

5.6 Discussion du modèle

La finalité principale de la description détaillée du modèle sémiotique de l'abduction consiste en l'argumentation de sa faisabilité. Cette argumentation met en valeur une spécificité de l'abduction en conception architecturale qui diffère de celle adoptée par les autres disciplines qui ne se rapportent pas au domaine des problèmes faiblement structurés (cf. §4.2). La représentation du processus génératif en conception architecturale peut-elle prétendre à une exhaustivité des solutions d'un problème donné, par conséquent quel serait le statut épistémologique des notions de complétude et d'identification de la meilleure solution, prévalant dans les approches abductives étudiés dans cette thèse ? La discussion suivante souligne la relativité de ces notions en conception architecturale, clarifie leurs apports à la spécificité de l'abduction dans ce domaine et compare le modèle à ceux étudiés en intelligence artificielle et en CAAO à l'aide de la grille des critères qui a servi dans le Chapitre 2 pour examiner les approches numériques (cf. §2.6.1) :

1. Les opérations heuristiques appliquées, principalement les fonctions basées sur les six classes des légisignes, produisent des résultats non déterministes. La solution, que pourrait produire ce modèle, ne peut pas être connue à l'avance. Par la notion de diagramme de classes de signes, le modèle saisit la dépendance entre plusieurs données et l'intègre dans l'inférence par le calcul interprétatif (cf. §3.3.5). La combinaison de relations complexes, à partir d'autres relations élémentaires, obéit à la loi de l'associativité des modalités de l'hypersigne. L'annulation et le retrait d'une information et de ses résultats sont possibles. L'approche qualitative de la théorie des possibilités simplifie considérablement l'inférence. La simplicité de la validation des hypothèses résulte de l'usage exclusif des opérateurs *min* et *max* de la théorie des possibilités (cf. §5.3.2).
2. Les espaces des hypothèses s'adaptent aux changements du contexte des informations représentées et à l'application de ce modèle à plusieurs systèmes sémiotiques de savoir-concevoir architectural (cf. §4.3). Le modèle anticipe la résolution des problèmes ultérieurs par la généralité de la forme de relation fournie par la dualisation hypostatique et réinvestit les connaissances, déjà utilisées dans les expériences passées, dans de nouvelles mesures de confiance. Par ailleurs, et dans le cadre qualitatif de la théorie des possibilités, la comparaison de deux hypothèses (ou plusieurs), pour en choisir une seule, revient à comparer respectivement leurs degrés de possibilité.

3. La monotonie inférencielle du modèle provient surtout du choix subjectif des fonctions de confiance et de la sémantique qui leur est accordée. En plus, les fonctions de l'hy-persigne synthétique, c'est-à-dire les légisignes, en particulier le légisigne-symbolique-dicent et le légisigne-symbolique-rhématique autorisent la rétraction des solutions partielles inacceptables avant d'atteindre la solution souhaitée.
4. La complétude de l'espace des hypothèses produites résulte de la complétude des connaissances représentées, et leur représentativité du domaine sur lequel porte l'abduction, ici la production géométrique de formes. Les solutions générées ne sont pas optimales mais satisfaisantes et conditionnées par les distributions de possibilités assignées par le concepteur. Plusieurs modèles abductifs étudiés dans le Chapitre 2 considèrent l'abduction en tant que recherche de la meilleure solution, la conception architecturale relativise cette condition d'optimalité, vu que *la* meilleure solution n'existe simplement pas. La production d'une hypothèse demeure contextuelle et ressort de la spécificité réelle de la commande architecturale.

Le modèle traite spécifiquement de la production d'une configuration géométrique durant la phase préliminaire de la conception. Plusieurs développements sont possibles pour améliorer le fonctionnement de cet outil. La conception d'un élément architectural nécessite, en plus des descriptions géométriques, le traitement des qualités physiques telles que la couleur, la texture, le matériau, ainsi que d'autres facteurs fonctionnels, économiques et psychologiques. La création d'une hypothèse devient plus complexe mais rend le résultat du modèle plus réaliste. Cette augmentation du modèle possibiliste utilisé prendra en considération l'accroissement du nombre de sources d'interprétation.

La modélisation de l'incertitude de l'interprétation repose sur les mesures de confiance de la théorie des possibilités. Le choix des distributions de possibilités, modélisées par une fonction trapézoïdale, affecte les résultats de l'inférence. L'augmentation du nombre de ces fonctions, leur diversification et leur raffinement adapteront le modèle aux différents types de problèmes de la conception architecturale. Par ailleurs, il est souhaitable de pouvoir classer les solutions produites par affinité : celles qui répondent aux données du problème (partiellement ou totalement) et celles qui ne le font pas, celles qui possèdent une propriété commune et celles qui sont uniques, etc.

Dans son état actuel, le modèle aborde la conception architecturale à travers le signe triadique. L'amélioration de la représentation des problèmes de conception requiert l'élargissement de l'application vers les degrés polyadiques supérieurs tels que les signes hexadiques, décadiques etc. Ces degrés offrent un raffinement des solutions recherchées mais augmentent la

complexité de la représentation des diagrammes et des opérations qui y sont appliquées ainsi que celle du calcul numérique. Le problème de la complexité informatique serait un facteur critique dans la décision d'un formalisme numérique particulier pour élargir l'application du modèle.

5.7 Conclusion

Ce chapitre concrétise la faisabilité d'une représentation sémiotique de l'abduction par un modèle incertain. L'aspect génératif de l'abduction concerne surtout l'interprétation en tant que réinvestissement du savoir-concevoir architectural antérieur dans la nouvelle projection. Le fait que la conception soit un acte subjectif n'empêche pas la formalisation de l'interprétation architecturale par un modèle mathématique. Parmi l'ensemble de tels modèles, la théorie des possibilités fournit un langage pertinent de description, d'organisation et de calcul des états inférenciels présents dans cette interprétation.

