

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTREAL

DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTEME EXPERT
POUR LE
RAISONNEMENT LOGIQUE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN INFORMATIQUE

PAR

PAMELLA SORELLE KISSOK GASSA

JUILLET 2018

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'auteur] 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'auteur] 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'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

C'est avec un immense sentiment d'amour et de gratitude que je tiens à remercier mes parents. Joseph Kissok mon papa, qui m'a encouragé et guidé toute petite sur le chemin des études et de la persévérance avec cette phrase très profonde qui m'a maintenue en éveil : « Dans la vie, il faut se faire violence pour réussir ! ». Ma maman Dorothee Kissok, qui m'a apporté un amour moral et affectif inébranlable avec sa touche de douceur. Finalement, mes sœurs Barbara Moukala et Manuela Kissok accompagnées de mes neveux pour leur soutien psychologique et fraternel inqualifiable.

Tous mes sincères remerciements à mon directeur de mémoire le professeur Roger Nkambou qui m'a donné ma première chance dans le monde du domaine informatique et a cru en moi. C'est lui qui a grainé l'entreprise d'une maîtrise pour asseoir mon savoir, comme il l'a si bien dit.

Je remercie avec vigueur l'équipe du projet MUSE-Expert composée du professeur Serge Robert, le professeur Roger Nkambou, le Dr Clauvice Kenfack, Janie, Ange et Anne.

Un merci immense à Mr Nguekou Jean Pierre qui a encouragé ma venue au Canada, et Mme N'Kounga Rose qui m'a accueilli et logé à mon arrivé la première fois au Canada.

Je remercie humblement tous ceux qui se pencheront sur ce travail et qui apporteront des contributions de près ou de loin, présentes ou futures quelles qu'elles soient.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|------|
| LISTE DES TABLEAUX..... | ix |
| LISTE DES FIGURES..... | xi |
| RÉSUMÉ..... | xiii |
| CHAPITRE I..... | 1 |
| INTRODUCTION | 1 |
| 1.1. Problématique | 1 |
| 1.2. Objectifs | 2 |
| 1.3. Méthodologie | 3 |
| 1.4. Plan du mémoire | 4 |
| CHAPITRE II | 7 |
| THÉORIES ET HYPOTHÈSES SUR LE RAISONNEMENT LOGIQUE | 7 |
| 2.1. La logique | 7 |
| 2.1.1. La logique des propositions | 9 |
| 2.1.2. Énoncés logiques, connecteurs logiques et tables de vérité..... | 9 |
| 2.2. Théories sur le raisonnement logique : | 12 |
| 2.2.1. Le raisonnement logique..... | 12 |
| Syllogisme..... | 15 |
| 2.2.2. Règles d'inférences valides..... | 16 |
| 2.2.3. Sophismes : Règles d'inférences invalides | 18 |
| 2.2.4. Les structures métacognitives | 20 |
| CHAPITRE III..... | 25 |
| ÉTAT DE L'ART SUR LES SYSTÈMES EXPERTS..... | 25 |
| 3.1. Les systèmes experts..... | 25 |
| 3.1.1. Histoire des SE..... | 25 |
| 3.1.2. Les composantes d'un système expert : | 27 |
| 3.2. MYCIN : Un exemple de système expert typique | 30 |

| | | |
|--|---|----|
| 3.3. | Les Systèmes experts dans le flou..... | 34 |
| 3.4. | Adaptation des systèmes experts dans d'autres systèmes | 37 |
| 3.5. | Synthèse | 38 |
| CHAPITRE IV | | 41 |
| MUSE-EXPERT : ARCHITECTURE ET EXERCISEUR | | 41 |
| 4.1. | Les composantes de MUSE-Expert | 41 |
| 4.1.1. | Les types de contrôleurs - CG, CCL, CPL, CEL | 42 |
| 4.1.2. | La mémoire sémantique de la logique - MSL..... | 43 |
| 4.1.3. | Le modèle des règles d'inférences (MRI)..... | 44 |
| 4.1.4. | Situation problème | 44 |
| 4.2. | Architecture fonctionnelle et modélisation de MUSE-Expert | 46 |
| 4.2.1. | Cycle de fonctionnement - Use Case | 47 |
| 4.2.2. | Diagramme de classes..... | 51 |
| 4.2.3. | Architecture de la Base de données Muse-EXPERT | 53 |
| CHAPITRE V | | 55 |
| IMPLEMENTATION DE MUSE-Expert | | 55 |
| 5.1. | Outils d'implémentation de MUSE-Expert..... | 55 |
| 5.1.1. | NetBeans : langage de programmation Java EE | 55 |
| 5.1.2. | JESS : Le moteur d'inférence | 56 |
| 5.1.3. | Protégé/OWL/JOWL : Implémenter la mémoire sémantique du domaine. | 58 |
| 5.1.4. | La base de données MySQL | 60 |
| 5.2. | Algorithmes pertinents..... | 60 |
| 5.2.1. | Identification de marqueurs de la logique des propositions | 61 |
| 5.2.2. | Transformation d'un problème en EBF | 62 |
| 5.2.3. | Notation Post-fixe d'un énoncé propositionnel..... | 63 |
| 5.2.4. | Vérifier la forme Énoncé Bien Formé (EBF)..... | 64 |
| 5.2.5. | Génération de la table de vérité..... | 65 |
| 5.3. | Résultats de l'Implémentation : Interface de MUSE-Expert | 68 |
| 5.3.1. | Volet Exercices de Notions..... | 69 |
| 5.3.2. | Volet Exercices de Raisonnement..... | 71 |

| | |
|---|-----|
| 5.3.3. Volet Exploration du Domaine | 73 |
| 5.3.4. Volet Interprétations des Méta-structures | 75 |
| CHAPITRE VI..... | 77 |
| TESTS DE MUSE-EXPERT | 77 |
| 6.1. Éprouver l'Expert dans MUSE-Expert | 77 |
| 6.1.1. Éprouver l'expert dans son expertise du domaine..... | 77 |
| 6.1.2. Éprouver l'expert sur le raisonnement logique | 80 |
| 6.1.3. Éprouver l'expert dans le diagnostic du raisonnement logique..... | 82 |
| 6.2. Intégration de MUSE-Expert dans un STI | 83 |
| 6.2.1. Le Système Tutoriel Intelligent MUSE-Logique | 84 |
| 6.2.2. Services de MUSE-Expert dans MUSE-Logique | 86 |
| 6.2.3. Test du raisonnement logique de l'Expert dans MUSE-Logique..... | 87 |
| CHAPITRE VII..... | 93 |
| CONCLUSION | 93 |
| APPENDICE A..... | 97 |
| BANQUE D'ITEMS DES EXERCICES DE RAISONNEMENT..... | 97 |
| APPENDICE B | 100 |
| BANQUE D'ITEMS CAHIER D'EXERCICES DE NOTIONS | 100 |
| APPENDICE C | 102 |
| MARQUEURS DE LA LOGIQUE DES PROPOSITIONS FOURNIS DU LANCI..... | 102 |
| APPENDICE D..... | 103 |
| SUITE DES TESTS DE L'EXPERT : TEST 2 cas de l'EBF 6.1.1 | 103 |
| APPENDICE E | 104 |
| SUITE DES TESTS DE L'EXPERT SUR LE RAISONNEMENT LOGIQUE 6.1.2 | 104 |
| APPENDICE F..... | 112 |
| SUITE DES TESTS DE L'EXPERT DANS LE DIAGNOSTIQUE DU RAISONNEMENT LOGIQUE 6.1.3 | 112 |
| APPENDICE G | 115 |
| AFFICHAGE DES RÉSULTATS DANS MUSE-Expert 6.2.3 | 115 |
| APPENDICE H..... | 116 |
| CAPTURES D'ECRAN EXERCICES DUSTI MUSE-Logique 6.2.3 | 116 |

BIBLIOGRAPHIE 119

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau II.1 : Table de vérité sur l'incompatibilité..... | 11 |
| Tableau II.2 : Table de vérité sur la disjonction exclusive | 12 |
| Tableau V.1 : Exemple de table de vérité | 66 |
| Tableau V.2 : Initialisation table de vérité | 67 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure II.1 : Treillis de Boole..... | 21 |
| Figure II.2 : Groupe de Klein..... | 22 |
| Figure II.3 : Écrasement du groupe de Klein pour l'implication | 23 |
| Figure II.4 : Écrasement du groupe Klein pour la disjonction et l'incompatibilité | 23 |
| Figure III.1: Interaction entre les composantes d'un SE..... | 29 |
| Figure III.2 : Représentation du patient | 31 |
| Figure III.3 : Trouver une information dans MYCIN : Find-out Procedure..... | 31 |
| Figure III.4 : Règles procédurales (de Buchaman et Shortliffe, 1984, page 82.)..... | 32 |
| Figure III.5 : Monitor chainage arrière dans MYCIN..... | 33 |
| Figure III.6 : Architecture des SEF | 36 |
| Figure III.7 : Composantes des STI | 38 |
| Figure IV.1 : Architecture de MUSE-Expert | 42 |
| Figure IV.2 : Diagramme d'Activités | 48 |
| Figure IV.3 : Diagramme de Classes | 52 |
| Figure IV.4 : Base de données internes de MUSE-Expert..... | 53 |
| Figure V.1 : Extrait des règles d'Inférences Valides en JESS | 57 |
| Figure V.2 : RDFS de la Logique des Propositions | 59 |
| Figure V.3 : Page d'accueil de MUSE-Expert..... | 69 |
| Figure V.4 : MUSE-Expert Exercices de Notions | 70 |
| Figure V.5 : MUSE-Expert Correcteur D'Exercices de Notions | 71 |
| Figure V.6 : MUSE-Expert Exercices de Raisonnement- Etapes | 72 |
| Figure V.7 : MUSE-Expert - diagnostiques d'inférences | 73 |
| Figure V.8 : MUSE-Expert Domaine d'Exploration graphique | 74 |
| Figure V.9 : MUSE-Expert Domaine d'Exploration sémantique | 75 |
| Figure V.10 : MUSE-Expert Méta-structures | 76 |
| Figure VI.1 : MUSE-Expert – diagnostique du raisonnement d'un novice..... | 83 |
| Figure VI.2 : MUSE-Logique | 84 |
| Figure VI.3 : Diagramme d'activités de MUSE-Logique..... | 86 |
| Figure VI.4 : Module Expert dans MUSE-Logique..... | 87 |
| Figure VI.5 : Exercice de Raisonnement soumis dans MUSE-Logique..... | 88 |
| Figure VI.6 : Exercice de Notions..... | 88 |
| Figure VI.7 : Exercice de Notions - erreur détectée grâce à l'expert..... | 89 |
| Figure VI.8 : Exercice de Notions – table de vérité remplie par l'Apprenant | 89 |
| Figure VI.9 : Exercice de Notions – table de vérité qui explique l'erreur d'inférence | 90 |

Figure VI.10 : MUSE-Expert qui répond au tuteur dans MUSE-Logique91

RÉSUMÉ

Ce sujet de maîtrise naît dans le cadre d'un projet de recherche sur le fonctionnement du raisonnement logique humain. Il s'agit d'un projet multidisciplinaire mettant à contribution un ensemble de thèses et/ou de pratiques de différentes disciplines, incluant le raisonnement logique, la psychologie du raisonnement et l'informatique cognitive.

La raison est ce qui définit et distingue un être humain. Quotidiennement ce dernier est amené à souvent prendre des décisions obtenues suite à un processus cognitif complexe permettant de traiter l'information, le plus souvent basé sur des faits dont il a connaissance à un instant donné. C'est le raisonnement. Le raisonnement étudié en informatique est une garantie de la rationalité et s'intéresser à des systèmes rationnels impliquerait le développement de raisonneurs logiques automatiques fondés essentiellement sur la logique et les théories sous-jacentes au raisonnement logique. Cette recherche vise la reproduction des processus d'inférences logique que fait un être humain au sein d'un système expert pour ainsi arriver à un outil doté de connaissances en logique, capable de produire des inférences logiques valides dans des situations variées, d'expliquer le résultat de ces inférences, de détecter les erreurs de raisonnement d'une tierce personne et de les expliquer au cours de divers exercices soumis. Ce projet vise donc le développement d'un système expert en raisonnement logique appelé MUSE-Expert. MUSE-Expert a été intégré dans un système tutoriel intelligent pour contribuer à l'apprentissage de la logique et du raisonnement logique et pour tester des hypothèses sur le raisonnement humain. Le système tutoriel intelligent qui en est résulté permet de faciliter le développement des compétences logique d'un raisonneur humain novice.

Il est évident que la conception d'un système comme MUSE-Expert développé dans le laboratoire du GDAC (Gestion, Diffusion et Acquisition des Connaissances) a nécessité de travailler en totale collaboration avec des experts du domaine en logique et en sciences cognitives afin d'éliciter les connaissances nécessaires. L'équipe du laboratoire LANCI (Laboratoire d'Analyse Cognitive de l'Information) au département de philosophie de l'Université du Québec à Montréal nous a permis d'atteindre cet objectif.

MOTS-CLÉS: représentation des connaissances, raisonnement logique, systèmes experts, théorie des modèles mentaux, logique des propositions, systèmes tutoriels intelligents.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

MUSE-Expert est bien plus qu'un simple système expert. C'est un projet dont les perspectives s'étalent sur plusieurs années et qui met en synergie plusieurs disciplines. Le premier pas ici est de présenter la problématique soulevée, les objectifs à atteindre et la méthodologie pour la mise en place de l'ingénierie du système qui donnera lieu à un prototype fonctionnel.

1.1. Problématique

C'est le printemps, nous l'attendions tous, dit Manuella, mais la pluie sera le revers de la médaille. Elle ajoute : « *S'il pleut, alors je sortirai avec mon parapluie* ». Mais un jour, Manuella décida quand même de sortir avec son parapluie alors qu'il ne pleuvait pas. La voyant sortir, sa sœur Barbara s'exclama : « *Donc il pleut j'imagine !* ». Vous, qu'en pensez-vous ? Barbara a-t-elle raison de conclure qu'il pleut ?

Cette situation est un exemple classique d'inférences fréquentes auxquels nous pouvons être confrontés chaque jour. Cependant un Expert en logique peut très facilement nous dire si cette inférence que fait Barbara est une inférence valide ou invalide et s'étendre sur l'étude de la question. Mais pourquoi le pourrait-il ? Comment le processus cognitif d'un expert arrive à produire l'inférence valide ? Et surtout, comment arriverait-il à savoir et expliquer pourquoi ce que dit Barbara

pourrait être vrai ou faux ? Autant de questions qui alimentent la curiosité du raisonnement logique chez l'humain (*Varin, 2007*).

Il existe un ensemble d'hypothèses établi qui défendent le fait que pour qu'une personne arrive à inférer de manière logique, il doit suivre un schéma de résolution fondé sur un ensemble d'informations qu'il détient à l'instant où il infère. Cela peut être de l'information importante ou des bruits (de l'information ajoutée) (*Robert, 2013*), tel que le facteur du biais de croyances par exemple, ce qui pourrait conduire à une inférence erronée (sophisme ou suppression d'inférence) au lieu d'une inférence valide. L'idée d'encoder ou d'automatiser le raisonnement logique n'est pas nouvelle mais le cadre dans lequel nous le faisons est unique dans la mesure où nous avons fait des recherches en nous basant sur le fondement même des inférences logiques et la psychologie du raisonnement pour comprendre la nature du raisonnement logique chez l'humain.

1.2. Objectifs

Les résultats des recherches sur l'automatisation du raisonnement au cours de ces 30-40 dernières années sont un point de départ pour aider à l'élaboration de l'ingénierie nécessaire, dans le but d'obtenir un système capable d'inférer méthodiquement, en se fondant sur des théories du raisonnement logique chez l'humain. Nous nous penchons vers les systèmes experts. Nous faisons l'hypothèse qu'un tel système conçu pour le raisonnement logique pourrait servir de cadre expérimental du raisonnement logique. L'automatisation d'un système dans un tel cadre ouvre aussi la porte à l'élaboration de systèmes à base de connaissances comme les systèmes tutoriels intelligents par exemple (*Nkambou, 2010*) pour aider au développement de compétences en raisonnement logique.

Les systèmes experts sont des systèmes informatiques qui agissent ou se comportent à tous égards comme un expert humain. Ils sont essentiellement conçus pour résoudre

des problèmes très complexes et rigides, par le raisonnement sur les connaissances, de la même manière qu'un expert le ferait (Agarwal & Goel, 2014). De ce fait, notre principal objectif est de réaliser un système expert capable, grâce à sa base de connaissances en logique, de produire des inférences logiques valides et de résoudre correctement des séries d'exercices fondamentaux en logique comme ceux que l'on retrouve dans le Cahier d'Exercices en Appendice A et B. Sa puissance résidera dans le fait que, hormis ses capacités en tant que système expert, c'est-à-dire de raisonner et expliquer son schéma de résolution fondamentalement comme un expert logicien, il offrira certaines applications: 1) un cahier d'exercices électronique sur lequel pourra s'exercer un utilisateur, contenant des exercices de bases pour se familiariser avec le domaine de la logique des propositions, un ensemble d'exercices de raisonnement et une visualisation des connaissances représentées qui pourront être utilisées comme une aide à certains exercices ; 2) des services pour détecter et expliquer des sophismes (encore appelés erreurs de raisonnement (Bonin, 2012 ; Robert 2005)) dans les inférences d'une tierce personne. L'obtention d'un tel système expert sera donc l'aboutissement de ce projet de maîtrise dans l'espoir de prouver que les hypothèses de départ sur lesquelles on s'appuiera pour modéliser le système sont vraies et lui confèrent la capacité à raisonner.

1.3. Méthodologie

Comment s'y prendre et avec quels moyens développer un système expert en raisonnement logique qui se veut aussi bien accepté par les logiciens que par les psychologues du raisonnement ? Pour répondre à cette question, plusieurs étapes à réaliser et sous-buts à atteindre étaient nécessaires :

- a) Définir les composantes dont on aura besoin pour réaliser le mécanisme de simulation d'un processus de raisonnement. Nous nous sommes inspirées des

composantes fondamentales d'un système expert à base de règles car, comme nous le verrons plus loin, ce type de système permet facilement de coupler une base de connaissances à une base de règles pour y appliquer des algorithmes d'inférences des raisonneurs. Étant donné que le raisonnement logique est régi par des règles et des lois pouvant bien être représentées avec ce type de système, ceci justifiera notre choix.

- b) Procéder au design de l'architecture de notre système expert (d'un point de vue génie-logiciel), en lui conférant certaines aptitudes telles que l'extensibilité et la modularité en prévision de l'intégration d'autres types de logique.
- c) Eliciter la connaissance jugée nécessaire et suffisante dont on dotera par la suite l'expert. Cela aboutira à une base de connaissances (Yu, 2015) sur laquelle s'appuiera le système pour inférer.
- d) Implémenter des règles d'inférences valides et des règles d'inférences invalides (Robert, 2014) appelées sophismes ou suppressions d'inférence (selon le cas) afin de doter le système de la capacité à reconnaître un schéma de résolution valide et invalides. Ce sera la base des règles.
- e) Implémenter chaque composante du système.
- f) Valider MUSE-Expert par une approche externe sous la supervision des experts du domaine ; ce qui permettra la prise en compte de leur feedback sur la qualité des inférences du système.

1.4. Plan du mémoire

Après la présentation de la problématique et les objectifs du projet, nous introduirons la logique et le raisonnement logique comme domaine d'opération de

MUSE-Expert. Les concepts qui régissent ce domaine seront définis ainsi que les théories sous-jacentes. Un bref historique des systèmes experts sera présenté en mettant en évidence les limites et les défis liés à ce type de systèmes. Ensuite nous entrerons dans le vif du sujet en présentant les tâches effectuées pour aboutir au prototype MUSE-Expert, l'architecture du système, son implémentation et le choix des logiciels utilisés pour sa réalisation. Quelques captures d'écrans permettront d'illustrer les fonctionnalités du système. Le mémoire conclut sur un protocole de tests mis en place pour éprouver le système et une illustration des résultats obtenus.

CHAPITRE II

THÉORIES ET HYPOTHÈSES SUR LE RAISONNEMENT LOGIQUE

Dans l'introduction nous avons présenté les objectifs de notre projet qui est le développement de MUSE-Expert, qui se veut être un système expert en raisonnement logique. Ce chapitre introduit les théories et hypothèses sur le raisonnement logique, contexte applicatif de MUSE-Expert. Le but ici est de centrer le sujet et le cadrer sur les aspects et les études qui ont été pris en compte pour le développement du système.

Comme nous le verrons plus tard dans le chapitre III, l'ingénierie d'un système expert requiert primordialement l'ingénierie de la connaissance du domaine d'expertise en jeu. Dans le cas de MUSE-Expert, la logique et le raisonnement logique constitue le domaine que nous explorons dans cette section.

2.1. La logique

La logique est un terme qui fait référence au bon sens, quelque chose qui suit un chemin basé sur des informations jugées pertinentes pouvant être expliqué et justifié. Reprenons un discours de Descartes qui se prête bien à notre cadre et qui illustre bien le besoin et la pertinence d'un projet comme le nôtre : « Le bon sens est la chose la mieux partagée, car chacun pense en être si bien pourvu, que même ceux qui sont les plus difficiles à contenter en toute autre chose, n'ont point coutume d'en désirer plus qu'ils en ont. En quoi il n'est pas vraisemblable que tous se trompent ; mais plutôt cela témoigne que la puissance de bien juger, et de distinguer le vrai d'avec le faux, qui est proprement ce que l'on nomme le bon sens ou la raison, est

naturellement égale en tout homme ; et qu'ainsi la diversité de nos opinions ne vient pas de ce que les uns sont plus raisonnables que les autres, mais seulement de ce que nous conduisons nos pensées par diverses voies, et ne considérons pas les mêmes choses. Car ce n'est pas assez d'avoir l'esprit bon, mais le principal est l'appliquer bien. » [Descartes, 1637]. Plusieurs études philosophiques sont portées sur ce texte et montrent que, même lorsque l'on croit être pourvu de bon sens, être capable de faire de bons jugements, de savoir ce qui serait faux et ce qui serait vrai, être raisonnable, il arrive très souvent que l'on éprouve des difficultés lorsque vient le moment de mettre ces capacités en œuvre. Descartes pense que ces difficultés sont dues à l'existence d'une diversité de chemins empruntés pour arriver à un raisonnement. Cette diversité, peuplée de pensées et de croyances conduisant à de multiples choix, qu'ils puissent être bons ou non, ne suffirait pas, car encore faudrait-il savoir comment les appliquer, comment les mettre en œuvre. C'est ce processus qui fait du bon sens ce qu'il l'est. Nous voudrions construire un système non seulement pourvu de connaissances mais aussi de bon sens ; car c'est dans la vie de tous les jours que l'on fait appel à cette capacité. Pour pourvoir un tel système de logique, il faut prendre en compte tous les aspects de la logique. Il en existe 2 grands groupes distincts : la logique classique et la logique non classique.

La logique classique, du point de vue mathématique, est une théorie initiée par Frege, et révisée par Russell, qui établit les principes de déduction par des méthodes démonstratives, pour aider les mathématiciens à dégager des procédures logiques qui les aideraient à raisonner (Hottois, 2002). On y retrouve la logique des propositions et la logique des prédicats. Toutefois, cette logique de Frege ne se limite pas au cadre mathématique mais s'étend à un cadre plus large où elle peut être utilisée pour traduire le langage naturel dans l'exercice d'autres domaines comme la philosophie par exemple ou tout autre branche impliquant le traitement du savoir. On retrouve ainsi l'application de la logique à l'analyse et la résolution de questions philosophiques. Ces limites dans l'expression de situations complexes ont engendré son extension avec l'apparition des logiques non classiques au cours du 20^e siècle : la

logique temporelle, la logique modale, la logique conditionnelle, la logique relevantiste et la logique intuitionniste.

MUSE-Expert, bien que conçu pour opérer dans toutes les logiques, est implémenté dans le cadre de ce mémoire pour la logique classique propositionnelle, une logique apparemment simple mais difficile lorsque vient le temps de raisonner dans des situations de tous les jours.

2.1.1. La logique des propositions

La logique des propositions est un langage formel pour représenter le langage naturel utilisé couramment. Cette logique joue un rôle important dans le système de compréhension du langage naturel, dans la théorie des bases de données intelligentes, les systèmes experts et les systèmes de raisonnement automatisé (Loveland et al., 2014). Elle permet de mettre en place un système d'interprétations structurées et formelles du raisonnement. Elle est régie par un ensemble de formalisme tant pour la syntaxique qui établit un ensemble de formules et vocabulaire du langage, que pour la sémantique qui donne un sens à ces formules.

2.1.2. Énoncés logiques, connecteurs logiques et tables de vérité

Les Connecteurs logiques et les tables de vérités font partie d'une part de la sémantique et d'autre part de la syntaxique de la logique des propositions ((Loveland et al., 2014 & Champavère, 2007). Nous allons ici présenter le formalisme qui sera utilisé comme langage pour le raisonnement logique de notre SE.

La syntaxe comporte:

- des variables propositionnelles : qui sont des lettres dénombrables de l'alphabet et qui représentent une proposition. Exemple : $p \Leftrightarrow$ il pleut, $q \Leftrightarrow$ j'apporte mon parapluie. Un ensemble $V = \{p, q, r, s, \dots\}$
- des connecteurs logiques : se sont de connecteurs inter-propositionnels qui permettent de faire un lien entre les variables propositionnelles selon leur arité.

l'implication : *si ... , alors...* \rightarrow

la conjonction : *et* \wedge

la disjonction : *ou* \vee

l'équivalence : *si et seulement si* \Leftrightarrow

la négation : *non, ne ... pas...* \neg

l'incompatibilité : $|$

la disjonction exclusive : $\vee\vee$

- des énoncés propositionnels bien formés: un énoncé constitué de variables propositionnelles, de connecteurs logiques et de parenthèses si nécessaire, le tout étant bien formé c.-à-d. bien ordonné et structuré. Les parenthèses permettent d'ordonner les parties d'un énoncé propositionnel.

Exemples: S'il pleut, alors j'apporte mon parapluie. : $p \rightarrow q$

bien formé

S'il pleut, alors j'apporte mon parapluie. Il pleut. : $(p \rightarrow q) \wedge p$

bien formé

S'il pleut, alors j'apporte mon parapluie. Il pleut. : $(p \supset q) \wedge p$

mal formé

S'il pleut, alors je n'apporte pas mon parapluie. Il pleut. : $(p \supset \neg q) \wedge p$

mal formé

Le côté sémantique de la logique des propositions permet de définir un sens pour les variables et énoncés propositionnelles. La logique ne considère que comme propositions des phrases qui peuvent soit être vraies (V), soit être fausses (F). De ce fait, il n'est possible que d'admettre des propositions déclaratives qui disent quelque chose au sujet de la réalité et donc, théoriquement vérifiable (Hottois, 2002). Ici, les connecteurs inter-propositionnels ont le rôle de foncteurs opérationnels ayant des règles permettant d'évaluer logiquement la véracité d'un énoncé propositionnel ; on parle alors de sa valuation. Les tables de vérités ou certaines structures métalogiques comme les treillis de Boole ou les groupes de Klein (cf. section 2.2.4) sont souvent utilisées pour matérialiser la sémantique (Cloutier, 2016).

Mis à part les tables de vérités bien connues telles que : la table de vérité sur la conjonction, la disjonction, l'implication, l'équivalence et la négation, on retrouve :

- La table de vérité sur l'incompatibilité : elle exprime qu'on ne peut pas prendre en compte deux informations en conflit. Je veux inviter Barbara à mon anniversaire et je veux inviter Manuela aussi. Mais Barbara et Manuela sont incompatibles. Donc, je n'invite qu'une des deux ou je n'invite personne

Tableau II.1 : Table de vérité sur l'incompatibilité

| p | | q |
|---|---|---|
| V | F | V |
| V | V | F |
| F | V | V |
| F | V | F |

- La table de vérité sur la disjonction exclusive : elle exprime qu'on a le choix entre deux options. Contrairement au OU (V), si on fait un choix, alors l'autre est exclu. On ne peut pas prendre les deux en compte ou ne rien choisir.

Tableau II.2 : Table de vérité sur la disjonction exclusive

| p | q | $p \vee q$ |
|---|---|------------|
| V | V | F |
| V | F | V |
| F | V | V |
| F | F | F |

2.2. Théories sur le raisonnement logique :

Dans la section 2,1, nous avons présenté la logique comme fondement du raisonnement. A présent nous nous penchons sur le raisonnement logique et les règles qui le régissent. Ces règles sont issues des études de plusieurs chercheurs et de divers domaines notamment la psychologie et la philosophie.

