

لجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب  
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib  
Faculté des Sciences et de Technologie  
Département de Mathématiques et Informatique



Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention du diplôme de Master  
Domaine : Mathématiques et Informatique  
Filière : Informatique  
Spécialité : Réseaux et Ingénierie de Données

Thème

***Outil Intelligent Distribué pour l'élaboration de pronostics médicaux - MedProMas -***

**Présenté Par**

- 1) Melle. DIARRA Aïssata
- 2) Melle. KONE Mao

**Devant le jury composé de :**

BEDDAD Fatima	UAT.B.B	Présidente
BOUAFIA Zoheir	UAT.B.B	Examineur
BOUHALOUAN Djamila	UAT.B.B	Encadrant
ADLA Abdelkader	UOA.B	Co-Encadrant

Année Universitaire 2023/2024

Projet de Fin d'Etude  
Pour l'obtention du diplôme de Master  
Domaine : Mathématiques et Informatique  
Filière : Informatique  
Spécialité : Réseaux et Ingénierie de Données

Thème

*Outil Intelligent Distribué pour l'élaboration de  
pronostics médicaux - MedProMas -*

Melle. DIARRA Aïssata  
Melle. KONE Mao

**Membres du jury**  
BEDDAD Fatima \_\_Président  
BOUAFIA Zoheir \_\_ Examineur  
BOUHALOUAN Djamila \_\_Encadrant  
ADLA Abdelkader \_\_Co-Encadrant

2023/2024



« Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent du bonheur ; elles sont les charmants jardiniers par qui nos âmes sont fleuries. »

- Marcel Proust -

# REMERCIEMENTS

---

Louange et remerciements à Allah exalté soit-il de nous avoir permis non seulement de pouvoir continuer nos études dans ce pays qui est l'Algérie mais aussi d'accomplir ce magnifique projet jusqu'au bout.

Nos remerciements les plus sincères vont à l'encontre de notre encadrante **Mme Bouhalouan Djamilia** qui a su faire preuve de patience, de rigueur, de disponibilité, de dévouement et surtout de compréhension envers nous.

Nous remercions particulièrement **Mme Beddad Fatima** et **Mr Bouafia Zoheir** pour avoir consacré leur temps et leur expertise à évaluer notre travail.

Nous tenons à remercier également l'ensemble du corps professoral du département d'informatique pour leur accompagnement à notre égard tout au long de notre cursus universitaire.

Nous ne saurions terminer ceci sans adresser nos chaleureuses remerciements à tous nos proches, nos amis, à la communauté estudiantine étrangère d'Aïn Temouchent en général et malienne en particulier.

# DEDICACE

---

*Je dédie ce modeste travail  
À mon très cher père pour sa confiance, ses conseils et ses sacrifices,  
À ma mère, mon amazone qui a toujours été d'un soutien indéfectible  
À mes très chers frères et sœurs,  
À tous les membres de ma famille,  
À mon aimable binôme pour sa patience et sa considération,  
À tous ces amis qui m'ont prouvé le vrai sens de l'amitié,  
Ainsi qu'à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce mémoire*

**Koné Mao**

# DEDICACE

---

*Je dédie cet humble travail  
À mon amour de maman pour son soutien inconditionnel,  
À mon adorable papa pour ses précieux conseils,  
À mon incroyable petit frère qui a toujours su être à l'écoute et me pousser à dépasser mes  
limites,  
À ma tendre petite sœur qui m'a redonné le sourire à chaque instant,  
À ma défunte grande mère maternelle qui aurait été tellement fière de moi, qu'Allah  
t'accueille dans son vaste paradis,  
À ma grande mère paternelle pour tout son amour,  
À mon formidable binôme avec qui nous avons passé des moments incroyables tout au long  
de ce travail,  
À mon fantastique entourage pour leur présence dans ma vie  
Ainsi qu'à toutes ces personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon accomplissement  
de ce projet.*

**Diarra Aïssata**

## RESUME

L'utilisation croissante des technologies informatiques dans le domaine médical offre de nouvelles possibilités pour le diagnostic et le pronostic des patients, mais fournir des pronostics médicaux précis demeure un défi important. L'objectif de ce projet est d'améliorer la qualité des soins de santé en développant un système informatique intelligent capable de fournir des pronostics médicaux précis et à temps. Il répond aux besoins médicaux urgents en proposant une solution novatrice basée sur les Systèmes Multi-Agents (SMA) et le Raisonnement à Partir de Cas pour la recherche de cas similaire. Cette approche favorise l'interdisciplinarité en intégrant la collaboration et les concepts de prise de décision multicritères, ce qui entraîne une meilleure coordination et une prise en charge intégrée des patients. Le système examine également attentivement chaque étape de prise de décision afin d'assurer des décisions précises et bien étudiées. Le projet vise à combler les lacunes de recherche et à contribuer à l'évolution de la science des ordinateurs et de la médecine.

**Mots Clés :** Pronostic Médical, Systèmes Multi-Agents (SMA), Systèmes d'Aide à la Décision Médicale (SADM), Systèmes Collaboratifs, Raisonnement à Partir de Cas.

## ABSTRACT

The increasing use of computer technologies in the medical field is opening up new possibilities for patient diagnosis and prognosis, but providing accurate medical prognoses remains a major challenge. The aim of this project is to improve the quality of healthcare by developing an intelligent IT system capable of providing accurate and timely medical prognoses. It responds to urgent medical needs by proposing an innovative solution based on Multi-Agent Systems (MAS) and Case-Based Reasoning (CBR) for searching for similar cases. This approach fosters interdisciplinarity by integrating collaboration and multi-criteria decision-making concepts, resulting in better coordination and integrated patient management. The system also carefully examines each stage of decision-making to ensure that decisions are accurate and well considered. The project aims to fill research gaps and contribute to the evolution of computer science and medicine.

**Keywords:** Medical Prognosis, Multi-Agent Systems (MAS), Medical Decision Support Systems (MDSS), Collaborative Systems, Case-Based Reasoning.

## ملخص

إن الاستخدام المتزايد لتقنيات الحاسوب في المجال الطبي يفتح إمكانيات جديدة لتشخيص المرضى والتنبؤ بحالاتهم، إلا أن إجراء تشخيصات طبية دقيقة لا يزال يمثل تحديًا كبيرًا. الهدف من هذا المشروع هو تحسين جودة الرعاية الصحية من خلال تطوير نظام ذكي لتكنولوجيا المعلومات قادر على توفير تشخيصات طبية دقيقة وفي الوقت المناسب. ويستجيب هذا المشروع للاحتياجات الطبية العاجلة من خلال اقتراح حل مبتكر يعتمد على الأنظمة متعددة الوكلاء (MAS) والاستدلال القائم على الحالات (CBR) للبحث عن الحالات المشابهة. ويعزز هذا النهج تعدد التخصصات من خلال دمج مفاهيم التعاون واتخاذ القرارات متعددة المعايير، مما يؤدي إلى تنسيق أفضل وإدارة متكاملة للمرضى. يقوم النظام أيضًا بفحص كل مرحلة من مراحل اتخاذ القرار بعناية لضمان دقة القرارات ودراساتها جيدًا. يهدف المشروع إلى سد الثغرات البحثية والمساهمة في تطوير علوم الحاسوب والطب.

**الكلمات المفتاحية:** التشخيص الطبي، الأنظمة متعددة الوكلاء (MAS)، أنظمة دعم القرار الطبي (MDSS)، الأنظمة التعاونية، الاستدلال القائم على الحالة



# TABLE DES MATIERES

---

TABLE DES MATIERES .....	i
LISTE DES FIGURES .....	vi
LISTE DES TABLEAUX .....	viii

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>CONTEXTE .....</b>	<b>2</b>
<b>PROBLEMATIQUE .....</b>	<b>3</b>
<b>MOTIVATIONS, CONTRIBUTION ET OBJECTIFS .....</b>	<b>3</b>
<b>ORGANISATION DU MANUSCRIT .....</b>	<b>5</b>

## **CHAPITRE I : SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION MEDICALE .....**

**6**

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>7</b>
<b>2. DECISION.....</b>	<b>7</b>
2.1. Définitions .....	7
2.2. Typologie des décisions .....	8
2.2.1 Par Niveau de Structuration .....	8
2.2.2 Par Niveau d'activité managériale .....	8
<b>3. PROCESSUS D'AIDE A LA DECISION .....</b>	<b>9</b>
<b>4. SYSTEME D'AIDE A LA DECISION .....</b>	<b>9</b>
4.1. Notion d'aide à la décision .....	9
4.2. Interactif .....	10
4.3. SIAD.....	10
4.4. Typologie des Systèmes d'Aide à la Décision .....	10
<b>5. PRISE DE DECISION DE GROUPE.....</b>	<b>11</b>
5.1. Définitions .....	11
5.2. Caractéristique du processus de décision de groupe.....	11
5.3. Techniques de prise de décision de groupe .....	12
5.1.1 Brainstorming .....	12
5.1.2 Méthode Delphi.....	12
5.1.3 Méthode Policy Delphi .....	12
5.1.4 Méthode de notation .....	12
5.1.5 Analyse multicritère .....	13
5.1.6 Systèmes d'information décisionnel (SID).....	13

5.4. Processus de prise de décision de groupe .....	13
5.5. Outils d'aide à la prise de décision de groupe .....	14
<b>6. DIAGNOSTIC MEDICAL ET SYSTEMES INTERACTIFS D'AIDE A LA DECISION.....</b>	<b>15</b>
6.1. Diagnostic médical .....	15
6.2. Approches médicales .....	15
6.2.1 Médecine Conventionnelle .....	15
6.2.2 Médecine non Conventionnelle .....	16
6.2.3 Approches complémentaires et alternatives .....	16
6.2.4 Approches intégratives.....	16
6.3. Informatique médicale.....	16
6.3.1 Raisonnement humain .....	17
6.3.2 Diagnostic différentiel .....	17
6.4. Diagnostic médical informatisé.....	17
6.5. Notion d'aide à la décision médicale .....	17
6.6. Définition des SADM.....	18
6.7. Objectifs des Systèmes d'Aide à la Décision Médicale.....	18
6.8. Typologie des Systèmes d'Aide à la Décision Médicale.....	19
<b>7. FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION MEDICALE DE DIAGNOSTIC ET METHODOLOGIE D'AIDE A LA DECISION MEDICALE .....</b>	<b>19</b>
<b>8. DEFIS DES SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION MEDICALE .....</b>	<b>20</b>
<b>9. EXEMPLES D'APPLICATION DES SADM.....</b>	<b>20</b>
<b>10. PERSPECTIVES FUTURES DES SADM.....</b>	<b>21</b>
<b>11. CONCLUSION.....</b>	<b>21</b>
<b>CHAPITRE II : SYSTEMES MULTI-AGENTS .....</b>	<b>23</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>24</b>
<b>2. QUELLES SONT LES RAISONS DE S'INTERESSER AUX SYSTEMES MULTI-AGENTS.....</b>	<b>24</b>
<b>3. NOTIONS D'AGENTS .....</b>	<b>25</b>
3.1. Définitions .....	25
3.2. Caractéristiques d'agents .....	26
3.3. Typologie des agents .....	26
3.3.1 Agent réactif .....	26
3.3.2 Agent cognitif .....	27
3.3.3 Agent BDI .....	28
3.3.4 Agent hybride .....	29
3.4. Modèles d'architecture des agents.....	29
3.4.1 Architecture de Subsumption .....	29
3.4.2 Architecture BDI .....	29
3.4.3 Architecture à organisation modulaire .....	30
3.4.4 Le modèle d'architecture d'agent DIMA (Développement et Implémentation des Systèmes Multi-Agents .....	30
<b>4. SYSTEMES MULTI-AGENTS.....</b>	<b>31</b>

4.1. Définitions .....	31
4.2. Environnement d'un SMA .....	32
4.3. Caractéristiques des systèmes multi-agents .....	33
<b>5. INTERACTION ENTRE AGENTS.....</b>	<b>33</b>
5.1. Communication .....	34
5.1.1 Communication directe .....	34
5.1.2 Communication indirecte .....	35
5.1.3 Langages de communication .....	35
5.2. Coopération.....	35
5.3. Coordination .....	36
5.4. Collaboration .....	36
5.5. Organisation .....	37
5.6. Négociation .....	37
<b>6. L'ÉMERGENCE .....</b>	<b>37</b>
<b>7. METHODOLOGIES DE CONCEPTION DES SMA .....</b>	<b>38</b>
7.1. Description de quelques méthodes .....	39
7.1.1 La méthode GAIA .....	39
7.1.2 La méthode Voyelle .....	39
7.1.3 La méthode MaSE (Multiagent System Engineering) .....	40
7.1.3 La méthode Mas-CommonKADS .....	40
<b>8. PLATEFORMES ORIENTÉES AGENTS.....</b>	<b>41</b>
<b>9. CONCLUSION.....</b>	<b>41</b>

**CHAPITRE III : RAISONNEMENT A PARTIR DE CAS (RAPC) ET ONTOLOGIES .....42**

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>43</b>
<b>2. APPORT DE L'INGENIERIE DES CONNAISSANCES AUX SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION DE GROUPE .....</b>	<b>43</b>
<b>3. SYSTEMES A BASE DE CONNAISSANCES .....</b>	<b>44</b>
3.1. Définition.....	44
3.2. Rôle des systèmes à base de connaissances.....	44
<b>4. RAISONNEMENT A BASE DE CAS .....</b>	<b>45</b>
4.1. Définition.....	45
4.2. Cycle RàPC.....	45
<b>5. OUTILS INTEGRANT LE RAPC .....</b>	<b>46</b>
<b>6. ONTOLOGIES.....</b>	<b>46</b>
6.1. Apport des Ontologies .....	46
6.2. Objectifs du développement des ontologies .....	47
<b>7. COMPOSANTES D'ONTOLOGIES .....</b>	<b>48</b>
7.1. Concept (classe).....	48
7.2. Relation .....	48
7.3. Fonctions.....	48
7.4. Axiomes.....	48
7.5. Instance.....	49

<b>8. CLASSIFICATION DES ONTOLOGIES .....</b>	<b>49</b>
8.1. Typologie selon le niveau de conceptualisation .....	49
8.2. Typologie selon le niveau de formalisation utilisée .....	50
8.3. Typologie selon le niveau de détail de l'ontologie .....	50
8.4. Typologie selon le niveau de complétude .....	50
8.5. Typologie selon le niveau de complexité de l'Ontologie .....	51
<b>9. CYCLE DE VIE D'UNE ONTOLOGIES .....</b>	<b>51</b>
<b>10. PROCESSUS DE CONSTRUCTION D'UNE ONTOLOGIES .....</b>	<b>52</b>
10.1. Spécification (évaluation des besoins) .....	52
10.2. Conceptualisation .....	52
10.3. Ontologisation .....	53
10.4. Opérationnalisation .....	53
<b>11. METHODES ET METHODOLOGIE DE CONSTRUCTION D' ONTOLOGIES .....</b>	<b>53</b>
11.1. Démarche de construction d'une ontologie .....	53
11.2. Méthodologie de construction .....	53
<b>12. LANGAGES D' ONTOLOGIES .....</b>	<b>54</b>
12.1. Langages traditionnels .....	54
12.2. Langages web standards ou basés xml.....	54
12.3. Langages d'interrogation des ontologies.....	56
12.4. Approches du raisonnement .....	56
<b>13. OUTILS DE DEVELOPPEMENT D' ONTOLOGIES .....</b>	<b>57</b>
13.1. PROTEGE.....	57
13.2. ODE (Ontology Design Environment) .....	57
13.3. OntoEdit .....	57
13.4. WebOde .....	57
13.5. DoE.....	57
13.6. Framwork Jena.....	58
<b>14. CONCLUSION.....</b>	<b>58</b>

**CHAPITRE IV : LES SMA DANS L'AIDE A LA DECISION COLLABORATIVE INTRGRANT RAPC - APERÇU D'UN ETAT DE L'ART .....**

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>60</b>
<b>2. DOMAINES D'APPLICATION DES SYSTEMES MULTI-AGENTS.....</b>	<b>60</b>
2.1. Assistance.....	61
2.2. SMA pour simulation.....	61
2.3. Applications industrielles .....	61
2.4. Commerce électronique.....	61
2.5. Utilisations dans le secteur de divertissement .....	62
2.6. Aménagement du territoire.....	62
<b>3. LES SMA DANS L'AIDE A LA DECISON COLLABORATIVE .....</b>	<b>62</b>
3.1. Contribution des Systèmes multi-Agents à la Prise de décision Collaborative .....	62
3.2. Typologies des systèmes Multi-Agents pour l'Aide à la Décision collaborative .....	63

<b>4. APPLICATION DANS LE DOMAINE MEDICAL.....</b>	<b>63</b>
4.1. Présentation de certaines applications développées .....	63
4.2. Applications intégrant les SMA .....	65
4.2.1 SMA combiné avec le RàPC ou Approches intégrant seulement le RàPC .....	68
<b>5. DISCUSSION .....</b>	<b>71</b>
<b>6. CONCLUSION.....</b>	<b>73</b>

## CHAPITRE V : PROPOSITION D'UNE ARCHITECTURE D'OUTIL COLLABORATIF D'AIDE A LA DECISION 74

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>75</b>
<b>2. SPECIFICATION DU SYSTEME D'AIDE A LA DECISION DU GROUPE.....</b>	<b>75</b>
2.1. Démarche à suivre pour l'élaboration du Pronostic .....	76
<b>3. MODELISATION DU SYSTEME A BASE D'AGENTS.....</b>	<b>78</b>
3.1. Méthodologie de conception choisie .....	78
3.2. Conception préliminaire .....	78
3.2.1 Description des agents du système .....	78
3.2.2 Description des différents cas d'utilisation des agents du système .....	80
3.3. Conception détaillée .....	80
3.3.1 Agents .....	81
3.3.2 Interactions.....	83
3.3.3 Organisation .....	86
3.3.4 Environnement .....	88
<b>4. CONCLUSION.....</b>	<b>89</b>

## CHAPITRE VI : IMPLEMENTATION DE L'OUTIL COLLABORATIF D'AIDE A LA DECISION ..... 91

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>92</b>
<b>2. ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL .....</b>	<b>92</b>
2.1. Environnement matériel .....	92
2.2. Environnement logiciel .....	92
<b>3. ARCHITECTURE DE L'APPLICATION .....</b>	<b>96</b>
<b>4. PRESENTATION DE L'APPLICATION MEDIAL PRONOSTIC MULTI-AGNETS SYSTEM (MEDPROMAS) .....</b>	<b>96</b>
4.1. Base de connaissances .....	96
4.2. Interface d'Accès à l'application .....	97
4.3. Déroulement d'une session de prise de décision .....	98
4.3.1 1 <sup>er</sup> Scénario .....	98
4.3.2 2 <sup>ème</sup> Scénario.....	101
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>106</b>

## CONCLUSION GENERALE ..... 108

## BIBLIOGRAPHIE..... 111

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I

Figure I.1	Processus décisionnel IDC [SIMO 77] .....	9
Figure I.2	Modèle du processus de décision de groupe collectif [ADLA 07] .....	13
Figure I.3	Processus de décision médicale collective (source HAS <sup>(1)</sup> ) .....	18

## CHAPITRE II

Figure II.1	Agent réactif [BENH 16] .....	27
Figure II.2	Agent cognitif [BENH 16] .....	28
Figure II.3	Architecture Réactive de Subsumption (Robots explorateurs de Mars) [STEE 89] .....	29
Figure II.4	Architecture BDI [WOOL et al. 99] .....	30
Figure II.5	Architecture d'agent hybride [BOIS et al. 96] .....	30
Figure II.6	Architecture d'agent hybride de DIMA [GUES et al. 02] .....	31
Figure II.7	Système multi agent [FERB 95] .....	32
Figure II.8	Architecture d'un environnement [BELL 11] .....	33
Figure II.9	Communication par envoi de message .....	34
Figure II.10	Communication par tableau noir .....	35
Figure II.11	Méthodologies orientées agents [LABA 06] .....	38
Figure II.12	Représentation symbolique de la méthode Voyelles .....	40

## CHAPITRE III

Figure III.1	Représentation et manipulation de connaissances dans un système à base de connaissances .....	44
Figure III.2	Cycle du RèPC [RAKO 04] .....	45
Figure III.3	Organisation d'une ontologie .....	48
Figure III.4	Classification des ontologies .....	49
Figure III.5	Cycle de vie des ontologies [FERN et al. 97] .....	52
Figure III.6	Processus de construction ontologies [KERM 14] .....	52
Figure III.7	Langage d'exploitation des ontologies [GOME 99] .....	57

## CHAPITRE V

Figure V.1	Architecture d'un système d'aide à la décision de groupe distribué [ADLA 10] .....	76
Figure V.2	Cycle de base de fonctionnement d'un agent cognitif .....	81

Figure V.3	Architecture générale d'un agent .....	81
Figure V.4	Cas d'utilisation du Participant .....	82
Figure V.5	Cas d'utilisation du Facilitateur.....	82
Figure V.6	Cas d'utilisation du Système.....	83
Figure V.7	Sollicitation des Participants.....	83
Figure V.8	Démarrage du processus d'Aide à la Décision .....	84
Figure V.9	Génération de Solutions.....	84
Figure V.10	Organisation des Alternatives.....	85
Figure V.11	Evaluation des Alternatives .....	85
Figure V.12	La Décision.....	86
Figure V.13	Clôture du meeting .....	86
Figure V.14	Structure Organisationnelle du Facilitateur .....	87
Figure V.15	Diagramme de classe .....	88
Figure V.16	Structure générale de la base des cas .....	89
Figure V.17	Vue partielle de l'ontologie de tâche .....	89

## CHAPITRE VI

Figure VI.1	Architecture logicielle de la plateforme Jade [YOUS 14 .....	94
Figure VI.2	Conteneurs et plateformes [KOUA, 19].....	95
Figure VI.3	Architecture générale de l'application .....	96
Figure VI.4	Structure de la BC à base d'ontologie .....	97
Figure VI.5	Interface d'accès à MedProMas .....	97
Figure VI.6	Interface de l'Agent Sys.....	98
Figure VI.7	Extrait des Patients .....	98
Figure VI.8	Désignation du patient en cours du traitement et du facilitateur .....	99
Figure VI.9	Interface principale de l'Agent facilitateur .....	99
Figure VI.10	Compléments d'informations du patient – identification du problème .....	100
Figure VI.11	Cas similaire trouvé lors de la recherche dans la BC.....	100
Figure VI.12	Rapport relatif au cas du patient .....	101
Figure VI.13	Nouveau problème du patient .....	102
Figure VI.14	Sollicitation des participants.....	102
Figure VI.15	Liste de participant du groupe du pronostic.....	103
Figure VI.16	Acceptation de participation .....	103
Figure VI.17	Génération des alternatives (diagnostics) .....	104
Figure VI.18	Réception des alternatives pour épuration .....	104
Figure VI.19	Épuration des alternatives.....	104
Figure VI.20	Exemple d'évaluation des différents diagnostics .....	105
Figure VI.21	Pronostic final.....	105
Figure VI.22	Aperçu du journal d'évènements .....	106
Figure VI.23	Aperçu d'un extrait des interactions des agents délivrés par l'agent snifer .....	106

# LISTE DES TABLEAUX

---

## CHAPITRE I

Tableau I.1	Classification des décisions.....	8
-------------	-----------------------------------	---

## CHAPITRE II

Tableau II.1	Différences entre agents cognitifs et agents réactifs [ZOUA 12] .....	28
--------------	---	----

## CHAPITRE IV

Tableau IV.1	Comparaison – Systèmes existants vs notre approche .....	72
--------------	--	----

## CHAPITRE V

Tableau V.1	Relations entre les agents de la structure « Facilitateur » .....	87
Tableau V.2	Relations entre les agents .....	88

## CHAPITRE VI

Tableau VI.1	Environnement matériel .....	92
--------------	------------------------------	----

# INTRODUCTION GENERALE

---

# INTRODUCTION GENERALE

## CONTEXTE

La prise de décision est une activité courante chez les êtres humains. En effet, nous sommes fréquemment confrontés à des situations qui exigent une décision. Cependant, il est évident que nos choix ne demandent pas toujours une réflexion complexe, car souvent une simple règle heuristique, une expérience passée, voire même une intuition, suffit pour décider. Néanmoins, il arrive que certaines décisions soient plus ardues. Cela est attribuable à divers facteurs :

- Une complexité dans la structure de la prise de décision ;
- Un grand nombre d'options en raison de la complexité du problème ;
- L'impact de prendre une décision ;
- L'importance de l'urgence, en particulier dans des domaines tels que la médecine, le militaire, etc.

Les systèmes d'aide à la décision médicale (SADM) sont définis de manière très générale comme des outils informatiques « dont le but est de fournir au clinicien en temps et lieu utile, les informations décrivant la situation clinique d'un patient, ainsi que les connaissances appropriées à cette situation, correctement filtrées et présentées, afin d'améliorer la qualité des soins et la santé des patients ». Les SADM aident les médecins et autres professionnels de la santé dans la prise de décision. En médecine, la décision est considérée comme étant le centre de l'acte médical. Le processus de la décision médicale consiste entre autres à poser un diagnostic, une thérapie, un pronostic (prévoir l'évolution de la maladie). L'aide à la décision a pour but d'aider le décideur dans des situations de recherche de la meilleure action qui a pour effet immédiat, l'amélioration d'une situation ou d'un résultat généralement positif.

L'intelligence dans ces systèmes peut se manifester soit dans le processus de raisonnement lors de la prise de décision, soit dans l'interaction entre l'homme et la machine. Par conséquent, les machines se sont améliorées et peuvent désormais faciliter la collaboration avec le décideur.

Dans certaines circonstances, une décision ne peut être prise par un seul individu, mais requiert plutôt une démarche de consultation et de collaboration collective. Lorsque le problème à résoudre est décomposé en sous-tâches, la prise de décision prend alors la forme d'une coopération homme-homme. Si le processus décisionnel aboutit à une décision commune ou consensuelle au sein du groupe, la décision est alors prise dans un contexte de collaboration entre les décideurs.

Par conséquent, ce mémoire, intitulé « *Outil intelligent distribué pour l'élaboration de pronostics médicaux* », s'inscrit dans le cadre d'une approche collaborative en matière de prise de décisions pour l'élaboration de pronostics médicaux. Il se concentre particulièrement sur les différentes phases du processus décisionnel.

## PROBLEMATIQUE

Ce présent travail de recherche sert de soutien aux praticiens de la santé dans le développement d'approches axées sur le patient pour gérer de manière intégrale les situations nécessitant des décisions pointues le concernant.

L'avènement de l'informatique a profondément transformé de nombreux secteurs, y compris celui de la santé. L'utilisation croissante de technologies informatiques dans le domaine médical a ouvert de nouvelles perspectives, notamment en ce qui concerne la prédiction des diagnostics et des pronostics pour les patients. Cependant, malgré les avancées technologiques, la tâche de fournir des pronostics médicaux précis demeure un défi majeur. En effet, plusieurs facteurs complexes entrent en jeu, tels que, l'accroissement continu des connaissances médicales comme les données physiopathologiques ou les moyens diagnostiques et thérapeutiques, les signes, les symptômes et les maladies se sont spécialisé ce qui oblige les médecins à gérer toujours plus d'informations pour soigner un patient.

