

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LOGIQUE FLOUE ET ARBORESCENCE COMME OUTILS DE
MODÉLISATION DES CATÉGORIES EN TANT QUE PROTOTYPES

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN PHILOSOPHIE

PAR
TARANEH JAVANBAKHT

FÉVRIER 2016

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs SDU-522 (Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteure] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteure] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteure] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteure] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [elle] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier mon directeur de recherche, Professeur Serge Robert, pour sa disponibilité et sa flexibilité, ainsi que pour sa rigueur intellectuelle et ses conseils éclairants qui m'ont souvent permis de rédiger ce mémoire avec une nouvelle vigueur. Je le remercie aussi pour son soutien et son encouragement.

J'aimerais également remercier Professeur Alain Voizard et Professeur Dario Perinetti qui m'ont donné la possibilité de présenter les conférences ainsi que la deuxième partie de mon DECONSEM, le premier DECONSEM au monde, au département de philosophie de l'UQÀM.

Un DEONSEM n'est ni une CONFérence, ni un SÉMinaire. C'est un style unique de présenter les œuvres de création dans plusieurs domaines pendant plusieurs jours. Le DECONSEM est la déconstruction des concepts de CONFérence et de SÉMinaire. Dans ces séances de présentation, j'ai présenté mon système philosophique, le Nétisme, et les applications de la logique floue aux théories philosophiques ainsi que mes autres innovations en philosophie y compris la théorie des démarqueurs, le modèle de l'arbre et la logique tendantielle et leurs impacts en littérature, en arts et dans les mouvements sociaux.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à ma famille et à mes amis proches qui m'ont soutenu durant mes études en philosophie et la rédaction de ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
RÉSUMÉ	x
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I	
LA CATÉGORISATION SELON LA THÉORIE DES PROTOTYPES . .	8
1.1 Les catégories, les concepts, leurs types et leur structure	9
1.1.1 Types des concepts	9
1.1.2 Transformations de propriété et distance d'inter-catégories . .	10
1.2 Catégorisation, ordre et information	12
1.2.1 Catégorisation cognitive dans les sciences contemporaines . . .	13
1.3 Différence entre la théorie classique et la théorie des prototypes . . .	15
1.4 Définition et caractéristiques des prototypes	16
1.4.1 Primauté de certains membres des catégories	22
1.4.2 Structure interne des catégories	24
1.4.3 Degré de prototypicalité	26
1.5 Conclusion	27
CHAPITRE II	
LA THÉORIE DES PROTOTYPES EN OPPOSITION AUX AUTRES THÉORIES DE LA CATÉGORISATION	29
2.1 La théorie des exemplaires	29
2.2 La théorie des théories des concepts	31
2.3 La théorie des démarqueurs	34
2.3.1 Différences entre la théorie des démarqueurs et d'autres théories de la catégorisation	38

2.3.2	Primauté des membres ou primitivité de leurs caractéristiques dans les catégories?	41
2.3.3	Est-ce que la perte de démarqueurs change une catégorie?	42
2.4	Limitation de la théorie des prototypes	43
2.5	Relation entre les théories de la catégorisation	44
2.5.1	Hypothèse d'hétérogénéité	44
2.5.2	D'autres approches	45
2.6	Est-ce que la logique floue est applicable à l'analyse des concepts et de la catégorisation?	52
2.7	Conclusion	52
CHAPITRE III		
LA LOGIQUE FLOUE COMME OUTIL DE FORMALISATION DES SITUATIONS APPROXIMATIVES		
3.1	Introduction	53
3.2	Historique	53
3.3	Définition de la logique floue	54
3.4	Fondement théorique des ensembles flous	54
3.4.1	Univers du discours	55
3.4.2	Définition d'un ensemble flou	55
3.4.3	Fonction d'appartenance	56
3.4.4	Propriétés des ensembles flous	56
3.4.5	Opérateurs de la logique floue	58
3.4.6	Propriétés des opérations sur les ensembles flous	64
3.5	Prise de décision par approche floue	65
3.5.1	Proposition floue générale	65
3.5.2	Implication floue	66
3.6	Conclusion	68
CHAPITRE IV		

APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE ET DU MODÈLE DE L'ARBRE AUX PROBLÈMES DE LA CATÉGORISATION	69
4.1 Arguments fallacieux contre l'application de la logique floue dans l'ana- lyse des concepts	69
4.2 Les concepts et les ensembles flous	74
4.3 Méthodologie	74
4.3.1 Analyse formelle des concepts par la logique floue	74
4.3.2 Modèle de l'arbre pour la modélisation des prototypes	79
4.3.3 Application de la théorie des démarqueurs dans le modèle de l'arbre	88
4.3.4 Application des T-normes et des S-normes dans le modèle de l'arbre	99
4.3.5 Règle de contrainte	104
4.4 Conclusion	110
CONCLUSION	111
ANNEXE A	
TABLEAUX DU CHAPITRE III	125
BIBLIOGRAPHIE	132

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1.1 Caractéristiques de certains membres de la catégorie d'oiseaux . .	27
4.1 Exemple du contexte formel	75
4.2 Caractéristiques de certains membres de la catégorie d'oiseau . . .	76
4.3 Caractéristiques de certains membres de la catégorie de l'être humain	93
A.1 Les définitions et les formules des propriétés des ensembles flous .	125
A.2 Les opérateurs fondamentaux de la logique floue	127
A.3 Les T-normes et les S-normes les plus utilisées en logique floue . .	129
A.4 Les exemples de T-normes et de S-normes les plus utilisés	129
A.5 Les propriétés des opérateurs en logique floue	130

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
3.1 Exemple de fonctions d'appartenance, premier rang : monotones décroissantes, deuxième rang : monotones croissantes et troisième rang : croissantes et décroissantes	57
3.2 Un exemple d'une partition floue formée de trois ensembles	58
3.3 Opérateur ET réalisé par la relation 3.5	59
3.4 Opérateur OU réalisé par la relation 3.6	60
3.5 Opérateur min-max réalisé par la relation 3.7	60
3.6 Union (max), Intersection (min)	65
4.1 Diagramme d'un réseau de concepts	77
4.2 Un réseau flouifié de concepts	78
4.3 Décomposition de relation entre les membres de la catégorie et leurs caractéristiques en utilisant les concepts flous formels comme facteurs et les modalités pour le prototype (le canari A) et les autres membres de la catégorie d'oiseau	80
4.4 Modèle de l'arbre	83
4.5 Croisement des branches de deux catégories C (à gauche) et C' (à droite) comme deux arbres. p et p' sont les prototypes de C et C'	84
4.6 Le modèle de l'arbre pour une catégorie considérant ses démarqueurs forts, ses démarqueurs faibles et ses démarqueurs marginaux	87
4.7 Le modèle de l'arbre dans la théorie des démarqueurs pour présenter deux catégories (C à gauche et C' à droite) considérant leurs démarqueurs forts, leurs démarqueurs faibles et leurs démarqueurs marginaux	88
4.8 Concepts et sous-concepts des branches de la philosophie	95

4.9	La raison réflexive, la raison transitive, les tendances de répétition réflexives et les tendances de répétition transitives	97
4.10	Diagrammes des S-normes des démarqueurs de deux catégories en considérant la règle de contrainte pour leur croisement	108
4.11	Détail des diagrammes des S-normes des démarqueurs de deux catégories en considérant la règle de contrainte pour leur croisement	109

RÉSUMÉ

La présente recherche porte sur la notion de fluctuation de la catégorisation. Pour l'essentiel, ce travail présente la modélisation des catégories, comme outils cognitifs, selon les paramètres de la logique floue. Au premier chapitre, j'analyserai le problème de la catégorisation dans les sciences cognitives. Ma présentation portera, dans un premier temps, sur les notions de concept et de catégorisation. Ensuite, je présenterai la théorie des prototypes de Rosch. Le deuxième chapitre est consacré à traiter des débats autour de la théorie de Rosch, des critiques et des réponses aux critiques. J'analyserai aussi les textes d'Edouard Machery. Il considère le problème du manque de clarté dans la définition des catégories, c'est ce que je soutiendrai dans ce mémoire. J'expliquerai aussi des différences entre des théories de la catégorisation et les critiques de la théorie des prototypes. Dans ce chapitre, je présenterai une nouvelle théorie de catégorisation que j'appelle « la théorie des démarqueurs ». J'expliquerai les différences entre cette théorie et les autres théories de la catégorisation. Le troisième chapitre portera sur les notions essentielles de la logique floue. C'est en quelque sorte une présentation des paramètres que j'utiliserai par la suite. Dans ce chapitre, les avantages de cette logique relativement à la logique classique seront aussi discutés. Au quatrième chapitre, je porterai mon analyse critique des théories des catégories sur la modélisation des catégories. Ainsi, mon approche sera d'abord de montrer la relation entre les catégories selon les paramètres de la logique floue et ensuite de critiquer l'approche déjà utilisée dans les textes philosophiques pour définir ces catégories. Aussi, je mettrai en valeur la dynamique que la logique floue apporte à leur représentation. De plus, je présenterai un nouveau modèle que j'appelle « le modèle de l'arbre » pour montrer comment se fait la construction des catégories et la relation entre les prototypes et entre les démarqueurs. Ensuite, j'utiliserai la logique floue dans ce modèle pour modéliser la construction des catégories. Au terme de ma recherche, je conclurai que les relations entre les catégories dans les sciences cognitives sont importantes pour la validité de leurs définitions. Donc, il est impossible de les définir sans considérer celles-ci. Il faut plutôt différencier l'approche statique de celle qui est dynamique et qui trouve sa méthode d'analyse dans la logique floue. En ce sens, cette logique est très efficace pour faire cette analyse.

MOTS-CLÉS : Catégorie, Modélisation de catégorisation, Logique floue, Modèle de l'arbre, Sciences cognitives.

INTRODUCTION

Sciences cognitives, une réflexion critique

Dans ce mémoire, nous tenterons d'analyser la notion de catégorie selon différentes définitions en sciences cognitives et ensuite représenter la notion de catégorie et modéliser des prototypes avec la logique floue tout en considérant de nouvelles définitions pour ces notions. Ce mémoire veut mettre de l'avant une nouvelle conception des catégories, ne les définissant pas comme simple concept cognitif, mais plutôt comme une notion dont la définition est dynamique et floue, c'est-à-dire qu'elle est pourvue d'une mesure d'appartenance que l'on peut déterminer par la logique floue. Notre objectif n'est pas d'être exhaustive sur tous les aspects des théories de la catégorisation, mais plutôt de produire un modèle logique de la catégorisation selon les prototypes et les caractéristiques des membres des catégories, c'est-à-dire les démarqueurs. Rosch est opposée au recours à la logique floue, à cause de son aspect déductif, pour la construction et la représentation des catégories. Il est important de voir quelles fonctions de la logique floue peuvent s'appliquer pour formaliser les relations entre les catégories. Pour ce faire, nous présenterons les paramètres et les fonctions de la logique floue. Ensuite, nous discuterons dans les perspectives de cette analyse de la possibilité de modéliser des catégories avec les notions de la logique floue.

Pour analyser la notion de catégorie, Machery part d'une approche psychologique selon laquelle l'usage de la notion de concept n'est pas nécessaire et il faudrait l'abandonner pour bien analyser les théories de la psychologie des catégories (Machery, *Doing Without Concepts*, chapitre 1). D'abord, je ne soutiens pas cette

thèse de Machery dans ce mémoire. De plus, je vais montrer ce qui manque dans son analyse en réanalysant son approche de la catégorisation, c'est-à-dire « une fonction qui détermine si une instance spécifique est un membre d'un concept ou si ce concept est un sous-concept d'un autre » (Smith et Medin, 1981, p. 7). La catégorisation est un processus cognitif basé sur l'abstraction (Rosch, 1973, p. 382). Donc, en utilisant les notions de la logique floue, je vais montrer que les approches des théories des catégories pour l'analyse des concepts ne sont pas complètes sans le recours à la logique floue en m'opposant à la thèse de Rosch sur la non-conformité de cette logique pour la représentation et la construction des catégories.

Structure et contenu

Tout d'abord, j'expliquerai les notions de concept et de catégorie. Ensuite, je me pencherai sur la théorie des prototypes proposée par Rosch dans le premier chapitre de ce mémoire. J'expliquerai la notion de prototype et la structure interne des catégories dans cette théorie selon les œuvres de l'auteur. De plus, j'analyserai les catégories perceptuelles et conceptuelles. Ensuite, j'étudierai la catégorisation en analysant la relation entre celles-ci. Dans le chapitre 31 du livre intitulé *Handbook of Categorization in Cognitive Science*, Serge Robert (Robert, 2005) explique cette relation en basant son analyse sur la structure des inférences et des arguments. Je présenterai cette relation et ferai un lien avec la notion de catégorie.

Dans le deuxième chapitre, J'expliquerai les différences entre la théorie des prototypes et d'autres théories de la catégorisation.

Comment Machery et d'autres commentateurs de la théorie des prototypes comme Armstrong, Gleitman et Gleitman présentent la notion de catégorie ? Est-ce que cette notion dans leurs travaux peut autoriser une application nouvelle de la lo-

gique floue en ce qui concerne les concepts et les catégories? Si oui, qu'est-ce que cette application et comment elle est possible? Est-ce qu'elle se fait à partir des théories de la catégorisation? Lesquelles et comment? Je vais répondre à ces questions dans le deuxième chapitre de ce mémoire.

De plus, le deuxième chapitre inclura les critiques de la théorie des prototypes. Je compte privilégier certains textes du livre intitulé *Categories and Concepts*, écrit par Edward E. Smith et Douglas L. Medin. D'abord, je présenterai les descriptions que les auteurs ont données aux théories des concepts. Il s'agira d'éclairer le problème de ces théories en prenant les informations présentes dans les chapitres de ce livre. Par la suite, en analysant les arguments de Rosch et Machery, je me concentrerai sur les chapitres 2 et 4 du livre *Concepts and Fuzzy Logic* afin d'analyser les arguments de Belohlavek et Klir en faveur de la thèse que je soutiens, c'est-à-dire la thèse de la pertinence de la logique floue comme outil de modélisation de la catégorisation.

Le chapitre est suivi de l'approche utilisée par Machery et Rosch qui amènent les catégories du terrain philosophique au terrain psychologique. En fait, la connaissance des choses à travers l'usage des catégories de l'esprit humain s'acquiert habituellement sans que l'on ait une définition précise de ces catégories. La compréhension de la manière par laquelle ils considèrent les catégories devient indispensable pour comprendre la possibilité de l'expérience au travers de celles-ci. Je développerai mes contre-arguments par rapport à la thèse de Rosch, qui soutient la non-pertinence de la logique floue comme outil de modélisation des prototypes, dans le deuxième chapitre de ce mémoire.

Les différences entre la théorie des prototypes et les autres théories de la catégorisation seront aussi discutées en détail dans le deuxième chapitre de ce mémoire. Nous verrons aussi pourquoi la théorie classique des concepts n'est pas compatible

avec la logique floue. Mais est-ce que cette logique pourrait être utilisée pour la modélisation des catégories en psychologie? Je présenterai les principes de cette logique dans le troisième chapitre de ce mémoire. Ce troisième chapitre portera plutôt sur les notions de base de la théorie des ensembles flous et de la logique floue. Dans ce chapitre, je présenterai les diagrammes qui seront utilisés pour la suite de notre analyse. J'expliquerai la méthodologie à suivre dans un raisonnement flou. Je ferai principalement appel aux notions importantes de la logique floue. J'analyserai les commentaires des auteurs des chapitres 5, 6, 7 et 8 du livre intitulé *Concepts and Fuzzy Logic*. Il faudra préalablement comprendre ce que Belohlavek et Klir entendent par «les ensembles flous». Lotfi Zadeh, le fondateur de la logique floue, critique les approches d'Osherson et Smith en s'appuyant sur la définition qu'il donne aux ensembles flous. Je présenterai cette critique dans le quatrième chapitre de ce mémoire. Enfin, je démontrerai quelles théories parmi les théories des concepts sont conformes aux éléments de la logique floue pour être modélisées par celle-ci selon les différences de base entre ces théories.

Peu de commentateurs ont expliqué les liens qui se trouvent entre les catégories selon une modélisation par la logique floue. Dans le quatrième chapitre, je compte clarifier les liens logiques entre les catégories afin de déterminer leur degré d'appartenance aux sous-ensembles flous. Je vais analyser les degrés d'appartenance des catégories pour trouver les éléments qui déterminent la nouvelle définition de celles-ci. Nous considérons que les catégories ne sont pas complètement distinctes les unes des autres, mais liées les unes aux autres. Je démontrerai ma thèse de la pertinence de la logique floue pour la modélisation des prototypes en utilisant les modèles appropriés dans le quatrième chapitre de ce mémoire.

Thèse et arguments

Que nous disent les sciences cognitives sur le rapport entre les catégories ? Quelles sont les théories utilisées pour l'analyse de la catégorisation ? Tout d'abord, il faut savoir que les propriétés des catégories se différencient de leur description. Dans ce mémoire, je considérerai les caractéristiques des catégories et donc, je n'analyserai que leurs variations qualitatives par la logique floue.

Rosch soutient cette thèse que le degré d'appartenance, utilisé dans la logique floue, a une signification pour les concepts qui pourrait être prise en considération. Néanmoins, elle considère l'usage de la logique floue pour modéliser les catégories avec une portée limitée du à l'aspect déductif de la logique floue (Rosch, 2011, p. 90). Quel est l'argument de Rosch à l'appui de cette thèse ? Elle considère que l'aspect déductif de la logique floue la rend non pertinente pour la modélisation des catégories comme prototypes. Mon hypothèse est que cette thèse de Rosch n'est pas valable et que l'aspect déductif de cette logique est compatible avec son application dans l'analyse des catégories comme prototypes. Je soutiens cette thèse que la logique floue est un outil approprié pour la modélisation de la catégorisation et que ses éléments pourraient être mieux utilisés pour analyser l'approche prise dans la théorie des prototypes que la théorie des exemplaires. Mon argument est que la logique floue peut analyser les concepts conjonctifs et la théorie des prototypes est basée sur ces concepts, alors que la théorie des exemplaires est basée sur les concepts disjonctifs. Donc, mon hypothèse est que la logique floue est plus compatible avec la théorie des prototypes qu'avec la théorie des exemplaires.

Rosch ne soutient pas la théorie des exemplaires pour la catégorisation. Selon elle, la représentation des catégories se fait par l'abstraction, alors que la catégorisation ne se fait pas par l'abstraction selon la théorie des exemplaires. C'est pourquoi, selon elle, sa théorie, dite la théorie des prototypes, est opposée à la théorie des

exemplaires (*idem*, p.116).

Rosch se définit elle-même comme une théoricienne qui veut considérer le concept du degré d'appartenance afin de déterminer la portée de l'application de celui-ci à l'analyse des catégories et des prototypes. Cette approche l'amène à l'idée des limites des modèles flous dans la compréhension de la représentation du monde réel. Autrement dit, étant donné que la cognition, selon elle, n'est pas séparée de la perception, la compréhension perceptive du monde réel avec les modèles flous n'est pas complètement faisable. Pourtant, Rosch ne s'oppose pas à la possibilité de combinaison de la théorie des prototypes avec la théorie des exemplaires en utilisant la logique floue (Belohlavek et Klir, in *Concepts and Fuzzy Logic*, p.116). La première théorie est basée sur les concepts conjonctifs, alors que la deuxième théorie traite les concepts disjonctifs. Cette différence fait que la logique floue, avec les notions conjonctives, est mieux applicable pour la modélisation des prototypes que pour celle des exemplaires.

Problématique, méthode et organisation du mémoire

Ce mémoire va tenter de montrer comment, malgré l'opposition de Rosch, on peut utiliser la logique floue pour la modélisation de la catégorisation par des prototypes.

Certains commentateurs de la théorie de la catégorisation, par exemple Osherson et Smith, considèrent certains problèmes pour appuyer cette thèse que « la logique floue en combinaison avec la théorie des prototypes contredit nos intuitions sur les concepts » (*idem*, p.124). Selon eux, ces problèmes concernent les concepts conjonctifs, les concepts logiquement vides et les concepts logiquement universels, les concepts disjonctifs et les conditions de vérité des pensées. Dans un concept conjonctif, les attributs de deux ou plusieurs concepts sont unis par la

conjonction, alors que dans un concept disjonctif, ces attributs sont séparés par la disjonction (Lebrun et Berthelot, 1994). Par exemple, la pomme est un concept conjonctif incluant le concept de la forme et celui du fruit qui ne pourraient pas être considérés séparément. « Le fruit qui ne peut pas être pris » est un concept disjonctif incluant deux concepts séparés : le fruit et celui de ne peut pas être pris.

Par ce mémoire, je souhaite utiliser les outils formels de la logique floue et d'une construction personnelle d'un modèle que j'appellerai « le modèle de l'arbre » pour modéliser le processus de la catégorisation par prototypes.

CHAPITRE I

LA CATÉGORISATION SELON LA THÉORIE DES PROTOTYPES

Dans toutes les situations où un adulte se trouve, il (elle) a besoin d'utiliser des catégories. Pour ce faire, il (elle) essaie de comprendre les situations en observant les phénomènes et en trouvant les relations entre les phénomènes. Dans tous ces cas, la définition des catégories, leurs propriétés ainsi que leur différence qualitative sont présupposées. Dans ce chapitre, je vais discuter des concepts, de leurs différents types, de leur changement qualitatif, des problèmes des prototypes, de structure des concepts et de transformations de propriété et de distances d'inter-catégories. Ensuite, je vais présenter le problème de la catégorisation qui se trouve dans les sciences cognitives ainsi que l'inexactitude de la définition des catégories. La manière intuitive de catégoriser chez les êtres humains n'est pas basée sur l'usage de la définition exacte des concepts. Cela est dû à l'aspect cognitif de la catégorisation et son usage par l'esprit humain. Nous ne distinguons pas toujours toutes les sortes de concepts lorsque nous sommes dans les situations spécifiques. Dans la suite de ce chapitre, je vais analyser la démarche de la catégorisation cognitive dans les sciences contemporaines et ensuite, je vais expliquer pourquoi la définition des concepts ne pourrait pas être toujours exacte.

1.1 Les catégories, les concepts, leurs types et leur structure

1.1.1 Types des concepts

Selon Keil, il existe trois types de concepts : naturel, artefact ou nominal. Les concepts naturels sont ceux qui ne sont pas sous l'influence des activités humaines, mais qui existent sous certaines lois de la nature. Les concepts des animaux, des plantes, des éléments et des composés sont de type naturel. Les concepts qui désignent les phénomènes naturels, par exemple les événements liés à la terre (ex. le tremblement de terre) ou les maladies, sont aussi des concepts naturels. Les concepts artefacts ou artificiels, par exemple, les concepts de vêtement, de véhicule, etc. sont liés aux activités humaines. Ces concepts existent sous certaines lois de la nature (Keil, 1989, p. 28). Les concepts nominaux sont ceux qui n'adressent pas directement les objets perceptibles physiques. Les travaux de Rosch et Schwartz aussi montrent que la théorie classique des concepts n'est pas une théorie applicable aux concepts artificiels et nominaux, respectivement, car certains de ces concepts n'ont pas besoin de caractéristiques en termes de conditions nécessaires et suffisantes. Les concepts sémantiques sont des concepts de type nominal (*ibid*). En fait, la définition de la catégorie est très souvent non exacte et, donc, elle est floue. C'est pourquoi il faut considérer les degrés d'appartenance gradués à la catégorie pour ses membres. De cette conclusion de l'auteur, on peut déduire que la flouification est un moyen de mieux présenter ce type de concept nominal et l'outil approprié pour le faire est la logique floue dont les éléments seront présentés dans le troisième chapitre de ce mémoire.

Une catégorie est le résultat d'une opération mentale. Bien qu'un des usages des catégories en tant que contenus de la pensée ou entités mentales se trouve dans le langage, nous ne considérons pas leurs propriétés linguistiques dans ce mémoire. Les catégories peuvent être considérées dans trois groupes : naturel, artefact ou

nominal. Nous présenterons quelques exemples de ces catégories dans ce mémoire.

1.1.2 Transformations de propriété et distance d'inter-catégories

Keil soutient que dans le jugement des enfants sur l'appartenance d'une entité à un genre naturel donné, parfois certains changements se passent dans les fonctionnalités et les relations de ces entités. Autrement dit, le développement des enfants montre une transformation des caractéristiques qui aboutit à ces changements. Ces caractéristiques sont les propriétés visibles qui sont observables suite à l'application d'un stimulus, c'est-à-dire un membre d'une catégorie qui fait que l'agent porte son jugement afin de répondre à une question sur celui-ci. Autrement dit, c'est à cause de considérations relatives aux caractéristiques des membres d'une catégorie que l'agent pourrait répondre à une question suite à l'application d'un stimulus. Selon lui, ces changements peuvent se passer à partir des caractéristiques perceptuelles envers les caractéristiques conceptuelles ou à partir de ce qui est visible envers ce qui ne l'est pas où certains principes biologiques des variétés invisibles sont en jeu. Par exemple, la couleur d'un objet est une caractéristique perceptuelle, alors que le nombre est une caractéristique conceptuelle de l'objet. De plus, les enfants, selon lui, sont capables de faire la computation de la similarité et les corrélations de caractéristiques des concepts dans les instances auxquelles ils sont familiers. Tout le changement qu'il explique pour l'état cognitif des enfants est explicable par le fait qu'ils utilisent leur intuition concernant la nature des principes biologiques, c'est-à-dire les principes qui existent selon la biologie des enfants, par exemple, la physiologie de leur cerveau (Keil, 1989, p. 196). Pourtant, Keil n'explique pas si cette capacité des enfants est innée ou peut s'acquérir avec l'expérience. Il ne clarifie pas non plus quels sont exactement ces principes biologiques qui déterminent ces processus du jugement cognitif des enfants. Est-ce que

ces principes biologiques font que ces intuitions restent purement physiologiques ou est-ce qu'il existe d'autres principes non physiologiques qui ont un impact sur le jugement cognitif des enfants ?

Keil analyse trois types de transformation de concepts : 1. Transformation des concepts naturels aux concepts naturels liés, 2. Transformation des concepts artificiels aux concepts artificiels, 3. Déplacement des catégories ontologiques croisées. Pour la première transformation de concept, il donne l'exemple d'une personne qui change le mode de vie d'un cheval en le rendant comme un zèbre et se demande si un changement du concept du cheval à celui du zèbre a eu lieu dans le cas de l'activité de cette personne. Dans le cas du deuxième type de changement de concepts, il donne l'exemple d'une personne qui coupe les pieds d'une table et attache les petits morceaux produits, ce qui la rend comme une bibliothèque et se demande si ce changement résulte en changement du concept de table à celui de bibliothèque. Enfin, dans le cas du troisième changement de concepts, Keil considère quelqu'un qui modifie l'apparence d'un jouet de forme d'un oiseau en lui ajoutant des plumes et en modifiant son bec, ce qui fait qu'il puisse s'envoler comme un vrai oiseau et se questionne sur le changement du concept d'oiseau jouet à celui d'oiseau réel. Autrement dit, il se demande si dans tous ces exemples, la catégorie des objets est non changée. L'expérience de Keil sur les enfants montre que la description des catégories artificielles ne dépend pas de l'âge des enfants, c'est-à-dire que les enfants plus jeunes décrivent ces catégories de la même manière que les enfants plus âgés, mais leur âge a un effet sur leur description de la catégorie de concepts naturels ou celle des concepts ontologiques croisés. De plus, ils arrivent à distinguer le type des animaux avant celui des plantes et celui des plantes avant celui des matières minérales. En fait, le jugement des enfants sur la distance d'inter-catégories est de telle manière que le changement de types des catégories est continu entre les types similaires, alors que ce changement n'est

pas continu entre les types ontologiques. Donc, ce n'est pas la distance d'inter-catégories qui détermine quels concepts sont considérés par les enfants dans une catégorie quelconque. De l'ensemble de ces transformations des catégories, Keil conclut que le développement cognitif des enfants n'est pas une simple transition de l'état perceptuel à l'état conceptuel (Keil, p.198-214).

Est-ce que selon l'expérience de Keil on peut déduire que la distance d'inter-catégories entre les catégories naturelles et artificielles est moins grande que celle entre ces catégories et les catégories ontologiques croisés? Est-ce que le jugement des enfants concernant ces changements de catégories se fait dans une seule étape ou il existe plusieurs étapes cognitives dans leur jugement? Quels sont la (les) étape(s) du jugement cognitif qui déterminent ces distances? Est-ce que les adultes n'utilisent pas un mécanisme plus complexe que les enfants concernant les changements de catégories? Ces questions restent à explorer en philosophie cognitive.

1.2 Catégorisation, ordre et information

Serge Robert dans *Handbook of categorization in cognitive science* analyse la notion de la catégorie en relation avec l'information et l'ordre. Il explique que la pensée humaine est un processeur puissant qui incorpore et accumule les entités mentales que sont les catégories. En fait, ce sont celles-ci qui composent la représentation mentale des êtres humains. Selon lui, bien que la nature fonctionne selon la tendance vers une entropie, le processus mental de certains animaux et des êtres humains tend vers la mise en ordre de l'information perceptive, l'information qu'on met dans la catégorie et l'entropie qu'on enlève (Robert, 2005, pp 702-714).

1.2.1 Catégorisation cognitive dans les sciences contemporaines

Qu'est-ce que la catégorisation ? Neisser dans son livre intitulé *Concepts and Conceptual Development : Ecological and Intellectual Factors in Categorization* définit la catégorisation. Selon lui, la catégorisation consiste à « traiter un ensemble de choses de façon équivalente, les nommer ou leur répondre de la même manière ». En fait, les individus acquièrent les nouvelles catégories lors du processus cognitif de la formation de concepts. La formation de catégories n'est pas seulement considérée en psychologie, mais aussi dans le processus de l'apprentissage concernant « les mécanismes de base », c'est-à-dire les mécanismes pouvant être étudiés dans n'importe quelle espèce (l'animal ou l'être humain) avec n'importe quelle tâche d'apprentissage planifiée (Neisser, 1987, p. 1). La catégorisation est un « processus mental complexe » et « une expérience immédiate » (*idem*, p.11).