2.2.1. Le raisonnement logique

Une pensée de Herb Simon sur la psychologie du raisonnement en 1957 indiquait que « d'ici 10 ans, toutes les thèses de psychologie auront pris la forme d'un programme d'ordinateur ». En 2017, nous ne sommes pas tout à fait dans la prophétie de Herb, et ce pour plusieurs raisons. D'abord, plusieurs des thèses développées dans le domaine de la psychologie ne font pas l'objet de théorie computationnel et ne peuvent donc pas prendre la forme d'un programme d'ordinateur. Par ailleurs, les

thèses psychologiques à elles seules ne suffisent pas, leur mise en œuvre nécessite une implication active des experts d'autre domaine comme par exemple les logiciens. Dans le cadre du projet MUSE, une dynamique impliquant informaticiens, logiciens, philosophes et psychologues du raisonnement a été constitué afin d'aboutir à un système complet qui tira bénéfice de ces différentes expertises. Ces experts proviennent des laboratoires de recherche LANCI et GDAC de l'UQAM. Il s'agit là d'un cadre pouvant permettre de réaliser partiellement la pensée de Herb, car c'est sur les théories philosophiques et psychologiques que sont fondées nos recherches et qui donnent lieu à la conception d'une muse experte, capable primordialement de raisonner logiquement.

L'étude du raisonnement humain est enracinée dans les œuvres d'Aristote avec *Hermeneia* et les *Premiers Analytiques* qui donnent naissance à la logique, mais aussi aux œuvres de Leibniz en ce qui concerne le lien formel entre la logique et le raisonnement (Blanché & Sebestik, 2017). Depuis bientôt 40 ans, l'essor des recherches sur le raisonnement a donné lieu à de nombreuses théories dans le domaine de la psychologie du raisonnement, notamment la théorie de la logique mentale (Braine & O'Brien, 1998) et la théorie des modèles mentaux (Johnson-Laid, 2001).

Le raisonnement logique est défini comme étant une succession de processus cognitifs mis en œuvre dans le but de produire des inférences logiques. La théorie de la logique mentale soutient que notre raisonnement serait une aptitude innée émanant de faits dont nous disposons dans notre mémoire de travail et qui nous permettent de produire des conclusions sur la base de règles logiques. Cette théorie stipule aussi que les erreurs lors d'un raisonnement proviennent du manque de règles nécessaires ou tout simplement de leur inexistence dans notre mémoire de travail (Varin, 2007). Il s'agit là d'une approche beaucoup plus syntaxique alors que la théorie des modèles mentaux est contre le fait que les règles logiques soient innées et elle tient compte de l'effet de contenu des informations à dispositions qui représentent donc un modèle

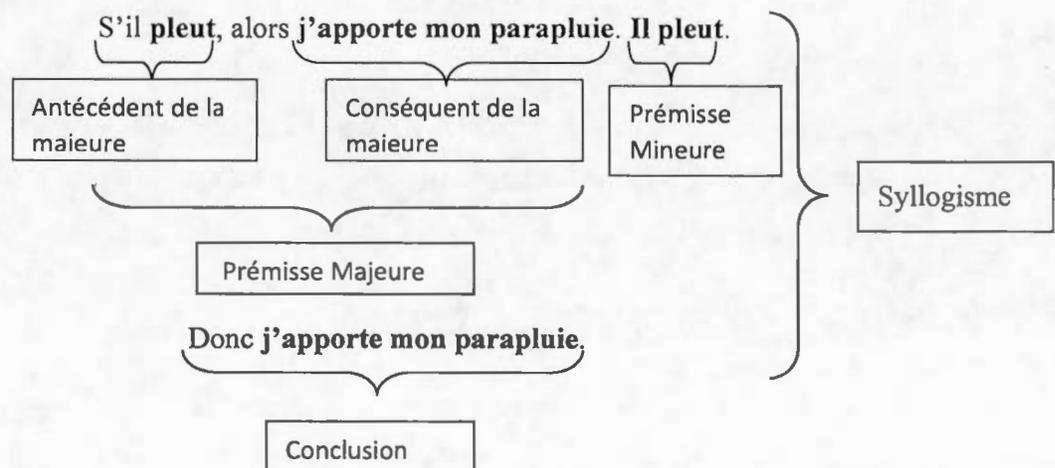
mental. On parle là de la sémantique qui représente (à travers les tables de vérités par exemple) toutes les possibilités de valuation sur chaque information, et permettant ainsi de conclure selon ces valuations. Dans ce contexte, l'erreur de raisonnement proviendrait d'une sémantique erronée (par exemple, une table de vérité erronée).

La principale limite de ces théories, quoiqu'elles puissent expliquer le processus de raisonnement logique, elles ne parviennent pas à expliquer la difficulté à conclure chez l'humain. Par exemple lorsque plonger dans différents contextes, mais avec un même problème soumis, une personne éprouverait de la difficulté à bien conclure. Elle réussirait dans un contexte plus commun qu'un contexte plus abstrait par exemple. Le contexte ici étant la manière dont est formulé le problème (que nous reverrons au chapitre VI lors de la présentation des classes d'exercices que notre système peut résoudre) : de manière familière (causale), ou de manière abstraite, ou encore de manière factuelle ou formelle. Ainsi, un raisonnement logique pourrait tout aussi bien conduire à de bonnes inférences ou des inférences erronées. Les théories évolutionnistes ont pu faire ressortir l'influence des biais et des heuristiques liés aux effets de contexte. Ces théories soutiennent que même ayant la technique logique appropriée pour raisonner, certains facteurs tels que les biais de croyance et les heuristiques avec lesquels nous évoluons toute notre vie influenceront notre raisonnement (Cloutier, 2016 & Varin, 2007). Grâce à ces théories, il devient possible d'expliquer les erreurs de raisonnement invalides que nous allons présenter à la section 2.2.3.

Selon Robert, le processus d'opérations mentales met en relation le raisonnement et la catégorisation de l'information (Robert, 2005). Pour raisonner, il faut organiser et structurer l'information en catégories, établir des liens entre elles, sélectionner et appliquer des règles logiques nécessaires sur ces informations. La conception de notre SE a fait appel à la mise en œuvre de ces théories comme on le verra au chapitre VI. La catégorisation dans ce SE réfère à l'organisation de la connaissance, la distinction des règles d'inférences (valides et invalides), la décomposition des informations de

chaque problème sur lesquels le système doit raisonner, et la représentation des structures/modèles dont il est doté.

Pour formaliser les règles de raisonnement logique, il faudrait introduire quelques termes importants comme le syllogisme. Un syllogisme, d'après Aristote, est un mode de raisonnement qui met en jeu 2 propositions appelées aussi des prémisses. Elle est sous forme implicative 'si ..., alors...', car on part d'informations appelées antécédent qui conduit à un conséquent, appelé conclusion (Bonin, 2012) ; c'est le raisonnement conditionnel. Les études de Byrne et Johnson-Laid (2009) soutiennent que le raisonnement conditionnel serait une majeure étape vers la compréhension de la façon dont les humains raisonnent, et vers la mise en œuvre d'un programme informatique qui peut raisonner comme un humain. C'est exactement ce que nous avons tenté de faire avec le SE MUSE-Expert. Prenons un exemple d'illustration d'un syllogisme.



- La majeure : est une information
- La mineure : est un fait
- La conclusion : découle de l'information et du fait

Cette façon de structurer l'information permet de formaliser les règles de raisonnement logique que nous appellerons dès lors Règles d'Inférences. Les règles d'inférences sont des mécanismes psychologiques mis en œuvre lors du processus de raisonnement. Comme nous avons axé notre approche expérimentale sur la logique des Propositions, nous parlerons de 6 règles d'inférences valides et 6 règles d'inférences invalides que l'on retrouve dans cette logique. Nous les présentons dans la section qui suit.

2.2.2. Règles d'inférences valides

Les règles d'inférences valides sont des règles logiques qu'il faut appliquer pour produire un raisonnement logique valide donnant lieu à une bonne conclusion (Robert, 2014). Elles sont souvent sous forme de syllogisme, car leur structure permet un formalisme pour décomposer les inférences. Les inférences proviennent généralement de 2 prémisses : une prémisses majeure (la majeure) et une prémisses mineure (la mineure).

La majeure est un énoncé propositionnel constitué de 2 propositions et d'un connecteur inter-propositionnel binaire entre les deux. Il s'agit d'*une règle* toujours vraie. La mineure, quant à elle, est l'affirmation ou la négation d'une des deux propositions de la majeure. Il s'agit d'*un fait*. Et la conclusion, provient de la relation logique entre la règle et le fait. Elle affirme ou nie l'une des deux propositions.

Une structure de raisonnement déterminée s'appelle *Modus* qui signifie Mode. Le Mode est un guide d'interprétation et d'utilisation pour produire un bon raisonnement. Il permet d'établir des règles d'inférences. Ainsi selon le mode, on a un type d'inférence (MPP, MTT, MTP, ...). Les règles établies se comprennent comme suite : si l'on dispose d'une information qui est formulée avec un connecteur inter-propositionnel précis et des énoncés propositionnels, suivi d'un fait donné, alors

il faudra toujours conclure tel que le mode le recommande. Les règles sont toujours sous forme d'énoncés propositionnels bien formés (EBF).

Il existe 3 modes de raisonnement en ce qui concerne la logique des propositions : le mode implicatif, le mode disjonctif et le mode incompatible toujours sous la forme conditionnelle. Chaque mode a 2 règles d'inférences valides.

– Mode implicatif :

Modus Ponendo Ponens (MPP): $((p > q) \wedge p) > q$

Modus Tollendo Tollens (MTT): $((p > q) \wedge \neg q) > (\neg p)$

– Mode disjonctif (MD) :

Modus Tollendo Ponens (MTP) : $((p \vee q) \wedge \neg p) > q$

$((p \vee q) \wedge \neg q) > p$

– Mode incompatible (MC) :

Modus Ponendo Tollens(MPT) : $((p | q) \wedge p) > (\neg q)$

$((p | q) \wedge q) > (\neg p)$

Remarquons que, l'exemple du syllogisme présenté à la fin de la section 2.2.1 ; lorsque transformé en énoncé propositionnel, on obtient un raisonnement logique en mode implicatif. Nous y avons, 2 propositions p et q, un connecteur inter-propositionnel et la conclusion.

Exemple : 2.2.1.a

Il pleut : p

J'apporte mon parapluie : q

}

Le MPP nous dit : si on a p qui implique q, et qu'on a le fait p alors il faut conclure q.

S'il pleut (p), alors j'apporte mon parapluie (q). Il pleut (p). Donc on doit toujours conclure qu'il faut apporter son parapluie.

Exemple : 2.2.1.b

Je mange des pommes : p

Je mange des ananas : q



Le MD nous dit : si on a p ou q, et qu'on a le fait (non p) alors il faut conclure q.

Je mange des pommes (p), ou je mange des ananas (q). Je ne mange pas de pommes (\neg p). Donc je dois toujours conclure que je mange des ananas.

Exemple : 2.2.1.c

J'invite Barbara : p

J'invite Manuela : q



Le MC nous dit : si on a p incompatible à q, et qu'on a le fait p alors il faut conclure (\neg q).

P et q sont incompatibles. Je ne peux donc pas inviter Barbara et Manuela car elles sont incompatibles. Si le fait est que j'invite Barbara (p), on conclut je n'invite pas Manuela (\neg q).

On constate bien que ces règles d'inférences valides permettent assurément de produire de bonne conclusion logique.

2.2.3. Sophismes : Règles d'inférences invalides

Pourquoi s'intéresser aux règles d'inférences invalides ? Nous nous préoccupons de ce qui permet à un expert humain de raisonner logiquement, de justifier et expliquer ses inférences ; ceci implique aussi de savoir quand un raisonnement n'est pas correct, et pourquoi il ne l'est pas. Comme annoncé à l'introduction, nous voulons aussi un SE ayant la capacité de diagnostiquer les erreurs d'inférences, de détecter pourquoi une erreur de raisonnement est commise et à quel niveau. Ces services offerts par notre expert reposent sur les résultats des études sur les inférences invalides appelées sophisme (Robert, 2005).

Pour chacun des trois modes de raisonnement de la logique propositionnelle, nous présentons dans ce qui suit, les règles d'inférences invalides.

– Mode implicatif :

L'affirmation du conséquent (AC): $((p > q) \wedge q) > p$

Dans cette règle erronée, on affirme le conséquent de la majeure qui ici sera le fait (la mineure). Et on traite l'implication comme l'équivalence. On appelle aussi cette règle le MPP inversé. Remarquons que d'après l'exemple 2.2.1.a, si j'apporte mon parapluie (j'affirme q) ceci ne signifie pas qu'il pleut. La règle (majeure) nous dit $p > q$ et non pas $q > p$. Cette erreur peut être due à un biais de croyance qui lie fortement le parapluie à la pluie, alors qu'il existe d'autre situation où un parapluie peut être utilisée ; par exemple le cas d'un soleil brulant.

La négation de l'antécédent (NA) : $((p > q) \wedge \neg p) > (\neg q)$

Dans cette règle erronée, on nie l'antécédent de la majeure (p) qui ici est le fait (la mineure). C'est le MTT inversé. Toujours d'après l'exemple 2.2.1.a, *s'il ne pleut pas* ($\neg p$), rien ne m'empêche d'emporter mon parapluie quand même. Donc, il n'est pas juste de conclure *je n'apporte pas mon parapluie* ($\neg q$).

– Mode disjonctif (MD) :

MPT invalide : $((p \vee q) \wedge p) > (\neg q)$

$((p \vee q) \wedge q) > (\neg p)$

Si on reprend l'exemple 2.2.1.b, les règles valides MD nous recommandent que si l'on a le fait ($\neg p$) *je ne mange pas la pomme* ou le fait ($\neg q$) *je ne mange pas l'ananas*, alors je mange l'autre fruit dont la proposition n'est pas niée. Mais ceci ne veut pas dire que si j'ai le fait (p) *je mange la pomme* ou le fait (q) *je mange l'ananas* je dois conclure que *je*

ne mange pas l'autre fruit. Ici, il faut faire attention de ne pas traiter la disjonction comme la disjonction exclusive.

- Mode incompatible (MC) :

$$\begin{aligned} \text{MTP invalide } ((p \mid q) \wedge \neg p) &> q \\ ((p \mid q) \wedge \neg q) &> p \end{aligned}$$

Reprenons l'exemple 2.2.1.c où j'invite Barbara (p) et j'invite Manuela (q) est une situation incompatible. Ici la règle valide recommande que, si on a le fait je n'invite pas Barbara ($\neg p$) alors on doit conclure que j'invite Manuela (q). Et pour le cas où je n'invite pas Manuela ($\neg q$) alors on conclut j'invite Barbara (p).

2.2.4. Les structures métacognitives

Les règles et concepts sur le raisonnement logique tels que présentés sont vus à un niveau cognitif de la représentation du processus mental mis en œuvre chez l'humain. Au niveau métacognitif, niveau le plus élevé du mental, est logé un espace de performance où, le raisonnement chez l'expert se produit. Il est beaucoup plus développé car l'expert acquiert son expertise au moyen du temps et de la pratique et devient compétent dans le domaine. Grâce à son concours et des échanges avec lui, il est possible de dégager des structures visuelles qui aident à voir le cheminement d'un raisonnement logique, à voir les erreurs de raisonnement et aussi à comprendre à quel niveau ils se produisent et pourquoi. Ces structures sont appelées les structures métacognitives. Flavell et Montgomery définissent la théorie métacognitive comme : « Coordonne les croyances ou les postulats qui permettent aux individus de prédire, contrôler et expliquer leur cognition, la cognition des autres ou la cognition en

général ». Ces théories aident à dégager des structures interprétables sur lesquelles notre expert s'appuiera pour expliquer les sophismes. Nous en présentons deux : Les groupes de Klein (Robert & Brison, 2016) et le treillis de Boole (Robert, 2014).

– Le treillis de Boole

Cette structure se présente sous forme de graphe dont les nœuds sont des EBF à deux variables propositionnelles (pour l'illustration de syllogisme) et un connecteur inter-propositionnel binaire. Ici on visualise le raisonnement cognitif. Quand on évolue de la droite vers la gauche, il y a ajout d'informations et de biais de raisonnement (Varin, 2007), ce qui entraîne les erreurs d'inférences. Mais quand le raisonnement est fait de la gauche vers la droite, alors l'information se précise et on a tendance à commettre moins d'erreurs d'inférences, donc à bien raisonner. La Figure II.1 illustre le treillis de Boole pour la logique propositionnelle à 2 variables. Les flèches en vert sont des possibilités d'inférences et ceux en rouge des sophismes.

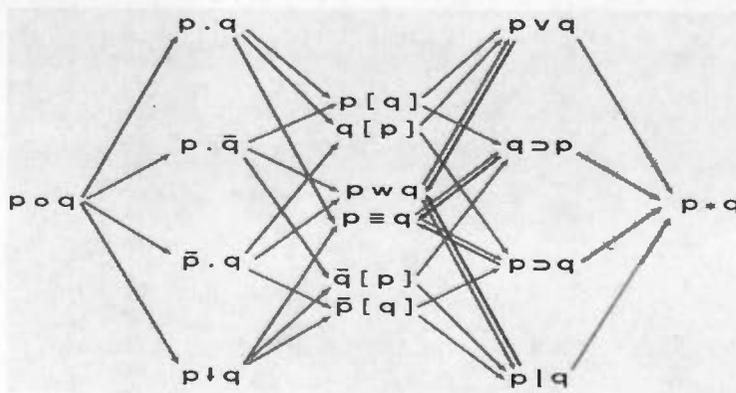


Figure II.1 : Treillis de Boole

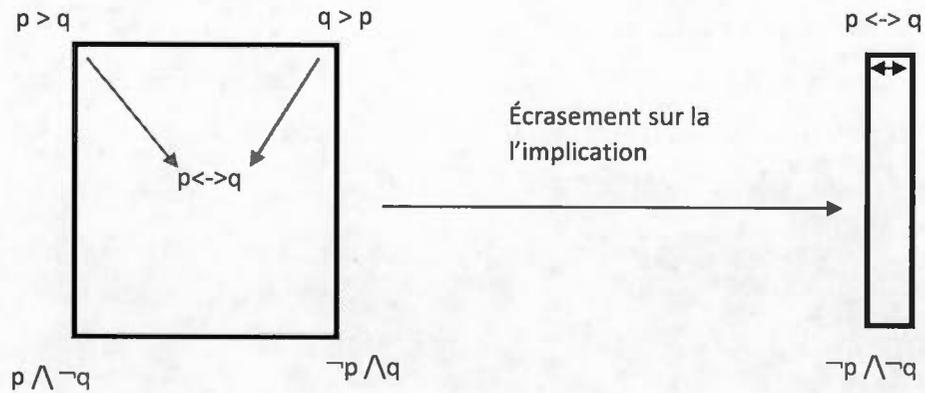


Figure II.3 : Écrasement du groupe de Klein pour l'implication

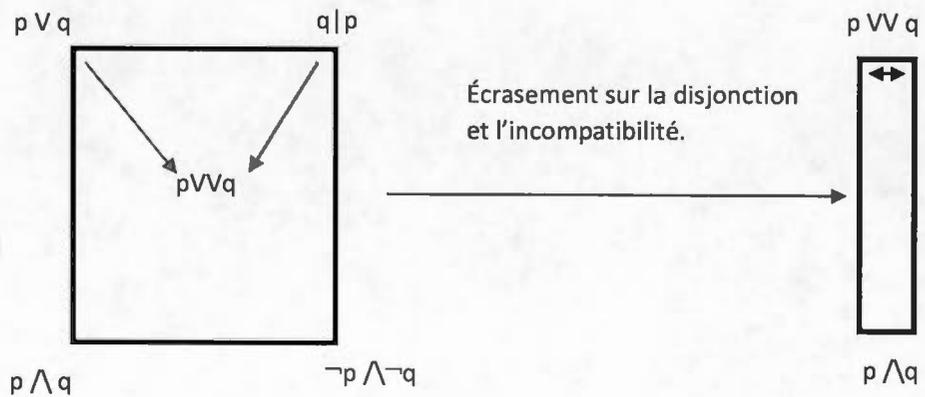


Figure II.4 : Écrasement du groupe Klein pour la disjonction et l'incompatibilité

Nous avons présenté dans ce chapitre le domaine dans lequel le SE MUSE-Expert opère. Il nous a permis d'explorer la logique et les théories fondées sur le raisonnement logique. Nous avons aussi présenté les règles valides, les règles invalides et l'aspect métacognitif du raisonnement logique sur lesquels notre SE s'appuie pour produire des inférences valides, les expliquer et diagnostiquer les erreurs d'inférences. Dans la suite nous allons présenter l'histoire des SE et comment il est possible de les développer.

CHAPITRE III

ÉTAT DE L'ART SUR LES SYSTÈMES EXPERTS

Comprendre les systèmes experts, leur nécessité et leur fonctionnement est le but de ce chapitre. Nous présenterons leur histoire et leur évolution au fil du temps.

3.1. Les systèmes experts

Les Systèmes Experts (SE) sont des systèmes informatiques, outillés pour se comporter comme des experts humains. Ils doivent posséder des aptitudes d'experts humains dans un domaine précis et en faire usage lorsque sollicités. Qu'est-ce qui fait d'un système un système expert. Nous répondrons à cette question en présentant par la suite leur naissance, leur histoire et leur architecture générale qu'on retrouve dans ces SE en générale.

3.1.1. Histoire des SE

L'intelligence artificielle (AI) est le domaine de la science qui étudie la modélisation de l'intelligence humaine au sein d'une machine, moyenné par des technologies et diverses théories. La recherche dans ce domaine prend une nouvelle direction vers la fin des années 70, avec la naissance des systèmes experts. Elle gagne du terrain dans les années 1980 avec les systèmes à base de connaissances et l'ingénierie de la connaissance.

La résolution effective de problèmes est le principal but des SE. Ce sont des outils technologiques capables de reproduire les processus mis en œuvre par un expert humain lors de la résolution de problèmes spécifiques. Si on suit Newell et Simon sur le fait que « l'intelligence est l'application de la connaissance à la résolution des problèmes », on peut facilement affirmer que le comportement intelligent des SE et leur puissance proviennent en partie de la connaissance qui leur est dotée, et de la manière dont ils en font usage, telle une imitation de l'expert humain. Ces processus mis en œuvre avec la connaissance qu'ils détiennent et les comportements intelligents qu'ils exhibent, suffisent très largement à les définir comme étant des systèmes de raisonnement cognitif c.-à-d. qui font appel à une mémoire constituée de connaissances, et qui sont dotés d'un processus leur permettant de les interpréter à des fins d'inférences heuristiques.

Le premier SE conçu était DENDRAL, un SE qui permettait d'identifier les constituants chimiques d'un matériau à partir de spectrométrie de masse et de résonance magnétique nucléaire. Ce système était à base de règles de la forme Si-Alors. Par la suite, plusieurs autres systèmes ont vu le jour, notamment les systèmes à base de connaissances qui fondent leurs inférences sur les connaissances qui y sont encodées, les systèmes de raisonnement à base de cas qui s'appuie sur l'historique des cas déjà résolus, les systèmes à base de contraintes, etc. De nos jours, les systèmes experts se retrouvent utilisés dans divers domaines d'applications tels que :

- La médecine : diagnostic médical, classification radiographique
- L'informatique : composante de systèmes tutoriels intelligents, maintenance électronique
- Le marketing : sélection d'hôtel
- L'industrie : surveillance, diagnostics de pannes, gestion d'incidents
- La géologie : aide à la prospection géologique et minière
- Etc.

3.1.2. Les composantes d'un système expert :

Le but premier des systèmes experts depuis leur origine est la résolution effective d'un problème comme un expert humain le ferait. Comme nous avons pu le souligner dans leur histoire, ils sont de nos jours employés dans plusieurs domaines et peuvent tout aussi bien être intégrés dans d'autres systèmes selon leur besoin et leur conception. Avant d'aller plus en détails dans la description de ses composantes, quelle est la bonne méthodologie pour la conception d'un SE ? Selon Chabonnier (2008), certaines questions fondamentales doivent être répondues avant la conception d'un SE :

- Le domaine d'application (des problèmes qui doivent être résolus) ?
- Le moyen de communiquer avec le système pour une interaction (facile)
- Les choix d'implémentation disponible ?

La connaissance : tout par de là. Si Hérodote, cinq siècles avant Jésus-Christ disait : « Un homme ne peut jamais avoir de connaissances certaines », il serait bien hautain de prétendre qu'un expert machine pourrait l'avoir, étant donné qu'il est conçu par l'humain. Ce qu'il convient ici d'affirmer sans égarement est que, la connaissance que l'on veut représenter dans un SE n'est qu'une partie de l'information même qu'un expert humain possède. Pour ce faire, il faut se rapprocher d'un ou de plusieurs experts du domaine et recenser un maximum d'informations, ensuite, faire abstraction du superflu pour ne conserver que celles qui sont pertinentes pour la résolution de problèmes ciblés. Il existe plusieurs approches pour la représentation des connaissances dans les SE (Le Ber, Lieber & Napoli, 2008) ; on parle d'ingénierie de la connaissance. Chaque approche doit être appropriée pour le type de SE désiré. Il existe trois grands groupes de connaissances capables d'être représentés dans les SE (Fournier-Viger, 2005). Ceux-ci forment la base de l'architecture de la connaissance :

- La connaissance sémantique : Il s'agit de l'information sur la définition des mots, leurs explications, leurs sens et leurs liens avec d'autres mots. Les Ontologies sont la meilleure façon de représenter la connaissance sémantique. Au début des années 90, le terme Ontologie est emprunté par le monde de l'informatique à la philosophie. En philosophie, c'est l'étude des propriétés générales de ce qui existe. En Informatique, les ontologies sont admises comme étant une spécification explicite d'une conceptualisation éventuellement partagée. Elles spécifient un vocabulaire du domaine en termes d'entités, de classes, de propriétés, de prédicats et de fonctions, ainsi que les relations entre ceux-ci. Ainsi, les ontologies fournissent un vocabulaire pour représenter les connaissances sur un domaine et pour décrire des situations spécifiques dans un domaine (Fikes & al. 99). Les concepts étant des mots qui régissent l'univers du domaine dans lequel le système opère, les propriétés étant la description de ces concepts et des liens qui existent entre eux, et les entités des instances de concepts. La connaissance sémantique une fois représentée dans le système constitue sa **base de faits**, car ce sont des déclarations de choses connues qui ne changeront pas dans l'univers du domaine.
- La connaissance procédurale : Il s'agit de connaissances stratégiques qui prescrivent d'effectuer une tâche, de produire une solution, d'atteindre un but ou encore d'inférer (Fournier-Viger, 2005). C'est ici qu'est encodé le savoir-faire qui revient à manipuler la connaissance sémantique pour résoudre un problème. La connaissance procédurale une fois représentée dans le système constitue sa **base de règles**. Les bases de règles et de faits constituent la base de connaissances sur laquelle se fondent des inférences en utilisant des moteurs d'inférences. Ces derniers mettent en marche un processus pour tirer des conclusions. La conclusion est une solution recherchée, ou intermédiaire. Les SE, aidés par les moteurs d'inférences, essaient de reproduire l'action

qu'est l'inférence chez l'expert humain. La majorité des SE est basée sur le mécanisme de logique formelle : celle d'Aristote. Il en existe plusieurs : Clips, Lisp, Prolog, JESS, etc. Leur méthode de fonctionnement est très souvent soit du chaînage avant (qui permet de cheminer des informations/faits vers la solution), soit du chaînage arrière (qui permet de cheminer de la solution aux informations), ou encore du chaînage mixte.

- La connaissance épisodique : Elle représente la connaissance sur un laps de temps (par période). Cela permet de conserver une trace fraîche de processus qui conduit à une solution.

La figure III.1 représente l'architecture d'un SE et permet de voir les interactions entre ses composantes. Le processus d'interaction est très simple : l'ingénieur de la connaissance communique avec l'expert du domaine pour extraire (éliciter) les connaissances en jeu, pour ensuite les représenter dans un formalisme approprié. Une fois les connaissances encodées dans le système, un protocole d'interaction établi au moyen d'une interface conviviale permet à l'utilisateur de soumettre des questions auxquelles le SE devra répondre (par des inférences appropriées).