Les praticiens ne peuvent plus maîtriser l'ensemble du savoir médical leur permettant de reconnaître les maladies ou de déterminer la meilleure prise en charge thérapeutique. Une solution à cet état de fait peut être une grande spécialisation des médecins mais ils ne peuvent être réunis simultanément et cette surspécialisation peut entraîner des pertes de temps et des dérives liées à la « segmentation<sup>1</sup> » du patient. Par ailleurs, ils ont souvent recours à des sources d'informations externes, traditionnellement les collègues, les livres et la littérature scientifique pour trouver les informations qui leur manquent. Néanmoins, en dépit de la diffusion en ligne de grands volumes de ressources documentaires facilement accessibles, la recherche de la solution au problème posé par un patient donné est une tâche difficile. La puissance de calcul, la rapidité et la capacité de stockage des ordinateurs se sont imposés comme des solutions potentielles à cette difficulté et des systèmes informatiques d'aide à la décision médicale ont été conçus.

Dans cette optique, notre réflexion est guidée par la question centrale suivante : « *Comment concevoir un système informatique intelligent capable d'intégrer efficacement les paramètres sus-cités pour assurer la pertinence et l'exactitude des pronostics médicaux, et ce, dans le but ultime de fournir un pronostic de qualité pour le patient ?* » Cette question orientera notre recherche alors que nous explorons des solutions appropriées pour relever ces défis et améliorer les soins de santé dans l'intérêt des patients.

## MOTIVATIONS, CONTRIBUTIONS ET OBJECTIFS

Notre travail est motivé par plusieurs points clés, qui ont également guidé nos contributions et nos objectifs :

---

<sup>1</sup> : Selon Health Affairs, «la segmentation de patients divise une population de patients en groupe distincts, chacun avec des besoins, des caractéristiques ou des comportements spécifiques, pour permettre d'adapter la prestation de soins et les politiques à ces groupes. »

- **Améliorer la qualité des soins de santé** : Nous nous sommes engagés à développer un système informatique intelligent capable de fournir des pronostics médicaux convenables, afin d'améliorer la qualité des soins de santé et de contribuer au bien-être des patients.
- **Répondre à un besoin urgent** : Conscients de l'urgence de la situation, nous avons proposé une solution basée sur les Systèmes Multi-Agents (SMA) pour la prédiction des pronostics médicaux, répondant ainsi aux besoins actuels du domaine médical.
- **Faciliter la collaboration interdisciplinaire** : Notre approche a favorisé la collaboration entre les différents acteurs du secteur de la santé en intégrant des concepts de collaboration et de prise de décision multicritères, ce qui permet une meilleure coordination et des soins plus intégrés pour les patients.
- **Analyser en profondeur chaque phase du processus décisionnel** : Nous avons examiné chaque étape du processus décisionnel pour garantir une prise de décision précise et bien étudiée, en nous appuyant sur des analyses approfondies et des évaluations rigoureuses pour assurer l'efficacité de notre approche.
- **Capitalisation des expériences passées** : Dans le cadre de ce système, nous avons adopté une approche de raisonnement à base de cas (CBR), complétée par l'intégration d'une ontologie. Cette combinaison permet de rechercher efficacement des cas similaires et de capitaliser les connaissances acquises. L'utilisation de l'ontologie facilite l'organisation et la structuration des données, rendant le processus de récupération des cas pertinents plus précis et robuste. En capitalisant sur les connaissances antérieures et les solutions éprouvées, notre système améliore continuellement sa performance et sa capacité à résoudre de nouveaux problèmes de manière efficace et intelligente.
- **Comblent une lacune de recherche** : En réalité, il peut rester encore des défis à relever. Ce travail cherche à combler cette lacune en explorant une approche prometteuse pour la prédiction des pronostics médicaux.
- **Contribution au progrès de la science** : En développant et en mettant en œuvre un tel système pour les pronostics médicaux, ce travail peut contribuer au progrès de la science informatique et médicale en fournissant de nouvelles méthodes et technologies pour la prise de décision clinique

Les divers résultats ont été intégrés dans la plate-forme multi-agents JADE. Une application est développée qui démontre ces résultats mettant en lumière le fonctionnement des outils développés, et offrant des opportunités pour valider notre approche adoptée.

En résumant nos objectifs et en expliquant comment ils ont orienté notre travail, nous soulignons l'importance et l'impact de nos contributions dans le domaine des soins de santé et de la recherche médicale.

## ORGANISATION DU MANUSCRIT

Ce document est divisé en six (6) chapitres distincts.

Dans le premier chapitre, consacré aux Systèmes d'aide à la décision médicale, nous aborderons les concepts essentiels des systèmes d'aide à la décision, des modèles de décision de groupe. Nous étudierons aussi des cas illustrant l'application concrète des SAD dans le domaine médical.

Dans le deuxième chapitre intitulé Systèmes Multi-Agents, nous présenterons tout d'abord la notion d'agents, puis les systèmes multi-agents ainsi que leurs caractéristiques.

Le troisième chapitre concernant le Raisonnement à Partir de Cas (RàPC) et les Ontologies, nous commencerons par introduire le concept d'ontologie, en expliquant ses composants et ses différentes catégories. Par la suite, nous examinerons les principales méthodes de représentation des connaissances. Enfin, nous fournirons une brève présentation de certains outils destinés à la création d'ontologies.

Le quatrième chapitre, nommé Les SMA dans l'Aide à la Décision Collaborative donnera un aperçu de l'application des SMA dans les systèmes d'aide à la décision en général et médical en particulier. Nous présenterons également quelques systèmes développés dans ce sens.

Dans le cinquième chapitre nommé Proposition d'une architecture d'outil collaboratif de l'aide à la décision, nous présenterons notre système d'aide à la décision médicale, basé sur une architecture d'agents, capable de soutenir la prise de décision dans un environnement distribué avec plusieurs décideurs. Avant de décrire cette architecture, nous expliquerons les différents types d'agents et leurs interactions.

Et enfin dans le dernier chapitre Implémentation de l'Outil Collaboratif d'Aide à la Décision, nous décrirons la mise en œuvre de notre application, en détaillant l'environnement de développement, les outils utilisés (plateforme d'implémentation SMA, langages de programmation) et les interfaces pour une meilleure compréhension.

# **CHAPITRE I : SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION MEDICALE (SADM)**

---

# CHAP.1 - SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION MEDICALE

## 1. INTRODUCTION

Les Systèmes d'Aide à la Décision de Groupe (SAD) sont des outils essentiels dans un large éventail de domaines où la prise de décision implique la collaboration et la participation de plusieurs acteurs. Ces systèmes offrent des méthodes et des techniques pour faciliter le processus de prise de décision, en exploitant les connaissances et les expertises individuelles au sein d'un groupe. Dans ce chapitre, nous explorerons le rôle fondamental des SAD, en mettant particulièrement l'accent sur leur application dans le domaine médical.

L'utilisation des SAD dans le contexte médical, également connue sous le nom de Systèmes d'Aide à la Décision Médicale (SADM), a révolutionné la manière dont les professionnels de la santé diagnostiquent les maladies, planifient les traitements et prennent des décisions cliniques. En intégrant des données complexes, des algorithmes sophistiqués et des interfaces conviviales, les SADM offrent un soutien précieux aux praticiens pour évaluer les options de traitement, interpréter les résultats des tests et personnaliser les soins en fonction des besoins spécifiques de chaque patient.

Au cours de ce chapitre, nous explorerons les concepts fondamentaux des SAD, les modèles de prise de décision de groupe, les techniques d'aide à la décision et les technologies utilisées dans les SADM. Nous examinerons également des études de cas illustrant l'application concrète des SAD dans le domaine médical, ainsi que les défis éthiques et les perspectives futures de ce domaine en constante évolution.

## 2. DECISION

### 2.1. Définitions

Le concept de décision a été défini de diverses manières :

Selon Levine, « Une décision est une action qui est prise pour faire face à une difficulté ou répondre à une modification de l'environnement, c'est-à-dire, pour résoudre un problème qui se pose à l'individu ou à l'organisation » **[LEVI et al. 89]**.

« Une décision c'est le résultat d'un processus mental qui choisit une parmi plusieurs alternatives mutuellement exclusives » **[HOLT 89]**.

Schen définit la décision comme "un choix entre plusieurs alternatives", ou encore par "le fait qu'elle concerne aussi le processus de sélection de buts et d'alternatives". **[SCHN 94]**

Elle peut être également vue comme le fait d'un individu isolé (« le décideur ») exerçant un choix entre plusieurs possibilités d'actions à un moment donné **[ROY 00]**.

En règle générale, on peut décrire la décision comme le résultat d'un processus réfléchi où l'acteur joue un rôle crucial. Elle n'est donc pas une action simple et élémentaire, mais plutôt le résultat d'un processus complexe de réflexion et de délibération.

## 2.2. Typologie des décisions

Nous pouvons classer les décisions selon plusieurs niveaux :

### 2.2.1. Par Niveau de structuration

SIMON [SIMO 77] propose une classification des décisions en deux catégories : les décisions programmées et les décisions non programmées, également connues sous les termes de "décisions bien structurées" et "décisions peu ou non structurées" (voir le tableau 1).

	Traditionnelles	Modernes
Décisions programmables	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'habitude.</li> <li>▪ La routine.</li> <li>▪ Procédure opérationnelle/standardisée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recherche opérationnelle               <ul style="list-style-type: none"> <li>- les modèles,</li> <li>- l'analyse mathématique,</li> <li>- la simulation par ordinateur.</li> </ul> </li> <li>▪ Le traitement informatique des données par programmes (algorithmes)</li> </ul>
Décisions non programmables	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le jugement.</li> <li>▪ L'intuition, la créativité.</li> <li>▪ Les règles empiriques.</li> <li>▪ La sélection et la formation des décideurs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les techniques heuristiques de résolution de problèmes et leur informatisation (intelligence artificielle, systèmes experts, programmation sous contraintes, etc.).</li> <li>▪ Le traitement informatique de traitement de connaissance à partir de données (entrepôt et fouille de données).</li> </ul>

Tableau 1.1 : Classification des décisions

### 2.2.2. Niveau d'activité managériale

Les décisions peuvent également être classées selon le niveau managérial, car les différents niveaux se caractérisent par les types d'activités qui s'y déroulent, ce qui influence le type de décisions prises par les décideurs. On peut distinguer trois types d'activités :

- Activité de régulation ;
- Activité de pilotage ;
- Activité de planification stratégique.

### 3. PROCESSUS D’AIDE A LA DECISION

Le processus de décision consiste à déterminer les étapes à suivre pour parvenir à une décision qui résout un problème donné. En 1960, Simon a proposé le modèle IDC, qui divise ce processus en trois étapes : Intelligence, Design and Choice ou en français, l'Information, la Conception et le Choix. En 1977, Simon a enrichi son modèle en y ajoutant une quatrième étape, l'Évaluation. Cette dernière constitue une évaluation du processus visant à valider ou non la décision à prendre. Depuis lors, ce modèle demeure une référence pour la modélisation du processus décisionnel.

- *Phase de Recherche d'information (Intelligence)* : Il s'agit de l'identification du problème, de la définition des objectifs du décideur et de la recherche d'informations pertinentes en fonction de ses préoccupations.
- *Phase de Conception et formulation (Design)* : Durant cette étape, le décideur élabore des solutions et envisage différents scénarios pour résoudre le problème. Cela conduit à l'exploration des différentes options disponibles.
- *Phase de Choix d'un mode d'action (Choice)* : Cette phase consiste à sélectionner un mode d'action spécifique, c'est-à-dire à prendre une décision parmi les solutions envisagées.
- *Phase de Contrôle ou évaluation (Review)* : Cette étape permet d'évaluer la solution choisie (la décision prise). Elle peut conduire à revenir sur l'une des trois phases précédentes ou, au contraire, à valider la solution retenue.

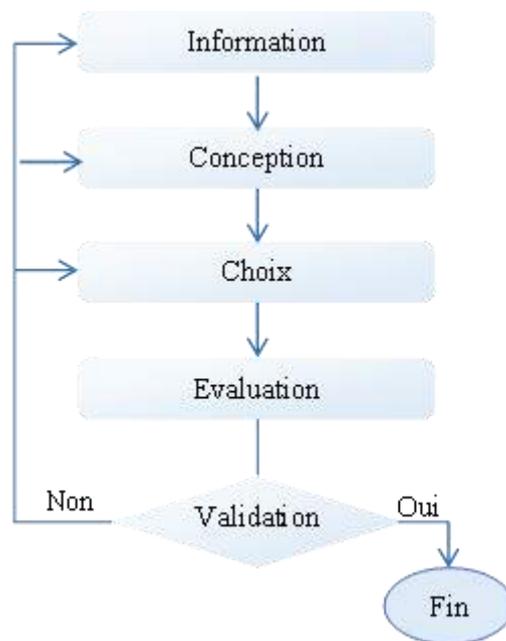


Figure 1.1 : Processus décisionnel IDC [SIMO 77]

## 4. SYSTEMES INTERACTIFS D’AIDE A LA DECISION

### 4.1. Notion d’aide à la décision

Pour introduire la notion d’aide à la décision, nous utilisons la définition proposée par [ROY 00]. L’aide à la décision est définie comme étant « l’activité de celui(homme d’étude) qui, prenant appui

sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, cherche à obtenir des éléments de réponse aux questions que posent un intervenant (décideur) dans un processus de décision, élément concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, à recommander ou simplement à favoriser un comportement de nature à accroître la cohérence entre l’évolution du processus d’une part, les objectifs et le système de valeurs au service duquel cet intervenant se trouve placé, d’autre part ».

À travers cette définition, nous comprenons le fait qu’on ne « résout » pas un problème, on aide le décideur à construire une représentation pertinente de la situation. Tout en sachant que tout programme sur les connaissances et les données a pour but d’aider à la décision.

## 4.2. Interactif

L'interaction joue un rôle crucial en facilitant la communication entre les utilisateurs et le système. Elle permet aux décideurs d'interagir de manière intuitive avec les données, les modèles et les résultats générés par le SIAD. L'interaction permet également aux utilisateurs d'exprimer leurs besoins, leurs préférences et leurs contraintes de manière dynamique, ce qui aide le système à fournir des recommandations pertinentes et personnalisées. En outre, une interaction efficace peut améliorer l'acceptabilité et l'utilisabilité du SIAD, favorisant ainsi son adoption et son utilisation continue par les décideurs.

## 4.3. SIAD

Les systèmes interactifs d'aide à la décision désignent des outils qui assistent les décideurs sans les remplacer. Ils offrent généralement une assistance interactive ou semi-automatisée, permettant aux décideurs d'accéder aux données et d'explorer différentes options pour résoudre un problème donné. Contrairement aux situations structurées, où les solutions et les procédures sont entièrement automatisables, ces systèmes favorisent l'interaction et la prise de décision humaine. [DAVI et al. 86]

## 4.4. Typologie des Systèmes d’Aide à la Décision

Les SIAD peuvent être classés selon divers critères, nous citons par exemple la classification suivante [NACH 14]:

- **Classification en fonction de la quantité d’informations manipulées**
  - SIAD d’entreprise.
  - SIAD simple user.
- **Classification selon le niveau de décision**
  - Executive Information System (EIS)
  - Executive Support System (ESS)
  - Decision Support System (DSS)
  - Planning Support System (PSS)
- **Classification en fonction de l'envergure de la décision**
  - SIAD Opérationnel
  - SIAD de Gestion

- SIAD Stratégique
- **Classification en fonction du niveau conceptuel du système**
  - SIAD centré Données
  - SIAD orienté Modèle
  - SIAD dirigé par la connaissance
  - SIAD orienté Document
  - SIAD orienté Communication

## 5. PRISE DE DECISION DE GROUPE

Dans certaines circonstances, les décisions ne sont pas prises de manière individuelle. Même si la responsabilité finale incombe à un seul individu, la décision peut être élaborée au sein d'un cadre de concertation et de participation collective. Le processus de décision collective implique l'implication d'un groupe de personnes, qu'elles soient regroupées en un même lieu ou réparties sur plusieurs sites, et qu'elles participent simultanément ou à des moments différents. La prise de décision en groupe est une pratique courante dans la plupart des organisations et à divers niveaux de leur structure hiérarchique.

### 5.1. Définitions

Plusieurs chercheurs se sont penchés sur la prise de décision collective, chacun apportant sa propre définition :

Marakas, dans [MARA 99], décrit la prise de décision collective comme une activité menée par une entité regroupant deux individus ou plus, caractérisée par les propriétés de cette entité et de ses membres individuels.

Laborie, dans [LABO 06], la définit comme une convergence d'interactions cognitives et visuelles, planifiées ou opportunistes, où des individus se réunissent dans le but de prendre des décisions, que ce soit au même endroit ou à des endroits différents.

Dans le domaine de l'informatique et des outils collaboratifs, la décision collaborative est associée à un processus argumentatif où chaque participant tient compte des autres pour comprendre les contraintes, solutions, intérêts et priorités [KARA et al. 01].

Dans les systèmes multi-agents, la prise de décision collaborative est liée à un groupe d'agents distribués travaillant ensemble pour atteindre des objectifs supérieurs [PANZ et al. 02].

Seguy, dans [SEGU 08], la définit comme un processus impliquant un groupe d'acteurs travaillant ensemble vers un objectif commun, partageant des ressources et des moyens de communication.

### 5.2. Caractéristique du processus de décision de groupe

Ce processus est caractérisé par:

- **Diversité des perspectives** : La prise de décision de groupe permet de rassembler des individus ayant des perspectives, des expériences et des connaissances diverses, ce qui enrichit le processus décisionnel en apportant différents points de vue sur le problème à résoudre.
- **Discussion et délibération** : Les membres du groupe échangent des informations, des idées et des opinions lors de discussions et de délibérations, ce qui permet d'explorer différentes options et de comprendre les implications de chaque décision potentielle.
- **Considération des intérêts de chacun** : La prise de décision de groupe implique la prise en compte des intérêts, des préoccupations et des besoins de chaque membre du groupe, ce qui favorise un processus plus équitable et inclusif.
- **Processus de consensus** : Dans certains cas, le groupe s'efforce d'atteindre un consensus, c'est-à-dire un accord unanime sur la décision à prendre. Cela nécessite souvent des compromis et des négociations pour trouver une solution qui convient à tous les membres du groupe.
- **Leadership et influence** : Certains membres du groupe peuvent exercer un leadership ou une influence sur le processus décisionnel, soit en raison de leur expertise, de leur autorité formelle ou de leur capacité à convaincre les autres membres du groupe.
- **Prise de décision démocratique** : Dans certains contextes, la décision est prise par un vote démocratique, où chaque membre du groupe a une voix égale dans le processus décisionnel. Cela garantit une certaine égalité de participation et d'influence.
- **Résolution des conflits** : La prise de décision de groupe peut également impliquer la résolution des conflits et des désaccords entre les membres, ce qui nécessite souvent des compétences en communication, en gestion des conflits et en collaboration.

### 5.3. Techniques de prise de décision de groupe

Les méthodes et outils pour la prise de décision de groupe sont variés et peuvent être adaptés en fonction des besoins spécifiques et des contextes organisationnels. Voici quelques-unes des approches couramment utilisées :

**5.3.1. Brainstorming** : Cette méthode encourage la génération d'idées par le groupe de manière libre et sans jugement, favorisant la créativité et la diversité des perspectives [BEAC 97].

**5.3.2. Méthode Delphi** : Elle implique un processus itératif de consultation d'experts où les opinions individuelles sont agrégées pour parvenir à un consensus sur une décision. [CLAY 97]

**5.3.3. Méthode Policy Delphi** : La technique Policy Delphi [WAND et al. 04] est une approche analytique qui recense un large éventail d'alternatives sans nécessairement rechercher un consensus absolu. Elle prend en compte tous les avis, qu'ils soient majoritaires ou minoritaires, offrant ainsi une solution alternative en cas de divergence.

**5.3.4. Méthode de notation** : Les membres du groupe attribuent des notes à différentes options ou critères, ce qui permet de quantifier les préférences et de guider la décision finale.

**5.3.5. Analyse multicritère** : Cette approche prend en compte plusieurs critères pour évaluer différentes options, souvent à l'aide de techniques telles que l'analyse des valeurs, l'analyse hiérarchique des processus (AHP) ou l'analyse des compromis [SAAT 80].

**5.3.6. Systèmes d'information décisionnels (SID)** : Les SID sont des outils informatiques qui fournissent des données, des analyses et des rapports pour aider les décideurs dans leur processus décisionnel.

#### 5.4. Processus de prise de décision de groupe

Pour assurer une gestion efficace de la prise de décision collective et superviser les contributions des différents acteurs impliqués dans cette collaboration, il est essentiel de concevoir un modèle. Tout comme pour les Systèmes d'Aide à la Décision (SIAD), ce modèle définit et structure les différentes étapes du processus de prise de décision collective. Le processus de prise de décision collective que nous adoptons dans cette étude est celui proposé par Adla [ADLA10].

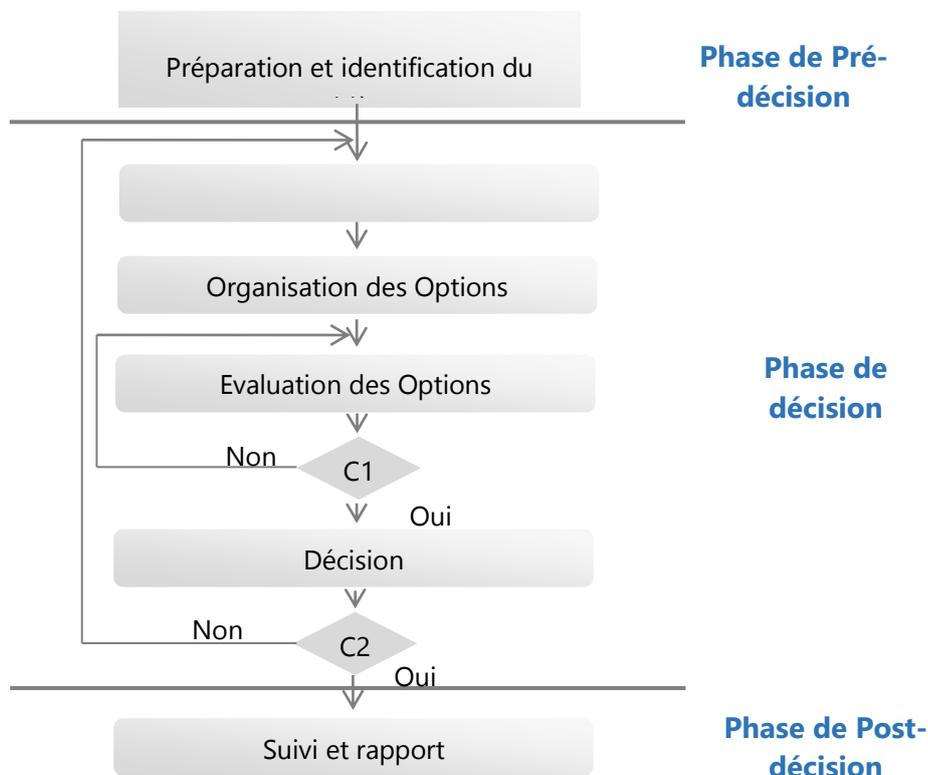


Figure 1.2: Modèle du processus de décision de groupe collectif [ADLA 07]

La phase "Pré-décision" consiste à explorer et à ouvrir l'espace des possibilités de décision, tandis que la phase "Post-décision" clôt cet espace. La deuxième phase, la "Décision", se compose de quatre étapes cognitives principales, qui sont les éléments constitutifs de tout processus décisionnel, similaire au modèle de Simon (1977) pour la prise de décision individuelle. Ces étapes incluent la génération, l'organisation et l'évaluation des alternatives, ainsi que la décision ou le choix final de la solution.

**1) La phase de Pré décision "Pre-meeting"** comprend deux éléments essentiels :

- **La création d'une compréhension partagée de l'espace décisionnel** : cela implique d'une part la reconnaissance collective des critères et contraintes de la décision, et d'autre part la compréhension par chaque acteur de son rôle, des ressources disponibles et de l'organisation des tâches.
- **L'établissement d'un référentiel opératif commun** : ce référentiel consiste en des connaissances et un langage partagé entre les participants, facilitant ainsi les échanges et définissant un espace de communication commun pour le groupe.

**2). La phase de décision "During meeting"** comprend plusieurs étapes essentielles dans le processus de prise de décision collective :

- **Génération des solutions alternatives** : Chaque participant engage un raisonnement individuel pour produire des solutions, puis ces idées sont partagées et discutées en groupe. Des outils tels que le brainstorming électronique, NGT et Delphi favorisent la diversité des idées.
- **Organisation des alternatives** : Le groupe gère les solutions générées en les épurant et en les fusionnant pour éviter les redondances, cela peut se faire en utilisant par exemple des mesures de similarités.
- **Évaluation des alternatives** : Les participants évaluent les solutions selon des méthodes analytiques, comparatives ou analogiques, en utilisant des critères pondérés pour chaque alternative.
- **Décision/Choix d'une solution** : La décision finale doit répondre aux objectifs et contraintes définis, être communiquée à tous les participants et préserver la validité du référentiel opératif commun.

**3). La phase de Post-décision "Post-meeting"** intervient après la réunion de prise de décision collective. Les sessions de ce processus peuvent être enregistrées dans une mémoire organisationnelle, servant ainsi à capitaliser les connaissances. Cette mémoire permet de rechercher des solutions analogues à de nouveaux problèmes, évitant ainsi de relancer le processus d'aide à la décision. De plus, elle offre un moyen d'évaluation en permettant d'analyser le rendement des participants par rapport aux types de problèmes rencontrés, ce qui permet de mieux cerner leurs profils.

### 5.5. Outils d'aide à la prise de décision de groupe

Le développement des Technologies de l'Information et des Télécommunications (TIC) a donné naissance à des outils d'aide à la prise de décision collective, notamment les systèmes d'aide à la décision de groupe (GDSS) ou Multi-participant Decision Support Systems (MDSS) [ADLA 10]. Ces systèmes permettent à plusieurs décideurs, même dispersés géographiquement, d'interagir simultanément pour atteindre des objectifs communs.

Parmi les outils d'aide à la prise de décision collective, on trouve des logiciels de brainstorming électronique, des outils de votes collectifs, d'analyse multicritères, de matrice de consensus, de

pondération des décisions, de génération et d’annotation des idées, etc. [BUI et al. 86] [JARK et al. 87].

Les premiers systèmes développés dans ce domaine sont Co-oP et MEDIATOR. Co-oP offre un environnement de discussion coopératif et distant, tandis que MEDIATOR propose un système de médiation humaine pour faciliter la collaboration [ADLA 10].

D'autres outils ont émergé par la suite, comme GroupSystems, Decision Explorer, Meetingworks et TCBWorks. GroupSystems offre une variété d'outils pour la génération d'idées, l'organisation, la priorisation et l'évaluation des alternatives [NUNA et al. 97].

Decision Explorer permet la gestion des informations qualitatives autour de situations complexes ou incertaines [ACKE et al. 05].

Meetingworks propose une boîte à outils flexible pour les tâches de groupe [LEWI et al. 07].

TCBWorks combine la discussion structurée et la prise de décision multicritères [DENN et al. 96]. Enfin, GroupIntelligence est un outil de reporting web dédié pour les produits GroupSystems.