En ce qui concerne la catégorisation des catégories naturelles, Eleanor Rosch explique que ses premiers travaux sur la catégorie de couleur montrent que la catégorisation, au contraire de ce que les autres théories soutiennent, n'est pas basée sur l'usage du langage. Une étude par Heider a été faite sur une tribu appelée Dani, les habitants de la Guinée, dont le langage, pourvu de deux mots pour désigner les couleurs, n'a pas été développé concernant le concept de la couleur. Elle a montré que les individus de cette tribu ont pu concevoir les couleurs de la même manière que les humains avec le langage développé, c'est-à-dire le langage pourvu des mots qui désignent les différentes couleurs (Berry et al., p.187). De cette étude, Rosch conclut que la catégorisation des concepts naturels n'est pas basée sur le langage. Selon elle, les prototypes des couleurs sont à la base de la catégorisation chez les êtres humains (Rosch *et al.*, 1977, p. 4).

Comment peut-on classer les catégories ? Rosch répond à cette question dans

le chapitre 8 de son livre intitulé *Concepts : Core Readings*. Elle mentionne deux principes pour la classification des catégories : le premier principe traite la fonction des systèmes de catégories, alors que le deuxième considère leur structure. Selon le premier principe, « la tâche des systèmes de catégories est de fournir un maximum d'informations avec le moindre effort cognitif ». Donc, plus un système de catégories fournit d'informations avec moins d'énergie que la personne utilise, plus il est efficace. Selon le deuxième principe, « le monde perçu vient d'information structurée plutôt que comme attributs arbitraires ou imprévisibles ». Donc, l'état cognitif de l'être humain permet d'accumuler les informations sur le monde. Ces informations sont liées à la catégorisation, de manière ordonnée et non pas désordonnée (Rosch, 1999, p. 28). Mais ce n'est pas toujours le cas. Parfois les informations ne sont pas accumulées dans notre esprit de manière structurée. C'est pourquoi parfois nous ne sommes pas certains quelles catégories sont plus appropriées dans une situation. Cela correspond à l'inexactitude des définitions des catégories dans notre esprit. C'est pourquoi une flouification de la catégorisation est nécessaire afin de démontrer le vrai fonctionnement des catégories dans les sciences cognitives. Rosch soutient que le monde est perceptible si le maximum d'informations est obtenu lorsque le moindre effort cognitif est appliqué. Selon elle, deux manières rendent cette condition possible : soit avec une cartographie des catégories, soit par la définition ou la redéfinition des attributs des catégories. La première manière a pour résultat « les structures d'attributs », alors que la deuxième donne les séries des catégories bien structurées. Autrement dit, la mise en place des catégories dans les séries d'attributs est possible lorsque le rapport des catégories s'établit selon leur définition ou redéfinition. Par exemple, l'utilisation des catégories d'oiseau et de mammifère dans la série d'attributs pourrait se faire lorsqu'on établit le rapport de ces catégories selon leurs définitions.

Comment peut-on considérer les catégories sans propriété commune entre leurs

membres ? Pour répondre à cette question, je présenterai la théorie de Rosch dans la prochaine section.

1.3 Différence entre la théorie classique et la théorie des prototypes

La première théorie sur la notion de concept, sa fonction ainsi que son rôle dans la cognition humaine est la théorie classique dont le fondement se trouve dans la philosophie d'Aristote. Cette théorie, dite « la théorie classique », est basée sur trois hypothèses : 1) le processus de l'abstraction produit la représentation sommaire dans la cognition humaine, 2) cette représentation ne nécessite pas d'instance spécifique et 3) elle est applicable à tous les tests d'instance. Ici, l'instance d'un concept veut dire tout objet, à l'extérieur ou à l'intérieur de l'être humain, qui pourrait correspondre à celui-ci.

Selon la théorie classique, les caractéristiques des objets, c'est-à-dire les propriétés des objets qui déterminent leur définition, sont nécessaires et suffisantes pour leur définition et les caractéristiques d'un sous-concept qui appartiennent aussi au concept principal (*idem*, p.23,24). Au contraire de la théorie classique, les théories de la catégorisation considèrent que la liste des caractéristiques des objets, comme condition nécessaire et suffisante pour la définition des concepts, est rare dans l'état cognitif des êtres humains et donc, il faudra considérer l'ensemble des membres des concepts dans les classes, dite les catégories, au lieu des concepts.

Plusieurs critiques ont été adressées à la théorie classique des concepts. Certains commentateurs de cette théorie ont donné cet argument que cette théorie ne traite que les caractéristiques structurales des concepts. Or, certains concepts ont d'autres caractéristiques que les caractéristiques structurales, par exemple, les caractéristiques fonctionnelles. Il s'en suit que cette théorie ne traite pas tous les concepts. D'autres commentateurs disent que cette théorie exclut les concepts dis-

jonctifs, alors que beaucoup de concepts sont disjonctifs et donc, elle ne traite pas tous les concepts. Une autre critique de cette théorie concerne les cas non spécifiques où les caractéristiques de certains concepts ne sont pas claires et distinctes et donc, cette théorie ne peut pas les traiter. Cette théorie considère seulement les caractéristiques nécessaires et suffisantes qui définissent les concepts, alors que certaines catégories sont dépourvues de celles-ci et donc, cette théorie ne peut pas les traiter (*idem*, p.33-35). Par ailleurs, en analysant le concept de l'oiseau selon la théorie classique, on se rend compte des effets de (proto)typicalité discutés par Rosch et Mervis (Rosch et Mervis, p.573-605). Elles disent que certains membres des catégories ont des caractéristiques typiques, alors que certains autres ont des caractéristiques atypiques qui augmentent la complexité de leur analyse. Par exemple, le merle est un oiseau qui a des ailes et qui vole, alors que la poule est un oiseau qui a des ailes et qui ne vole pas. Donc, le premier a des caractéristiques typiques de la catégorie de l'oiseau, alors que le deuxième a une caractéristique atypique, c'est-à-dire le manque de capacité de s'envoler.

Les membres typiques d'une catégorie ont moins de caractéristiques que les membres atypiques. Plus le nombre de caractéristiques augmente, plus la complexité augmente. Donc, la typicalité est inversement proportionnelle à la complexité (Smith et Medin, p.36).

Dans la section suivante, j'expliquerai les concepts de prototypicalité et de degré de prototypicalité.

1.4 Définition et caractéristiques des prototypes

Rosch définit la notion de prototype dans la théorie des prototypes dans son article intitulé *Natural Categories*. Elle considère la notion de centralité pour les catégories selon laquelle certains membres d'une catégorie peuvent être de meilleurs

exemples de ce qu'est un prototype. Autrement dit, les prototypes sont plus centraux que les autres membres de la catégorie. Il est important de noter qu'un prototype résume les propriétés requises pour appartenir à une catégorie. Dans son approche, Rosch considère que certaines catégories, dite les catégories de base, ont le nombre significatif des attributs en commun ce qui donne plus d'information avec le moindre effort cognitif. De plus, la première catégorisation se fait lors de la perception des choses où les formes des catégories sont similaires et donc, celles-ci sont identifiables par leurs formes. Les catégories de base sont la base d'autres catégories (Rosch *et al.*, 1976, p. 382). Les catégories ont aussi une dimension horizontale, c'est-à-dire une structure interne des catégories pour l'analyse des prototypes. C'est dans cette structure horizontale que la centralité devient une caractéristique importante des prototypes. Pour Rosch, toutes les catégories n'ont pas le même niveau, car elles n'ont pas la même primauté les unes par rapport aux autres. Dans son article intitulé *Cognitive Representation of Semantic Categories*, Rosch analyse la primauté des catégories que j'analyserai dans la sous-section suivante de ce mémoire. Selon Lakoff, les mêmes principes dits « les principes centraux » dans le langage déterminent la centralité des catégories en liant les formes et les contenus de celles-ci (Lakoff, p. 492). Il ajoute :

Les catégories moins centrales sont caractérisées par ces différences minimales qui les distinguent des catégories sur lesquelles elles sont basées.[...] Les principes centraux sont utilisés pour caractériser les redondances de la manière suivante : Le bien d'une catégorie non centrale qui peut être prédite par des principes centraux de la spécification des différences minimales est redondant (*ibid*).

Par exemple, en utilisant le principe de similarité des mots du langage pour désigner les caractéristiques en commun de la catégorie de couleur, on peut les différencier les unes des autres. Ce principe nous aide à distinguer les catégories non centrales des couleurs dont les caractéristiques sont plus proches les unes des autres de celles dont les caractéristiques sont moins proches les unes des autres,

c'est-à-dire des catégories centrales. Par exemple, les caractéristiques des couleurs chaudes (le rouge, le jaune et l'orange) sont plus similaires entre elles qu'elles ne le sont avec les couleurs froides (le bleu, le vert et le violet). Donc, on considère les couleurs chaudes et les couleurs froides comme les (sous)catégories centrales et les différentes couleurs froides comme les (sous)catégories non-centrales.

Donc, Rosch considère les différences des catégories selon leur positionnement les unes par rapport aux autres. Dans cette considération, les principes centraux sont importants afin de distinguer les positionnements des catégories. Si les différences entre certaines catégories sont minimales et redondantes, elles pourraient ne pas être centrales mais secondaires dans la structure des catégories. Dans l'exemple des couleurs donné ci-dessus, les différentes couleurs de bleu (ex. le bleu clair et le bleu foncé) sont les catégories secondaires et non pas centrales, car leurs caractéristiques sont proches les unes des autres.

Selon Rosch, dans la combinaison des attributs du monde, ces attributs dépendent les uns des autres. Ces attributs sont parfois probables, c'est-à-dire avec une probabilité considérable d'existence dans le monde, parfois avec une distribution non uniforme et parfois impossibles, donc avec une probabilité nulle d'existence. Elle dit que les catégories ne sont que « les objets équivalents avec les noms » et qu'une taxonomie est « un système de relation des catégories par classe ». De plus, c'est par l'abstraction qu'une catégorie est incluse dans une taxonomie. Donc, le nombre d'abstraction est équivalent au taux d'inclusion des catégories dans les taxonomies (Rosch *et al.*, 1976, p. 383).

Rosch soutient que les limites des catégories, au moins la plupart d'entre elles, ne sont pas claires et distinctes. Qu'est-ce qu'elle veut dire par le mot « limite » ? Est-ce que cette limite désigne quelque chose liée à la fonction de la catégorie ou à sa structure ? Rosch affirme que les groupes d'attribut des catégories pourraient

être continus. Donc, la limite est ce qui fait les distinguer les unes des autres. Autrement dit, si cette limite n'est pas claire, alors les attributs pourraient être regroupés dans les groupes continus et non distincts. Par exemple, ce qui limite la catégorie de l'arbre de celle de buisson n'est pas clair et distinct. Donc, on peut regrouper ces deux catégories dans un seul groupe.

En ce qui concerne la classification des catégories selon les deux principes proposés par Rosch, il faudra choisir « les critères nécessaires et suffisants ». Ces critères sont utilisés pour l'association des catégories qui sont, selon elle, claires et distinctes les unes des autres. Pour ce faire, les définitions virtuelles semblent être utilisables pour ces catégories. Nous ne pourrions pas seulement considérer chaque catégorie dans son cas précis sans la considération de sa limite, car notre état cognitif ne fonctionne pas toujours en se basant sur la considération des catégories séparées les unes des autres. C'est pourquoi encore une fois l'application de la logique floue pourrait être pertinente afin d'accentuer le rôle des limites dans la structuration des catégories dans les sciences cognitives.

Selon Rosch, la structure interne des catégories, dite « le prototype », correspond à leur association. Elle explique deux sources de confusion sur cette notion. La première est, selon elle, la définition de prototype comme « un membre de catégorie ou une structure mentale spécifique ». Il n'est pas clair quel critère il faudra choisir pour considérer un membre comme prototype et un autre comme un membre non typique. Cette ambiguïté pourrait influencer la question sur la limite structurale de la catégorie. Est-ce que les résultats empiriques dans les sciences cognitives sur la prototypicalité des catégories ont été conçus différemment de ceux des théories du traitement ? Ces théories considèrent la façon d'effectuer des changements dans les objectifs cliniques à travers les ingrédients du traitement. Elles fournissent les outils pour induire le changement clinique, mais ne précisent pas quelle sera la mesure pour atteindre l'impact ultime du changement (Whyte, 2014, p. S17). La

réponse de Rosch à la question mentionnée ci-dessus est négative. La corrélation des structures des catégories et leur usage dans le traitement des données cognitives¹ semblent aussi ne pas être clairs. Selon elle, la structure des catégories de théories n'a pas été distinguée de celle de leur utilisation dans le traitement et cela est la deuxième source de confusion sur la notion de « prototype ». C'est pourquoi Rosch préfère considérer d'abord les prototypes dans le contexte structural. Dans cette approche empirique, elle considère « les définitions opérationnelles des catégories » et non pas « les hypothèses de traitement » des données. Autrement dit, selon Rosch, avec l'expérience acquise et non pas l'hypothèse sur les données (par exemple les caractéristiques des prototypes), on peut considérer leur structure et donc leur lien les uns avec les autres. Par exemple, en percevant les différents fruits et en obtenant de l'expérience sur les membres de la catégorie de fruit, on peut considérer leur positionnement dans cette catégorie.

Qu'est-ce que la prototypicalité d'une catégorie ? Dans la définition roschéenne de prototypicalité, cette notion est liée au nombre d'attributs d'une catégorie qui sont partagés par les membres de la catégorie. Selon cette définition, plus d'attributs d'une catégorie en commun avec les autres membres de la catégorie et moins d'attributs en commun avec les membres des autres catégories qui ne se regroupent pas avec la première, plus sera la différence entre cette catégorie et les autres catégories. Dans cette définition, le nombre d'attributs considérés pour le membre le plus typique de la catégorie est moins que celui des autres membres de celle-ci. On pourrait conclure à un lien entre la flouification des catégories et leur prototypicalité. En fait, en appliquant la logique floue sur les catégories, leur prototypicalité diminuera, car leur flouification entraînera la diminution du contraste de leurs attributs, c'est-à-dire la différence entre les prototypes et d'autres membres de la

1. Rosch ne précise pas le traitement de quoi, c'est moi qui ai ajouté ici que ce traitement se fait sur les données cognitives. Cela pourrait être les catégories ou bien dans un contexte plus vaste les idées en général.

catégorie.

Pour Rosch, les prototypes sont « les membres d'une catégorie que la plupart reflètent la structure de redondance de la catégorie dans son ensemble ». Qu'est-ce que cette redondance structurale des catégories ? Est-ce qu'elle n'est pas due au fait que la définition de chaque catégorie ne pourrait pas être exacte et distincte de celle des autres ? Rosch ne le dit pas, mais affirme ceci :

Les catégories forment à maximiser le groupe riche en informations d'attributs dans l'environnement et, par conséquent, la validité de repère ou la ressemblance des attributs des catégories. Les prototypes de catégories apparaissent de former dans une telle manière à maximiser cette validité de repère encore plus dans des catégories (Rosch *et al.*, 1977, p. 433).

En fait, la redondance des catégories ne peut pas être seulement structurale, mais aussi conceptuelle, ce que Rosch ne discute pas. L'inexactitude de la définition des catégories résulte en leur redondance conceptuelle et je vais montrer dans ce mémoire que la logique floue est un outil approprié pour démontrer ce type de redondance. Selon Rosch, la prototypicalité détermine « la représentativité au sein d'une catégorie et le caractère distinctif de catégories contrastes. »

Rosch relie l'effet des stimuli aux effets de prototype pour les catégories artificielles.

Elle dit :

Pour les catégories artificielles, seul le principe produira des effets de prototypes en fonction de la structure de l'ensemble des stimuli. Ainsi, pour réaliser des expériences pour essayer de distinguer quel principe est celui qui détermine la formation de prototype et le traitement de la catégorie semble être un exercice artificiel.

1.4.1 Primauté de certains membres des catégories

Rosch dans son article intitulé *Cognitive Representation of Semantic Categories* explique que les catégories n'ont pas le même niveau lors de la cognition des catégories par les êtres humains, certains entre elles sont en primauté par rapport aux autres. Ici, « le niveau de la catégorie » veut dire son positionnement par rapport aux autres catégories dans leur structure verticale. En faisant des expériences sur les sujets humains pour déterminer la nature de leurs catégories sémantiques de niveau supérieur, c'est-à-dire les catégories en primauté qui sont conçues en avance par rapport aux autres catégories, elle étudie aussi la structure de ces catégories. Les catégories sémantiques sont celles qui ne désignent pas les objets physiques et leur contemplation n'a pas besoin de perception sensible (Coleman et Kay, p.27). Par exemple, la catégorie d'action est une catégorie sémantique ou nominale dont la contemplation n'a pas besoin de perception sensible. On regroupe les actions comme aboyer, nettoyer, etc. dans la catégorie d'action.

Rosch analyse la structure interne des catégories avec deux modèles, l'un qui considère une seule étape pour le jugement cognitif et l'autre qui considère deux étapes pour ce jugement. Elle considère deux hypothèses pour cette analyse. Selon la première hypothèse, si la primauté des catégories consiste à changer la recherche dans la mémoire de vérification à partir de plusieurs tâches vers la vérification simple, alors les réponses amorcées sont plus rapides que les autres. Par exemple, selon cette hypothèse, si la primauté de la catégorie de fruit consiste à vérifier la catégorie à partir de la vérification de leur forme, la comparaison de leur couleur, la détermination de leur taille, etc. vers la vérification de leur odeur, alors les réponses aux stimuli, qui consistent à choisir des fruits parmi plusieurs groupes de nourritures, sont plus rapides que si on vérifie seulement une de leurs caractéristiques. Selon la deuxième hypothèse, la simple vérification est plus rapide que

la vérification à plusieurs tâches. Par exemple, selon cette hypothèse, choisir les oiseaux parmi les différents animaux en vérifiant s'ils pondent des œufs est plus rapide qu'en comparant leurs chants, leurs becs, etc.

Rosch dit que les réponses amorcées aux bons (ou aux mauvais) exemples de catégories sont plus rapides que les réponses non amorcées à ces catégories. Selon elle, dans l'expérience de présenter le membre de la catégorie en primauté deux secondes en avance par rapport aux paires de stimuli, le premier modèle de l'état cognitif, c'est-à-dire le modèle qui considère le jugement cognitif en une seule étape, n'est pas explicatif, car dans cette circonstance la primauté affecte le codage perceptuel des êtres humains concernant les paires des stimuli qui sont physiquement identiques. La primauté de cognition des prototypes par rapport aux autres membres d'une catégorie veut dire qu'en considérant le prototype, on répond au stimulus plus rapidement qu'en considérant ces autres membres. Donc, le prototype, selon la théorie des prototypes, est en primauté dans notre état cognitif par rapport aux autres membres de la catégorie. Par exemple, en regardant plusieurs oiseaux avec les différents degrés de prototypicalité, puisque notre perception affecte notre jugement cognitif, nous ne pourrions pas différencier ces oiseaux selon ce critère en même temps que nous cherchons plusieurs aspects de leur différence. Donc, nous devrions d'abord considérer un aspect et ensuite continuer un autre aspect de leur différence pour enfin distinguer lequel oiseau est le prototype parmi d'autres.

De plus, la réponse rapide des individus aux stimuli en considérant les bons membres et leur réponse retardée en considérant les membres faibles, qui sont tous physiquement identiques, est déterminée par cette structure interne des catégories. Donc, les membres des catégories n'ont pas le même niveau structural dans l'état cognitif des êtres humains et certains sont en primauté par rapport aux autres tout dépendant de leur vitesse de réponse aux stimuli (Rosch, 1975,

p. 212,213). Nous discuterons de la structure interne des catégories dans la sous-section suivante de ce mémoire.

1.4.2 Structure interne des catégories

Rosch considère une structure interne pour les catégories naturelles basée sur les relations entre les prototypes (Rosch, 1973). Elle dit :

La structure interne de la catégorie est définie par les jugements de sujets à propos du degré auquel les membres s'adaptent « l'idée ou l'image » de la catégorie, puis les prototypes devraient coïncider plutôt qu'avoir le conflit avec la validité de repère. Autrement dit, si les catégories naturelles désignant les objets concrets ont la tendance à s'organiser de manière à rendre les catégories de plus discriminable l'une de l'autre, il en résulte que le maximum de la validité de repère possible des articles dans chaque catégorie sera atteinte (Rosch et Mervis, p.575).

Par exemple, si les membres de la catégorie d'oiseau correspondent à l'image de l'oiseau dans notre état cognitif, les meilleurs membres de cette catégorie ou les prototypes coïncideront avec la ressemblance de leurs attributs et donc, ils rendront cette catégorie discriminable des autres catégories.

Donc, selon Rosch, la discrimination des catégories, liée à la coïncidence de leurs prototypes à l'image ou l'idée liée à celles-ci, est un critère de la validité de leur structure interne. Qu'est-ce que la validité de repère ? "Cue validity" ou la validité de repère est une probabilité qu'un objet se trouve dans une catégorie particulière. En ce qui concerne la validité de repère des concepts, « peu importe si un article est une instance ou sous-concept d'un concept cible, il faut considérer non seulement les caractéristiques que cet article a en commun avec ce concept, mais aussi les caractéristiques qu'il a en commun avec d'autres concepts qui contraste avec la cible. » Par exemple, pour juger qu'un article appartient au concept de

chaise, la catégorisation sera efficace si cet article a peu de caractéristiques en commun avec les concepts qui sont différents que celui-ci, par exemple le canapé, le tabouret ou le coussin. Autrement dit, « la validité de repère d'une caractéristique, F_i , par rapport à un concept cible, X_j , augmente avec la probabilité que F_i se trouve dans les instances de X_j et diminue avec la probabilité que F_i se trouve dans les caractéristiques d'un concept qui contraste avec X_j . » La validité d'une caractéristique considérée pour un concept est la propriété qu'on lui attribue pour la comparer avec d'autres caractéristiques.

La validité de repère d'une caractéristique d'un concept peut se calculer par la formule suivante :

$$\text{Validité de repère de } F_i \text{ pour } X_j = P(X_j/F_i) = P(F_i/X_j)/(P(F_i/X_j)+P(F_i/X_k))$$

où X_k est le concept qui contraste avec X_j (Smith et Medin, p.78,79).

La formule indiquée ci-dessus veut dire que pour juger qu'une caractéristique appartient à un concept, il faudra considérer la probabilité d'appartenance de cette caractéristique à tous les concepts et calculer le ratio de la probabilité d'appartenance de cette caractéristique à ce concept par rapport à l'ensemble des probabilités de son appartenance à tous les concepts. Plus la probabilité d'appartenance d'une caractéristique aux instances d'un concept par rapport à la somme des probabilités mentionnées soit élevée, plus serait la validité de considérer cette caractéristique pour ce concept.

1.4.3 Degré de prototypicalité

La notion de prototype est bien différente de celle de prototypicalité que Rosch utilise dans la théorie des prototypes. Comme nous avons vu dans la section 1 de ce chapitre, le prototype est le membre privilégié d'une catégorie. Il est en primauté par rapport aux autres membres de la catégorie. Nous avons aussi expliqué que la réponse rapide des individus aux stimuli en considérant les bons membres et leur réponse retardée en considérant les membres faibles, qui sont tous physiquement identiques, est déterminée par la structure interne des catégories. C'est pourquoi le niveau structural des membres des catégories n'est pas pareil dans l'état cognitif des êtres humains. Autrement dit, les êtres humains répondent aux stimuli en considérant le prototype plus rapidement qu'en considérant d'autres membres d'une catégorie.

Le degré de prototypicalité est la conséquence de l'existence du prototype parmi les membres d'une catégorie. Ce degré montre combien un membre est typique dans une catégorie. Plus ce degré est élevé, plus le membre, dont le degré de prototypicalité est en considération, est typique. La valeur de ce degré est plus élevée pour le prototype que pour d'autres membres de la catégorie.

Le tableau 1.1 représente les membres de la catégorie d'oiseau², leurs caractéristiques ainsi que les degrés de prototypicalité que je leur ai accordés. Dans ce tableau, j'ai choisi cinq oiseaux (le canari *A*, le moineau *B*, la poule *C*, l'autruche *D* et l'ornithorynque *E*) et cinq caractéristiques des oiseaux (voler, avoir des ailes, pondre, avoir un bec et avoir un chant d'oiseau).

En considérant les valeurs de degré de prototypicalité qui se trouvent dans ce ta-

2. La catégorie d'oiseaux est une catégorie naturelle. En considérant les autres oiseaux et leurs autres caractéristiques, leurs degrés de prototypicalité et le prototype de la catégorie d'oiseau pourraient éventuellement changer.

Tableau 1.1: Caractéristiques de certains membres de la catégorie d'oiseaux

Membres \ Caractéristiques	Voler	Avoir des ailes	Pondre	Avoir le bec	Avoir le chant d'oiseau
le canari <i>A</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
le moineau <i>B</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
la poule <i>C</i>	0.0	1.0	1.0	1.0	0.4
l'autruche <i>D</i>	0.0	1.0	1.0	1.0	0.2
l'ornithorynque <i>E</i>	0.0	0.0	1.0	0.8	0.0

bleau pour ces oiseaux, nous voyons que la somme des degrés de prototypicalité du canari *A* est plus que celles des autres oiseaux. Donc, le canari *A* est le prototype dans la catégorie d'oiseau. Plus qu'on descend dans ce tableau, plus la somme des degrés de prototypicalité diminue pour les autres membres de cette catégorie. Donc, l'ornithorynque *E*, un animal hybride avec les caractéristiques d'oiseaux, de mammifères et de reptiles, est moins typique dans la catégorie d'oiseau que d'autres membres de cette catégorie.

1.5 Conclusion

Le concept du prototype occupe en science cognitive une place centrale qu'il occupera par la suite en opposition aux autres concepts d'autres théories des catégories telles que la théorie classique, la théorie des exemplaires et les théories de la théorie des concepts. Rosch a introduit le concept du prototype pour décrire la structure interne des catégories. Lorsqu'elle discute de façon plus spécifique de la relation de cette notion à la réponse aux stimuli, elle veut dire que les effets des prototypes sont en fonction de la structure de l'ensemble des stimuli et que la réponse rapide des individus aux bons membres et leur réponse retardée aux membres faibles est déterminée par cette structure interne des catégories.

Dans le deuxième chapitre, j'expliquerai la notion du concept, celui de catégorie ainsi que les différences entre la théorie des prototypes et d'autres théories des catégories. Une approche descriptive et comparative de la notion de catégorie me semble être l'angle d'attaque privilégié pour montrer que les conclusions que Rosch tire sur la non-pertinence de la logique floue comme outil de modélisation des prototypes ne sont pas justifiables.

CHAPITRE II

LA THÉORIE DES PROTOTYPES EN OPPOSITION AUX AUTRES THÉORIES DE LA CATÉGORISATION

L'ensemble de ces critiques envers la théorie classique ont montré le besoin d'expliquer la structure et le fonctionnement des catégories selon d'autres théories. Dans la section suivante, nous allons discuter d'autres théories des catégories ainsi que de leurs différences avec la théorie des prototypes.

2.1 La théorie des exemplaires

Une des théories de la catégorisation est la théorie des exemplaires. Il existe deux différences majeures entre cette théorie et la théorie des prototypes. Premièrement, selon la théorie des exemplaires, les concepts se représentent par leurs membres qui leur sont des exemplaires, alors que selon la théorie des prototypes, ils se représentent par un sommaire basé sur l'abstraction. Donc, la théorie des exemplaires, au contraire de la théorie des prototypes, nie l'usage de l'abstraction comme processus cognitif de la catégorisation (Brooks, 1978; Medin et Schaffer, 1978; Nosofsky, 1986, 1992; Hintzman, 1986). C'est pourquoi l'acquisition des catégories et donc, l'apprentissage semblent être plus simples selon la théorie des exemplaires, alors que la théorie des prototypes considère la computation lors des processus cognitifs (Smith et Medin, p.26). Deuxièmement, la théorie des exemplaires, au

contraire de la théorie des prototypes, est basée sur l'usage des catégories disjonctives qui s'emploie par l'application des exemplaires, c'est-à-dire les instances spécifiques des catégories ou les sous-ensembles de celles-ci. Par exemple, la catégorie du chien consiste en la représentation des chiens en particulier (ex. Figo) (*ibid*). Donc, dans la théorie des exemplaires, « les propriétés d'une catégorie sont l'ensemble des propriétés des exemplaires ». Par exemple, les propriétés de la catégorie de l'oiseau sont l'ensemble de celles de moineau et celles du Geai bleu où ces oiseaux sont deux exemplaires parmi d'autres exemplaires de cette catégorie (Smith et Medin, p.143-145).

Selon la théorie des exemplaires, un concept comprend l'ensemble des individus observés et rappelés par les gens. D'une certaine manière, ce n'est plus le concept, mais plutôt la catégorie qui est représentée dans leur état cognitif (Murphy, p. 49). Au centre de cette théorie se trouve cette idée selon laquelle l'acquisition du langage est facilitée par l'exposition aux données concrètes du langage. Cette exposition doit être basée sur la répétition. Les notions de base de cette théorie sont la fréquence et la similarité. Les êtres humains possèdent les traces des exemplaires dans leur mémoires dont l'accumulation résulte en l'usage et l'abandon du reste des exemplaires qui au fur à mesure disparaissent de leur mémoire (Walsh et al., p. 537,538). Une étude sur l'acquisition du langage par les enfants montre qu'elle est basée sur l'acquisition des exemplaires dans la construction des mots ou des phrases. Par exemple, les enfants de 3 ans et demi ou plus âgés peuvent construire les phrases avec la structure « sujet-verbe-objet » en utilisant des nouveaux verbes à partir des phrases avec les mêmes verbes au passé (Pinker et al., 1987). Une autre étude a aussi montré que le langage des enfants se développe en utilisant des exemplaires dans les phrases qu'ils disent (Huttenlocher et al., 2002).