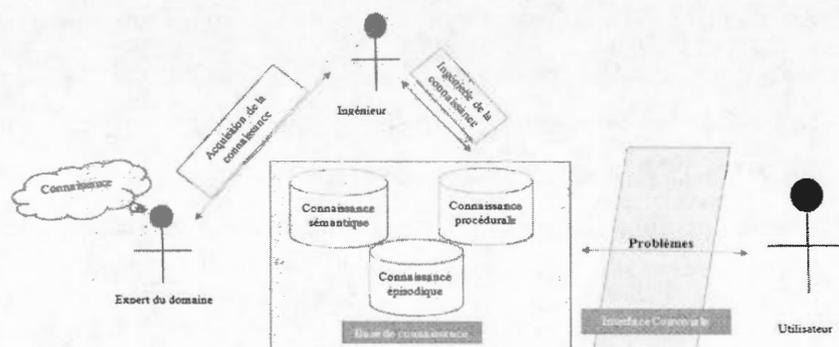


Figure III.1: Interaction entre les composantes d'un SE

3.2. MYCIN : Un exemple de système expert typique

Le système expert MYCIN (créé par Edward H. Shortliffe sous la supervision de Bruce G. Buchanan et Stanley N. Cohen vers la fin des années 70) fut l'un des systèmes experts les plus connus de l'époque. Ce système a été développé pour le domaine de la prise de décision médicale, avec pour objectif de détecter la bactérie à l'origine de l'infection sanguine d'un patient et ainsi pouvoir lui prescrire des antibiotiques avec un dosage approprié pour son poids. Le système comporte trois parties majeures (Buchanan & Shortliffe, 1984) : une base de connaissances, un mécanisme d'inférence et un sous-système d'explications. Ce dernier justifie la conclusion en expliquant ce qui lui a permis de résoudre un problème.

L'architecture de MYCIN est la même que celle d'un système expert classique. Elle comporte donc une interface, une base de connaissances, et un moteur d'inférence.

Dans la base de connaissances, on retrouve des connaissances sémantiques notamment, une sorte d'ontologie de concepts clés du domaine : organisme, culture, médicament, etc. On y retrouve aussi des informations sur le patient, obtenues au moyen d'un questionnaire que MYCIN soumet au début du processus. Ces informations sont représentées sous forme d'arbre de contexte comme le montre la Figure III.2, en triplets objet-attribut-valeur. L'objet est appelé 'contexte' (ex : un échantillon sanguin), l'attribut un paramètre clinique et la valeur mesure l'importance du fait (son facteur de certitude).

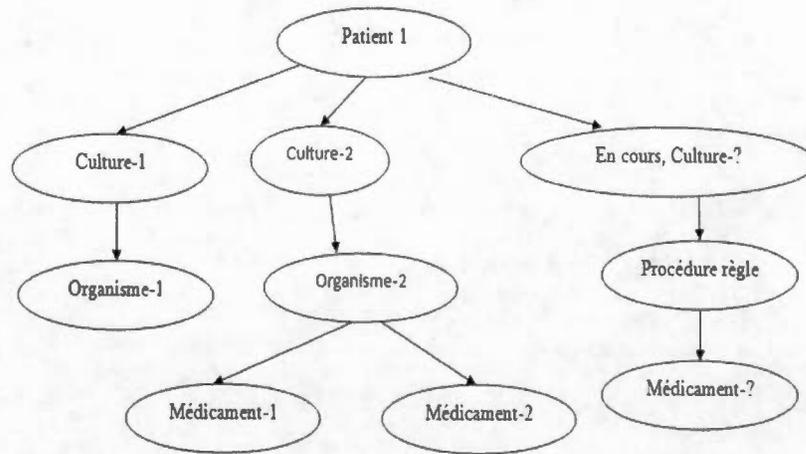


Figure III.2 : Représentation du patient

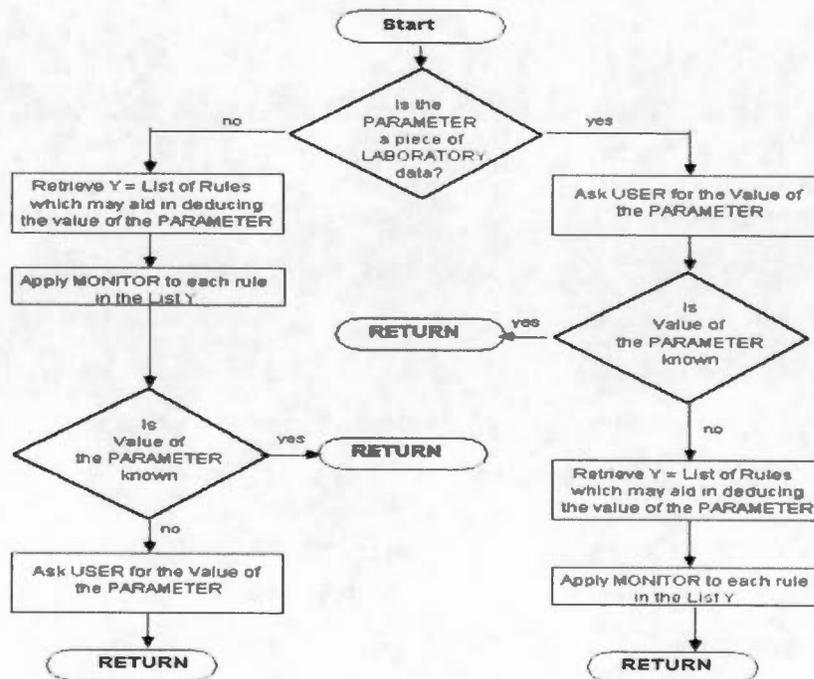


Figure III.3 : Trouver une information dans MYCIN : Find-out Procedure

Pour la connaissance procédurale on retrouve des règles de production qui prennent la forme conditionnelle : si telles informations, alors telle action recommandée (Figure III.4)

| | |
|--|--|
| <p>Règles 77</p> <p>Si (l'infection est bactérie-primaire) et (le site de culture est l'un des site stérile) et (l'entrée suspecté de l'organisme est le tube digestif), alors il y a évidence (.7) que l'identité de l'organisme est bactéroïdes</p> | <p>Règle 78</p> <p>Si l'identité de l'organisme est bactéroïdes, alors je recommande l'une de ces thérapies :</p> <p>1- <u>Clindamycine</u> (.99)</p> <p>2- <u>Chloramphenicol</u> (.99)</p> <p>3- <u>erythromycine</u> (.57)</p> <p>4- <u>tetracycline</u> (.28)</p> <p>5- <u>carbenicilline</u> (.27)</p> |
|--|--|

Figure III.4 : Règles procédurales (de Buchaman et Shortliffe, 1984, page 82.)

MYCIN contient environ 500 règles de productions. Avec les connaissances mises en place, MYCIN fait intervenir son propre moteur d'inférence appelé Monitor. Son mécanisme d'inférence utilise la technique du chaînage avant dans certains cas et du chaînage arrière dans d'autres cas, ceci selon la nécessité. La figure TTTT illustre le fonctionnement de Monitor. Le chaînage avant dans le système se produit lorsqu'il faut obtenir une solution guidée par les faits fournis aux systèmes sur le patient. En revanche, le chaînage arrière se produit lorsque l'utilisateur veut obtenir des explications à une solution produite par le système.

- Chaînage avant :

Si A, alors B (règle 1)

Si B, alors C (règle 2)

A (données)

C (Conclusion)

- Chaînage arrière :

Trouver à propos de C (But)

Si B, alors C (règle 1)

Si A, alors B (règle 2)

Si A, alors C (règle implicite)

Question: est-ce que A vrai? (données)

La figure III.5 présente le processus mis en œuvre pour obtenir la conclusion d'une règle grâce à Monitor. Le parcours des règles se répète tant et aussi longtemps qu'il y a de conclusions intermédiaires au problème à résoudre.

```

Pour chaque condition de la règle, faire
début
    Pour chaque paramètre clinique, de la condition
    début
        Si l'information à propos du paramètre clinique n'est pas encore connu,
        alors appelé la méthode find-out pour le paramètre.
    fin
    Si la condition n'est pas vraie alors rejeter la règle
fin
// A ce niveau toutes les données nécessaires sont obtenues. Les conditions des règles
//sont évaluées, et les informations des règles ont été trouvé vrai
Pour chaque paramètre dans les conclusions des règles, effectuer certains facteurs et
mettre à jour la base dynamique

```

Figure III.5 : Monitor chaînage arrière dans MYCIN

Le choix de l'outil d'implémentation était LISP. Bien qu'à l'époque, il y avait plusieurs alternatives qui prenaient en compte la vitesse d'exécution, LISP était celui le plus facile à appréhender et les chercheurs étaient beaucoup plus intéressés en gain de temps d'implémentation qu'en gain de temps d'exécution.

La base de connaissances de MYCIN renferme un ensemble de données médicales de différents laboratoires qui lui permet, avec son moteur d'inférence de procéder au diagnostic et de fournir des explications lorsque nécessaire. En observant les lacunes du système dans certaines situations, il est possible à l'utilisateur expert d'ajouter plus de connaissances au système (règles et faits). Malheureusement, MYCIN n'ai jamais vraiment sorti des laboratoires et n'a donc jamais été utilisé en contexte réel. En effet, à l'époque, le déploiement de ce type de système posait

beaucoup de problèmes d'éthique liés à la responsabilité du mauvais diagnostique. Toutefois, son accomplissement à montrer que l'important n'était pas de faire raisonner le système comme le processus cognitif de l'humain le ferait, mais de lui fournir un savoir nécessaire et suffisant pour arriver à résoudre des problèmes. Il faudrait noter que le domaine dans lequel il opérait se prêtait bien à ce style de conception. Il existe cependant des domaines plus ambigus pour lesquels un simple système à base de règles de production fonctionnerait mal. Nous présentons dans la prochaine section, une autre conception de SE qui tient compte du caractère ambiguë ou flou des connaissances en jeu.

3.3. Les Systèmes experts dans le flou

L'ingénierie des connaissances dans un domaine où la connaissance n'est pas clairement définie est un défi. En 1965, Lofti Zadeh introduisit la recherche sur la théorie des sous-ensembles flous après s'être rendu compte que les systèmes modernes à l'époque mettaient trop d'emphasis sur la précision et que ces systèmes ne pouvaient pas gérer des cas complexes. Cette théorie a engendré plusieurs branches: Mathématiques floues, les systèmes flous, la prise de décision floue, et la logique floue couplée avec l'IA (qui est ici notre centre d'intérêt). C'est sur cette dernière que repose le concept des systèmes experts flous (SEF), capables d'inférer approximativement sur la base des principes de la logique floue.

Selon Adam (2005) la valuation d'une connaissance peut se situer à plusieurs échelles. Elle peut être vraie ou fausse, évolutive ou atemporelle avec des peut-être, incertaine ou certaine, floue ou précise, typique ou universelle, ou encore, ambiguë avec plusieurs significations. Le besoin de concevoir des systèmes experts donc la

base de connaissances est constituée de faits imprécis et ambigus, permet d'élargir leur utilisation dans de multiples domaines d'application pertinentes incluant :

- La médecine : génétique, diagnostique et prise de décision médicale
- L'électronique : air climatisé, control automatique de transmission de système des voitures
- Les industries : agriculture, pollution environnementale

Les SEF sont des SE dont la base de connaissances est généralement construite avec des règles « si et alors » et des variables/paramètres flous. Pour illustrer la notion de connaissance floue, prenons un exemple les règles suivantes:

Si la vitesse est *faible*, alors appliquer *plus de force* à l'accélérateur.

Si Manuela est *jeune* et Barbara *plus âgée* que Manuela *alors* Barbara est *beaucoup plus vieille*.

Faible, plus de, jeune, plus âgée, beaucoup plus vieille, sont ici des variables floues

Wang (1996) a recensé trois types de SEF dans la littérature (Wang, 1996): Les systèmes flous purs (1), les systèmes flous Takagi-Sugeno-Kang (TSK) (2) et les systèmes flous intégrant un modèle de fuzzification/défuzzification (3). Les systèmes de type 1 sont ceux dont le mécanisme du moteur d'inférence flou combine les règles floues *si ... alors ...* pour une transformation de l'espace des variables floues, vers un espace de sortie basé sur le principe de logique floue. Cela étant, on se retrouve avec des entrées et des sorties qui restent des ensembles flous, alors que dans les systèmes d'ingénierie, les entrées et les sorties sont des réels concrets. Sugeno, Kang et Takagi ont pensé à une alternative intéressante (systèmes de type 2). Au lieu d'avoir des règles avec des variables floues, pourquoi ne pas introduire des réels de la forme *si la vitesse est faible, alors appliquer la force $y = cx$* . Dans ces conditions les solutions sont plus facilement interprétables. Cependant, le cadre formel ne laisse pas beaucoup de liberté à la représentation de la connaissance humaine dans cette perspective.

L'alternative se retrouve donc dans les systèmes de type 3 qui eux, permettent de faire correspondre les variables réelles en leur ensemble flou en entrée (grâce à un processus de fuzzification). En sortie, la solution contenant les ensembles flous retrouve des valeurs réelles en résultat par la défuzzification. C'est cette dernière catégorie de systèmes qui est le plus populaire car plus convenables, et adaptés au traitement de l'information floue.

La figure III.6 présente l'architecture typique des SEF. Elle comporte une base de règles floues dont forme conditionnelle fait intervenir des entrées de variables floues qui font parties du problème à résoudre, un moteur d'inférence flou pour simuler l'expert humain afin de produire une solution acceptable à partir des entrées et de la base de connaissances, et un fuzzificateur et un défuzzificateur qui interprètent respectivement et le plus rigoureusement possible, les informations en entrée et en sortie. Puisque la base de connaissances fait appel aux variables ambiguës, ceux-ci forcent l'implication de probabilités et de valeurs quantitatives qui d'ailleurs interviennent dans le processus de fuzzification et de défuzzification.

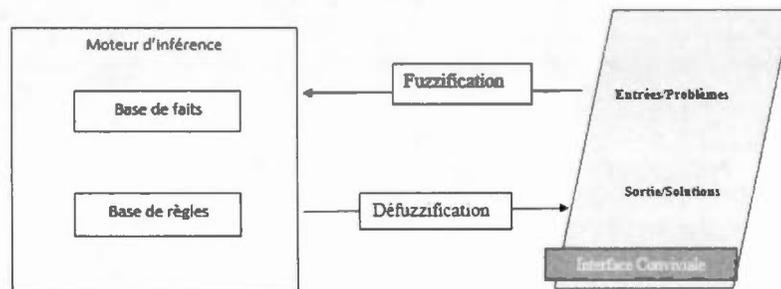


Figure III.6 : Architecture des SEF

La fuzzification est le processus qui permet de déterminer le degré d'appartenance de variables d'entrées à des ensembles flous interprétables par le système, tandis que la défuzzification permet une interprétation plus fiable et pure de la solution obtenue.

3.4. Adaptation des systèmes experts dans d'autres systèmes

Les SE réussissent de plus en plus à être puissants au fil des années, car supportés par la performance des ordinateurs et grâce à l'évolution de la recherche et les besoins naissant dans les domaines. Tel que mentionné plus haut, ils se retrouvent dans plusieurs secteurs d'applications, non plus seulement en tant que système complet individuel, mais aussi en tant que support/composante d'autres systèmes selon leur tâche. Ce sont les piliers d'outils de la représentation du savoir, qui, comportant des moteurs d'inférences, agissent sur plusieurs points comme un expert humain. Ils mettent donc à profit leur capacité à inférer face à un problème donné, et aussi à expliquer leur solution. Il va de soi d'entrevoir leur avenir au-delà de leur unicité.

En 1970, Carbonell dans un article émet l'idée de coupler l'IA avec l'Enseignement Assisté par Ordinateur. Déjà à cette même époque, pendant le développement de MYCIN, l'un des premiers systèmes experts, où ceux-ci n'étaient encore qu'à leur genèse, William J. Clancey flirte avec l'idée de rendre le SE utile pour l'enseignement. Le succès de MYCIN comme résolveur de problème, doté de la capacité à s'expliquer, et s'appuyant sur une base de connaissances riche, suggère que le SE puisse être employé comme tuteur pour étudiant. C'est alors que la base de connaissances de MYCIN est utilisée comme module expert lors de la conception du système tuteur intelligent appelé GUIDON pour la prise de décision médicale en diagnostique des bactéries qui causent certains types d'infections. GUIDON a pour objectif d'essayer de transmettre le savoir et le savoir-faire de MYCIN à des étudiants en médecine.

Les Systèmes Tutoriels Intelligents (STI) constituent un exemple de cadre intégrant un SE. Ils visent à favoriser l'apprentissage dans un domaine défini. La figure AAA

présente leur architecture de base. On peut y reconnaître un module Expert dont la fonction s'apparente à celle d'un SE.

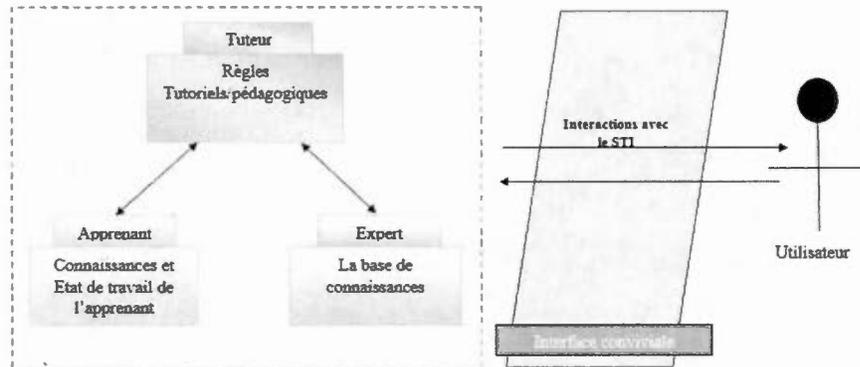


Figure III.7 : Composantes des STI

Le SE ici devient ainsi une composante ou un module. Lorsque sollicité par le tuteur, il transmet l'information requise pour 1) corriger les réponses d'un apprenant et lui fournir des explications s'il y a lieu, et 2) interagir avec l'apprenant, en s'appuyant sur les règles pédagogiques disponibles.

3.5. Synthèse

Dans les sections 3.1 et 3.2, nous avons exposé différents aspects que souligne l'histoire sur les SE. Leur évolution, leur utilité, leur faisabilité, et leur intégration ont été décrites. Dans cette section, nous procédons à une synthèse de ces systèmes.

Un certain nombre de critères sur les problèmes que les SE peuvent résoudre a été identifié (Charbonnier, 2008). Il s'agit notamment de la difficulté des problèmes, la possibilité d'extraire des techniques d'inférence structurées avec l'aide d'experts

humains et la détermination du domaine en question. Ces critères doivent être pris en compte pour déterminer la pertinence de l'usage d'un SE ainsi que la faisabilité.

Un des défis majeurs de la conception d'un SE se situe à l'étape de l'acquisition et de l'encodage des connaissances. Il va de soi que pour rendre les SE autonomes à leur tâche, ils devraient encoder un maximum de connaissances pertinentes sur lesquelles reposeront leurs inférences. Toutefois, la connaissance humaine nécessaire n'est pas toujours accessible par la conscience, surtout quand un expert qui a acquis la compétence devient spontané dans son domaine, rendant difficile sa capacité à éliciter sa pensée sur un plan opérationnel. De ce fait l'expertise humaine prend la forme du savoir-quoi au profit du savoir-comment. De plus, plusieurs experts doivent être sollicités dans l'ingénierie de la connaissance, et inéluctablement cela peut créer des divergences de représentation.

Nous avons pu voir aussi que malgré les difficultés de formalisation de la connaissance mal définie, il existe des SEF capables d'opérer dans ces domaines où l'information est ambiguë. Ils font intervenir les probabilités et la logique floue et leur architecture nécessite la restructuration du noyau inférentiel des SE pour les rendre opérationnel dans ce contexte.

La puissance des SE vient de leur autonomie en tant qu'entité unique et leur pouvoir d'intégration à des systèmes beaucoup plus complexes en tant que composante ou module. On voit déjà depuis longtemps le mariage de l'automatisation des systèmes en milieu dangereux et difficile pour l'humain avec les domaines militaires (prise de décision rapide en milieu critique), d'aviation (pilotage automatique), de la sécurité, etc. Déjà si hautement sollicité dans ces cadres délicats, la question se pose au niveau de leur menace sur l'emploi. Ces progrès font naître des inquiétudes sociales, étouffées par des promesses de formations plus valorisantes pour laisser place à leur perpétuelle évolution dans le domaine de l'IA. Cette évolution vise : 1) l'amélioration des SE, 2) l'augmentation de leur robustesse, 3) l'augmentation de leur autonomie à

travers le temps, 4) l'exploration d'autres domaines d'applications de manière à éviter leur incapacité à performer face à des problèmes imprévus.

CHAPITRE IV

MUSE-EXPERT : ARCHITECTURE ET EXERCISEUR

Les chapitres présentés jusqu'ici étaient dans le but d'expliquer ce qu'est un système expert et la place qu'il occupe dans divers domaines. Nous avons aussi présenté les étapes à suivre qui concourent à la conception d'un SE opérationnel et efficace. Ce chapitre traite de la conception de MUSE-Expert : son architecture, ses composantes et leurs fonctions, et les services qu'il offre.

4.1. Les composantes de MUSE-Expert

La Figure IV.1 présente l'architecture de MUSE-Expert. Elle est composée d'un Contrôleur Général (CG) au niveau de sa couche externe, et d'une structure fortement liée au niveau de sa couche interne qui représente le « cerveau » où se déroule la fonction principale du système : le raisonnement. Ce dernier est composé du Contrôleur du Choix de la Logique (CCL), du Contrôleur Principale de la Logique (CPL), du Contrôleur d'Erreur de la Logique (CEL), de la Mémoire Sémantique de la Logique (MSL) et de la Mémoire des Règles d'Inférences (MRI) de la Logique. Cette structure constituée de trois Contrôleurs Locaux et d'une mémoire scindée en deux parties se répète comme des micros structures qui font office de coquille contenant tout ce qui est nécessaire pour représenter une logique donnée.

Rappelons que notre SE est conçu pour opérer dans des logiques variées (classiques et non-classiques), ce qui justifie de disposer de contrôleurs locaux spécifiques pour chaque logique admissible. Cette représentation du système permet de faciliter

l'extension du SE pour de nouvelles logiques par un mécanisme 'plug-and-play'. Il s'agira dans un tel cas de 'ploguer' la structure des contrôleurs locaux de la nouvelle logique et d'ajouter de nouveaux marqueurs pertinents.

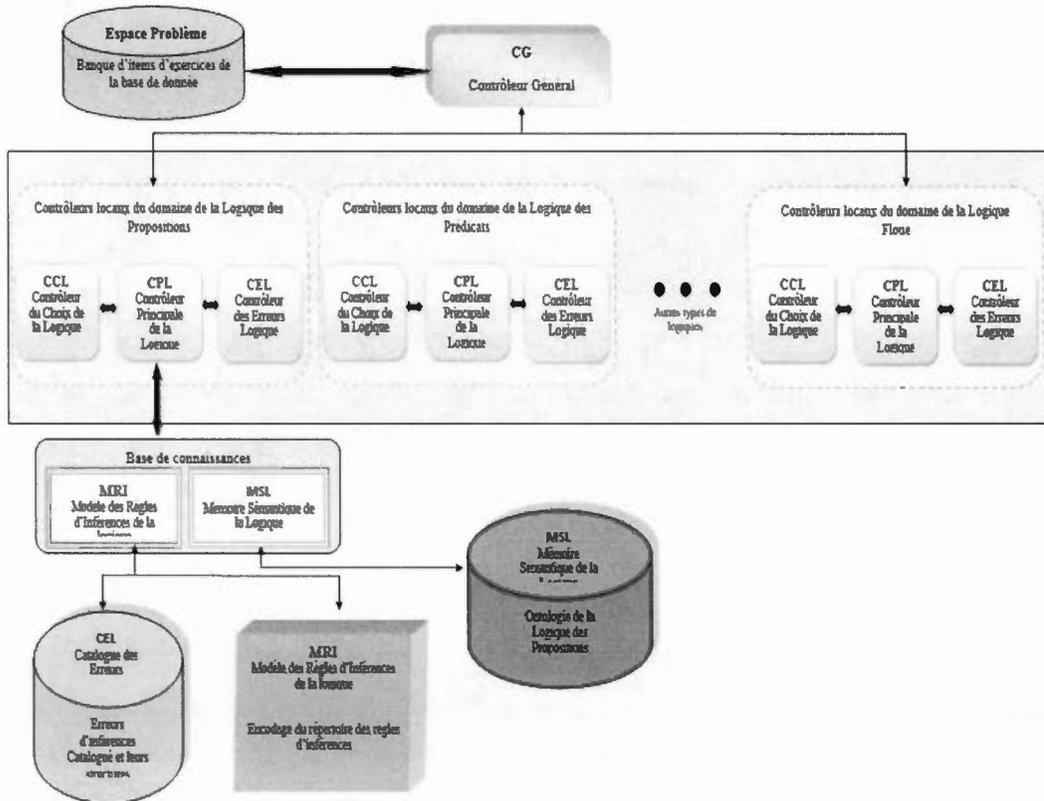


Figure IV.1 : Architecture de MUSE-Expert

4.1.1. Les types de contrôleurs - CG, CCL, CPL, CEL

Les interactions et la coordination entre les contrôleurs locaux sont supervisées par le CG qui se charge de récupérer la situation problème, et d'en extraire les Marqueurs Logiques. Ceux-ci permettront de sélectionner la logique forte admissible en communiquant directement avec chaque CCL. Le CG supervise aussi

la négociation entre les contrôleurs locaux au moment de déterminer la logique dominante (forte) applicable dans une situation donnée.

Chaque CCL encode les caractéristiques de la logique qui lui est liée. Ces caractéristiques sont appelées Marqueurs Logiques. Il s'agit d'un ensemble de concepts spécifiques et distinctifs pour chaque type de logique. Exemples de marqueurs logiques : pour la logique des propositions, on retrouve les connecteurs inter-propositionnels Appendice C et pour la logique des prédicats, ce serait les quantificateurs.

Chaque CPL encode le calcul (mécanisme) / algorithme qui permet de sélectionner le bon raisonnement suivant le problème posé en s'appuyant sur la base de connaissances de la logique concernée, ici représenté par les deux mémoires : MSL et MRI.

Chaque CEL permet une recherche rapide et la détection des erreurs dans le raisonnement effectué par une tierce personne. Le CEL a accès au Catalogue des Erreurs qui est un répertoire de tous les types d'erreurs d'inférences associés aux méta-structures cf. 2.2.4 pour expliquer et diagnostiquer les raisonnements invalides.

4.1.2. La mémoire sémantique de la logique - MSL

D'après Bachelard 1928, « Connaitre, c'est décrire pour retrouver », telle est la raison pour laquelle nous avons procédé à l'ingénierie de la connaissance. Ainsi, l'utilisation et l'explication des concepts pourront être aisées et justifiées. Pour ce faire nous avons procédé au recensement de concepts qui régissent l'univers de la logique des propositions, ensuite nous avons procédé à une sélection selon leur pertinence basée sur les services que notre système devra offrir. Rappelons que cette étape a été bien évidemment supervisée et vérifiée par l'équipe du LANCI du département de philosophie de l'UQAM. Le choix de la représentation de cette

connaissance bien définie s'est ensuite porté sur les ontologies. Les ontologies (cf. 3.1.2) permettent de décrire et définir des concepts, de les organiser en hiérarchie et d'expliquer les liens existants entre eux. Une fois que l'ontologie de la logique des propositions a été réalisée, nous l'avons mise à profit. MUSE-Expert offre la possibilité de visualiser l'ontologie, de l'explorer comme dans le cadre d'un cours en ligne, ce qui est un avantage car il connaît le domaine et peut donc exhiber cette connaissance au mieux.

4.1.3. Le modèle des règles d'inférences (MRI)

Cette composante de l'expert encode toutes les règles d'inférences présentées au chapitre II cf. 2.2. Ce qui confère au SE cette capacité essentielle à inférer, sa tâche la plus importante. On y retrouve les règles d'inférences valides et invalides. Les règles d'inférences invalides sont répertoriées dans un catalogue des erreurs. Cette composante est activée pour le diagnostic des erreurs d'inférences que peut produire une personne qui s'exerce avec MUSE-Expert.

4.1.4. Situation problème

Les problèmes que l'expert est capable de résoudre se trouvent dans l'espace de Situation Problème. Nous avons à notre disposition deux Cahiers d'Exercices fournies par l'équipe du LANCI qu'on retrouve à l'Appendice A et B. Ces ressources ont été notre guide pour les styles d'exercices qu'un expert humain résoudrait sans difficultés. On y retrouve des exercices primaires de base, et ensuite des exercices d'inférences. Ainsi, deux volets sont offerts dans MUSE-Expert pour les exercices: le Volet Exercices de Notions et le Volet d'Exercices de raisonnement.