## 6. DIAGNOSTIC MEDICAL ET SYSTEMES INTERACTIFS D’AIDE A LA DECISION

### 6.1. Diagnostic Médical

La médecine englobe l'ensemble des connaissances relatives aux maladies ainsi que les méthodes de traitement [NFON 18]. Avec l'avènement des connaissances scientifiques modernes, on parle de médecine moderne pratiquée par des professionnels de la santé reconnus par un système de soins. Cependant, dans le monde entier, certains patients ou professionnels de la santé se tournent vers d'autres formes de médecine qui ne sont pas reconnues par les systèmes de soins modernes.

Le diagnostic médical, qui consiste à identifier les caractéristiques d'une maladie à travers les symptômes ou les résultats d'examens, est un élément essentiel de la pratique médicale. Il repose sur un processus cognitif que les cliniciens cherchent à maîtriser. L'intelligence artificielle (IA) s'intéresse donc aux défis posés par le diagnostic médical automatisé.

Les Systèmes d'Aide à la Décision (SAD) interviennent dans ce processus en fournissant un soutien informatisé pour l'analyse des données médicales et la formulation de diagnostics précis.

### 6.2. Approches Médicales

La médecine englobe la science et la pratique du diagnostic, du traitement et de la prévention des maladies. Les approches médicales peuvent être classées en deux catégories principales : les médecines conventionnelles, fondées sur les avancées scientifiques, et les médecines non conventionnelles, basées sur des pratiques non étayées par des preuves scientifiques.

#### 6.2.1. Médecine conventionnelle

Depuis des millénaires, la médecine a été associée à des pratiques artistiques et à des connaissances culturelles, religieuses et philosophiques. Cependant, avec l'avènement des sciences modernes, elle est devenue une fusion d'art, de science fondamentale et de science appliquée. Cette évolution a abouti à une médecine moderne, scientifique et conventionnelle, largement développée dans le monde occidental. Les médecins contemporains utilisent leur jugement clinique pour évaluer,

diagnostiquer, traiter et prévenir les maladies. Cette évaluation commence souvent par une interaction avec le patient, comprenant un examen des antécédents médicaux et un entretien médical approfondi, suivi d'un examen physique [COUL et al. 92].

### 6.2.2. Médecine non conventionnelle

La démarche cartésienne de spécialisation extrême en médecine peut être limitée pour traiter des systèmes complexes comme le corps humain. Les médecines non conventionnelles, telles que l'électrothérapie ou la médecine naturelle, sont souvent utilisées, parfois en conjonction avec la médecine scientifique, mais reposent sur des pratiques non prouvées et des croyances. La médecine traditionnelle varie selon les cultures, avec des approches comme la médecine traditionnelle chinoise et africaine, souvent utilisées pour les soins primaires dans de nombreux pays, malgré les recommandations médicales.[BAGNet al. 04]

### 6.2.3. Approches complémentaires et alternatives

Les systèmes de santé cherchent à améliorer la santé principalement grâce à la médecine moderne, mais parfois, des approches complémentaires et alternatives sont également utilisées. Ces approches, appelées médecines complémentaires et alternatives (MCA), sont utilisées en parallèle avec la médecine conventionnelle pour diverses raisons, telles que l'amélioration de la qualité de vie et la réduction des effets secondaires des traitements conventionnels. Cependant, les MCA ont également leurs limites, notamment en raison du potentiel d'effets indésirables et des difficultés de recherche clinique. Une approche intégrative, visant à combiner les thérapies les plus appropriées pour chaque patient, est parfois adoptée pour relever ces défis [SPEN 99].

### 6.2.4. Approches Intégratives

Dans de nombreux systèmes de santé, les consultations sont de plus en plus courtes et les protocoles de plus en plus standardisés, tandis que la demande de thérapies complémentaires augmente. Pour répondre à ces défis, une approche intégrative de la santé est nécessaire, qui combine les médecines conventionnelles et alternatives pour proposer des solutions adaptées à chaque patient. Cette approche met l'accent sur la guérison en prenant en compte tous les aspects de la personne, y compris son mode de vie et ses croyances. Elle favorise une communication ouverte entre le médecin et le patient, examine les options de traitement en fonction des besoins individuels et encourage la collaboration entre différentes spécialités médicales. Ce processus évolutif de prise en charge de la santé implique une évaluation continue et une réévaluation des traitements pour maintenir l'équilibre de la santé. La médecine intégrative vise à proposer des thérapies sûres, non invasives et rentables, en combinant les meilleures pratiques des médecines conventionnelles et alternatives [RAKE 12] [BELL et al. 02].

## 6.3. Informatique Médicale

Les débuts de l'informatisation des processus médicaux remontent à plus de cinquante ans. Cependant, cette tâche s'est avérée plus ardue que prévu en raison de la complexité et de l'évolution rapide du domaine. De nombreux efforts de recherche sont entrepris dans le domaine de l'informatique médicale, se concentrant principalement sur les dossiers médicaux électroniques, les diagnostics et les prescriptions. Les dossiers médicaux électroniques (DME) sont essentiels pour stocker les données des patients, facilitant ainsi la fourniture de soins de qualité à moindre coût. Les erreurs de diagnostic sont courantes et constituent un défi majeur dans la pratique médicale, d'où l'intérêt croissant pour le développement de logiciels d'aide au diagnostic. La prescription médicale,

quant à elle, nécessite une prise de décision minutieuse, souvent facilitée par les systèmes d'aide à la prescription [BELL et al. 02].

### 6.3.1. Raisonnement humain

Lorsqu'une anomalie est observée dans le fonctionnement d'un individu ou d'un système, on fait face à un problème. Le diagnostic, qui consiste à expliquer cette anomalie, est crucial dans la médecine conventionnelle pour identifier et distinguer les maladies à partir de leurs symptômes. Le diagnostic différentiel est une méthode éprouvée utilisée par les médecins pour explorer les différentes causes possibles des symptômes d'un patient et parvenir à un diagnostic précis.

### 6.3.2. Diagnostic différentiel

Le diagnostic différentiel est une étape essentielle dans tout processus thérapeutique, car aucune thérapie ne peut être rationnelle sans un diagnostic précis. Il repose sur un raisonnement hypothético-déductif où le clinicien forme des hypothèses à partir des faits observés et envisage les diagnostics compatibles. En examinant les signes, il confirme ou infirme ces hypothèses, aboutissant ainsi à un diagnostic. Si plusieurs hypothèses subsistent, le processus est réitéré en élargissant la recherche de signes. Si aucune hypothèse n'est confirmée, le cercle des hypothèses est élargi pour inclure des diagnostics plus rares.

## 6.4. Diagnostic médical informatisé

En médecine, le diagnostic repose sur les symptômes observés chez le patient, collectés lors de la consultation ou d'examens. Les chercheurs ont tenté de simuler ce processus cognitif des cliniciens en utilisant des ordinateurs. Progressivement, l'intelligence artificielle (IA) est devenue essentielle dans le diagnostic médical automatique. Les systèmes intelligents, comme les systèmes experts, étaient au cœur de cette évolution. Ainsi, l'utilisation des **Systèmes d'Aide à la Décision (SAD)** dans le domaine médical s'intensifie vers une médecine du futur, offrant une assistance précieuse aux cliniciens pour établir des diagnostics plus rapides et précis.

## 6.5. Notion d'aide à la décision médicale

Lors de la prise de décision, le médecin doit agir sans connaître l'ensemble des données relatives à un patient et bien entendu toute la connaissance spécifique de la situation. Il a souvent besoin d'aide afin d'établir une décision de qualité. En médecine, la décision est considérée comme étant le centre de l'acte médical. Le processus de la décision médicale consiste entre autres à poser un diagnostic, une thérapie, un pronostic (prévoir l'évolution de la maladie). Ce processus de reconnaissance et de recherche de solution est long et délicat. Ce qui a conduit à la conception et au développement de systèmes ayant pour but d'appuyer la décision médicale communément appelé : aide à la décision médicale.

Selon Mansoul [MANS 18], l'aide à la décision médicale, « c'est l'ensemble des techniques et outils de traitement permettant d'aider un processus d'établir une décision se rapportant à une situation médicale ».

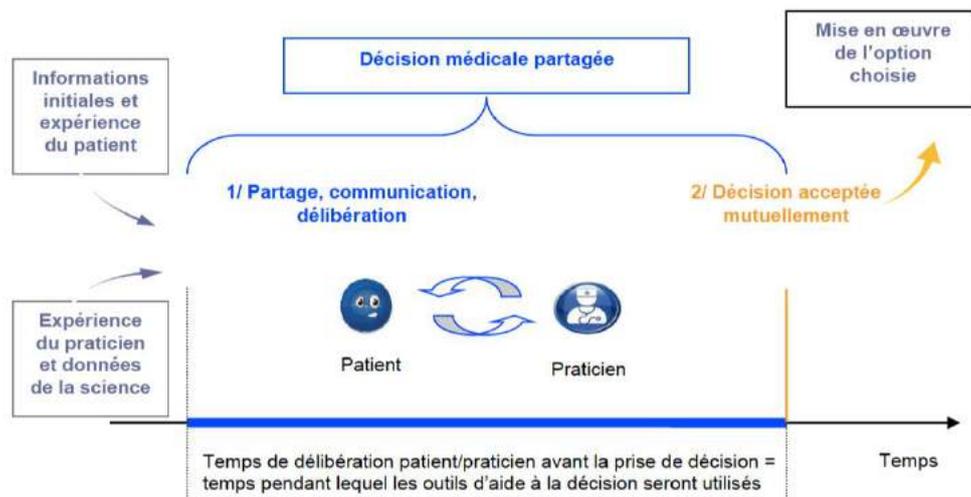


Figure 1.3 : Processus de décision médicale collective (source HAS<sup>(1)</sup>)

## 6.6. Définitions des SADM

Les Systèmes d'Aide à la Décision Médicale (SADM) sont des systèmes informatiques conçus pour assister les professionnels de la santé dans le processus de prise de décision clinique. Ces systèmes intègrent des connaissances médicales, des données patients et des algorithmes d'analyse pour fournir des recommandations et des suggestions aux praticiens.

Plusieurs définitions ont été proposées pour les systèmes d'aide à la décision médicale (SADM) :

« Les systèmes d'aide à la décision médicale (SADM) sont des outils informatiques capables de traiter l'ensemble des caractéristiques d'un patient donné afin de générer les diagnostics probables de son état clinique (aide au diagnostic) ou les traitements qui lui seraient adaptés (aide à la thérapeutique) » [SERO et al. 14].

Darmoni définit un SADM comme « Un système d'aide à la décision médicale est un ensemble organisé d'informations, conçu pour assister le praticien dans son raisonnement en vue d'identifier un diagnostic et de choisir la thérapeutique adéquate, en opérant un dialogue entre l'homme et la machine » [DARM 03].

Ils peuvent également être définis d'une manière globale comme « Outils informatiques dont le but est de fournir aux cliniciens en temps et lieux utiles, les informations décrivant la situation clinique d'un patient, ainsi que les connaissances appropriées à cette situation, correctement filtrées et présentées, afin d'améliorer des soins et la santé des patients » [BOUZet al. 15].

## 6.7. Objectifs des Systèmes d'Aide à la Décision Médicale

Les principaux objectifs des SADM peuvent être résumés dans les points suivants :

- Proposer un diagnostic, une thérapie ou un pronostic ;
- Améliorer la qualité des soins ;
- Permettre aux membres de l'équipe soignante d'être plus efficaces ;
- Réduire le nombre d'erreurs ;

- Alerter les professionnelles de santé sur l'existence d'autres informations intéressantes ;
- Faciliter le filtrage de grandes quantités de données numérisées.

## 6.8. Typologie des Systèmes d'Aide à la Décision Médicale

Les buts d'un système varient en fonction des utilisateurs, de leurs rôles et de leur expertise. Il est crucial de définir le niveau d'assistance à la décision requis ainsi que les fonctionnalités attendues. En conséquence, trois principales catégories de systèmes émergents [DEGO et al. 91].

**1). Les systèmes d'assistance documentaire :** Les systèmes d'aide indirecte à la prise de décision sont conçus pour faciliter l'accès aux informations pertinentes de manière rapide. Leur objectif est de fournir un accès efficace aux résultats d'analyses biochimiques ou au dossier médical du patient, afin d'aider le médecin à évaluer une situation donnée. Ces systèmes, qui comprennent des bases de données telles que Medline, ne sont pas équipés de méthodes de raisonnement proprement dites, mais ils sont essentiels pour gérer et fournir des références documentaires.

**2). Les systèmes d'alertes ou de rappels automatiques :** Ces systèmes offrent une assistance directe aux utilisateurs en déclenchant automatiquement des alertes pour signaler des erreurs à éviter ou rappeler des informations pertinentes pour une prise de décision dans une situation donnée. Cette assistance n'implique pas un raisonnement complet ou une compréhension globale du cas du patient, mais elle sert plutôt de rappel d'informations utiles et pertinentes dans des situations cliniques variées. Bien que ces systèmes ne réalisent pas de raisonnement à proprement parler, l'assistance qu'ils fournissent est plus personnalisée car elle prend en compte les données disponibles sur la situation considérée. Les alertes peuvent prendre différentes formes, telles que la mise en garde contre une prescription médicamenteuse inappropriée pour un patient donné ou la suggestion d'un protocole thérapeutique en cas de reconnaissance d'une pathologie spécifique.

**3). Les systèmes consultants :** Ces systèmes analysent des situations médicales spécifiques et fournissent à l'utilisateur des conclusions argumentées en fonction des méthodes de raisonnement utilisées. Leur objectif est de fournir un avis d'expert sur une situation clinique précise, qu'il s'agisse d'un diagnostic ou d'un traitement. C'est dans cette catégorie que l'on observe le plus grand nombre de développements en matière de systèmes d'aide à la décision.

## 7. FONCTIONNALITES DES SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION MEDICALE DE DIAGNOSTIC ET METHODOLOGIE D'AIDE A LA DECISION MEDICALE

Les Systèmes d'Aide à la Décision Médicale de diagnostic intègrent une variété de fonctionnalités pour faciliter le processus décisionnel des cliniciens, en s'alignant avec la méthodologie d'aide à la décision médicale, ces systèmes comportent d'une manière générale les points suivants :

**1). Analyse des Données Médicales et Collecte des Données :** Les SADM permettent l'agrégation et l'analyse de données provenant de multiples sources, telles que les dossiers médicaux électroniques, les résultats d'examens biologiques et d'imagerie médicale. Cette collecte de données est essentielle pour alimenter le processus d'aide à la décision médicale.

**2). Algorithmes de Traitement et Analyse des Données :** Les SADM utilisent des algorithmes sophistiqués pour interpréter les données médicales et générer des hypothèses diagnostiques en

fonction des symptômes et des antécédents du patient. Cette analyse des données alimente la modélisation du raisonnement clinique.

**3). Aide à la Décision et Présentation des Recommandations :** Les SADM fournissent des recommandations et des suggestions aux cliniciens en matière de diagnostic, en prenant en compte les meilleures pratiques cliniques et les données probantes disponibles. Ces recommandations sont présentées de manière claire et concise, souvent sous forme de suggestions ou d'alertes intégrées dans les systèmes d'information de santé.

**4). Modélisation du Raisonnement Clinique et Sélection des Options de Traitement :** La méthodologie d'aide à la décision médicale implique la modélisation du raisonnement clinique pour formaliser la manière dont les cliniciens pensent et prennent des décisions. Sur la base des données et des modèles de raisonnement, différentes options de traitement sont évaluées pour déterminer celle qui convient le mieux au patient.

**5). Gestion des Risques et Évaluation et Rétroaction :** Certains SADM intègrent des outils de gestion des risques pour évaluer la probabilité de divers diagnostics et aider à identifier les issues potentielles. Une fois la décision prise et mise en œuvre, les résultats sont évalués pour déterminer leur efficacité et leur impact sur la santé du patient, fournissant ainsi une rétroaction précieuse pour améliorer continuellement les méthodes d'aide à la décision médicale.

## 8. DEFIS DES SYSTEMES D’AIDE A LA DECISION MEDICALE

L'intégration des Systèmes d'Aide à la Décision Médicale (SADM) dans la pratique clinique offre des avantages indéniables, mais elle est également confrontée à plusieurs défis, tels que :

- **Nécessité de Maintenir des Bases de Connaissances à Jour :** Les SADM nécessitent des bases de connaissances médicales constamment mises à jour pour garantir des recommandations précises et pertinentes.
- **Confiance des Cliniciens :** Les cliniciens doivent avoir confiance dans les recommandations des SADM, ce qui peut nécessiter une sensibilisation et une formation appropriées sur leur utilisation et leurs limites.
- **Protection de la Confidentialité des Données :** Les SADM doivent garantir la confidentialité des données des patients, ce qui soulève des préoccupations en matière de sécurité et de conformité réglementaire.
- **Précision des Algorithmes :** La précision des algorithmes utilisés par les SADM est cruciale pour assurer des recommandations fiables et pertinentes, ce qui nécessite une validation et une évaluation régulières.
- **Acceptation par les Professionnels de la Santé :** Les SADM doivent être acceptés et adoptés par les professionnels de la santé, ce qui peut nécessiter des efforts pour démontrer leur efficacité et leur valeur ajoutée dans la pratique clinique.

## 9. EXEMPLES D’APPLICATION DES SADM

Les systèmes d'aide à la décision ont trouvé un champ d'application privilégié dans le domaine médical. Parmi eux, les premiers systèmes experts se sont concentrés sur la simulation de diagnostics

médicaux. MYCIN est l'un des exemples les plus célèbres de ces systèmes, utilisé spécifiquement pour identifier les micro-organismes responsables des infections.

Dans le domaine médical, plusieurs systèmes experts ont été développés, dont certains exemples incluent :

- Médecine interne : Internist, Cadiag, Toubib.
- Maladies respiratoires : VM, Centaur.
- Radiologie : Radex, Phoenix.
- Prescription d’Antibiotique : Anticipator.
- Diabétologie : DIABAID.

En plus de cela, il existe d'autres systèmes basés sur la connaissance qui utilisent le raisonnement par cas, par exemple : DIALOG, PIP, CARDIAG-2, DXplain et INTERNIST-I.

## 10. PERSPECTIVES FUTURES DES SADM

**Intégration approfondie de l'intelligence artificielle (IA) :** Les SADM utiliseront l'IA pour analyser de grandes quantités de données médicales, en identifiant des modèles complexes et en fournissant des recommandations précises aux cliniciens.

**Développement de la médecine personnalisée :** Les SADM joueront un rôle crucial dans la médecine personnalisée en proposant des plans de traitement adaptés aux caractéristiques individuelles des patients, intégrant des données cliniques, génomiques et environnementales.

**Utilisation de la technologie portable et des dispositifs connectés :** Les avancées dans les dispositifs portables et les capteurs connectés fourniront aux SADM des données en temps réel sur la santé des patients, améliorant la surveillance continue et la gestion des maladies chroniques.

**Amélioration de l'interopérabilité et de l'intégration des systèmes :** L'intégration des SADM avec d'autres systèmes de santé améliorera la coordination des soins entre les professionnels de santé, favorisant une prise de décision collaborative et une meilleure continuité des soins grâce à une meilleure interopérabilité des données médicales.

## 11. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons examiné en détail les processus de prise de décision, tant individuels que collectifs, en mettant en évidence l'importance des modèles, des processus de raisonnement et des méthodologies utilisées.

Nous avons également discuté de l'intégration des systèmes d'aide à la décision médicale (SADM) dans ces processus, soulignant leurs avantages tels qu'une prise de décision plus rapide et une réduction des erreurs médicales.

Cependant, l'adoption des SADM n'est pas sans défis, notamment en termes de fiabilité et d'acceptation par les professionnels de la santé. Il est crucial de continuer à développer et à améliorer ces systèmes, en mettant l'accent sur leur intégration harmonieuse dans la pratique clinique.

En conclusion, les avancées dans les SADM offrent un potentiel considérable pour améliorer la qualité des soins de santé. En investissant dans la recherche et le développement de ces systèmes, nous pouvons maximiser leur efficacité et transformer la prestation des soins de santé pour le bien-être des individus.

# **CHAPITRE II : SYSTEMES MULTI- AGENTS**

---

### 1. INTRODUCTION

Ces dernières années, les systèmes multi-agents ont gagné en importance dans divers domaines de l'informatique, notamment l'intelligence artificielle, les systèmes distribués, la robotique et même le domaine émergent de la "vie artificielle". Ces systèmes introduisent la problématique de l'intelligence collective et de l'émergence de structures par interactions. En se concentrant sur l'autonomie des individus appelés agents et sur les interactions qui les relient, les systèmes multi-agents soulèvent de nombreuses questions. Quels sont les concepts fondamentaux de ce domaine ? Comment se distingue-t-il des autres disciplines, en particulier de l'intelligence artificielle, des systèmes distribués et de la robotique ? Quels sont ses contributions aux sciences cognitives et à la réflexion philosophique en général ?

L'expansion des champs d'application de l'Intelligence Artificielle (IA) pour recouvrir les domaines complexes tels que l'aide à la décision, la reconnaissance et la compréhension des formes, la conduite des processus industriels, etc., a montré les limites de l'approche de l'IA classique qui s'appuie sur une centralisation de l'expertise au sein d'un système unique. Au début des années 70, des travaux menés sur la distribution ont conduit à la naissance de l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD).

Les systèmes multi agents (SMA) constituent un axe fondamental dans la recherche en IAD. Leur émergence a été l'un des événements marquant des années quatre-vingt-dix dans la recherche informatique. Les SMA reposent sur des entités autonomes et flexibles appelées agents, de l'organisation de ces agents, de la communication entre ces agents et de l'interaction qui tournent autour de la coopération, de la concurrence ou de la coexistence entre eux. Ils sont utilisés pour la conception, la modélisation, l'analyse et la simulation des systèmes complexes impliquant de multiples entités en interaction et dont la coordination permet d'atteindre un objectif collectif.

Dans ce chapitre, nous allons en premier lieu aborder la notion d'agents, ensuite nous parlerons des systèmes multi agents, de leurs caractéristiques ainsi que de quelques plateformes de développement des SMA.

### 2. QUELLES SONT LES RAISONS DE S'INTERESSER AUX SYSTEMES MULTI-AGENTS

Les systèmes multi-agents offrent une approche adaptée à la complexité des systèmes actuels. Ils permettent de modéliser le fonctionnement global d'un système complexe à partir de ses composants et de leurs interactions.

Cette approche constitue un nouveau niveau d'abstraction, où les applications sont formulées en termes d'agents autonomes exécutant des rôles et fournissant des services au sein d'une organisation.

Avec l'évolution de la puissance informatique, le développement des réseaux comme le Web, et la croissance exponentielle des données à traiter, les besoins en applications complexes se sont multipliés. Les systèmes multi-agents répondent à ces besoins en permettant une conception modulaire et distribuée des systèmes. La répartition des modules sur plusieurs machines facilite la conception et la maintenance, tout en permettant des améliorations localisées au niveau des agents.

Cette approche offre des solutions robustes et adaptables, capables de fonctionner dans des environnements imprévisibles comme Internet. Cependant, la coordination et la gestion des interactions entre les agents posent des défis, nécessitant une maîtrise des interactions pour garantir la cohérence fonctionnelle du système dans son ensemble.

### 3. CONCEPT D'AGENT

#### 3.1. Définitions

Dans la littérature, diverses définitions du concept d'agent sont proposées, bien qu'elles présentent des similitudes tout en variant selon le contexte d'application spécifique. De plus, avec l'émergence des nouvelles technologies et l'essor d'Internet, ce concept a été associé à de nombreuses nouvelles applications telles que les agents ressources, les agents courtiers, les assistants personnels, les agents interfaces, les agents ontologiques, etc. En voici quelques-unes de ces définitions :

- Un agent est une entité qui perçoit son environnement et agit sur celui-ci **[RUSS 97]**.
- Un agent est une entité qui fonctionne continuellement et de manière autonome dans un environnement où d'autres processus se déroulent et d'autres agents existent **[SHOH 93]**.
- Un agent est une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui, dans un univers multi-agent, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances, et de ses interactions avec les autres agents **[FERB 95]**.
- Selon une autre définition de Ferber **[FERB 95]** on appelle agent une entité physique ou virtuelle :
  - a) Qui est capable d'agir dans un environnement ;
  - b) Qui peut communiquer avec d'autres agents ;
  - c) Qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser) ;
  - d) Qui possède des ressources propres ;
  - e) Qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement ;
  - f) Qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune) ;
  - g) Qui possède des compétences et offre des services ;
  - h) Qui peut éventuellement se reproduire ;
  - i) Dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.

## 3.2. Caractéristiques d'agents

Selon Wooldrige [WOOL et al.95] et en s'inspirant des définitions citées, un agent peut être :

- **Situé** : l'agent est capable d'agir sur son environnement à partir des entrées sensorielles qu'il reçoit de ce même environnement ;
- **Autonome** : l'agent est capable d'agir sans l'intervention d'un tiers (humain ou agent) et contrôle ses propres actions ainsi que son état interne ;
- **Proactif** : l'agent doit exhiber un comportement proactif et opportuniste, tout en étant capable de prendre l'initiative au bon moment ;
- **Capable de répondre à temps** : l'agent doit être capable de percevoir son environnement et d'élaborer une réponse dans le temps requis ;
- **Social** : l'agent est capable d'interagir avec les autres agents (logiciels ou humains) afin d'accomplir des tâches ou d'aider ces agents à accomplir les leurs.
- **Intentionnel** : un agent intentionnel est un agent guidé par ses buts, une intention est la déclaration explicite des buts et des moyens d'y parvenir. Elle exprime donc la volonté d'un agent d'atteindre un but ou d'effectuer une action.
- **Rationnel** : un agent rationnel est un agent qui suit le principe suivant « Si un agent sait qu'une de ses actions lui permet d'atteindre un de ses buts, il la sélectionne ». La notion de rationalité se rapporte au comportement cognitif de l'agent. Ce terme qualifie l'utilisation efficace des ressources par l'agent.
- **Engagé** : la notion d'engagement est une qualité essentielle des agents coopératifs. Un agent coopératif planifie ses actions par coordination et négociation avec les autres agents. En construisant un plan pour atteindre un but, l'agent se donne les moyens d'y parvenir et donc s'engage à accomplir les actions qui satisfont ce but : l'agent croit qu'il est en mesure d'exécuter tous les plans qu'il a élaboré, ce qui le conduit (ainsi que les autres agents) à agir en conséquence.
- **Adaptatif** : un agent adaptatif est un agent capable de contrôler ses aptitudes (communicationnelles, comportementales) selon l'agent avec qui il interagit. Un agent adaptatif est un agent d'un haut niveau de flexibilité.
- **Intelligent** : un agent intelligent est un agent cognitif, rationnel, intentionnel et adaptatif.

## 3.3. Typologies des agents

Un agent interagit avec son environnement en recevant des informations par le biais de récepteurs, et en agissant sur cet environnement par le biais d'effecteurs, en suivant un comportement déterminé par son raisonnement interne. L'agent est défini par son architecture et son comportement, l'architecture étant déterminée par la manière dont les différentes parties de l'agent sont assemblées pour lui permettre d'accomplir ses tâches. En fonction de leurs architectures et de leurs capacités, les agents sont classés en plusieurs types, tels que cognitifs, réactifs ou hybrides.

### 3.3.1. Agent réactif

D'après Ferber [FERB 95], « les agents réactifs, définis par le fait même qu'ils n'ont pas de représentation de leur environnement et des autres agents, sont incapables de prévoir ce qui va se passer et donc d'anticiper en planifiant les actions à accomplir ».