La théorie des exemplaires soutient que l'amorçage visuel des mots se fait selon l'information visuelle basée sur les exemplaires (Jacoby *et al.*, 1992; Graf et Ryan,

1990). Elle soutient aussi que l'information visuellement spécifique est une partie intégrante des représentations des mots qui sont normalement utilisés lors de la reconnaissance des mots. Cependant, cette théorie ne soutient pas que les détails visuels ont toujours une influence significative sur l'amorçage des mots (Marsolek, p. 1235, 1236). Marsolek explique que les exemplaires peuvent être distingués avec l'usage des systèmes visuels. Il l'explique de la manière suivante :

Les différents exemplaires peuvent être associés avec des informations distinctives dans les sous-systèmes postvisuels (par exemple, les mots imprimés dans certaines polices ou les lettres qui peuvent signaler quelque chose de spécial à leur sujet, les signatures et l'écriture peuvent signaler les identités des écrivains, etc). Par conséquent, la rétroaction interactive de sous-systèmes postvisuels peut causer un sous-système visuel pour apprendre à distinguer les exemplaires spécifiques (*idem*, p. 1238).

Donc, selon Marsolek, les mots visuels dont le rôle est de marquer des exemples uniques peuvent être considérés comme des outils de distinction de certains exemplaires.

Au contraire de la théorie des exemplaires, la théorie des prototypes ne considère pas que les entités visuelles soient liées aux instances spécifiques ou aux exemplaires, car selon la théorie des prototypes, la catégorisation ne se fait pas par l'usage des exemplaires. Avec la théorie des prototypes, on peut plutôt justifier l'usage des prototypes, qui sont les membres des catégories dans le langage, tel que je l'ai expliqué dans le premier chapitre de ce mémoire.

2.2 La théorie des théories des concepts

La théorie des théories des concepts est une théorie selon laquelle on peut déterminer comment les concepts sont « structurés, acquis et déployés ». Le terme « la théorie des théories » est utilisé pour la première fois par Adam Morton. Il sou-

tient que l'entendement de la psychologie des êtres humains est constitué d'une théorie selon laquelle on explique le comportement humain selon ses croyances, ses intentions, ses émotions, etc. (Morton, 1980). Premack et Woodruff ont aussi proposé que l'entendement de la psychologie humaine puisse être expliqué par la possession d'une théorie (Premack et Woodruff, 1978). Pourtant, la théorie des théories des concepts va au-delà de l'acceptation de ces théories. Elle considère que les concepts sont liés aux théories (Weiskopf, p. 1).

La théorie des théories des concepts relègue au second rang le stockage des informations statistiques des catégories, des substances, des événements ou des membres particuliers des catégories, des échantillons, etc. chez les êtres humains. Selon cette théorie, les concepts ainsi que le processus de la catégorisation doivent être considérés comme dans les sciences, c'est-à-dire basés sur un savoir, par exemple entre autres le savoir causal, le savoir nomologique (c'est-à-dire le savoir des lois de la nature) ou le savoir fonctionnel qui peut expliquer les événements et les phénomènes (Murphy and Medin, 1985).

Les concepts sont intégrés comme les entités individualisés dans les théories utilisées par les êtres humains. « Les concepts sont individualisés en vertu des conclusions de leur licence basée sur leur rôle dans les théories qui les intègrent. » (Rosch, 1999, p. 45).

Puisque la théorie des théories des concepts considère que les concepts sont individualisés par leur rôle dans les théories mentales, on peut considérer cette théorie comme une théorie réaliste de la catégorisation, car la variété des choses qui se passent lors du développement cognitif des humains peut s'expliquer avec cette théorie en termes de principes qui se trouvent dans la théorie de la science, c'est-à-dire les principes des événements causaux ou phénoménaux.

La structure des concepts, selon la théorie des théories des concepts, s'explique de

la même manière que dans la théorie classique des concepts. Bien que le mécanisme selon lequel cette structure fonctionne n'est pas encore clair pour les psychologues, mais ils disent que les termes scientifiques se trouvent dans l'état cognitif des humains comme la philosophie des sciences l'a expliqué, par exemple dans les travaux de Sellars et Lewis (Margolis et Laurence, 1999, p. 45). Selon ces auteurs, c'est la théorie de la science qui détermine la signification et le rôle des termes théoriques. La théorie des théories des concepts considère la théorie de la science ainsi que les travaux de Piaget et Vygotsky pour expliquer le développement cognitif des humains (Weiskopf, p. 1, 2).

La distinction des catégories est un des problèmes de la théorie des théories des concepts. Cette théorie n'explique pas pourquoi parfois les gens confondent les membres de la catégorie d'animal les uns avec les autres. Laurence et Margolis appellent ce problème « le problème de l'erreur et l'ignorance ». Ce problème, selon eux, correspond au manque d'information représentée dans la cognition des gens. Un autre problème de cette théorie concerne l'information incorrecte sur les concepts due à leur fausse croyance sur les principes physiques. Un exemple est le principe des mouvements des planètes. Les gens peuvent avoir de fausses croyances sur ce principe et donc, considérer des concepts selon des fausses théories qui n'ont rien à voir avec ce principe. Il se peut que deux personnes considèrent le concept d'animal de manière différente, par exemple, la première personne considère qu'un animal est une entité physique, alors que la deuxième personne le considère comme un esprit non physique. Dans ce cas, bien que les croyances de ces deux personnes sur le concept d'animal soient différentes, elles considèrent le même concept. Ce problème, dit « le problème de la stabilité » est le troisième problème face à la théorie des théories des concepts (Margolis et Laurence, 1999, p. 47-49). La théorie des prototypes ne se trouve pas avec ces problèmes, car elle ne considère pas les concepts comme les théories mentales dont les descriptions sont basées sur la théo-

rie de la science. Autrement dit, selon la théorie des prototypes, au contraire de la théorie des théories des concepts, la catégorisation n'est pas basée sur un savoir, mais plutôt sur la prototypicalité des membres de la catégorie, comme expliquée dans le premier chapitre de ce mémoire. De plus, selon la théorie des théories des concepts, les concepts doivent être utilisés dans les processus similaires aux stratégies du raisonnement en sciences, alors que l'utilisation des concepts n'est pas basée sur ces stratégies selon la théorie des prototypes (Murphy and Medin, 1985 ; Rips, 1989 ; Carey, 1985 ; Keil, 1989). Par exemple, pour définir le concept de chien selon la théorie des théories des concepts, au lieu de se baser sur les définitions du concept de chien, ou ses prototypes ou ses exemplaires, il faut utiliser le savoir sur le comportement causal des chiens, c'est-à-dire les causes qui les font se comporter d'une manière ou d'une autre.

2.3 La théorie des démarqueurs

La théorie des démarqueurs est une nouvelle théorie de la catégorisation que je propose pour expliquer ce processus mental chez les êtres humains. Cette théorie n'est pas une variante de la théorie des prototypes, mais différente de celle-ci. Je discuterai de ces différences dans la section 2.3.1.

La théorie des démarqueurs est basée sur l'utilisation d'un nouveau modèle que j'appelle « le modèle de l'arbre » (voir la section 4.3.2). Cette théorie est basée sur cette hypothèse qu'il existe trois types de caractéristiques pour les membres d'une catégorie dites les démarqueurs forts (Ds), les démarqueurs faibles (Dw) et les démarqueurs marginaux (Dm). Les lettres s, w et m veulent dire strong, weak et marginal, respectivement. J'ai utilisé l'appellation anglaise pour les démarqueurs pour éviter d'avoir deux fois f ; f pour « fort » et f pour « faible ». La deuxième hypothèse dans cette théorie est que les démarqueurs forts sont plus avantageux

que les deux autres types de démarqueurs, c'est-à-dire les démarqueurs faibles et les démarqueurs marginaux, en ce sens où les démarqueurs forts font la démarcation de la plupart des membres d'une catégorie de ceux des autres catégories, alors que les démarqueurs faibles ont ce rôle de démarcation principalement en absence des démarqueurs forts et les démarqueurs marginaux en sont dépourvus.

Selon la théorie des démarqueurs, dans notre état cognitif, un membre d'une catégorie avec plus de démarqueurs se différencie des membres d'une autre catégorie plus rapidement et dans ce cas, la vitesse de réponse aux stimuli concernant la catégorie ayant plus de démarqueurs augmente.

Au contraire de la théorie des prototypes, la théorie des démarqueurs ne considère pas certains membres des catégories (ou les prototypes) en primauté par rapport aux autres membres et donc, selon cette théorie, ces membres ne sont pas différents les uns des autres. Autrement dit, aucun des membres de la catégorie n'est plus typique que les autres de ses membres. De plus, La théorie des démarqueurs est basée sur une approche internaliste où l'analyse des caractéristiques des membres de la catégorie, c'est-à-dire l'aspect interne de la catégorie, est importante, alors que la théorie des prototypes est basée sur une approche externaliste où au lieu de l'analyse des caractéristiques, celle des membres de la catégorie est importante. Enfin, d'après la théorie des démarqueurs, ce qui détermine la vitesse de réponse aux stimuli est la présence des caractéristiques pour les membres de la catégorie dont le rôle est la démarcation de cette catégorie d'une autre catégorie.

La théorie des démarqueurs a deux avantages par rapport à la théorie des prototypes : d'abord, la théorie des démarqueurs explique comment une catégorie se distingue d'autres catégories, alors que la théorie des prototypes ne l'explique pas. Deuxièmement, la théorie des démarqueurs explique pourquoi et comment parfois les êtres humains confondent les catégories les unes avec les autres, alors que la

théorie des prototypes a de la difficulté à l'expliquer.

Selon la théorie des démarqueurs, la catégorisation ne se fait pas selon la similarité des caractéristiques des membres de chaque catégorie, mais plutôt selon leurs différences, donc selon leur démarcation. C'est pourquoi dans cette théorie, les facteurs de cette démarcation, c'est-à-dire les différents types de démarqueurs (les démarqueurs forts, les démarqueurs faibles et les démarqueurs marginaux) sont importants à considérer.

Si plusieurs démarqueurs forts, démarqueurs faibles et démarqueurs marginaux se trouvent en même temps dans les membres d'une catégorie, les démarqueurs forts de ces membres - en comparaison avec les démarqueurs faibles et les démarqueurs marginaux - ont plus d'effet de démarcation de ceux-ci par rapport à ceux d'une autre catégorie. Parfois un démarqueur fort d'un membre est absent dans d'autres membres et d'autres démarqueurs faibles avec le même effet apparaissent dans ceux-ci. Donc, la présence de ces caractéristiques, c'est-à-dire les démarqueurs forts et les démarqueurs faibles, dans les membres des catégories n'est pas nécessaire, mais possible (il s'agit de l'aspect modal des caractéristiques pour la démarcation des catégories). Autrement dit, ces caractéristiques dans les membres des catégories ne sont pas toujours fixes et statiques, mais variées et dynamiques, car elles se remplacent les unes les autres. Cette dynamicité des démarqueurs forts-démarqueurs faibles, c'est-à-dire le remplacement des démarqueurs forts par les démarqueurs faibles, ou celle des démarqueurs faibles-démarqueurs marginaux, c'est-à-dire le remplacement des démarqueurs faibles par les démarqueurs marginaux (la dynamicité de démarcation) montre le changement graduel de caractéristiques des membres des catégories et peut être formalisée par la combinaison de la logique floue et le modèle de l'arbre. Le reste des caractéristiques des membres d'une catégorie, c'est-à-dire les démarqueurs marginaux, sont similaires à celles des membres d'autres catégories et elles n'ont pas le rôle de démarcation

des membres de celles-ci.

La théorie des démarqueurs tient compte du degré variable de démarcation que des caractéristiques apportent aux membres de chaque catégorie. En fait, les démarqueurs forts donnent aux membres d'une catégorie, par rapport à ceux d'autres catégories, un degré de démarcation supérieur par rapport aux démarqueurs faibles.

Pour mieux comprendre la théorie des démarqueurs, j'analyse les différences des catégories de chien et de loup. En considérant ces deux catégories, on se rend compte que le chien peut se définir comme "le loup domestiqué", alors que le loup ne peut pas se définir comme "le chien sauvage", car il existe des chiens qui sont sauvages et vivent dans les déserts, mais ils ne sont pas des loups. Donc, les chiens sauvages sont les intermédiaires entre le loup et le chien. En ce qui concerne d'autres caractéristiques des chiens et des loups, on ne peut pas dire que la capacité d'aboyer est la caractéristique commune des chiens, car il existe des chiens qui n'aboient pas, mais cette caractéristique aide à démarquer les chiens des loups, car les loups n'aboient pas. Autrement dit, la capacité d'aboyer est un démarqueur fort chez les chiens. La plupart des chiens qui n'aboient pas ressemblent aux autres animaux, par exemple, certains d'entre eux ont la laine frisée qui les fait ressembler aux moutons, mais la forme de leur museau les différencie de ceux-ci. En fait, la forme du museau chez les chiens, en comparaison avec la capacité d'aboyer, n'est pas un démarqueur fort, mais un démarqueur faible, car en ne voyant pas un animal, mais en entendant qu'il aboie, on le considère un chien, alors qu'en voyant un autre animal ayant la laine frisée, on a besoin de voir la forme de sa tête pour le distinguer d'un mouton. C'est pourquoi le degré de démarcation des membres d'une catégorie de ceux d'une autre catégorie en considérant un démarqueur fort est supérieur par rapport au cas où on considère les démarqueurs faibles.

2.3.1 Différences entre la théorie des démarqueurs et d'autres théories de la catégorisation

La théorie des démarqueurs est différente des autres théories de la catégorisation, car au contraire de la théorie classique et de la théorie des prototypes, la théorie des démarqueurs ne considère pas l'abstraction comme le processus essentiel de la catégorisation. L'abstraction est la source de toutes les idées générales (Locke, II, p. 1). Autrement dit, nous ne pouvons pas généraliser sans un certain degré d'abstraction (Reid, p. 365). Lors de l'abstraction, nous sélectionnons les aspects communs des choses (Russell, p. 101). Selon la théorie des démarqueurs, on n'a pas besoin de considérer toutes les caractéristiques des membres d'une catégorie pour les comparer et sélectionner, mais seulement leurs démarqueurs forts afin de distinguer cette catégorie des autres catégories. Donc, selon cette théorie, nous ne comparons pas les démarqueurs dans notre état cognitif pour distinguer les catégories et donc, nous ne procédons pas par l'abstraction pour la distinction des catégories les unes des autres. Par exemple, pour distinguer qu'un animal est un chien et non pas un mouton, on considère son démarqueur fort qu'est la capacité d'aboyer et on n'a pas besoin de considérer ses autres caractéristiques par exemple la forme de son museau, etc. Donc, en considérant un seul démarqueur, nous pourrions considérer un chien dans la catégorie des chiens, ce qui est une catégorie naturelle. Un autre exemple concerne le couteau comme le membre de la catégorie des outils de cuisine comme une catégorie artefacte. En considérant le démarqueur fort d'un couteau qu'est sa capacité de couper un papier ou un morceau de bois, on le considère un couteau. Donc, on n'a pas besoin de considérer les autres caractéristiques du couteau comme sa forme ou sa taille pour le considérer dans la catégorie des outils de cuisine. La catégorie d'experts est une catégorie nominale qui ne réfère pas à un objet du monde extérieur, mais elle désigne un concept sémantique. Par exemple, la considération de l'expertise d'un savant à analyser

la surface des échantillons d'un laboratoire suffit pour le considérer un expert dans ce domaine. Dans ce cas, cette expertise est un démarqueur fort pour qu'on considère ce savant dans la catégorie d'experts et on n'a pas besoin de considérer ses autres capacités (les démarqueurs faibles ou les démarqueurs marginaux) par exemple celle de fabrication d'objets, celle de préparation des échantillons, etc. pour le considérer dans cette catégorie.

La théorie des démarqueurs ne considère pas que les caractéristiques en commun des catégories sont les éléments appropriés et utilisables pour les considérer dans une catégorie, ce qui la différencie de la théorie classique. De plus, selon la théorie des démarqueurs, au contraire de la théorie classique, la définition d'une catégorie n'est pas exacte due à l'existence des démarqueurs forts dans certains membres des catégories et leur absence dans certains d'autres dans les frontières entre les catégories où il n'y a que les démarqueurs marginaux qui n'ont pas de rôle pour la démarcation des membres d'une catégorie avec ceux d'une autre catégorie. Dans ce cas, la démarcation entre ces catégories ne se fait pas et on les confond l'une avec l'autre. Si vraiment deux objets sont différents et que c'est nous qui n'avons pas distingué leurs catégories dans deux classes différentes, dans ce cas, les démarqueurs forts existent dans les objets qui représentent ces concepts, mais c'est nous qui ne les avons pas trouvés.

La théorie des démarqueurs ne considère pas les bons membres des catégories ou les prototypes et donc, selon cette théorie, ces membres ne sont pas différents les uns des autres. Autrement dit, la dynamique de démarcation fait qu'aucun des membres de la catégorie est plus typique que les autres de ses membres. De plus, d'après cette théorie, ce qui détermine la vitesse de réponse au stimulus est la présence des démarqueurs forts (et dans le cas de leur absence, la présence des démarqueurs faibles) dans les membres des catégories. Un membre d'une catégorie avec plus de démarqueurs forts et faibles se différencie des membres d'une

autre catégorie plus rapidement et dans ce cas, la vitesse de réponse au stimulus concernant celui-ci augmente. Par exemple, dans la catégorie d'oiseau, bien que le moineau vole et la poule ne vole pas, le moineau n'est pas un meilleur membre que la poule pour être désigné un oiseau, car au lieu de la capacité de voler, on peut considérer qu'être domestique est le mode de vie de la poule et le moineau en est dépourvu. En fait, le mode de vie des animaux, qui sont les membres de la catégorie "animal", est un facteur déterminant de changement de certains de leurs capacités originelles et donc, leurs capacités actuelles ne sont pas les facteurs déterminants pour considérer leur primauté les uns par rapport aux autres. Autrement dit, l'aspect pragmatique des caractéristiques des membres des catégories est important à considérer. Par ailleurs, la théorie des démarqueurs rejette cette idée que la catégorisation se fait selon la considération des exemplaires, car cette considération n'explique pas comment les instances des concepts qui ne sont pas leurs exemplaires se considèrent aussi dans la même catégorie. Donc, la théorie des démarqueurs est différente de la théorie des exemplaires.

Bien que la théorie des démarqueurs ne s'oppose pas aux théories de la théorie des concepts et elle ne considère pas que les sciences n'aident pas à décrire la catégorisation et à mieux comprendre les critères pour le faire, mais au contraire de ces théories, elle ne considère pas que les sciences peuvent expliquer tous les événements et les phénomènes et donc, selon cette théorie, elles ne peuvent pas expliquer la catégorisation de tous les catégories si elles ne considèrent pas les démarqueurs forts et les démarqueurs faibles dans les membres de chaque catégorie. Par exemple, la physiologie, basée sur les caractéristiques physiologiques des individus, ne peut pas déterminer de manière exacte si un homme bisexuel appartient à la catégorie d'homme ou de femme, car certains de ces attributs restent psychiques et donc, non physiologiques.

2.3.2 Primauté des membres ou primitivité de leurs caractéristiques dans les catégories ?

La primauté des membres des catégories, comme discuté ci-dessus, n'est pas valable dans la théorie des démarqueurs. Selon cette théorie, Rosch dans sa description des prototypes se trompe sur la notion de primauté, car cette notion devient significative au sens où l'existence d'une caractéristique dans un membre d'une catégorie lui donne un avantage dont les autres membres sont dépourvus. Par exemple, dans le cas de la catégorie d'oiseau, est-ce que voler est un avantage pour certains oiseaux par rapport aux autres oiseaux qui ne volent pas ? La réponse à cette question dépend comment on considère l'avantage. L'avantage d'existence d'une caractéristique pour un animal consiste en une capacité qui lui donne plus de possibilité de survie et donc, si une caractéristique dans un animal n'augmente pas sa chance de survie, elle n'est pas avantageuse et cet animal ne peut pas être un meilleur membre que d'autres animaux qui n'ont pas cette caractéristique, mais qui trouvent d'autres moyens pour leur survie. Par exemple, les oiseaux qui volent n'ont pas plus de chance de survie que ceux qui ne volent pas. Il se peut qu'un moineau s'échappe d'un renard, mais en volant meurt à cause des griffes d'un aigle dans le ciel. Donc, la caractéristique de voler ne met pas le moineau en primauté par rapport à la poule qui peut bien s'échapper d'un danger en se cachant derrière les objets. Pourtant, l'odeur des animaux est une autre caractéristique qui vient en jeu et dans ce cas, la poule peut perdre sa chance de survie à cause de son odeur ou une autre de ses caractéristiques. Cette fois encore, à première vue, il se peut qu'en volant au ciel, le moineau se donne la chance de survie, mais il la perd en devenant la proie d'un aigle ou d'un autre prédateur. En fait, selon la théorie des démarqueurs, aucun des membres des catégories naturelles n'est en primauté par rapport aux autres membres.

Il est nécessaire d'éviter la confusion entre les notions de primauté et de primiti-

vité. Pour ce faire, la distinction des caractéristiques qui à première vue semblent être avantageuses pour certains membres des catégories, mais qui en réalité ne le sont pas, est importante. Par exemple, la poule est à l'état primitif de l'évolution et une hypothèse pour le fait qu'elle soit domestique est qu'elle a été dépourvue de la capacité de voler lors de sa capture par les êtres humains. C'est pourquoi il est plus probable que lors de l'évolution des animaux, elle est restée primitive et ensuite capturée par les êtres humains et non pas être capturée par eux et ensuite avoir perdu sa capacité de voler. La primitivité est une caractéristique qui se manifeste aussi chez certains autres animaux, mais cette caractéristique pour les animaux de même rang dans l'évolution ne résulte pas en moins de chance pour leur survie. Dans la théorie de Rosch, la primauté des prototypes par rapport aux autres membres est considérée non seulement pour les catégories naturelles, mais aussi pour les catégories artificielles. Donc, la clarification de cette notion par rapport à celle de la primitivité devient aussi importante pour les membres des catégories artificielles. La primitivité existe parmi les membres de certaines catégories artificielles et à première vue, elle semble être la primauté, alors qu'en l'analysant, nous arrivons à la même conclusion que celle que nous avons vue pour les membres des catégories naturelles. En fait, les membres des catégories, naturelles ou artificielles, n'ont pas de primauté les uns par rapport aux autres et cette notion n'est pas une notion pertinente pour les distinguer afin d'expliquer le processus cognitif de la catégorisation.

2.3.3 Est-ce que la perte de démarqueurs change une catégorie ?

Selon la théorie des démarqueurs, il se peut que dans certaines conditions, un ou plusieurs démarqueurs se perdent dans les membres d'une catégorie. Quelles sont les causes de cette perte ? Est-ce que dans ce cas-là, cette catégorie change ou elle reste la même ? Est-ce que cela se fait seulement sur les membres des catégories

naturelles ou les membres d'autres types de catégories pourraient aussi avoir une perte de démarqueurs? La perte de démarqueurs faibles ne se fait pas seulement sur les membres des catégories naturelles; les membres des catégories artificielles peuvent aussi subir des changements de démarqueurs dans notre état cognitif. En ce qui concerne les catégories nominales, la perte de démarqueurs des membres de ces catégories fait perdre leurs catégories désignées.

J'utiliserai la théorie des démarqueurs dans le modèle de l'arbre pour mieux modéliser la catégorisation dans le chapitre 4 de ce mémoire.

2.4 Limitation de la théorie des prototypes

Armstrong, Gleitman et Gleitman critiquent les prototypes des catégories sémantiques, notamment les notions de typicalité et le temps de réaction aux stimuli proposées par Rosch. Ils se demandent si la corrélation entre ces deux notions fait que le prototype n'est qu'un concept probabiliste. Pour vérifier cette hypothèse, ils étudient le jugement des agents sur la notion de "nombre impair" et remarquent qu'ils ne considèrent pas de priorité de certains nombres impairs par rapport à certains autres. En fait, ils ne considèrent pas que certains nombres impairs, par exemple les nombres 3 et 7, soient plus typiques que d'autres, par exemple les nombres 109 et 2003. Autrement dit, ils ne considèrent pas que certains nombres impairs aient le degré de typicalité supérieur à celui des autres nombres. Donc, ils ne conçoivent pas les nombres 3 et 7 comme plus impairs que 109 et 2003. De plus, ils montrent que les temps d'identification de ces nombres sont égaux. Autrement dit, l'identification des membres atypiques ne leur prend pas plus de temps que celle des membres typiques. Dans cet exemple, en prenant en compte la théorie des prototypes de Rosch, les nombres 3 et 7 sont considérés comme les membres typiques et les nombres 109 et 2003 comme les membres atypiques. Les auteurs

concluent de cette expérience que la théorie des prototypes de Rosch ne peut pas expliquer la nature des catégories, car il n'y a pas de lien entre le temps de réponse aux stimuli et la primauté des membres des catégories (Armstrong *et al.*, 1983).

Keil s'oppose à cette conclusion en disant qu'une partie de concept est probabiliste et donc, une autre partie du concept ne l'est pas. Il s'en suit que si la partie probabiliste affecte l'association des membres, la partie non probabiliste ne l'affecte pas. Cet argument de Keil n'est pas exact et il n'est pas clair pourquoi et comment il déduit de la conclusion d'Armstrong, Gleitman et Gleitman que l'aspect probabiliste concerne seulement une partie des concepts et non pas toute leur entité. Keil présente un deuxième argument contre la conclusion d'Armstrong, Gleitman et Gleitman en se basant sur la position de Lakoff selon laquelle, il n'y a pas d'effet de prototypes sur la structure de leur représentation et donc, à partir de leur effet on ne peut pas conclure cette représentation (Keil, p.30).

L'argument de Lakoff souffre d'une confusion de la relation des membres de catégories avec la structure de la représentation de celles-ci. En fait, Armstrong, Gleitman et Gleitman ne concluent rien sur la structure de ces membres, mais plutôt sur leur relation ce qui est dû à l'égalité du temps de réponse aux stimuli. C'est pourquoi leur argument n'est pas faux et leur expérience sur les nombres impairs montre qu'il n'existe pas de primauté entre les membres des catégories et donc, la théorie des prototypes de Rosch ne tient pas pour ces catégories.

2.5 Relation entre les théories de la catégorisation

2.5.1 Hypothèse d'hétérogénéité

Machery, dans le livre intitulé *Concepts and Fuzzy Logic* compare les théories de la catégorisation. Il dit qu'elles ont été considérées comme les théories compéti-

tives, car selon les théoriciens, seulement une de ces théories pouvait être correcte. Dans ce cas, ils considéraient les catégories soit comme définitions, soit comme prototypes, soit comme exemplaires et puisque leur théorie n'était pas compatible avec les caractéristiques des catégories selon la théorie compétitive, ils abandonnaient d'autres théories de la catégorisation en faveur de leur théorie. Néanmoins, Machery a récemment proposé la jonction des théories de la catégorisation. Selon lui, une catégorie, par exemple celle de chien, pourrait être considérée à la fois comme l'ensemble de concepts, de prototypes, d'exemplaires et de théories. Donc, au lieu de considérer les théories des catégories mentionnées ci-dessus comme des théories compétitives, nous aurons les différents concepts décrivant les définitions et les catégories décrivant les prototypes, les exemplaires et les théories. Selon cette hypothèse, dite l'hypothèse d'hétérogénéité, « les définitions, les prototypes, les exemplaires et les théories sont utilisés dans différents processus ». Autrement dit, ces différents types de catégories sont traités lors de différents processus de catégorisation. Néanmoins, selon Machery, parfois lors de contrôle du comportement les différents types de catégories se compétitionnent (Machery, 2011a, p. 37). Par exemple, l'acquisition et l'usage simultanés des catégories sous forme de définitions ou d'exemplaires sont possibles (Allen et Brooks, 1991). Par ailleurs, une autre expérience, où les mots ont été utilisés comme stimuli, montre que l'usage simultané des prototypes et des exemplaires est aussi possible (Malt, 1989).

2.5.2 D'autres approches

Approches basées sur la différence des catégories

Machery, à part l'hypothèse d'hétérogénéité, présente deux autres approches pour combiner les théories de la catégorisation. Il explique brièvement ces deux alternatives dans le livre intitulé *Concepts and Fuzzy Logic*. La première approche,

au contraire de l'approche précédente considère plusieurs types de catégories, par exemple les prototypes ou les exemplaires. Dans cette approche, la différence des membres d'une catégorie par rapport aux membres d'autres catégories est importante à considérer. Dans une autre approche, les psychologues considèrent les modèles graphiques pour analyser les modèles de catégorisation. Dans ce cas, ils ont encore la tendance à combiner les théories de la catégorisation (Machery, 2011a, p. 37,38).

Approches basées sur les réseaux de neurones

Le réseau de neurones, proposé par deux neurologues Warren McCulloch et Walter Pitts (Lettvin *et al.*, 1959), est un modèle de calcul qu'on utilise afin d'obtenir la similitude entre certaines données et qui est considéré comme une approche statistique et une méthode de l'intelligence artificielle (Haton, 1989). Le réseau de neurones est une réalisation non traditionnelle d'un système symbolique pour interpréter les unités de calcul (Fisette et Poirier, 2000). Il s'utilise pour faire le traitement de l'information et la classification automatique de textes ainsi que pour résoudre les problèmes de la catégorisation, de reconnaissance des formes et de mémoire associative (Meunier *et al.*, 1997; Chartier *et al.*, 2010; Drew et Monson, 2000). Hinton et al. ont utilisé un algorithme d'apprentissage basé sur un réseau de neurones artificiel. Les diagrammes de Hinton s'utilisent pour visualiser la connectivité de ce réseau (Hinton *et al.*, 1986).

Carpenter et Grossberg ont développé une théorie dite « la théorie de la résonance adaptative » selon laquelle l'apprentissage se produit en temps réel. Les auteurs soutiennent que les expériences simples peuvent considérablement modifier la structure de la « code cognitive ». Cette théorie a été utilisée pour créer de nouvelles catégories et réviser des anciennes, mais elle ne peut pas être utili-

sée pour la transformation d'une catégorie en une autre (Carpenter et Grossberg, 2003).