L'originalité du modèle développé provient de la mise en relation de l'abduction et la sémiotique par le biais de la dualisation hypostatique. La thèse développe d'abord une forme sémiotique de l'abduction pour la relier ensuite à l'abstraction hypostatique (cf. §3.4). Pour rendre opératoire cette relation, l'étude du savoir-concevoir architectural, et surtout les transformations historiques du cadre bâti, dégage la notion sémiotique de dualisation hypostatique (cf. §4.5). La capacité générative et synthétique de cette dualisation autorise l'introduction de la nouveauté dans l'inférence et assure la présence dans la conception, d'une émergence observationnelle (cf. §3.4.2), par opposition à l'émergence déductive présente dans la majorité des formalismes abductifs numériques en IA (Aliseda, 2003, Mayer et Pirri, 1996, Charniak et McDermott, 1985). Cette émergence conduit à la qualification d'une solution architecturale selon les trois catégories du savoir-concevoir : la routine, l'innovation et la créativité. L'hypothèse la moins possible est souvent la plus surprenante, la plus créative.

Par ailleurs, la généralité de cette dualisation étend l'application du modèle sémiotique de l'abduction à un large domaine de problèmes de conception architecturale. La forme sémiotique du processus de production d'une hypothèse recouvre aussi bien la conception d'un élément architectural simple qu'une composition complexe d'éléments. La récursivité de la synthèse des signes subsume un déploiement simultané de la dualisation sur le réseau de signes en construction : la dualisation s'applique indifféremment aux réseaux de signes de complexité variée. Cette application n'élimine pas la particularité de chaque commande architecturale mais elle reflète plutôt la flexibilité du modèle développé.

Finalement, le modèle s'applique à la phase préliminaire de la conception architecturale où il s'agit de produire plusieurs solutions dans un but d'en choisir un nombre restreint qui sera soumis éventuellement à la validation. Il élargit le domaine des formalismes numériques abductifs et surtout ceux de la CAAO. L'architecture du modèle suit de près les concepts sémiotiques développés dans les chapitres précédents surtout les notions d'hypersigne synthétique et de diagramme sémiotique. Par ailleurs, le modèle circonscrit l'apport de la théorie des possibilités à la décision qu'une hypothèse puisse être plus plausible qu'une autre. Ceci répond à une volonté de conserver le caractère sémiotique du modèle. Autrement dit, la théorie des possibilités pourrait être remplacée par un calcul probabiliste sans affecter les fondements sémiotiques de ces deux réalisations. De plus, il faut souligner la nécessité d'étendre les contributions de la thèse aux classes de signes polyadiques supérieures à trois. La cohérence et la validité du modèle ne seront pas affectées mais la représentation du processus abductif gagnera en raffinement et en adéquation.

Références

Alexander, E. R. (1975). The limits of uncertainty. Technical Report RP75-6, The School of Architecture and Urban Planning, Milwaukee. University of Wisconsin School of Architecture & Urban Planning.

Aliseda, A. (2003). Mathematical reasoning vs. abductive reasoning : a structural approach. *Synthese*, 134(1-2) :25–44.

Bouchon-Meunier, B., Yager, R. R., et Zadeh, L. (dir.) (1995). *Advances in Intelligent Computing - IPMU'94, 5th International Conference on Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Paris, France, July 4-8, 1994*, Lecture Notes in Computer Science, Berlin. International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Paris, France, Springer.

Charniak, E. et McDermott, D. (1985). *Introduction to Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Reading, MA.

De Cooman, G. (1997). Possibility theory ii : Conditional possibility. *International Journal of General Systems*, 25(4) :325–351.

Dubois, D., del Cerro, L. F., Herzig, A., et Prade, H. (1997). Qualitative relevance and independence : A roadmap. *IJCAI*, 1 :62–67.

Dubois, D., Grabisch, M., Prade, H., et Smets, P. (2001). Using the transferable belief model and a qualitative possibility theory approach on an illustrative example : The assessment of the value of a candidate. *International Journal of Intelligent Systems*, 16(11) :1245–1272.

Dubois, D., Nguyen, H. T., et Prade, H. (2000). Possibility theory, probability and fuzzy sets. In Dubois, D. et Prade, H. (dir.), *Fundamentals of fuzzy sets*, volume 7, chapitre 7, pages 343–435. Kluwer Academic, Boston.

Dubois, D. et Prade, H. (1988). *Théorie des Possibilités : Application à la Représentation des Connaissances*. Masson, Paris, 2 édition.

Dubois, D. et Prade, H. (1993). Fuzzy sets and probability : Misunderstandings, bridges and gaps. In *Proceedings of the Second IEEE Conference on Fuzzy Systems*, pages 1059–1068. Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (I.R.I.T.) – C.N.R.S.

Farinas del Cerro, L. et Herzig, A. (1995). Possibility theory and independence. In (Bouchon-Meunier et al., 1995), pages 292–301.