L'agent réactif présente les caractéristiques suivantes :

- Pas de mémoire ;

- Pas de représentation explicite ;
- Prise de décision se basant sur le fait du stimulus/réponse ;
- Simple à mettre en œuvre ;
- Communication via l'environnement.

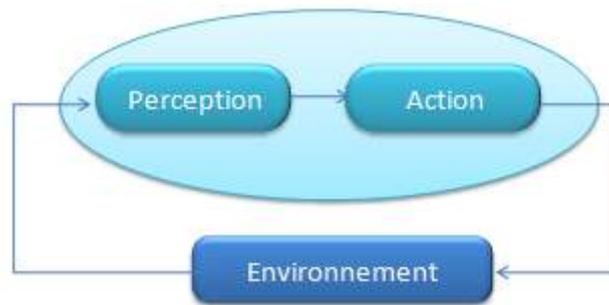


Figure II.1: Agent réactif

Les recherches sur ces agents se concentrent davantage sur la modélisation des interactions au sein d'une communauté d'agents que sur les caractéristiques individuelles de chaque agent, en s'inspirant des sciences naturelles. L'exemple le plus connu est l'étude de la fourmilière réalisée par Alexis Drogoul [DROG 93].

### 3.3.2. Agent cognitif

Les agents dotés de capacités cognitives sont inspirés d'une métaphore du fonctionnement humain. Ces agents ont une représentation claire de leur environnement, des autres agents et d'eux-mêmes [DEMA et al. 90][JENN et al. 92][FERB 95].

L'agent cognitif est un agent qui dispose d'une base de connaissances comprenant l'ensemble des informations et de savoir-faire nécessaire à la réalisation de sa tâche et la gestion des interactions avec les autres agents et avec son environnement [FERB 95].

Nous citons quelques caractéristiques pour que l'agent soit considéré comme intelligent ou cognitif :

- L'autonomie ;
- La perception de la situation ;
- L'interactivité ;
- La réactivité ;
- La proactivité ;
- L'apprentissage ;
- Les capacités sociales ;
- La coordination ;
- La compétition ;
- La mobilité ;
- La délégation ;
- La communication ;
- Une représentation explicite de l'environnement et du monde auquel il appartient ;

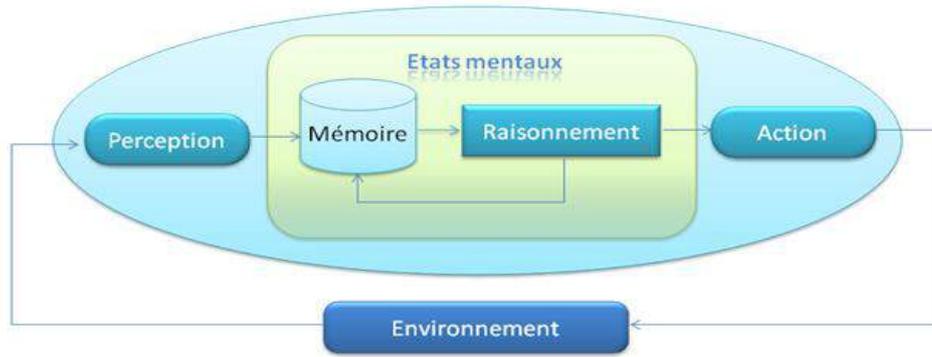


Figure II.2: Agent cognitif

Le tableau suivant représente les différences entre les agents réactifs et cognitifs.

Systèmes d'agents cognitifs	Systèmes d'agents réactifs
Représentation explicite de l'environnement	Pas de représentation explicite
Peut tenir compte de son passé	Pas de mémoire de son passé
Agents complexes	Fonctionnement Stimulus/Réponse
Petit nombre d'agents	Grand nombre d'agents

Tableau II.1 : Différences entre agents cognitifs et agents réactifs [ZOUA 12]

### 3.3.3. Agent BDI

Les agents BDI (Beliefs, Desires, Intentions) font partie de la catégorie des agents cognitifs, se concentrant sur le raisonnement pratique et l'état mental de l'agent. Cette architecture repose sur trois aspects clés :

- Les croyances : Ce que l'agent sait de son environnement.
- Les désirs : Les états vers lesquels l'agent aspire.
- Les intentions : Les états envers lesquels l'agent s'engage et alloue des ressources.

Un agent BDI met à jour ses croyances selon les informations environnementales, prend des décisions sur les options disponibles, filtre ces options pour former de nouvelles intentions et exécute des actions en fonction de ces intentions. Ce processus décisionnel se divise en deux phases : la délibération, où les objectifs sont fixés, et la planification, où les moyens pour les atteindre sont définis.

Les intentions guident la planification, influent sur les croyances futures et déterminent les actions à entreprendre pour atteindre les objectifs. Équilibrer ces aspects est crucial pour la conception des agents BDI, mais trouver le compromis entre persévérer dans une intention ou l'abandonner reste complexe.

Le modèle BDI offre une décomposition fonctionnelle claire des sous-systèmes nécessaires à la conception d'un agent, ce qui le rend intuitif et pratique. Cependant, l'implémentation efficace de ces sous-systèmes demeure un défi majeur.

### 3.3.4. Agent hybride

L'agent hybride combine les capacités réactives et cognitives, ce qui lui permet d'adapter son comportement en temps réel à l'évolution de l'environnement. Le côté réactif assure la réalisation des activités de type réflexes en réponse aux stimuli de l'environnement. Ces activités ne nécessitent pas la mise en œuvre de raisonnements complexes. La partie cognitive assure la réalisation d'activités basées sur la planification et la délibération nécessitant la mise œuvre de raisonnements complexes [LABA 06].

## 3.4. Modèles d'Architecture des agents

Plusieurs architectures ont été proposées pour les agents. Parmi celles-ci, nous allons présenter une architecture d'agents réactifs et une architecture d'agents cognitifs.

### 3.4.1. Architecture de subsomption

C'est une architecture d'agents réactifs, composée d'un ensemble de modules sachant que chacun est responsable de la réalisation d'une tâche simple. On appelle ces modules des modules de compétences parce que chaque module est responsable de l'exécution d'un comportement spécifique. La figure II.3 représente un exemple de cette architecture. On peut remarquer que les modules sont organisés en couche tels que chaque couche inférieure a une priorité plus élevée que les couches supérieures. En fait, chaque couche a une tâche plus simple et plus urgente par rapport aux tâches des couches supérieures. Pour assurer un tel contrôle de couche, une couche inférieure peut supprimer les entrées d'une couche supérieure pour inhiber son exécution. Chaque tâche est décrite par un ensemble de règle de comportement. Une règle de comportement est spécifiée par une condition et une action. Une condition est activée par la perception de l'environnement et l'action change l'état de cet environnement.



Figure II.3: Architecture Réactive de Subsomption (Robots explorateurs de Mars)

### 3.4.2. Architecture BDI

L'architecture BDI pour Belief- Desire- Intention est une architecture d'agents cognitifs comme nous l'avons déjà cité et elle se repose sur trois éléments essentiels comme le montre la figure ci-dessous :

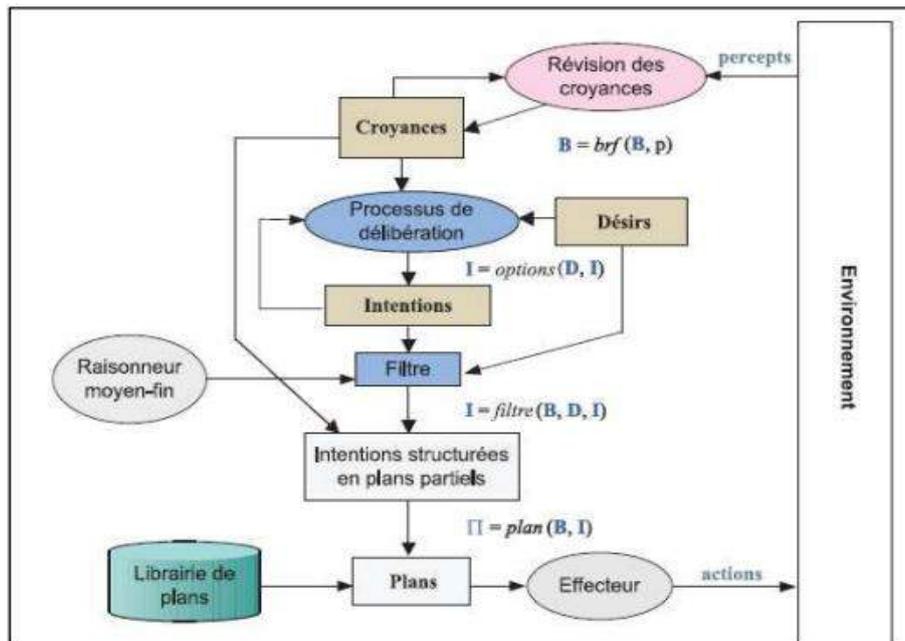


Figure II.4: Architecture BDI [WOOL et al. 99]

### 3.4.3. Architecture à organisation modulaire

Dans ce contexte, un agent est structuré en plusieurs couches disposées hiérarchiquement, la plupart des architectures se contentant de trois couches principales :

- La première couche, en bas de la hiérarchie, est entièrement réactive, prenant des décisions sur la base de données brutes provenant des capteurs.
- La deuxième couche, intermédiaire, abstrait les données brutes pour travailler avec une vision plus contextuelle de l'environnement.
- La troisième couche, en haut de la hiérarchie, s'occupe des interactions sociales de l'environnement, impliquant le raisonnement en tenant compte des autres agents. La figure II.5 illustre l'architecture d'un agent hybride.

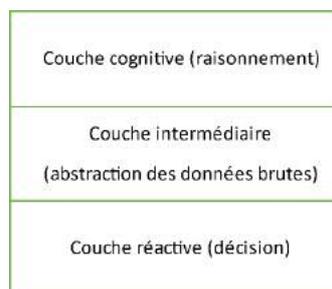


Figure II.5: Architecture d'agent hybride [BOIS et al. 96]

### 3.4.4. Le modèle d'architecture d'agent DIMA (Développement et Implémentation des Systèmes Multi-Agents)

Les agents hybrides à organisation modulaire combinent des propriétés cognitives et réactives, souvent réparties dans des modules distincts. Cela pose un défi de contrôle à deux niveaux : la coordination entre les agents et celle entre les modules internes de chaque agent. Cette architecture est moins adaptée à la conception d'agents au comportement très simple et réactif.

Pour surmonter ce défi, Guessoum [GUES et al. 02] a proposé le modèle d'architecture d'agents DIMA, qui permet de décomposer chaque agent en différents composants réactifs ou cognitifs. Cette modularité offre plusieurs avantages, notamment la possibilité de définir des agents à granularité variable, adaptatifs et d'intégrer différents modèles d'agents. Le modèle DIMA peut être considéré comme un modèle "ouvert", permettant d'ajouter progressivement des fonctionnalités à chaque agent à partir des bibliothèques de la plate-forme. Chaque agent agit comme un composant simple ou composite gérant son interaction avec l'environnement et son comportement interne, où l'environnement englobe les autres agents et les entités non agents.

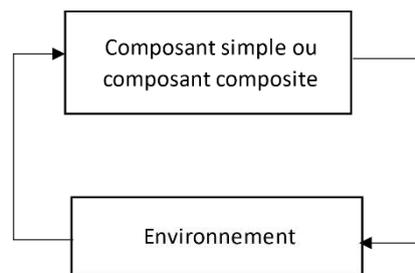


Figure II.6: Architecture d'agent hybride de DIMA[GUES et al. 02]

## 4. SYSTEMES MULTI-AGENTS

### 4.1. Définitions

Dans [WEIS et al. 99], G. Weiss définit l'intelligence artificielle distribuée comme l'étude, la conception et la mise en œuvre de systèmes multi-agents. Ces systèmes sont caractérisés par l'interaction entre des agents intelligents qui poursuivent des objectifs communs ou accomplissent des actions définies.

Dans la littérature, il n'existe pas de définition acceptée à l'unanimité. Nous allons en citer quelques-unes :

Selon Ferber [FERB 95], on appelle système multi-agent (ou SMA), un système composé des éléments suivants :

- Un environnement **E**, c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
- Un ensemble d'objets **O**. Ces objets sont situés, c'est-à-dire que, pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans **E**. Ces objets sont passifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par des agents.
- Un ensemble **A** d'agents, qui sont des objets particuliers ( $A \subset O$ ), lesquels représentent les entités actives du système.
- Un ensemble de relations **R** qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.
- Un ensemble d'opérations **Op** permettant aux agents de **A** de percevoir, produire, consommer, transformer des objets de **O**.
- Des opérations chargées de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers.

Chaib-draa dans [CHAI et al. 01] définissent un système multi-agent comme étant un système distribué composé d'un ensemble d'agents. Contrairement aux systèmes d'IA, qui simulent dans une certaine mesure des capacités du raisonnement humain, les SMA sont conçus et implémentés

idéalement comme un ensemble d'agents interagissant, le plus souvent, selon des modes de coopération, de concurrence ou de coexistence.

Une autre définition donnée par Wooldrige et Jennings [WOOL et al 00] présente un SMA comme étant : « un SMA est un ensemble d'agents ayant des buts ou des tâches, et qui interagissent pour les accomplir ».

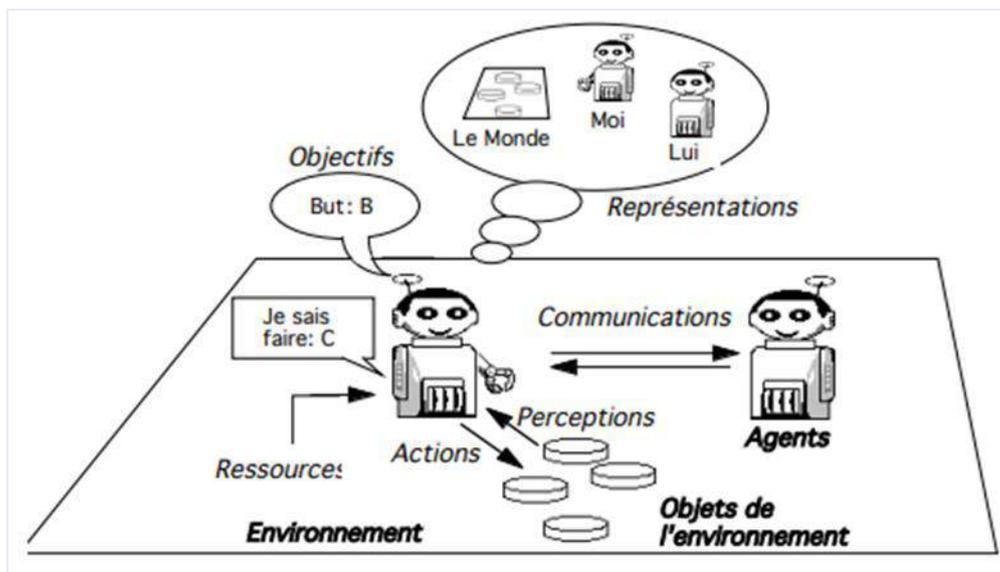


Figure II.7: Système multi agent [FERB 95]

## 4.2. Environnement d'un SMA

Dans les systèmes multi-agents, la notion d'environnement est primordiale et fondamentale [MORV 09]. Un agent ne peut exister sans environnement, c'est grâce à lui qu'ils peuvent coexister et interagir.

L'environnement d'un SMA peut avoir les propriétés suivantes :

- **Déterministe ou stochastique** : si le prochain état de l'environnement peut être déterminé par l'état courant et les actions exécutées par l'agent, on parlera alors d'environnement déterministe sinon il est dit stochastique.
- **Continu ou discret** : si la gestion du temps, les perceptions et les actions des agents d'un environnement sont discrets, il est alors qualifié de discret, continu sinon.
- **Accessible ou inaccessible** : s'il s'agit d'un environnement accessible, l'agent est capable d'acquérir toutes les informations concernant l'état de son environnement, il est inaccessible sinon.
- **Dynamique ou statique** : un environnement est dit dynamique s'il change indépendamment des agents par contre un environnement statique ne peut pas changer sans que des actions soient menées par les agents.

Il est important de faire la différence entre l'environnement d'un agent et celle d'un SMA. L'environnement d'un SMA est constitué des objets passifs qui composent le système tandis que celui d'un agent est composé de ses objets ainsi que des autres agents du système.

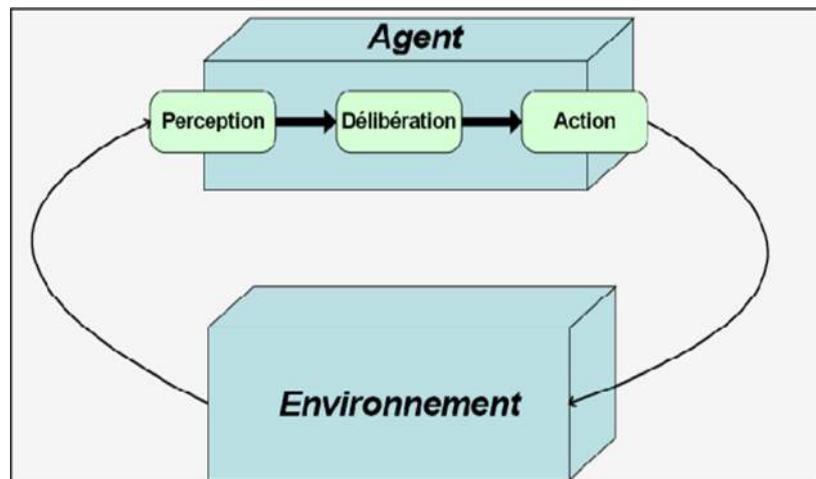


Figure II.8: Architecture d'un environnement

#### 4.3. Caractéristiques des systèmes multi-agents

Un système multi-agent est généralement caractérisé par [BOIS et al. 04] :

- **Distribution** : le système est décomposable, l'élément de base étant l'agent ;
- **Décentralisation** : les agents sont indépendants, il n'y a pas de décision centrale valable pour tout le système ;
- **Autonomie** : un agent est en activité permanente et prend ses propres décisions en fonction de ses objectifs et de ses connaissances ;
- **Echange de connaissances** : les agents sont capables de communiquer entre eux, selon des langages plus ou moins élaborés ;
- **Interaction** : les agents ont une influence localement sur le comportement des autres agents ;
- **Organisation** : les interactions créent des relations entre les agents, et le réseau de ces relations forme une organisation qui peut évoluer au cours du temps.

Un SMA peut prendre une des propriétés suivantes :

- Ouvert : les agents y entrent et en sortent librement.
- Fermé : l'ensemble d'agents reste le même.
- Homogène : tous les agents sont construits sur le même modèle.
- Hétérogène : des agents de modèles différents, de granularité différente.

### 5. INTERACTION ENTRE AGENTS

Une des propriétés de l'agent dans un SMA est d'interagir avec les autres agents. L'interaction est définie comme étant toute forme d'actions exécutées au sein d'un système d'agent et qui a pour effet de modifier le comportement d'un agent permettant la satisfaction d'un but global.

L'interaction est un processus dynamique où deux agents ou plus interagissent à travers un ensemble d'actions réciproques. Elle est cruciale dans les systèmes multi-agents car elle permet de les considérer comme un ensemble cohérent plutôt que des entités distinctes. Pour un agent, interagir avec d'autres agents peut être à la fois une source de potentiel et de difficultés. Les interactions permettent aux agents de partager des informations et des services pour atteindre leurs objectifs et éviter les conflits. Elles sont souvent régies par des schémas typiques appelés protocoles, assurant ainsi un déroulement correct de l'interaction. [FERB et al. 05].

Les interactions entre les agents sont souvent classées selon différentes situations telles que la communication, la coopération, la négociation et la coordination.

## 5.1. Communication

La communication est déterminante dans les systèmes multi-agents, étant au cœur de toute interaction. Elle permet l'échange d'informations entre agents, favorisant leur coordination. Essentielle pour exécuter les protocoles d'interaction, elle peut être directe via des messages ou des conversations, ou indirecte par l'action sur l'environnement. Pour pouvoir interagir, les agents doivent être capables de communiquer pour transmettre des informations, mais surtout d'induire chez l'autre un comportement spécifique.

La communication est donc une forme d'action particulière qui, au lieu de s'appliquer à la transformation de l'environnement, tend à une modification de l'état mental du destinataire.

On distingue deux types de communication dans les SMA : la communication directe et la communication indirecte.

**5.1.1. Communication directe** : La communication directe, selon Morvan [MORV 09], représente la méthode la plus simple où le message est transmis directement au récepteur. Ce mode de communication permet la diffusion et la communication point à point, nécessitant une identification précise des agents récepteurs par l'émetteur. Cette forme de communication est particulièrement adaptée aux agents cognitifs, qui, contrairement aux agents réactifs, possèdent des connaissances sur eux-mêmes et sur autrui. Ces agents cognitifs disposent également de connaissances sur leurs relations, ainsi que d'intentions et de compétences en communication, leur permettant d'envoyer des messages à un ou plusieurs agents et d'interpréter les messages reçus des autres agents (voir la figure II.9).

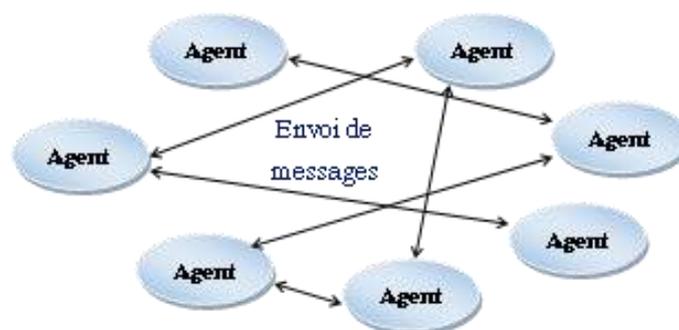


Figure II.9: Communication par envoi de message

**5.1.2. Communication indirecte** : ce modèle de communication est basé sur le partage des informations en utilisant un support centralisé appelé tableau noir. Morvan définit un tableau d'affichage (tableau noir) comme une structure de données accessible par tous les agents. L'ensemble des agents sont capables d'y mettre, de consulter, de modifier, de supprimer des messages. Dans le contexte des SMA, un agent peut communiquer via la diffusion des signaux et en laissant des marques dans son environnement.

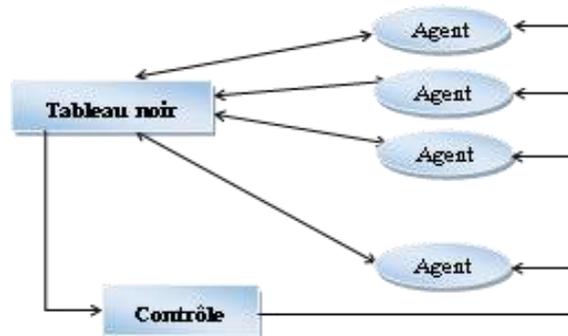


Figure II.10: Communication par tableau noir

### 5.1.3. Langages de communication

La communication entre agents est essentielle pour leur permettre d'agir dans un environnement commun et de résoudre des problèmes éventuels. Pour que la communication entre agents soit efficace, il est nécessaire qu'ils se comprennent mutuellement, d'où l'importance d'un langage commun à tous les agents. Deux langages de communication multi-agents largement utilisés sont KQML (Knowledge Query and Manipulating Language) [FINI et al. 94] et FIPA-ACL (Agent Communication Language de FIPA) [FIPA 97]. Plusieurs formalismes d'ACL (Agent Communication Language) ont été proposés mais les plus importantes sont :

- **KQML (Knowledge Query & Manipulation Language)** : Le langage KQML, un outil de haut niveau pour la communication entre agents, se concentre sur l'échange de messages tout en étant indépendant de la syntaxe et de l'ontologie des contenus. Il définit le format des messages sans se soucier du format de l'information qu'ils contiennent. Avec ses quarante performatifs et ses règles spécifiques, il orchestre les interactions entre les agents, offrant ainsi une gamme d'actions telles que la demande, la notification et le routage de l'information. Les messages KQML comprennent diverses commandes, allant des assertions aux demandes de médiation entre agents. [JARR et al. 02]
- **FIPA-ACL (Foundation for Intelligent Physical Agents-Agent Communication Language)** : il est basé sur la théorie de l'acte de langage : les messages sont des actions, ou des actes de communication, car ils sont destinés à effectuer une action du fait de leur envoi.

## 5.2. Coopération

Ferber [FERB 95] définit la coopération ainsi : plusieurs agents coopèrent si l'une des deux conditions suivantes est remplie :

- L'ajout d'un nouvel agent permet d'accroître les performances du groupe.
- L'action des agents sert à éviter ou résoudre des conflits potentiels ou actuels.

Il ajoute que c'est grâce à la coopération que les agents peuvent accomplir plus que la somme de leurs actions individuelles, mais cette coopération nécessite également la coordination et la résolution de conflits.

Selon **[DURF et al. 89]**, les objectifs génériques de la coopération dans un groupe d'agents sont :

1. Augmenter le taux de finalisation des tâches grâce au parallélisme.
2. Augmenter le nombre de tâches réalisables par le partage de ressources (information, expertise, dispositifs physiques, etc.).
3. Augmenter les chances de finaliser des tâches en les dupliquant et en utilisant éventuellement des modes de réalisation différents.
4. Diminuer les interférences entre tâches en évitant les interactions négatives.

La coopération est la forme générale de l'interaction nécessaire quand un agent ne peut atteindre ses buts sans l'aide d'autres agents. Elle concerne la répartition du travail et l'allocation des tâches entre agents. La coopération peut être statique, avec une répartition des tâches définie dès la conception du système multi-agents, ou dynamique, où la répartition des tâches se fait par des mécanismes d'offre et de demande. Cela peut être réalisé soit par un agent coordinateur centralisant les offres et les demandes, soit de manière distribuée **[KAMO 07]**.

### 5.3. Coordination

La coordination, selon **[MALO et al. 90]**, est définie comme l'acte de gérer les interdépendances entre différentes activités nécessaires à la réalisation d'un objectif. Ces interdépendances incluent les prérequis (le résultat d'une activité nécessaire à une autre), le partage des ressources et la simultanéité (synchronisation des activités). La coordination est donc essentielle à la coopération, impliquant la gestion des actions, le partage des ressources et la parallélisation des tâches.

La coordination est décisive pour améliorer et maintenir la cohérence du fonctionnement global du système. Dans un contexte de coopération, les agents travaillent collectivement pour résoudre un problème, utilisant les mêmes ressources et contribuant à différentes parties de la solution. Ils doivent donc coordonner leurs actions pour accomplir les tâches nécessaires. Les tâches de coordination, bien qu'indirectement liées à la résolution du problème, permettent au système multi-agents de fonctionner efficacement. Cela améliore la résolution collective des problèmes, réduit le temps d'exécution, évite les conflits entre agents et minimise les interactions négatives, augmentant ainsi les performances du système.

### 5.4. Collaboration

La collaboration s'intéresse à la manière de répartir le travail entre plusieurs agents, qu'il s'agisse de techniques centralisées ou distribuées. Il existe deux types de la collaboration. La collaboration simple est une simple addition des compétences ne nécessitant pas d'actions supplémentaires de coordination entre les intervenants tandis que la collaboration complexe est le fait que les agents doivent coordonner leurs actions pour pouvoir disposer de la synergie de l'ensemble de leurs compétences.