- Exemple du Volet Exercices de Notions: Ici est donné un énoncé sous forme propositionnelle, et les séries de questions posées ou sélectionnées sont des questions portant sur cet énoncé.

Est-ce que cet énoncé est bien formé? : ((pVq) &)

- Exemple du Volet Exercices de raisonnement : Ici le contenu des exercices diffère selon les Catégorie de contenu. À l'Annexe B figure la Banque d'Items d'exercices utilisés. Il existe 4 classes de contenu :
 - ✓ Classe Causal avec peu d'alternatives : ces exercices ont un contenu familier, facile à comprendre, et dont l'antécédent présente très peu d'options d'alternatives : *Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment. Alternatives : avoir la peau sèche ou une maladie de la peau.*
 - ✓ Classe Causale avec beaucoup d'alternatives : de même que la précédente, ces exercices ont un contenu familier, facile à comprendre, mais avec beaucoup d'alternatives causales quand on y réfléchit bien : *Si on lance une roche dans la fenêtre, alors la fenêtre brisera. Alternatives : lancer une chaise dans la fenêtre, lancer une brique dans la fenêtre, collision avec une voiture, tempête tropicale, frapper la fenêtre avec un bâton, se projeter dans la fenêtre, ...*
 - ✓ Classe Contre-Factuel: ces exercices sont formulés à contresens, c'est-à-dire faisant état d'une situation qui logiquement semblerait difficile à considérer toujours 'Vrai' dans un processus d'inférence: *Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre.*
 - ✓ Classe Abstraite : ces exercices font abstraction de l'univers commun pour que leur contenu soit une projection de termes dans un autre univers à considérer toujours comme 'Vrai' : *Si Pierre morp, alors il deviendra plede.*

Tous ces exercices sont présentés sous forme de syllogisme et offre des choix de réponse. En tant que syllogisme, la partie règle (prémisse majeure) doit toujours être considérée comme 'Vrai' lorsque le problème est traité. Il en est de même pour l'information (la prémisse mineure).

Exemple :

Règle : Si je lance une roche dans la fenêtre, alors la fenêtre brisera.

Information : La fenêtre est brisée.

Que peut-on conclure ?

- a) On a lancé une roche dans la fenêtre*
- b) On n'a pas lancé une roche dans la fenêtre*
- c) On ne peut conclure*

Pour ces types d'exercices, MUSE-Expert doit pouvoir faire un sans-faute et pouvoir expliquer et justifier ses réponses. Par ailleurs, lorsqu'une tierce personne s'exerce avec le SE, il devra être possible de le corriger en lui donnant la bonne réponse et lorsque nécessaire, lui fournir en plus un diagnostic de ses erreurs d'inférences.

4.2. Architecture fonctionnelle et modélisation de MUSE-Expert

Dans cette section, nous présentons la dynamique entre les composantes de l'expert lorsqu'il est sollicité pour les services qu'il fournit. L'analyse de la dynamique du système engendre la question de base suivante : Quand est-il nécessaire pour une composante d'être activée et que se produit-il au moment de cette activation en termes d'interaction avec d'autres composantes ? Avant de discuter de cette dynamique, nous rappellerons tout d'abord les services offerts par le système, suivi de la présentation de deux cas clés d'utilisation du système en simulant un scénario. Ensuite, dans une perspective un peu plus technique, nous présenterons les diagrammes de classes du système ainsi que le schéma de sa base de données.

4.2.1. Cycle de fonctionnement - Use Case

Les *Use Cases* sont un moyen efficace d'ingénierie pour simuler les activités fonctionnelles d'un système. Pour mieux illustrer les exemples d'utilisation, nous allons rappeler les services offerts de MUSE-Expert qui se regroupent en quatre volets.

Le volet *Exercices de Notions* permet de répondre correctement aux questions sur les notions et lorsque cela est nécessaire, appuyer par une explication de concepts.

Le volet *Exercices de Raisonnement* permet de : 1) produire un raisonnement valide lorsqu'une soumission d'un problème de raisonnement lui est faite ; 2) expliquer son cheminement de raisonnement ; et 3) diagnostiquer les inférences d'une tierce personne, c.-à-d. corriger ses inférences et détecter ses erreurs d'inférences, et lui expliquer pourquoi elle a commis l'erreur.

Le volet *Exploration du domaine* offre le service de parcours de l'ontologie. L'utilisateur peut ainsi naviguer graphiquement dans le domaine pour comprendre ces concepts et les relations qui les relient.

Enfin, le volet *Métacognitif* permet de visualiser les structures métacognitives pertinentes. Ces structures, véritables base sémantique du raisonnement et d'explication des erreurs de raisonnement, seront présentées en détail dans le chapitre V.

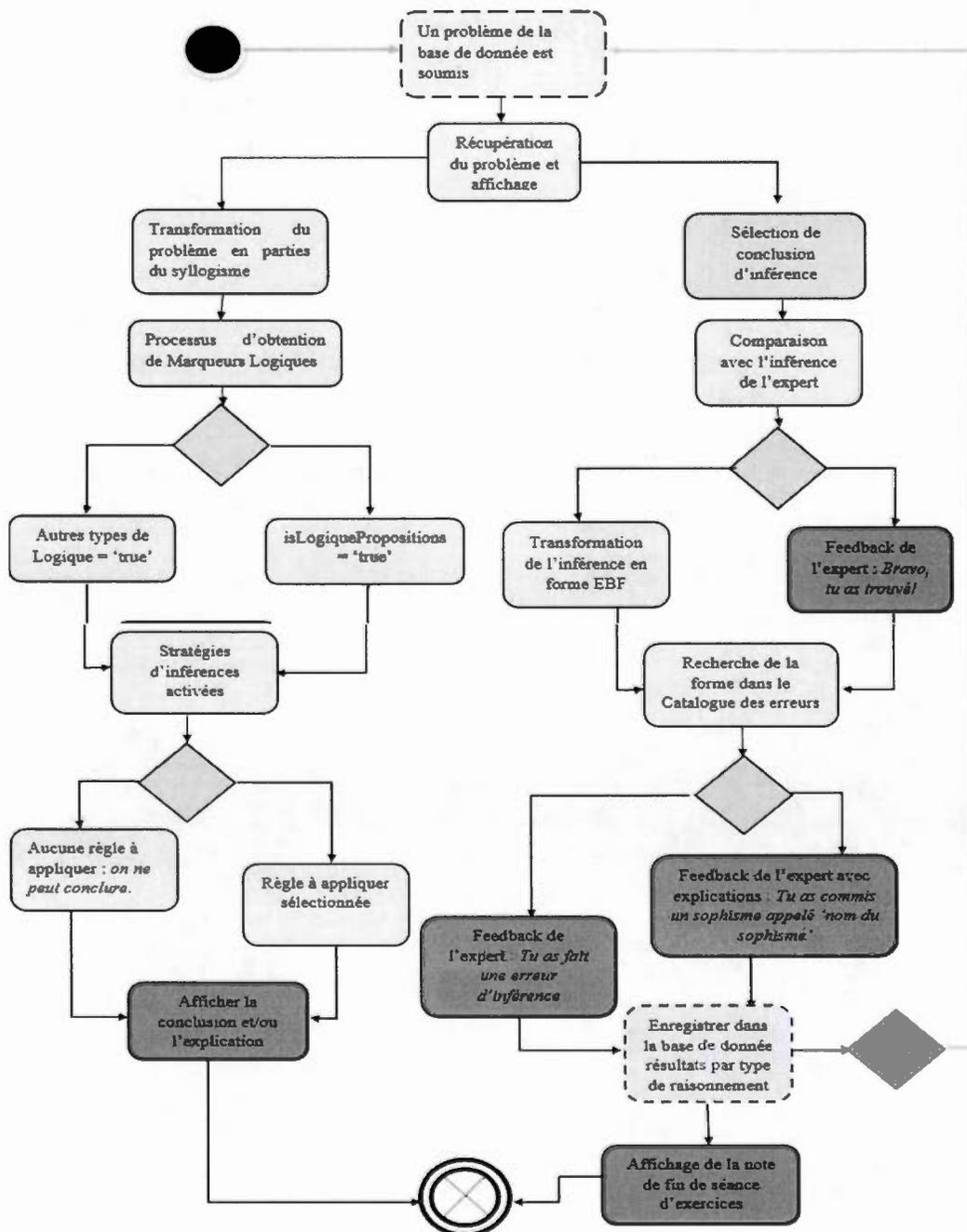


Figure IV.2 : Diagramme d'Activités

La Figure IV.2 présente le diagramme d'activités. Nous allons faire la présentation de deux cas d'utilisation, ceux du Volet Exercices de Raisonnement. Les cas d'utilisation pour les Exercices de Notions sont assez simples car il s'agit d'Algorithmes implémentés dans l'Expert qui sont activés pour répondre à des questions de bases sur la logique et le raisonnement logique. Nous en présentons quelques-uns dans le chapitre V.

ACTIVITÉ 1 : MUSE-Expert effectue un raisonnement.

- 1) La situation problème de l'exemple du volet de raisonnement est lancée.
- 2) Au départ, le CG récupère le problème, il transforme l'énoncé en partie du syllogisme vu au chapitre II.
- 3) Il transmet l'énoncé transformé aux CCL qui se charge de vérifier les Marqueurs Logiques qui s'y trouve pour déterminer la logique admissible. Rappelons qu'un ensemble Marqueurs Logiques est régi de termes et concepts liés à une logique précise.
- 4) le CG supervise l'activité des CCL et leur processus de négociation en vue de déterminer la logique admissible.
- 5) s'il apparait des concepts clés forts faisant référence à la *Mémoire Sémantique Logique* d'une certaine logique, celle-ci sera sélectionnée, et les CCL retournent le résultat au CG après négociation. Soit 'true' pour : *isLogiquePropositions* (car la seule dont nous disposons actuellement).

À ce stade la logique admissible est sélectionnée et les interactions du CG se limiteront désormais avec aux contrôleurs locaux de la logique sélectionnée.

- 6) le CG communique au CPL la forme propositionnelle formelle (forme p et q) de la situation problème grâce à la fonction *transformation.SyllogismeEnEBF*.
- 7) le CPL consulte la *Mémoire des Règles Inférences* pour la mise en œuvre des stratégies du raisonnement du problème. Le CPL calcule le mécanisme et fait rouler

le moteur d'inférences de règles encodées pour sélectionner la règle à appliquer en se basant sur la forme EBF du problème. Il détermine le type de raisonnement et le mode de raisonnement pour produire l'inférence valide.

8) le CPL retourne le raisonnement au CG qui affiche le résultat.

9) le CG est ensuite capable d'afficher l'explication de son raisonnement en décrivant le cheminement des étapes fait pour y parvenir. Il affichera donc les résultats de l'étape 2, 5, et 7.

A la fin de cette étape, l'expert a la solution.

ACTIVITÉ 2 : MUSE-Expert effectue le diagnostic du raisonnement d'une tierce personne.

Les mêmes étapes précédentes de 1 à 8 sont effectuées par l'expert après la soumission d'un problème à une personne appelée Dorothée.

9) Dorothée sélectionne la conclusion de son inférence.

10) le CG le récupère, et compare avec la réponse qu'il détient à l'étape 8. Si c'est le même résultat alors le feedback de l'expert est ***Bravo tu as trouvé!***

11) le cas échéant, le CG effectue une *transformationSyllogismeEnEBF* de l'inférence de Dorothée. Il le communique au CEL pour vérifier si ce type d'erreur est répertorié, et si elle est définie dans la MRI.

12) Une fois l'erreur retrouvée, le CEL la communique au CG, et ce dernier peut alors émettre un feedback où il explique l'erreur à l'apprenant et effectue l'étape 9 de l'Activité 1. C.-à-d., afficher la bonne inférence suivie de l'explication du cheminement pour arriver à une bonne inférence.

4.2.2. Diagramme de classes

La Figure IV.3 présente les classes qui permettent d'organiser le système et d'attribuer des tâches spécifiques à celles-ci. Il s'agit d'une représentation abstraite des objets du système, qui, lorsqu'ils interagissent permettent de rendre fonctionnelle le diagramme d'activité.

- La classe Utilisateur permet de gérer le type de connexion : Expert ou Visiteur en exercice.
- Les Classes TablesDeVérité, MatriceEBF, EBF, et ListeLoiLogique permettent de gérer les algorithmes d'exercices de notions
- Les fichiers CLP sont des règles écrites en JESS. Soient les règles d'inférences et le générateur de feedback.
- La Classe MarqueursLogiqueDesPropositions encode les marqueurs de la logique Appendice C
- La Classe ExerciceToSyllogisme permet de transformer un problème de raisonnement en syllogisme cf. 4.2.1.

4.2.3. Architecture de la Base de données Muse-EXPERT

La base de données de notre Expert permet de conserver tous les exercices des contenus dans le Cahier d'Exercices. On y retrouve l'espace problème avec tous les 4 volets d'exercices. Elle permet aussi de stocker les réponses et les résultats d'un utilisateur au cours de sa séance de travail.

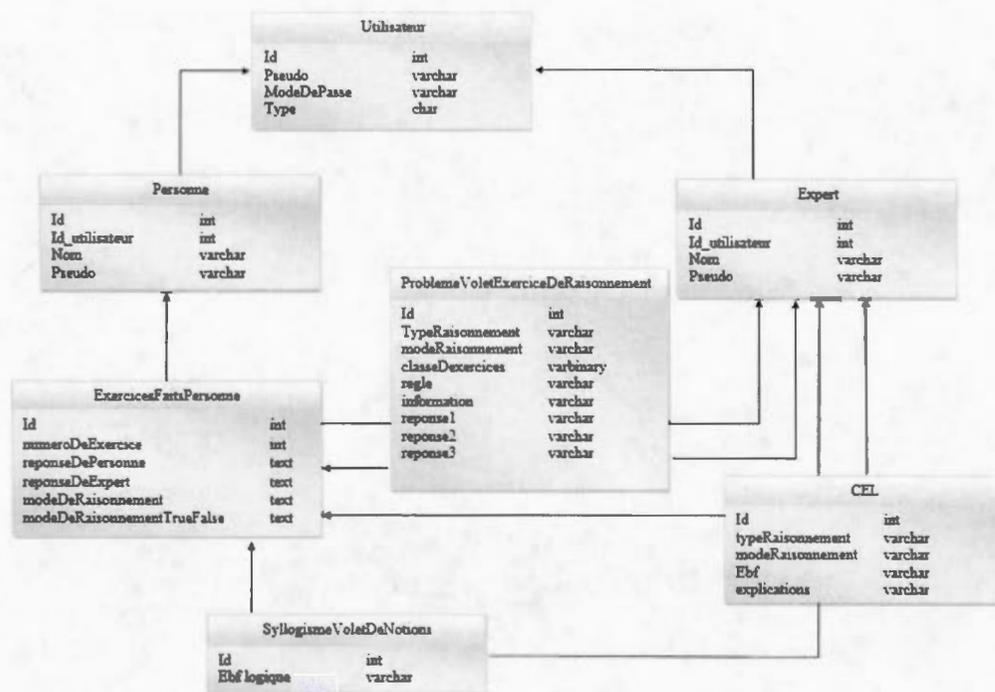


Figure IV.4 : Base de données internes de MUSE-Expert

CHAPITRE V

IMPLEMENTATION DE MUSE-Expert

Après la présentation de l'architecture, nous présenterons dans ce chapitre les aspects techniques de l'implémentation de MUSE-Expert. Nous discuterons d'abord des choix d'outils logiciels utilisés, détaillerons ensuite quelques algorithmes pertinents dont l'expert est doté et enfin, présenterons les résultats de nos développements.

5.1. Outils d'implémentation de MUSE-Expert

Le choix des outils pour l'implémentation s'est fondé d'abord et avant tout sur le critère de simplicité. Nous avons testé plusieurs hypothèses avant d'opter pour un choix. Nous avons aussi considéré des facteurs secondaires comme par exemple la facilité de maintenance et la nécessité de disposer d'un système facilement extensible (par une stratégie *plug-and-play* par exemple). Nous discuterons de nos choix dans les sections suivantes.

5.1.1. NetBeans : langage de programmation Java EE

Le langage de programmation utilisé est Java EE (J2EE) et l'environnement de développement est NetBeans. J2EE est un langage de programmation servant principalement au développement des pages web tout en utilisant la programmation orientée objet. De ce fait l'utilisateur pourra interagir avec l'expert et jouir des services offerts par le système grâce à l'interface de programmation applicative

(API). En effet, l'API est constituée d'un ensemble de méthodes, classes, fonctions, constante, cf 4.2.2. qui servent d'interface afin de ne laisser place qu'à l'essentiel des fonctionnalités (préserver le noyau du système) comme le recommande le principe d'encapsulation de Parnas pour faciliter la maintenance. Nous avons donc des interfaces web implémentées dans les fichiers JSP dont les actions sont gérées par des servlets.

5.1.2. JESS : Le moteur d'inférence

JESS (Java Expert System Shell) est un moteur d'inférence pour la plateforme Java, écrit par Ernest Friedman-Hill en 1995. Il a été conçu dans le but d'être utilisé pour le développement des SE. Notre choix se porte sur ce moteur d'inférence car les inférences y sont fluides. Aussi l'algorithme d'inférence (RETE) implémenté dans JESS offre un chaînage mixte (avant et arrière), ce qui constitue un atout même si nous ne l'utilisons qu'en chaînage avant pour les syllogismes. Le chaînage arrière pourrait aider à déduire la majeure ou la mineure si on connaît la conclusion et l'une ou l'autre des prémisses. De plus il existe des extensions intéressantes et utilisables pour des logiques non-classiques comme la logique floue (par exemple FuzzyJESS (Orchard, 2001)) , Par ailleurs, depuis plusieurs années s'est développée une grande communauté JESS qui travaille chaque jour à rendre le moteur JESS plus complet et plus performant.

Les règles écrites en JESS se trouvent dans des fichiers d'extensions CLP. Un extrait du fichier ReglesInferencesValides.CLP est présenté dans la Figure V.1 pour illustrer l'encodage d'une règle en JESS.

```

(import MuseLogique.Expert.Control *)
(deftemplate Syllogisme (declare (from-class Syllogisme)))
(deftemplate Reponse (declare (from-class Reponse)))

(defrule MPPvalide
  "Modus ponendo ponens ((P ⊃ Q) & P) ⊃ Q."
  ?syllogisme ← (Syllogisme (operateur ?op) (consequent ?q) (antecedent ?p)
    (information ?p))
  ?reponse ← (Reponse (reponse ?x))
  (test (eq ?op "Implication"))
  =>
  (modify ?syllogisme (conclusion ?q))
  (modify ?reponse (reponse "valide") (type-raisonnement "Implicatif")
    (mod-raisonnement "MPP") (conclusion ?q))

(defrule MITvalide
  "Modus tollendo tollens ((P ⊃ Q) & ¬Q) ⊃ ¬P."
  ?syllogisme ← (Syllogisme (operateur ?op) (consequent ?q) (antecedent ?p)
    (information ?o ?q))
  ?reponse ← (Reponse (reponse ?x))
  (test (eq ?op "Implication"))
  (test (eq ?o "not"))
  =>
  (modify ?syllogisme (conclusion ?o ?p))
  (modify ?reponse (reponse "valide") (type-raisonnement "Implicatif")
    (mod-raisonnement "MIT") (conclusion ?o ?p))
  ...
  ...
  ...

```

Figure V.1 : Extrait des règles d'Inférences Valides en JESS

Prenons l'exemple qui suit :

Règle : Si je lance une roche dans la fenêtre, alors la fenêtre brisera.

Information (Fait) : La fenêtre n'est pas brisée.

Que peut-on conclure ?

- d) On a lancé une roche dans la fenêtre
- e) On n'a pas lancé une roche dans la fenêtre

f) On ne peut conclure

Dans le fichier de la Figure V.1, on retrouve la forme définie des règles d'inférences 'defrule' selon le format JESS. L'algorithme RETE, une fois lancé permet d'aller dans la classe *Syllogisme*, pour retrouver tous les faits du problème de raisonnement en cours:

- Avec la forme EBF du problème, on obtient : $(p \rightarrow q) \ \& \ (\neg q)$ cf. 2.2.1.
- Operateur : \rightarrow implication
- Conséquent : $\neg q$
- Antécédent : p
- Négation :

Une fois ceci fait, un chaînage avant parcourt chaque règle pour vérifier si les faits donnent lieu à la conclusion de la règle en cours. Ensuite la réponse est retournée dans l'instance *reponse* de la classe *Reponse*.

- Mode de raisonnement retrouvé : MTT
- Type de raisonnement retrouvé : implication
- Conclusion : $\neg p$

5.1.3. Protégé/OWL/JOWL : Implémenter la mémoire sémantique du domaine.

Protégé est un logiciel pour la création d'ontologies développé à l'Université de Stanford. Il offre un environnement d'édition simplifié avec des menus, ce qui permet d'éviter la tâche fastidieuse de coder l'ontologie directement en format XML (OWL pour être précis). De plus il est aussi possible d'obtenir le fichier XML de l'ontologie une fois l'édition complétée. Avec des raisonneurs intégrés comme Pellet, Hermit, ou Racer, des inférences sur l'ontologie permettent de faire des liens évident

expliquées, définies et visuelles. Ainsi, après avoir édité l'Ontologie de la logique des propositions avec Protégé, elle est injectée dans WebOWL pour la visualisation graphique, et dans JOWL pour le parcours lexical. Les concepteurs de ces 2 logiciels ont mis à disposition leur code source que nous avons modifié pour les besoins de notre système, entre autres pour faciliter son intégration dans l'application.

5.1.4. La base de données MySQL

MySQL est le serveur de base de données utilisé pour stocker les données présentées au 4.2.3. Il est notre choix car nos données sont déjà mises en place grâce au logiciel WampServer et il n'y a pas vraiment un souci de mise à jour constant et régulier. La connexion établit du système grâce à la librairie MySQL JDBC Driver permet de solliciter la base de données lorsque nécessaire. Par exemple pour soumettre un problème et ou faire une trace de la séance d'exercice de l'utilisateur.

5.2. Algorithmes pertinents

Les algorithmes qui vont être présentés font partie de la mémoire sémantique de MUSE-Expert et lui confèrent la capacité de résoudre des exercices pouvant survenir dans un cours d'Introduction à la Logique comme le mentionne souvent le Professeur Serge Robert du LANCI. Nous détaillons ces algorithmes tout en justifiant leur nécessité. Leur utilité est tant pour représenter le savoir de l'expert que pour son aptitude à expliquer les solutions des deux volets d'exercices (cf. 4.1.4.). De ce fait l'expert est en mesure de corriger les réponses d'une personne qui travaille dans le Cahier d'Exercices.

5.2.1. Identification de marqueurs de la logique des propositions

Nous utilisons le terme “marqueurs de la logique” pour désigner tout ce qui particularise un type de logique, le caractérise et le différencie d’une logique. Par exemple, ils peuvent être des connecteurs inter-propositionnels (opérateurs) pour la logique des propositions, l’ajout des quantificateurs pour la logique des prédicats, des variables à connotation quantitative pour la logique floue, etc. De ce fait, nous faisons l’hypothèse qu’une fois ces éléments identifiés comme étant caractéristique d’une logique, nous pouvons automatiquement déterminer, selon l’énoncé du problème posé, le type de logique à considérer tout au long du processus de raisonnement. Dans le SE, les marqueurs sont donc sollicités pour lui permettre de savoir exactement dans quelle logique il se trouve afin d’utiliser les règles d’inférences appropriées pour produire un bon raisonnement. L’idée est simple ; une fois le problème posé, il faut détecter tous les marqueurs logiques par une analyse de l’énoncé visant la détection des marqueurs. Ensuite, comme vue au 4.2.2. (Cycle de fonctionnement), une négociation (s’il y a lieu ; c.-à-d. en cas de plusieurs logiques admissibles) se déroule (sous la supervision du CG) pour déterminer la logique dominante. En Appendice C sont fournis les marqueurs de la logique des propositions.

Ces marqueurs sont stockés dans des tableaux. Nous utilisons Regex en java, une fonction qui utilise les expressions régulières pour retrouver un motif dans une chaîne de caractère. Ici, le marqueur est le motif que nous recherchons. L’algorithme pour savoir si on retrouve un marqueur qui est l’opérateur de la négation, est donné dans l’exemple qui suit :

```
Operateur_Negation = {"non","n","n'a", "N", "NON", "Non", "Ne", "ne", "n'est",
"n'es", "n'ai", "n'a", "n'est"};
```

isOperateur_Negation (String phrase): boolean

motifNegation

premise

pour i < taille de Operateur_Negation faire

```

motifNegation <- Pattern.compile(Operateur_Negation [i])
premise <- motifNegation.matcher(phrase)
si premise.find() retourner vrai else retourner faux
fin pour

```

5.2.2. Transformation d'un problème en EBF

Rappelons qu'un EBF est un énoncé propositionnel contenant des variables propositionnelles, des connecteurs, et des parenthèses, le tout sous forme de chaîne de caractères bien structurée. La transformation d'un problème en énoncé bien formé permet de faciliter le raisonnement pour le choix de la règle à appliquer et aussi de faciliter la construction de la table de vérité pour l'utilité du Pattern d'Inférence qu'on verra dans le chapitre V, 5.5.5. Prenons l'exemple suivant :

Règle : Si je lance une roche dans la fenêtre, alors la fenêtre brisera.

Information : La fenêtre n'est pas brisée.

Que peut-on conclure ?

- g) On a lancé une roche dans la fenêtre*
- h) On n'a pas lancé une roche dans la fenêtre*
- i) On ne peut conclure*

La décomposition de la règle et de l'information en partie du syllogisme nous donne :

Prémisse 1 : Je lance une roche dans la fenêtre : majeure

Prémisse 2 : La fenêtre brisera : conclusion de la majeure

Prémisse 3 : La fenêtre n'est pas brisée : mineure

Ensuite un processus de 'racinisation' nous permet de savoir sous forme quantitative si une prémisse a plus de liens avec l'une des deux autres prémisses. Ainsi elle se verra attribuer la même variable propositionnelle. La racinisation permet d'obtenir la

racine d'un mot. C'est le mot qui reste quand on lui enlève ses préfixes et ses suffixes.

Porter initie à l'époque ce processus de racinisation pour la langue anglaise appelé Tartarus. Aujourd'hui c'est possible d'effectuer le processus pour la langue française.

Nous pouvons transformer les prémisses en prémisses racines.

Prémisse 1 : Je lanc un roch dans la fenêtr

Prémisse 2 : la fenêtr bris

Prémisse 3 : la fenêtr n' pas bris

À ce niveau on voit qu'il y a deux mots communs aux prémisses 2 et 3 contrairement à un seul mot commun entre la prémisse 1 et les autres. Donc les prémisses 2 et 3 auront la même variable propositionnelle. Par ailleurs, le marqueur logique *OpérateurImplication* détecté dans la règle et le marqueur logique *OpérateurNégation* détecté dans l'information nous donne :

| | | |
|-----------------|---|------------------|
| Prémisse 1 : p | } | EBF : (p>q)&(¬q) |
| Prémisse 2 : q | | |
| Prémisse 3 : ¬q | | |

Avec cette forme il est facile pour l'expert (machine) grâce au moteur d'inférence JESS et au fichier des règles.CLP, de retrouver la règle à appliquer et ainsi de conclure.

5.2.3. Notation Post-fixe d'un énoncé propositionnel

Cette notation permet d'éliminer les parenthèses et de restructurer les connecteurs inter-propositionnels en les mettant après les variables propositionnelles auxquelles ils sont liés. Cette procédure est importante car elle facilite beaucoup la mise en œuvre des algorithmes à venir, et aide aussi à mieux comprendre la notion d'arité des connecteurs et leur ordonnancement. L'algorithme utilise la structure de

Pile et se déroule en étape pour retourner une variable chaîne de caractères qui représente la notation post-fixe :

Pour chaque caractère dans l'énoncé propositionnel parcouru

Si c'est une variable propositionnelle, concaténez sur la variable à retourner

Si c'est une parenthèse ouvrante, empilez

Si c'est un connecteur inter-propositionnel,

Si la pile est vide ou si son premier élément est une parenthèse ouvrante, empilez

Si c'est une parenthèse fermante

Tant que le premier élément de la pile est différent de la parenthèse ouvrante, on l'a dépilé pour la concaténer à la variable à retourner, et dépiler une fois encore.

Si la pile n'est pas vide et que son premier élément est un connecteur, on l'a dépilé pour la concaténer à la variable à retourner

Fin pour

Tant que la pile n'est pas vide on la dépile, si le contenu est différent de la parenthèse fermante, on concatène à la variable à retourner.