- Gabbay, D. M. et Smets, P. (dir.) (1998). *Handbook of Defeasible Reasoning and Uncertainty Management Systems*, volume 1. Kluwer, Dordrecht.
- Hunter, A. et Parsons, S. (dir.) (1998). *Applications of Uncertainty Formalisms*, volume 1455 de *Lecture Notes in Computer Science*. Springer.
- Kanal, L. N. et Lemmer, J. F. (dir.) (1986). *Uncertainty in Artificial Intelligence*. North-Holland, New York.
- Liau, C.-J. et Lin, B. I.-P. (1996). Possibilistic reasoning - a mini-survey and uniform semantics. *Artificial Intelligence*, 88(1-2) :163–193.
- March, L. (1976). The Logic of Design and the Question of Value. In March, L. (dir.), *The Architecture of Form*, pages 1–40. Cambridge University Press, Cambridge.
- Marty, R. (1990). *L'Algèbre des Signes : Essai de sémiotique scientifique d'après Charles Sanders Peirce*, volume 24 de *Foundations of Semiotics*. John Benjamins, Amsterdam ; Philadelphie.
- Mayer, M. C. et Pirri, F. (1996). Abduction is not deduction-in-reverse. *Journal of the Interest Group in Pure and applied Logics*, 4(1) :86–104.
- Mitchell, W. J. (1977). *Computer-Aided Architectural Design*. Van Nostrand Reinhold, New York ; Toronto.
- Paris, J. B. (1994). *The Uncertain Reasoner's Companion : A Mathematical Perspective*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Savage, L. J. (1990). The foundations of statistics reconsidered. In (Shafer et Pearl, 1990), pages 14–20.
- Shafer, G. et Pearl, J. (dir.) (1990). *Readings in Uncertain Reasoning*. Representation and Reasoning. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.
- Smets, P. (1994). Non standard probabilistic and non probabilistic representations of uncertainty. In (Bouchon-Meunier et al., 1995), pages 13–38.
- Smets, P. (1998). *Numerical Representation of Uncertainty*, chapitre 7, pages 265–311. Volume 3 of (Gabbay et Smets, 1998).
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning - I. *Information Sciences*, 8 :199–249.
- Zadeh, L. A. (1978). Fuzzy sets ad a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1 :3–28.

Chapitre 6

Conclusions et perspectives

Ce chapitre présente une synthèse générale des contributions et des développements futurs de la thèse. La première section en résume les contributions originales par une mise en correspondance avec les objectifs identifiés. La deuxième section discute les apports possibles de cette thèse au développement de plusieurs orientations de recherche en conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO) : l'approfondissement du rôle de l'abduction dans le processus créatif, la pédagogie et l'enseignement de la conception architecturale, et l'application pratique à la conservation du patrimoine urbain. La dernière section donne une conclusion générale de la thèse.

6.1 Les contributions

La finalité principale de cette thèse est d'étudier l'apport de la sémiotique à la formalisation de l'abduction par un modèle de conception architecturale assistée par ordinateur (CAAO). Les objectifs identifiés qui ont guidé ce travail sont :

1. Élaborer un modèle sémiotique de l'abduction approprié à la phase préliminaire de la conception du projet.
2. Expliciter le processus de l'émergence d'une solution issue d'un savoir-concevoir architectural par le biais des connaissances antérieures et le rôle de l'interprétation du concepteur.
3. Définir un calcul de l'interprétation des connaissances incertaines pour qualifier la production des hypothèses abductives.

La contribution majeure de la thèse consiste en l'approfondissement de la formalisation de l'abduction par une mise en relation de l'abstraction hypostatique et la dualisation sémiotique. Le résultat de cette combinaison conceptuelle, la dualisation hypostatique, joue un rôle crucial dans la clarification, la compréhension et la modélisation du processus génératif et synthétique inhérent à l'abduction. L'état actuel des recherches sur l'abduction montre un manque de modèles sémiotiques en intelligence artificielle (IA) et en CAAO.

L'abduction résout un problème de conception par l'introduction d'une nouvelle qualité dans la sémiose. L'obstacle principal levé par la dualisation hypostatique est la formalisation de ce *processus d'introduction*. La dualisation constitue une opération interne de la sémiotique, caractérisée par deux fonctionnements simultanés : la création d'un méta-niveau et l'élargissement du niveau objet pour accueillir la nouvelle qualité (cf. §5.4). Premièrement, le méta-niveau transforme le signe étudié (le signe-interprétant), sur lequel porte l'abduction, en une composante d'un signe ultérieur (un signe-objet) et par conséquent, habilite sémiotiquement la synthèse entre les deux. Ce méta-niveau conserve la trace du fonctionnement hypostatique, c'est-à-dire son propre développement : la récursivité de la dualisation est une forme de l'auto-référence mnémonique. Cette remarque rejoint le constat que le contenu mémoriel d'un signe réside dans la relation du représentamen à son objet (cf. §4.5.2.5) et par conséquent, elle modélise la prise en charge des connaissances antérieures par la sémiose abductive. Deuxièmement, l'objet du nouveau signe, qui contient maintenant l'interprétation du signe initial, doit pouvoir mettre celui-ci en une nouvelle relation avec un autre signe (un troisième) provenant des connaissances antérieures ; la relation recherchée étant une possibilité parmi les dix classes triadiques. Le processus de l'introduction de la nouveauté informationnelle, à travers cette relation, équivaut plus à la construction de cette dialogique entre méta-niveau et niveau objet qu'à la nature des données utilisées.

La production abductive d'une solution à un problème de conception architecturale dépend donc d'une augmentation potentielle de l'information détenue par le concepteur. C'est précisément cette augmentation qui confère au processus génératif et synthétique de l'abduction son caractère émergent. En conception architecturale, la créativité, la nouveauté et l'originalité sont fortement reliées à l'émergence, dans son acception systémique, en tant que propriété résultante du fonctionnement global du système modélisé et non du cumul des propriétés des parties de ce système. Le modèle élaboré définit une notion abductive de l'émergence par le biais de la dualisation hypostatique d'un problème de conception représenté par un signe : la dualisation accorde à ce signe la possibilité d'être relié à d'autres. À l'opposé de la majorité des descriptions de l'émergence en intelligence artificielle qui sont de nature déductive, cette émergence est caractérisée par l'inclusion de l'interprétation du concepteur dans le processus inférenciel ; c'est une émergence observationnelle.