## 5.5. Organisation

L'organisation est un concept clé dans les systèmes multi-agents, abordé principalement sous deux axes :

- L'agent comme source de structure sociale : Un agent peut jouer plusieurs rôles, afficher des comportements associés à ces rôles, et appartenir à différents groupes.
- L'agent comme membre d'une communauté avec une structure organisationnelle : L'organisation peut être dynamique, impliquant des phénomènes comme l'émergence ou la réorganisation.

Comme nous avons déjà cité dans les sections précédentes, un système multi-agents consiste en un ensemble d'agents qui perçoivent et agissent dans un environnement, s'engageant dans une activité collective nécessitant interaction et collaboration, ce qui pose des défis d'organisation sociale. L'organisation consiste à structurer les relations entre les composants ou individus, créant une unité aux qualités émergentes inconnues au niveau des composants individuels [MORI 77]. Elle assure solidarité et stabilité, permettant au système de perdurer malgré les perturbations.

Gutknecht [GUTK 01] souligne que l'organisation peut être décrite au niveau organisationnel avant d'être envisagée au niveau individuel, contribuant ainsi comme un outil de conception dans les systèmes multi-agents.

## 5.6. Négociation

La négociation dans les systèmes multi-agents est une stratégie de résolution de conflits utilisant le dialogue pour parvenir à un accord, en adressant les contradictions entre les croyances ou les buts des agents [BOUR 92]. Il existe trois types principaux de négociation dans les SMA :

- **Négociation par allocation de tâches** : Utilise le protocole « Contract-Net » où un gestionnaire annonce des sous-tâches et les agents proposent des offres selon leurs capacités. Le gestionnaire attribue la tâche à l'agent ayant fait la meilleure proposition.
- **Négociation heuristique** : Permet de dépasser l'acceptation ou le refus en fournissant des réactions utiles, soit par des critiques, soit par des contre-propositions alternatives.
- **Négociation par argumentation** : Commence par une offre ou une demande, suivie par un échange d'arguments ou de contre-propositions, et se termine par une décision d'acceptation ou de refus.

## 6. L'ÉMERGENCE

L'émergence dans les systèmes multi-agents (SMA) réactifs se réfère au comportement global qui résulte des actions locales et des interactions entre agents. Ce phénomène est étudié dans la conception des SMA pour modéliser des phénomènes sociaux où des structures ou des fonctions émergent [DROG 93] [PICA 04c] [MULL 98] [MULL et al. 02] [GECH et al. 05] [MRJE 97].

L'architecture des agents réactifs est relativement simple, mais l'intelligence du SMA provient du comportement collectif, souvent observé par un observateur extérieur, car les agents eux-mêmes ne perçoivent pas les comportements globaux. Les structures émergentes peuvent se manifester de deux manières : soit par l'auto-organisation des agents, soit par la formation de structures topologiques dans l'environnement résultant des interactions des agents.

Muller [MULL et al. 02] définit l'émergence dans les SMA par trois conditions :

1. Il y a un ensemble d'entités en interaction avec une dynamique distincte du phénomène émergent.
2. La dynamique de ces entités produit un phénomène global observable.
3. Ce phénomène global est décrit différemment de la dynamique sous-jacente.

L'émergence peut être classée selon l'observation du processus :

- **Émergence forte** : Les agents peuvent observer et décrire le phénomène global, nécessitant des capacités d'observation étendues [PHAN 04].
- **Émergence faible** : Par exemple, les fourmis créent un chemin à travers des interactions locales, perçues comme un chemin uniquement par un observateur externe [MULL et al. 02].

Selon la nature de l'émergence, elle peut être :

1. **Auto-organisation** : Le système adapte son organisation pour atteindre ses objectifs, réorganisant les tâches des agents selon les besoins [BOUS 96] [MANOet al. 05].
2. **Émergence de structure** : Des structures complexes émergent de l'interaction des éléments du système, qui n'étaient pas présentes initialement et se développent avec l'auto-organisation [MANOet al.05] [DROG 93].
3. **Émergence de propriétés** : Les mécanismes de régulation intégrés assurent la cohérence et la stabilité du système, modifiant le comportement des composants pour maintenir l'adaptabilité [MANOet al. 05].

## 7. METHODOLOGIE DE CONCEPTION DES SMA

Il existe plusieurs méthodologies de conception des SMA pour guider les concepteurs dans les phases d'analyse et de conception. Pour faciliter la décomposition et la description de systèmes complexes distribués, les notions de rôle, d'interaction et d'organisation sont mise en avant. La Figure 2.8 donne un aperçu des méthodes les plus connues.

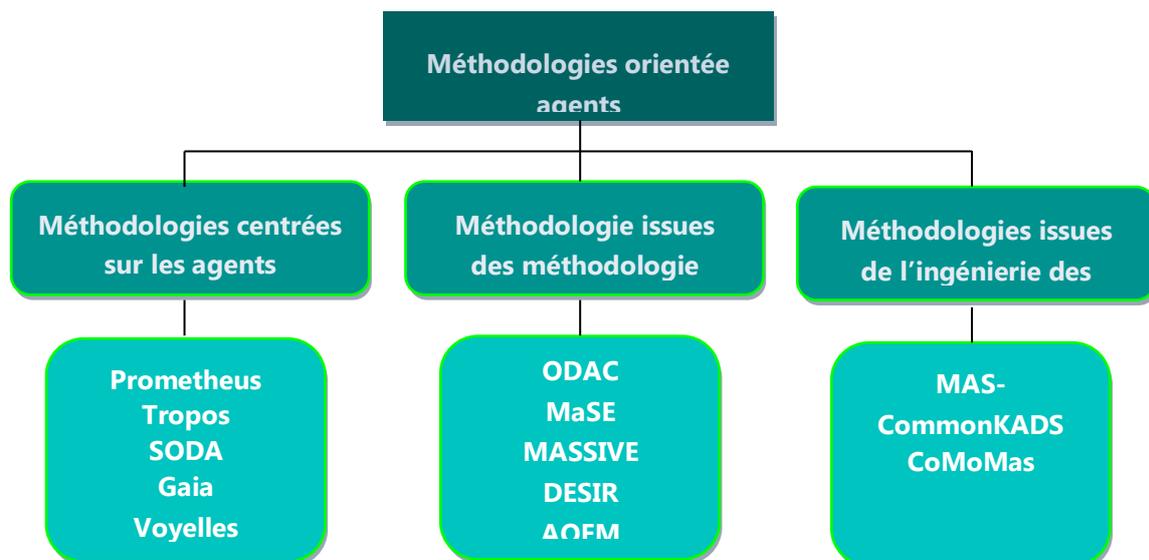


Figure II.11: Méthodologies orientées agents [LABA 06]

## 7.1. Description de quelques méthodes

**7.1.1 La méthode GAIA** : selon [WOOL et al.00], GAIA est le nom donné aux hypothèses formulées par l'écologiste James Lovelock selon lesquelles les organismes vivants du monde peuvent être compris comme des composantes d'une seule entité, lesquelles régularisent l'environnement mondiale.

GAIA est composé de cinq modèles repartis en deux phases :

**1). La phase d'analyse** : elle produit deux modèles

- **Le modèle de rôle** : identifie les principaux rôles du système.
- **Le modèle d'interaction** : c'est un ensemble de définitions de protocoles d'interaction.

**2). La phase de conception** : le processus de conception se base sur les trois modèles suivants

- **Le modèle d'agent** : identifie les agents du système en les associant aux différents rôles.
- **Le modèle de services** : identifie les principaux services nécessaires pour accomplir les rôles des agents.
- **Le modèle d'acointance** : définit les liens de communications entre les agents.

**7.1.2 La méthode Voyelles** : L'approche Voyelles a été créée par Yves Demazeau du laboratoire IMAG. C'est une méthode de haut niveau car peu de directives techniques sont données mais elle est très souvent citée car reposant sur des principes purement multi-agents.

Elle se base sur la décomposition de la vue d'un système suivant quatre (4) dimensions : Agent, Environnement, Interaction et Organisation. La décomposition d'un système multi-agents est exprimé par une équation déclarative suivant les quatre axes de voyelles (A, E, I, O).

$$\mathbf{SMA} = \mathbf{A}gent + \mathbf{E}nvironnement + \mathbf{I}nteraction + \mathbf{O}rganisation$$

- **Agent** : correspond aux éléments définissant les entités actifs du système tels que les architectures internes, la représentation des connaissances, etc. Dans la méthode voyelles, les agents peuvent être de nature et de granularité quelconque.
- **Environnement** : milieu dans lequel évolue les agents.
- **Interaction** : contient les éléments structurant les interactions entre agents (ACL, AIP, A-UML, etc.).
- **Organisation** : c'est la structuration des agents en groupes, hiérarchies, relations, etc.

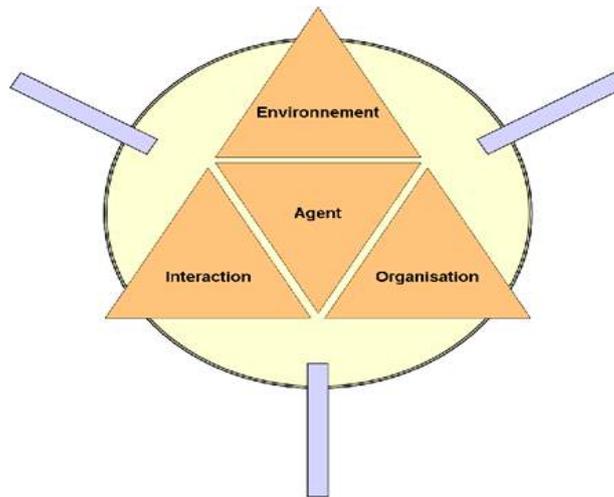


Figure II.12: Représentation symbolique de la méthode Voyelles

**7.1.3 La méthode MaSE (Multiagent System Engineering) :** Les auteurs [DELO 99] de cette méthodologie définissent un agent comme un objet actif ayant un objectif et un langage de communication.

Elle contient les étapes suivantes :

- Identification des buts du système,
- Identification des rôles et leurs interactions,
- Identification de la décomposition fonctionnelle du système,
- Identification du SMA par la description des architectures d'agents et de leurs liens conversationnels,
- Définition des protocoles de coordination entre deux agents en expliquant les comportements des agents durant la conversation,
- Spécification de l'architecture interne des agents,
- Conception du système en spécifiant la distribution des agents selon l'architecture physique du système.

**7.1.4 La méthode MAS-CommonKADS:** Elle commence par la conceptualisation, où l'utilisateur spécifie les besoins et les caractéristiques du système, ensuite viennent les deux d'analyse et de conception du SMA qui produisent les modèles suivants [IGLE et al. 97] :

- Le modèle d'agent : décrit les capacités et les caractéristiques des agents (Raisonnement connaissances, buts, services, ...).
- Le modèle de tâches : décrit les tâches de chaque agent (Ses buts), ainsi que la composition des tâches et les méthodes de résolution de problèmes.
- Le modèle d'expertise : décrit les connaissances des agents pour la réalisation des tâches. La modélisation des connaissances est basée sur l'utilisation de KADS.
- Le modèle de coordination : décrit les interactions entre les agents et les capacités conversationnelles en utilisant un langage de communication agent.
- Le modèle d'organisation : décrit l'organisation du SMA.
- Le modèle de communication : décrit l'interaction entre les utilisateurs et les agents pour le développement d'interfaces adaptées.

- Le modèle de conception : décrit le SMA sur la base des modèles précédents et se décompose en trois étapes : Conception du réseau d'agent, choix de l'architecture d'agent et la sélection de la plateforme de développement d'agents.

## 8. PLATEFORMES ORIENTEES AGENTS

Une plate-forme de développement des systèmes multi-agents (SMA) est une infrastructure logicielle qui sert d'environnement pour le déploiement et l'exécution d'agents. Elle offre des fonctionnalités pour créer, tester, exécuter et supprimer des agents, agissant comme médiateur entre le système d'exploitation et les applications (agents). Il existe trois catégories principales de plates-formes multi-agents :

**1). Plateforme de simulation** : Reproduit l'environnement ou le comportement d'un système complexe pour en étudier la dynamique (ex. :Cormas, Geamas, Mice, Swarm, Starlogo, Netlogo).

**2). Plateforme d'exécution** : Fournit des outils d'implémentation basés sur des modèles spécifiques (ex. : Jade, Jack, ABE-IBM).

**3). Plateforme de développement** : Soutient une méthodologie de conception en offrant des outils pour le développement de SMA (ex. : Adelphe, AgentBuilder, Madkit).

Nous citons quelques-unes les plus connues :

- **JADE (Java Agent DEvelopment)** : est une plateforme de développement des SMA, créée par le laboratoire TILAB et conforme aux spécifications FIPA.
- **ZEUS** : est une plateforme dédiée pour la construction rapide d'applications à base d'agents collaboratifs.
- **MadKit (Multi-Agent Development Kit)** : est une plateforme basée sur le modèle organisationnel Agent/Groupe/Rôle.

## 9. CONCLUSION

L'avènement de l'intelligence artificielle et la conception des systèmes multi-agents ont considérablement influencé le développement de systèmes complexes. Les SMA offrent des architectures avancées qui permettent de surmonter les limitations de ces systèmes, améliorant ainsi les coûts et la simplicité de conception. Ils supportent des modèles d'interaction tels que la coopération, la coordination et la négociation. Nous avons examiné diverses méthodologies de développement des SMA, ainsi que plusieurs plateformes de développement. L'ensemble des points évoqués tout au long de ce chapitre font des SMA l'un des meilleurs moyens pour concevoir des systèmes aussi complexes tel que les SADM.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons la notion de raisonnement à partir de cas et les ontologies ainsi que leurs apports dans les systèmes d'aide à la décision collaborative.

# **CHAPITRE III : RAISONNEMENT A PARTIR DE CAS (RAPC) ET ONTOLOGIES**

---

# CHAP.3–RAISONNEMENT A BASE DE CAS ET ONTOLOGIES

## 1. INTRODUCTION

Ces dernières années, l'ingénierie des connaissances, l'intelligence artificielle et la recherche d'information sont devenues des tendances dominantes dans le domaine de la recherche. Les systèmes basés sur les connaissances qui intègrent les principes de raisonnement sont souvent désignés sous le nom de « raisonnement basé sur/à partir de cas – RàPC ». Dans ce domaine, les ontologies ont été largement employées et ont démontré leur utilité.

En premier lieu, nous introduirons le concept d'ontologie, les éléments qui la composent ainsi que ses diverses catégories. Ensuite nous exposerons les représentations principales des connaissances. Et enfin, nous donnerons une brève présentation de certains outils de création d'ontologies.

## 2. APPORTS DE L'INGENIERIE DES CONNAISSANCES AUX SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION DE GROUPE

L'ingénierie des connaissances constitue une discipline de l'intelligence artificielle qui s'intéresse à la gestion des connaissances et à leur mise en œuvre dans différents emplois notamment dans les systèmes d'aide à la décision de groupe (GDSS, en offrant des mécanismes sophistiqués pour la collecte, l'organisation et l'utilisation des connaissances nécessaires à la prise de décision collective. En général, cette discipline permet de capturer l'expertise de divers membres du groupe, d'analyser des données complexes et de proposer des solutions optimisées en fonction des contraintes et des objectifs du groupe. L'ingénierie des connaissances contribue ainsi à améliorer la qualité des décisions en fournissant des outils pour structurer les informations, faciliter la communication et le partage des connaissances, et modéliser les préférences et les priorités des membres du groupe.

Plus spécifiquement, dans le domaine de l'aide à la décision médicale, l'ingénierie des connaissances offre des avantages significatifs. Les systèmes d'aide à la décision médicale (CDSS, Clinical Decision Support Systems) exploitent des bases de connaissances médicales, des algorithmes de traitement des données et des règles de décision pour assister les professionnels de santé dans le diagnostic, le choix des traitements et la gestion des patients. En intégrant des connaissances médicales actualisées et des données spécifiques, ces systèmes peuvent proposer des recommandations personnalisées et basées sur des preuves, améliorant ainsi la précision et l'efficacité des décisions cliniques.

L'ingénierie des connaissances permet également d'intégrer des pratiques de médecine basée sur les preuves dans les CDSS, en s'appuyant sur les dernières recherches et les meilleures pratiques cliniques. De plus, elle facilite la collaboration interdisciplinaire en permettant à différents spécialistes de contribuer et d'accéder à une base de connaissances commune, renforçant ainsi la cohérence et la qualité des soins.

En outre, l'utilisation de techniques d'apprentissage automatique et d'analyse des données, issues de l'ingénierie des connaissances, permet de détecter des patterns et des tendances dans les données médicales, offrant ainsi des perspectives nouvelles pour la recherche clinique et la pratique médicale. Par exemple, des systèmes avancés peuvent identifier des risques potentiels de complications ou proposer des ajustements de traitement basés sur les réponses précédentes des patients, contribuant à une prise en charge plus proactive et personnalisée. L'utilisation des ontologies, en particulier, permet de structurer et de normaliser les informations médicales, facilitant ainsi l'interopérabilité entre différents systèmes et la compréhension commune des termes médicaux. Les ontologies aident également à organiser les connaissances de manière hiérarchique, ce qui permet aux systèmes d'aide à la décision de raisonner de manière plus efficace et cohérente.

### 3. SYSTEMES A BASE DE CONNAISSANCES

#### 3.1. Définition

Un système à base de connaissances utilise les connaissances spécifiques à un domaine pour résoudre les problèmes qui y surviennent. Pour concevoir un tel système, il est nécessaire de développer des formalismes de représentation des connaissances et des mécanismes de raisonnement capables de traiter à la fois les aspects syntaxiques et sémantiques des connaissances du domaine.

Ce type de système repose sur une séparation claire entre les connaissances nécessaires à la résolution de problèmes et les mécanismes de raisonnement qui exploitent ces connaissances, souvent appelés structures de contrôle, interpréteurs ou moteurs d'inférence [FLOR 06].

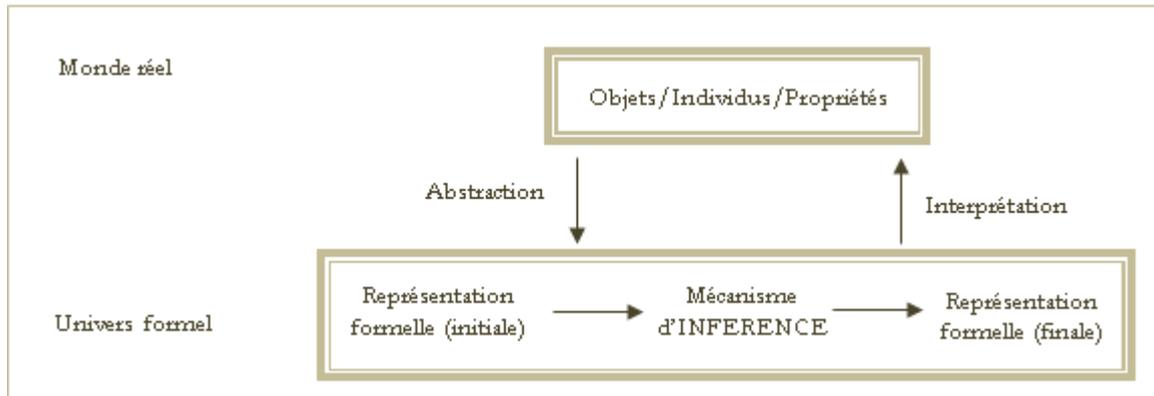


Figure III.1: Représentation et manipulation de connaissances dans un système à base de connaissances.

#### 3.2. Rôle des systèmes à base de connaissances

Un système à base de connaissances peut avoir différents rôles parmi lesquels nous pouvons citer :

- Inscription des connaissances provenant de l'expertise et/ou de la pratique.
- Spécialisation dans une expertise ou une pratique spécifique.
- Fondement du "raisonnement" sur des mécanismes d'inférence logique ou analogique.
- Intégration d'une représentation symbolique.
- Autorisation de la prise en compte de l'incertitude.

- Utilisation des heuristiques, qui sont des connaissances spécifiques au domaine, pour guider la recherche de solutions et orienter les décisions de résolution de problèmes.
- Conservation des savoirs et des savoir-faire ainsi que la sémantique qui leur est associée.

## 4. RAISONNEMENT A BASE DE CAS

### 4.1. Définition

Le terme "Case-Based Reasoning" en anglais ou "RàPC" en français, un processus visant à tirer parti des expériences passées. Cette méthode, issue du domaine de l'intelligence artificielle, a été initialement développée à la fin des années 70 par Schank et Abelson [SCHA 82], et elle a d'abord été utilisée dans les systèmes experts et les sciences cognitives.

Dans ce cadre, l'utilisateur cherche à résoudre un nouveau problème en identifiant des similarités avec des cas de problèmes antérieurement résolus. Un cas représente typiquement un problème spécifique qui a été identifié, résolu, enregistré et indexé dans une mémoire avec sa solution, et parfois le processus qui y a conduit [CORT 06].

Les systèmes de RàPC sont largement appliqués dans divers domaines tels que la médecine, le commerce, les services de consultation, la maintenance, le contrôle et l'analyse financière.

### 4.2. Cycle RàPC

La figure ci-dessous illustre le cycle d'un RàPC

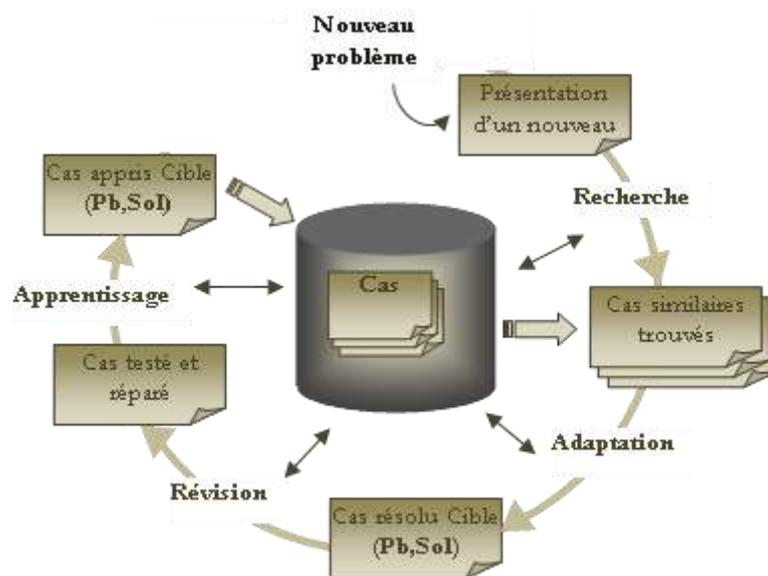


Figure III.2: Cycle du RàPC [RAKO 04]

Nous pouvons présenter les étapes du cycle comme suit : [RASO 06]

**1). Phase d'élaboration d'un nouveau problème (cas cible) :** Pendant cette phase du cycle, l'objectif est d'acquérir des informations sur le nouveau problème pour élaborer une description initiale. Cela implique la structuration, la modélisation et la représentation du cas, qui doivent respecter le même formalisme que celui des cas sources.

**2). Phase de recherche (remémoration) des cas sources :** On recherche les cas les plus similaires. La remémoration consiste à comparer les descripteurs du cas cible avec ceux des cas sources dans la base. Les méthodes de recherche utilisent des techniques pour calculer un degré de correspondance entre les descripteurs, incluant la pondération des descripteurs, des algorithmes d'apprentissage, etc.

**3). Adaptation des cas :** Cette étape implique la réutilisation partielle ou complète de la solution d'un cas source sélectionné pour résoudre le nouveau problème. L'adaptation peut être manuelle avec une intervention humaine ou automatique, utilisant diverses méthodes comme l'adaptation générative, transformationnelle, compositionnelle ou hiérarchique.

**4). Phase de révision de la solution trouvée :** La solution proposée après l'adaptation est évaluée dans le contexte réel. Un bilan du cas est effectué par introspection de la base de cas, en tenant compte de la qualité des cas.

**5). Mémorisation du nouveau cas (apprentissage) :** Cette phase consiste à éventuellement ajouter le cas cible à la base de cas existante. Elle peut aussi inclure la synthèse, la modification et l'apprentissage de nouvelles connaissances.

## 5. OUTILS INTEGRANT LE RAPC

Il existe de nombreux outils intégrant le raisonnement à base de cas. Bien que nous ne les exposions pas tous ici, nous en énumérons quelques-uns:

- Fouille de données ;
- Fouille de texte ;
- Graphes de connaissances ;
- Réseaux de neurones ;
- Systèmes experts ;
- Algorithmes évolutionnaires ;
- Logique de description ;
- Règles d'inférence ;
- Techniques des plus proches voisins ;
- Ontologie ;
- ...etc.

## 6. ONTOLOGIES

### 6.1. Apport des ontologies

#### Ontologie : Définitions et origine

Le mot "ontologie" trouve ses racines dans le grec ancien. Il est composé de deux mots : "onto" (qui signifie l'étude de l'être en tant qu'être) et "logos" (qui signifie le discours).

Plusieurs définitions ont été avancées dans la littérature. En 1991, Neches et ses collègues furent parmi les premiers à proposer une définition de l'ontologie [NECH et al. 1991]. Ils la définissent comme suit : «Une ontologie définit les termes et les relations de base du vocabulaire d'un domaine

ainsi que les règles qui indiquent comment combiner les termes et les relations de façon à pouvoir étendre le vocabulaire. »

La définition la plus célèbre a été proposée par Gruber **[GRU 93]** : Dans le domaine de l'informatique et plus précisément de l'ingénierie des connaissances et de l'intelligence artificielle, une ontologie peut être définie comme une « spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée. » **[GRU 93]**

Le terme "*Conceptualisation*" désigne un modèle abstrait d'un domaine particulier qui identifie les concepts caractéristiques de ce domaine. Le terme "*Explicite*" fait référence aux types de concepts utilisés et aux règles de leur utilisation qui doivent être clairement définis. "*Formelle*" indique que l'ontologie doit être compréhensible par la machine. Enfin, "*Partagée*" signifie que l'ontologie représente une connaissance consensuelle, acceptée non seulement par quelques individus mais par un large groupe.

L'auteur Borst a légèrement modifié la définition de Gruber en définissant une ontologie comme suit **[BORS 97]**: « Une ontologie est une spécification formelle d'une conceptualisation partagée ».

Dans **[STUD et al. 98]** une définition combinant les deux propositions (celles de Gruber et de Borst) a été proposée : « Une ontologie est une spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée ».

En 1997, Guarino **[GUAR 1997]** a formulé la définition suivante : « Les ontologies sont des spécifications partielles et formelles d'une conceptualisation commune ».

## 6.2. Objectifs de développement des ontologies

Parmi les principaux objectifs des ontologies figurent la modélisation d'un ensemble de connaissances dans un domaine spécifique.

Les ontologies trouvent divers domaines d'application tels que l'intelligence artificielle, le Web sémantique, le génie logiciel, l'informatique biomédicale et l'architecture de l'information pour représenter la connaissance d'un domaine. Les raisons pour lesquelles les ontologies sont développées sont multiples, notamment :

- Faciliter le partage d'une compréhension commune de la structure de l'information entre les individus ou les développeurs de logiciels,
- Permettre la réutilisation des connaissances dans un domaine donné,
- Expliciter ce qui est implicitement compris dans un domaine,
- Différencier la connaissance théorique d'un domaine de la connaissance opérationnelle,
- Analyser la connaissance dans un domaine **[BELA 15]**.