5.2.4. Vérifier la forme Énoncé Bien Formé (EBF)

Comme vu, toute inférence peut être transformée en énoncé propositionnel. Savoir si un énoncé est bien formé est essentiel, car s'il ne l'est pas, on ne peut pas le traiter. En effet, on ne pourrait pas formaliser un raisonnement sur un tel énoncé, ni établir une table de vérité et comprendre toutes les connaissances qui peuvent en découler. Pour donner à MUSE-Expert la capacité de procéder à la vérification, voici le processus algorithmique utilisé.

- Si le nombre de caractères de l'énoncé propositionnel est 1. Alors ce dernier doit forcément être une variable propositionnelle alphabétique. Sinon retourner faux.
- Si le nombre de caractères est 2, alors l'énoncé propositionnel doit être un opérateur unaire suivi d'une variable propositionnelle alphabétique. Sinon retourner faux.
- Si le nombre de caractères est 3, alors l'énoncé propositionnel doit être une parenthèse ouvrante suivit d'une variable propositionnelle alphabétique et d'une parenthèse fermante. Sinon retourner faux.
- Si à chaque parenthèse ouvrante correspond une parenthèse fermante,
 - Obtenir la notation post-fixe.
 - Ensuite, tant que la notation post-fixe n'est pas entièrement parcourue, on commence à empiler dans une structure de Pile les variables propositionnelles. Si on tombe sur un connecteur inter-propositionnel, on dépile deux fois si celui-ci est binaire et une fois si celui-ci est unaire. Ensuite la pile devrait être vide. Sinon retourner faux. Ainsi de suite.

5.2.5. Génération de la table de vérité

Les tables de vérité permettent d'établir toutes les combinaisons possibles de valuation des variables propositionnelles qui se trouvent dans un énoncé propositionnel, ceci dans le but :

1. soit d'obtenir la Valuation de l'énoncé au complet sachant que chacune de ses variables propositionnelles est soit Vraie ou Fausse ;
2. soit d'obtenir le Pattern d'Inférence de l'énoncé, qui représente la dernière colonne de la table de l'énoncé ;
3. soit de déterminer à quelle Loi Logique l'énoncé appartient.

Ces trois buts cités font partie des questions du Volet Exercices de Notions que l'Expert est capable de résoudre mais aussi de corriger. Plus encore, au niveau cognitif, la dernière colonne résultante obtenue de la table de vérité d'un énoncé propositionnel fait office de Pattern d'Inférence. L'analyse de ce pattern permet de déceler des anomalies et indexer l'erreur d'un raisonnement, ce qui sera bien utile aussi dans le Volet Exercices de raisonnement. On dit donc que la table de vérité est une structure cognitive. Un exemple de raisonnement :

Règle : S'il pleut, alors j'apporte mon parapluie.

Information : J'apporte mon parapluie.

Conclusion : Il pleut

L'inférence est transformée en EBF on obtient. $((p > q) \& q) > p$ cf.5.2.2

Ensuite la table de vérité est dressée par l'expert à la demande de l'utilisateur avec une mise en évidence claire des anomalies comme illustré dans le tableau V.1.

Tableau V.1 : Exemple de table de vérité

| p | q | a = p>q | b = ((p>q) & q | c = ((p > q) & q) > p |
|---|---|---------|----------------|-----------------------|
| V | V | V | V | V |
| V | F | F | F | V |
| F | V | V | V | F |
| F | F | V | F | V |

Le Pattern d'inférence ici est l'ensemble {V, V, F, V} et l'anomalie se situe dans la valuation du troisième élément de l'ensemble. De ce fait cette inférence est fautive. Dans ce raisonnement, l'on peut facilement remarquer un sophisme dont le mode de raisonnement est Affirmation du Conséquent. N'ayant pas un pattern d'ensemble Vrai

partout, c.-à-d. une Tautologie, cette règle d'inférence appliquée est erronée. Ce qui peut être détecté par l'expert. Comment fonctionne l'algorithme de la table de vérité ?

Nous avons l'EBF de l'exemple précédent :

La classe `MatriceEBF.java` permet d'initialiser la matrice de la table de vérité. Elle définit le nombre de lignes et de colonnes de la table de Vérité. Elle contient toutes les variables propositionnelles et toutes les combinaisons de valuations. Le tableau V.2 illustre le résultat de cette première étape.

Tableau V.2 : Initialisation table de vérité

| | | | | |
|---|---|-----|-----|-----|
| p | q | N/A | N/A | N/A |
| V | V | N/A | N/A | N/A |
| V | F | N/A | N/A | N/A |
| F | V | N/A | N/A | N/A |
| F | F | N/A | N/A | N/A |

Ensuite, la table est remplie par l'évaluation des connecteurs inter-propositionnels. C'est la classe `TableDeVerite.java` qui s'en charge. Elle contient des procédures `operateurET`, `operateurOU`, etc., qui prennent en paramètre la matrice précédente (issue de l'étape précédente), le numéro des deux colonnes à évaluer si l'opérateur est binaire et une si elle est unaire, et la colonne résultat où sera rempli le résultat de l'opération.

Le code d'un connecteur inter-propositionnel est illustré dans ce qui suit :

```
public void operateurOU( MatriceEBF tabVerite, int j1, int j2, int colonneResultat){
    for(int i =1 ; i < tabVerite.getTabValuation().length; i++){
        if(tabVerite.getTabValuation()[i][j1] == 'V' ||
tabVerite.getTabValuation()[i][j2] == 'V'){
```

```

        tabVerite.getTabValuation()[i][colonneResultat] = 'V';
    }else{
        tabVerite.getTabValuation()[i][colonneResultat]= 'F';
    }
}
}
}

```

L'algorithme de remplissage :

Pour faciliter la technique de l'algorithme qui utilise les piles, la notation post-fixe de l'EBF est utilisée. On obtient donc : $p \ q \ > \ q \ \& \ p \ >$. L'algorithme continue tant qu'on n'est pas à la fin de la notation post-fixe.

- On empile les variables propositionnelles jusqu'à l'obtention d'un opérateur.
- Si l'opérateur est binaire, on dépile deux fois, tout en obtenant le numéro de colonne où les deux variables propositionnelles se trouvent dans la matrice. Ensuite, on évalue les deux colonnes grâce à la procédure de l'opérateur en jeu, puis, on remplit dans la colonne suivante vide. Ceci est fait en attribuant une nouvelle variable à la colonne remplie qui est l'opération $a = p \ q \ >$.
- A ce niveau la nouvelle notation post-Fixe est : $a \ q \ \& \ p \ >$. Le même processus est repris. On passera par $b = t \ q \ \&$. Et ensuite $b \ p \ >$. Et enfin $c = b \ p \ >$.
- Si l'opérateur était unaire on aurait dépilé une fois et évalué avec la procédure de l'opérateur unaire en jeu.

5.3. Résultats de l'Implémentation : Interface de MUSE-Expert

Dans cette section, nous présentons le résultat de l'implémentation de MUSE-Expert dont la conception a été amplement présentée et débattue dans les chapitres précédents. L'interface de la Figure V.3 présente la page d'accueil du système. Un

Utilisateur peut choisir de poser des questions à l'expert en optant pour l'option Cahier d'Exercices Mode Expert. Mais aussi, un utilisateur quelconque peut interagir avec l'expert en choisissant Cahier d'Exercices Mode Utilisateur, soit pour l'éprouver, ou pour vérifier ses connaissances grâce aux interfaces conçues pour donner accès aux quatre volets de MUSE-Expert : volet Exercices de Notions, volet Exercices de Raisonnement, volet Exploration du Domaine et volet Interprétation des Méta-structures.

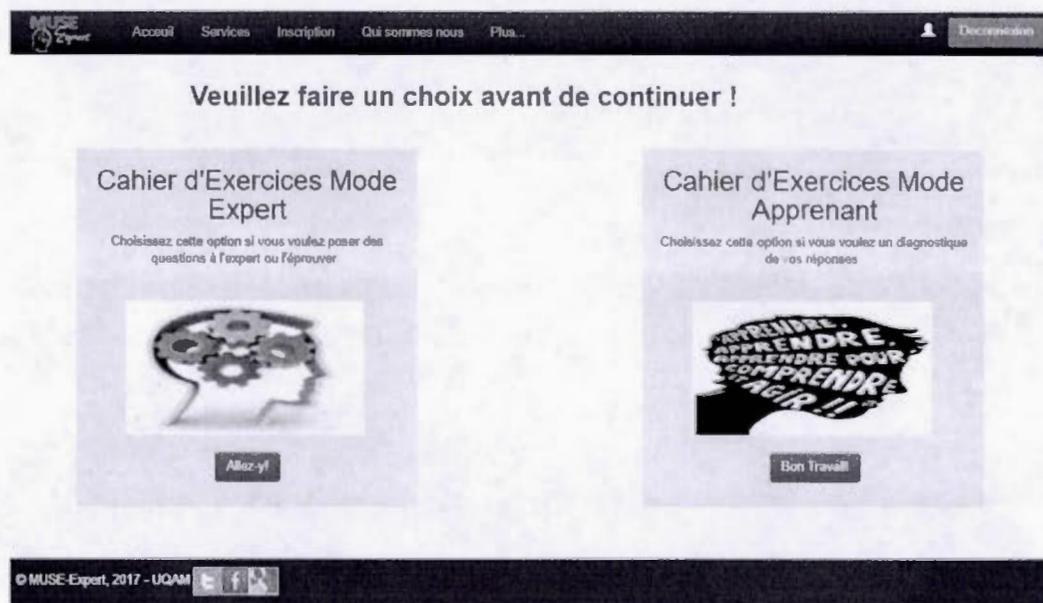


Figure V.3 : Page d'accueil de MUSE-Expert

5.3.1. Volet Exercices de Notions

Ce volet comme mentionné, présente les exercices qui aident à mieux appréhender le domaine de la Logique. La figure V.4 illustre cette interface. On peut voir un ensemble de questions sélectionnées tant du point de vue de l'expert que de celui d'un utilisateur quelconque.

Du point de vue expert, l'interface donne la possibilité de poser une question au SE et ainsi d'obtenir une réponse détaillée de sa part suite à son traitement d'un énoncé propositionnel qui lui est fourni.

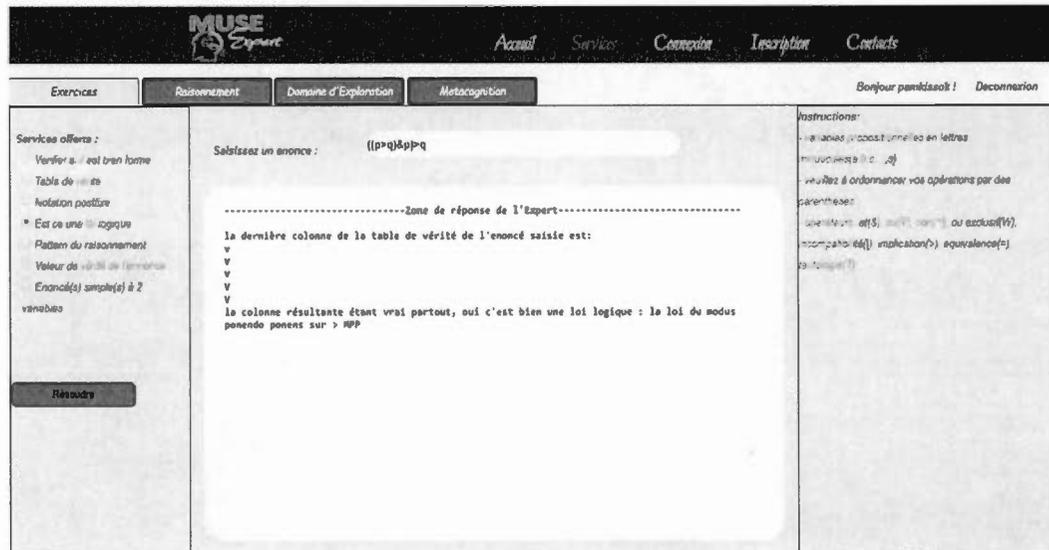


Figure V.4 : MUSE-Expert Exercices de Notions

Du point de vue utilisateur, l'interface pour ce volet lui donne la possibilité de s'exercer. Il devra choisir un énoncé dans la liste disponible, ensuite sélectionner une question pour y répondre et enfin il peut saisir sa réponse ou choisir parmi les choix de réponses possibles (selon la question). Une fois qu'il a validé la réponse, l'expert le corrige immédiatement dans la fenêtre Intervention de l'Expert. Cette interaction est possible grâce à l'interface de la figure V.5.



Figure V.5 : MUSE-Expert Correcteur D'Exercices de Notions

5.3.2. Volet Exercices de Raisonnement

L'Interface de la figure V.6. montre les services offerts pour le raisonnement logique. A travers cette interface, l'Expert sera en mesure de :

- fournir la conclusion de son inf'rence gr'ce au service *Solution*,
- expliquer son cheminement de r'solution gr'ce au service *Étapes de R'solution*,
- fournir la table de v'rit' de l'inf'rence faite gr'ce au service *Table de V'rit'*.

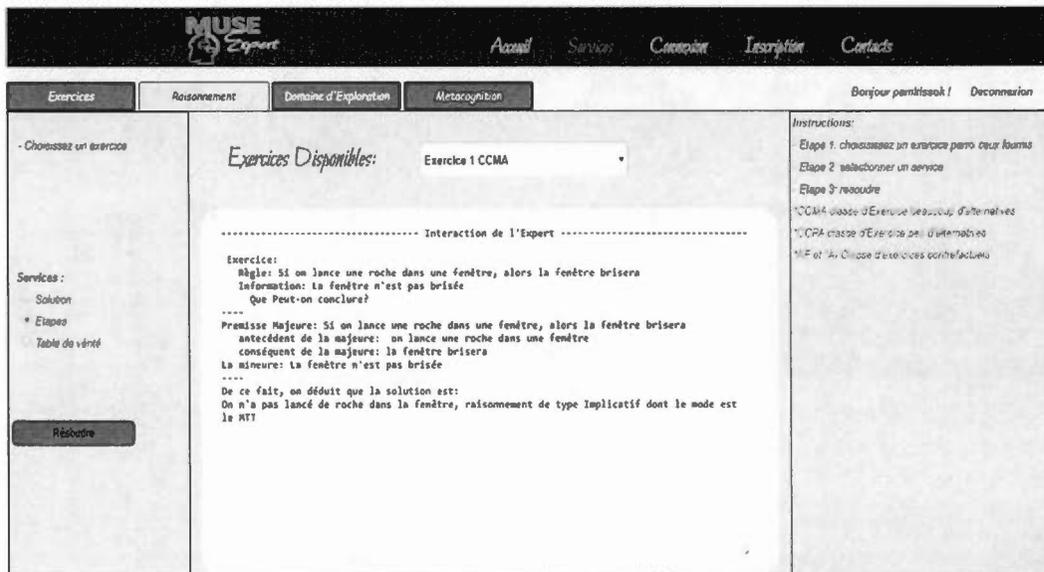


Figure V.6 : MUSE-Expert Exercices de Raisonnement- Etapes

Dans la perspective de l'utilisateur (interface de la Figure V.7), les services offerts pour chaque exercice effectué de la base de données sont :

- un choix de trois réponses dont il faut sélectionner et valider une réponse,
- un feedback immédiat de l'expert dans le champ d'Intervention de l'Expert juste après que l'utilisateur ait validé sa réponse. Le feedback est composé de la correction, les explications et le diagnostic comme mentionné dans la section 4.2.1,
- les résultats (bilan) de sa séance d'exercices par mode de raisonnement.



Figure V.7 : MUSE-Expert - diagnostics d'inférences

5.3.3. Volet Exploration du Domaine

Ce volet offre la même visualisation, que ce soit du point de vue expert ou utilisateur.

Pour le service *Visualisation Graphique* du domaine à la Figure V.8, on peut voir le graphe de l'ontologie de la logique des propositions qui met en évidence les liens hiérarchiques des termes et concepts qui régissent ce domaine.

The screenshot displays the MUSE-Expert web application interface. At the top, there is a navigation bar with the MUSE Expert logo and links for Accueil, Services, Connexion, Inscription, and Contacts. Below this, a secondary navigation bar includes Exercices, Raisonnement, Domaine d'Exploration (which is active), and Metacognition. The main content area is titled 'Domaine d'Exploration' and features a sidebar on the left with links for 'Concepts et définitions' and 'Visualisateur graphique'. The central panel, titled 'Cours de La logique des Propositions', contains a list of concepts and a detailed view of 'Logique des Propositions'. This view includes a table of contents and a list of topics such as 'Logique des Propositions', 'Connecteurs Logiques Proposotionnels', 'Formes Propositionnelles', 'Logique', 'Formules', 'Logique Inférentielle', 'Table de Vérités', and 'Calculer'. A right sidebar titled 'Informations supplémentaires' provides additional text and a 'MPP' button. The bottom of the page features a footer with the URL 'http://muse.univ-lorraine.fr/muse' and the logo of the University of Lorraine.

Figure V.9 : MUSE-Expert Domaine d'Exploration sémantique

5.3.4. Volet Interprétations des Méta-structures

Ce volet d'espace cognitif (cf. 2.2.4.) permet de comprendre les méta-structures du raisonnement logique de façon plus visuelle. Chaque service pour les méta-structures Treillis de Boole et Groupe de Klein offre une visualisation graphique accompagnée d'explications. De plus pour le Groupe de Klein, une animation de l'écrasement du Groupe de Klein à la Figure V.10 permet de voir l'omission du duale dans le raisonnement jusqu'à l'état d'unicité de l'implication pour l'équivalence, et de l'incompatibilité et la disjonction pour la disjonction exclusive.

MUSE Expert Accueil Structures Connexion Inscription Contacts

Exercices Raisonnement Domaine d'Exploration Metacognition Bonjour panhissok! Deconnexion

1- Treillis de Boole
 Le Tri
 Le Tri sur l'Implication (AG, DA)
 Le Tri sur la Disjonction (MPT)
 Le Tri sur l'Incompatibilité (MTP)

1- Groupe de Klein
 Le groupe de Klein
 Enchaînement sur l'implication
 Enchaînement sur la disjonction et l'incompatibilité

Affichage des structures

$p \vee q$ $q > p$ $p > q$ $p | q$

$p \cdot q$ $p \cdot \neg q$ $\neg p \cdot q$ $p \cdot q$

Cette structure metacognitive est le Groupe de Klein sur l'implication.
 Exemple P, D : Si je cours, alors je transpire.
 L'erreur d'inférence survient si quand on veut de considérer le dual: c'est à dire que je peux transpirer et ne pas avoir couru.
 Donc le fait de croire que si tu transpire alors tu as couru donne lieu à l'écrasement du Groupe de Klein
 L'implication est considérée comme l'Equivalence

Figure V.10 : MUSE-Expert Méta-structures

CHAPITRE VI

TESTS DE MUSE-EXPERT

Après le résultat de l'ingénierie de MUSE-Expert, d'un côté expert du domaine qui est capable de produire des raisonnements valides et d'un autre côté expert capable de corriger et diagnostiquer les erreurs de raisonnement, le moment est venu dans cette partie du mémoire de l'éprouver. Le SE sera ici soumis à une série de tests pertinents pour valider ses services offerts. Plus encore, il sera intégré dans un autre système et tester à des fins qui seront présentées dans le chapitre.

6.1. Éprouver l'Expert dans MUSE-Expert

Le déroulement des tests de MUSE-Expert ont porté sur les exercices du volet Exercices de Notions pour vérifier les connaissances du système, pour qu'il puisse aussi être capable de corriger ces types d'exercices chez une tierce personne par des fonctions de comparaisons. Ensuite, des tests ont été effectués sur les exercices du volet Exercices de Raisonnement pour vérifier s'il est capable de produire des inférences valides et les expliquer. Enfin, le système a été testé sur sa capacité à diagnostiquer des erreurs d'inférences et à les expliquer. Le protocole de tests utilisé a été supervisé par l'équipe informatique, lors de rencontres avec les logiciens au laboratoire du GDAC pour obtenir leur feedback en situation réelle et comparer avec ceux obtenus du système.

6.1.1. Éprouver l'expert dans son expertise du domaine

Nous avons déjà pu voir dans l'interface du Domaine d'Exploration cf. 5.3.3. et des Méta-structures cf. 5.3.4. que l'expert encode toutes ses connaissances avec des explications et des menus d'explorations. Maintenant il s'agit ici de tester si sa connaissance des exercices de notions est effective. Nous avons utilisé des tests unitaires pour chaque service dans ce volet. Rappelons que tous les services de ce volet portent sur des énoncés propositionnels. Nous allons donc prendre deux cas : le cas où l'énoncé est mal formé et voir le comportement de l'Expert et ensuite le cas où l'énoncé est un EBF.

TEST 1 : Cas de l'énoncé mal formé

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: (p>q
 Infos: Cet énoncé est-il bien formé?
 Infos: Réponse de l'Expert: Non cet énoncé n'est pas bien formé. Vérifiez la balance des parenthèses.
 Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: (p>q)&p>
 Infos: Cet énoncé est-il bien formé?
 Infos: Réponse de l'Expert: Non cet énoncé n'est pas bien formé. Vérifiez la balance des parenthèses.
 Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: p>
 Infos: Cet énoncé est-il bien formé?
 Infos: Réponse de l'Expert: Non cet énoncé n'est pas bien formé. Vérifier l'ariété des opérateurs pour mieux les ordonner.
 Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: p>
 Infos: Quelle est sa table de vérité ?
 Infos: Réponse de l'Expert: Désolé cet énoncé étant mal formé, la table de vérité est IMPOSSIBLE à EFFECTUER.
 Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: p>
 Infos: Quelle est sa notation Post-fixe?
 Infos: Réponse de l'Expert: Désolé cet énoncé étant mal formé, la notation post-fixe est IMPOSSIBLE à EFFECTUER.
 Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: p>
 Infos: Est-ce une loi logique ?
 Infos: Réponse de l'Expert: Désolé cet énoncé étant mal formé, la réponse est IMPOSSIBLE à EFFECTUER.
 Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: p>
 Infos: Quelle est la valeur de vérité de l'énoncé ?
 Infos: Réponse de l'Expert: Désolé cet énoncé étant mal formé, la réponse est IMPOSSIBLE à EFFECTUER.
 Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: p>
 Infos: A quel énoncé simple entre 2 variables correspond l'énoncé ?
 Infos: Réponse de l'Expert: Désolé cet énoncé étant mal formé, la réponse est IMPOSSIBLE à EFFECTUER.

TEST 2 : Cas de l'EBF (suite dans l'Appendice D)

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: $((\neg p) \& q) \& (\neg (p > q)) \vee (p \vee (\neg q))$
 Infos: Cet énoncé est-il bien formé?
 Infos: Réponse de l'Expert: Oui cet énoncé est bien formé.

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours:

$((\neg p) \& q) \& (\neg(p > q)) \vee (p \vee (\neg q))$

Infos: Quelle est sa table de vérité ?

Infos: Reponse de l'Expert: Operation effectuée:

$a = \neg p$

Operation effectuée:

$b = a \& q$

Operation effectuée:

$c = p > q$

Operation effectuée:

$d = \neg c$

Operation effectuée:

$e = b \& d$

Operation effectuée:

$f = \neg q$

Operation effectuée:

$g = p \vee f$

Operation effectuée:

$h = e \vee g$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c | d | e | f | g | h |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V | V | F | F | V | F | F | F | V | V |
| V | F | F | F | F | V | F | V | V | V |
| F | V | V | V | V | F | F | F | F | F |
| F | F | V | F | V | F | F | V | V | V |

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours:

$((\neg p) \& q) \& (\neg(p > q)) \vee (p \vee (\neg q))$

Infos: Quelle est sa notation Post-fixe?

Infos: Reponse de l'Expert: Voici la notation post-fixe de votre énoncé:

$p \neg q \& p q > \neg \& p q \neg \vee \vee$

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours:

$((\neg p) \& q) \& (\neg(p > q)) \vee (p \vee (\neg q))$

Infos: Est-ce une loi logique ?

Infos: Reponse de l'Expert: la dernière colonne de la table de vérité de l'énoncé saisi est:

h

V

V

F

V

non ce n'est pas une loi logique car, sa colonne résultante n'est pas vrai partout

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours:

$((\neg p) \& q) \& (\neg(p > q)) \vee (p \vee (\neg q))$

Infos: Quel est le pattern du raisonnement ?

Infos: Reponse de l'Expert: Operation effectuée:

$a = \neg p$

Operation effectuée:

$b = a \& q$

Operation effectuée:

$c = p > q$

Operation effectuée:

$d = \neg c$

Operation effectuée:

$e = b \& d$

Operation effectuée:

$f = \neg q$

Operation effectuée:

$g = p \vee f$

Operation effectuée:

$h = e \vee g$

la dernière colonne de la table de vérité de l'énoncé saisi est:

h

V

V

F

V

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours:

$((\neg p) \& q) \& (\neg(p > q)) \vee (p \vee (\neg q))$

Infos: Quelle est la valeur de vérité de l'énoncé ?

Infos: Reponse de l'Expert: Pour P : F et Pour Q :

V, la valuation de la proposition est: : *F*

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours:

$((\neg p) \& q) \& (\neg(p > q)) \vee (p \vee (\neg q))$

Infos: Quelle est la valeur de vérité de l'énoncé ?

Infos: Reponse de l'Expert: Pour P : F et Pour Q :

F, la valuation de la proposition est: : *V*

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours:

$((\neg p) \& q) \& (\neg(p > q)) \vee (p \vee (\neg q))$

Infos: Quelle est la valeur de vérité de l'énoncé ?

Infos: Reponse de l'Expert: Pour P : V et Pour Q :

F, la valuation de la proposition est: : *V*

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours:

$((\neg p) \& q) \& (\neg(p > q)) \vee (p \vee (\neg q))$

Infos: A quel énoncé simple entre 2 variables correspond l'énoncé ?

Infos: Reponse de l'Expert: L'énoncé correspond à l'opération : $(\neg p) \vee q$, car ils ont le même pattern de raisonnement.

Ou $p \vee (\neg q)$, car ils ont le même pattern de raisonnement.

Ou $(\neg p) \vee (\neg q)$, car ils ont le même pattern de raisonnement.

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours:

$(\neg p) \vee q$

Infos: Quel est le pattern du raisonnement ?

Infos: Reponse de l'Expert: Operation effectuée:

$a = \neg p$

Operation effectuée:

$b = a \vee q$

la dernière colonne de la table de vérité de l'énoncé saisi est:

b

V

V

F

V

6.1.2. Éprouver l'expert sur le raisonnement logique

Les tests de l'expert pour le raisonnement logique impliquent de tester s'il est :

- Capable de produire des inférences valides
- Expliquer le cheminement de ses inférences,

et ceci pour chaque Classes d'Exercices peu importe le mode de raisonnement. Nous montrons dans la suite la sortie écran des actions de l'expert, suite à une série de tests sur la Banque d'Items. Ces tests couvrent les 4 classes d'Exercices et pour chacune d'elles, les 4 modes de raisonnement sur l'implication cf. chapitre 2. L'extrait qui suit illustre quelques inférences de l'expert pour la classe d'exercice familier. L'appendice E comporte la suite de ces inférences et ceux de toutes les autres classes d'exercices. Rappelons que ces inférences ont toutes été validées par les logiciens.

Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Infos: Information: On a lancé une roche dans la fenêtre

Infos: Expert : La fenêtre brisera, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MPP

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Information: On a lancé une roche dans la fenêtre

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

La transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel est:

$((p>q)\&p)>q$.

La table de vérité est donc:

Operation effectuée:

$a = p > q$

Operation effectuée:

$b = a \& p$

Operation effectuée:

$c = b > q$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

p q a b c

V V V V V

V F F F V

F V V F V

F F V F V

Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Infos: Information: La fenêtre n'est pas brisée

Infos: Expert : On n'a pas lancé de roche dans la fenêtre, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MTT

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Information: La fenêtre n'est pas brisée

Que Peut-on conclure?

Infos: Prémisses Majeures: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

antécédent de la majeure: on lance une roche dans une fenêtre

conséquent de la majeure: la fenêtre brisera

La mineure: La fenêtre n'est pas brisée

De ce fait, on déduit que la solution est:

On n'a pas lancé de roche dans la fenêtre, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement MTT

Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Infos: Information: La fenêtre n'est pas brisée

Infos: Expert : On n'a pas lancé de roche dans la fenêtre, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MTT

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Information: La fenêtre n'est pas brisée

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

La transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel est:

$((p \supset q) \& (\neg q)) \supset (\neg p)$.