La modélisation avec les réseaux de neurones est relativement incompatible avec la théorie des prototypes, car on ne peut pas analyser les membres d'une catégorie dont le degré de prototypicalité n'est pas élevé avec un réseau de neurones (De León, 2013). Dans ce mémoire, nous n'utiliserons pas la théorie des réseaux de neurones pour la réfutation de la théorie des prototypes et nous allons nous concentrer sur la modélisation des catégories par la logique floue.

Inexactitude de la définition des concepts

Machery, dans son livre intitulé *Doing Without Concepts*, nous parle de la domination de « la psychologie des concepts » à « la philosophie des concepts ». Selon lui, la première a été la cause de la marginalisation et ensuite le blocage de la deuxième. Il mentionne les quatre étapes suivantes dans le processus de l'approche de la psychologie des concepts basé sur l'induction et le raisonnement : 1. le développement des théories sur les prototypes, 2. le développement des idées sur la cognition causale, 3. le néo-empirisme des concepts, et 4. la neuropsychologie des concepts. Machery considère cette psychologie comme source d'inspiration des philosophes de concepts où ils ont pu trouver les réponses à leurs questions sur les concepts. Néanmoins, le fait qu'ils y ont trouvé leurs réponses ne les a pas empêchés de la rejeter. Machery tente de changer le rapport de la psychologie à la philosophie. Il prétend ne pas sous-estimer les objectifs de la psychologie des concepts, au contraire de ce que les philosophes, selon lui, ont effectué dans leurs théories, car ils ont considéré que les théories de cette psychologie sur les concepts ont été naïves et non développées. Machery ne veut pas sortir du champ de la psychologie des concepts pour se rapprocher de l'approche de ces philosophes, bien

au contraire il essaie de trouver les réponses aux questions posées sur les concepts dans ce domaine (Machery, 2011b, p. 3,4). Dans ce mémoire, je ne défends pas cette thèse de Machery selon laquelle l'abandon de l'usage des concepts serait une approche efficace pour traiter ces questions¹, mais j'utilise son hypothèse d'hétérogénéité des concepts selon laquelle plusieurs concepts existent pour chaque catégorie (la substance, l'événement, etc.). Ces concepts hétérogènes pourraient être soit les prototypes, soit les exemplaires qui sont utilisés dans « les processus cognitifs distincts » (*idem*, p.5). J'utilise cette hypothèse pour montrer que la redéfinition des concepts des sciences cognitives, c'est-à-dire les catégories, est nécessaire et faisable en utilisant les notions et les approches de la logique floue.

Selon Machery, les concepts sont dans la mémoire et il faut les compétences cognitives pour les traiter et les utiliser. Il dit :

Les concepts sont caractérisés comme étant les corps de connaissance qui sont stockés dans la mémoire à long terme et qui sont utilisés par défaut dans les processus sous-jacents les plus, sinon la totalité, des compétences cognitives supérieures lorsque ces procédés conduisent à des jugements sur les référents de ces concepts (*idem*, p.4).

Les compétences cognitives, selon Machery, sont les compétences pour « la vision, la proprioception (c'est-à-dire la perception de la position des différentes parties du corps), la planification motrice, la catégorisation, l'induction et l'entendement linguistique ». Il les considère dans deux groupes : les compétences cognitives de haut niveau et les compétences cognitives de bas niveau. Malgré le désaccord sur cette distinction des compétences cognitives, on pourrait dire que les compétences cognitives de bas niveau comprennent « le stimulus perceptuel », c'est-à-dire le processus de « la computation des objets en trois dimensions à partir de leur pro-

1. Étant donné que la philosophie et les sciences sont fondées sur les concepts, en abandonnant leur usage, on risque de ne pas avoir une base dans les discours philosophiques et scientifiques. C'est pourquoi cette thèse de Machery n'est pas justificative.

jection sur la rétine et l'ajustement fine de nos actions aux aspects dynamiques de notre environnement ». Le contrôle intentionnel, au contraire du stimulus perceptuel, est la caractéristique des compétences cognitives de haut niveau. Les compétences de bas niveau sont plus rapides que celles qui sont de haut niveau. La vision, la proprioception et la planification motrice sont des compétences cognitives de bas niveau, alors que la catégorisation, l'induction et l'entendement linguistique sont des compétences cognitives de haut niveau (*idem*, p.8,9). Machery explique que l'être humain possède deux sortes de savoir, selon les psychologues, celui qui est de haut niveau et est restauré dans les concepts et celui dépourvu de concepts, de bas niveau. Le premier type de savoir est appelé le savoir conceptuel ou sémantique, alors que le deuxième est appelé le savoir encyclopédique. Le savoir conceptuel, par exemple le savoir utilisé lors de la catégorisation, le raisonnement inductif, l'analogie, etc., est plus disponible que le savoir encyclopédique. La deuxième sorte de savoir est utilisée seulement lorsque la première n'est pas adéquate ou suffisante (*idem*, p.11,12).

Machery utilise cette distinction entre les deux types de savoir pour expliquer l'indéterminisme de la notion du concept dans la mesure où elle correspond à l'expérience humaine. Il soutient que les contenus des concepts ne sont pas déterminés et fixes et peuvent changer au savoir encyclopédique selon l'expérience vécue. Autrement dit, les frontières des concepts sont vagues et modifiables. Il s'en suit que les définitions des concepts sont vagues et inexactes. De plus, les concepts peuvent être composés les uns avec les autres (*ibid*). De l'ensemble de ces deux hypothèses, on pourrait conclure que les concepts peuvent changer de l'état pur à l'état composé selon l'expérience vécue. Donc, leurs définitions sont floues. Par ailleurs, un concept peut être inexacte pour d'autres raisons que son caractère vague, en particulier parce qu'il est un amalgame d'autres concepts. C'est pourquoi la philosophie de Machery pourrait être considérée comme une justification

de la flouification des concepts par la logique floue.

Analyse formelle des concepts et des treillis de concepts

L'analyse formelle des concepts est une analyse dans laquelle on considère «la découverte et le raisonnement avec des données conceptuelles, la découverte et le raisonnement avec les dépendances dans les données et la visualisation des données et des concepts». Des structures mathématiques, notamment la notion de «connexions de Galois», sont à la base de l'analyse formelle des concepts. Dans la connexion de Galois, on considère des ensembles et des sous-ensembles ainsi que des points de connexion dits des points fixes (Belohlavek, 2008).

Dans l'analyse formelle des concepts, la notion de treillis de concepts est une notion centrale selon laquelle on peut démontrer la hiérarchie des concepts. On utilise le treillis des concepts pour expliquer «la représentation du savoir conceptuel avec les trois niveaux suivant : 1) le premier niveau détermine la relation binaire entre les objets et leurs attributs, 2) le deuxième niveau explique les relations conceptuelles de la matrice des données qui détermine les valeurs de l'attribut à un objet, 3) le troisième niveau montre un modèle mathématique pour décrire le système du savoir conceptuel». Dans le treillis de concepts, les objets et leurs attributs se trouvent aux coins des parties latérales du treillis. Pour construire un treillis de concepts à partir d'un contexte, on peut utiliser des opérateurs qui forment les concepts (Wille, 1992). Un contexte formel peut être écrit de la manière suivante :

$$K = (G, M, I)$$

où G et M sont des ensembles et I représente leur relation (Ganter et al., 2005).

Jusqu'au 20ème siècle, la logique élémentaire a été basée seulement sur l'usage

des concepts, des jugements et des raisonnements. À partir de l'utilisation des ordinateurs, la formalisation des concepts est devenue en liaison avec celle des données du traitement : on est donc entré dans une nouvelle étape. Désormais, la formalisation de la logique élémentaire pour la formalisation de la représentation cognitive et le traitement des données est faisable en combinant les graphes conceptuels et l'analyse formelle des concepts. Les relations sémantiques entre les données doivent être considérées afin de convertir ces graphes en contextes formels (Wille, 1997).

Isotropie des inférences cognitives et problème de l'abduction

Fodor a décrit un modèle computationnel des processus cognitifs selon la structure mentale de l'être humain dans son œuvre *The Modularity of Mind*. Selon lui, la structure organisée du comportement humain est liée à cette structure mentale. De plus, le système central cognitif dont la caractéristique principale est l'isotropie, au sens où aucun de ses engagements cognitifs n'est pertinent à la confirmation d'une nouvelle croyance, est consacré au raisonnement, à la fixation de croyance et à la prise de décision via les inférences abductives (Fodor, 1983). Je ne prendrai pas position dans ce mémoire par rapport à cette thèse de Fodor sur l'isotropie des inférences cognitives comme l'origine du problème d'abduction chez l'être humain.

Dans le chapitre 4 de ce mémoire, je discuterai, par contre, de l'application de la logique floue dans l'analyse formelle des catégories.

2.6 Est-ce que la logique floue est applicable à l'analyse des concepts et de la catégorisation ?

La logique floue peut être utilisée pour l'analyse des catégories et de la catégorisation. Pour le démontrer, je vais analyser le contenu du chapitre 4 du livre intitulé *Concepts and Fuzzy Logic* dans la section suivante. En ce qui concerne le rôle de la logique floue pour la modélisation des catégories, on peut dire qu'il ne correspond pas à l'addition d'information dans les arguments déductifs. Son rôle est de fournir des éléments conformes à cette modélisation. Donc, cette attente des théories de la catégorisation n'est pas une attente justifiée et cette logique, malgré son aspect déductif, comme on le verra dans le quatrième chapitre de ce mémoire, peut être utilisée pour cette modélisation.

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai discuté des différences entre la théorie des prototypes et d'autres théories de la catégorisation. La théorie des prototypes est meilleure que les autres théories traditionnelles des catégories et la théorie des démarqueurs est encore meilleure que la théorie des prototypes. Nous avons vu que malgré la thèse de Rosch, la logique floue est applicable à la modélisation des catégories. Dans le chapitre suivant, je présenterai les fondements de la logique floue afin de les utiliser pour cette modélisation au quatrième chapitre.

CHAPITRE III

LA LOGIQUE FLOUE COMME OUTIL DE FORMALISATION DES SITUATIONS APPROXIMATIVES

3.1 Introduction

La logique floue est une approche basée sur la théorie des ensembles flous. Dans cette théorie, les degrés variables d'appartenance des éléments aux ensembles ainsi que les incertitudes peuvent être modélisés. La logique classique et la théorie des ensembles classiques ne traitent pas ces incertitudes. Donc, la logique floue est plus performante que la logique classique de ce point de vue.

Les applications de la logique floue sont très vastes et ce n'est pas le but de ce mémoire d'être le survol de toutes ces applications. Je vais plutôt me contenter de montrer les applications de cette logique pour la modélisation des catégories.

3.2 Historique

En 1965, la théorie des sous-ensembles flous a été introduite et la logique floue a été développée par Lotfi A. Zadeh (Zadeh, 1965 ; Zadeh, 1973). En 1974, pour la première fois un contrôleur flou a été réalisé par le Docteur Mamdani sur un moteur à vapeur. En 1980, la première application de la logique floue a été réalisée par F.L. Smith et Co. A/S dans le contrôle de fours à ciment. Par la suite,

plusieurs autres applications ont été réalisées en science. Cette logique est encore très utilisée dans divers domaines aujourd'hui.

3.3 Définition de la logique floue

La logique floue est un outil pour formaliser des situations approximatives et non exactes. Le raisonnement humain est capable de traiter les données imprécises. Nous pouvons, par exemple, déterminer si une personne est grande ou petite. Un ordinateur a besoin de connaître la taille exacte d'une personne. De plus, il la met soit dans le groupe des grands soit dans le groupe des petits. En considérant une limite de taille pour accepter l'individu dans le groupe des grands, les individus à la taille plus grande seront dans le groupe des grands et ceux à la taille plus petite seront dans le groupe des petits. Mais comment peut-on déterminer si une personne à la taille très proche de cette limite est dans le groupe des grands ou des petits ? Pour résoudre ce genre de problème, nous pouvons appliquer la logique floue.

3.4 Fondement théorique des ensembles flous

Lotfi A. Zadeh a construit la logique floue à partir de la théorie des ensembles flous. Dans cette théorie, la modélisation des notions vagues et incertaines du langage naturel se fait par les formules mathématiques (Zadeh, 1973). La définition de la fonction d'appartenance pour un ensemble classique A dans cette théorie des ensembles flous est comme suit :

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 1, & \text{si } x \in A \\ 0, & \text{si } x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

Cette formule veut dire que si l'élément x appartient à l'ensemble A , son degré d'appartenance est égal à 1, si non, il est égal à 0. Or, il n'est pas toujours clair si un élément appartient à un ensemble ou pas car parfois on détermine les limites et certains éléments existent entre ces limites (Idri, 2003).

3.4.1 Univers du discours

L'univers du discours ou l'ensemble de références est un concept important en logique floue. Pour un contexte donné, les éléments qui sont en relation avec ce contexte se trouvent dans un ensemble référentiel, dit l'univers de discours (Godjevac, 1999). Par exemple, on peut décrire la variable "taille" par les mots "grand", "très grand", "petit", "très petit", etc., chacun pourvu d'une fonction d'appartenance. L'ensemble des valeurs que cette variable peut avoir se trouvent dans l'univers du discours.

3.4.2 Définition d'un ensemble flou

Trois méthodes existent pour donner la définition d'un ensemble flou X (Massoud, 1999) :

1. La définition d'un ensemble peut se faire par la nomenclature de ses membres. Par exemple, la définition extensionnelle de l'ensemble X avec les membres a_1, a_2, \dots, a_n s'écrit de la manière suivante :

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \quad (3.2)$$

2. La définition intentionnelle d'un ensemble peut se faire par la propriété qui satisfait ses membres.

$$A = \{x|P(x)\} \quad (3.3)$$

3. La définition d'un ensemble peut se faire par une fonction dite la fonction caractéristique. Cette fonction détermine quels éléments sont les membres de l'ensemble et quels éléments ne les sont pas.

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } x \in A \\ 0 & \text{for } x \notin A \end{cases} \quad (3.4)$$

3.4.3 Fonction d'appartenance

Une fonction d'appartenance ($\mu_A(X)$) est une fonction représentée en courbe dont les points se trouvent dans l'univers du discours ayant les valeurs d'appartenance entre 0 et 1. En fait, le degré avec lequel un élément x appartient à l'ensemble A est l'appartenance mesurée par la valeur $\mu(x)$.

Les fonctions d'appartenance regroupent dans 3 classes : symétriques, régulièrement distribuées ou distribuées de manière non uniforme (Godjevac, 1999). Les fonctions d'appartenance peuvent avoir différentes formes (Godjevac, 1999 ; Ibrahim, 2004) présentées dans la figure 3.1 (Tamrabet, p. 30).

3.4.4 Propriétés des ensembles flous

Les définitions et les formules des propriétés des ensembles flous y compris l'égalité, l'inclusion, le support, la hauteur, le noyau, la cardinalité et la partition floue sont présentées dans le tableau A.1 de l'annexe. L'exemple d'une partition floue formée de trois ensembles est présenté dans la figure 3.2.

La figure 3.1 représente l'exemple de fonctions d'appartenance, premier rang : monotones décroissantes, deuxième rang : monotones croissantes et troisième rang : monotones croissantes et décroissantes. Dans cette figure, les valeurs de degré

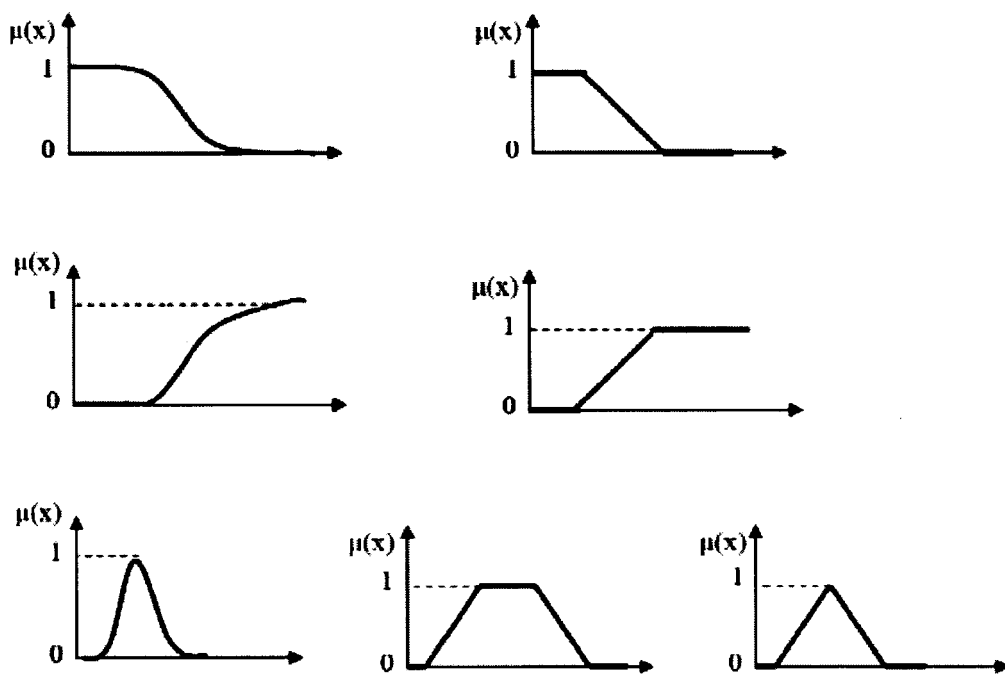


Figure 3.1: Exemple de fonctions d'appartenance, premier rang : monotones décroissantes, deuxième rang : monotones croissantes et troisième rang : croissantes et décroissantes

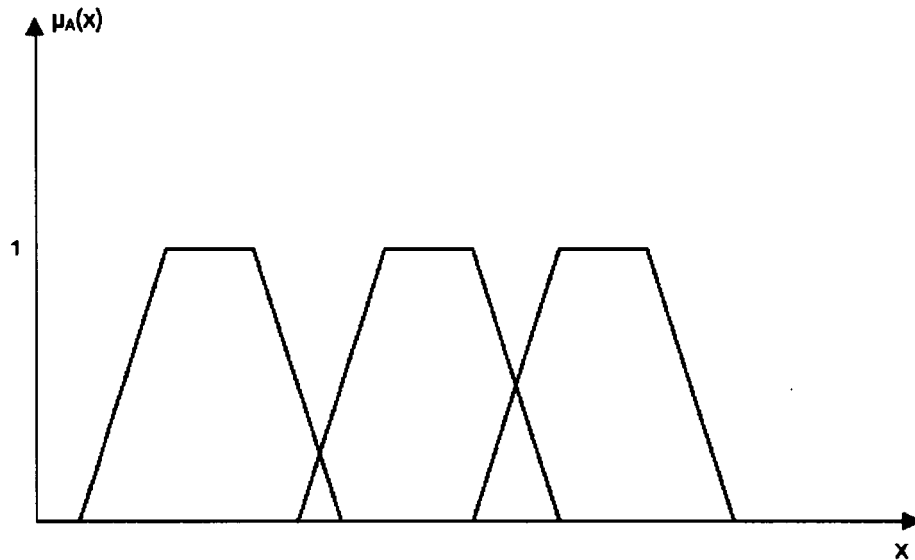


Figure 3.2: Un exemple d'une partition floue formée de trois ensembles

d'appartenance sont constantes et ensuite diminuent ou elles sont constantes et ensuite augmentent. Il se peut aussi qu'elles soient constantes et après un maximum, elles diminuent.

3.4.5 Opérateurs de la logique floue

Les opérateurs de la logique floue s'appliquent afin de composer entre les prédicats et leurs fonctions d'appartenance. Les opérateurs de base sont ceux de la conjonction (ET), de la disjonction (OU) et de la négation. Les opérateurs ET et OU peuvent être réalisés respectivement par les opérateurs arithmétiques de produit et de somme. Les formules et les figures de ces opérateurs sont présentées dans le tableau A.2 de l'annexe. Les autres opérateurs de la logique floue seront discutés ci-dessous.

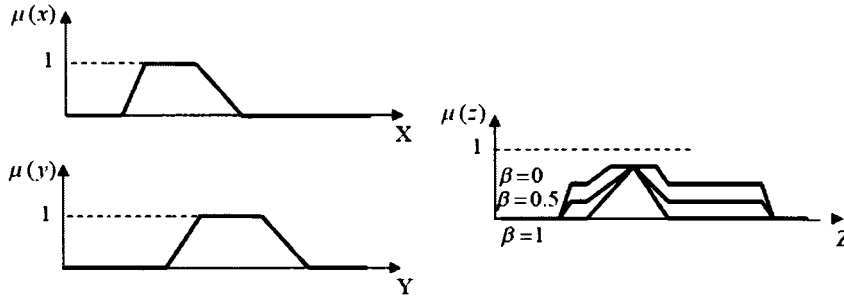


Figure 3.3: Opérateur ET réalisé par la relation 3.5

Opérateurs ET flou et Ou flou

Par la combinaison de l'opérateur minimum, l'opérateur maximum et la moyenne arithmétique, on obtient les opérateurs ET flou et Ou flou. La relation suivante définit l'opérateur ET flou (Tamrabet, p. 36) :

$$\mu_E(z) = \mu_{A \cap B}(z) = \beta \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] + [(1 - \beta)/2][\mu_A(x) + \mu_B(y)] \quad (3.5)$$

La relation suivante définit l'opérateur OU flou (Tamrabet, p. 36) :

$$\mu_O(z) = \mu_{A \cup B}(z) = \beta \max[\mu_A(x), \mu_B(y)] + [(1 - \beta)/2][\mu_A(x) + \mu_B(y)] \quad (3.6)$$

Dans les relations ci-dessus, la valeur du facteur β est égale à 1 et elle est dans le domaine de 0 à 1. Pour $\beta = 1$ on obtient l'opérateur minimal ou maximal. Pour $\beta = 0$ on obtient l'opérateur somme qui donne la moyenne arithmétique. Dans ce cas, on peut étendre les opérateurs ET flou et Ou flou à plusieurs termes. La figure 3.3 représente l'influence du facteur β sur la fonction d'appartenance pour l'opérateur ET flou.

La figure 3.4 représente l'influence du facteur β sur la fonction d'appartenance pour l'opérateur OU flou.

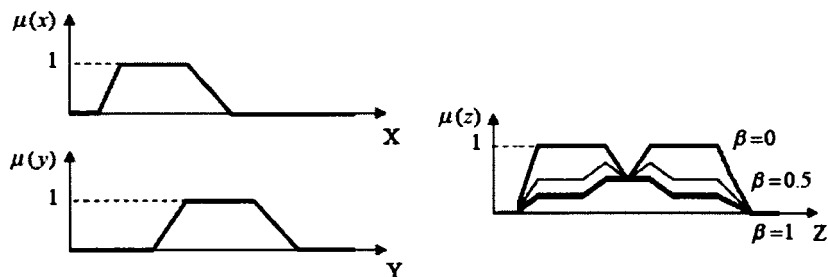


Figure 3.4: Opérateur OU réalisé par la relation 3.6

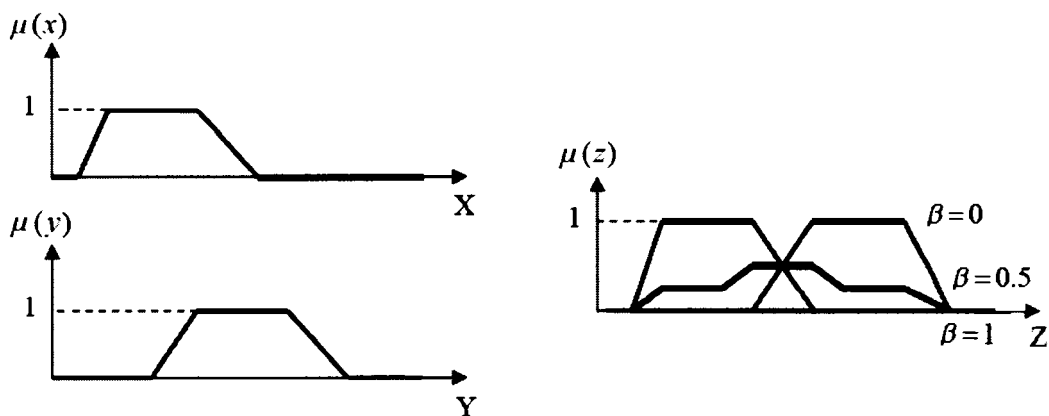


Figure 3.5: Opérateur min-max réalisé par la relation 3.7

Opérateurs min-max

La combinaison des opérateurs minimum et maximum donne l'opérateur min-max selon la relation suivante (Tamrabet, p. 37) :

$$\mu(z) = \beta \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] + (1 - \beta) \max[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (3.7)$$

En utilisant le facteur β dont la valeur varie entre 0 et 1, nous pouvons estimer les deux opérateurs. Si la valeur de ce facteur est 0, on obtient l'opérateur ET

ou minimum et si cette valeur est 1, on obtient l'opérateur OU ou maximum. La valeur de 0.5 pour ce facteur donne l'opérateur OU pour calculer la somme de valeurs des fonctions d'appartenance. La figure 3.5 représente l'influence du facteur β sur l'opérateur min-max.

T-norme, S-norme

Une T-norme est une norme triangulaire pour définir l'opérateur ET flou. Cette définition par ce terme se fait de la manière suivante (Tamrabet, p. 38; Bouchon-Meunier, p. 24) :

$$\begin{aligned} T : [0, 1] \times [0, 1] &\rightarrow [0, 1] \\ x, y &\rightarrow z = x T y \end{aligned} \quad (3.8)$$

Nous avons les propriétés de commutativité, d'associativité et de non-décroissance (ou de monotonie) dans cette définition :

Commutativité : $x T y = y T x$

Associativité : $(x T y) T z = x T (y T z)$

Non-décroissance : Cette propriété est définie par rapport à l'argument suivant :

$$\text{si } x \leq y, w \leq z, \text{ alors } x T w \leq y T z \quad (3.9)$$

0 et 1 sont considérées comme étant respectivement l'élément absorbant et l'élément neutre, respectivement :

$$0 T x = 0$$

$$1 T x = x$$

Quatre types de T-normes existent dans la logique floue. Ces T-normes sont les suivantes :

1. T-norme minimum ou T-norme de Gödel (la plus grande T-norme) :

$$T_{min}(a, b) = \min\{a, b\}$$

2. T-norme de produit :

$$T_{prod}(a, b) = a \cdot b$$

3. T-norme de Łukasiewicz :

$$T_{Luk}(a, b) = \max\{0, a + b - 1\}$$

4. T-norme drastique (la plus petite T-norme) :

$$T_D(a, b) = \begin{cases} b & \text{si } a = 1 \\ a & \text{si } b = 1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

On peut aussi définir l'opérateur OU flou par S-norme (ou T-conorme) de la manière suivante (Tamrabet, p. 38,39 ; Bouchon-Meunier, p. 24) :

$$S : [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1] \quad (3.10)$$

Les propriétés de commutativité, d'associativité et de non-décroissance (ou de monotonie) existent aussi pour S-norme :

Commutativité : $xSy = ySx$

Associativité : $(xSy)Sz = xS(ySz)$

Non-décroissance : Cette propriété est définie par rapport à l'argument suivant :

$$\text{si } x \leq y, w \leq z, \quad \text{alors } xSw \leq ySz \quad (3.11)$$

1 et 0 sont considérées comme étant respectivement l'élément absorbant et l'élément neutre, respectivement :

$$1 S x = 1$$

$$0 S x = x$$

Quatre types de S-normes existent dans la logique floue. Ces S-normes sont les suivantes :

1. S-norme maximum ou S-norme de Gödel (la plus petite S-norme) :

$$S_{max}(a, b) = \max\{a, b\}$$

2. S-norme probabiliste :

$$S_{sum}(a, b) = a + b - (a \cdot b)$$

3. S-norme bornée ou S-norme de Łukasiewicz :

$$S_{Luk}(a, b) = \min\{a + b, 1\}$$

4. S-norme drastique (la plus grande S-norme) :

$$S_D(a, b) = \begin{cases} b & \text{si } a = 0 \\ a & \text{si } b = 0 \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

La N-norme est un opérateur flou incluant la T-norme. La N-norme peut être utilisée pour définir S-norme de la manière suivante :

$$x S y = 1 - (1 - x) T (1 - y) \quad (3.12)$$

Cette définition est selon la loi de De Morgan dans la théorie des ensembles. Les intersections floues (T-normes) et les unions floues (S-normes) les plus utilisées en logique floue ainsi que leurs exemples se trouvent dans les tableaux A.3 et A.4 de l'annexe.

3.4.6 Propriétés des opérations sur les ensembles flous

Nous avons les propriétés suivantes pour les opérateurs sur les ensembles flous A et B dans un ensemble de référence U (Tamrabet, p. 39,40) :

a. L'intersection d'un ensemble flou et de son complément n'est pas vide lorsque μ a une valeur autre que 0 :

$$A \cap \bar{A} \neq \phi \quad i.e. \quad \mu_{A \cap \bar{A}}(x) \neq 0 \quad (3.13)$$

b. L'union d'un ensemble flou et de son complément ne donne pas l'univers du discours lorsque μ a une valeur autre que 1 :

$$A \cup \bar{A} \neq U \quad i.e. \quad \mu_{A \cup \bar{A}}(x) \neq 1 \quad (3.14)$$

La figure 3.6 représente l'intersection et l'union d'un ensemble flou et de son complément (Tamrabet, p. 40) : Les propriétés incluant les propriétés de commutativité, d'associativité, de distributivité, d'idempotence, d'identité, etc. se trouvent dans le tableau A.5 de l'annexe. Ces propriétés existent en logique floue pour ET et pour OU ; mais pas toujours pour idempotence.