Ces objectifs s'étendent particulièrement aux systèmes de recommandation. Dans cette perspective, les modèles sémantiques et ontologiques peuvent être exploités à chaque étape du processus de recommandation : depuis l'inscription de l'utilisateur et la création de son profil initial, jusqu'à la

prédiction de ses préférences concernant les articles, l'ajustement de son profil en fonction des rétroactions, et enfin la recommandation proprement dite.

La figure suivante illustre les éléments généralement décrits par une ontologie :

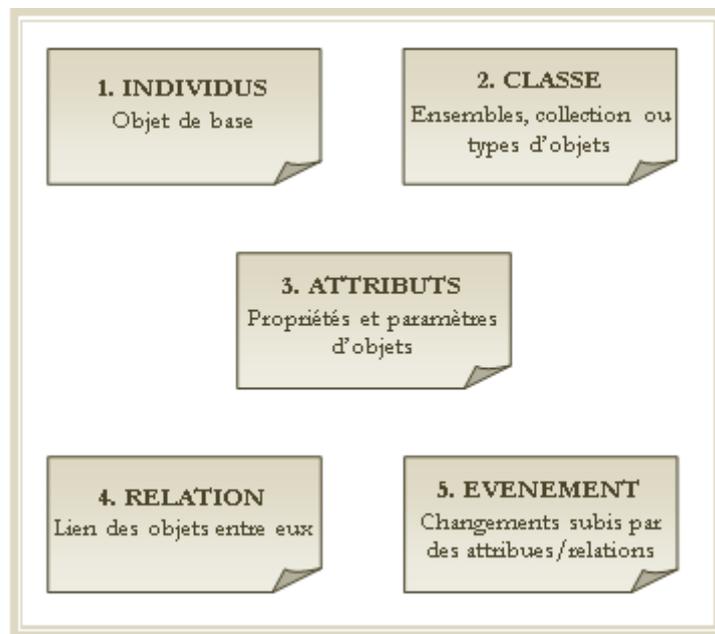


Figure III.3: Organisation d'une ontologie.

## 7. COMPOSANTES D'ONTOLOGIES

À partir de l'observation selon laquelle les ontologies fournissent un vocabulaire commun d'un domaine et définissent la signification des termes ainsi que les relations entre eux, Gomez [GOME 99] a principalement proposé cinq types pour formaliser la connaissance dans les ontologies : concepts (ou classes), relations (ou propriétés), fonctions, axiomes (ou règles), et instances (ou individus).

**7.1. Concept (classe)** : Aussi appelé terme ou classe d'ontologie, il représente les objets ou les classes qui sont liés entre eux.

**7.2. Relation** : Établissant des liens entre les concepts et exprimant des associations sémantiques. Ces relations sont généralement binaires, avec un premier argument appelé domaine et un second appelé co-domaine.

**7.3. Fonctions** : Elles sont des cas particuliers de relations où un élément de la relation (le nième) est défini en fonction des n-1 éléments précédents.

**7.4. Axiomes** : Utilisés pour modéliser les abstractions véridiques du domaine exprimées par l'ontologie. Gomez précise que les axiomes formels sont utilisés pour vérifier la cohérence de l'ontologie.

**7.5. Instances** : Représentent des éléments individuels qui véhiculent des connaissances spécifiques sur le domaine.

## 8. CLASSIFICATION DES ONTOLOGIES

Il existe plusieurs critères pour classer les ontologies, parmi lesquels :

- Typologie selon le niveau de conceptualisation ;
- Typologie selon le niveau de formalisme utilisé ;
- Typologie selon le niveau de détail de l'ontologie ;
- Typologie selon le niveau de complétude.

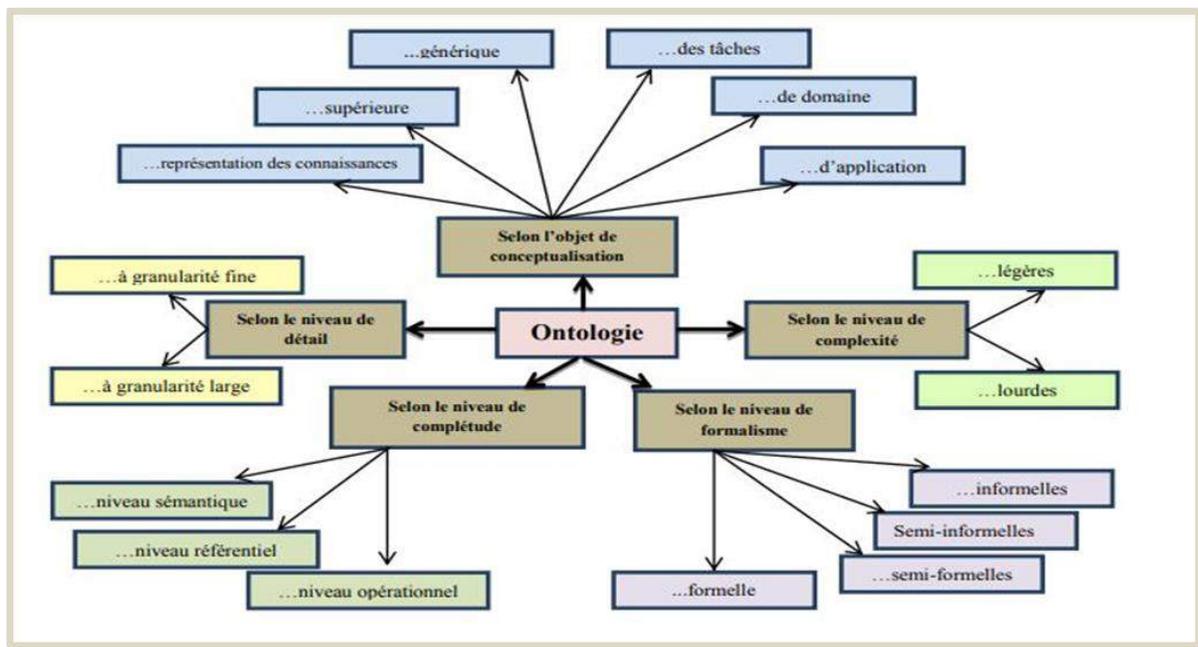


Figure III.4: Classification des ontologies.

### 8.1. Typologie selon le niveau de conceptualisation

- **Ontologie de représentation des connaissances** : Ces ontologies définissent les connaissances nécessaires pour modéliser un système de représentation des connaissances [GRUB 93].
- **Ontologie de haut niveau** : Ces ontologies décrivent des concepts de très haut niveau, fournissant une structure et un ensemble de concepts généraux sur lesquels les ontologies de domaine peuvent être construites [GUAR 97].
- **Ontologie générique** : Également appelées méta-ontologies, ces ontologies décrivent des connaissances abstraites, comme les concepts de temps, d'espace, d'événements, etc., qui sont indépendants d'un domaine ou d'un problème particulier, les rendant ainsi réutilisables dans divers domaines [GUAR 97].
- **Ontologie de domaine** : La plupart des ontologies existantes appartiennent à cette catégorie. Elles contiennent des connaissances spécifiques à un domaine particulier mais sont

suffisamment générales pour être utilisées et réutilisées dans différentes applications [MIZO et al. 00].

- **Ontologie de tâche** : Ces ontologies décrivent des connaissances relatives à une tâche générique ou une activité, telle que le diagnostic ou la planification [GUAR 97].
- **Ontologie d'application** : Ces ontologies sont plus spécifiques et conçues pour une application précise dans un domaine particulier. Elles ne sont pas réutilisables.

## 8.2. Typologie selon le niveau de formalisation utilisée

Uschold et Grüninger ont proposé une classification en quatre catégories [USCH et al. 96] pour rendre les ontologies opérationnelles :

- **Informelles** : Exprimées en langage naturel, ces ontologies sont plus accessibles à l'utilisateur, bien que la vérification de l'absence de redondances ou de contradictions soit plus difficile.
- **Semi-informelles** : Elles sont exprimées dans une forme restreinte et structurée du langage naturel, garantissant une meilleure clarté tout en réduisant l'ambiguïté.
- **Semi-formelles** : Ces ontologies sont exprimées dans un langage artificiel défini formellement.
- **Formelles** : Exprimées dans un langage artificiel avec une sémantique formelle, elles permettent de prouver des propriétés telles que la complétude, l'absence de redondance, la consistance, la cohérence, etc.

## 8.3. Typologie selon le niveau de détail de l'ontologie

Dans cette classification [PSYC et al. 03], deux catégories sont définies :

- **Granularité fine** : Correspond à des ontologies très détaillées qui utilisent un vocabulaire riche pour décrire en profondeur les concepts pertinents d'un domaine ou d'une tâche.
- **Granularité large** : Correspond à des ontologies avec un vocabulaire moins détaillé. Les ontologies de haut niveau ont généralement une granularité large, car elles décrivent des concepts qui sont souvent raffinés dans d'autres ontologies de domaine ou d'application.

## 8.4. Typologie selon le niveau de complétude

D'après [BACH 00], il est possible de définir trois niveaux de complétude dans les ontologies :

- **Niveau sémantique** : À ce niveau, on établit des principes différentiels que tous les concepts, définis par un terme ou un libellé, doivent respecter :
  - Communauté avec l'ancêtre.
  - Spécification (différence) par rapport à l'ancêtre.
  - Communauté avec les concepts frères (situés au même niveau).
  - Différence par rapport aux concepts frères.

- **Niveau référentiel** : Les concepts référentiels ou formels se caractérisent par un terme ou un libellé dont la sémantique est définie par une extension d'objets. L'engagement ontologique précise les objets du domaine qui peuvent être associés au concept, conformément à sa signification formelle.
- **Niveau opérationnel** : Les concepts du niveau opérationnel ou computationnel sont caractérisés par les opérations qui peuvent leur être appliquées pour générer des interfaces ou des engagements computationnels.

### 8.5. Typologie selon le niveau de complexité de l'Ontologie

Lavoie énonce les classes suivantes [LAVO 07] :

- **Ontologies légères (light weight ontology)** : Ces ontologies incluent des concepts avec des propriétés et sont organisées en taxonomies avec des relations conceptuelles.
- **Ontologies lourdes (heavy weight ontology)** : En plus des caractéristiques des ontologies légères, elles ajoutent des axiomes et des restrictions pour clarifier le sens. Elles modélisent un domaine de manière plus approfondie avec des restrictions supplémentaires basées sur la sémantique du domaine.

## 9. CYCLE DE VIE D'UNE ONTOLOGIE

Le développement des ontologies s'appuie sur le même principe appliqué au génie logiciel vu qu'elles sont considérées comme des composants logiciels dans les systèmes. Les activités liées au cycle de vie des ontologies regroupent à la fois celles liées aux activités de gestion de projet telle que : [BAND 10]

- Planification,
- Contrôle,
- Assurance qualité,

Et d'autre part, des activités de développement :

- Spécification,
- Conceptualisation,
- Formalisation.

Ajoutées à cela, des activités transversales de support telles que l'évaluation, la documentation et la gestion de la configuration

Ainsi, son cycle s'articule autour de :

- Etape de détection et spécification des besoins,
- Etape de conception,
- Etape de déploiement et de diffusion,
- Etape d'utilisation,
- Etape d'évaluation,

- Etape d'évolution et de maintenance.

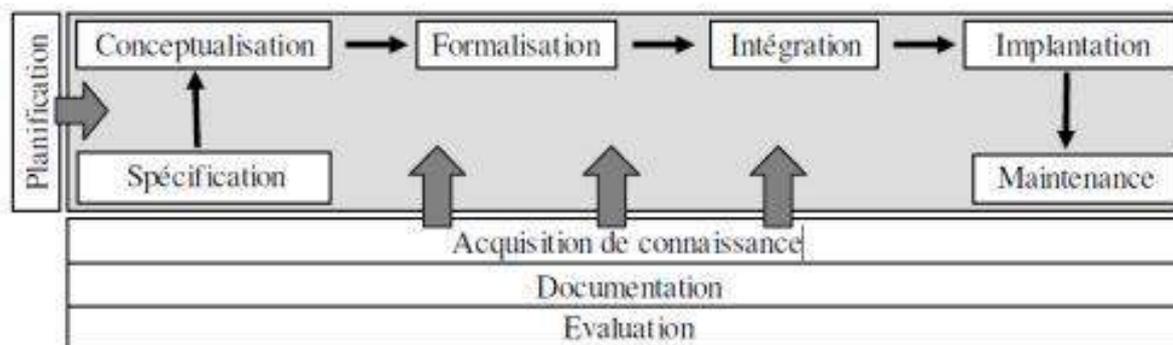


Figure III.5: Cycle de vie des ontologies [FERN et al. 97].

## 10. PROCESSUS DE CONSTRUCTION D'UNE ONTOLOGIE

Cette phase du cycle de vie est considérée comme la phase motrice du développement. Elle implique la collaboration d'experts du domaine, d'ingénieurs en connaissance, et parfois des futurs utilisateurs de l'ontologie. Pour que cette collaboration soit fructueuse, il est essentiel que les objectifs du processus soient clairement définis.

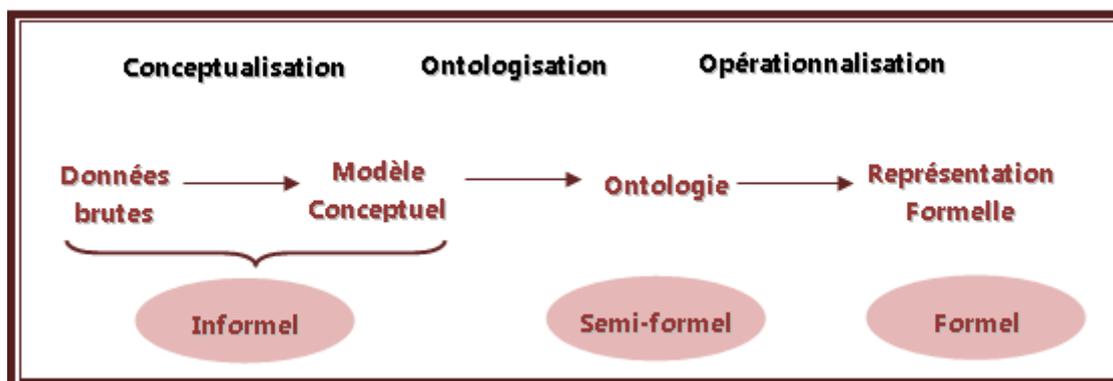


Figure III.6: Processus de construction d'ontologies [KERM 14].

### 10.1. Spécification (évaluation des besoins)

Dans cette phase de développement, il est crucial de poser et de répondre à des questions pour spécifier nos besoins. Ces questions peuvent inclure : Quel domaine l'ontologie va-t-elle couvrir ? À quoi cette ontologie va-t-elle servir ? Quels types de questions l'ontologie doit-elle permettre de répondre ? Qui va utiliser et maintenir l'ontologie ? Les réponses à ces questions peuvent évoluer au cours du processus.

### 10.2. Conceptualisation

Cette phase permet d'aboutir à un modèle informel, sémantiquement ambigu et généralement exprimé en langage naturel. Durant cette étape, il est crucial d'extraire les concepts et les relations qui les lient à partir des données brutes [BELA15].

### 10.3. Ontologisation

Il s'agit d'une formalisation partielle du modèle conceptuel obtenu à l'étape précédente, sans perte d'information. Cette formalisation facilite la représentation ultérieure du modèle dans un langage totalement formel et opérationnel. Le modèle ainsi obtenu est souvent qualifié de semi-formel [BELA15].

### 10.4. Opérationnalisation

Cette étape consiste à spécifier informatiquement les opérations applicables aux concepts dans un langage opérationnel. Elle nécessite l'intégration d'outils permettant de rendre l'ontologie opérationnelle [BELH 19].

## 11. METHODES ET METHODOLOGIES DE CONSTRUCTION D'ONTOLOGIES

### 11.1. Démarches de construction d'une ontologie

Il existe trois approches principales :

- **Ascendante** : Cette approche débute par les concepts les plus spécifiques pour remonter vers des concepts plus généraux.
- **Descendante** : À l'inverse, cette approche débute par les concepts les plus généraux pour descendre vers des concepts plus spécifiques.
- **Mixte** : Cette stratégie combine les deux approches précédentes. Elle commence par un concept spécifique ou générique et l'étend vers d'autres concepts, qu'ils soient plus spécifiques ou plus généraux.

### 11.2. Méthodologies de construction

La méthode la plus célèbre de construction d'ontologie est celle d'Uschold et Grüninger :

**a). La méthodologie d'Uschold et Grüninger**, telle que décrite par [USCH 96], comprend les étapes suivantes :

- Définir clairement l'objectif et spécifier le domaine concerné.
- Construire l'ontologie en définissant les concepts et les relations clés, ainsi qu'en produisant des définitions textuelles précises et sans ambiguïté de ces concepts.
- Évaluer le résultat obtenu.
- Documenter le modèle en rédigeant des recommandations détaillées pour chaque étape du processus.

**b). La méthode Methontology [FERN et al. 97]** est employée pour :

- Élaborer un glossaire des termes inclus dans l'ontologie, définir leurs significations en langage naturel et identifier leurs synonymes et acronymes.
- Créer des taxonomies de concepts.
- Établir des diagrammes de relations binaires.

- Développer un dictionnaire de concepts comprenant pour chaque concept ses attributs d'instance, d'attributs de classe et ses relations.
- Décrire minutieusement chaque relation binaire.
- Préciser en détail chaque attribut d'instance.
- Préciser en détail chaque attribut de classe.
- Définir précisément chaque constante.
- Formuler des axiomes formels.
- Établir des règles pour contraindre le comportement et inférer des valeurs pour les attributs.

c.) La méthodologie de Guarino et Welty vise à vérifier et corriger une structure ontologique construite de manière un peu anarchique [WELT et al. 01].

d.) La méthode ARCHONTE (ARCHitecture for ONTological Elaborating), proposée par Bruno Bachimont [BACH 00], implique les étapes suivantes :

- Sélectionner les termes pertinents du domaine et normaliser leur signification en précisant les relations de similarité et de différence que chaque concept entretient avec ses concepts frères et son concept parent.
- Formaliser les connaissances en ajoutant éventuellement des propriétés et des axiomes aux concepts.
- Opérationnaliser dans un langage de représentation des connaissances.

## 12. LANGAGES D'ONTOLOGIE

Pour que l'ontologie puisse être largement exploitée et partagée par un grand nombre d'utilisateurs, elle doit impérativement être représentée dans un langage compatible avec les applications et les plateformes utilisées, répondant ainsi aux exigences des utilisateurs potentiels de cette ontologie.

### 12.1. Langages traditionnels

À leurs débuts dans les années 90, les langages de représentation des ontologies étaient initialement basés sur l'intelligence artificielle. Ils utilisaient principalement des formalismes de représentation des connaissances tels que :

- La logique du premier ordre, comme par exemple KIF (Knowledge Interchange Format),
- Des structures de type frames combinées avec la logique du premier ordre, telles que Ontolingua, OCML et Flogic,
- La logique de description, dont un exemple est Loom [KHAL 09].

### 12.2. Langage web standards ou basé sur xml

Plusieurs langages de description des ontologies ont vu le jour. Ils regroupent des langages tels que le langage de représentation des hiérarchies XML (eXtensible Markup Language), le langage RDF (Resource Description Framework), le langage DAML+OIL (Darpa Modeling Language of Ontology+ Ontology Inference Layer) et le langage OWL (Ontology Web Language). Ces langages offrent différents niveaux d'expressivité [BRIC et al. 04], [DUJA 07], [HORR01].

**a). XML**

XML est couramment utilisé pour décrire des documents semi-structurés, offrant une syntaxe flexible pour marquer et organiser les données de manière lisible par les machines et les humains. Cependant, XML seul ne fournit pas de mécanisme pour imposer des contraintes sémantiques sur la signification des données décrites dans un document XML.

**b). RDF et RDFs :**

- Le RDF (Resource Description Framework) est un langage utilisant la syntaxe XML pour décrire et interconnecter des objets, ou ressources, sur le Web. Il repose sur des graphes de triplets pour représenter des données et des métadonnées de manière structurée.
- Le RDF Schema (RDFS) étend le RDF en incluant des concepts comme les classes, sous-classes, propriétés, sous-propriétés et règles d'héritage de propriétés. Cela permet de créer des vocabulaires pour organiser et structurer les données RDF, facilitant ainsi la représentation de connaissances complexes et la gestion des relations entre les données sur le Web.

Ensemble, RDF et RDF Schema forment les bases du Web sémantique, offrant des langages standardisés pour définir, relier et partager l'information de manière précise et interopérable à travers les applications et les plateformes sur Internet.

**c). DAML+OIL :** est un langage résultant de la fusion de DAML (DARPA Agent Markup Language) et OIL (Ontology Inference Layer), conçu pour la représentation des connaissances dans le contexte du Web sémantique. Il se base sur les logiques de description et vise à étendre les capacités de RDF Schema (RDFS) en offrant des primitives plus avancées pour définir les classes, les sous-classes, les propriétés, et les règles d'héritage dans les ontologies. DAML+OIL permet ainsi une modélisation ontologique plus précise et sophistiquée, facilitant l'interopérabilité et la gestion des connaissances sur le Web.

**d). OWL (Ontology Web Language):** développé par le W3C en 2001, est un langage destiné à la représentation d'ontologies sur le web sémantique, conçu pour étendre les capacités de RDF Schema (RDFS). OWL surmonte les limitations de RDFS en permettant une hiérarchie plus complexe de sous-classes et de sous-propriétés, ainsi que l'ajout de fonctionnalités comme la disjonction, les combinaisons booléennes de classes, les restrictions de cardinalité et les caractéristiques avancées des propriétés.

Il est issu du langage DAML+OIL et se base sur RDF pour représenter les connaissances sous forme de graphes d'objets reliés par des triplets. OWL propose trois sous-langages pour répondre à différents besoins :

- **OWL Lite :** Simplifie les concepts d'OWL pour les utilisations basiques.
- **OWL Full :** Permet un mélange flexible avec RDF Schema, adapté notamment pour la transformation des diagrammes de classe UML.
- **OWL DL :** Utilise la logique descriptive pour des définitions plus complexes comme les intersections et les unions, tout en garantissant une décidabilité.

Les capacités d'OWL incluent la vérification de la cohérence des ontologies, la détection de relations indésirables entre les classes et le classement automatique des instances dans les classes définies. Ces fonctionnalités en font un outil puissant pour le développement et la gestion des ontologies dans le cadre du web sémantique.

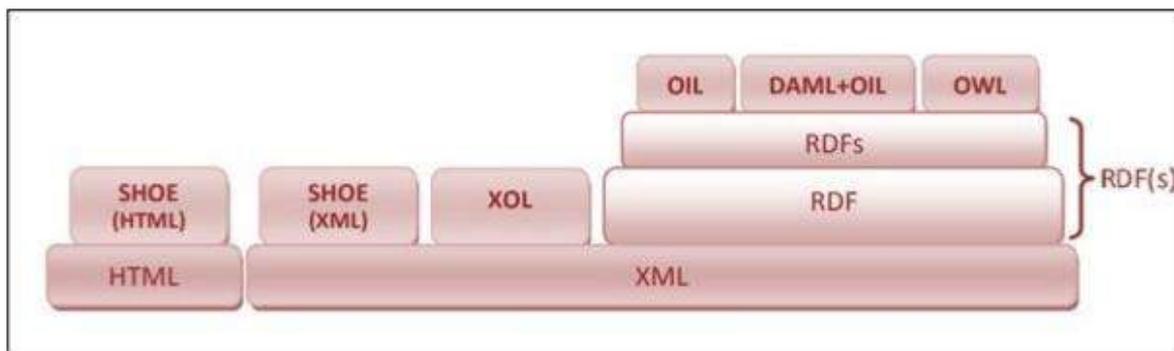


Figure III.7: Langage d'exploitation des ontologies [GOME 99].

### 12.3. Langages d'interrogation des ontologies

#### Protocole de requête SPARQL

Le processus de construction d'ontologies est crucial mais complexe, nécessitant des méthodologies rigoureuses. Une fois créées, les ontologies doivent être interrogées pour extraire des connaissances. Le langage SPARQL, recommandé par le W3C depuis janvier 2008, est utilisé pour interroger les données RDF/RDFS. SPARQL permet non seulement la recherche mais aussi l'ajout, la modification et la suppression de données, jouant ainsi un rôle clé dans l'exploitation des ontologies pour la gestion et l'extraction de connaissances [GHER 17].

#### 12.4. Approches du raisonnement

Les approches du raisonnement s'inspirent des techniques utilisées depuis le développement des algorithmes de décision pour les problèmes d'inférence.

Il existe deux grandes catégories d'algorithmes. La première regroupe les algorithmes structurels, qui comparent la structure syntaxique des concepts. La seconde catégorie comprend les algorithmes de tableaux, introduits initialement par SchmidtSchauß et Smolka en 1988 [SCHM et al. 88], qui sont devenus des outils essentiels pour résoudre les problèmes de satisfiabilité et de subsomption des concepts dans les logiques de description.

##### a). Algorithmes de subsomption structurelle

Ces algorithmes reposent sur la comparaison structurelle entre les expressions de concepts. L'idée principale est que si deux expressions de concept sont composées de sous-expressions, alors elles peuvent être comparées individuellement en confrontant les sous-expressions d'un concept avec celles de l'autre.

##### b). Algorithmes de tableaux

Les algorithmes de raisonnement en logique descriptive sont spécifiquement conçus pour s'adapter à l'analyse de la complexité. En utilisant un langage de logique descriptive défini, ces algorithmes génèrent des structures de tableaux qui sont soigneusement examinées pour éliminer les vérifications redondantes, limitant ainsi strictement la complexité de la méthode. L'objectif principal du calcul de tableau est de déterminer si une formule  $F$  peut être déduite logiquement à partir d'une théorie  $T$ . Pour ce faire, on cherche à construire le modèle le plus général de  $T$  où  $F$  est faux, en appliquant judicieusement des règles de propagation.

## 13. OUTILS DE DEVELOPPEMENT D'ONTOLOGIES

Les outils dédiés au développement des ontologies doivent faciliter leur documentation et offrir une interface graphique pour leur création. Certains de ces outils permettent aux utilisateurs de créer des ontologies, de les exporter dans un format informatique, et de les exploiter via des API supplémentaires.

### 13.1. PROTÉGÉ

PROTÉGÉ, développé par le Stanford Medical Informatics de l'Université de Stanford, est un environnement graphique destiné à l'édition, à la visualisation et à la vérification des contraintes des ontologies. Inspiré du modèle des frames, il utilise des classes pour représenter les concepts, des slots pour les attributs des concepts, des facettes pour définir les valeurs des propriétés et des contraintes sur ces valeurs, ainsi que des instances des classes. Il introduit également les méta-classes, dont les instances sont des classes. Son architecture extensible permet l'intégration de plugins pour étendre ses fonctionnalités, notamment pour la gestion des représentations graphiques [KHAL 09].

### 13.2. ODE (ONTOLOGY DESIGN ENVIRONMENT)

Cet outil est spécialisé dans la construction d'ontologies en suivant la méthodologie METHONTOLOGY. Son rôle est d'accompagner l'ontologue à chaque étape du développement, depuis la spécification des exigences jusqu'à la mise en œuvre, en intégrant des évaluations régulières lorsque cela est possible [ARPI et al. 03].