La table de vérité est donc:

Opération effectuée:

$a = p \supset q$

Opération effectuée:

$b = \neg q$

Opération effectuée:

$c = a \& b$

Opération effectuée:

$d = \neg p$

Opération effectuée:

$e = c \supset d$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V | V | V | F | F | F | V |
| V | F | F | V | F | F | V |
| F | V | V | F | F | V | V |
| F | F | V | V | V | V | V |

Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Infos: Information: La fenêtre est brisée

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Information: La fenêtre est brisée

Que Peut-on conclure?

Infos: Prémisses Majeures: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

antécédent de la majeure: on lance une roche dans une fenêtre

conséquent de la majeure: la fenêtre brisera

La mineure: La fenêtre est brisée

De ce fait, on déduit que la solution est:

On ne peut pas conclure, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement AC

Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Infos: Information: La fenêtre est brisée

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC

6.1.3. Éprouver l'expert dans le diagnostic du raisonnement logique

Pour cette partie de tests, nous avons sélectionné une personne novice (notre utilisateur) dans le domaine de la logique et du raisonnement logique. Ceci nous garantissait un comportement inattendu de la personne sur le système, des erreurs d'inférences récurrentes au cours de la séance d'exercices, et des observations du comportement du SE. Nous avons repris la même Banque d'Items et avons laissé le temps nécessaire à la personne pour remplir le questionnaire électronique. Après deux heures, nous avons récupéré la sortie écran enregistrée des réponses de la personne, suivit des feedbacks de l'expert pour obtenir l'approbation des Experts du domaine. Les attentes validées du test :

- L'expert est capable de fournir un feedback à chaque intervention de la personne.
- L'expert est capable de corriger les inférences de la personne bonnes ou mauvaises.
- L'expert est capable de détecter des erreurs d'inférences de la personne et lui dire exactement quelle erreur elle a commise
- L'expert est capable de fournir un diagnostic complet de ces erreurs d'inférences

Dans l'extrait qui suit, on peut voir la sortie d'écran des interactions de MUSE-Expert et d'un novice (les échanges complets se trouvent à l'Appendice F). L'Appendice G présente la note du novice de sa séance de travail pour chaque mode de raisonnement.

```

Output X
MUSE-expert_V2 (run) X Java DB Database Process X GlassFish Server 4.1.1 X
Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera
Infos: Information: On a lancé une roche dans la fenêtre
Infos: --Ta réponse est ; La fenêtre brisera.
Bravo tu as trouvé!!!
--Réponse de l'Expert: La fenêtre brisera.
Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera
Infos: Information: La fenêtre n'est pas brisée
Infos: --Ta réponse est : On a lancé une roche dans la fenêtre.
Désolé, ta réponse est une mauvaise inférence.
Attention, tu dois toujours considérer que tes informations sont vraies dans un sens de l'implication
Ce type d'erreur n'est pas typique.
--Réponse de l'Expert: On n'a pas lancé de roche dans la fenêtre.
Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera
Infos: Information: La fenêtre est brisée
Infos: --Ta réponse est : On a lancé une roche dans la fenêtre.
Désolé, ta réponse est une mauvaise inférence.
**Explications: Attention!!! Tu viens de faire un sophisme d'affirmation du conséquent (AC) de la forme ((p>q)&q)>p.
Ceci parce que tu as traité l'implication comme une équivalence, en considérant que si p>q alors q>p. Il faut toujours considérer l'antécédent comme le s
**Conseils: Si tu penses à d'autres causes alternatives qui peuvent impliquer q alors, tu verras qu'on ne peut conclure avec certitude p.
Tu pourrais faire un tour dans le Volat Métacognitif pour visualiser ton cheminement cognitif
**Exemples de causes alternatives: lancer une chaise dans la fenêtre, lancer une brique dans la fenêtre, collision avec une voiture, tempête tropicale, f
-
--Réponse de l'Expert: On ne peut pas conclure.
Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera
Infos: Information: On n'a pas lancé de roche dans la fenêtre
Infos: --Ta réponse est : On ne peut pas conclure.
Bravo tu as trouvé!!!
--Réponse de l'Expert: On ne peut pas conclure.
Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment
Infos: Information: Fido a des puces
Infos: --Ta réponse est : Fido se gratte constamment.
Bravo tu as trouvé!!!
--Réponse de l'Expert: Fido se gratte constamment.

```

Figure VI.1 : MUSE-Expert – diagnostique du raisonnement d'un novice

6.2. Intégration de MUSE-Expert dans un STI

Les systèmes tutoriels intelligents tels que présentés au chapitre 3 (section 3.2.3) sont des systèmes machines qui ont pour but d'aider un apprenant quelconque dans un processus d'apprentissage d'un domaine. L'apprenant est suivi pas à pas par le STI qui se comporte sur plusieurs aspects comme un tuteur humain. Ces systèmes ont une architecture qui force la participation d'une composante maîtresse : le module Expert. Par la suite on prendra le cas de l'intégration de MUSE-Expert dans le STI MUSE-Logique et on fera des tests sur les services que ce dernier offre pour un tel système.

6.2.1. Le Système Tutoriel Intelligent MUSE-Logique

MUSE-Logique a été développé au Laboratoire du GDAC avec le concours de la même équipe informatique et la même équipe de logiciens que MUSE-Expert. L'aspect informatique cognitive supervisé par le professeur Roger Nkambou et le professeur Serge Robert. Ce système prototype qu'on retrouve à la Figure VI.2 a pour objectif d'aider au développement de la compétence en raisonnement logique (Tato, 2016). Il se veut être capable de faire passer un apprenant de son état de novice à un état amélioré de compétent en raisonnement logique. Pour ce faire, le STI doit posséder le savoir et le savoir-faire nécessaire pour coacher un apprenant, il doit pouvoir connaître et conserver le niveau de connaissance de l'apprenant et enfin, posséder les règles pédagogiques d'un tuteur humain pour l'aider, suivre son évolution et l'encourager. C'est ainsi que son ingénierie met en synergie plusieurs composantes : le module Apprenant, le module Tuteur et le module Expert qui sont les composantes communes qu'on retrouve généralement dans de tels systèmes.



Figure VI.2 : MUSE-Logique

Le module Apprenant contient les informations sur l'apprenant. Sa mémoire épisodique qui est en fait la trace de toutes les actions et réponses qu'il fait au cours d'une séance d'apprentissage et le modèle cognitif qui représente le niveau de connaissance de l'apprenant. Ceci étant, il est représenté en utilisant les réseaux bayésiens (Pardos & Heffernan, 2010), dont les nœuds représentent la probabilité de connaissance pour chaque type de compétences à savoir : les règles d'inférences, les types de raisonnement, les modes de raisonnement et les classes d'exercices.

Le module Expert quant à lui possède la connaissance nécessaire d'un expert en logique. C'est MUSE-Expert qui change d'état. Il passe de système expert à module expert. Son intégration ingénieuse ne concerne que l'essentiel de tout le système. Cet essentiel est l'extrait de la base de connaissances du domaine : la MSL et la MRI.

Le module Tuteur est la composante qui met à jour le niveau de l'apprenant, car c'est grâce à cela qu'il est capable de lui soumettre des exercices selon son niveau cognitif afin de faire évoluer ses compétences. Aidé par l'expert il peut ainsi corriger l'apprenant, et diagnostiquer ces erreurs commises lors d'une séance d'apprentissage. C'est lui le pont entre l'Apprenant et l'Expert. Il encode aussi des règles tutorielles (pédagogiques) qui permettent de donner un feedback utile et personnalisé selon le niveau de l'apprenant. Dans le diagramme d'activité de la figure qui suit, on retrouve le fonctionnement du STI.

Dans la figure suivante, on peut voir le diagramme d'activités fonctionnelles de MUSE-Logique.

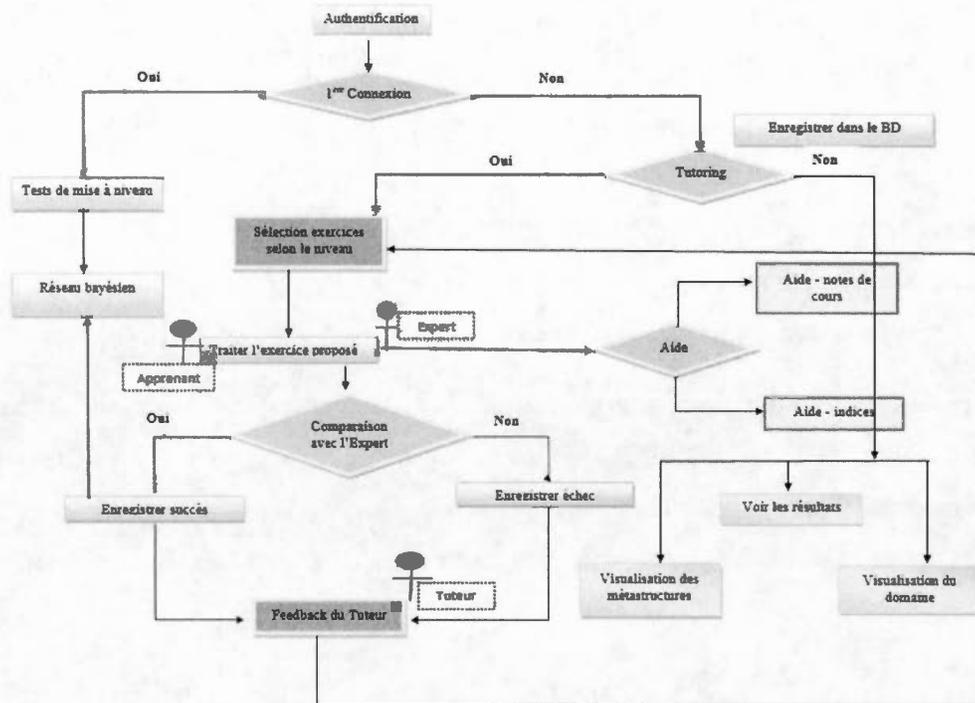


Figure VI.3 : Diagramme d'activités de MUSE-Logique

6.2.2. Services de MUSE-Expert dans MUSE-Logique

MUSE-Expert qui devient le module MUSE-Logique-Expert dans MUSE-Logique offre des services qui sont mis à disposition du tuteur uniquement pour aider le STI à atteindre son objectif. Dans la Figure VI.4 on retrouve ce module. Il garde ses composantes de telle sorte que le Contrôleur Générale (CG) est lié au tuteur. Le tuteur se charge de sélectionner l'exercice en cours soumis à l'apprenant, afin que le CG le récupère pour fournir la réponse valide et les explications liées. Les exercices disponibles, soient les exercices de notions et les exercices de raisonnement qui demeurent dans la base de données sont donc accessibles uniquement par le tuteur. Les services que le module expert offre au tuteur sont :

- Corriger les exercices qu'il lui envoie,

- Expliquer les inférences effectuées,
- Détecter les erreurs d'inférences du raisonnement transmis de l'apprenant.
- Accessibilité et explication des connaissances du domaine grâce à l'aide
- Accessibilité et explication des méta-structures

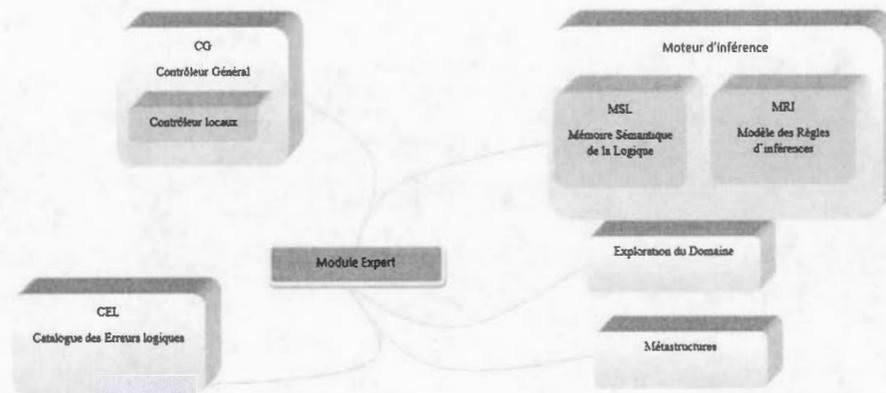


Figure VI.4 : Module Expert dans MUSE-Logique

6.2.3. Test du raisonnement logique de l'Expert dans MUSE-Logique

Pour nous assurer que MUSE-Expert, devenu le module expert dans MUSE-Logique rempli bien ses tâches, nous avons procédé à des tests sur les exercices que le tuteur offre à un Apprenant. Les exercices soumis pour évaluer le niveau de l'apprenant et suivre son évolution font partis des Exercices de Raisonnement, alternés par des Exercices de Notions. Le tuteur choisit en temps et lieu quel type d'exercices soumettre. Dans les captures d'écrans fournies, on peut voir ce qui se passe quand un apprenant commet une erreur d'inférence. Le tuteur reçoit la réponse de l'apprenant et de l'expert, ensuite les compare et juge de ce qu'il est mieux de faire selon les règles tutorielles encodées dans le STI. Ici lors d'une erreur d'inférence, le tuteur *prompte* l'apprenant pour qu'il réalise par lui-même que le raisonnement appliqué n'est pas valide à cause de la structure de la table de vérité de son inférence.

Les figures VI.5, VI.6, VI.7, VI.8 et VI.9 illustrent le rôle de l'Expert lors de l'interaction entre l'apprenant et le Tuteur.

The screenshot shows the MUSE-Logique interface. At the top, there is a navigation bar with 'Accueil', 'Services', 'Inscription', 'Qui sommes nous', and 'Plus...'. On the right, there is a user profile icon labeled 'anastasia' and a 'Déconnexion' button. Below the navigation bar, there are tabs for 'Exercices', 'Exploration du domaine', and 'Visualisation cognitive'. The main content area is split into two panels. The left panel, titled 'Zone de travail', contains the following text: 'Enoncé: L'exercice suivant est un syllogisme. Choisissez la conclusion valide', 'Règle: Si un renard dort, alors il aura une tourelle', 'Information: Un renard a une tourelle', and 'On peut conclure que'. Below this text are three radio button options: 'On ne peut pas conclure', 'Le renard a dormi', and 'Le renard n'a pas dormi'. At the bottom of this panel are three buttons: 'Valider', 'Suivant', and 'Quitter'. The right panel, titled 'Feedback du tuteur', contains a video player with a play button icon. At the bottom of the right panel are icons for 'Instructions', 'Aide', 'Logos', and 'Révisions'.

Figure VI.5 : Exercice de Raisonnement soumis dans MUSE-Logique

The screenshot shows the MUSE-Logique interface. At the top, there is a navigation bar with 'Accueil', 'Services', 'Inscription', 'Qui sommes nous', and 'Plus...'. On the right, there is a user profile icon labeled 'anastasia' and a 'Déconnexion' button. Below the navigation bar, there are tabs for 'Exercices', 'Exploration du domaine', and 'Visualisation cognitive'. The main content area is split into two panels. The left panel, titled 'Zone de travail', contains the following text: '1- Sélectionne pour chaque phrase, la partie du syllogisme correspondante:', '- un renard dort', 'aura une tourelle', 'Un renard a une tourelle', and 'Le renard a dormi'. To the right of this text is a dropdown menu with the following options: 'Antécédent (p)', 'Conséquent (q)', 'Information (p)', 'Conclusion (p)', 'Antécédent (p)', 'Conséquent (q)', 'Information (p)', 'Information (q)', 'Information (~ p)', 'Information (~ q)', 'Antécédent (~ p)', 'Conclusion (q)', 'Conclusion (~ p)', and 'Conclusion (~ q)'. Below this menu is a text input field for '2. Entre la forme propositionnelle: ((p>q)&p)~p'. Below the input field are symbols for logical connectives: '&', '>', 'V', 'T', '≡', 'W', '~', 'I', 'p', 'q', and 'effacer'. At the bottom of this panel are three buttons: 'Valider', 'Suivant', and 'Quitter'. The right panel, titled 'Feedback du tuteur', contains the following text: 'L\'énoncé du problème était', 'Règle: Si un renard dort alors il aura une tourelle', 'Information: Un renard a une tourelle.', 'Tu as répondu " Le renard a dormi"', and 'Bon tu dois faire la table de vérité de cet énoncé. Premièrement, écrit la forme propositionnelle de ce problème. Je t'ai aidé en te donnant les parties du syllogisme. Choisis dans chaque liste déroulante la partie correspondante du syllogisme. Ensuite écrit la forme propositionnelle en utilisant le clavier fourni'. To the right of this text is a video player with a play button icon. At the bottom of the right panel are icons for 'Instructions', 'Aide', 'Logos', and 'Révisions'.

Figure VI.6 : Exercice de Notions

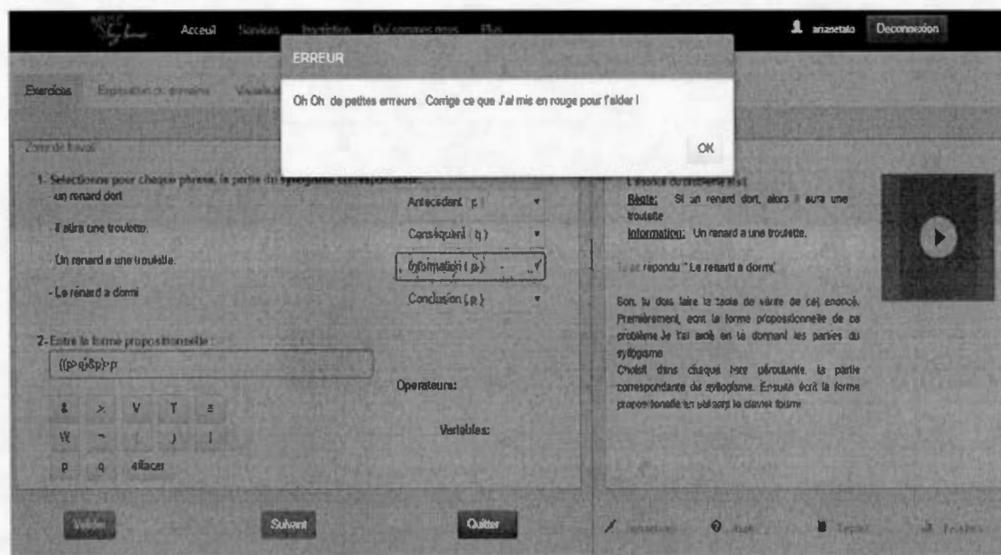


Figure VI.7 : Exercice de Notions - erreur détectée grâce à l'expert

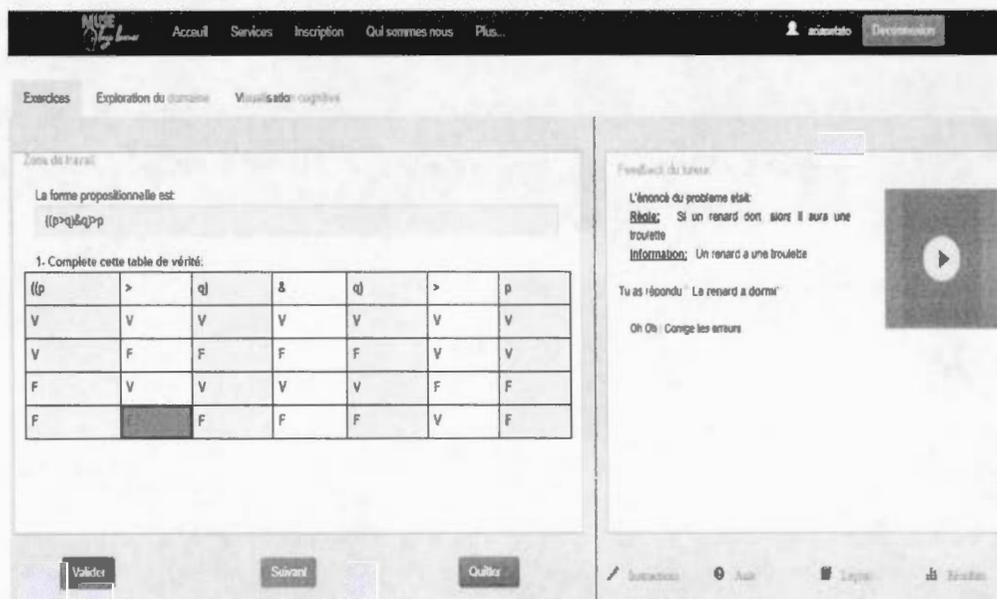


Figure VI.8 : Exercice de Notions – table de vérité remplie par l'Apprenant

The screenshot shows the MUSE-Logique interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'Accueil', 'Services', 'Inscription', 'Qui sommes nous', and 'Plus...'. On the right, there is a user profile icon and a 'Déconnexion' button. Below the navigation bar, the main content area is divided into two sections.

The left section, titled 'Zone de travail', contains the following text: 'La forme propositionnelle est' followed by a logical expression $(p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$. Below this, it says '1. Complète cette table de vérité:'. A truth table is displayed with columns for p , q , $p \rightarrow q$, $q \rightarrow p$, and $(p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$. The table is as follows:

| p | q | $p \rightarrow q$ | $q \rightarrow p$ | $(p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow p)$ |
|-----|-----|-------------------|-------------------|--|
| V | V | V | V | V |
| V | F | F | V | F |
| F | V | V | F | F |
| F | F | V | V | V |

At the bottom of this section are buttons for 'Annuler', 'Suivant', and 'Quitter'.

The right section, titled 'Feedback du tuteur', contains the following text: 'L'énoncé du problème était.' followed by 'Règles: Si un renard dort, alors il aura une troussette' and 'Information: Un renard a une troussette'. Below this, it says 'Tu as répondu " Le renard a dormi"'. A feedback message follows: 'Bien ! Attention ! Tu remarques que ta colonne résultat n'est pas vraie partout donc tu as commis une erreur d'inférence ! La bonne réponse est On ne peut pas conclure c'est un raisonnement de type implicatif dont le mode est le AC. Tu dois penser à des causes alternatives et l'invite à explorer le volet Métacognitif'. To the right of the text is a play button icon.

At the bottom of the right section are icons for 'Annuler', 'Ajouter', 'Lignes', and 'Statistiques'.

Figure VI.9 : Exercice de Notions – table de vérité qui explique l’erreur d’inférence

Dans l’appendice H, nous retrouvons quelques captures d’écran dans MUSE-Logique pour les exercices de notions soumis au cours d’une séance d’exercices de raisonnement

Nous avons pu aussi extraire les réponses que l’expert soumet au tuteur au cours d’une séance d’exercices de raisonnement dans MUSE-Logique (Voir Figure VI.10 ci-après).

```

-----
Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le DA
49- Règle: Si une personne est malade, alors elle sera vindille
    Information: Guillaume est malade
Expert : Guillaume sera vindille, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MPP
50- Règle: Si une personne est malade, alors elle sera vindille
    Information: Charlène n'est pas vindille
Expert : Charlène n'est pas malade, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MIT
51- Règle: Si une personne est malade, alors elle sera vindille
    Information: Maxime est vindille
Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC
52- Règle: Si une personne est malade, alors elle sera vindille
    Information: Lucie n'est pas malade
Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le DA
53- Règle: Si un renard dort, alors il aura une troulette
    Information: Un renard dort
Expert : Le renard aura une troulette, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MPP
54- Règle: Si un renard dort, alors il aura une troulette
    Information: Un renard n'a pas une troulette
Expert : Le renard n'a pas dormi, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MIT
55- Règle: Si un renard dort, alors il aura une troulette
    Information: Un renard a une troulette
Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC
56- Règle: Si un renard dort, alors il aura une troulette
    Information: Un renard ne dort pas
Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le DA
57- Règle: Si une camionnette dépasse, alors elle sera viridinée
    Information: Une camionnette dépasse
Expert : La camionnette sera viridinée, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MPP
58- Règle: Si une camionnette dépasse, alors elle sera viridinée
    Information: Une camionnette n'est pas viridinée

```

Figure VI.10 : MUSE-Expert qui répond au tuteur dans MUSE-Logique

CHAPITRE VII

CONCLUSION

Ce mémoire a décrit la conception et l'implémentation du prototype du Système Expert MUSE-Expert. Nous avons débuté par une description du domaine d'expertise en jeu (le raisonnement logique) et des théories sous-jacentes. Une architecture ouverte facilitant l'extension des capacités du SE pour supporter plusieurs logiques a ensuite été proposée, suivi d'une description de son implémentation pour la logique classique des propositions. Les tests menés en situation réelle, avec le concours des experts logiciens et de l'équipe du laboratoire informatique ont donné lieu à des résultats prouvant que le système réussit à produire des inférences valides, à diagnostiquer une inférence soumise et à exhiber ses connaissances du domaine.

La logique des propositions a été donc l'objet de la première itération de MUSE-Expert. Ce choix était normal puisque les autres logiques se définissent généralement comme une extension de celle-ci. Ces extensions seront facilement intégrées dans le système lorsque leurs marqueurs et contrôleurs locaux seront spécifiés. Nous avons documenté le code de sorte que l'extension soit facile.

La principale limite de MUSE-Expert est que son implémentation actuelle est restreinte au raisonnement conditionnel en logique propositionnelle.

Nous entrevoyons de ce fait plusieurs travaux futurs incluant :

- l'introduction graduelle d'autres types de logique (toujours selon le degré de complexité) ;

- la conduite de tests supplémentaires sur le CCL pour que le système puisse très aisément et efficacement reconnaître avec succès le type de logique à considérer pour ses inférences ;
- l'introduction de la notion de contexte pour que l'expert puisse inférer non plus sur des problèmes construits, mais sur la formalisation du contexte qu'il aurait fait lui-même de l'univers dans lequel il est plongé.

Nous avons abouti à un système complet capable de raisonner logiquement peu importe la difficulté du domaine. Comme nous l'avons aussi développé dans le mémoire, MUSE-Expert peut être utilisé soit comme une entité autonome qui évolue seul comme raisonneur dans un environnement, ou comme une entité autonome mais, intégré dans un cadre plus large. Nous l'avons testé dans cette deuxième perspective d'usage en l'intégrant comme module Expert du STI MUSE Logique. Il peut aussi être utilisé comme un support complémentaire dans un cours classique de logique en agissant comme une ressource d'aide à un cahier électronique d'exercice de logique. Nous avons développé un tel cahier utilisable dans le cadre d'un cours de logique qui se donne à l'UQAM (PHI1007).

D'autres perspectives de développement peuvent être envisagées. Par exemple, il n'est pas évident d'avoir des experts à disposition pour diverses raisons, ce qui rendrait le processus d'élicitation de la connaissance avec les logiciens difficile, voire impossible. Pour parer à cette éventualité, il faudrait se projeter dans un cadre qui offre des techniques d'apprentissage automatique de l'expert, soit un système qui apprendrait de lui-même. Pour ce faire il faut disposer de données pertinentes et considérables (liés au raisonnement logique) et appliquer des méthodes d'apprentissage automatique pour extraire les connaissances implicites. Par ailleurs, même si de nombreuses théories explicitent les bonnes règles d'inférences, il serait intéressant de trouver des facteurs qui les caractérisent au moment de l'usage. Nous croyons que des techniques d'apprentissage profond aideront à ce niveau, pour l'apprentissage des facteurs les plus importants dans le raisonnement logique sur

lesquels pourraient se fonder la construction automatique d'une machine à raisonner logiquement.

.

APPENDICE A

BANQUE D'ITEMS DES EXERCICES DE RAISONNEMENT

BANQUE D'ITEMS POUR MUSE LOGIQUE

CAUSALUS

Pensées alternatives : Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera.
 - Alternatives : lancer une chaise dans la fenêtre, lancer une brique dans la fenêtre, collision avec une voiture, manque tropicale, frapper la fenêtre avec un bâton, se projeter dans la fenêtre.

1. (MPP)

Règle : Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera.
Informations : On a lancé une roche dans la fenêtre.

On peut conclure que :

- A. La fenêtre brisera.
 - bonne réponse typique
- B. La fenêtre ne brisera pas.
 - mauvaise réponse atypique
- C. On ne peut conclure si la fenêtre brisera ou non.
 - mauvaise réponse typique

2. (MTT)

Règle : Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera.
Informations : La fenêtre n'est pas brisée.

On peut conclure que :

- A. On a lancé une roche dans la fenêtre.
 - mauvaise réponse atypique
- B. On n'a pas lancé de roche dans la fenêtre.
 - bonne réponse typique
- C. On ne peut conclure si on a lancé une roche dans la fenêtre ou non.
 - mauvaise réponse typique

3. (AC)

Règle : Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera.
Informations : La fenêtre est brisée.