L'opérationnalisation de la dualisation hypostatique nécessite un calcul interprétatif qui prend en compte, dans l'inférence abductive, les variations du contenu informationnel du signe quand il change de contexte et d'utilisation. La théorie sémiotique de l'information s'articule autour d'un rapport d'équivalence entre, d'un côté, le produit de la dénotation d'un signe (l'ensemble des objets qu'il peut désigner) et de sa connotation (l'ensemble des propriétés que le signe peut véhiculer) et de l'autre, l'information en tant que collection synthétique des mises en relation entre la dénotation et la connotation (cf. §3.3.5). Aux cinq opérations interprétatives élaborées par Peirce, l'extension, la restriction, la détermination, l'appauvrissement et la découverte, cette thèse en ajoute quatre, la dégénérescence, la redondance, l'ignorance et l'erreur (cf. §3.3.5.2), ce qui raffine l'expressivité du calcul et par conséquent, étend son application à l'hypersigne – le système fondamental de connexion des signes. La contribution principale de ce calcul explicite la propagation de l'information dans l'hypersigne en délimitant les régions de son augmentation et de sa réduction et par conséquent, oriente le parcours que doit suivre l'abduction pour aboutir à une hypothèse (cf. Figure 3.20). Ainsi il devient possible de mesurer l'information résultant du passage d'une classe de signes à une autre, de comparer le contenu transmis par un signe donné et de valider le choix et la construction d'une hypothèse de solution à un problème de conception.

La thèse élabore un modèle de l'abduction, utilisable en conception architecturale dans sa phase préliminaire, qui constitue une argumentation en faveur de la représentation sémiotique de son processus génératif et synthétique. L'étude des transformations architecturales de la WARTIME HOUSING LIMITED (WHL) fournit au modèle les données élémentaires pour la représentation du savoir-concevoir et des opérations géométriques qui agissent sur la production formelle d'une configuration architecturale. Le modèle utilise la théorie des possibilités pour représenter l'incertitude de l'interprétation, qualifier sa propagation informationnelle et valider les hypothèses produites. Il adopte une approche possibiliste qualitative pour modéliser la validation incertaine d'une hypothèse architecturale. Les mesures de possibilité et de nécessité proviennent du concepteur. Cette approche réduit sensiblement la complexité du calcul par l'utilisation exclusive des opérateurs *min* et *max* et met l'accent plus sur la structure de l'inférence que sur ses composantes.

6.2 Les perspectives

L'informatisation de la sémiotique offre un cadre théorique et pratique pour introduire de nouvelles orientations de recherche en CAAO. Il est utile d'inscrire les contributions de cette thèse dans ces orientations en vue de son application dans l'enseignement, la recherche et la pratique de la CAAO. L'abduction est une inférence complémentaire à l'induction et à la

déduction. Plusieurs recherches ont pour objectif l'intégration de ces inférences, par exemple (Flach et al., 2006, Flach et Kakas, 2000, Abe, 1997, Aliseda, 1996, Console et al., 1991). Le développement d'un modèle sémiotique général du raisonnement, qui intègre les trois modes d'inférences, renforcera le potentiel représentatif de chacune d'elles et approfondit la question de la pertinence et la nécessité de l'abduction dans le processus créatif en CAAO.

La subdivision de l'hypersigne triadique en hypersigne hexadique (décadique, etc.) raffine les processus sémiotiques d'analyse et de synthèse et consolide leur adéquation à la représentation des phénomènes complexes. Cette subdivision pose la question de la catégorisation normative des objets des sciences de la conception et de l'artificiel : y aurait-il des phénomènes qu'on ne peut représenter dans un hypersigne triadique mais uniquement dans un autre d'un degré supérieur (hexadique, décadique, etc.)? Évidemment, l'orientation de recherche qui irait dans la direction d'une réponse affirmative à cette question relève plus d'un programme d'investigation que d'une application ponctuelle. D'ailleurs, l'information sémiotique n'a pas la nature statistique de la théorie de l'information de Shannon-Weaver. L'emboîtement des signes et la récursivité de leur composition interne (cf. §3.2.4.2) interroge cette nature. Le déploiement du calcul interprétatif (cf. §3.3.5) bénéficiera certainement d'une formalisation mathématique. Ainsi, une orientation de recherche intéressante à explorer serait la nature fractale de l'information peircéenne.

Le modèle développé adopte une représentation symbolique des connaissances abductives. La généralisation proposée du modèle suppose une plus grande adaptation aux processus cognitifs. Pour cela, et suivant Gärdenfors (Gärdenfors, 2000), il est pertinent d'opter pour une représentation numérique à trois niveaux : conceptuelle, symbolique et sous-symbolique (Gärdenfors, 2000, p.33-44), où chaque inférence est utilisée selon ses propres caractéristiques, et dont le couplage sémiotique-inférences-hiérarchie contribue à l'adéquation intelligible entre réalité et modèle et à se frayer un chemin dans la « jungle des représentations » (Gärdenfors, 2000, p.56). La cognition contextuelle (ou située) (*situated cognition*) est un courant de recherche qui étudie la formation des représentations et leurs significations en insistant sur le rôle du contexte, la nature dynamique des processus cognitifs et l'interprétation subjective des phénomènes considérés (Clancey, 1997, Brooks et Steels, 1995). Le développement des théories cognitives constructivistes du siècle passé et le renouvellement de la néo-systémique laissent entrevoir une piste d'intégration de la sémiotique aux recherches contemporaines en CAAO. Actuellement, la cognition contextuelle prend une place prépondérante en CAAO et les publications reflètent une diversité d'orientations dans la recherche, par exemple, (Gero, 2007, Maher et Gu, 2003, Gero et Kannengiesser, 2002). La mise en relation de la sémiotique à cette cognition est possible, au moins en termes généraux, sociologiques et psychologiques (Kirshner et Whitson, 1997), et peut participer au développement d'applica-

tions pratiques en CAAO. Le modèle élaboré pourrait être augmenté et complété par plusieurs modules pour traiter, à partir du point de vue de la cognition contextuelle, l'apprentissage automatique et la classification conceptuelle.