### 13.3. OntoEdit

OntoEdit est un environnement d'ingénierie ontologique développé par l'Institut AIFB de l'université de Karlsruhe, maintenant commercialisé par Ontoprise GmbH. Cet outil est basé sur la méthodologie de développement d'ontologies ONTO-KNOWLEDGE, guidant l'utilisateur à travers les différentes étapes de construction. Il offre plusieurs vues graphiques correspondant aux diverses phases de conception de l'ontologie [SURE et al. 02].

### 13.4. WebOde

WebODE est une plateforme en ligne développée par le groupe d'Ontological Engineering du département d'intelligence artificielle de la faculté d'informatique de l'université polytechnique de Madrid. Cet outil est conçu comme un éditeur qui prend en charge la méthodologie Methontology. L'éditeur d'ontologie de WebODE permet aux utilisateurs d'éditer et de naviguer à travers les ontologies WebODE en utilisant des formulaires HTML et des applets Java [ARPI et al. 03].

### 13.5. DoE

En 2002, Bachimont B, R. Troncy et A. Isaac de l'Institut National de l'Audiovisuel ont développé DoE (Differential Ontologies Editor) [BACH et al. 02]. Cet éditeur offre plusieurs fonctionnalités telles que la création, la modification et la suppression de concepts et de relations, ainsi que la représentation graphique de l'arbre ontologique. Il inclut également des outils de recherche et de navigation au sein de la structure ontologique créée. Les ontologies créées avec DoE sont documentées avec des définitions encyclopédiques incluant des synonymes, et elles sont disponibles en plusieurs langues [BANE et al. 07].

### 13.6 Framework Jena

Apache Jena ou (Jena), est une plateforme Java gratuite et open source dédiée à la création d'applications Web sémantiques. Elle se compose de diverses API qui interagissent pour traiter les données présentes dans des documents RDF, RDFS, OWL et SPARQL. Jena offre un moteur d'inférences puissant qui permet d'effectuer des raisonnements sur les ontologies définies dans ces formats [BENA 17].

## 14. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons mis l'accent sur l'apport de l'ingénierie des connaissances aux systèmes d'aide à la décision de groupe plus précisément le domaine médical. Cet apport est mis en évidence par la possibilité d'adopter une approche centrée sur les connaissances, incluant les ontologies, le Web sémantique, les Linked Data, les graphes de connaissances, la logique de description, ainsi que d'autres techniques permettant une représentation améliorée des utilisateurs et/ou des éléments, et facilitant la capture des interactions entre eux.

Nous avons ensuite abordé les systèmes à base de connaissances, en expliquant leurs rôles et objectifs, ainsi que la méthodologie d'inférence qui, dans notre projet, repose principalement sur le raisonnement à base de cas (RàPC).

Les ontologies ont joué un rôle crucial pour la recherche de cas similaire dans notre système d'élaboration de pronostic, ce qui rendait nécessaire de présenter les concepts de base qui y sont associés. Nous avons commencé par clarifier leur principe en définissant certains concepts fondamentaux. Ensuite, nous avons exposé les composants, les diverses classifications, le cycle de vie ainsi que les méthodologies de construction des ontologies.

Le prochain chapitre donnera un aperçu des travaux antérieurs réalisés dans le cadre de l'utilisation des SMA dans l'aide à la décision intégrant un RèPC.

# **CHAPITRE IV : LES SMA DANS L'AIDE A LA DECISION COLLABORATIVE INTEGRANT LE RAPC**

---

**APERÇU D'UN ETAT DE L'ART**

# CHAP.4–SMA DANS L’AIDE A LA DECISION COLLABORATIVE INTEGRANT LE RAPC

## 1. INTRODUCTION

L'architecture multi-agents est souvent plus simple à implémenter pour les infrastructures complexes, car elle offre une flexibilité en tenant compte de la modularité du système réel. Cette architecture est particulièrement efficace lorsque la centralisation n'est pas possible en raison de l'indépendance des acteurs impliqués.

Avec la généralisation des réseaux, la coopération entre divers composants logiciels dans des environnements hétérogènes et distribués, ainsi que le développement d'Internet, de nouvelles applications pour les systèmes multi-agents ont émergé. Sur Internet, les agents intelligents sont de plus en plus utilisés pour améliorer les services aux utilisateurs, tels que la recherche intelligente, l'assistance, et le commerce électronique. De plus, la technologie des agents a remplacé les modèles traditionnels dans la conception d'applications distribuées et collaboratives. Cet intérêt pour les SMA s'explique par plusieurs avantages :

- La décomposition et répartition des connaissances et des mécanismes de traitement, l'agent étant l'unité de base ;
- La dynamique du contrôle de résolution de problèmes distribués, avec une organisation et une affectation des tâches modifiables en cours de résolution ;
- La capacité à traiter des problèmes simultanés et potentiellement corrélés avec des optimisations éventuelles ;
- L'adaptabilité et la capacité d'apprentissage des agents, leur permettant de résister à des environnements évolutifs ou instables.

Ce chapitre présente un panorama des applications des systèmes multi-agents dans le domaine de l'aide à la décision, une classification des systèmes développés, ainsi que la description de quelques systèmes mentionnés dans la littérature.

## 2. DOMAINE D’APPLICATION DES SYSTEMES MULTI-AGENTS

Depuis leurs débuts, les systèmes multi-agents ont été déployés pour créer une vaste gamme d'applications. Cela inclut des applications simples comme les assistants de courrier électronique, ainsi que des systèmes complexes tels que la gestion du trafic aérien. L'un des avantages notables de la technologie des agents est sa capacité naturelle à modéliser une grande variété de systèmes, répondant à des besoins très diversifiés.

Les systèmes multi-agents peuvent être appliqués dans de nombreux domaines, notamment :

### 2.1. Assistance

Les agents assistants sont employés pour la recherche d'informations sur le web et comme assistants de courrier électronique. Ils sont également utilisés pour collecter des informations ou effectuer des actions au nom d'un utilisateur. Par exemple, certains agents peuvent chercher à effectuer des réservations d'hôtel ou trouver des opportunités de voyage intéressantes pour les utilisateurs.

### 2.2. SMA pour simulation

Ils sont utilisés pour des simulations permettant d'analyser un système global en se basant sur les interactions locales entre les agents d'une société. La simulation basée sur des agents est employée pour modéliser divers domaines du monde réel et est particulièrement utile pour les systèmes complexes où les techniques de modélisation classiques ne sont pas efficaces. Ces systèmes complexes contiennent souvent de nombreux paramètres difficiles à définir de manière complète. L'approche multi-agents permet une modélisation distribuée qui simplifie ce problème. Cependant, le défi pour le concepteur est de trouver la bonne distribution ainsi que les mécanismes appropriés de coordination et d'interaction pour reproduire fidèlement le système réel.

Par exemple, les agents peuvent représenter des animaux dans un écosystème ou des véhicules dans le trafic. Une illustration notable est la simulation d'une fourmilière par Alexis Drogoul en 1993, où il a utilisé des agents pour modéliser les comportements des fourmis. Il a démontré qu'un objectif global, tel que la survie de la fourmilière, pouvait être atteint sans avoir explicitement programmé cet objectif, mais en se basant uniquement sur les interactions locales et l'émergence organisationnelle des agents [DROG 93].

Dans [URBA 07], l'auteur a développé un Système Multi-Agents Géographique (SMAG) en utilisant une approche hybride qui combine un Système Multi-Agents avec un Système d'Informations Géographiques (SIG).

### 2.3. Applications industrielles

Ils sont utilisés pour simuler les chaînes logistiques, comme l'illustrent les travaux de Khouider en 2011 [KHOU 11]. Un exemple notable est le système Holonic Manufacturing System (HMS) développé par Gruver en 2003 [GRUV et al. 03] dans le secteur de la fabrication. Ce système vise à standardiser l'architecture technologique des systèmes industriels ouverts, distribués, intelligents, autonomes et coopératifs.

Un autre exemple est l'interface OASIS pour le contrôle aérien, décrite par Jennings en 1998 [JENN et al. 98], qui est utilisée pour gérer le trafic aérien de l'aéroport de Sydney. Dans ce système, chaque avion est traité comme un agent qui est généré dès que l'appareil approche de l'aéroport.

### 2.4. Commerce électronique

Le commerce électronique (e-commerce) facilite les transactions commerciales sur Internet en utilisant les ressources disponibles pour rapprocher les différents acteurs du marché. L'essor du réseau Internet et son adoption généralisée ont permis une expansion rapide des applications de e-

commerce. Dans ce contexte, les systèmes multi-agents jouent un rôle crucial. Les agents mobiles, en particulier, se déplacent pour collecter des informations à partir de divers sites web, qu'ils fusionnent ensuite. Ils peuvent également analyser ces données pour fournir à l'utilisateur des réponses précises à ses requêtes, telles que des comparaisons de produits ou des évaluations qualitatives de produits spécifiques.

## 2.5. Utilisations dans le secteur du divertissement

Les systèmes multi-agents ont également été utilisés dans l'industrie des jeux vidéo, où le concept d'agent a servi à créer des animaux artificiels évoluant dans des univers virtuels [GRAN et al. 98][GUIL 13].

## 2.6. Aménagement du territoire

Nous pouvons citer par exemple : SMAALA (*un système d'aide à la localisation en aménagement*) et le système SANPA (*Système d'Aide à la Négociation de Projets en Aménagements*).

# 3. LES SMA DANS L'AIDE A LA DECISION COLLABORATIVE

Avec l'essor des réseaux et d'Internet, l'utilisation de la messagerie électronique et des forums de discussion s'est généralisée. Les entreprises ont adopté des outils de travail coopératif assisté par ordinateur, comme les workflows et les groupwares, permettant une restructuration vers des organisations distribuées. Cette évolution a favorisé la prise de décision collaborative distribuée, car les experts se trouvent souvent dans des lieux différents.

Les systèmes multi-agents, en modélisant le comportement d'entités distribuées, offrent des structures supportant le travail de groupe. Les plateformes multi-agents permettent de déployer des agents sur des sites éloignés, facilitant ainsi la prise de décision collaborative distribuée. Cependant, ce contexte est complexe car les agents doivent gérer des représentations sociales des agents et des acteurs humains [FERR 03].

## 3.1. Contributions des Systèmes Multi-Agents à la Prise de Décision Collaborative

La distribution permet de réduire la complexité des problèmes en décomposant le système en sous-systèmes, facilitant ainsi l'adaptation aux changements environnementaux et la maintenance. Adopter une architecture distribuée pour les systèmes d'aide à la décision collaborative est justifié par :

- **Taille des bases de connaissances** : Dans un contexte de décision collaborative, les bases de connaissances sont vastes et souvent conflictuelles, car elles rassemblent les expertises diverses des décideurs.
- **Maintenance facilitée** : Une architecture distribuée et modulaire permet d'ajouter de nouvelles fonctionnalités en intégrant de nouveaux agents, augmentant ainsi la fiabilité et la capacité de gestion des défaillances du système.

Durfee [DURF et al. 87] distingue quatre modes de distribution :

- **Distribution spatiale** : Concernant l'emplacement des agents et des connaissances.
- **Distribution fonctionnelle** : Déterminant le rôle des agents au sein de la société.
- **Distribution temporelle** : Relatif à la disponibilité des expertises à des moments donnés.

- **Distribution logique** : Concernant le degré d'indépendance logique entre les parties de la connaissance.

Pour les systèmes d'aide à la décision collaborative, au moins deux distributions sont présentes :

- **Distribution spatiale** : Les acteurs sont géographiquement dispersés.
- **Distribution fonctionnelle** : Le système multi-agents représente une société organisée où chaque agent a un rôle fonctionnel. Parfois, une fonction est assurée par une organisation d'agents plutôt que par un seul agent.

Cette approche optimise la coopération et les capacités du système.

### 3.2. Topologies des Systèmes Multi-Agents pour l'Aide à la Décision Collaborative

Selon la distribution spatiale, deux topologies des systèmes d'aide à la décision collaborative à base d'agents sont identifiables :

- **Système centralisé** : Tous les agents sont sur une même machine. Les acteurs, c'est-à-dire les décideurs et le facilitateur, peuvent intervenir de manière asynchrone.
- **Système en réseau local ou intranet** : Utilisant un réseau interne à une organisation, les participants interagissent via des stations de travail connectées à ce réseau. Les interventions se font de manière synchrone, comme dans le cas des GDSS traditionnels où les participants sont co-localisés dans la même salle.

La décentralisation du système devient nécessaire dans les situations suivantes :

- **Décideurs géographiquement dispersés** : Quand il est impossible ou coûteux de réunir les décideurs en personne.
- **Décision urgente** : Quand une décision rapide est requise, notamment dans des situations de risque, de danger, ou d'impact économique important.
- **Anonymat** : Quand certains participants exigent l'anonymat pour leurs interventions.

Ces conditions justifient la nécessité de décentraliser le système d'aide à la décision collaborative pour une efficacité optimale [DURF et al. 87].

## 4. APPLICATION DANS LE DOMAINE MEDICAL

Dans le domaine médical, de nombreuses applications ont été développées pour améliorer les diagnostics, les traitements, et la gestion des soins. Ces applications couvrent un large éventail de besoins, allant de la gestion des dossiers médicaux électroniques à la télémédecine, en passant par les systèmes d'aide à la décision clinique et les outils de planification des traitements. L'intégration de technologies avancées permet d'optimiser les flux de travail, d'améliorer la précision des diagnostics, et de personnaliser les traitements en fonction des besoins individuels des patients.

### 4.1. Présentation de certaines applications développées

Le système Mycin [SHOR 76], bien qu'il n'ait jamais été utilisé de manière courante, demeure une référence en matière de systèmes experts. Son objectif est d'aider les médecins à choisir le bon antibiotique pour traiter un patient souffrant d'une infection bactérienne, même avant que le type exact de bactérie ne soit identifié avec certitude. Ce système fonctionne en utilisant des règles

conditionnelles accompagnées de coefficients de certitude, reflétant la confiance du médecin expert dans ses connaissances. L'utilisateur peut également exprimer son propre niveau d'incertitude concernant les symptômes présentés par le patient, et cette incertitude est prise en compte conjointement avec celle des règles pour évaluer l'incertitude globale de la recommandation. Le système emploie une approche similaire à celle de la logique floue pour déterminer comment les degrés de certitude se combinent dans le processus de raisonnement.

Daknou a présenté un ensemble d'applications médicales [**DAKN 11**], notamment :

- **TOMAS** (Telemedecine-Oriented Medical Assistant) : est utilisé par chaque spécialiste pour transférer les images microscopiques et les données d'un patient pour élaborer un diagnostic en collaboration avec d'autres collègues dans le département de pathologie.
- **Letizia** : a été développé afin de trouver des connexions fortuites quand un utilisateur cherche une chose liée à la médecine.
- **PalliaSys** : intègre la technologie de l'information et des SMA pour améliorer les soins donnés aux patients palliatifs.
- **Intelligent Healthcare Knowledge Assistant** : utilise le SMA pour la collecte dynamique de la connaissance, le filtrage, l'adaptation et l'acquisition de l'unité de mémoire des soins de l'entreprise.
- **ERMA** : est un assistant d'urgence médicale basé sur des agents intelligents de suivi pour démontrer le système de l'environnement du traumatisme avec un accent particulier sur les types de chocs et de stabilisation des gaz du sang artériel.

En complément, d'autres auteurs ont également contribué à ce domaine avec des applications distinctes, telles que :

[**BENB 12**] a proposé un système d'aide à la décision médicale basé sur la fouille de données par arbre de décision et le raisonnement à partir de cas nommé DTR&CBR. L'objectif de ce système est d'apporter une aide aux experts du domaine dans le choix du traitement de la tuberculose. Le processus de raisonnement à base de cas se déroule en plusieurs phases dont l'une d'entre elles est la remémoration qui consiste à trouver des cas similaires au problème donné. Pour la résolution du problème, l'auteur a utilisé la classification par arbre de décision dont le principe se situe dans la classification du nouveau cas (problème donné) afin de proposer une solution.

Partant des défis que posent le phénomène Big Data actuel, [**SYBO 16**] a proposé un modèle SI d'aide à la décision clinique qui permet une gestion sociocognitive de la responsabilité médicale. Ce modèle instrumente l'organisation des relations (médecin, patient, SADM) qui se construisent et interviennent dans la prise de décision clinique.

[**AFER 19**] a proposé une approche numérique de SADM pour la prédiction du diabète basée sur l'application de l'algorithme d'apprentissage automatique supervisé.

[**BOUK et al. 20**] ont proposé un système d'aide à la décision pour les gestionnaires des urgences de l'hôpital de Kherrata. En premier lieu, les auteurs ont développé un modèle de simulation basé sur des agents afin de permettre une exploration libre de la performance des urgences sous différents paramètres dans des situations de pré-saturation et de saturation du service d'urgence. Ils ont

ensuite étudié et analysé les performances du système en faisant varier les paramètres tels que le nombre de lits disponibles et/ou l'ajout de médecins supplémentaires au moment opportun.

**[MANS 18]** a proposé un système d'aide à la décision médicale utilisant un processus de traitement de données et de connaissances. L'objectif de ce travail est de poser une réflexion sur la notion de cas médical et par extension la situation médicale, de proposer un modèle décisionnel médical à base de raisonnement multimodal et enfin de proposer et tester un prototype de SADM utilisant distinctement la fouille de données (FDD) et l'analyse multicritère (AMC).

**[NAOU et al., 13]** ont présenté un système collaboratif distribué destiné à aider les médecins à diagnostiquer l'ostéoporose dans les radiographies osseuses. Ce système est une solution en ligne avec plusieurs utilisateurs et ressources réparties sur plusieurs sites web. Il utilise des systèmes basés sur la connaissance tels que les ontologies, les moteurs de supervision et les bases de connaissance. Il permet aux médecins, qui ne sont pas nécessairement des professionnels de l'informatique, de tirer profit des avancées technologiques en matière de traitement d'images et de déployer efficacement différents algorithmes de diagnostic de l'ostéoporose dans un environnement dispersé.

**[PITT et al. 18]** ont proposé ChronicPrediction qui est un système intelligent de traitement des maladies non transmissibles utilisant des réseaux bayésiens pour prédire l'impact des actions de l'utilisateur sur les facteurs de risque. Le système présente des messages stratégiques sur les smartphones des utilisateurs pour les aider dans leur traitement. Il prend en charge plusieurs maladies chroniques et intègre plusieurs réseaux bayésiens en fonction des facteurs de risque. Le prototype fonctionnel a permis deux (2) expériences :

- La première consistait à construire un réseau bayésien pour prédire les maladies coronariennes à l'aide de données réelles provenant d'une étude de cohorte prospective dans le sud du Brésil.
- La deuxième a permis d'évaluer la prise en charge simultanée de plusieurs réseaux bayésiens, montrant ainsi le potentiel d'une mise en œuvre dans la vie réelle.

**[PLA et al. 13]** ont proposé un outil médical conviviale pour les systèmes de développement de pronostic et l'expérimentation dans le cadre d'une méthodologie de raisonnement basé sur les cas. Cet outil permet de représenter les pratiques de collaboration en matière de soins de santé dans le cas où différents médecins partagent leur expertise. Etant donné que plusieurs solutions pour un même cas sont inutiles, les agents (médecins) collaborent entre eux afin de parvenir à une décision finale par le biais d'un schéma coordonné.

## 4.2. Applications intégrant les SMA

Les Systèmes Multi-Agents ont trouvé des applications spécifiques et un large éventail dans le domaine médical, nous citons par exemple :

**[BELL 11]** a proposé une approche intelligente et distribuée basée sur les SMA pour la classification des personnes diabétiques afin de renforcer le diagnostic dans ce domaine.

**[LU 09]** a proposé une simulation à base d'agents qui modélise diverses phases du flux de travail des urgences, tels que le triage, le dépistage par l'infirmière, l'examen des résidents, l'examen de présence, le laboratoire/radiologie et la disposition. L'objectif de ce travail est de développer et

d’étudier une simulation à base d’agents pour permettre une exploration libre des performances sous différents contextes du processus de triage et de la procédure de radiologie.

Dans **[RELW et al. 16]**, les auteurs ont montré l’apport des systèmes multi agents d’aide à la décision (SMAAD) dans la prise en charge de l’embolie pulmonaire (EP) en proposant un espace vectoriel flou temporel qui combine les indicateurs traditionnels de l’EP : score de Wells, score révisé de Genève et score de PESI. Cet espace exprime l’évolution dynamique du diagnostic et du pronostic de la maladie du patient. Les solutions émergent de la coopération d’agents spécialisés durant les étapes cliniques (diagnostic, pronostic, thérapeutique, suivie thérapeutique) et des bases de connaissances élaborées avec des modèles différents.

**[DAKN 11]** a proposé une architecture distribuée à base d’agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d’urgence en milieu hospitalier. L’objectif de ce système vise à réduire les délais de prise en charge du patient, améliorer le rendement de l’équipe soignante et par conséquent améliorer le service rendu au patient et sa satisfaction.

**[IANT 07]** a proposé un système multi agent de diagnostic médical hybride et coopératif appelé CMDS (Contract Net Based Medical Diagnosis System). La résolution coopérative de problèmes par ce système combine les avantages des médecins et des agents artificiels dans l’élaboration de diagnostics médicaux, en utilisant efficacement les connaissances médicales distribuées entre les membres du système.

**[SHIB 09]** a proposé un système avancé de soins de santé et de diagnostic médical basé sur des agents, en utilisant la base de connaissance et des agents intelligents collaboratifs et coopératifs résidents sur une plate-forme multi agents, qui fournit un environnement de partage des tâches communicatif.

**[WU et al. 05]** ont proposé un modèle appelé DMDTMAO (Distributed Medical Diagnosis and Therapy based on Agent and Ontology) pour la construction d’un système distribué ouvert, à grande échelle et interopérable de diagnostic et de thérapie médicaux intelligents dans un réseau étendu tels que l’Internet. Ce modèle intègre un agent mobile et une ontologie avec des services Web, ce qui permet au système de se reconfigurer en fonction des services existants et des besoins réels. Il réduit également les délais de transport dans les réseaux étendus et garantit une correspondance précise des services d’agents dans les serveurs de registre de services.

**[ARUS et al. 06]** ont proposé HealthAgents qui est un projet de recherche financé par la Commission Européenne visant à améliorer la classification des tumeurs cérébrales grâce à une aide à la décision multi agents sur un réseau distribué de base de données local ou de datamarts. Ce projet permettra non seulement de développer de nouvelles méthodes de reconnaissance des formes pour une analyse distribuée des données IRM in vivo et des HRMAS ex vivo/in vitro et des données ADN, mais aussi de définir une méthode d’évaluation de la qualité et la facilité d’utilisation d’une nouvelle base de données locale candidate contenant un ensemble de nouveaux cas, sur la base d’un score de compatibilité.

Dans **[LAZO et al. 12]**, les auteurs ont utilisé des systèmes multi-agents pour assister le diagnostic en anesthésie. L’approche implique l’intégration de plusieurs classificateurs, notamment les réseaux de neurones, les arbres de décision, et les machines à vecteurs de support. Chaque méthode a été

représentée par un agent distinct. Ces trois agents sont supervisés par un agent contrôleur, dont le rôle est de réaliser un vote majoritaire afin d'augmenter la précision de la classification. L'apprentissage de ce prototype est basé sur des données anesthésiques collectées localement. Les résultats obtenus sont prometteurs et démontrent une cohérence des données collectées.

Mougnutou dans [NFON 22] a apporté deux contributions majeures dans son travail. Tout d'abord, il a développé un modèle de prise de décision thérapeutique pour le traitement du rhume chez les adultes, en s'appuyant sur des données probantes issues de méta-analyses. Il a ensuite réalisé une analyse coût-efficacité, en prenant en compte tous les coûts du point de vue de la société, en utilisant les QALY (Quality-Adjusted Life Years) comme unité d'efficacité. Les QALY représentent une année de vie vécue dans un état de santé parfait. Habituellement, les scores HRQL (Health-Related Quality of Life) sont utilisés pour calculer les QALY, mais ces scores ne sont pas adaptés aux maladies infectieuses aiguës telles que le rhume. Il a proposé dans sa thèse un modèle de QALY basé sur l'impact de chaque état de santé sur la santé globale, ce qui constitue sa deuxième contribution en matière de comparaison entre les thérapies modernes et traditionnelles.

[KAZA et al. 20] ont proposé un système multi-agents qui répartit le diagnostic entre trois agents. Chaque agent est un spécialiste (ORL, digestif et cardiologie) capable de prendre des décisions et de communiquer avec les autres agents afin de fournir le pronostic final correspondant au cas du patient traité.

Benhadji dans [BENH 18] a proposé une alternative qui repose sur une approche centrée sur le patient et utilisant des agents pour réduire les délais d'attente et la durée de séjour, ce qui diminue les coûts des soins tout en garantissant des soins de qualité à tous les patients et une meilleure gestion des ressources hospitalières.

MASDIMA (Multi-Agent System for Diabetes Management) a été proposé par [SILV et al. 14], le système utilise des techniques d'apprentissage automatique, telles que les réseaux neuronaux, pour modéliser la dynamique du diabète et prédire les réponses individuelles des patients aux traitements. Les agents utilisent ces modèles pour recommander des ajustements personnalisés du traitement en fonction des besoins spécifiques de chaque patient. L'approche intègre également des algorithmes d'optimisation pour trouver les combinaisons optimales de médicaments et de doses, en tenant compte des contraintes individuelles et des objectifs thérapeutiques.

Dans [GONZ et al. 08] MediMAS (*Medical Multi-Agent System*), les auteurs ont une approche d'aide à la décision médicale une base d'agents qui utilise des techniques de traitement du langage naturel et de classification pour interpréter les données médicales non structurées, telles que les notes cliniques et les rapports d'imagerie. Les agents exploitent ces informations pour détecter les symptômes, évaluer la gravité des conditions médicales et générer des alertes en cas de situations critiques. MediMAS intègre des mécanismes de planification et d'ordonnancement pour coordonner les actions des agents et garantir une réponse rapide aux changements de l'état clinique des patients.

MedMAS (*Medical Multi-agent System*) proposé par [SMIT et al. 15] utilise des techniques de raisonnement basées sur des règles et des arbres de décision pour générer des recommandations de traitement. Les agents évaluent les options de traitement disponibles en fonction des lignes directrices cliniques et des données probantes, puis proposent des plans de traitement personnalisés

en tenant compte des préférences du patient. MedMAS intègre des mécanismes de négociation et de prise de décision distribuée pour faciliter la collaboration entre les agents et les professionnels de la santé dans le processus de décision médicale.

"*A Multi-Agent System for Monitoring Chronic Patients*", une étude proposée par **[HERN 14]**, cette recherche utilise principalement des techniques de surveillance et de diagnostic pour le suivi des patients chroniques. Les agents du système surveillent en continu les données de santé des patients, telles que les signes vitaux et les symptômes, et utilisent des algorithmes d'apprentissage automatique pour détecter les tendances et les anomalies, fournissant ainsi des recommandations de traitement personnalisées.

"*Multi-Agent Systems for Healthcare Workflow Management*", une étude proposée par **[CHEN et al. 16]** qui se concentre sur la gestion des flux de travail en santé en utilisant des systèmes multi-agents. Les méthodes principales incluent l'utilisation de techniques de planification et d'ordonnancement pour optimiser les processus de soins, ainsi que des algorithmes de coordination pour faciliter la collaboration entre les différents acteurs du système de santé.