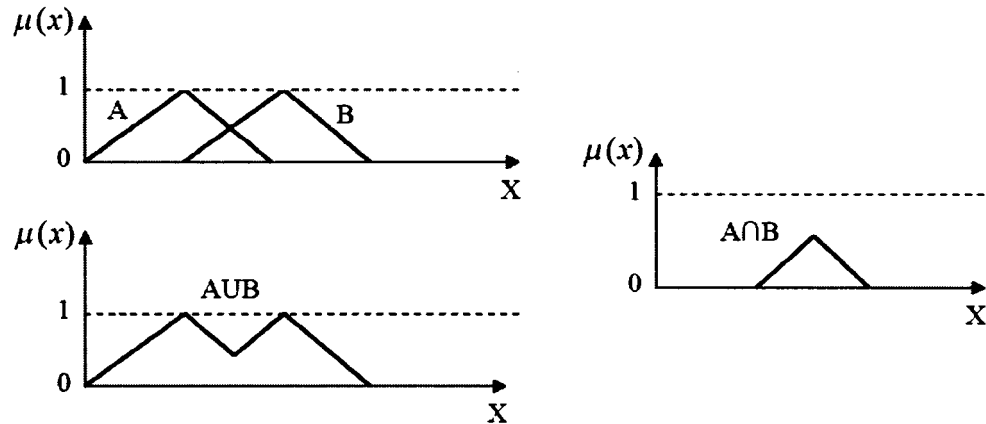


Figure 3.6: Union (max), Intersection (min)

3.5 Prise de décision par approche floue

3.5.1 Proposition floue générale

Nous pouvons définir une proposition floue générale à partir de propositions élémentaires et d'opérateurs logiques binaires (et (la conjonction), ou (la disjonction), implique (l'implication)) et unaire (non (la négation)). Voici quelques méthodes de calcul de telles propositions (Meunier *et al.*, 1997) :

a. Conjonction : $(V_1 \text{ est } A_1) \text{ et } (V_2 \text{ est } A_2)$

a.1. Logique de Zadeh : $\min(\mu_{A_1}, \mu_{A_2})$

a.2. Logique de Lukasiewicz : $\max(\mu_{A_1} + \mu_{A_2} - 1, 0)$

a.3. Logique probabiliste : $\mu_{A_1}(x) \cdot \mu_{A_2}(x)$

b. Disjonction : $(V_1 \text{ est } A_1) \text{ ou } (V_2 \text{ est } A_2)$

b.1. Logique de Zadeh : $\max(\mu_{A_1}, \mu_{A_2})$

b.2. Logique de Lukasiewicz : $\min(\mu_{A_1} + \mu_{A_2}, 1)$

b.3. Logique probabiliste : $\mu_{A_1} + \mu_{A_2} - \mu_{A_1} \cdot \mu_{A_2}$

c. Implication : $(V_1 \text{ est } A_1) \text{ implique } (V_2 \text{ est } A_2)$

c.1. Logique de Lukasiewicz : $\min(1 - \mu_{A_1} + \mu_{A_2}, 1)$

c.2. Logique de Mamdani : $\min(\mu_{A1}, \mu_{A2})$

c.3. Logique de Larsen : $\mu_{A1} \cdot \mu_{A2}$

d. Complémentation : $1 - \mu_A$

3.5.2 Implication floue

En logique floue, le mécanisme qui décrit l'implication est l'implication floue. Les trois opérateurs suivants s'appliquent pour l'implication floue (Chevrie, 1998) :

L'opérateur Lukasiewicz :

$$\mu_{A \Rightarrow B} = \min(1, 1 - \mu_A + \mu_B) \quad (3.15)$$

L'opérateur Mamdani :

$$\mu_{A \Rightarrow B} = \min(\mu_A, \mu_B) \quad (3.16)$$

L'opérateur Larsen :

$$\mu_{A \Rightarrow B} = \mu_A \cdot \mu_B \quad (3.17)$$

Pour les ensembles flous A et B , l'implication floue ressemble à l'implication classique. Les principes de modus ponens et modus tollens qui se trouvent en logique classique s'appliquent aussi en logique floue à une différence qu'en logique floue les degrés d'appartenance produisent les valeurs de vérité floues (Godjevac, 1999).

Le modus ponens est représenté en général de la manière suivante :

Prémisse : x est A (ex : Cette maison est grande.)

Implication : Si x est A , alors x est B (*) (ex : Si cette maison est grande, alors elle est chère.)

Conclusion : x est B (ex : Cette maison est chère.)

Le Modus Tollens est représenté en général de la manière suivante :

Prémisse : x n'est pas B (ex : Cette maison n'est pas chère.)

Implication : Si x est A , alors x est B (ex : Si cette maison est grande, alors elle est chère.)

Conclusion : x n'est pas A (ex : Cette maison n'est pas grande.)

x : la variable linguistique

A et B : les valeurs linguistiques dans l'univers du discours X .

Nous pouvons passer de la prémisse A à la conclusion B par l'utilisation d'un mécanisme dit l'inférence floue. En utilisant les opérateurs T-norme et S-norme, nous pouvons montrer l'expression de la fonction d'appartenance de B (Tamrabet, p. 43) :

$$\mu_B(y) = S_X[T(\mu_A(x), \mu_R(x, y))] \quad (3.18)$$

Où la fonction d'appartenance suivante caractérise B :

$$\forall y \quad \mu_B(y) = \max_{x \in X} \min[\mu_A(x), \mu_R(x, y)] \quad (3.19)$$

L'observation est caractérisée par la fonction d'appartenance $\mu_A(x)$. L'opérateur $\mu_B(x, y)$ est l'implication floue qui évalue le degré de vérité de la relation floue :

$$R = A \rightarrow B \quad (3.20)$$

Où R est une règle d'inférence qu'on utilise pour représenter la règle (*) et la min T-norme associée à l'opérateur de conjonction (ET).

Les informations sur les règles linguistiques, les inférences, les types d'inférence et les méthodes de calcul de la moyenne floue se trouvent dans les livres de Klir et Yuan (Klir et Yuan, 1995) et Godjevac (Godjevac, 1999).

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit les éléments de base de la théorie des ensembles-flous et de la logique floue. Nous pouvons dire que la logique floue, basée sur cette théorie, donne la possibilité d'analyser les concepts philosophiques, y compris celui de catégorie, ce que nous allons voir dans le prochain chapitre de ce mémoire. Grâce à cette logique, nous pouvons analyser les définitions des catégories d'une manière que la logique classique ne permet pas de faire, car les règles sur les données imprécises existent dans la logique floue et non dans la logique classique.

CHAPITRE IV

APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE ET DU MODÈLE DE L'ARBRE AUX PROBLÈMES DE LA CATÉGORISATION

Quels sont les caractéristiques de la logique floue pour rendre possible la modélisation des concepts ? Pour répondre à cette question, je vais analyser les contenus des chapitres 5, 6, 7 et 8 du livre intitulé *Concepts and Fuzzy Logic* dans la section suivante (Belohlavek et Klir, 2011 ; Verkullen et al., 2011 ; Belohlavek, 2011 ; Hampton, 2011).

4.1 Arguments fallacieux contre l'application de la logique floue dans l'analyse des concepts

Dans le cinquième chapitre du livre intitulé *Concepts and Fuzzy Logic*, Belohlavek et Klir analysent les arguments sur l'application de la logique floue dans la psychologie des concepts. Ces critiques portent sur les arguments d'Osherson et Smith sur leurs revendications à propos de l'application conjonctive de la logique floue et les théories des prototypes dans la psychologie des concepts. Belohlavek et Klir les ont considéré ces arguments comme étant fallacieux (Belohlavek et Klir, 2011). Selon Osherson et Smith, cette logique est incompatible avec cette théorie pour cette analyse, car de la combinaison de leurs principes entraînerait une contradiction avec les informations intuitives sur les concepts. Belohlavek et

Klir disent que ces arguments sont fallacieux. Les arguments d'Osherson et Smith concernent entre autres les concepts conjonctifs ainsi que les concepts vides et les concepts logiquement universels (Belohlavek et Klir, 2011). Mon objectif ici n'est pas d'entrer dans les détails de leurs arguments, mais je vais présenter brièvement les contre-arguments de Belohlavek et Klir pour conclure que la logique floue est compatible avec les théories des prototypes pour l'analyse des concepts. En ce qui concerne les concepts conjonctifs, Osherson et Smith considèrent une hypothèse fonctionnelle simple dont la formule est la suivante :

$$A\&B : (\forall x \in D) C_{A\&B}(x) = f(C_A(x), C_B(x)) \quad (4.1)$$

où $C_{A\&B}$ est le concept conjonctif de A et B , C_A est le concept de A , C_B est le concept de B .

Osherson et Smith disent que Zadeh a proposé que la fonction f est le minimum des deux concepts A et B , alors que selon Belohlavek et Klir, Zadeh n'a jamais introduit cette fonction dans la logique floue. L'erreur d'Osherson et Smith dans l'interprétation de la logique floue a fait que par la suite, Medin et Smith aussi se sont trompés là-dessus. Ils disent :

La théorie des ensembles flous de Zadeh affirme que la typicalité dans la composite est le minimum de typicalité dans les constituants, ce qui signifie que quelque chose ne peut pas être un meilleur exemple de poisson de compagnie que c'est d'animal de compagnie ou de poisson (Belohlavek et Klir, 2011, p.132).

Belohlavek et Klir soutiennent que la logique floue n'est pas une théorie de combinaison de concepts. C'est pourquoi selon eux, Medin et Smith se sont trompés dans leur interprétation de cette logique, mais cette erreur entraîne une autre conclusion erronée selon laquelle cette logique n'est pas appropriée pour l'analyse des concepts cognitifs. En fait, cette logique ne revendique rien à propos de la

typicalité des concepts en combinaison. Dans l'exemple de poisson de compagnie, comme les psychologues ont défendu, à propos du modèle dans lequel les typicalités sont représentées par des fonctions d'association des ensembles flous, c'est faux que la typicalité d'un composite soit le minimum de typicalité des constituants. Le problème ne vient pas donc de la logique floue, mais du modèle utilisé pour le montrer.

Belohlavek et Klir, en utilisant l'implication de Łukasiewicz, démontrent que les degrés d'appartenance de deux concepts l'un inclut dans l'autre (ici A dans B) suit la formule suivante :

$$S(A, B) = \inf_{x \in U} \min(1, 1 - A(x) + B(x)) \quad (4.2)$$

Le degré vrai de « tous les A sont B » peut s'écrire de la manière suivante :

$$\| \text{Tous les } A \text{ sont les } B \| = \inf_{x \in U} \min(1, 1 - A(x) + B(x)) \quad (4.3)$$

Dans ce cas, les valeurs des degrés d'association pour les concepts A , B et $S(A, B)$ seront 0.1, 0.5 et 0.95, respectivement. Ce résultat est conforme avec l'interprétation de l'équation proposée par Osherson et Smith.

Zadeh répond à leur critique en proposant : 1) la flouification du concept d'inclusion et 2) l'équivalence du quantificateur « tous » à « proche de l'unité », c'est-à-dire une proportion floue, dans le langage naturel.

On peut démontrer cette proposition de Zadeh à propos de l'équivalence du quantificateur « tous » avec « presque tous » ou « beaucoup ». Dans ce cas la formule qui décrit « beaucoup de l'ensemble A sont dans l'ensemble B » sera :

$$\| \text{Beaucoup de } A \text{ sont des } B \| = \sum_{x \in U} \min(1, 1 - A(x) + B(x)) / |U| \quad (4.4)$$

Une autre alternative est d'utiliser la notion de cardinalité. La cardinalité de l'ensemble flou A peut s'écrire de la manière suivante :

$$|A| = \sum A(x) \quad (4.5)$$

Selon Zadeh, le degré de vérité $\|\text{Beaucoup de } A\text{s sont des } B\text{s}\|$ peut s'écrire de la manière suivante :

$$\|\text{Beaucoup de } A\text{s sont des } B\text{s}\| = |A \cap B|/|A| \quad (4.6)$$

où $A \cap B$ est le minimum d'intersection des ensembles flous A et B .

Dans l'équation 4.6 au lieu des valeurs absolues on peut écrire la sommation avec le symbole \sum . Donc, on aura :

$$\|\text{Beaucoup de } A\text{s sont des } B\text{s}\| = \sum_{x \in U} \min(A(x), B(x)) / \sum_{x \in U} A(x) \quad (4.7)$$

où U est l'univers de discours où les ensembles A et B se trouvent.

Dans cette équation, plus la différence $A(x) - B(x)$ augmente, moins sera le degré de vérité de la proposition « Beaucoup de A s sont des B s » et ce résultat est conforme avec l'aspect intuitif de l'argument d'Osherson et Smith.

En ce qui concerne les concepts vides et les concepts logiquement universels, encore une fois l'interprétation d'Osherson et Smith à propos de l'application de la logique floue est fautive. Ils disent que le degré de vérité de la proposition « x est une pomme rouge et x n'est pas une pomme rouge » peut se calculer de la manière suivante :

$$\min(R(x), 1 - R(x)) \quad (4.8)$$

où $R(x)$ désigne la proposition « x est une pomme rouge ».

Si $R(x) = 0.7$, on aura $\min(R(x), 1-R(x)) = 0.3$ et donc, le concept conjonctif « x est une pomme rouge et x n'est pas une pomme rouge », contenant $x = 0.3$, ne sera pas vide et le concept disjonctif « x est une pomme rouge ou x n'est pas une pomme rouge », contenant $x = 0.7$, ne sera pas universel.

Suite à cette critique d'Osherson et Smith, d'autres auteurs y compris entre autres Johnson-Laird, Kamp et Partee ont rejeté l'idée de l'application de la logique floue dans l'analyse des concepts.

Selon Osherson et Smith, pour que la proposition « x est une pomme rouge et x n'est pas une pomme rouge » soit vide et la proposition « x est une pomme rouge ou x n'est pas une pomme rouge » soit universelle, la loi de la non-contradiction et la loi du tiers exclu seront nécessaires et donc, ces lois seront ici nécessaires dans cette application des ensembles flous. Belohlavek et Klir soutiennent que ces lois sont des lois de la logique classique et ne peuvent pas être présentes dans la logique floue. C'est pourquoi selon eux, ce qu'Osherson et Smith revendiquent n'est pas fondé. Belohlavek et Klir appuient leur position en citant Zadeh :

Le principe du tiers exclu n'est pas accepté comme un axiome valable dans la théorie des ensembles flous, car il ne s'applique pas aux situations dans lesquelles quelqu'un traite des classes qui n'ont pas de limites bien définies (Belohlavek et Klir, 2011).

De plus, Belohlavek et Klir soutiennent que la logique floue, due à l'inexactitude des frontières des ensembles flous, est compatible avec la loi de la non-contradiction et la loi du tiers exclu pour représenter certaines situations cognitives (Belohlavek et Klir, 2011).

De l'ensemble des arguments de Belohlavek et Klir contre les revendications d'Osherson et Smith, on conclut que les arguments fallacieux d'Osherson et Smith ne justifient pas l'incompatibilité de la logique floue avec les théories des prototypes pour la modélisation des concepts. Dans les sections suivantes, nous allons voir

quelles sont les conditions et les limites de cette modélisation.

4.2 Les concepts et les ensembles flous

Dans le sixième chapitre du livre intitulé *Concepts and Fuzzy Logic*, Verkullen et ses collègues présentent les concepts et les ensembles flous. Comment assigner le degré d'association à un concept ? Qu'est-ce que l'association ? Bilgiç et Türksen proposent les cinq points de vue suivants comme interprétations possibles à propos de l'association des concepts :

1. Vue de vraisemblance : 70% d'une population donnée ont été d'accord avec l'affirmation selon laquelle John est grand.
2. Vue d'ensemble aléatoire : quand on demande de fournir un intervalle de hauteur qui correspond à "haut," 70% d'une population donnée ont fourni un intervalle qui comprenait la taille de John en centimètres.
3. Vue de similarité : la taille de John est loin de l'objet prototype qui est vraiment "Grand" au degré de 0.3 (sur une distance normalisée).
4. Vue d'utilité : 0,7 est l'utilité de l'affirmation que John est grand.
5. Vue de mesure : En comparaison avec les autres, John est plus grand que certains autres et ce fait peut être codé comme 0,7 sur une échelle (Verkullen, p.153,154 ; Bilgiç et Türksen, p.196).

4.3 Méthodologie

4.3.1 Analyse formelle des concepts par la logique floue

Pour modéliser les concepts formels dans les contextes formels, Belohlavek dans le chapitre 7 du livre intitulé *Concepts and Fuzzy Logic* propose l'utilisation d'un ensemble fini X d'objets et d'un ensemble fini Y d'attributs ainsi qu'une relation binaire entre ces deux ensembles. Les objets x_1, x_2, \dots, x_n appartiennent à l'ensemble X et les attributs y_1, y_2, \dots, y_n appartiennent à l'ensemble Y . On pourrait

représenter ces deux ensembles de la manière suivante :

$$x \in X$$

$$y \in Y$$

La relation I entre un objet de l'ensemble X et un attribut de l'ensemble Y pourrait s'écrire par la formule suivante :

$$(x, y) \in I$$

Tout dépendant des situations où les valeurs de x_1, x_2, \dots, x_n seraient zéro ou un et celles de y_1, y_2, \dots, y_n seraient zéro ou un, nous aurions des contextes différents. À partir de différentes manières qu'on met les valeurs de zéro ou un pour ces variables, nous pourrions montrer des différences de concepts. À partir de chaque concept, nous pourrions obtenir des sous-concepts dans le contexte formel (X, Y, I) .

Belohlavek présente un exemple du contexte formel pour un ensemble d'objets X où $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ ayant les attributs qui se trouvent dans l'ensemble Y où $Y = \{y_1, y_2, y_3, \}$. Le tableau suivant représente l'exemple de ce contexte formel (Belohlavek, p. 181).

Tableau 4.1: Exemple du contexte formel

Objets \ Attributs	y_1	y_2	y_3
x_1	1	0	0
x_2	0	1	1
x_3	0	1	1
x_4	0	1	0
x_5	0	0	1

Pour mieux déterminer la relation entre les membres d'une catégorie, je présente le même tableau pour les membres de la catégorie d'oiseau y compris entre autres

Tableau 4.2: Caractéristiques de certains membres de la catégorie d'oiseau

Membres \ Caractéristiques	Voler	Avoir des ailes	Pondre	Avoir le bec	Avoir le chant d'oiseau
le canari <i>A</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
le moineau <i>B</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
la poule <i>C</i>	0.0	1.0	1.0	1.0	0.4
l'autruche <i>D</i>	0.0	1.0	1.0	1.0	0.2
l'ornithorynque <i>E</i>	0.0	0.0	1.0	0.8	0.0

le canari, le moineau, la poule, l'autruche et un hybride d'oiseau, mammifère et reptile, c'est-à-dire l'ornithorynque. Je présente dans le tableau 4.2 la catégorie d'oiseau avec 5 membres dont les degrés d'appartenance varient de 0 à 1.

Dans le tableau 4.2, le canari *A*, le moineau *B*, la poule *C*, l'autruche *D* et l'ornithorynque *E* ne sont pas les concepts ou les catégories, mais les membres de la catégorie d'oiseau. Chacun de ces oiseaux en tant qu'un oiseau individuel pourrait inclure plusieurs types d'oiseaux, mais ce n'est pas cette notion que nous avons considérée dans ce tableau.

Belohlavek présente un diagramme pour décrire la relation entre les concepts dans un réseau de concepts. La figure suivante représente le diagramme d'un réseau de concepts incluant les relations entre x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 et y_1, y_2, y_3 . Dans cette figure, les nœuds sont connectés par les lignes et ils représentent les concepts formels et la hiérarchie sous-concept-super-concept, respectivement. Le concept 1 est le sous-concept et le concept 6 est le super-concept.

Belohlavec n'a pas flouifié le réseau des concepts dans la Figure 4.1. Pour ce faire, je propose qu'on utilise les lignes discontinues au lieu des lignes continues ce qui peut représenter la flouification des relations des concepts dans le réseau. La Figure 4.2 représente le réseau flouifié des concepts avec les différents degrés de discontinuité et les degrés d'appartenance qui leur correspondent. À part la relation entre les

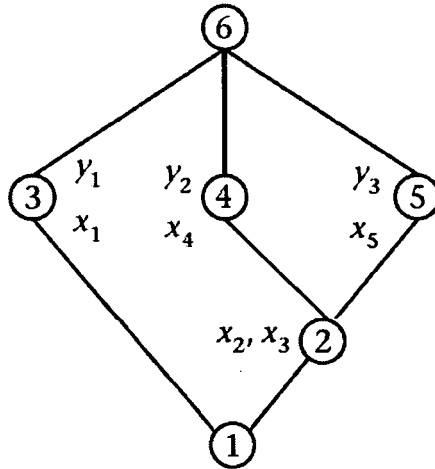


Figure 4.1: Diagramme d'un réseau de concepts

concepts 1 et 2, 4 et 6 qui ne sont pas flouifiées et sont représentées avec des lignes continues, les relations des autres concepts sont flouifiées et représentées avec des lignes discontinues.

En prenant les différentes relations entre x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 et y_1, y_2, y_3 selon la figure 4.1, Belohlavek détermine les six concepts suivants (Belohlavek, p. 186) :

1. $(\varphi, \{y_1, y_2, y_3\})$
2. $(\{x_2, x_3\}, \{y_2, y_3\})$
3. $(\{x_1\}, \{y_1\})$
4. $(\{x_2, x_3, x_4\}, \{y_2\})$
5. $(\{x_2, x_3, x_5\}, \{y_3\})$
6. $(\{x_1, x_2, x_3, x_4\}, \varphi)$

Je présente les relations entre les membres de la catégorie d'oiseau, c'est-à-dire celle du prototype (le canari A) avec les autres membres de cette catégorie. Pour ce faire, je considère le canari A , le moineau B , la poule C , l'autruche D et

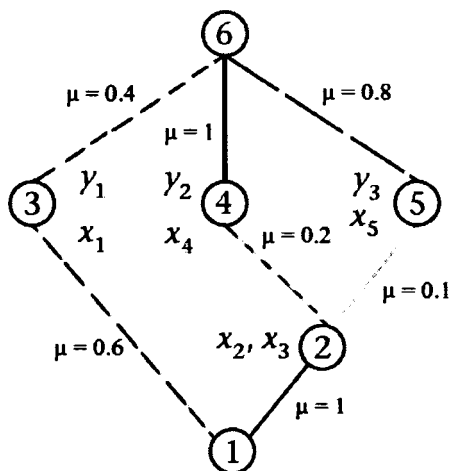


Figure 4.2: Un réseau flouifié de concepts

l'ornithorynque E comme x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 et les caractéristiques de voler, d'avoir des ailes, de pondre, d'avoir le bec et d'avoir le chant d'oiseau comme y_1, y_2, y_3, y_4 et y_5 .

En ce qui concerne le prototype de la catégorie d'oiseau, c'est-à-dire le canari A , et les autres membres de cette catégorie ainsi que leurs caractéristiques, je propose d'utiliser les lignes continues, les lignes discontinues et les points entre les membres en fonction des degrés d'appartenance des caractéristiques de ces membres.

Pour représenter un contexte flou formel, ce n'est pas seulement les valeurs absolues de zéro ou un qu'on attribue aux variables, c'est-à-dire aux membres d'un ensemble (ou d'une catégorie), mais aussi des valeurs entre zéro et un.

Belohlavek propose la décomposition de la relation I en utilisant les concepts flous formels comme les facteurs. Chacun de ces facteurs pourrait être obtenu par des calculs matriciels (Belohlavek, p.198,199).

La même procédure pourrait être appliquée pour déterminer les facteurs qui lient

les membres des catégories, par exemple ceux de la catégorie d'oiseau avec leurs caractéristiques. Dans ce cas, nous aurions les figures similaires à celles du livre de Belohlavek. Pourtant, les figures de ce livre ne sont pas complètement appropriées pour représenter les relations entre les membres de la catégorie d'oiseau y compris celle de son prototype, c'est-à-dire le canari A et les autres de ses membres, car Belohlavek a utilisé les couleurs blanche, noire et 5 degrés de la couleur grise, alors qu'il faut considérer les nombres 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 et 1.0 qui présentent les degrés d'appartenance des membres de la catégorie d'oiseau au lieu des couleurs qui ne se distingueront pas si on y ajoute d'autres degrés de la couleur grise. Autrement dit, bien qu'il a flouifié la catégorie de coureur, cette flouification n'est pas précise et en utilisant les valeurs de degrés d'appartenance des membres de cette catégorie, cette flouification devient plus précise. Les mêmes variables du tableau 4.1 se trouvent dans la figure 4.3.

Comment peut-on établir les paramètres flous et modaux pour les membres de la catégorie d'oiseau? Comment peut-on déterminer les relations entre leurs prototypes? Pour ce faire, je propose un nouveau modèle que j'appelle « le modèle de l'arbre » pour modéliser la catégorisation des concepts. Au contraire de treillis de concepts (voir la section 2.5), dans le modèle de l'arbre, les attributs ne se trouvent pas aux coins d'un treillis, mais plutôt dans les branches de l'arbre. Autrement dit, le positionnement des caractéristiques des membres des catégories dans le modèle de l'arbre est différent de leur positionnement dans le treillis de concepts.

4.3.2 Modèle de l'arbre pour la modélisation des prototypes

Dans le modèle de l'arbre, une catégorie est considérée comme une classe ou un ensemble d'objets dans l'état cognitif des êtres humains. Dans la modélisation des

								y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	
								0.8	1.0	0.6	0.8	0.0	
								0.5	0.6	0.9	0.9	0.3	
								0.4	0.7	1.0	0.5	0.1	
								0.7	1.0	0.6	0.6	0.4	
								0.1	1.0	0.4	0.9	0.0	
								1.0	0.5	1.0	0.9	1.0	
								1.0	0.8	0.3	1.0	0.1	
	x_1	1.0	1.0	0.7	1.0	0.5	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	x_2	1.0	0.7	1.0	0.6	0.5	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	
	x_3	0.0	0.5	0.5	0.0	0.4	0.6	1.0	0.0	1.0	1.0	0.4	
	x_4	0.0	0.3	1.0	0.5	0.1	1.0	0.6	0.0	1.0	1.0	0.2	
	x_5	0.0	0.2	0.4	1.0	0.1	0.7	0.3	0.0	0.0	1.0	0.8	0.0

Figure 4.3: Décomposition de relation entre les membres de la catégorie et leurs caractéristiques en utilisant les concepts flous formels comme facteurs et les modalités pour le prototype (le canari A) et les autres membres de la catégorie d'oiseau

catégories par la logique floue, une catégorie est considérée comme un ensemble flou. Dans ce modèle, chaque catégorie se représente comme un arbre. Le nom de la catégorie se trouve dans la racine, les membres de la catégorie et leurs caractéristiques se trouvent dans le tronc et les branches de l'arbre, respectivement. J'utilise certaines règles de la logique modale et de la logique floue auxquelles j'ajoute des nouvelles règles pour déterminer la relation entre les prototypes et les autres membres des catégories. Pour pouvoir comparer les branches des arbres, il faudra trouver les caractéristiques de chaque membre de la catégorie qui se trouve dans la branche qui lui correspond. Puisque les degrés de (proto)typicalité (D_t) des prototypes, selon la théorie de Rosch, sont plus élevés que ceux des autres membres, je mets les prototypes au début du tronc des arbres.

Dans le modèle de l'arbre, le nombre des branches de l'arbre est égal au nombre des membres de la catégorie. Puisque les caractéristiques de chacun des membres de la catégorie se trouvent sur les branches de l'arbre, la longueur de chaque branche est déterminée par le nombre des caractéristiques de chaque membre de la catégorie qui se trouve sur cette branche de l'arbre.

Dans un arbre, la longueur des branches est moins en haut du tronc que dans les autres parties du tronc. Puisque le nombre des caractéristiques du prototype d'une catégorie, selon la théorie des prototypes de Rosch, est moins que celui des autres membres de la catégorie, le positionnement du prototype en haut du tronc de l'arbre des catégories se justifie et les caractéristiques des autres membres de la catégorie dans le modèle de l'arbre, que je propose pour décrire le croisement des catégories, se trouvent dans les branches de l'arbre en bas du prototype. La figure 4.4 montre le modèle de l'arbre et la figure 4.5 représente le croisement de deux arbres où le milieu entre les arbres correspond à la région où les caractéristiques des membres de deux catégories (par exemple celles des catégories d'oiseau et de mammifère) pourraient se croiser. Chaque catégorie en tant qu'un ensemble flou

inclut deux sous-ensembles flous : un ensemble flou vertical des membres de la catégorie sur le tronc de l'arbre et un ensemble flou des caractéristiques de chacun des membres de la catégorie sur chaque branche de l'arbre.

Ce modèle est un modèle explicatif pour les sciences cognitives où on pourrait expliquer pourquoi certaines personnes confondent les concepts alors que certaines autres ne le font pas. En fait, les caractéristiques et leurs nombres pourraient être considérés différemment par les différentes personnes selon leurs modes de vies et leurs expériences. Selon le modèle de l'arbre, il se peut qu'une personne conçoive une catégorie avec moins de caractéristiques qu'une autre personne les conçoit. Donc, la probabilité de croisement des catégories pourrait changer selon l'état cognitif des différentes personnes.

Le prototype de chaque catégorie est son premier membre qui se trouve au bout du tronc de l'arbre. Donc, nous aurions :

$$p = m_1$$

Autrement dit, μ_p veut dire μ_{m_1} et D_p veut dire D_{m_1} . Le degré d'appartenance (et de (proto)typicalité) d'un prototype à l'ensemble flou des membres est plus grand que celui des autres membres. Il s'en suit la relation d'ordre suivante :

$$\mu_p > \mu_{m_2} > \mu_{m_3} > \dots > \mu_{m_n}$$

$$D_p > D_{m_2} > D_{m_3} > \dots > D_{m_n}$$

Le modèle de l'arbre présenté dans ce mémoire est une version simple du modèle, car il est représenté comme un modèle symétrique au niveau de la longueur des branches de l'arbre. Autrement dit, dans ce mémoire, il est supposé que le nombre des caractéristiques des membres d'une catégorie à ces deux côtes est égal, alors

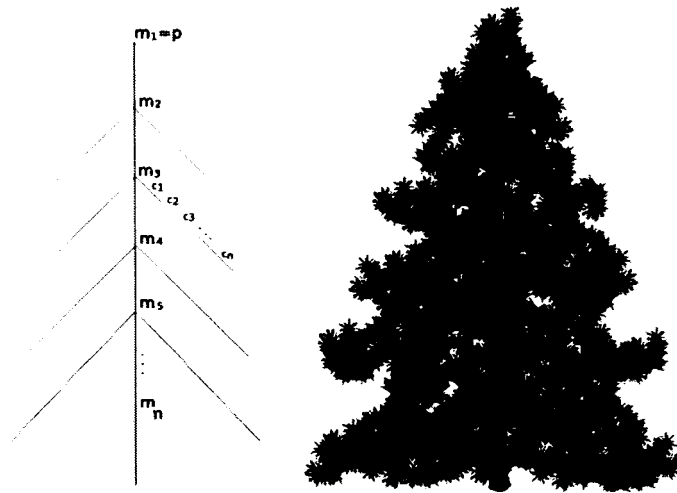


Figure 4.4: Modèle de l'arbre

qu'il se peut qu'il ne soit pas équivalent à deux côtés d'une catégorie en tant qu'arbre lorsqu'elle est considérée avec plusieurs catégories comme les arbres qui l'entourent. Donc, l'asymétrie des catégories peut être représentée dans ce modèle. De plus, on peut représenter la centralité d'une catégorie s'il y a lieu. Donc, il se peut qu'une catégorie soit plus centrale que d'autres catégories. Dans ce cas, on peut considérer plusieurs arbres parmi lesquels un arbre est au centre des autres arbres.