On peut conclure que :

- A. On a lancé une roche dans la fenêtre.
 - mauvaise réponse typique
- B. On n'a pas lancé de roche dans la fenêtre.
 - mauvaise réponse atypique
- C. On ne peut conclure si on a lancé une roche dans la fenêtre ou non.
 - bonne réponse typique
- Si réponse # 3 : Pourquoi avez-vous répondu qu'on ne peut conclure si on a lancé une roche dans la fenêtre ou non?
- D. Ce n'est pas certain que si on y lance une roche, alors la fenêtre brisera
- E. La fenêtre peut être brisée pour d'autres raisons que d'y avoir lancé une roche.
- F. Autre

4. (DA)

Règle : Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera.
Informations : On n'a pas lancé de roche dans la fenêtre.

On peut conclure que :

- A. La fenêtre brisera.
 - mauvaise réponse atypique
- B. La fenêtre ne brisera pas.
 - mauvaise réponse typique
- C. On ne peut conclure si la fenêtre brisera ou non.
 - bonne réponse typique
- Si réponse # 3 : Pourquoi avez-vous répondu qu'on ne peut conclure si la fenêtre brisera ou non?
- D. Ce n'est pas certain que si on y lance une roche, alors la fenêtre brisera
- E. La fenêtre peut être brisée pour d'autres raisons que d'y avoir lancé une roche
- F. Autre

Peu d'alternatives : si un chien a des puces, alors il se gratte constamment.
Alternatives : Avoir une maladie de peau, avoir la peau sèche.

5. (ADP)

Règle : Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment.
Information : Fido a des puces.

On peut conclure que :

- 1 Fido se gratte constamment
 - bonne réponse typique
- 2 Fido ne se gratte pas constamment.
 - mauvaise réponse atypique
- 3 On ne peut conclure si Fido se gratte constamment ou non.
 - mauvaise réponse typique

6. (OCTT)

Règle : Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment.
Information : Fido ne se gratte pas constamment.

On peut conclure que :

- 1 Fido a des puces
 - mauvaise réponse atypique
- 2 Fido n'a pas de puces.
 - bonne réponse typique
- 3 On ne peut conclure si Fido a des puces ou non.
 - mauvaise réponse typique

3

Contre-factuels

Beaucoup d'alternatives : Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre.

Alternatives : Lancer de la moutarde sur une chemise, tracer une chemise dans la boue, porter une chemise plusieurs jours de suite, renverser de café sur une chemise, lancer des tomates sur une chemise.

9. (ADP)

Règle : Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre.
Information : On a lancé du ketchup sur une chemise.

On peut conclure que :

- 1 La chemise est propre
 - bonne réponse typique
- 2 La chemise n'est pas propre
 - mauvaise réponse atypique
- 3 On ne peut conclure si la chemise est propre ou non.
 - mauvaise réponse typique

10. (OCTT)

Règle : Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre.
Information : Une chemise n'est pas propre.

On peut conclure que :

- 1 On a lancé du ketchup sur la chemise.
 - mauvaise réponse atypique
- 2 On n'a pas lancé de ketchup sur la chemise
 - bonne réponse typique
- 3 On ne peut conclure si on a lancé du ketchup sur la chemise ou non.
 - mauvaise réponse typique

5

7. (AC)

Règle : Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment.
Information : Fido se gratte constamment.

On peut conclure que :

- 1 Fido a des puces
 - mauvaise réponse typique
- 2 Fido n'a pas de puces.
 - mauvaise réponse atypique
- 3 On ne peut conclure si Fido a des puces ou non.
 - bonne réponse typique
- Si réponse # 3 : Pourquoi avez-vous répondu qu'on ne peut conclure si Fido a des puces ou non?
- 1 Ce n'est pas certain que si Fido a des puces, alors il se gratte constamment
- 2 Fido peut se gratter constamment pour d'autres raisons qu'avoir des puces
- 3 Autre

8. (DA)

Règle : Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment.
Information : Fido n'a pas de puces.

On peut conclure que :

- 1 Fido se gratte constamment.
 - mauvaise réponse atypique
- 2 Fido ne se gratte pas constamment
 - mauvaise réponse typique
- 3 On ne peut conclure si Fido se gratte constamment ou non.
 - bonne réponse typique
- Si réponse # 3 : Pourquoi avez-vous répondu qu'on ne peut conclure si Fido se gratte constamment ou non?
- 1 Ce n'est pas certain que si Fido a des puces, alors il se gratte constamment
- 2 Fido peut se gratter constamment pour d'autres raisons qu'avoir des puces
- 3 Autre

4

11. (AC)

Règle : Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre.
Information : Une chemise est propre.

On peut conclure que :

- 1 On a lancé du ketchup sur la chemise.
 - mauvaise réponse typique
- 2 On n'a pas lancé de ketchup sur la chemise.
 - mauvaise réponse atypique
- 3 On ne peut conclure si on a lancé du ketchup sur la chemise ou non.
 - bonne réponse typique
- Si réponse # 3 : Pourquoi avez-vous répondu qu'on ne peut conclure si on a lancé du ketchup sur la chemise ou non?
- 1 Ce n'est pas certain que si on y lance du ketchup, alors la chemise deviendra propre
- 2 La chemise peut être propre pour d'autres raisons que d'y avoir lancé du ketchup
- 3 Autre

12. (DA)

Règle : Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre.
Information : On n'a pas lancé de ketchup sur une chemise.

On peut conclure que :

- 1 La chemise est propre.
 - mauvaise réponse atypique
- 2 La chemise n'est pas propre.
 - mauvaise réponse typique
- 3 On ne peut conclure si la chemise est propre ou non.
 - bonne réponse typique
- Si réponse # 3 : Pourquoi avez-vous répondu qu'on ne peut conclure si la chemise est propre ou non?
- 1 Ce n'est pas certain que si on y lance du ketchup, alors la chemise deviendra propre
- 2 La chemise peut être propre pour d'autres raisons que d'y avoir lancé du ketchup
- 3 Autre

6

Peu d'alternatives : Si Louise se brosses les dents régulièrement, alors elle aura des caries.
 Alternatives : Aller chez le dentiste régulièrement, ne pas manger de bonbons.

13. (MPP)

Règle : Si Louise se brosses les dents régulièrement, alors elle aura des caries.
 Information : Louise se brosses les dents régulièrement.

On peut conclure que :

1. Louise a des caries.
 - bonne réponse typique
2. Louise n'a pas de caries.
 - mauvaise réponse atypique
3. On ne peut conclure si Louise a des caries ou non.
 - mauvaise réponse typique

14. (MTT)

Règle : Si Louise se brosses les dents régulièrement, alors elle aura des caries.
 Information : Louise n'a pas de caries.

On peut conclure que :

1. Louise se brosses les dents régulièrement.
 - mauvaise réponse atypique
2. Louise ne se brosses pas les dents régulièrement.
 - bonne réponse typique
3. On ne peut conclure si Louise se brosses les dents régulièrement ou non.
 - mauvaise réponse typique

Abstrait : Si une personne meurt, alors elle deviendra piéde.
 Alternatives : Si une personne meurt, se une personne tharidom, etc.

17. (MPP)

Règle : Si une personne meurt, alors elle deviendra piéde.
 Information : Pierre meurt.

On peut conclure que :

1. Pierre est devenu piéde.
 - bonne réponse typique
2. Pierre n'est pas devenu piéde.
 - mauvaise réponse atypique
3. On ne peut conclure si Pierre est devenu piéde ou non.
 - mauvaise réponse typique

18. (MTT)

Règle : Si une personne meurt, alors elle deviendra piéde.
 Information : Pierre n'est pas devenu piéde.

On peut conclure que :

1. Pierre meurt.
 - mauvaise réponse atypique
2. Pierre ne meurt pas.
 - bonne réponse typique
3. On ne peut conclure si Pierre meurt ou non.
 - mauvaise réponse typique

15. (AC)

Règle : Si Louise se brosses les dents régulièrement, alors elle aura des caries.
 Information : Louise a des caries.

On peut conclure que :

1. Louise se brosses les dents régulièrement.
 - mauvaise réponse typique
2. Louise ne se brosses pas les dents régulièrement.
 - mauvaise réponse atypique
3. On ne peut conclure si Louise se brosses les dents régulièrement ou non.
 - bonne réponse typique
- Si réponse # 3 : Pourquoi avez-vous répondu qu'on ne peut conclure si Louise se brosses les dents régulièrement ou non?
 1. Ce n'est pas certain que si Louise se brosses les dents régulièrement, alors elle aura des caries.
 2. Louise peut avoir des caries pour d'autres raisons que se brosses les dents régulièrement.
 3. Autre

16. (DA)

Règle : Si Louise se brosses les dents régulièrement, alors elle aura des caries.
 Information : Louise ne se brosses pas les dents régulièrement.

On peut conclure que :

1. Louise a des caries.
 - mauvaise réponse atypique
2. Louise n'a pas de caries.
 - mauvaise réponse typique
3. On ne peut conclure si Louise a des caries ou non.
 - bonne réponse typique
- Si réponse # 3 : Pourquoi avez-vous répondu qu'on ne peut conclure si Louise aura des caries ou non?
 1. Ce n'est pas certain que si Louise se brosses les dents régulièrement, alors elle aura des caries.
 2. Louise peut avoir des caries pour d'autres raisons que se brosses les dents régulièrement.
 3. Autre

19. (AC)

Règle : Si une personne meurt, alors elle deviendra piéde.
 Information : Pierre est devenu piéde.

On peut conclure que :

1. Pierre meurt.
 - mauvaise réponse typique
2. Pierre ne meurt pas.
 - mauvaise réponse atypique
3. On ne peut conclure si Pierre meurt ou non.
 - bonne réponse typique
- Si réponse # 3 : Pourquoi avez-vous répondu qu'on ne peut conclure si Pierre meurt ou non?
 1. Ce n'est pas certain que si Pierre meurt, alors il deviendra Piéde.
 2. Pierre peut devenir Piéde pour d'autres raisons que s'il meurt.
 3. Autre

20. (DA)

Règle : Si une personne meurt, alors elle deviendra piéde.
 Information : Pierre ne meurt pas.

On peut conclure que :

1. Pierre est devenu piéde.
 - mauvaise réponse atypique
2. Pierre n'est pas devenu piéde.
 - mauvaise réponse typique
3. On ne peut conclure si Pierre est devenu piéde ou non.
 - bonne réponse typique
- Si réponse # 3 : Pourquoi avez-vous répondu qu'on ne peut conclure si Pierre est devenu Piéde ou non?
 1. Ce n'est pas certain que si Pierre meurt, alors il deviendra Piéde.
 2. Pierre peut devenir Piéde pour d'autres raisons que s'il meurt.
 3. Autre

APPENDICE C

MARQUEURS DE LA LOGIQUE DES PROPOSITIONS FOURNIS DU LANCI

MARQUEURS POUR LES OPERATEURS DE LA LOGIQUE CLASSIQUE DES PROPOSITIONS

Nous pourrions nous en tenir aux plus courants dans la langue naturelle.

Ces marqueurs sont suffisants pour générer des exercices.

LA NEGATION (\neg)

Non P

(sujet...) ne (verbe...) pas

(sujet...) n'(verbe...) pas

Ce n'est pas le cas que P

LA CONJONCTION ($\&$ & $\&$)

P et Q

P et également Q

P et aussi Q

P, mais Q

P, par contre Q

P, par ailleurs Q

P, cependant Q

P, Q

P; Q

Il est donc important de toujours mettre un point après la majeure d'un syllogisme, pour marquer qu'il y a une conjonction sous-entendue entre la majeure et la mineure.

LA DISJONCTION INCLUSIVE (\vee & \vee)

P et/ou Q (plus facile puisqu'il mentionne explicitement la duale)

P ou Q (plus difficile, puisqu'il ne mentionne pas la duale)

LA DISJONCTION EXCLUSIVE ($\vee\vee$ & $\vee\vee$)

Ou bien P, ou bien Q

L'INCOMPATIBILITE ($\bar{\&}$ & $\bar{\&}$)

P est incompatible avec Q

P n'est pas compatible avec Q

Pas P ou pas Q (incompatibilité dérivée de la disjonction)

Pas en même temps P et Q (incompatibilité dérivée de la conjonction)

L'affirmation ou la négation de P PEU IMPORTE Q

P [Q] : P peu importe ce qui arrive à Q

P quelle que soit la valeur de Q

\neg P [Q] : non-P peu importe ce qui arrive à Q

Non-P quelle que soit la valeur de Q

LA TAUTOLOGIE ($P \rightarrow Q$)

Il y a une tautologie entre P et Q

Il y a une loi logique entre P et Q

LA CONTRADICTION ($P \perp Q$)

Il y a une contradiction entre P et Q

P et Q se contredisent

LA CONDITIONNELLE OU L'IMPLICATION ($P \supset Q$)

Si P, alors Q

Q si P

P suffit pour Q

P est la condition suffisante pour Q

P est la cause de Q

P seulement si Q

Q est la condition nécessaire pour P

Q est nécessaire pour P

Q est l'effet de P

Le plus important : P donc Q : il faudra toujours commencer les choix de réponses aux syllogismes par un « donc », pour marquer qu'il y a toujours un si...alors sous-entendu entre les prémisses du raisonnement et la conclusion.

LA BICONDITIONNELLE OU L'EQUIVALENCE ($P \equiv Q$)

P est équivalent à Q

Q est équivalent à P

P si et seulement si Q

Q si et seulement si P

P est nécessaire et suffisant pour Q

Q est nécessaire et suffisant pour P

P est la condition nécessaire et suffisante pour Q

Q est la condition nécessaire et suffisante pour P

APPENDICE D

SUITE DES TESTS DE L'EXPERT : TEST 2 cas de l'EBF 6.1.1

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: $p \vee (\neg q)$

Infos: Quel est le pattern du raisonnement ?

Infos: Reponse de l'Expert: Operation effectuée:

$$a = \neg q$$

Operation effectuée:

$$b = p \vee a$$

la dernière colonne de la table de vérité de l'énoncé saisie est:

b

V

V

F

V

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: $(\neg p) \vee (\neg q)$

Infos: Quel est le pattern du raisonnement ?

Infos: Reponse de l'Expert: Operation effectuée:

$$a = \neg p$$

Operation effectuée:

$$b = \neg q$$

Operation effectuée:

$$c = a \vee b$$

la dernière colonne de la table de vérité de l'énoncé saisie est:

c

V

V

F

V

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: $(\neg(p \vee q)) = ((\neg p) \& (\neg q))$

Infos: $(\neg(p \vee q)) = ((\neg p) \& (\neg q))$

Infos: Est-ce une loi logique ?

Infos: Reponse de l'Expert: la dernière colonne de la table de vérité de l'énoncé saisie est:

f

V

V

V

V

la colonne résultante étant vrai partout, oui c'est bien une loi logique : la loi de dualité de Morgan(3)

Infos: *****Enoncé Propositionnel en Cours: $(\neg p) \vee (p \vee q)$

Infos: $(\neg p) \vee (p \vee q)$

Infos: Est-ce une loi logique ?

Infos: Reponse de l'Expert: la dernière colonne de la table de vérité de l'énoncé saisie est:

c

V

V

V

V

la colonne résultante étant vrai partout, oui c'est bien une loi logique : la loi du <<faux implique tout>>

APPENDICE E

SUITE DES TESTS DE L'EXPERT SUR LE RAISONNEMENT LOGIQUE 6.1.2

Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Information: La fenêtre est brisée

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

Intuitivement, on pourrait conclure: on lance une roche dans une fenêtre.

Ainsi, la transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel serait:

$((p > q) \& q) > p$.

Et La table de vérité serait:

Operation effectuée:

$a = p > q$

Operation effectuée:

$b = a \& q$

Operation effectuée:

$c = b > p$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

$p \ q \ a \ b \ c$

V V V V V

V F F F V

F V V V F

F F V F V

Comme la table de vérité

présente un Faux(F) au

Pattern de raisonnement, ce

qui explique qu'on ne peut

fournir un raisonnement valide

à ce problème.

Infos: - Règle: Si on lance une

roche dans une fenêtre, alors

la fenêtre brisera

Infos: Information: On n'a

pas lancé de roche dans la

fenêtre

Infos: Expert : On ne peut pas

conclure, c'est un

raisonnement de type Implicatif

dont le mode est le DA

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Information: On n'a pas lancé de roche dans la fenêtre

Que Peut-on conclure?

Infos: Premsse Majeure: Si on lance une roche dans une

fenêtre, alors la fenêtre brisera

antécédent de la majeure: on

lance une roche dans une

fenêtre

conséquent de la majeure: la

fenêtre brisera

La mineure: On n'a pas lancé

de roche dans la fenêtre

De ce fait, on déduit que la

solution est:

On ne peut pas conclure, pour

le raisonnement de type

Implicatif. Dont la règle

appliquée pour le mode de

raisonnement DA

Infos: - Règle: Si on lance une

roche dans une fenêtre, alors

la fenêtre brisera

Infos: Information: On n'a

pas lancé de roche dans la

fenêtre

Infos: Expert : On ne peut pas

conclure, c'est un

raisonnement de type Implicatif

dont le mode est le DA

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance une roche

dans une fenêtre, alors la

fenêtre brisera

Information: On n'a pas

lancé de roche dans la fenêtre

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

Intuitivement, on pourrait

conclure: on lance une roche

dans une fenêtre.

Ainsi, la transformation de ce

syllogisme en énoncé

propositionnel serait:

$((p > q) \& (\neg p)) > (\neg p)$.

Et La table de vérité serait:

Operation effectuée:

$a = p > q$

Operation effectuée:

$b = \neg p$

Operation effectuée:

$c = a \& b$

Operation effectuée:

$d = \neg p$

Operation effectuée:

$e = c > d$

Voici la table de Vérité de

l'énoncé saisi:

$p \ q \ a \ b \ c \ d \ e$

V V V F F F V

V F F F F F V

F V V V V V V

F F V V V V V

Comme la table de vérité

présente un Faux(F) au

Pattern de raisonnement, ce

qui explique qu'on ne peut

fournir un raisonnement valide

à ce problème.

Infos: - Règle: Si un chien a des

puces, alors il se gratte

constamment

Infos: Information: Fido a des

puces

Infos: Expert : Fido se gratte

constamment, c'est un

raisonnement de type Implicatif

dont le mode est le MPP

Infos: Exercice:

Règle: Si un chien a des puces,

alors il se gratte constamment

Information: Fido a des puces

Que Peut-on conclure?

Infos: Premsse Majeure: Si un

chien a des puces, alors il se gratte

constamment

antécédent de la majeure: un

chien a des puces

conséquent de la majeure: il se

gratte constamment

La mineure: Fido a des puces

De ce fait, on déduit que la

solution est:

Fido se gratte constamment, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement MPP

Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Infos: Information: Fido a des puces

Infos: Expert : Fido se gratte constamment, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MPP

Infos: Exercice:

Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Information: Fido a des puces

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

La transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel est:

$((p \supset q) \& p) \supset q$.

La table de vérité est donc:

Operation effectuée:

$a = p \supset q$

Operation effectuée:

$b = a \& p$

Operation effectuée:

$c = b \supset q$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c |
|---|---|---|---|---|
| V | V | V | V | V |
| V | F | F | F | V |
| F | V | V | F | V |
| F | F | V | F | V |

Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Infos: Information: Fido ne se gratte pas constamment

Infos: Expert : Fido n'a pas de puces, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MTT

Infos: Exercice:

Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Information: Fido ne se gratte pas constamment

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

Infos: Prémisses Majeure: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

antécédent de la majeure: un chien a des puces

conséquent de la majeure: il se gratte constamment

La mineure: Fido ne se gratte pas constamment

De ce fait, on déduit que la solution est:

Fido n'a pas de puces, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement MTT

Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Infos: Information: Fido ne se gratte pas constamment

Infos: Expert : Fido n'a pas de puces, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MTT

Infos: Exercice:

Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Information: Fido ne se gratte pas constamment

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

La transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel est:

$((p \supset q) \& (\neg q)) \supset (\neg p)$.

La table de vérité est donc:

Operation effectuée:

$a = p \supset q$

Operation effectuée:

$b = \neg q$

Operation effectuée:

$c = a \& b$

Operation effectuée:

$d = \neg p$

Operation effectuée:

$e = c \supset d$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V | V | V | F | F | F | V |
| V | F | F | V | F | F | V |
| F | V | V | F | F | V | V |
| F | F | V | V | V | V | V |

Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Infos: Information: Fido se gratte constamment

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC

Infos: Exercice:

Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Information: Fido se gratte constamment

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

Infos: Prémisses Majeure: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

antécédent de la majeure: un chien a des puces

conséquent de la majeure: il se gratte constamment

La mineure: Fido se gratte constamment

De ce fait, on déduit que la solution est:

On ne peut pas conclure, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement AC

Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Infos: Information: Fido se gratte constamment

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC

Infos: Exercice:

Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Information: Fido se gratte constamment

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

Intuitivement, on pourrait conclure: un chien a des puces.

Ainsi, la transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel serait:

$((p \supset q) \& q) \supset p$.

Et La table de vérité serait:

Operation effectuée:

$a = p \supset q$

Operation effectuée:

$b = a \& q$

Operation effectuée:

$c = b \supset p$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c |
|---|---|---|---|---|
| V | V | V | V | V |
| V | F | F | F | V |
| F | V | V | V | F |
| F | F | V | F | V |

Comme la table de vérité présente un Faux(F) au Pattern de raisonnement, ce qui explique qu'on ne peut fournir un raisonnement valide à ce problème.

Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Infos: Information: Fido n'a pas de puces

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le DA

Infos: Exercice:

Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Information: Fido n'a pas de puces

Que Peut-on conclure?

Infos: Prémisses Majeure: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

antécédent de la majeure: un chien a des puces

conséquent de la majeure: il se gratte constamment

La mineure: Fido n'a pas de puces

De ce fait, on déduit que la solution est:

On ne peut pas conclure, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement DA

Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Infos: Information: Fido n'a pas de puces

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le DA

Infos: Exercice:

Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Information: Fido n'a pas de puces

Que Peut-on conclure?

Infos: ----
Intuitivement, on pourrait conclure: un chien a des puces.

Ainsi, la transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel serait:

$((p \rightarrow q) \& (\neg p)) \rightarrow (\neg p)$.

Et La table de vérité serait:

Opération effectuée:

$a = p > q$

Opération effectuée:

$b = \neg p$

Opération effectuée:

$c = a \& b$

Opération effectuée:

$d = \neg p$

Opération effectuée:

$e = c > d$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V | V | V | F | F | F | V |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V | F | F | F | F | F | V |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| F | V | V | V | V | V | V |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| F | F | V | V | V | V | V |
|---|---|---|---|---|---|---|

Comme la table de vérité présente un Faux(F) au Pattern de raisonnement, ce qui explique qu'on ne peut fournir un raisonnement valide à ce problème.

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: On a lancé du ketchup sur une chemise

Infos: Expert : La chemise est propre, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MPP

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Information: On a lancé du ketchup sur une chemise

Que Peut-on conclure?

Infos: Prémisses Majeure: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

antécédent de la majeure: on lance du ketchup sur une chemise

conséquent de la majeure: elle deviendra propre

La mineure: On a lancé du ketchup sur une chemise

De ce fait, on déduit que la solution est:
La chemise est propre, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement MPP

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: On a lancé du ketchup sur une chemise

Infos: Expert : La chemise est propre, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MPP

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Information: On a lancé du ketchup sur une chemise

Que Peut-on conclure?

Infos: ----
La transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel est:

$((p \rightarrow q) \& p) \rightarrow q$.

La table de vérité est donc:

Opération effectuée:

$a = p > q$

Opération effectuée:

$b = a \& p$

Opération effectuée:

$c = b > q$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c |
|---|---|---|---|---|
| V | V | V | V | V |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| V | F | F | F | V |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| F | V | V | F | V |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| F | F | V | F | V |
|---|---|---|---|---|

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: Une chemise n'est pas propre

Infos: Expert : On n'a pas lancé de ketchup sur la chemise, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MTT

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Information: Une chemise n'est pas propre

Que Peut-on conclure?

Infos: Prémisses Majeure: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

antécédent de la majeure: on lance du ketchup sur une chemise

conséquent de la majeure: elle deviendra propre

La mineure: Une chemise n'est pas propre

De ce fait, on déduit que la solution est:

On n'a pas lancé de ketchup sur la chemise, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement MTT

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: Une chemise n'est pas propre

Infos: Expert : On n'a pas lancé de ketchup sur la chemise, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MTT

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Information: Une chemise n'est pas propre

Que Peut-on conclure?

 Infos: ----
 La transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel est:
 $((p > q) \& (\neg q)) > (\neg p)$.

 La table de vérité est donc:
 Operation effectuée:
 $a = p > q$
 Operation effectuée:
 $b = \neg q$
 Operation effectuée:
 $c = a \& b$
 Operation effectuée:
 $d = \neg p$
 Operation effectuée:
 $e = c > d$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V | V | V | F | F | F | V |
| V | F | F | V | F | F | V |
| F | V | V | F | F | V | V |
| F | F | V | V | V | V | V |

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: Une chemise est propre

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Information: Une chemise est propre

Que Peut-on conclure?

 Infos: Prémisse Majeure: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

antécédent de la majeure: on lance du ketchup sur une chemise conséquent de la majeure: elle deviendra propre

La mineure: Une chemise est propre

 De ce fait, on déduit que la solution est:

On ne peut pas conclure, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement AC

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: Une chemise est propre

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Information: Une chemise est propre

Que Peut-on conclure?

 Infos: ----
 Intuitivement, on pourrait conclure: on lance du ketchup sur une chemise.

Ainsi, la transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel serait:

$((p > q) \& q) > p$.

Et La table de vérité serait:

Operation effectuée:

$a = p > q$

Operation effectuée:

$b = a \& q$

Operation effectuée:

$c = b > p$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c |
|---|---|---|---|---|
| V | V | V | V | V |
| V | F | F | F | V |
| F | V | V | V | F |
| F | F | V | F | V |

Comme la table de vérité présente un Faux(F) au Pattern de raisonnement, ce qui explique qu'on ne peut fournir un raisonnement valide à ce problème.

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: On n'a pas lancé de ketchup sur une chemise

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le DA

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Information: On n'a pas lancé de ketchup sur une chemise

Que Peut-on conclure?

 Infos: Prémisse Majeure: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

antécédent de la majeure: on lance du ketchup sur une chemise conséquent de la majeure: elle deviendra propre

La mineure: On n'a pas lancé de ketchup sur une chemise

 De ce fait, on déduit que la solution est:

On ne peut pas conclure, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement DA

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: On n'a pas lancé de ketchup sur une chemise

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le DA

Infos: Exercice:

Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Information: On n'a pas lancé de ketchup sur une chemise

Que Peut-on conclure?

 Infos: ----
 Intuitivement, on pourrait conclure: on lance du ketchup sur une chemise.

Ainsi, la transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel serait:

$((p > q) \& (\neg p)) > (\neg p)$.

Et La table de vérité serait:

Operation effectuée:

$a = p > q$

Operation effectuée:

$b = \neg p$

Operation effectuée:

$c = a \& b$

Operation effectuée:

$d = \neg p$

Operation effectuée:

$e = c > d$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V | V | V | F | F | F | V |
| V | F | F | F | F | F | V |
| F | V | V | V | V | V | V |
| F | F | V | V | V | V | V |

Comme la table de vérité présente un Faux(F) au Pattern de raisonnement, ce qui explique qu'on ne peut fournir un raisonnement valide à ce problème.

Infos: - Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Infos: Information: Louise se brosse les dents régulièrement

Infos: Expert : Louise a des caries, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MPP

Infos: Exercice:

Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Information: Louise se brosse les dents régulièrement

Que Peut-on conclure?

Infos: Premsse Majeure: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

antécédent de la majeure: Louise se brosse les dents régulièrement

conséquent de la majeure: elle aura des caries

La mineure: Louise se brosse les dents régulièrement

De ce fait, on déduit que la solution est:

Louise a des caries, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement MPP

Infos: - Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Infos: Information: Louise se brosse les dents régulièrement

Infos: Expert : Louise a des caries, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MPP

Infos: Exercice:

Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Information: Louise se brosse les dents régulièrement

Que Peut-on conclure?

Infos: ----
La transformation de ce syllogisme en enonce propositionnel est:

$((p > q) \& p) > q$.

La table de vérité est donc:

Operation effectuée:

$a = p > q$

Operation effectuée:

$b = a \& p$

Operation effectuée:

$c = b > q$

Voici la table de Vérité de l'enoncé saisi:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| p | q | a | b | c |
| V | V | V | V | V |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| V | F | F | F | V |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| F | V | V | F | V |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| F | F | V | F | V |
|---|---|---|---|---|

Infos: - Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Infos: Information: Louise n'a pas de caries

Infos: Expert : Louise ne se brosse pas les dents régulièrement, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MTT

Infos: Exercice:

Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Information: Louise n'a pas de caries

Que Peut-on conclure?