En outre, la question de la cognition amène la considération du rôle de l'auto-référence dans les processus synthétiques et la production de la nouveauté. La dualisation hypostatique que développe cette thèse est fondamentalement une opération autoréférencielle (cf. 2.4.1.2 et 4.5.2). En fait, cet aspect n'est pas abordé dans le modèle sémiotique de l'abduction mais, bien qu'il semble que la littérature de la CAAO ait négligé la mise en relation de l'auto-référence et la synthèse, son approfondissement dans des recherches futures ne manque pas d'intérêt.

La généralisation du modèle sémiotique élaboré, par une approche cognitive et située, trace une perspective intéressante à explorer dans l'enseignement de la CAAO. En effet, l'aspect heuristique et même ludique de la sémiotique, qui dépasse son apparence classificatoire, et la focalisation de la cognition située sur le Processus plutôt que sur l'Objet, créent des liens pédagogiques avec la systémique comme méthodologie générale de la Conception et par conséquent, rendent cet enseignement plus efficace. Par exemple, les systèmes sémiotiques architecturaux (cf. §4.3), et particulièrement le développement d'une taxonomie des concepts en architecture (Bax et Trum, 1994), peuvent se prêter à l'élaboration d'un ensemble d'exercices de conception architecturale ayant pour objectif l'explicitation des relations entre les différentes composantes d'un édifice : formelle, matérielle, perceptuelles, etc. D'ailleurs, plusieurs publications récentes témoignent de l'intérêt pédagogique grandissant de la sémiotique. Par exemple, le développement d'un lien théorique entre le pragmatisme peircéen et la théorie des domaines qui élabore un cadre de représentation de la collaboration dans la conception architecturale (Bax et al., 2002).

La notion de précédent, en conception architecturale, se situe au centre de la modélisation de l'abduction. Les exemples analysés dans cette thèse expriment l'importance du recours aux expériences architecturales, soulignée par la prépondérance du raisonnement à base de cas (cf. §2.7.6). La production de la nouveauté à partir du connu demeure une question ouverte ; elle devient un problème critique particulièrement à travers les interventions dans les milieux bâtis ayant une identité architecturale. Le modèle présenté dans cette thèse concerne les phases préliminaires de la conception architecturale pendant lesquelles l'architecte explore des solutions. Son développement peut se faire dans une perspective de production d'une application logicielle qui sert à valider des interventions architecturales dans ces milieux fortement caractérisés. La théorie des possibilités offre un cadre rigoureux de la représentation de l'opinion

subjective d'un expert ou d'un intervenant en milieu urbain, en plus des connaissances scientifiques. En utilisant une base de données portant sur une thématique urbaine particulière, cette application améliorerait, pour les différents intervenants, la prise en considération du patrimoine au début du processus du projet architectural.

6.3 Une conclusion générale

Cette thèse examine et critique l'état actuel de l'abduction en IA et en CAAO. La conclusion générale est que la contribution de la sémiotique à ce programme améliorerait les approches abductives, aiderait à résoudre certains problèmes théoriques et pratiques de la compréhension de ce mode d'inférence et sa représentation numérique. Il semble que les applications sémiotiques en CAAO soient rares, particulièrement celles qui étudient la conception du point de vue synthétique. Le défrichage effectué par cette thèse jalonne et contribue à l'élargissement des concepts, des méthodes et des outils disponibles dans ce domaine. Certaines phases en conception architecturale sont plus faciles à représenter numériquement que d'autres. La sémiotisation de l'abduction facilite la compréhension du fonctionnement de ce mode d'inférence et soutient la phase initiale du processus créatif. L'utilisation d'un formalisme de représentation des connaissances incertaines, en l'occurrence la théorie des possibilités, assure une flexibilité à cette exploration, maintient la cohérence des connaissances et conserve le non-déterminisme de la créativité. De par la nature complexe de la sémiotisation de l'abduction, ses perspectives de développement couvrent plusieurs domaines. Des points de vue épistémologique, académique et pratique, la conception architecturale assistée par ordinateur bénéficiera certainement de l'apport de la sémiotique pour mieux comprendre, triadiquement, la Conception, le monde, et surtout, le processus qu'est notre esprit.

Références

Abe, A. (1997). The relation between abductive hypotheses and inductive hypotheses. In Flach, P. A. et Kakas, A. (dir.), *Proceedings of the IJCAI'97 workshop on Abduction and Induction in AI*, pages 1–6.

Aliseda, A. (1996). A unified framework for abductive and inductive reasoning in philosophy and AI. In Flach, P. et Kakas, A. (dir.), *Proceedings of the ECAI'96 Workshop on Abductive and Inductive Reasoning*. European Conference on Artificial Intelligence.

Bax, T. et Trum, H. (1994). A taxonomy of architecture : Core of a theory of design. In *Second Design and Decision Support Systems in Architecture & Urban Planning, (Vaals, the Netherlands), August 15-19, 1994*.

Bax, T., Trum, H., et Nauta, D. (2002). Implications of the philosophy of Ch.S. Peirce for interdisciplinary design : developments in domain theory. In Timmermans, H. et de Vries, B. (dir.), *Proceedings of the 5th International Conference. Design and Decision Support Systems in Support Systems in Architecture*, pages 25–46, Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.