D'où viennent les caractéristiques des membres d'une catégorie? Est-ce qu'elles sont phénoménales ou est-ce qu'il existe d'autres types de caractéristiques? À part les caractéristiques phénoménales qui sont dues à l'apparition des phénomènes dans les objets et leurs considérations par les êtres humains, il existe aussi des caractéristiques dont le rôle est de classier les catégories. L'utilisation du modèle de l'arbre n'est pas limitée à considérer seulement les caractéristiques phénoménales et ce modèle peut également être utilisé pour la modélisation des caractéristiques de la classification des catégories.

Comment peut-on déterminer si les caractéristiques des membres d'une catégo-

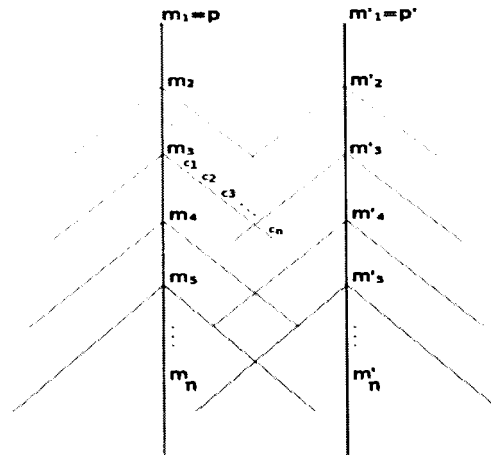


Figure 4.5: Croisement des branches de deux catégories C (à gauche) et C' (à droite) comme deux arbres. p et p' sont les prototypes de C et C'

rie atteignent celles des autres catégories? Autrement dit comment peut-on déterminer si les branches d'un arbre croisent celles d'un autre? Pour ce faire, il faudra présenter les arbres les uns à côté des autres. Je considère la probabilité de croisement des branches des arbres (P_c) selon la longueur des branches (L_b) et leur nombre (N_b). Lorsque la longueur des branches augmente, il est plus probable qu'elles se croisent. Cette probabilité augmente aussi avec le nombre des branches, car l'augmentation du nombre des branches veut dire qu'il est plus probable qu'elles se croisent. Selon la théorie de Rosch, les prototypes ont moins de caractéristiques que les autres membres de la catégorie. Donc, les prototypes des catégories devraient être liés aux branches les plus courtes des arbres où moins de caractéristiques apparaissent. C'est pourquoi la probabilité de croisement des branches à partir des prototypes d'une catégorie est moins que celle des autres branches de l'arbre pour ses autres membres.

P_c dépend de N_b et de L_b . De plus, P_c varie inversement avec D_t . Je considère le cas le plus simple, c'est-à-dire une relation linéaire entre P_c , N_b et L_b . Nous

aurions :

$$P_c \propto N_b$$

$$P_c \propto L_b$$

$$P_c \propto 1/D_t$$

Donc, nous aurions :

$$P_c = kN_bL_b/D_t$$

Puisque le degré de (proto)typicalité est proportionnel au degré d'appartenance des membres à la catégorie, nous aurions :

$$\mu \propto D_t$$

Donc,

$$\mu = k'D_t$$

Donc, nous aurions :

$$P_c = kk'N_bL_b/\mu$$

$$P_c = \beta N_bL_b/\mu \quad (4.9)$$

Dans cette formule, β (ou β') est le facteur de dynamicité propre à la catégorie C (ou la catégorie C') obtainable par le nombre des membres (le prototype ou les autres membres) de la catégorie et leur type. Puisque la longueur d'une branche (L_b) change d'une branche de l'arbre à l'autre, la valeur moyenne de la probabilité de croisement peut aussi être calculée à partir de la formule ci-dessus.

Comment se positionnent les trois types de démarqueurs, c'est-à-dire les caractéristiques des membres d'une catégorie, dans le modèle de l'arbre? En fait, ces caractéristiques se positionnent sur les branches de l'arbre où les démarqueurs forts se trouvent sur les branches proches au tronc, les démarqueurs faibles au milieu des branches et les démarqueurs marginaux au bout des branches, proches

des branches d'autres arbres. Autrement dit, c'est dans une zone que j'appelle « la zone de croisement » des branches des arbres que se trouvent les démarqueurs marginaux dont la présence dans chaque catégorie n'aide pas à la démarquer des autres catégories. À part le degré d'appartenance qui existe pour les membres d'une catégorie (μ_m), il existe aussi le degré d'appartenance des caractéristiques pour chacun de ses membres (μ_c). La dynamicité des démarqueurs forts-démarqueurs faibles ou la dynamicité des démarqueurs faibles-démarqueurs marginaux (la dynamicité de démarcation) que j'ai expliquée plus haut veut dire que les valeurs de μ_c et en conséquence celles de μ_m ne sont pas constantes, mais elles varient. Le deuxième type de dynamicité dans le modèle de l'arbre concerne la dynamicité des membres de chacune des catégories. C'est pourquoi le positionnement des membres de la catégorie n'est pas fixe et il change sur le tronc de l'arbre d'une manière que les membres se remplacent les uns les autres et le deuxième membre remplace le prototype. Donc, selon la théorie des démarqueurs, il n'y a pas de prototype et le degré de prototypicalité n'existe pas pour les membres de la catégorie.

Il est important de noter que la dynamicité des démarqueurs sur les branches de l'arbre concernant les remplacements des caractéristiques fortes des membres d'une catégorie par leurs caractéristiques faibles ou celui de leurs caractéristiques faibles par leurs caractéristiques marginales fait que la zone de croisement entre les deux catégories augmente peu à peu et donc, l'agent perd sa capacité cognitive de distinguer les catégories. Pourtant, l'inverse du remplacement des démarqueurs est également possible dans la cognition des êtres humains. Dans ce cas, grâce à un travail cognitif supplémentaire, l'agent pourrait améliorer son état cognitif dans la démarcation des catégories.

Les figures 4.6 et 4.7 représentent le modèle de l'arbre pour une et deux catégories considérant leurs démarqueurs forts, leurs démarqueurs faibles et leurs démarqueurs marginaux, respectivement. Les démarqueurs marginaux dans la figure

4.7 se trouvent dans une zone entre deux catégories (deux arbres), c'est-à-dire la zone de croisement (Z_c). Le nombre des démarqueurs marginaux (N_{D_m}) pourrait augmenter à cause d'un changement des démarqueurs forts et des démarqueurs faibles en démarqueurs marginaux. Donc, le facteur de risque de croisement des catégories (f_r) dépend du nombre des démarqueurs marginaux. Nous aurions :

$$f_r \propto N_{D_m}$$

On pourrait arriver à une étape où cette zone devient saturée et la personne ne pourrait plus distinguer les deux catégories l'une de l'autre. La dynamicité des démarqueurs dans ce modèle, c'est-à-dire le changement des démarqueurs faibles en démarqueurs marginaux qui fait la diminution de la capacité de distinction d'une catégorie de l'autre, pourrait éventuellement expliquer la maladie d'Alzheimer chez certains patients.

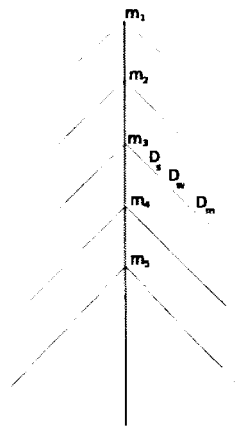


Figure 4.6: Le modèle de l'arbre pour une catégorie considérant ses démarqueurs forts, ses démarqueurs faibles et ses démarqueurs marginaux

Pour formaliser les changements dans les structures internes des catégories, je propose le symbole ∇ qui désigne l'acte de disparition, un opérateur logique qui

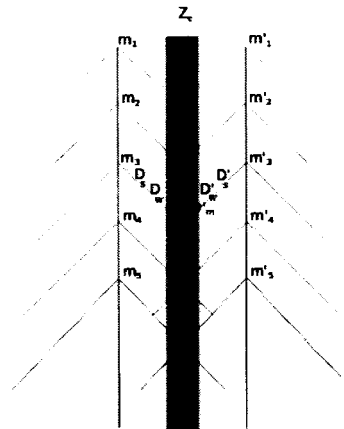


Figure 4.7: Le modèle de l'arbre dans la théorie des démarqueurs pour présenter deux catégories (C à gauche et C' à droite) considérant leurs démarqueurs forts, leurs démarqueurs faibles et leurs démarqueurs marginaux

fonctionne si toutes les règles d'une nouvelle logique non classique que j'appelle « la logique tendantielle » sont respectées (voir la conclusion de ce mémoire pour ces règles).

4.3.3 Application de la théorie des démarqueurs dans le modèle de l'arbre

Comment peut-on formaliser le changement de la longueur des branches de chaque arbre (catégorie) dans le modèle de l'arbre? La formule suivante désigne la disparition comme le résultat de la démolition du membre m_1 par m_2 dans une catégorie.

$$m_2 \nabla m_1$$

La disparition (ou le remplacement) des membres d'une catégorie par ses autres membres veut dire que la longueur de l'arbre qui représente cette catégorie dans le modèle de l'arbre n'est pas fixe et qu'elle change avec le temps. La disparition des membres d'une catégorie est due à celle de ses démarqueurs. En fait, les

caractéristiques des membres d'une catégorie ou de leurs démarqueurs peuvent aussi disparaître avec le temps. Par exemple, la démolition d'un démarqueur faible et son remplacement par un démarqueur marginal dans le modèle de l'arbre dus à la dynamicité des démarqueurs pourraient s'écrire de la manière suivante :

$$D_m \nrightarrow D_w$$

La figure 4.6 représente le modèle de l'arbre pour une catégorie considérant ses démarqueurs forts, ses démarqueurs faibles et ses démarqueurs marginaux. La figure 4.7 représente le modèle de l'arbre dans la théorie des démarqueurs pour présenter deux catégories considérant leurs démarqueurs forts, leurs démarqueurs faibles et leurs démarqueurs marginaux.

Dans le modèle de l'arbre, on pourrait déterminer la longueur de chaque branche selon le nombre des trois types de membres de la catégorie, c'est-à-dire le nombre de démarqueurs forts (D_s), de démarqueurs faibles (D_w) et de démarqueurs marginaux (D_m). Donc, nous aurions :

$$L_b = \sum D = D_s + \sum (D_w + D_m)$$

où D est le nombre total des trois types de démarqueurs, c'est-à-dire le nombre de toutes les caractéristiques de chacun des membres d'une catégorie.

Dans le modèle de l'arbre, un membre de la catégorie dépourvu de démarqueur fort se trouve en bas sur le tronc de l'arbre. Autrement dit, le modèle de l'arbre n'est par un modèle essentialiste, car selon ce modèle, la présence du démarqueur fort n'est pas essentielle pour tous les membres d'une catégorie.

En remplaçant cette formule de L_b dans la formule 4.9, on aurait :

$$P_c = \beta N_b (D_s + \sum (D_w + D_m)) / \mu \quad (4.10)$$

Les démarqueurs marginaux n'ont pas de rôle dans la démarcation d'une catégorie de l'autre et donc, leur symbole (D_m) peut ne pas apparaître dans la formule écrite ci-dessus.

En utilisant le modèle de l'arbre et en appliquant les propriétés de la logique floue, j'ai obtenu les formules qui pourraient être utilisées pour déterminer la probabilité de croisement des catégories tout en considérant les caractéristiques de leurs prototypes et de leurs autres membres. Ce modèle pourrait éventuellement être utilisé pour la comparaison des autres catégories.

Pour utiliser la logique floue dans le modèle de l'arbre, je considère la T-Norme et la S-Norme pour les membres d'une catégorie dans le tronc de l'arbre et pour leurs démarqueurs dans les branches de l'arbre.

Comment les T-normes et les S-normes se représentent pour les membres d'une catégorie? Comment se représentent-elles pour les caractéristiques d'un de ses membres? Je répondrai à ces questions dans la section suivante.

Quelques exemples :

Exemple 1 : Catégorie de l'être humain

Comment un agent conçoit les autres êtres humains? Comment il se conçoit lui-même dans la catégorie de l'être humain? Quelles sont les caractéristiques des membres de cette catégorie? Comment peut-on les modéliser avec la logique floue? Quelles sont les caractéristiques qu'on peut considérer pour les membres de la

catégorie de l'être humain ? Comment peut-on les modéliser avec la logique floue ? Pour répondre à ces questions, il faut considérer la catégorie de l'être humain selon une généalogie. La catégorie de l'être humain est la sous-catégorie de l'Être et un agent peut concevoir la première en liaison avec la deuxième. Dans un nouveau système philosophique que j'ai proposé, le nétisme, plusieurs catégories existent qui peuvent être modélisées avec le modèle de l'arbre et la combinaison des logiques non classiques. La logique floue et le modèle de l'arbre peuvent être utilisés pour la modélisation des catégories dans le nétisme¹. Selon le nétisme, la raison est limitée par les tendances de répétition et son déplacement dans le réseau de ces tendances de répétition cause l'ordre et le désordre ainsi que la variation et la répétition. Dans le réseau de l'Être, où la raison existe, le nombre des tendances de répétition diminue, donc la présence de la raison cause une variation ordonnée. Pourtant, dans les endroits où elle est absente, les tendances de répétition causent la répétition, mais puisque cette répétition est sans contrôle et à l'influence des variations adjacentes causées par la présence de la raison dans ce réseau, elle résulte en désordre, donc c'est une répétition désordonnée. De plus, la raison n'est pas la faculté centrale de l'être, car elle se déplace dans le réseau des tendances de répétition qui constitue l'être (Javanbakht, 2011a, p. 34-42). La limitation de la raison dans le réseau de l'être et la généalogie de l'être s'interprètent de la manière suivante :

Selon le nétisme, la raison pure n'existe pas car la raison ne peut pas sortir du réseau des tendances de répétition. La limitation de la raison par les tendances de répétition est une caractéristique non pas phénoménale, mais essentielle de la raison : c'est l'essence de la raison qui fait qu'elle est limitée par ces tendances [...] La généalogie de l'être selon le nétisme : 1. L'Être tendantiel de soi (l'être en tant qu'être, l'univers),

1. Le mot "nétisme" vient du mot "net" (veut dire le réseau en anglais) et du préfixe "isme". Le nétisme est une méthode de réconciliation du rationalisme et l'empirisme. Il est également une méthodologie pour rendre la philosophie cohérente. Le nétisme a été publié dans Journal of New Philosophy par l'Université Tabatabai en 2011 et 2012.

2. L'être tendantiel de soi (l'être humain au stade primaire), 3. L'être détendantiel de soi (l'être humain au stade secondaire) (Javanbakht, 2011a, p. 34-42).

Les deux êtres 2 et 3 dans cette généalogie sont les deux types de l'être humain dont l'analyse peut nous aider à déterminer des caractéristiques des membres de la catégorie de l'être humain.

La formule de la probabilité de croisement des catégories conforme au modèle de l'arbre peut être utilisée pour montrer comment les catégories des êtres humains au stade primaire, c'est-à-dire le stade où ils ont la tendance de répétition à endommager leurs vies et celles des autres, et au stade secondaire, c'est-à-dire le stade où ils n'ont pas de tendance de répétition à endommager leurs vies et celles des autres, se croisent dans l'état cognitif d'un agent.

Quelles sont les caractéristiques des membres de la catégorie de l'être humain ? Supposons qu'un agent considère 5 personnes avec les caractéristiques différentes. Le tableau 4.3 les représente avec leurs degrés d'appartenance à cette catégorie. Dans ce tableau, Éric est un membre de la catégorie de l'être humain dont le degré total d'appartenance est plus élevé que ceux des autres membres de cette catégorie. Cette considération est due au fait que la persistance est la preuve de l'existence de l'être humain dans sa pensée et qu'Éric, comme membre de la catégorie de l'être détendantiel de soi, augmente la diversité de ses activités en augmentant son degré d'existence.

Il est important de noter que l'autoréflexion ou la pensée de la pensée est causée par les tendances de répétition et c'est grâce à notre raisonnement que notre pensée n'est pas répétitive et nous pouvons utiliser la raison pour diminuer ces tendances et avoir une pensée variée mais ordonnée. Cette démarche est possible si et seulement si nous varions nos activités. Selon cette analyse dans le tableau ci-dessus, la pensée d'Éric et son autoréflexion sont plus variées et plus ordonnées

Tableau 4.3: Caractéristiques de certains membres de la catégorie de l'être humain

Membres \ Caractéristiques	Créatif	Actif	Attentif	Persévérant	Enthousiaste	Productif
Éric	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Dominique	1.0	0.7	0.8	1.0	0.9	0.7
Marie	1.0	1.0	0.6	0.9	1.0	0.9
Ricardo	0.8	0.8	0.8	1.0	0.7	0.8
Farzad	0.7	0.6	0.8	0.4	0.4	0.6

que celles des autres membres². Éric est considéré dans la catégorie de l'être détendantiel de soi, alors que les autres membres de la catégorie de l'être humain du tableau ci-dessus sont considérés dans la catégorie de l'être tendantiel de soi, car ils n'ont pas de degré élevé d'appartenance à la catégorie de l'être humain.

La figure 4.7 du chapitre 4 de ce mémoire, représentant le croisement des branches de deux catégories C (à gauche) et C' (à droite) comme deux arbres, peut être utilisée pour montrer comment les membres de deux catégories d'êtres humains, une catégorie dite celle de l'être tendantiel de soi et l'autre catégorie, c'est-à-dire celle de l'être détendantiel de soi, se croisent et pourquoi, comment et quand l'agent distingue ou confond ces deux catégories. La formule 4.10 peut être utilisée dans l'exemple des catégories d'êtres humains :

$$P_c = \beta N_b(D_s + \sum(D_w + D_m))/\mu$$

Dans cette formule :

D_s est être créatif (avoir des créativité diversées)

D_w est être actif, attentif, persévérant et enthousiaste

D_m est être productif.

2. Cette analyse est la base de l'opposition du cartésianisme et du nétisme.

Pourquoi être créatif est considéré comme le démarqueur fort, alors que les caractéristiques comme être actif, attentif, persévérant et enthousiaste sont considérés comme les démarqueurs faibles et être productif est considéré comme le démarqueur marginal de la catégorie de l'être humain ? La réponse à cette question est liée au fait que c'est seulement avoir des créativités diverses qui fait la démarcation de la catégorie de l'être détendantiel de soi de celle de l'être tendantiel de soi, alors qu'être actif, attentif, persévérant et enthousiaste aide peu à cette démarcation et être productif est la caractéristique en commun entre les membres de ces deux catégories, donc elle n'aide pas à cette démarcation.

Exemple 2 : Catégories de la philosophie et des sciences pures

Comment un agent conçoit la catégorie de philosophie en comparaison avec celle de sciences pures ? La philosophie est considérée comme une catégorie à part des sciences pures. Selon la philosophie analytique référentielle, pour faire de la philosophie comme un domaine cohérent de connaissance, il faut convertir les concepts en sous-concepts. En fait, pour rendre la philosophie cohérente, il faut dériver les sous-concepts à partir des concepts de base dans chaque branche de la philosophie (le réseau interne). Pour augmenter cette cohérence, il faut lier tous les sous-concepts entre les branches de la philosophie (le réseau externe) (Javanbakht, 2011b, p. 15-27) (voir la figure 4.8). Comment un agent conçoit les catégories de la philosophie et celles des sciences humaines comme des catégories nominales ? Comment il les distingue l'une de l'autre ? Comment il considère les membres de ces catégories, c'est-à-dire les branches de la philosophie et celles des sciences pures ?

Dans la figure 4.8, les différentes branches de la catégorie de la philosophie, par exemple, la métaphysique, la philosophie analytique, l'éthique et la philosophie

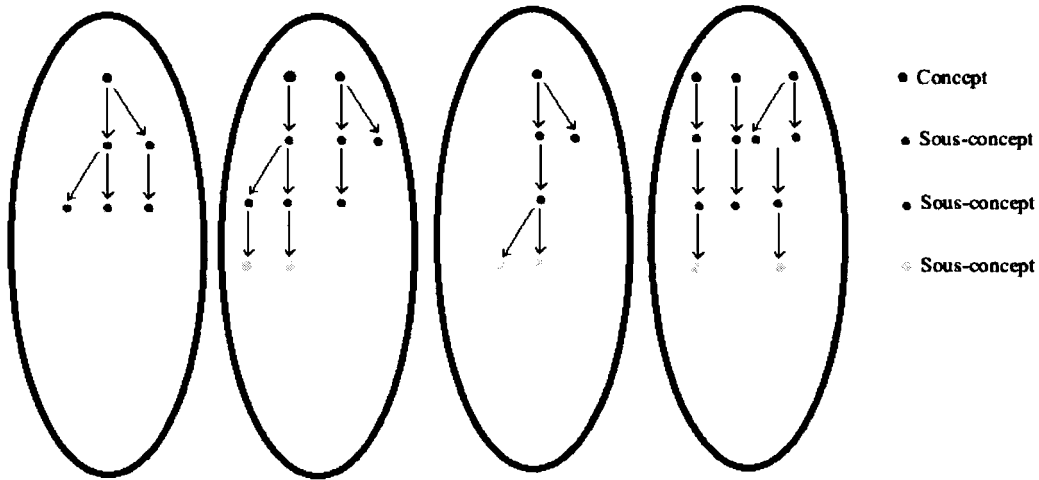


Figure 4.8: Concepts et sous-concepts des branches de la philosophie

politique, sont représentées dans les ovaies chacune contenant les concepts, en rouge, et des sous-concepts, en vert, bleu et jaune. Comment peut-on distinguer la catégorie de la philosophie de celle des sciences pures comme des catégories nominales ?

La formule de la probabilité de croisement des catégories s'applique pour le croisement de ces catégories. En appliquant le modèle de l'arbre à la catégorie de la philosophie, les membres de l'arbre sont les branches de celle-ci, c'est-à-dire la métaphysique, la philosophie analytique, l'éthique, etc. et les démarqueurs sont les caractéristiques de ceux-ci. La formule 4.10 peut être utilisée dans l'exemple des catégories de la philosophie :

$$P_c = \beta N_b (D_s + \sum (D_w + D_m)) / \mu$$

Dans cette formule :

D_s est être être la base des sciences

D_w est être général

D_m est être basé sur les arguments.

«Être la base des sciences» est une caractéristique de la catégorie de la philosophie qui la fait distinguer des sciences par un agent. «Être général» est une autre caractéristique de la catégorie de la philosophie qui aide peu à l'agent pour distinguer celle-ci de la catégorie des sciences. Enfin, «être basé sur les arguments» ne l'aide pas pour les distinguer, car les deux catégories sont pourvues de cette caractéristique. Donc, «être la base des sciences», «être général» et «être basé sur les arguments» sont le démarqueur fort (D_s), le démarqueur faible (D_w) et le démarqueur marginal (D_m) de la catégorie de la philosophie, respectivement.

Exemple 3 : Catégorie de l'acte moralement correct

Comment un agent considère la catégorie de «l'acte moralement correct» comme une catégorie nominale ? Comment peut-elle être modélisée avec la logique floue et le modèle de l'arbre ? Selon le nétisme, un acte est moralement correct si et seulement si les tendances de répétition à endommager soi-même et les autres n'y existent pas (Javanbakht, 2012, p. 15-17). Cette thèse est applicable à une théorie philosophique selon laquelle pour améliorer l'état politique dans un pays, il est nécessaire de diminuer les tendances de répétition à endommager la vie sociale des individus, une tendance qui se trouve dans les promesses politiques (*idem*). En utilisant la logique floue, on pourrait corrélérer l'ensemble des théories politiques.

On peut modéliser les catégories opposées avec la combinaison des logiques non classiques et le modèle de l'arbre en appliquant les notions de la philosophie analytique ainsi que celles de ces logiques. La philosophie analytique qui vise à déterminer la convergence entre les catégories opposées se trouve face à la contrainte de leur opposition ainsi qu'au besoin d'une méthodologie rigoureuse. La figure 4.9 représente la raison et les tendances de répétition comme des concepts et la raison

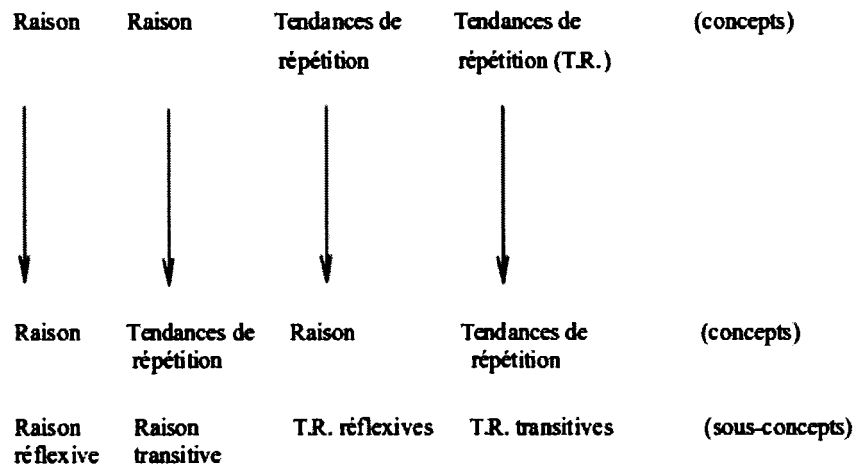


Figure 4.9: La raison réflexive, la raison transitive, les tendances de répétition réflexives et les tendances de répétition transitives

réflexive, la raison transitive, les tendances de répétition réflexives et les tendances de répétition transitives comme des sous-concepts, respectivement.

En utilisant la méthodologie de la philosophie analytique référentielle et en se concentrant sur les concepts opposés des théories philosophiques, par exemple : les théories éthiques y compris l'utilitarisme et le nétisme, on pourrait démontrer les approches de la logique floue pour leur réconciliation. Pour ce faire, il faut considérer deux couches pour chaque théorie philosophique : la couche interne ou le noyau et la couche externe ou la paroi. Le noyau ou la couche interne de chaque théorie philosophique contient ses principes, alors que sa couche marginale ou externe contient les résultats de ses principes. Pour combiner les théories philosophiques, il est mieux de combiner d'abord la couche externe et ensuite la couche interne, car combiner les résultats des principes est plus facile que combiner eux-mêmes (Javanbakht, 2011b, p. 17)³. La combinaison des logiques non

3. Ce modèle de la combinaison des théories philosophiques est basé sur le modèle de la combinaison de deux gamètes en biologie où d'abord les parois des gamètes et ensuite leurs noyaux se mélangent.

classiques et le modèle de l'arbre pourrait être utilisée pour la modélisation de la combinaison des théories philosophiques.

Comment le modèle de l'arbre peut être utilisé pour la modélisation de la catégorie de l'acte moralement correct ? Pour ce faire, on considère les personnes dont l'acte est moralement correct comme les membres d'une nouvelle catégorie et leurs caractéristiques comme leur démarqueur fort, leurs démarqueurs faibles et leurs démarqueurs marginaux. La formule suivante désigne la probabilité du croisement de la catégorie de l'acte moralement correct avec celles des actes partiellement corrects et moralement incorrects :

$$P_c = \beta N_b(D_s + \sum(D_w + D_m))/\mu$$

où D_s est ne pas avoir la tendance de répétition

D_w est la capacité de la diminution de la tendance de répétition

D_m est être répétitif ou avoir la tendance d'endommager soi-même ou les autres.

Exemple 4 : Catégorie des théories opposées

Comment un agent distingue la catégorie des théories opposées les unes des autres ? Le principal défaut des démarches qui ont été appliquées jusqu'à maintenant pour analyser les catégories opposées est qu'elles ont visé les approches descriptives sans tenir compte de la portée des modèles analytiques et logiques qui sont utilisables pour la redéfinition de ces catégories. La réconciliation de ces catégories peut se faire en considérant la relativité de la séparation descriptive de ces catégories. Il faudra porter une attention particulière aux modèles analytiques et aux relations logiques, notamment les formules de la logique floue incluant les degrés d'appartenance des sous-ensembles flous pour les catégories

opposées, qui démontrent le lien des sous-catégories à partir de celles-ci. L'impact du changement de la portée descriptive de ces catégories sur les activités de la vie quotidienne est aussi important à considérer. La formule suivante s'applique aussi pour déterminer le croisement des catégories des théories opposées.

$$P_c = \beta N_b(D_s + \sum(D_w + D_m))/\mu$$

où les démarqueurs se définissent selon la catégorie de chaque théorie comme ce qui est conçu par l'agent.

Le calcul des valeurs des T-normes et des S-normes sur les degrés d'appartenance des démarqueurs des catégories des applications mentionnées sera présenté dans la sous-section suivante.

4.3.4 Application des T-normes et des S-normes dans le modèle de l'arbre

Dans la théorie des démarqueurs que j'ai expliquée dans le deuxième chapitre de ce mémoire, nous avons vu qu'il existe trois types de caractéristiques pour chacun des membres d'une catégorie : 1) les démarqueurs forts, 2) les démarqueurs faibles et 3) les démarqueurs marginaux.

Nous avons vu dans le troisième chapitre de ce mémoire qu'il existe 4 types de T-norme et 4 types de S-norme dans la logique floue. Comment pourrait-on considérer les 4 types de T-normes et les 4 types de S-normes pour ces démarqueurs dans chaque branche d'un arbre dans le modèle de l'arbre ?