Infos: Premsse Majeure: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

antécédent de la majeure: Louise se brosse les dents régulièrement

conséquent de la majeure: elle aura des caries

La mineure: Louise n'a pas de caries

De ce fait, on déduit que la solution est:

Louise ne se brosse pas les dents régulièrement, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement MTT

Infos: - Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Infos: Information: Louise n'a pas de caries

Infos: Expert : Louise ne se brosse pas les dents régulièrement, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MTT

Infos: Exercice:

Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Information: Louise n'a pas de caries

Que Peut-on conclure?

Infos: ----
La transformation de ce syllogisme en enonce propositionnel est:

$((p > q) \& (\sim q)) > (\sim p)$.

La table de vérité est donc:

Operation effectuée:

$a = p > q$

Operation effectuée:

$b = \sim q$

Operation effectuée:

$c = a \& b$

Operation effectuée:

$d = \sim p$

Operation effectuée:

$e = c > d$

Voici la table de Vérité de l'enoncé saisi:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| p | q | a | b | c | d | e |
| V | V | V | F | F | F | V |
| V | F | F | V | F | F | V |
| F | V | F | F | F | V | V |
| F | F | V | V | V | V | V |

Infos: - Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Infos: Information: Louise a des caries

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC

Infos: Exercice:

Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Information: Louise a des caries

Que Peut-on conclure?

Infos: Premsse Majeure: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

antécédent de la majeure: Louise se brosse les dents régulièrement

conséquent de la majeure: elle aura des caries

La mineure: Louise a des caries

De ce fait, on déduit que la solution est:

On ne peut pas conclure, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement AC

Infos: - Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Infos: Information: Louise a des caries

Infos:

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC

Infos: Exercice:

Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Information: Louise a des caries

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

Intuitivement, on pourrait conclure: Louise se brosse les dents régulièrement.

Ainsi, la transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel serait: $((p > q) \& q) > p$.

Et La table de vérité serait:

Operation effectuée:

$a = p > q$

Operation effectuée:

$b = a \& q$

Operation effectuée:

$c = b > p$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c |
|---|---|---|---|---|
| V | V | V | V | V |
| V | F | F | F | V |
| F | V | V | V | F |
| F | F | V | F | V |

Comme la table de vérité présente un Faux(F) au Pattern de raisonnement, ce qui explique qu'on ne peut fournir un raisonnement valide à ce problème.

Infos: - Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Infos: Information: Louise ne se brosse pas les dents régulièrement

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le DA

Infos: Exercice:

Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Information: Louise ne se brosse pas les dents régulièrement

Que Peut-on conclure?

Infos: Prémisse Majeure: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

antécédent de la majeure: Louise se brosse les dents régulièrement

conséquent de la majeure: elle aura des caries

La mineure: Louise ne se brosse pas les dents régulièrement

De ce fait, on déduit que la solution est:

On ne peut pas conclure, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement DA

Infos: - Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Infos: Information: Louise ne se brosse pas les dents régulièrement

Infos: Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le DA

Infos: Exercice:

Règle: Si Louise se brosse les dents régulièrement, alors elle aura des caries

Information: Louise ne se brosse pas les dents régulièrement

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

Intuitivement, on pourrait conclure: Louise se brosse les dents régulièrement.

Ainsi, la transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel serait:

$((p > q) \& (\neg p)) > (\neg p)$.

Et La table de vérité serait:

Operation effectuée:

$a = p > q$

Operation effectuée:

$b = \neg p$

Operation effectuée:

$c = a \& b$

Operation effectuée:

$d = \neg p$

Operation effectuée:

$e = c > d$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V | V | V | F | F | F | V |
| V | F | F | F | F | F | V |
| F | V | V | V | V | V | V |
| F | F | V | V | V | V | V |

Comme la table de vérité présente un Faux(F) au Pattern de raisonnement, ce qui explique qu'on ne peut fournir un raisonnement valide à ce problème.

Infos: - Règle: Si une personne morp, alors elle deviendra plede

Infos: Information: Pierre morp

Infos: Expert : Pierre est devenu plede, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MPP

Infos: Exercice:

Règle: Si une personne morp, alors elle deviendra plede

Information: Pierre morp

Que Peut-on conclure?

Infos: Prémisse Majeure: Si une personne morp, alors elle deviendra plede

antécédent de la majeure: une personne morp

conséquent de la majeure: elle deviendra plede

La mineure: Pierre morp

De ce fait, on déduit que la solution est:

Pierre est devenu plede, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement MPP

Infos: - Règle: Si une personne morp, alors elle deviendra plede

Infos: Information: Pierre morp

Infos: Expert : Pierre est devenu plede, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MPP

Infos: Exercice:

Règle: Si une personne morp, alors elle deviendra plede

Information: Pierre morp

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

La transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel est:

$((p > q) \& p) > q$.

La table de vérité est donc:

Operation effectuée:

$a = p > q$

Operation effectuée:

$b = a \& p$

Operation effectuée:

$c = b > q$

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c |
|---|---|---|---|---|
| V | V | V | V | V |
| V | F | F | F | V |
| F | V | V | F | V |
| F | F | V | F | V |

Infos: - Règle: Si une personne morp, alors elle deviendra plede

Infos: Information: Pierre n'est pas devenu plede

Infos: Expert : Pierre ne morp pas, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MTT

Infos: Exercice:

Règle: Si une personne morp, alors elle deviendra plede

Information: Pierre n'est pas devenu plede

Que Peut-on conclure?

Infos: *Premisse Majeure: Si une personne morp, alors elle deviendra plede*
antécédent de la majeure: une personne morp
conséquent de la majeure: elle deviendra plede
La mineure: Pierre n'est pas devenu plede

 De ce fait, on déduit que la solution est:
Pierre ne morp pas, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement MTT

Infos: - Règle: *Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

Infos: *Information: Pierre n'est pas devenu plede*

Infos: *Expert : Pierre ne morp pas, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le MTT*

Infos: *Exercice:*

Règle: *Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

Information: Pierre n'est pas devenu plede

Que Peut-on conclure?

Infos: ----

La transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel est:

((p>q)&(¬q))>(¬q).

La table de vérité est donc:

Operation effectuée:

a = p > q

Operation effectuée:

b = ¬q

Operation effectuée:

c = a & b

Operation effectuée:

d = ¬q

Operation effectuée:

e = c > d

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V | V | F | F | F | V | V |
| V | F | V | F | V | V | V |
| F | V | V | F | F | V | V |
| F | F | V | V | V | V | V |

Infos: - Règle: *Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

Infos: *Information: Pierre est devenu plede*

Infos: *Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC*

Infos: *Exercice:*

Règle: *Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

Information: Pierre est devenu plede

Que Peut-on conclure?

Infos: *Premisse Majeure: Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

antécédent de la majeure: une personne morp

conséquent de la majeure: elle deviendra plede

La mineure: Pierre est devenu plede

De ce fait, on déduit que la solution est:

On ne peut pas conclure, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement AC

Infos: - Règle: *Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

Infos: *Information: Pierre est devenu plede*

Infos: *Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le AC*

Infos: *Exercice:*

Règle: *Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

Information: Pierre est devenu plede

Que Peut-on conclure?

Infos: ----
 Intuitivement, on pourrait conclure: *une personne morp.*

Ainsi, la transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel serait:

((p>q)&q)>p.

Et La table de vérité serait:

Operation effectuée:

a = p > q

Operation effectuée:

b = a & q

Operation effectuée:

c = b > p

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c |
|---|---|---|---|---|
| V | V | V | V | V |
| V | F | F | F | V |
| F | V | V | V | F |
| F | F | V | F | V |

F F V F V

F F V F V

Comme la table de vérité présente un Faux(F) au Pattern de raisonnement, ce qui explique qu'on ne peut fournir un raisonnement valide à ce problème.

Infos: - Règle: *Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

Infos: *Information: Pierre ne morp pas*

Infos: *Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le DA*

Infos: *Exercice:*

Règle: *Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

Information: Pierre ne morp pas

Que Peut-on conclure?

Infos: *Premisse Majeure: Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

antécédent de la majeure: une personne morp

conséquent de la majeure: elle deviendra plede

La mineure: Pierre ne morp pas

De ce fait, on déduit que la solution est:

On ne peut pas conclure, pour le raisonnement de type Implicatif. Dont la règle appliquée pour le mode de raisonnement DA

Infos: - Règle: *Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

Infos: *Information: Pierre ne morp pas*

Infos: *Expert : On ne peut pas conclure, c'est un raisonnement de type Implicatif dont le mode est le DA*

Infos: *Exercice:*

Règle: *Si une personne morp, alors elle deviendra plede*

Information: Pierre ne morp pas

Que Peut-on conclure?

Infos: ----
 Intuitivement, on pourrait conclure: *une personne morp.*

Ainsi, la transformation de ce syllogisme en énoncé propositionnel serait:

((p>q)&(¬p))>(¬p).

Et La table de vérité serait:

Operation effectuée:

a = p > q

Operation effectuée:

b = ¬p

Operation effectuée:

c = a & b

Operation effectuée:

d = ¬p

Operation effectuée:

e = c > d

Voici la table de Vérité de l'énoncé saisi:

| p | q | a | b | c | d | e |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V | V | V | F | F | F | F |
| V | F | F | V | F | F | F |
| F | V | V | V | V | V | V |
| F | F | V | F | F | F | F |

V V V F F F V
V F F F F F V
F V V V V V V
F F V V V V V

Comme la table de vérité présente un Faux(F) au Pattern de raisonnement, ce qui explique qu'on ne peut fournir un

raisonnement valide à ce problème.

APPENDICE F

SUITE DES TESTS DE L'EXPERT DANS LE DIAGNOSTIQUE DU
RAISONNEMENT LOGIQUE 6.1.3

Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Infos: Information: On a lancé une roche dans la fenêtre

Infos: --Ta réponse est : La fenêtre brisera.

Bravo tu as trouvé!!!

--Réponse de l'Expert: La fenêtre brisera.

Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Infos: Information: La fenêtre n'est pas brisée

Infos: --Ta réponse est : On a lancé une roche dans la fenêtre.

Désolé, ta réponse est une mauvaise inférence.

Attention, tu dois toujours considérer que tes informations sont vraies dans un sens de l'implication.

Ce type d'erreur n'est pas typique.

--Réponse de l'Expert: On n'a pas lancé de roche dans la fenêtre.

Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Infos: Information: La fenêtre est brisée

Infos: --Ta réponse est : On a lancé une roche dans la fenêtre.

Désolé, ta réponse est une mauvaise inférence.

****Explications:** Attention!!! Tu viens de faire un sophisme d'affirmation du conséquent (AC) de la forme $((p \rightarrow q) \wedge q) \rightarrow p$.

Ceci parce que tu as traité l'implication comme une équivalence, en considérant que si $p \rightarrow q$ alors $q \rightarrow p$. Il faut toujours considérer l'antécédent comme le seul possible de ton inférence.

****Conseils:** Si tu penses à d'autres causes alternatives qui peuvent impliquer q alors, tu verras qu'on ne peut conclure avec certitude p .

Tu pourrais faire un tour dans le Volet Métacognitif pour visualiser ton cheminement cognitif.

****Exemples de causes alternatives:** lancer une chaise dans la fenêtre, lancer une brique dans la fenêtre, collision avec une voiture, tempête tropicale, frapper la fenêtre avec un bâton, se projeter dans la fenêtre.

.

--Réponse de l'Expert: On ne peut pas conclure.

Infos: - Règle: Si on lance une roche dans une fenêtre, alors la fenêtre brisera

Infos: Information: On n'a pas lancé de roche dans la fenêtre

Infos: --Ta réponse est : On ne peut pas conclure.

Bravo tu as trouvé!!!

--Réponse de l'Expert: On ne peut pas conclure.

Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Infos: Information: Fido a des puces

Infos: --Ta réponse est : Fido se gratte constamment.

Bravo tu as trouvé!!!

--Réponse de l'Expert: Fido se gratte constamment.

...

...

...

Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Infos: Information: Fido ne se gratte pas constamment

Infos: --Ta réponse est : Fido n'a pas de puces.

Bravo tu as trouvé!!!

--Reponse de l'Expert: Fido n'a pas de puces.

Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Infos: Information: Fido se gratte constamment

Infos: --Ta reponse est : Fido a des puces.

Désolé, ta réponse est une mauvaise inférence.

****Explications:** Attention!!! Tu viens de faire un sophisme d'affirmation du conséquent (AC) de la forme $((p \rightarrow q) \& q) \rightarrow p$.

Ceci parce que tu as traité l'implication comme une équivalence, en considérant que si $p \rightarrow q$ alors $q \rightarrow p$. Il faut toujours considérer l'antécédent comme le seul possible de ton inférence.

****Conseils:** Si tu penses à d'autres causes alternatives qui peuvent impliquer q alors, tu verras qu'on ne peut conclure avec certitude p .

Tu pourrais faire un tour dans le Volet Métacognitif pour visualiser ton cheminement cognitif.

****Exemples de causes alternatives:** Avoir une maladie de peau, avoir la peau sèche.

--Reponse de l'Expert: On ne peut pas conclure.

Infos: - Règle: Si un chien a des puces, alors il se gratte constamment

Infos: Information: Fido n'a pas de puces

Infos: --Ta reponse est : Fido ne se gratte pas constamment.

Désolé, ta réponse est une mauvaise inférence.

****Explications:** Attention!!! Tu viens de faire un sophisme de négation de l'antécédent (NA) qui a pour forme $((p \rightarrow q) \& \neg p) \rightarrow \neg q$.

Ceci parce que tu as traité l'implication comme une équivalence de la négation, en considérant que si $(\neg p) \rightarrow (\neg q)$ alors $p \rightarrow q$. Il faut toujours considérer l'antécédent comme le seul possible de ton inférence.

****Conseils:** Si tu penses à d'autres conséquents alternatives qui peuvent impliquer q alors, tu verras que plusieurs choses peuvent survenir même si on

nie l'antécédent. Donc on ne peut conclure avec certitude $\neg q$.

Tu pourrais faire un tour dans le Volet Métacognitif pour visualiser ton cheminement cognitif.

****Exemples de causes alternatives:** Avoir une maladie de peau, avoir la peau sèche.

--Reponse de l'Expert: On ne peut pas conclure.

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: On a lancé du ketchup sur une chemise

Infos: --Ta reponse est : On ne peut pas conclure.

Désolé, ta réponse est une mauvaise inférence.

Attention, tu dois toujours considérer que tes informations sont vraies dans un sens de l'implication.

Ce type d'erreur n'est pas typique.

--Reponse de l'Expert: La chemise est propre.

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: Une chemise n'est pas propre

Infos: --Ta reponse est : On n'a pas lancé de ketchup sur la chemise.

Bravo tu as trouvé!!!

--Reponse de l'Expert: On n'a pas lancé de ketchup sur la chemise.

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: Une chemise est propre

Infos: --Ta reponse est : On a lancé du ketchup sur la chemise.

Désolé, ta réponse est une mauvaise inférence.

****Explications:** Attention!!! Tu viens de faire un sophisme d'affirmation du conséquent (AC) de la forme $((p \rightarrow q) \& q) \rightarrow p$.

Ceci parce que tu as traité l'implication comme une équivalence, en considérant que si $p \rightarrow q$ alors $q \rightarrow p$. Il faut toujours considérer l'antécédent comme le seul possible de ton inférence.

****Conseils:** Si tu penses à d'autres causes alternatives qui peuvent impliquer q alors, tu verras qu'on ne peut conclure avec certitude p. ...

Tu pourrais faire un tour dans le Volet Métacognitif pour visualiser ton cheminement cognitif.

****Exemples de causes alternatives:** Lancer de la moutarde sur une chemise, trainer une chemise dans la boue, porter une chemise plusieurs jours de suite, renverser du café sur une chemise, lancer des tomates sur une chemise.

--Reponse de l'Expert: On ne peut pas conclure.

Infos: - Règle: Si on lance du ketchup sur une chemise, alors elle deviendra propre

Infos: Information: On n'a pas lancé de ketchup sur une chemise

Infos: --Ta reponse est : La chemise n'est pas propre.

Désolé, ta réponse est une mauvaise inférence.

****Explications:** Attention!!! Tu viens de faire un sophisme de négation de l'antécédent (NA) qui a pour forme $((p \rightarrow q) \& \neg p) \rightarrow \neg q$.

Ceci parce que tu as traité l'implication comme une équivalence de la négation, en considérant que si $(\neg p) \rightarrow (\neg q)$ alors $p \rightarrow q$. Il faut toujours considérer l'antécédent comme le seul possible de ton inférence.

****Conseils:** Si tu penses à d'autres conséquents alternatives qui peuvent impliquer q alors, tu verras que plusieurs choses peuvent survenir même si on nie l'antécédent. Donc on ne peut conclure avec certitude $\neg q$.

Tu pourrais faire un tour dans le Volet Métacognitif pour visualiser ton cheminement cognitif.

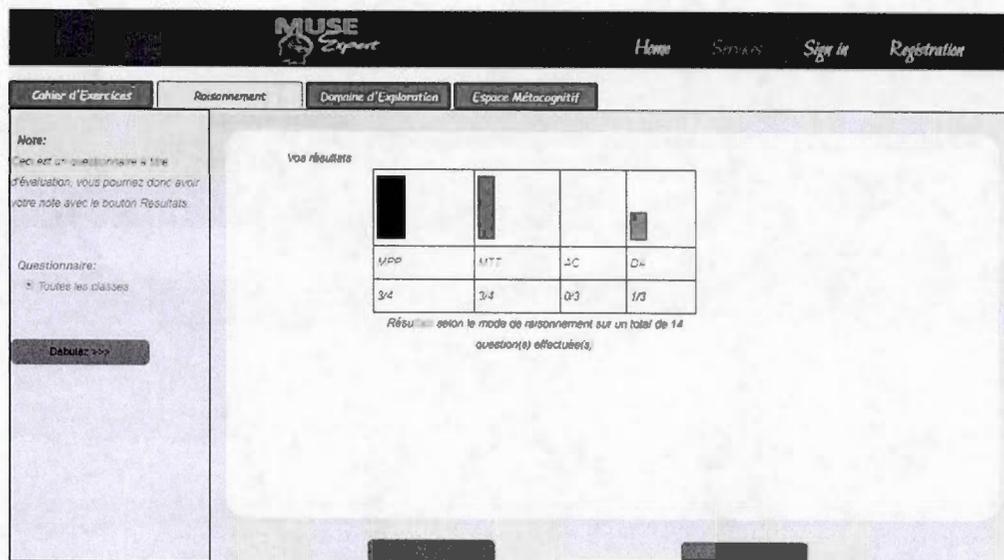
****Exemples de causes alternatives:** Lancer de la moutarde sur une chemise, trainer une chemise dans la boue, porter une chemise plusieurs jours de suite, renverser du café sur une chemise, lancer des tomates sur une chemise.

--Reponse de l'Expert: On ne peut pas conclure.

...

APPENDICE G

AFFICHAGE DES RÉSULTATS DANS MUSE-Expert 6.2.3



Résultats selon le mode de raisonnement :

APPENDICE H

CAPTURES D'ECRAN EXERCICES DUSTI MUSE-Logique 6.2.3

MUSE
Accueil Services Inscription Qui sommes nous Plus...

Exercices Explication de l'exercice Visualisation cognitive

Zone de travail

Enoncé: L'exercice suivant est un syllogisme. Choisissez la conclusion valide

Règles: Si une personne morp, alors elle deviendra plede
 Information: Pierre ne morp pas
 On peut conclure que

- On ne peut pas conclure
- Pierre est devenu plede
- Pierre n'est pas devenu plede

Valider Suivant Quitter

Feedback du joueur

Pourquoi dis-tu qu'on ne peut pas conclure dans cette situation ?

- Ça n'est pas certain que si Pierre morp, alors il deviendra Plede
- Pierre peut devenir Plede pour d'autres raisons que s'il morp
- Autre...

Bonne réponse ! Continue comme ça
 Cet exercice était un DA dont le type de raisonnement mis en jeu est implicite!

Very Good

Instructions Aide Leçons Résultats

Exercice réussi dans MUSE-Logique -2

MUSE
Accueil Services Inscription Qui sommes nous Plus...

Exercices Explication de l'exercice Visualisation cognitive

Zone de travail

Exercice: La question suivante consiste à vérifier si un énoncé est bien formé. Choisissez la bonne réponse.

Enoncé: $(p \wedge q) \rightarrow (\neg p \wedge \neg q)$

- well formed
- not well formed

Valider Suivant Quitter

Feedback du joueur

Bonne réponse ! Continue comme ça

Instructions Aide Leçons Résultats

Exercice de Notions dans MUSE-Logique -1

The screenshot shows the MUSE-Logique web application interface. At the top, there is a navigation bar with the MUSE logo and links for Accueil, Services, Inscription, Qui sommes nous, and Plus. A user profile icon and a Déconnexion button are also visible. Below the navigation bar, the page title is "Exercices" and the breadcrumb is "Exploration des domaines" > "Muséologie cognitive".

The main content area is split into two panels. The left panel, titled "Zone de travail", contains the following text:
Exercice: La question suivante consiste à vérifier si un énoncé logique est une loi logique.
Choisissez la bonne réponse.
Énoncé: $(\forall x) \& ((p \vee q) \vee (p \& \neg q))$

A dropdown menu is open, showing the following options:
loi du tiers exclu
non
loi de l'implication
loi de non-contradiction
loi de double négation
loi de dualité de Morgan(1)
loi de dualité de Morgan(2)

The right panel, titled "Feedback du tutor", is currently empty and contains a play button icon. At the bottom of the interface, there are buttons for "Valider", "Suivant", and "Quitter", along with icons for "Interactions", "Aide", "Lecteur", and "Rechercher".

Exercice de Notions dans MUSE-Logique -2

BIBLIOGRAPHIE

- Adams, E. (2005). Intelligence Artificielle, Modèles de raisonnement et de connaissances. [Notes de cours et illustrations]. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis.
- Agarwal, M., Goel, S. (2014). Expert system and its requirement engineering process: Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE).
- Aleven, V. (2010). Rule-based cognitive modeling for intelligent tutoring systems *Advances in intelligent tutoring systems* (p. 33-62): Springer International Publishing.
- Andler, D. (2004). Logique, Raisonnement et Psychologie. Dans *Introduction aux Sciences Cognitives* (pp. 315-405). Édition Gallimard.
- Blanché, R., Sebestik, J. (2017). Logique. In *Universalis éducation*. [En ligne]. Encyclopædia Universalis, consulté le 13 août 2017. Disponible sur <http://www.universalis-edu.com.proxy.bibliotheques.uqam.ca:2048/encyclopedie/logique/>
- Bonin, M. (2012). La redéfinition du concept de sophisme par la théorie pragmatodialectique de l'argumentation. Retrieved from d'Archipel. <http://www.archipel.uqam.ca/5229/1/M12701.pdf>
- Buchanan, G., Shortliffe, H. (1984). *Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*.
- Byrne, M. J., Johnson-Laird, N. P. (2009). 'if' and the problems of conditional reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(7), 282-287.
- Champavère, J. (2007). *Logique des Propositions et Logique des Prédicats*. [Notes de cours et illustrations]. École Internationale des Sciences du Traitement de l'information : Département Systèmes Informatiques formels et Intelligents.
- Charbonnier, M. (2008). *Les Systèmes Experts*. (Mastère ASIG). École Nationale des Sciences Géographiques.
- Cloutier, A. (2016). *Métacognition, Raisonnement Logique et Philosophie pour enfants*. (Mémoire de maîtrise). Université du Québec à Montréal. Récupéré d'Archipel, l'archive de publications électroniques de l'uqam. www.archipel.uqam.ca/8663/1/M14363.pdf
- Evans, J. S. B. (2002). Logic and human reasoning: an assessment of the deduction paradigm. *Psychological bulletin*, 128(6), 978.
- Fournier-Viger, P. (2005) *Un Modèle de Représentation des Connaissances à Trois Niveaux de Sémantiques pour Les Systèmes Tutoriels Intelligents*. (Mémoire de maîtrise). Université de Sherbrooke.
- Gauffroy, C. (2011). *La théorie modifiée des modèles mentaux : Une approche développementale du raisonnement conditionnel*. (Thèse). Université de

- Genève. Récupéré d'Unige, l'archive de publications électroniques de UNIGE. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:16152/ATTACHMENT01>
- Giroto, V. (1995). Sur les fondements de la théorie des modèles mentaux à propos de l'article à propos de l'article de P. Oléron. Dans *L'année psychologique*, 95(4), 707-715.
- Hatchuel, A., Weill, B. L'Expert et le Système, suivi de quatre histoires de systèmes-experts. *Revue française de sociologie*, 35(1), 137-139.
- Haton, J.P. (2000, septembre). L'intelligence artificielle. 263e conférence de l'Université de tous les savoirs, le 19 Septembre 2000 en France.
- Hottois, G. (2002). *Penser la logique: Une introduction technique et théorique à la philosophie de la logique et du langage*. Louvain-la-Neuve, Belgique: De Boeck Supérieur, 5-91.
- İnan, Ö., Arslan, D., Taşdemir, Ş. et al. (2011). Application of fuzzy expert system approach on prediction of some quality characteristics of grape juice concentrate (Pekmez) after different heat treatments, 48(4), 423-431.
- Johnson-Laird, N. P. (2001). Mental models and deduction. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(10), 434-442.
- Le Ber, F., Lieber, J., Napoli, A. (2006). Les systèmes à base de connaissances. *Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'information*, Vuibert, 1197-1208.
- Lebeau, J.F. (2007) Une architecture de Connaissance pour les Systèmes Tutoriels Intelligents, 9-93. (Mémoire de maîtrise). Université de Sherbrooke.
- Liao, S-H. (2005). Expert system methodologies and applications—A decade review from 1995 to 2004. *Expert System with Application*, 28, 93–103.
- Loveland, D., Hodel, R., & Sterrett, S. (2014). *Three Views of Logic: Mathematics, Philosophy, and Computer Science*. Princeton University Press. Retrieved from <http://www.jstor.org.proxy.bibliotheques.uqam.ca:2048/stable/j.ctt5hhqc8M>
- alek, Maria. (2008). *Systèmes Experts*. [Notes de cours et illustrations]. École Internationale des Sciences du Traitement de l'information : Département Systèmes Informatiques formels et Intelligents.
- Markovits, H. (2014). On the road toward formal reasoning: Reasoning with factual causal and contrary-to-fact causal premises during early adolescence. *Journal of experimental child psychology*, 128, 37-51.
- Markovits, H., Brunet, M.-L., Thompson, V., & Brisson, J. (2013). Direct evidence for a dual process model of deductive inference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 39(4), 1213.
- Markovits, H. (2013). *The Developmental Psychology of Reasoning and Decision-Making*: Taylor & Francis.
- Napolis, A. (1992). *Représentation à objets et raisonnement par classification en intelligence artificielle*. (Thèse). Université de Lorraine.

- Nkambou, R., Bourdeau, J. et Nizoguchi, R. (2010). *Advances in Intelligent Tutoring Systems*. ISBN 978-3-642-14362-5, Springer.
- Pardos, Z. A., & Heffernan, N. T. (2010). Modeling individualization in a bayesian networks implementation of knowledge tracing User Modeling, Adaptation, and Personalization (pp. 255-266): Springer
- Robert, S. (1992). Réflexion épistémologique sur l'intelligence artificielle et les sciences cognitives : à quelles conditions une machine pourrait-elle connaître? *Horizons philosophiques* 2(2), 167–184.
- Robert, S. (2005). Chapter 31 - Categorization, Reasoning, and Memory from a Neological Point of View. In H. C. Lefebvre (Ed.), *Handbook of Categorization in Cognitive Science* (pp. 699-717). Oxford: Elsevier Science Ltd.
- Robert, S. (2013). *Introduction à la logique, cahier d'exercices et de problèmes*. [Notes de cours et illustrations]. Université du Québec à Montréal : Département de philosophie.
- Robert, S. (2014). *Raisonnement valides et sophismes*. [Notes de cours et illustrations]. Université du Québec à Montréal : Département de philosophie.
- Robert, S., Brisson, J. (2016). The Klein Group, Squares of Opposition and the Explanation of Fallacies in Reasoning, 10(2-3), 377-389. Springer International Publishing.
- Varin, C. (2007). *L'Enseignement du raisonnement conditionnel : De la logique aux neurosciences*. (Mémoire de maîtrise). Récupéré d'Archipel. (p. 22-71) <http://www.archipel.uqam.ca/4748/1/M10009.pdf>
- Wang, L. (). *A course in Fuzzy Systems and Control*, 1-205.
- Yu, L. (2015). *A Developer's Guide to the Semantic Web*. Springer Publishing Company, Incorporated, 2nd edition.