Brooks, R. et Steels, L. (1995). *The Artificial Life Route to Artificial Intelligence : Building Embodied, Situated Agents*. Lawrence Erlbaum, Mahwah, New Jersey.

Clancey, W. J. (1997). *Situated cognition : on human knowledge and computer representations*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Console, L., Theseider-Dupré, D., et Torasso, P. (1991). On the relationship between abduction and deduction. *Journal of Logic and Computation*, 1(5) :661–691.

Flach, P. A. et Kakas, A. C. (dir.) (2000). *Abduction and Induction : Essays on their relation and integration*. Kluwer Academic Publishers, Pays-Bas.

Flach, P. A., Kakas, A. C., Magnani, L., et Ray, O. (dir.) (2006). *Workshop on Abduction and Induction in AI and Scientific Modelling, Riva del Garda, August 29th, 2006*.

Gärdenfors, P. (2000). *Conceptual Spaces : the Geometry of Thought*. The MIT Press, Cambridge, MA.

Gero, J. S. (2007). Situated design computing : Principles. In Topping, B. H. V. (dir.), *Civil Engineering Computations : Tools and Techniques*, pages 25–36, Stirlingshire, UK. Saxe-Coburg Publications.

Gero, J. S. et Kannengiesser, U. (2002). The situated function-behaviour-structure framework. In Gero, J. S. (dir.), *Artificial Intelligence in Design'02*, pages 89–102, Dordrecht. Kluwer Academic Publishers.

Kirshner, D. et Whitson, J. A. (dir.) (1997). *Situated Cognition : Social, Semiotic, and Psychological Perspectives*. Laurence Erlbaum, Mahwah, New Jersey.

Maher, M. L. et Gu, N. (2003). Situated design of virtual worlds using rational agents. In *Proceedings of the second international conference on Entertainment computing*, ACM International Conference Proceeding Series, pages 1–9. Carnegie Mellon University.

Index

A

abduction

- économie 34
 - approche ensembliste 13
 - approche logique 13
 - approche pondérée 13
 - approche possibiliste 13
 - approche probabiliste 13
 - bayésienne 54
 - degrés d'originalité 44, 45
 - et ampliation 2, 21, 73, 74
 - et complexité 13, 46, 96
 - et contexte 13
 - et créativité 3, 203
 - et finalité 8, 13, 38, 39
 - et incertitude 3, 9, 15, 210
 - et interprétation 7
 - et production architecturale 3, 8
 - et recherches en CAAO 6
 - et subjectivité ; voir aussi subjectivité 13
 - et surprise 26, 30, 33, 36, 44
 - et synthèse 13, 28, 33, 36, 40, 83, 96
 - explication 33
 - forme perceptive 20, 22, 25–28, 95
 - forme sémiotique 15, 108
 - forme syllogistique 20, 21, 23, 24
 - vérifiabilité 33
- abstraction hypostatique 14, 15, 30–33, 107, 108, 145–153, 156, 177, 182, 199, 260
- et créativité 151
 - et synthèse 32

agrégation 211

ampleur, voir aussi dénotation 137, 138, 144

analogie 14, 156, 159, 162, 164, 165, 167, 174, 195, 196, 203, 211

analyse de protocole 172, 173

anticipation 13, 172, 183, 199, 203

appauvrissement 139, 261

ARCHIE 87

argument 117, 122, 169, 176, 184

Aristote 11

B

bijection 9, 175, 197, 250

C

CAAO 1–3, 6, 8, 11–14, 16, 38, 43, 210

CADRE 87, 88

calcul interprétatif 4, 14, 16, 108, 128, 130, 136, 139, 140, 145, 152, 176, 243, 253, 261, 262

expressivité 261

incertain 2

catégorie phanéroscopique 14, 113, 115, 117, 118, 125, 128, 130, 132

implication 114, 118

chaînage arrière 54

circonscription 56, 78, 79, 113, 210–212

combinaison 14, 156, 161, 163, 165, 167, 174, 190, 195, 203

complexité 2, 17

auto-organisée 41

computationnelle 95

de la conception 1, 5, 17, 34, 41, 89, 158, 174

- et subjectivité 5
 - génération 13, 45, 107
 - hypostatique 31
 - informatique 35, 54, 64, 71, 72, 83, 90, 93, 94, 255
 - sémiotique 124, 125, 127, 138, 200, 229, 231, 235, 236, 255
 - conception architecturale assistée par ordinateur 20, 107, 157, 259
 - connaissance procédurale 173
 - connaissances antérieures 1, 2, 4, 13, 20, 25, 26, 32, 33, 38, 39, 44, 47, 84–86, 96, 127, 145, 146, 148, 150, 162, 169, 170, 172, 173, 182, 183, 186, 198, 203, 231, 244, 259, 260
 - connaissances incertaines 204, 209, 210
 - connaissances préalables 20, 22, 30, 32, 36, 47, 66, 199
 - connotation 137–140, 144–146, 150, 152
 - sans dénotation 141
 - constructivisme 4
 - contenu informationnel 117, 121, 122, 131, 142, 146, 161, 162, 164, 186, 214
 - définition 136
 - de l'interprétant 135
 - de l'objet 135
 - mesure du 145
 - transformation 136, 144–146
 - contexte 2, 13, 36, 37, 39, 47, 95, 125, 158–160, 164, 169, 170, 172, 174, 178, 179, 181–183, 187, 193, 196
 - et hypothèse 38
 - créativité 14, 34, 38, 39, 44, 83, 96, 151, 157, 172, 202
 - du concepteur 151
 - et abstraction hypostatique 151
 - et contexte 152
 - et intuition 148
 - et médiation 148
 - structure psychologique 148
- ## D
- découverte 139, 140, 261
 - déduction 21, 23–25, 29, 46, 73–76, 78, 79, 81, 90–92
 - et recherches en CAAO 6
 - inverse 39, 72, 75–77, 84, 85
 - dégénérescence 128, 130, 131, 139, 261
 - dénotation 137–140, 144–146, 150, 152
 - sans connotation 141
 - détermination 139, 140, 150, 261
 - De Saussure, Ferdinand 2
 - Design Method 73
 - DESIGN SIMULATOR 78–81
 - diagramme
 - sémiotique 157, 175, 240
 - produit 239
 - somme 239
 - structure 239
 - dicent 117, 128, 176
 - dicensigne 169, 184
 - discrimination 165, 167, 203
 - dissociation 165, 166, 203
 - distribution de possibilité 216, 217, 223, 225, 227, 239, 247, 249, 250, 252
 - conditionnelle 226
 - conjointe 223–225
 - marginale 224, 225
 - distribution de possibilités 250–252, 254
 - dualisation 177, 184, 186
 - capacité synthétique 203
 - et formalisation mathématique 2
 - et nouveauté 16
 - hypostatique 1, 15, 156, 157, 173, 177, 179, 181, 184, 186, 199, 203, 204, 209, 244–246, 253, 255, 260, 261, 263
 - fonctionnement 179
 - sémiotique 177, 178, 180–183, 260