Selon la théorie des démarqueurs, à cause de la dynamicité des démarqueurs pour chacun des membres d'une catégorie, les démarqueurs forts peuvent se convertir en démarqueurs faibles et les démarqueurs faibles peuvent se convertir en dé-

marqueurs marginaux du au changement dans la catégorisation. Ce changement de démarqueurs se fait aussi dans les catégories dont les membres ne sont pas les êtres vivants. Donc, les démarqueurs forts se remplacent par les démarqueurs faibles et les démarqueurs faibles se remplacent par les démarqueurs marginaux. C'est pourquoi sur chaque branche de l'arbre, le nombre des démarqueurs marginaux augmente et la démarcation d'une catégorie de l'autre catégorie devient de plus en plus difficile. De plus, le remplacement des membres en haut du tronc de l'arbre par les membres inférieurs en bas du tronc fait qu'il n'existe plus de prototype. C'est pourquoi il y un changement dans le positionnement des membres de la catégorie. De plus, l'union la plus forte pourrait être considérée entre les deux premiers membres en haut du tronc de l'arbre ainsi qu'entre les démarqueurs au début de chaque branche de l'arbre, alors que l'union la plus faible pourrait être considérée entre le premier membre et le dernier membre du tronc de l'arbre ainsi qu'entre les démarqueurs forts et les démarqueurs marginaux de chaque branche de l'arbre. Les unions moyennes (ni fortes ni faibles) pourraient être considérées entre le premier membre et un des membres au milieu du tronc de l'arbre ainsi qu'entre les démarqueurs forts et les démarqueurs faibles au milieu des branches de l'arbre. Donc, les T-normes et les S-normes entre les membres d'une catégorie et les caractéristiques des membres de celle-ci pourraient se calculer avec les formules suivantes :

$$m_1 T m_2 \quad m_2 T m_3 \quad m_3 T m_4 \quad m_4 T m_{n-1} \quad m_{n-1} T m_n$$

et ainsi, nous aurions :

$$\begin{array}{cccccc}
 m_1 S m_2 & m_1 S m_3 & m_1 S m_4 & m_1 S m_{n-1} & m_1 S m_n & \\
 & m_2 S m_3 & m_2 S m_4 & m_2 S m_{n-1} & m_2 S m_n & \\
 & & m_3 S m_4 & m_3 S m_{n-1} & m_3 S m_n & \\
 & & & m_4 S m_{n-1} & m_4 S m_n &
 \end{array}$$

Nous avons deux ensembles flous dans le modèle de l'arbre :

1. Ensemble flou des membres d'une catégorie
2. Ensemble flou des caractéristiques (ou des démarqueurs) de chacun des membres de la catégorie

Comment appliquer les formules de T-norme et de S-norme pour ces deux ensembles flous ?

Pour ce faire, nous allons d'abord considérer la théorie des prototypes et ensuite la théorie des démarqueurs.

Voici les différentes catégories des prototypes :

1. Prototype fort pSm_2
2. Prototype moyen pSm_3 et aussi pSm_4
3. Prototype faible pSm_n

où p est le prototype ou le premier membre de la catégorie sur le tronc de l'arbre.

La S-norme entre les deux premiers membres sur le tronc de l'arbre est S-norme maximum ou S-norme de Gödel (la plus petite S-norme). Donc, nous aurions :

$$S_{max}(m_1, m_2) = \max \mu_{m_1}, \mu_{m_2}$$

Dans la théorie des prototypes, cette S-norme s'écrira de la manière suivante :

$$S_{max}(p, m_2) = \max \mu_p, \mu_{m_2}$$

car le premier membre de la catégorie est le prototype.

Les S-normes entre le premier membre et le deuxième et le troisième membre de la catégorie seront les suivantes :

S-norme probabiliste :

$$S_{sum}(m_1, m_3) = \mu_{m_1} + \mu_{m_3} - (\mu_{m_1}\mu_{m_3})$$

Pour la théorie des prototypes, nous aurions :

$$S_{sum}(p, m_3) = \mu_p + \mu_{m_3} - (\mu_p\mu_{m_3})$$

S-norme bornée ou S-norme de Łukasiewicz :

$$S_{Luk}(m_1, m_4) = \min\{\mu_{m_1} + \mu_{m_4}, 1\}$$

Pour la théorie des prototypes, nous aurions :

$$S_{Luk}(p, m_4) = \min\{\mu_p + \mu_{m_4}, 1\}$$

La S-norme drastique (la plus grande S-norme) s'écrira selon la formule suivante :

$$S_D(m_1, m_n) = \begin{cases} \mu_{m_1} & \text{si } \mu_{m_1} = 1 \\ \mu_{m_n} & \text{si } \mu_{m_n} = 0 \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

Pour la théorie des prototypes, nous aurions :

$$S_D(p, m_n) = \begin{cases} \mu_{m_p} & \text{si } \mu_p = 1 \\ \mu_p & \text{si } \mu_{m_n} = 0 \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

Pourquoi le prototype fort pourrait seulement être considéré dans l'union floue avec le deuxième membre de la catégorie, alors que le prototype moyen avec les membres au milieu du tronc de l'arbre (c'est-à-dire le troisième et le quatrième membre) et le prototype faible avec tous les membres du tronc de l'arbre ? Parce que les degrés d'appartenance des membres sur le tronc de l'arbre diminuent vers le bas de l'arbre et ces membres deviennent les membres les plus faibles de la catégorie en tant qu'un ensemble flou. Donc, en considérant la réunion floue du deuxième membre du tronc de l'arbre avec le prototype, le prototype reste fort, alors qu'il devient de plus en plus faible lorsqu'on considère sa réunion floue avec d'autres membres de la catégorie.

La S-norme de Gödel s'applique pour le prototype fort, la S-norme probabiliste et la S-norme de Łukasiewicz s'appliquent pour le prototype moyen et la S-norme drastique s'applique pour le prototype faible.

Pour la modélisation des branches de l'arbre, nous considérons les caractéristiques des membres de la catégorie, c'est-à-dire les démarqueurs forts, les démarqueurs faibles et les démarqueurs marginaux. Donc, nous aurions les T-normes suivantes :

$$D_s T D_w$$

$$D_w T D_m$$

La plus petite S-norme ou la S-norme de Gödel pourrait s'appliquer à un démar-

queur fort avec son démarqueur faible adjacent. Nous aurions :

$$S_{max}(D_s, D_{w_1}) = \max\{\mu_{D_s}, \mu_{D_{w_1}}\}$$

La S-norme probabiliste ainsi que la S-norme bornée ou la S-norme de Łukasiewicz pourraient traiter des démarqueurs forts et des démarqueurs faibles. Donc, nous aurions :

$$S_{sum}(D_s, D_{w_2}) = \mu_{D_s} + \mu_{D_{w_2}} - \mu_{D_s}\mu_{D_{w_2}}$$

$$S_{Luk}(D_s, D_{w_n}) = \min\{\mu_{D_s} + \mu_{D_{w_n}}, 1\}$$

La plus grande S-norme ou la S-norme drastique pourrait être appliquée aux démarqueurs forts et aux démarqueurs marginaux. Donc, la formule suivante désigne la S-norme drastique pour les démarqueurs forts et les démarqueurs marginaux :

$$S_D(\mu_{D_s}, \mu_{D_m}) = \begin{cases} \mu_{D_s} & \text{si } \mu_{D_s} = 1 \\ \mu_{D_s} & \text{si } \mu_{D_m} = 0 \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

Les formules de S-norme de Gödel, S-norme probabiliste, S-norme de Łukasiewicz et S-norme drastique sont applicables aux 4 exemples de la catégorie de l'être humain, la catégorie de philosophie, la catégorie de l'acte moralement correct et la catégorie d'une théorie qui est en opposition avec d'autres théories.

4.3.5 Règle de contrainte

Le fait que deux catégories en tant que deux arbres peuvent se croiser nous amène à poser la question suivante : Quand est-ce que le croisement de deux catégories peut causer leur confusion dans notre état cognitif? Pour répondre à cette question, je propose qu'on applique une « règle de contrainte » sur le modèle de l'arbre.

Selon cette règle, lorsque la valeur de S-norme des degrés d'appartenance de deux démarqueurs marginaux de deux catégories est égale ou plus grande que la valeur de S-norme du degré d'appartenance de chacun de ces démarqueurs marginaux avec celui du démarqueur faible qui les précèdent, les deux catégories se confondent dans notre état cognitif. C'est lorsque la S-norme des degrés d'appartenance des deux démarqueurs marginaux de deux catégories est inférieure à la S-norme du degré d'appartenance de chacun de ces démarqueurs marginaux avec celui du démarqueur faible qui les précèdent que nous ne confondons pas ces catégories.

La règle de contrainte considère l'ensemble des démarqueurs marginaux de chacune des catégories. Elle considère aussi l'ensemble des démarqueurs marginaux et les démarqueurs faibles de chacune des catégories. Ces ensembles sont les sous-ensembles flous dans le modèle de l'arbre et peuvent être considérés comme des ensembles flous. Donc, on peut calculer les valeurs des S-normes des démarqueurs pour ces ensembles flous.

La règle de contrainte peut se formaliser de la manière suivante :

Si nous avons les deux cas suivants :

$$S(\mu_{D_m}, \mu_{D_{m'}}) \geq S(\mu_{D_m}, \mu_{D_{wn}})$$

et

$$S(\mu_{D_m}, \mu_{D_{m'}}) \geq S(\mu_{D_{m'}}, \mu_{D_{wn'}})$$

alors nous confondrons les deux catégories. Mais si nous avons les cas suivants :

$$S(\mu_{D_m}, \mu_{D_{m'}}) < S(\mu_{D_m}, \mu_{D_{wn}})$$

et

$$S(\mu_{D_m}, \mu_{D_{m'}}) < S(\mu_{D_{m'}}, \mu_{D_{wn'}})$$

alors, nous ne confondrons pas les deux catégories.

En considérant plusieurs démarqueurs marginaux et plusieurs démarqueurs faibles sur chaque branche de chaque arbre (chacune des catégories), les relations ci-dessus peuvent s'écrire de la manière suivante :

$$S(a\mu_{D_m}, b\mu_{D_{m'}}) \geq S(a\mu_{D_m}, c\mu_{D_{wn}})$$

et

$$S(a\mu_{D_m}, b\mu_{D_{m'}}) \geq S(b\mu_{D_{m'}}, d\mu_{D_{wn'}})$$

ou

$$S(a\mu_{D_m}, b\mu_{D_{m'}}) < S(a\mu_{D_m}, c\mu_{D_{wn}})$$

et

$$S(a\mu_{D_m}, b\mu_{D_{m'}}) < S(b\mu_{D_{m'}}, d\mu_{D_{wn'}})$$

où a : nombre de démarqueurs marginaux d'un membre de la catégorie C

b : nombre de démarqueurs marginaux d'un membre de la catégorie C'

c : nombre de démarqueurs faibles d'un membre de la catégorie C

d : nombre de démarqueurs faibles d'un membre de la catégorie C'

Dans le modèle de l'arbre, chaque catégorie en tant qu'arbre inclut deux ensembles flous : un ensemble flou des membres de la catégorie et un autre ensemble flou de leurs caractéristiques c'est-à-dire celui de leurs démarqueurs. Dans ce cas, la Figure 3.6 représentant le diagramme de l'union ou de l'intersection des ensembles flous peut s'appliquer pour représenter les S-normes et les T-normes des membres de deux catégories ou de leurs démarqueurs. La figure 4.10 représente la règle de contrainte pour les S-normes des démarqueurs marginaux de deux catégories C et C' . Les figures 4.10a et 4.10b montrent le cas où la valeur de la S-norme des démarqueurs marginaux de deux catégories est plus petite que celle des démarqueurs

marginaux et les derniers démarqueurs faibles de chacune des catégories. Dans ces figures, les lignes continues numérotées 1 représentent les valeurs des S-normes des démarqueurs marginaux de deux catégories et les lignes discontinues numérotées 2 représentent les valeurs des S-normes des démarqueurs marginaux et les derniers démarqueurs faibles de chacune des catégories. Ces lignes discontinues incluent deux lignes discontinues, chacune représentant la variation des degrés d'appartenance de l'ensemble flou des démarqueurs faibles d'une catégorie. Les détails des figures 4.10a et 4.10c sont présentés dans la figure 4.11. Les figures 4.10c et 4.10d montrent le cas où la valeur des S-normes des démarqueurs marginaux de deux catégories est plus grande que celle des démarqueurs marginaux et les derniers démarqueurs faibles de chacune des catégories (la situation problématique de confusion des catégories). Dans ces figures, les lignes continues numérotées 1 représentent les valeurs des S-normes des démarqueurs marginaux de deux catégories et les lignes discontinues numérotées 2 représentent les valeurs des S-normes des démarqueurs marginaux et les derniers démarqueurs faibles de chacune des catégories. La figure 4.10e montre la différence des valeurs de ces deux S-normes des lignes numérotées 1. La variation de la pente des lignes 1 correspond au changement de la valeur des S-normes des démarqueurs marginaux de deux catégories tel que montré dans la zone grise de la figure 4.10e. Puisque les degrés d'appartenance de tous les démarqueurs de chacun des membres de la catégorie ne sont pas pris en compte dans ce diagramme, sa valeur maximale sur l'axe y n'atteint pas 1. Cela explique l'absence de la valeur 1 sur les axes y des diagrammes de la figure 4.10.

Dans la figure 4.11, les lignes 1, 2 et 3 dans la figure 2a' représentent la variation des degrés d'appartenance de l'ensemble flou des démarqueurs marginaux de la catégorie C , ceux des démarqueurs marginaux de la catégorie C' et ceux des démarqueurs faibles de la catégorie C , respectivement. Les lignes 1, 2 et 4

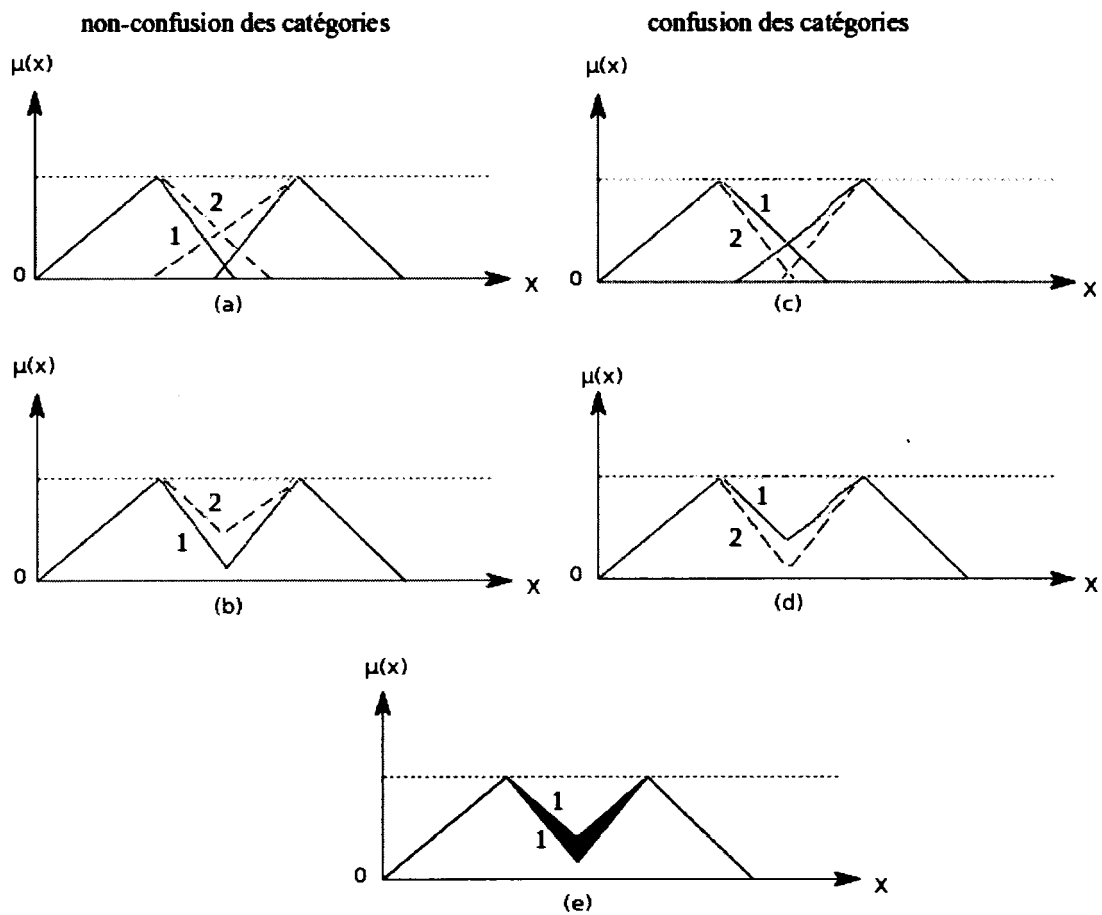


Figure 4.10: Diagrammes des S-normes des démarqueurs de deux catégories en considérant la règle de contrainte pour leur croisement

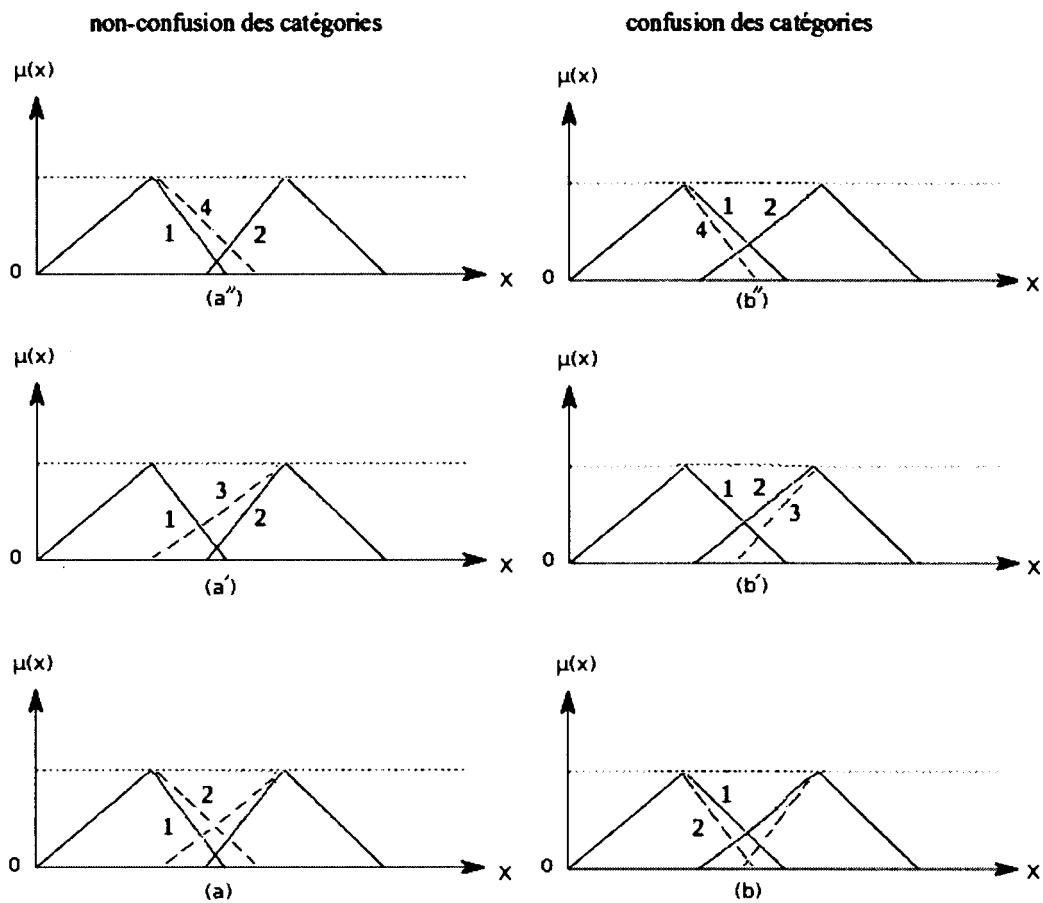


Figure 4.11: Détail des diagrammes des S-normes des démarqueurs de deux catégories en considérant la règle de contrainte pour leur croisement

dans la figure 2a'' représentent la variation des degrés d'appartenance de l'ensemble flou des démarqueurs marginaux de la catégorie C , ceux des démarqueurs marginaux de la catégorie C' et ceux des démarqueurs faibles de la catégorie C' , respectivement. Les lignes 1, 2 et 3 dans la figure 2b' représentent la variation des degrés d'appartenance de l'ensemble flou des démarqueurs marginaux de la catégorie C , ceux des démarqueurs marginaux de la catégorie C' et ceux des démarqueurs faibles de la catégorie C , respectivement. Les lignes 1, 2 et 4 dans la figure 2b'' représentent la variation des degrés d'appartenance de l'ensemble flou des démarqueurs marginaux de la catégorie C , ceux des démarqueurs marginaux de la catégorie C' et ceux des démarqueurs faibles de la catégorie C' , respectivement.

4.4 Conclusion

La modélisation des prototypes avec la logique floue et le modèle de l'arbre que je viens d'exposer fait effleurer certains points essentiels qui concernent les capacités de cette logique pour cette modélisation. J'ai utilisé certains éléments de cette logique pour mieux présenter les relations entre les prototypes de différentes catégories. Pour ce faire, j'ai appliqué la T-norme et la S-norme pour modéliser l'intersection floue et l'union floue des membres de chaque catégorie. Finalement, il appert que l'application de la logique floue et le modèle de l'arbre dans la modélisation des prototypes profite davantage au développement et au raffinement de la modélisation de la théorie des prototypes. La modélisation des prototypes est une méthodologie formelle, tandis que la négation de ce potentiel sans cette application est un cheminement non justifié qui pourrait aboutir à la mauvaise interprétation de cette théorie en sciences cognitives. La modélisation que j'ai appliquée relève d'une perspective formaliste qui se concentre sur la clarification des relations entre les catégories et les démarqueurs.

CONCLUSION

Après avoir fait l'étude des modèles de la catégorisation, nous en sommes arrivés à la conclusion que la logique floue et le modèle de l'arbre sont des outils appropriés pour la modélisation de la catégorisation.

Voici quelques recherches qui pourraient se faire dans la perspective de ce travail dans les différentes branches de la philosophie ainsi que d'autres domaines de la connaissance en appliquant la logique floue et le modèle de l'arbre pour faire la modélisation des catégories utilisées :

La modélisation du temps avec la logique floue et le modèle de l'arbre, avec des applications en physique, est possible. On pourrait aussi appliquer les logiques non classiques à différents problèmes de philosophie et contribuer ainsi à la clarification de ces problèmes. Je propose d'appliquer la logique floue et d'autres logiques non classiques pour rendre plus solides les différentes branches de la philosophie. Par exemple, les catégories kantienne, les concepts bergsoniens de l'intelligence et de l'instinct, les concepts fichtéens de moi et de non-moi peuvent être modélisés par la logique floue et le modèle de l'arbre. Par ailleurs, les concepts opposés peuvent être traités avec la logique floue et le modèle de l'arbre. Dans la définition de l'acte moralement correct dans les théories éthiques, les conditions sont parfois opposées l'une de l'autre. La logique floue et le modèle de l'arbre peuvent être utilisés pour corréler l'ensemble des théories éthiques en philosophie.

Combinaison de la logique floue et de la logique modale pour la modélisation des théories des catégories

Une autre perspective de ce travail est de faire la combinaison de la logique floue et la logique modale pour la modélisation des théories des catégories, par exemple, pour déterminer la probabilité de croisement des catégories d'oiseau et de mammifère.

Dans la théorie de Rosch, le prototype pourrait être considéré nécessaire, alors que les autres membres de la catégorie ne le sont pas. Autrement dit, selon cette théorie, si une catégorie n'a pas de prototype, il est plus probable de la confondre avec une autre. C'est pourquoi en considérant la logique modale, on pourrait dire que la modalité pour les prototypes est la nécessité, alors que celle des autres membres de la catégorie est la possibilité. Donc, nous aurions :

$$\Box p$$

$$\Diamond m$$

La première formule ci-dessus veut dire que le prototype est nécessaire, alors que la deuxième formule veut dire que les autres membres de la catégorie sont possibles. Puisque les constantes β et β' comme la constante k dépendent de caractéristiques des membres de chaque catégorie, il est nécessaire de les analyser d'avantage afin de déterminer les modalités qui y interviennent. Le nombre des membres (N_m) et le type de caractéristiques (t) de chacun des membres d'une catégorie déterminent la valeur de ces deux constantes. Je considère deux sortes de caractéristiques des membres des catégories : 1) les caractéristiques indépendantes et 2) les caractéristiques dépendantes. Les caractéristiques indépendantes sont celles qui ne dépendent pas de fait qu'elles appartiennent à un prototype ou à un membre quelconque d'une catégorie, alors que les caractéristiques dépendantes dépendent de celui-ci. En effet, les constantes β et β' varient pour les catégories

selon le nombre de leurs membres :

$$\beta = N_m f_t$$

$$\beta' = N'_m f_{t'}$$

Pour les catégories d'oiseau et de mammifère, nous aurions :

$$P_c = N_b L_b f_t N_m / \mu$$

$$P_{c'} = N'_b L'_b f_{t'} N'_m / \mu'$$

Les facteurs f_t et $f_{t'}$ dépendent des modalités des membres des catégories d'oiseau et de mammifère. Les modalités de la logique modale pourraient éventuellement être utilisées dans cette formule pour déterminer la variation de P_c par rapport à ces facteurs. Autrement dit, $\Box p$ et $\Diamond m$ interviennent dans les formules ci-dessus de manière suivante :

$$f_t = P(\Box p).P(\Diamond m)$$

$$f_{t'} = P(\Box p').P(\Diamond m')$$

Où P est la probabilité d'apparition des modalités des prototypes (p et p') et des autres membres (m et m') des catégories C et C' . Étant donné que la probabilité veut dire la possibilité, au lieu de symbole de la probabilité, on pourrait utiliser la modalité de la possibilité. Donc, nous aurions :

$$f_t = \Diamond \Box p. \Diamond \Diamond m$$

$$f_{t'} = \diamond \square p' . \diamond \diamond m'$$

Dans le système modal S_5 , nous avons la transitivité pour les prototypes, c'est-à-dire :

$$\diamond \diamond p \longrightarrow \diamond p$$

Nous aurions la même règle pour les autres membres des catégories d'oiseau et de mammifère :

$$\diamond \diamond m \longrightarrow \diamond m$$

$$\diamond \diamond m' \longrightarrow \diamond m'$$

Les facteurs f_t et $f_{t'}$ seront simplifiés de manière suivante :

$$f_t = \diamond \square p . \diamond m$$

$$f_{t'} = \diamond \square p' . \diamond m'$$

En remplaçant les formules de f_t et $f_{t'}$ dans les formules de la probabilité de croisement des catégories d'oiseau (P_c) et de mammifère ($P_{c'}$), nous aurions :

$$P_c = N_b L_b \diamond \square p \diamond m / \mu$$

$$P_{c'} = N'_b L'_b \diamond \square p' \diamond m' / \mu'$$

En utilisant le modèle de l'arbre et en appliquant les propriétés de la logique

floue et la logique modale, j'ai obtenu les formules qui pourraient être utilisées pour déterminer la probabilité de croisement des catégories tout en considérant la modalité de leurs prototypes et celle de leurs autres membres. Ce modèle pourrait éventuellement être utilisé pour la comparaison des autres catégories. Dans le dernier chapitre de ce travail, j'ai montré que la somme des caractéristiques des membres d'une catégorie pourrait s'obtenir avec la formule suivante :

$$P_c = \beta N_b(D_s + \Sigma(D_w + D_m))/\mu$$

Selon la théorie des démarqueurs que j'ai présentée dans ce mémoire, les démarqueurs forts sont nécessaires pour la démarcation d'une catégorie d'une autre, mais les démarqueurs faibles ne le sont pas. Autrement dit, les démarqueurs faibles sont possibles et non pas nécessaires. Donc, ces modalités peuvent être utilisées pour les démarqueurs dans la formule ci-dessus. Selon la dynamicité des démarqueurs, c'est-à-dire le remplacement des démarqueurs forts par les démarqueurs faibles ou celui des démarqueurs faibles par les démarqueurs marginaux, la valeur de P_c pourrait changer. Nous aurions :

$$P_c = \beta N_b(D_s + \Sigma(D_w + D_m))/\mu$$

$$P_c = \beta N_b(\Sigma(D_w + D_m))/\mu$$

$$P_c = \beta N_b(\Sigma D_m)/\mu$$

Modélisation avec d'autres logiques

Ceci nous pousse à nous demander si cette combinaison de la logique floue et de la logique modale pourrait s'élargir vers l'utilisation d'autres types de logique pour modéliser les théories des catégories. En utilisant la logique polyvalente de Lukasiewicz, la logique déontique, etc. cette modélisation pourrait avoir d'autres significations philosophiques que celles qui ont été démontrées dans ce travail. C'est de cette manière que le modèle de l'arbre pourrait être utilisé afin de donner d'autres interprétations à la notion de catégorie. En fait, cette modélisation n'a pas d'application limitée et pourrait être utilisée dans les différents contextes. Conclure que l'utilisation de la logique floue, ainsi que d'autres logiques, donne une ouverture vers l'application d'autres modèles avec la possibilité de les combiner les uns avec les autres. Pour le démontrer, il faudra bien utiliser la même approche d'analyse des composants des théories des catégories. Nous avons aujourd'hui une bonne raison de supposer que l'application d'autres logiques pourrait être encore plus prolifique.

Nous avons ici tenté de montrer l'applicabilité de la logique floue dans la modélisation des prototypes et des démarqueurs. On pourrait faire l'hypothèse que la dynamicité de la démarcation fait en sorte qu'il ne pourrait pas y avoir vraiment de prototype dans une catégorie. Pour le démontrer, la propriété principale des démarqueurs, c'est-à-dire leur capacité de remplacer les uns par les autres, a été modélisée et formalisée.

Pour terminer, revenons au point commun de toutes les théories des catégories dans lesquels le fil conducteur d'analyse des définitions de leurs éléments principaux n'est que les caractéristiques attribuées aux membres des catégories. Leur différence est basée effectivement sur ce même point commun. L'application de la logique a proposé des modèles. C'est à la philosophie cognitive d'élaborer là-

dessus.

Pourquoi le croisement des catégories se passe et comment pourrait-on le représenter ? Je propose une nouvelle logique que j'appelle « la logique tendantielle », basée sur mon système philosophique, le nétisme, pour représenter davantage le croisement des catégories. Depuis Aristote jusqu'à nos jours, la logique a été l'outil de formalisation du premier langage de la vie, c'est-à-dire celui de l'existence. Elle n'a jamais été utilisée pour représenter le deuxième langage de la vie, c'est-à-dire celui de la démolition. En effet, la démolition et la disparition se passent dans le monde biologique, par exemple au cours de la phagocytose des corps externes des cellules par les macrophages ou dans l'attaque des micro-organismes aux corps des animaux, etc. Je propose la logique tendantielle comme outil approprié pour représenter ce deuxième langage de la vie afin de modéliser les catégories.

Bien que la logique floue puisse être utilisée pour montrer la dynamique des caractéristiques des membres de chaque catégorie (D_s , D_w et D_m), en utilisant la logique tendantielle, on pourrait montrer comment la disparition de ces caractéristiques se passe au niveau cognitif chez les êtres humains. En combinant la logique tendantielle avec la logique floue, on pourrait montrer avec le modèle de l'arbre comment et combien un membre d'une catégorie risque de se croiser avec celui d'une autre catégorie. Donc, ici on parle de facteur de risque de croisement des catégories ou f_r .

La logique tendantielle fait partie du nétisme et peut être utilisée pour la modélisation des catégories de mon système philosophique.

Voici certaines règles et symboles que je propose dans la logique tendantielle⁴ pour

4. La sémantique de la logique tendantielle inclut les règles qui déterminent les relations entre ces 4 mondes : 1) le monde de l'apparition, 2) le monde de l'existence, 3) le monde de la démolition, et 4) le monde de la disparition.

expliquer pourquoi et comment le croisement des arbres de catégories pourrait aboutir au changement dans leurs structures internes :

Axiome 1 : Pour qu'une entité (un élément, un ensemble) fait disparaître et démolir une autre entité, il faut que ces deux entités coexistent. Autrement dit, la coexistence des entités est la condition nécessaire pour leur démolition et leur disparition. Deux entités qui ne coexistent pas ne pourraient pas faire disparaître et démolir l'une l'autre.

Pour représenter la coexistence des membres m_1 et m_2 d'une catégorie, je propose d'utiliser le symbole Ξ . Ainsi, la formule suivante représente la coexistence de deux membres d'une catégorie :

$$m_1 \Xi m_2$$

Pour nier la coexistence de deux membres d'une catégorie, nous aurions la formule suivante :

$$\sim (m_1 \Xi m_2)$$

De la coexistence des entités, par exemple les membres m_1 et m_2 d'une catégorie sur le modèle de l'arbre, on peut déduire la démolition de l'un par l'autre. Autrement dit, la démolition de m_1 par m_2 est la condition nécessaire pour qu'ils soient coexistés. Donc, nous aurions :

$$(m_1 \Xi m_2) \supset m_2 \not\vdash m_1$$

De la démolition d'un des membres d'une catégorie par un autre de ses membres

on peut déduire leur coexistence de départ. Autrement dit, la coexistence de m_1 et m_2 est la condition nécessaire pour que m_2 détruise m_1 . Donc, nous aurions :

$$m_2 \not\vdash m_1 \supset (m_1 \Xi m_2)$$

La coexistence des entités, par exemple les membres m_1 et m_2 sur le modèle de l'arbre, est la condition nécessaire pour que l'un des deux soit détruit et disparu et vice versa. Donc, on aura les relations suivantes :

$$\Box(m_1 \Xi m_2) \supset m_2 \not\vdash m_1$$

$$m_2 \not\vdash m_1 \supset \Box(m_1 \Xi m_2)$$

Nous avons aussi la relation suivante :

$$\Box(m_1 \Xi m_2) \supset \not\vdash m_1$$

La formule ci-dessus veut dire que la nécessité de la coexistence de m_1 et m_2 est la condition possible pour que m_1 disparaisse.

Ces implications sont aussi correctes dans l'autre sens, car la destruction d'une entité par l'autre, par exemple celle de m_1 par m_2 , veut dire qu'elles ont coexisté et la disparition de l'une d'entre elles veut dire la même chose, selon la dynamique des membres de chaque catégorie sur le tronc de l'arbre dans le modèle de l'arbre. Donc, on aura les formules suivantes :

$$m_2 \not\vdash m_1 \supset \Box(m_1 \Xi m_2)$$

$$\not\vdash m_1 \supset \Box(m_1 \Xi m_2)$$

Donc, nous aurions les relations d'équivalence suivantes :

$$\begin{aligned}\square(m_1 \Xi m_2) &\equiv m_2 \not\vdash m_1 \\ \square(m_1 \Xi m_2) &\equiv \not\vdash m_1\end{aligned}$$

Les mêmes relations d'implication et d'équivalence existent dans la théorie des démarqueurs pour les démarqueurs faibles (D_{f_n}) et les démarqueurs marginaux (D_m) pour représenter la dynamicité des démarqueurs sur les branches de l'arbre dans le modèle de l'arbre. Donc, nous aurions :

$$\square(D_{f_n} \Xi D_m) \supset D_m \not\vdash D_{f_n}$$

Dans ce cas, si la coexistence d'un démarqueur marginal et celle du dernier démarqueur faible fait que le démarqueur marginal démolit le dernier démarqueur faible, la personne aura le problème dans la démarcation de la catégorie avec d'autres catégories.

$$\square(D_{f_n} \Xi D_m) \supset \not\vdash D_{f_n}$$

La formule ci-dessus veut dire que si le dernier démarqueur faible et le démarqueur marginal coexistent, alors le premier va disparaître, ce qui va résulter en confusion des catégories à cause de l'incapacité de leur démarcation.

Nous aurions aussi les relations inverses :

$$\begin{aligned}D_m \not\vdash D_{f_n} &\supset \square(D_{f_n} \Xi D_m) \\ \not\vdash D_{f_n} &\supset \square(D_{f_n} \Xi D_m)\end{aligned}$$

Donc, nous aurions :

$$\begin{aligned}\square(D_{f_n} \Xi D_m) &\equiv D_m \not\vdash D_{f_n} \\ \square(D_{f_n} \Xi D_m) &\equiv \not\vdash D_{f_n}\end{aligned}$$

Axiome 2 : Il faut qu'une tendance de répétition à endommager (soi-même ou) l'autre existe dans chacun des membres d'une catégorie. Je représente cette tendance avec T_r . Donc, nous aurions T_{r1} et T_{r2} pour les membres m_1 et m_2 d'une catégorie.

Axiome 3 : Pour la disparition d'un membre d'une catégorie, il faut que la tendance de répétition à endommager l'autre membre soit plus grande dans un membre que dans l'autre. La formule suivante s'en suit :

$$T_{r1} > T_{r2}$$

Axiome 4 : La disparition de chacun des membres d'une catégorie correspond à la variation et la disparition de leurs caractéristiques. Cela est en cohérence avec le concept de la "dynamacité des démarqueurs" que j'ai expliqué dans le chapitre 1 de ce mémoire. Autrement dit, pour la disparition d'un membre d'une catégorie, il faut que les caractéristiques de l'autre membre de la même catégorie varient et disparaissent avec le temps.

Axiome 5 : Il faut le changement des composantes d'un membre d'une catégorie pour qu'il puisse faire disparaître et donc démolir (les composantes d'un autre membre de la même catégorie. C'est à cause de ces composantes que leurs caractéristiques (D_s , D_w et D_m) apparaissent.

Dans la formule suivante de la probabilité de croisement des catégories :

$$P_c = \beta N_b (D_s + \sum (D_w + D_m)) / \mu$$

β est le facteur de dynamacité. Je le décompose en deux facteurs β' et β'' de la

manière suivante :

$$\beta = \beta' \beta''$$

Donc, nous aurions :

$$P_c = \beta' \beta'' N_b(D_s + \sum(Dw + Dm))/\mu$$

Dans le modèle de l'arbre, le facteur β' est le facteur de dynamicité de chaque branche de l'arbre et le facteur β'' est le facteur de dynamicité du tronc de l'arbre. β'' s'applique à la dynamicité verticale dans l'arbre et β' s'applique à la dynamicité horizontale dans l'arbre. Puisque nous avons plusieurs branches pour l'arbre, la moyenne des valeurs de β' pourrait être considérée. Les facteurs de démolition ($f(D_m \not\vdash D_{f_n})$) ou ($f(m_n \not\vdash m_{n-1})$) et de disparition ($\not\vdash D_{f_n}$) ou ($\not\vdash m_{n-1}$) des démarqueurs et des membres de la catégorie apparaissent dans les formules de β' et β'' , respectivement. Donc, nous aurions :

$$\beta' = kf(D_m \not\vdash D_{f_n})$$

$$\beta'' = k'f(m_n \not\vdash m_{n-1})$$

La formule suivante s'en suit :

$$P_c = kk'f(D_m \not\vdash D_{f_n})f(m_n \not\vdash m_{n-1})N_b(D_s + \sum(Dw + Dm))/\mu$$

Sémantique de la logique tendantielle

Nous avons quatre mondes dans la logique tendantielle : le monde de l'apparition (W_A), le monde de l'existence (W_E), le monde de démolition (W_{DE}) et le monde de

disparition (W_{DI})⁵. Les règles de la logique tendantielle peuvent être appliquées dans chacun de ces mondes.

Kripke a appliqué les règles de la logique modale dans le monde actuel et les mondes possibles, c'est-à-dire le monde de l'existence (Marenbon, p. 313). Les quatre mondes de la logique tendantielle peuvent être combinés avec le monde réel et les mondes possibles de la logique modale.

Comment interpréter les valeurs de vérité selon les tendances de répétition des entités ? Dans la logique tendantielle, au contraire des autres logiques, les valeurs de vérité de chaque entité (l'énoncé ou la proposition) ne sont pas indépendantes de celles des autres entités, car l'apparition et l'existence de chaque entité dépendent de l'existence et de la démolition des autres entités. Donc, il faut introduire un degré de dépendance dans les valeurs de vérité des entités dans la table des valeurs de vérité.

La combinaison de la logique tendantielle avec la logique floue et la logique modale peut être appliquée sur le modèle de l'arbre pour la modélisation des catégories. La logique du temps est aussi une autre logique non classique qui peut être combinée avec celles-ci dans cette modélisation.

D'autres applications de la modélisation des catégories

Le modèle de l'arbre n'est pas strictement limité à la modélisation des prototypes. Ce modèle peut être aussi utilisé pour la modélisation d'autres théories de la catégorisation et même en dehors des sciences cognitives, il peut être utilisé pour des applications ultérieures dans d'autres domaines.

5. J'ai choisi W_A , W_E , W_{DE} et W_{DI} selon les appellations anglaises «world of appearance», «world of existence», «world of demolition» and «world of disappearance», respectivement.

La combinaison des logiques non classiques peut être utilisée sur le modèle de l'arbre afin de modéliser les catégories des sciences pures, de la littérature, de l'art ainsi que des activités sociales comme des droits de la personne. Par exemple, la catégorie de la lumière (la radiation visible ou invisible)⁶ en physique, la catégorie du personnage dans un roman et la catégorie de la scène dans une pièce de théâtre sont floues et leurs descriptions ne sont pas exactes. La catégorie de la scène peut être remplacée par celle du personnage dans une pièce de théâtre. Un autre exemple se trouve dans le cas d'un tableau de peinture ou d'une sculpture où la théorie des démarqueurs et le modèle de l'arbre peuvent être utilisés pour déterminer la démarcation de la catégorie de la couleur de celle de la dimension.

Je propose une nouvelle discipline que j'appelle la distancéologie dont le rôle principal est d'étudier la distance entre la philosophie et les sciences pures. Le modèle de l'arbre et la combinaison des logiques non classiques peuvent être utilisés dans cette discipline.

D'autres applications du modèle de l'arbre et de la combinaison des logiques non classiques se trouvent dans le lien entre le langage et la culture. La langue maternelle peut être considérée comme le critère de l'identité de chaque personne. La langue maternelle et la culture sont les éléments qui peuvent être analysés et modélisés avec le modèle de l'arbre et les logiques non classiques.

Enfin, ces outils pourraient être appliqués dans l'interprétation des concepts dans les mouvements des femmes et des droits de la personne, ce qui pourrait éventuellement être considéré comme une nouvelle perspective pour la philosophie cognitive.

6. Les photons de la lumière sont à la fois des particules d'énergie et des ondes électromagnétiques.

ANNEXE A

TABLEAUX DU CHAPITRE III

Tableau A.1: Les définitions et les formules des propriétés des ensembles flous

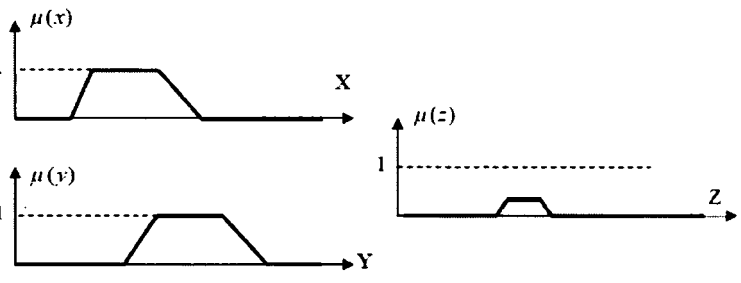
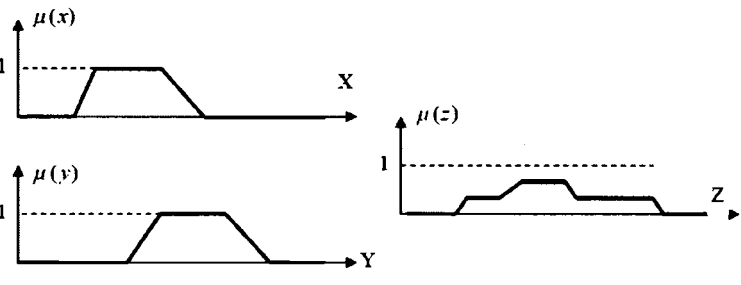
Nom	Définition	Formule
Égalité	Si les fonctions d'appartenance de deux ensembles-flous A et B du domaine X prennent la même valeur pour tout élément de X , ces ensembles sont égaux.	$\forall x \in X, \mu_A(x) = \mu_B(x)$
Inclusion	Si toutes les valeurs de fonction d'appartenance d'un ensemble flou A soient inférieures à celles d'un autre ensemble flou B dans le domaine X , l'ensemble flou A est inclus dans l'ensemble flou B .	$\forall x \in X, \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$
Support	L'ensemble des valeurs du domaine X pour lesquelles la fonction d'appartenance n'est pas nulle est considéré comme le support.	$\text{sup}(A) = \{x \in X / \mu_A(x) \neq 0\}$

Hauteur	La valeur maximale de la fonction d'appartenance sur le domaine X pour un ensemble flou A est sa hauteur. Si sa hauteur est égale à i , il sera un ensemble flou dit normal.	$h(A) = \max_{x \in X} \mu_A(x)$
Noyau	L'ensemble des éléments d'un ensemble flou A dont le degré d'appartenance est égal à 1, c'est-à-dire que certainement ils appartiennent à cet ensemble flou, constituent son noyau.	$\ker(A) = \{x \in X / \mu_A(x) = 1\}$
Cardinal	La somme des fonctions d'appartenance d'un ensemble flou A est son cardinal.	$ A = \text{Card}(A) = \sum_{x \in X} \mu_A(x)$
Partition floue	L'ensemble de N ensembles flous est dite une partition floue si la condition suivante y est établie.	$\forall x \in X \sum_{j=1}^N \mu_{A_j}(x) = 1$ avec $A_j \neq \emptyset$ et $A_j \cap A_k = \emptyset \forall 1 \leq j < k \leq N$

(Godjevac, p. 34)

Tableau A.2: Les opérateurs fondamentaux de la logique floue

Nom d'opérateur/Formule	Figure
<p>Opérateur de conjonction (ET)</p> $\mu_E(z) = \mu_{A \cap B}(z) = \min(\mu_A(x)\mu_B(y))$	
<p>Opérateur de disjonction (OU)</p> $\mu_O(z) = \mu_{A \cup B}(z) = \max(\mu_A(x)\mu_B(y))$	
<p>Opérateur de négation (NON)</p> $\mu_C(z) = 1 - \mu_A(x)$	

<p>Opérateur ET réalisé par la fonction du produit</p> $\mu_E(z) = \mu_{A \cap B}(z) = \mu_A(x)\mu_B(y)$	
<p>Opérateur OU réalisé par la fonction de la somme</p> $\mu_O(z) = \mu_{A \cup B}(z) = \frac{1}{2}(\mu_A(x) + \mu_B(y))$	

(Tamrabet, p. 33-36)

Tableau A.3: Les T-normes et les S-normes les plus utilisées en logique floue

T-norme	S-norme	négation	Nom
$\min(x, y)$	$\max(x, y)$	$1 - x$	Zadeh
x, y	$x + y - xy$	$1 - x$	Probabiliste
$\max(x + y - 1, 0)$	$\min(x + y, 1)$	$1 - x$	Lukasiewicz
$\begin{cases} x & \text{si } y = 1 \\ y & \text{si } x = 1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$	$\begin{cases} x & \text{si } y = 0 \\ y & \text{si } x = 0 \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$	$1 - x$	Weber

(Bouchon-Meunier, 1999, p. 24)

Tableau A.4: Les exemples de T-normes et de S-normes les plus utilisés

T-norme	S-norme	négation	Nom
$\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\max(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$1 - \mu_A(x)$	Zadeh
$\mu_A(x), \mu_B(x)$	$\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x)$	$1 - \mu_A(x)$	Probabiliste
$\max(\mu_A(x) + \mu_B(x) - 1, 0)$	$\min(\mu_A(x) + \mu_B(x), 1)$	$1 - \mu_A(x)$	Lukasiewicz
$\begin{cases} \mu_A(x) & \text{si } \mu_B(x) = 1 \\ \mu_B(x) & \text{si } \mu_A(x) = 1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$	$\begin{cases} \mu_A(x) & \text{si } \mu_B(x) = 0 \\ \mu_B(x) & \text{si } \mu_A(x) = 0 \\ 1 & \text{sinon} \end{cases}$	$1 - \mu_A(x)$	Weber

Tableau A.5: Les propriétés des opérateurs en logique floue

Commutativité	$A \cup B = B \cup A$ $A \cap B = B \cap A$
Associativité	$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$ $A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$
Distributivité	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
Idempotence	$A \cup A = A$ $A \cap A = A$
Absorption	$A \cap (A \cup B) = A$ $A \cup (A \cap B) = A$
Absorption par U et \emptyset	$A \cap \emptyset = \emptyset$ $A \cup U = U$
Identité	$A \cup \emptyset = A$ $A \cap U = A$

Complément A^c	$\forall x \in U : \mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x)$
Transitivité	Si $A \subseteq B \subseteq C$ alors $A \subseteq C$
Involution	$\overline{\overline{A}} = A$
Loi de De Morgan	$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$ $\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$
Autres propriétés	$\overline{\emptyset} = X$ $\overline{X} = \emptyset$

(Klir et Yuan, p. 8)

BIBLIOGRAPHIE

- Allen, S. W. et Brooks, L. R. (1991). Specializing the operation of an explicit rule. *Journal of experimental psychology : General*, 120(1), 3–19.
- Armstrong, S. L., Gleitman, L. R. et Gleitman, H. (1983). What some concepts might not be. *Cognition*, 13(3), 263–308.
- Belohlavek, R. (2008). *Introduction to formal concept analysis*. Palacky University, Department of Computer Science, Olomouc.
- Belohlavek, R. (2011). Formal concept analysis : Classical and fuzzy. In R. Belohlavek et G. J. Klir (dir.), *Concepts and fuzzy logic* 177–207. MIT Press.
- Belohlavek, R. et Klir, G. J. (2011). Fallacious perceptions of fuzzy logic in the psychology of concepts. In R. Belohlavek et G. J. Klir (dir.), *Concepts and fuzzy logic* p. 129. MIT Press.
- Berry, J. W. (2011). *Cross-cultural psychology : research and applications*. Cambridge University Press.
- Bilgiç, T. et Türkşen, I. B. (1999). Measurement of membership functions : theoretical and empirical work. In *Handbook of fuzzy sets and systems*, volume 1 195–227. Kluwer.
- Bouchon-Meunier, B. (1999). *La logique floue, Que sais-je* Presses Universitaires de France.
- Bouchon-Meunier, B. et Zadeh, L. A. (1995). *La logique floue et ses applications*. Addison-Wesley France.
- Brooks, L. R. (1978). Nonanalytic concept formation and memory for instances. In E. Rosch et B. B. Lloyd (dir.), *Cognition and Concepts* 169–211. Lawrence Erlbaum.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. MIT press.
- Carpenter, G. et Grossberg, S. (2003). Adaptive resonance theory. In M. A. Arbib (dir.), *The handbook of brain theory and neural networks* 87–90. MIT press.

- Chartier, J.-F., Meunier, J.-G. et Djellali, C. (2010). *Analyse des variations entre partitions générées par différentes techniques de classification automatique de textes*. JADT.
- Chevrie, F. et Guély, F. (1998). *La logique floue*. Cahier technique n 191.
- Coleman, L. et Kay, P. (1981). Prototype semantics : The english word lie. *Language*, 26–44.
- de León, C. M. (2013). Who cares if the cat is on the mat ? contributions of cognitive models of meaning to translation. *Cognitive Linguistics and Translation : Advances in Some Theoretical Models and Applications*, 23, 99.
- Drew, P. J. et Monson, J. R. (2000). Artificial neural networks. *Surgery*, 127(1), 3–11.
- Fisette, D. et Poirier, P. (2000). *Philosophie de l'esprit. Etat des lieux*. Vrin.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind : An essay on faculty psychology*. MIT press.
- Ganter, B., Stumme, G. et Wille, R. (2005). *Formal concept analysis : foundations and applications*, volume 3626. Springer.
- Godjevac, J. (1999). *Idées nettes sur la logique floue*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Graf, P. et Ryan, L. (1990). Transfer-appropriate processing for implicit and explicit memory. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 16(6), 978.
- Hampton, J. A. (2011). Conceptual combinations and fuzzy logic. In R. Belohlavek et G. Klir (dir.), *Concepts and Fuzzy Logic* 209–231. MIT Press.
- Haton, J.-P. (1989). *Modèles connexionnistes pour l'intelligence artificielle*. Rapport INIST-CNRS, CRIN-89-R-149.
- Hinton, G. E., McClelland, J. L. et Rumelhart, D. E. (1986). Distributed representations. In E. Rumelhart et J. L. McClelland (dir.), *Parallel distributed processing : explorations in the microstructure of cognition, vol. 1 : foundations* p. 77–109. MIT Press.
- Hintzman, D. L. (1986). Schema abstraction' in a multiple-trace memory model. *Psychological review*, 93, 328–338.
- Huttenlocher, J., Vasilyeva, M., Cymerman, E. et Levine, S. (2002). Language input and child syntax. *Cognitive psychology*, 45(3), 337–374.

- Ibrahim, A. M. (2004). *Fuzzy logic for embedded systems applications*. Presses Elsevier, Elsevier Science.
- Idri, A. (2003). *Un modèle intelligent d'estimation des coûts de développement de logiciels*. Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal.
- Jacoby, L. L., Levy, B. A. et Steinbach, K. (1992). Episodic transfer and automaticity : Integration of data-driven and conceptually-driven processing in rereading. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 18(1), 15–24.
- Javanbakht, T. (2011a). Netism : A new metaphysics and its impacts. *Journal of New Philosophy, Tabatabai University*, 1, 34–40.
- Javanbakht, T. (2011b). Referential analytical philosophy and its impacts. *Journal of New Philosophy, Tabatabai University*, 3, 15–25.
- Javanbakht, T. (2012). Netism : Political philosophy and its impacts. *Journal of New Philosophy, Tabatabai University*, 4, 15–17.
- Keil, F. (1989). *Concepts, kinds, and cognitive development*. MIT Press.
- Klir, G. et Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic*. Prentice Hall PTR.
- Lakoff, G. (1987). *Women, fire, and dangerous things : What categories reveal about the mind*. University of Chicago Press.
- Lebrun, N. et Berthelot, S. (1994). *Plan pédagogique : une démarche systématique de planification de l'enseignement*. De Boeck Supérieur.
- Lettvin, J. Y., Maturana, H. R., McCulloch, W. S. et Pitts, W. H. (1959). What the frog's eye tells the frog's brain. *Proceedings of the IRE*, 47(11), 1940–1951.
- Locke, J. (1975). *1690 : An Essay Concerning Human Understanding*. Oxford University Press.
- Machery, E. (2011a). Concepts : a tutorial. In R. Bělohlávek et G. J. Klir (dir.), *Concepts and fuzzy logic*. MIT Press.
- Machery, E. (2011b). *Doing without concepts*. Oxford University Press.
- Malt, B. C. (1989). An on-line investigation of prototype and exemplar strategies in classification. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition*, 15(4), 539–555.
- Marenbon, J. (2012). *The Oxford handbook of medieval philosophy*. Oxford Uni-

versity Press.

- Margolis, E. et Laurence, S. (1999). *Concepts : Core readings*. MIT Press.
- Marsolek, C. J. (2004). Abstractionist versus exemplar-based theories of visual word priming : A subsystems resolution. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 57(7), 1233–1259.
- Massoud, A. (1999). *Fonctions d'appartenance et programmation linéaire*. Mémoire de maîtrise en mathématiques appliquées, Université de Montréal.
- Medin, D. L. et Schaffer, M. M. (1978). Context theory of classification learning. *Psychological review*, 85(3), 207–238.
- Meunier, J.-G., Biskri, I., Nault, G. et Nyongwa, M. (1997). *Exploration de classifieurs connexionnistes pour l'analyse de textes assistée par ordinateur*. Terminologie, Tunis.
- Morton, A. (1980). *Frames of mind : constraints on the common-sense conception of the mental*. Oxford University Press.
- Murphy, G. L. (2002). *The big book of concepts*. MIT Press.
- Murphy, G. L. et Medin, D. L. (1985). The role of theories in conceptual coherence. *Psychological review*, 92(3), 289–316.
- Neisser, U. (1987). *Concepts and conceptual development : Ecological and intellectual factors in categorization*. Cambridge University Press.
- Nosofsky, R. M. (1986). Attention, similarity, and the identification-categorization relationship. *Journal of Experimental Psychology : General*, 115, 39–57.
- Nosofsky, R. M. (1992). Exemplar-based approach to relating categorization, identification, and recognition. In F. G. Ashby (dir.), *Multidimensional Models of Perception and Cognition* 363–393. Lawrence Erlbaum.
- Pinker, S., Lebeaux, D. S. et Frost, L. A. (1987). Productivity and constraints in the acquisition of the passive. *Cognition*, 26(3), 195–267.
- Premack, D. et Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind ? *Behavioral and brain sciences*, 1(04), 515–526.
- Reid, T. (2002). *Essays on the Intellectual Powers of Man*. Edinburgh University Press.
- Rips, L. J. (1989). Similarity, typicality, and categorization. In S. Vosniadou et A. Ortony (dir.), *Similarity and analogical reasoning* 21–59. Cambridge University

- Press.
- Robert, S. (2005). Categorization, reasoning and memory. In H. Cohen et C. Le-febvre (dir.), *Handbook of categorization in cognitive science* 699–717. Elsevier.
- Rosch, E. (1973). Natural categories. *Cognitive psychology*, 4(3), 328–350.
- Rosch, E. (1975). Cognitive representations of semantic categories. *Journal of experimental psychology : General*, 104(3), 192–233.
- Rosch, E. (1978). Principles of categorization. In E. Rosch et B. B. Lloyd (dir.), *Cognition and categorization*. Lawrence Elbaum.
- Rosch, E. (1999). Principles of categorization. In E. Margolis et S. Laurence (dir.), *Concepts : core readings*. MIT Press.
- Rosch, E. (2011). Slow lettuce : Categories, concepts, fuzzy sets, and logical deduction. In R. Belohlavek et G. Klir (dir.), *Concepts and Fuzzy Logic*. MIT Press.
- Rosch, E. et al. (1977). Human categorization. *Studies in cross-cultural psychology*, 1, 1–49.
- Rosch, E. et Mervis, C. B. (1975). Family resemblances : Studies in the internal structure of categories. *Cognitive psychology*, 7(4), 573–605.
- Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M. et Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive psychology*, 8(3), 382–439.
- Russell, B. (1912). *The Problems of Philosophy* (1997 éd.). Oxford University Press.
- Smith, E. E. et Medin, D. L. (1981). *Categories and concepts*. Harvard University Press.
- Tamrabet, Y. (2010). *Contribution aux tracés des diagrammes de phases des systèmes binaires par utilisation de la logique floue et du traitement d'images*. Mémoire de maîtrise en physique, Université de Batna.
- Verkullen, J. et al. (2011). Representing concepts by fuzzy sets. In R. Belohlavek et G. Klir (dir.), *Concepts and Fuzzy Logic*. MIT Press.
- Walsh, M., Möbius, B., Wade, T. et Schütze, H. (2010). Multilevel exemplar theory. *Cognitive science*, 34(4), 537–582.
- Weiskopf, D. A. (2011). Concepts, theory-theory of. In J. Fieser et B. Dowden (dir.), *Internet Encyclopedia of Philosophy*.

- Whyte, J. (2014). Contributions of treatment theory and enablement theory to rehabilitation research and practice. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 95.
- Wille, R. (1992). Concept lattices and conceptual knowledge systems. *Computers and mathematics with applications*, 23(6-9), 493–515.
- Wille, R. (1997). Conceptual graphs and formal concept analysis. In D. Lukose et al. (dir.), *Conceptual structures : Fulfilling Peirce's dream*. Springer.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338–353.
- Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, (1), 28–44.