E

émergence 1, 2, 4, 16, 22, 36, 41, 42, 72, 96, 129, 259, 260
 abductive 43, 260
 déductive 42, 255, 260
 de l'information 231
 de la nouveauté 179
 des formes 173
 en CAAO 148
 générative 42
 observationnelle 255, 260
 plausible 5
 psychologique 41
 systémique 42, 260
 épistémologie
 constructiviste 1, 4, 5
 positiviste 4
 erreur 139, 261
 extension 138, 150, 261
 extension cylindrique 225

F

FABEL 88, 89
 facteur
 contextuel 249, 250
 global 250, 251
 opérationnel 248, 249, 252
 finalité 2, 6, 7
 fondement 109

G

GENCAD 89
 ground 109

H

habitus 198
 homomorphisme 3, 9, 10
 hypersigne 123–125, 128, 141, 142, 156, 157, 175, 179, 183, 184, 186, 229, 239, 253, 261, 262
 dimension temporelle 142

hypothèse 21, 24
 déterministe 4
 et organisation 148
 généralité 13
 gnoséologique 4
 ontologique 4
 phénoménologique 4
 production 13, 20–22, 27, 28, 32, 35, 42, 46, 47, 61, 68, 70, 72, 94, 95
 sélection 13, 27, 33, 35, 45, 47, 64–66, 71, 93–96
 téléologique 4
 validation 8, 20–22, 24, 27, 33–35, 42, 43, 45, 46, 63, 65, 66, 71, 72, 83, 94, 95

I

icône 116, 118–120, 168, 176, 183
 ignorance 15, 110, 139, 211, 261
 incertitude 2, 11, 15, 34–36, 43, 46, 48, 55, 56, 72, 94–96, 110, 114, 131, 153, 209–212, 215, 221, 254
 de l'interprétation 15, 211
 propagation 51
 inconcevabilité 28, 29, 145
 index 116, 168
 indice 116, 117, 120, 140, 176, 183, 184
 induction 11, 21, 23–26, 35, 46, 72–75, 92
 et recherches en CAAO 6
 inférence hypothétique 24
 information
 imprécise 211, 215
 incertaine 211, 215
 inconsistante 211
 le flux informationnel 125
 information sémiotique 14, 130, 137–140, 152
 aspect compositionnel 141
 propagation 141, 142, 145
 injection 9, 10
 innovation 14, 39, 151, 156, 171, 202

intelligence artificielle 2, 13, 20, 107, 115, 211
 interprétant 184, 203, 216
 interprétation
 analytique 198
 architecturale 11, 14, 15
 synthétique 2, 36, 38, 198
 intuition 148, 152, 153
 isomorphisme 3, 9, 10

J

jugement perceptif 27–29

L

légisigne 116, 167, 176, 183, 184
 légisigne-iconique-rhématique 120, 127, 149, 231, 240
 légisigne-indiciaire-dicent 121, 128, 131
 légisigne-indiciaire-rhématique 120, 127, 149, 240
 légisigne-symbolique-argumental 122, 131, 198, 238, 242
 légisigne-symbolique-dicent 121, 238, 242
 légisigne-symbolique-rhématique 121, 127, 131, 149, 238, 240
 logique
 de l'enquête 21, 33
 de la découverte 27
 des prédicats 46, 54, 61, 76, 85
 des propositions 61
 floue 11, 59, 64
 possibiliste 50, 59
 propositionnelle 81, 83

LOGIQUE PROPOSITIONNELLE ABDUCTIVE 81

M

méréologie 41, 110, 165
 maxitivité 218–220
 mesure
 de confiance 216, 227, 239, 253, 254

de nécessité 15, 216, 220–223, 239, 261
 de possibilité 15, 216, 218, 220, 222, 223, 226, 227, 239, 261
 conditionnelle 226

Mitchell, William J. 11

modélisation

 analytique 4
 des systèmes dynamiques 10
 sémiotique 16
 sémiotique de l'abduction 16, 17
 systémique 5–7, 9, 10, 16

modalité sémiotique 14, 122, 128–130, 152, 157, 239, 243, 253

 actualisation 129

 généralisation 129, 239

 instanciation 129, 130, 239

 matérialisation 239

 régression 239

 transposition 129, 130, 239

 virtualisation 128, 130, 239

monotonie 13, 47, 66, 69, 70, 72, 76, 79–82, 94, 95, 254

mutation 14, 156, 161, 166, 167, 174, 189, 195, 203, 211

 potentiel 163

N

nécessité 215, 216

 et condition 216

 et contrainte 216

 et impossibilité 216

nouveauté 1, 2, 96, 152

O

observation abstractive 39, 40, 146

opération géométrique 190, 197–200, 204, 246–252, 261

 affine 197

 composition 199

 isométrique 197

 isométrique propre 198

- linéaire 197
- similaire 197
- topologique 197
- originalité 2, 96
- P**
- paysage urbain 173
- PEIRCE 70–72
- PEIRCE-IGTT 71, 72
- percept 27, 28
- perception 21, 27–29, 32, 39
 - éléments de la 28
 - rôle de la 28
 - brute 27
 - contenu 44
 - origine de l'abduction 28
- percipuum 28, 146
- polymorphisme 9
- polyvalence sémiotique 109–111
- positivisme 4
- possibilité 215, 216
 - et consistance 215
 - et faisabilité 215
 - et permissivité 215
 - et plausibilité 215
- préscission 30, 165, 166, 203
- présomption 24
- pragmaticisme
 - maxime 169
- pragmatisme 11
- priméité 113, 114, 117, 127, 130, 131, 151, 165, 183
- priman 113, 130
- principes premiers 14, 156, 161, 162, 173, 174, 190, 193, 195, 203, 211
- probabilité
 - antérieure 51, 53, 54
 - conditionnelle 51–53
 - préalable 54
 - propagation 51
- problème de conception 1, 7, 9, 11, 17
- problème faiblement structuré 157, 158, 175, 253
- processus
 - cognitif 85, 86
 - sémiotique 108
- profondeur, voir aussi connotation 137, 138, 144
- psychologisme 26, 28
- Q**
- qualisigne 115, 116, 118, 119, 167, 176, 183
- qualisigne-iconique-rhématique 119, 127, 149, 239
- R**
- récurtivité 110, 229
 - générative 147
 - synthétique 231, 255
- réplique 108, 121, 122, 127, 142, 146
 - et légisigne 120, 127, 149
 - et sinsigne 127
- réseau bayésien 51–54, 95
 - expressivité 54
- résolution de problèmes 5, 6, 13, 57, 58, 64, 73
- réroduction 24, 25, 46
- révision des croyances 51, 52
- raisonnement
 - à base de cas 85, 94
 - monotone 57
 - non monotone 46, 56–58, 61, 81, 83
- RED 66, 68–72
- RED-2 68, 69
- redondance 139, 261
- représentation des connaissances 2, 210, 214
- restriction 138, 261
- RETWALL 77
- rhème 116, 118–120, 146, 150, 169, 176, 183
- routine 14, 151, 156, 171, 172, 202

S

- sémiose 2, 108, 113, 117, 120, 121, 125, 129, 130, 137, 142, 145, 153, 164, 168, 179–181, 186, 198, 229, 231, 234–237, 260
- abductive 15, 177, 186, 187, 209, 228, 231, 233, 260
- analytique 175, 204, 233, 238
- de la conception architecturale 242
- générative 15, 167, 174, 175, 203, 204, 228, 233, 246
- générative architecturale 175, 228
- hypostatique 199, 203, 204
- illimitée 108
- synthétique 233, 238
- savoir-concevoir 1, 3, 4, 6, 8–11, 14, 15, 156, 160, 162, 164–167, 169, 171, 172, 174, 187–190, 193, 195, 196, 202–204, 211, 214, 259, 261
- secondéité 113, 114, 117, 130, 131, 165, 183
- dégénérée 130, 131, 134
- secondan 114, 130
- SEED 88
- signification 11, 107–109, 111–113, 120, 153, 160, 169, 170
- similarité 14, 156, 161, 163, 164, 167, 172, 174, 189, 196, 203, 211
- sinsigne 116, 117, 119, 127, 128, 167, 176, 183
- sinsigne-iconique-rhématique 119, 127, 131, 141–143, 149, 231
- sinsigne-indiciaire-dicent 119, 120, 122, 127, 128, 141–144, 146, 229
- et l'information 142, 146
- et synthèse 144
- sinsigne-indiciaire-iconique 141
- sinsigne-indiciaire-rhématique 119–121, 125, 127, 142–144, 149
- Sowa, John 2, 115
- spécificité minimale 227
- subjectivité 17, 22, 39, 40, 46, 209, 210
- psychologique 17
- sociologique 17
- substitution 14, 156, 163, 164, 166, 174, 179, 191, 196, 203, 211
- surjection 9, 10
- syllogisme 23
- cas 23–26
- conclusion 23
- prémisse majeure 23
- prémisse mineure 23
- résultat 23–25
- règle 23–25
- terme majeur 23
- terme mineur 23
- terme moyen 23
- symbole 116, 122, 137, 147, 168, 176, 183, 184
- systèmes architecturaux 8, 14, 169, 183, 184, 193
- systèmes sémiotiques architecturaux 14, 156, 167, 203, 253

T

TACITUS 54, 56

tertian 114, 130

théorème de Bayes 49, 52, 53, 226

théorie des possibilités 2, 9, 11, 16, 17, 57, 209, 212–214, 216, 220, 227, 228, 233, 253, 254

THEORIST 61, 62

Thom, René 153

tiercéité 114, 117, 130, 131, 151, 165, 183

dégénérée au deuxième degré 131

dégénérée au premier degré 131

transformation

architecturale 2, 15, 157, 161, 164, 169, 178, 186–193, 195, 196, 200, 202–204

sémiotique 111, 129, 152

Turing, Alan 45

W

Wartime Housing Limited 9, 15, 187–190,
192–196, 200, 202–204, 240, 243,
246, 248, 261

Z

Zadeh, Lotfi 57, 214