"*An Agent-Based System for Medical Diagnostic Reasoning*", cette recherche propose un système basé sur des agents pour le raisonnement diagnostic médical. Les agents du système utilisent des techniques de raisonnement à base de connaissances, telles que la logique floue et les réseaux bayésiens, pour évaluer les symptômes et générer des hypothèses de diagnostic, en tenant compte des données médicales disponibles et des meilleures pratiques cliniques **[JONE et al. 12]**.

#### 4.2.1. SMA combiné avec le RàPC ou Approches intégrant seulement le RàPC

La médecine a adopté le raisonnement à partir de cas (RàPC) pour gérer l'énorme volume de données stockées dans de vastes bases de données accumulées au fil des années. Sans des outils d'analyse puissants, il serait impossible pour les humains d'exploiter pleinement cette masse d'informations. L'intégration du RàPC dans le domaine médical a donc considérablement amélioré le traitement des données médicales. En fournissant un outil pour analyser les situations médicales passées, le RàPC aide les praticiens à résoudre des cas médicaux souvent complexes.

Dans **[SHEN et al. 14]**, les auteurs ont développé un SMAAD Un permettant l'intégration et la coopération d'agents spécialisés dans différents domaines de connaissances tels que la sémiologie, la pharmacologie et les cas cliniques. Chaque agent utilise une base de connaissances pour définir les conduites à tenir, ainsi qu'une base ontologique exprimant les relations sémantiques entre les termes du domaine concerné. Leur approche repose sur la spécialisation d'agents adaptés aux modèles de connaissances utilisés lors des étapes de la démarche clinique et aux ontologies. Cette méthode modulaire est adaptée à la réalisation de SMAAD dans divers domaines.

Ils ont utilisé un type d'agent clinique général comme base, qui constitue la racine d'une hiérarchie d'agents cliniques spécialisés selon les modèles et les domaines de connaissances. Ils ont démontré l'apport des ontologies à la coopération entre bases de connaissances dans un SMAAD.

La gestion des risques liés aux actions et aux conditions des différents éléments d'un bloc opératoire est une préoccupation majeure lors des interventions chirurgicales. La prédiction des événements indésirables graves associés aux soins (EIGS) et l'analyse de leur survenue sont des enjeux cruciaux. Pour répondre à ces défis, Perez dans **[PERE 21]**, a proposé une architecture combinant un système

multi-agents avec un raisonnement à partir de cas (RàPC). Le SMA, capable de simuler un grand nombre de situations où les agents interagissent, permet de générer des phénomènes émergents et donc de potentiels nouveaux EIGS. L'intégration du raisonnement à partir de cas enrichit la base de connaissances du modèle en utilisant les expériences passées pour résoudre les problèmes par analogie. En plus de l'identification des EIGS, il avait inclus des outils d'aide à la décision dans son approche.

Dans [ZHAO et al. 13], les auteurs ont développé le système SEMLS (*Semantic Enhanced Multi-agent System for Healthcare Decision Support*) où ils utilisent une combinaison de techniques sémantiques et d'apprentissage automatique pour extraire, représenter et raisonner sur les connaissances médicales. Les agents utilisent des ontologies pour modéliser les concepts médicaux et les relations entre eux, ce qui facilite l'interopérabilité des données et la prise de décision. SEMLS intègre des algorithmes d'apprentissage automatique pour améliorer la précision des recommandations médicales en fonction des données cliniques et des préférences des patients.

[ZOUA 12] a proposé un système d'aide à la décision et au diagnostic médical basé sur une société d'agents ayant chacun un rôle et interagissant entre eux. Afin de gérer la sémantique de ce système, l'auteur a intégré le paradigme Ontologie spécifique à la pathologie étudiée qui est le Diabète 2.

[BOUR 17] a mis en œuvre une application d'aide à la décision médicale pour la prise en charge de l'enfant victime d'un accident de la route basée sur la méthodologie du RàPC.

En 2020, le monde a été confronté à la pandémie de Covid-19. Dans ce contexte, Oyelade et Ezugwu ont réalisé une étude utilisant le raisonnement à partir de cas pour la détection et le diagnostic précoces de la maladie. Leur objectif était d'exploiter les vastes bases de données de cas de Covid-19 pour aider les médecins à diagnostiquer facilement les nouveaux cas suspects sans recourir à des tests de laboratoire. Ils ont développé un modèle de RàPC amélioré, intégrant une nouvelle méthode de sélection des caractéristiques et un modèle mathématique basé sur la sémantique pour calculer la similarité entre les cas. Les résultats ont montré que cette approche permettait de classer les cas suspects avec une précision de 94,54 % [OYE et al. 20].

Timothy M. Rawson a étudié l'efficacité d'un algorithme de raisonnement à partir de cas en le comparant aux décisions de prescription des médecins dans des situations réelles. Les recommandations de prescription générées par l'algorithme ont été confrontées aux choix faits par les médecins en pratique clinique. Les résultats montrent que sur 224 patients, le RàPC a fourni des recommandations appropriées pour 202 cas, contre 186 pour les médecins. Cela indique que l'algorithme a pu formuler des recommandations d'antibiotiques plus appropriées que celles généralement faites en clinique [RAWS et al. 20].

Gu, Su, et Zhao ont développé un système de diagnostic assisté par ordinateur combinant le raisonnement à partir de cas et l'apprentissage par ensemble pour améliorer la précision des prédictions de récurrence du cancer du sein. Ce système propose des interprétations basées sur des cas spécifiques, aidant ainsi les médecins à évaluer la fiabilité des prédictions et à prendre des décisions éclairées. Les résultats ont montré que ce système offre des prédictions assez précises, et il a été favorablement accueilli par les oncologues [GU et al. 20].

Dans [HATOet al. 22] les auteurs ont développé un système de recommandation de traitements pour la dépression, combinant le raisonnement à partir de cas et une forêt aléatoire. Le but principal de ce système était de créer un module d'adaptation automatique, basé sur les données, capable d'évoluer sans intervention humaine. De plus, le système attribue des poids aux caractéristiques dans la mesure de similarité des cas, en se basant sur l'importance de ces caractéristiques dans le diagnostic de la dépression. Le système a atteint une précision de 82 % pour la récupération du RàPC et de 88 % pour l'adaptation automatique.

En outre, il existe plusieurs autres systèmes multi-agents pour l'aide à la décision qui intègrent diverses méthodes lors de la phase d'évaluation du processus décisionnel. Ces systèmes démontrent la flexibilité et l'efficacité des approches basées sur les agents dans différents contextes médicaux et cliniques. Dans la section suivante, nous examinerons certains de ces SMAD qui utilisent des techniques variées pour améliorer la précision et la fiabilité des décisions médicales.

MediChoice (*Medical Choice Optimization System*) est un système d'aide à la décision médicale basé sur les SMA qui vise à optimiser le processus de choix de traitement pour les patients. Les agents dans MediChoice utilisent des méthodes multicritères telles que l'analyse multicritère, l'AHP (Analytic Hierarchy Process) ou l'analyse de sensibilité pour évaluer les différentes options de traitement en fonction de critères multiples tels que l'efficacité, la sécurité, le coût et les préférences du patient [CHEN et al. 18].

CareNet (*Collaborative Healthcare Network*) est un système d'aide à la décision médicale collaborative qui relie les professionnels de la santé et les patients pour faciliter la prise de décision partagée. Les agents de CareNet intègrent des méthodes multicritères dans le processus de recommandation de traitement en tenant compte des préférences individuelles des patients, des meilleures pratiques cliniques et des contraintes de ressources [KHANet al. 13].

MDMAS (*Medical Decision-Making Agent System*) est proposé par [FENG et al. 15] conçu pour l'aide à la décision médicale. Il utilise une approche multi-agent pour rassembler et analyser des données médicales afin de prendre des décisions de diagnostic. Le système intègre des agents intelligents qui collaborent pour évaluer les symptômes et proposer des recommandations de traitement. L'approche de décision multi-agent combine des techniques de raisonnement à partir de cas, d'apprentissage automatique et de logique floue pour améliorer la précision des diagnostics médicaux.

HealthAgent, proposé par Manzoor dans [MANZ et al. 18], un système multi-agent conçu pour offrir un soutien à la décision en matière de santé. Il utilise des techniques de renforcement pour apprendre et adapter ses recommandations en fonction des données médicales et des préférences des patients. Le système utilise des méthodes de renforcement pour apprendre à optimiser les recommandations de traitement en fonction des résultats précédents et des réactions des patients.

Dans [WANG et al. 19], l'auteur a développé le système MediAssist qui est un système multi-agent conçu pour fournir un soutien à la décision médicale en utilisant le raisonnement à partir de cas. Il intègre des agents intelligents qui analysent les données médicales pour générer des recommandations de traitement basées sur des cas similaires. Le système utilise une approche de raisonnement à partir de cas pour comparer les cas médicaux actuels avec des cas similaires dans

une base de données. Les recommandations de traitement sont ensuite générées en fonction de cette comparaison.

D'autres tels que MediGuidance (*Medical Guidance System*) et HealWise (*Health Wise Decision System*) ont été également proposés intégrant des méthodes diverses d'évaluation.

## 5. DISCUSSION

Les systèmes d'aide à la décision (SAD) qui utilisent des méthodes probabilistes présentent souvent des avantages, mais ils sont également limités par les conditions nécessaires à l'application des théorèmes de probabilité. En effet, certains chercheurs soulignent que les médecins raisonnent généralement en termes de relations de cause à effet plutôt que sur des probabilités diagnostiques, car ils peuvent expliquer l'ensemble de leur raisonnement. Globalement, il semble que les maladies courantes puissent être identifiées par des méthodes probabilistes ou statistiques, tandis que les maladies rares sont mieux détectées par des systèmes de simulation.

Certaines méthodes rencontrent des problèmes liés à l'exclusivité mutuelle des diagnostics (maladies). Une solution consiste à combiner plusieurs diagnostics en proposant une liste variée provenant de divers praticiens, soulignant ainsi l'importance de l'aide à la **décision collective** (ou l'aide au **diagnostic de groupe**).

Vers la fin des années 1960, De Dombal a observé ce phénomène en concevant un système d'aide au diagnostic des syndromes douloureux abdominaux. Des évaluations ont montré que ce système était performant à Leeds, où il avait été développé, mais médiocre à Paris en raison de la variation de la prévalence des pathologies. Cependant, le système a récupéré ses performances après avoir intégré des données provenant de différentes régions selon les experts ou praticiens. Cela démontre que ce système basé sur des probabilités était moins adaptable comparé à des systèmes utilisant des **bases de connaissances** et un **raisonnement intelligent**.

Certainement, les méthodes basées sur l'intelligence artificielle, y compris les systèmes experts spécialisés dans des domaines médicaux spécifiques, continuent d'être utilisées. Toutefois, les systèmes évoluent vers des configurations plus complexes et distribuées, intégrant de plus en plus des raisonnements intelligents.

Les systèmes multi-agents offrent des possibilités de modélisation adaptées à divers domaines d'application, tels que la gestion des chaînes logistiques, la gestion de l'eau, l'aménagement du territoire et les projets collectifs. Ces systèmes sont souvent des simulateurs basés sur la négociation, facilitant la prise de décisions communes et parfois consensuelles au sein de groupes. Leur caractéristique principale est une topologie décentralisée, car ils sont conçus pour des applications se déroulant dans des entreprises étendues et multi-sites.

Le processus décisionnel intégré utilise diverses techniques comme le vote, la méthode Delphi, et le NGT (Nominal Group Technique), tout en prenant en compte l'incertitude inhérente à certains domaines de gestion. Différentes approches sont adoptées pour la conception de ces systèmes, telles que la méthodologie "voyelle", où les composants (Environnement, Interaction, Agents et Objets) sont clairement définis et mis en évidence.

### Comparaison de notre approche avec quelques systèmes existants

Référence	Personnalisation des Soins	Optimisation des Processus	Collaboration Inter-Agent/Professionnels	Innovation Technologique	Réduction des Coûts
[NAOU et al. 13]	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
[PITT et al. 18]	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
[PLA et al. 13]	Oui	Oui	Oui	Non	Non
[BELL 11]	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
[LU 09]	Non	Oui	Oui	Oui	Non
[RELW et al. 16]	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
[DAKN 11]	Non	Oui	Oui	Oui	Non
[IANT 07]	Oui	Non	Oui	Oui	Non
[SHIB 09]	Oui	Non	Oui	Oui	Non
[WU et al. 05]	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
[ARUS et al. 06]	Non	Oui	Oui	Oui	Non
[LAZO et al. 12]	Non	Oui	Oui	Oui	Non
[NFON 22]	Non	Non	Non	Non	Oui
[KAZA et al. 20]	Non	Non	Oui	Oui	Non
[BENH 18]	Non	Non	Oui	Non	Oui
[SILV et al. 14]	Oui	Non	Oui	Oui	Non
[GONZ et al. 08]	Non	Non	Oui	Non	Non
[SMIT et al. 15]	Oui	Non	Oui	Non	Non
[HERN 14]	Oui	Non	Oui	Non	Non
[CHEN et al. 16]	Non	Oui	Oui	Non	Non
[JONE et al. 12]	Non	Non	Oui	Non	Non
[SHEN et al. 14]	Oui	Non	Oui	Non	Non
[PERE 21]	Non	Non	Oui	Non	Non
[ZHAO et al. 13]	Non	Non	Oui	Oui	Non
[ZOUA 12]	Non	Non	Oui	Non	Non
[BOUR 17]	Non	Non	Oui	Non	Non
[OYE et al. 20]	Non	Non	Oui	Non	Non
[RAWS et al. 20]	Non	Non	Oui	Non	Non
[GU et al. 20]	Non	Non	Oui	Non	Non
[HATO et al. 22]	Non	Non	Oui	Non	Non
[CHEN et al. 18]	Non	Oui	Oui	Non	Non
[KHAN et al. 13]	Non	Non	Oui	Non	Non
[FENG et al. 15]	Non	Non	Oui	Non	Non
[MANZ et al. 18]	Non	Non	Oui	Non	Non
[WANG et al. 19]	Non	Non	Oui	Non	Non
<b>Notre approche</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

Tableau IV.1 : Comparaison –Systèmes existants vs notre approche

## 6. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons exploré plusieurs développements de SAD et plus précisément ceux à base de systèmes multi-agents, en particulier pour la prise de décision collaborative. Cela nous a permis d'identifier les divers problèmes de conception, les choix adoptés, et de situer notre propre contribution dans ce domaine. L'étude de l'état de l'art nous a permis de classer les propositions en deux grandes catégories : **(i)**. Les systèmes de simulation (simulateurs) qui modélisent le fonctionnement d'un système donné. Leur objectif principal est d'évaluer les performances du système global à travers des tests spécifiques. Et en revanche **(ii)**. Les systèmes de résolution de problèmes (résolveurs) qui sont orientés vers la résolution de problèmes spécifiques d'aide à la décision. Ces systèmes, souvent utilisés pour la négociation, aident les décideurs à prendre des décisions en fonction des situations données. La négociation peut se dérouler sur un poste de travail unique ou être distribuée dans certains cas.

Le prochain chapitre sera dédié au développement de notre propre contribution en détail.

**CHAPITRE V : PROPOSITION D'UNE  
ARCHITECTURE D'OUTIL  
COLLABORATIF D'AIDE A LA DECISION**

---

# CHAP.5-PROPOSITION D'UNE ARCHITECTURE D'OUTIL COLLABORATIF D'AIDE A LA DECISION

## 1. INTRODUCTION

Dans le chapitre précédent, nous avons évoqué la notion de SMA et les avantages que ceux-ci offrent pour la conception de SADM. L'objectif de ce chapitre est de mettre l'accent sur le fonctionnement de notre système d'aide à la décision et au pronostic médical à partir d'une architecture à base d'agents. Le modèle d'architecture que nous proposons est capable de supporter le processus décisionnel dans un contexte multi-décideurs distribué. Néanmoins, avant de concevoir une telle architecture logicielle, nous devons tout d'abord comprendre comment elle est construite et pour cela nous allons donner une description des différents types agents qui interviennent dans le système ainsi que les interactions entre eux.

## 2. SPECIFICATION DU SYSTEME D'AIDE A LA DECISION DE GROUPE

Nous examinons la configuration du GDSS distribué élaboré dans [ADLA 07]. Nous nous situons dans un cadre où les intervenants sont dispersés géographiquement. Deux types d'acteurs sont identifiés : le facilitateur (le gestionnaire ou l'initiateur) et les décideurs (les participants).

- Le facilitateur : son rôle consiste à engager un groupe de participants dans une démarche collaborative ;
- Les participants : le système implique au moins deux décideurs experts qui composent le groupe.

Ce système vise à permettre au facilitateur de présenter un problème nécessitant une prise de décision collective. Les participants, qui sont dispersés géographiquement, peuvent rejoindre le groupe et contribuer à la résolution collective du problème posé (la tâche à accomplir). Dans ce contexte, tous les participants ont le même rôle : proposer une solution au problème soumis par le facilitateur. L'activité de prise de décision se déroule au cours de sessions de collaboration synchrones ou asynchrones, où les participants agissent simultanément et à partir de points d'accès distribués.

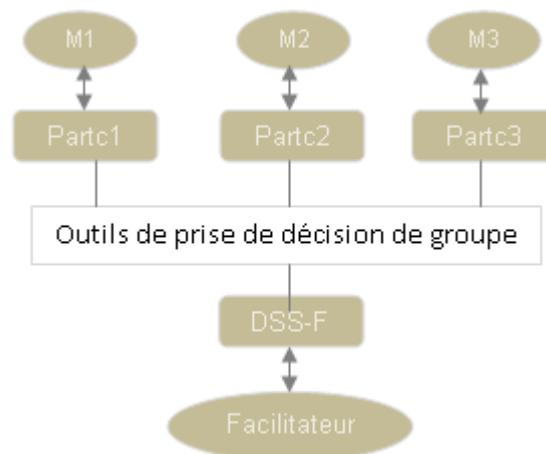


Figure V.1: Architecture d'un système d'aide à la décision de groupe distribué [ADLA 10]

## 2.1. Démarche à Suivre pour l'Elaboration du Pronostic

Le modèle du processus décisionnel examiné est basé sur celui de Simon [SIMO 77] [TURB93] [LEVI et al. 89], étendu et adapté au contexte de la prise de décision en groupe par Adla [ADLA07]. Ce modèle se décompose en trois phases comme le montre la figure 1.2 (définie précédemment dans le chapitre I).

a). **La phase de pré-décision** : à ce stade, l'accent est mis sur la définition des bases et des objectifs du processus. Cela inclut l'identification de toutes les contraintes et caractéristiques que la solution doit satisfaire.

b). **La phase de décision** : cette phase comprend quatre étapes

1. **La génération des options de solution** : les participants proposent différentes options de solutions qui sont ensuite présentées au groupe.
2. **L'organisation des solutions alternatives** : il s'agit de détecter et de traiter toute redondance ou synonymie parmi les alternatives proposées. Cette étape comprend les points suivants :
  - **Prétraitement du texte** : consiste au nettoyage du texte, à la suppression de la ponctuation, à la mise en minuscule et à la suppression des espaces.
  - **Vectorisation du texte** : consiste à représenter chaque phrase sous forme de vecteur.
  - **Calcul de la similarité** : consiste à utiliser une mesure de similarité pour comparer les vecteurs des phrases. En règle générale, une mesure de similarité est une fonction qui évalue le rapport entre deux (2) objets, comparés en fonction de leurs points communs et de leurs points distants. Les deux objets qui sont comparés sont évidemment du même genre. Il existe différentes mesures de similarité :
    - **Distance de Manhattan** : est utilisée pour calculer la différence absolue entre les coordonnées d'une paire d'objets. Elle est donnée par l'expression suivante :  $\sqrt[1]{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$
    - **Distance Euclidienne** : est une méthode de calcul de distance utilisée pour mesurer la distance de deux points dans l'espace euclidien. Elle est donnée par la formule suivante :  $\sqrt[2]{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$
    - **Distance de Minkovski** : est une métrique dans l'espace vectoriel où une norme est définie (espace vectoriel normé) et est considérée comme une généralisation de la

distance Euclidienne  $e$  de la distance de Manhattan. Elle est donnée par la formule suivante :  $\sqrt[3]{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^3}$

- **Similarité Cosinus** : est mesuré en calculant le cosinus de l’angle entre deux (2) vecteurs. Plus les angles sont petits, plus les vecteurs sont similaires. Elle est donnée par la formule suivante :  $\frac{v \cdot w}{\|v\| \cdot \|w\|}$
- **Indice de Jaccard** : est un indice de similarité entre deux (2) ensembles.  
Il est défini comme la proportion entre la taille de leur intersection et la taille de leur union. Elle est donnée par la formule suivante :  $\frac{|v \cap w|}{|v \cup w|}$
- **Coefficient de Dice** : est une méthode statistique utilisée pour évaluer la similitude entre deux (2) ensembles de données. Le rapport de l’intersection de deux ensembles de données sur leur union est défini comme suit :  $\frac{2|v \cap w|}{|v \cup w|}$

Où  $v$  et  $w$  représentent les vecteurs.

**3. L’évaluation des solutions alternatives** : Après épuration, chaque participant est amené à évaluer les solutions proposées en fonction de sa perception du problème en toute objectivité. L’estimation, le vote, l’évaluation multicritère, le classement sont toutes des méthodes d’évaluation.

- **L’estimation** : selon [ADLA 10], l’estimation permet aux participants d’évaluer un ensemble d’alternatives basé sur une échelle de 1 à 10, avec une valeur par défaut pour  $X$  de 10. Elle peut être utilisée pour évaluer rapidement une longue liste de solutions alternatives et les réduire à un petit ensemble d’options de solutions.
- **L’évaluation multicritère** : le processus d’évaluation multicritère consiste à examiner diverses options et scénarios afin de sélectionner le choix le plus judicieux possible en fonction des objectifs visés et des résultats souhaités. Elle emploie des techniques qui peuvent gérer différents critères, souvent contradictoires, à la différence des méthodes d’optimisation classique qui se focalisent sur une seule fonction économique.
- **Le classement** : l’évaluation par classement est un processus utilisé pour comparer et classer diverses options ou alternatives. Souvent, elle nécessite l’emploi de plusieurs critères pour évaluer chaque option et attribuer un rang. Ceci permet de repérer la meilleure option ou de donner la priorité à plusieurs options.
- **Le vote** : dans notre système, l’évaluation se fera par vote qui consiste à voter oui/non pour chaque proposition. La proposition ayant reçue le plus de votes positifs (Oui) est considérée comme la plus favorable.

**4. La prise de décision** : la solution retenue découle des étapes précédentes. Elle doit être communiquée à tous les acteurs et répondre aux contraintes et objectifs établis lors de la phase de pré-décision.

**c). La phase de post-décision** : son objectif principal est de conserver une trace des décisions prises. Pour ce faire, une mémoire organisationnelle est mise à jour.

### 3. MODELISATION DU SYSTEME A BASE D’AGENTS

#### 3.1. Méthodologie de conception choisie

Aucune méthode n’est parfaite pour la conception des SMA, chacune d’elles possède ses spécificités en termes d’architecture, de formalisme ou de modèles. Voyelles est certainement celle qui se distingue le plus des autres et qui est difficilement comparable puisqu’elle laisse les concepteurs libres d’utiliser les formalismes, les notations ou langages de leur choix pour spécifier chaque lettre du système. Elle repose sur des principes purement multi-agents. C’est ce qui nous motive à choisir l’approche Voyelles pour la modélisation du système.

Comme décrit dans le chapitre II, l’approche Voyelles est décomposée en quatre (4) dimensions que nous définirons ci-dessous en fonction de notre système :

- **Agent** : Notre système est composé d’un agent assistant facilitateur, d’agents assistants décideurs ayant chacun un agent collaborateur, d’un agent coordinateur, d’un agent organisateur et d’un agent système.
- **Environnement** : il est constitué de l’ensemble des agents modélisés qui agissent sur celui-ci en fonction des entrées qu’ils reçoivent.
- **Interaction** : les différents agents interagissent via une communication par envoi de message en utilisant le langage ACL (Agent Communication Language).
- **Organisation** : chaque agent est caractérisé par le rôle qui lui est attribué.

#### 3.2. Conception préliminaire

##### 3.2.1. Description des agents du système

Notre système est constitué de plusieurs agents qui sont : Agent assistant Facilitateur, Agent assistant Participant, Agent Coordinateur, Agent Collaborateur, Agent Organisateur et Agent Système.

- **L’agent Assistant Facilitateur** : il est conçu pour optimiser l’interaction entre le système et le facilitateur en offrant des fonctionnalités ergonomiques et conviviales. Ce module vise à créer un environnement de travail et de communication agréable, en fournissant à la fois un espace de travail privé pour le facilitateur et un espace public pour le groupe. Il permet également au facilitateur de communiquer avec les membres du groupe à tout moment, en dehors des processus décisionnels, en établissant des connexions avec les autres utilisateurs via leurs agents assistants respectifs. Cette fonctionnalité simplifie les interactions au sein du système multi-agents en centralisant les échanges décisionnels entre le coordinateur et les collaborateurs, tandis que les autres interactions se limitent aux agents assistants. Cela réduit la complexité du système et facilite la gestion des interactions. De plus, l’Agent Assistant, en collaboration avec le facilitateur, sélectionne les participants appropriés en fonction de leur profil et du type de décision à prendre, puis organise l’agenda de la réunion.
- **L’agent AP/AD** : L’Agent Assistant du Décideur joue un rôle semblable à celui d’un assistant personnel pour le participant, agissant comme un intermédiaire entre lui et le système. Lorsque le facilitateur envoie une invitation à une réunion par l’intermédiaire de son propre agent assistant, l’Agent Assistant du Décideur analyse cette demande et suggère une réponse

basée sur la disponibilité et les compétences du participant. Toutefois, la décision finale de participer ou non à la réunion appartient entièrement au participant. Cet agent assistant permet également de lancer des sessions de travail et gère à la fois un espace privé pour le participant et un espace collaboratif pour les travaux de groupe. Il facilite la communication entre les participants via leurs agents assistants respectifs et assure également les échanges entre le participant et le facilitateur par le biais de l'Agent Assistant du Facilitateur. Ce mécanisme de communication, limité aux agents assistants, préserve les interactions spécifiques au processus d'aide à la décision en groupe, en évitant toute perturbation.

- **Agent Collaborateur AColl** : L'Agent Collaborateur est spécifiquement conçu pour soutenir le processus de décision collective du côté des participants. Il se charge exclusivement de l'interaction avec l'Agent Coordinateur (ACoord) du facilitateur, sans communiquer directement avec les agents des autres participants ou les autres agents du facilitateur. Sa fonction principale est de gérer les échanges qui encouragent la contribution du participant au processus de décision en groupe, garantissant ainsi une collaboration efficace et structurée
- **Agent Coordinateur ACoord** : L'Agent Coordinateur est essentiel dans le processus de prise de décision en groupe, opérant en liaison directe avec la structure des participants. Supervisé par le facilitateur via l'Agent Facilitateur, il assure la gestion fluide des diverses étapes du processus décisionnel collectif. Avant de recevoir les propositions des participants, cet agent recherche dans une base de cas des solutions similaires à la situation actuelle en utilisant un raisonnement basé sur les cas. Si aucune solution comparable n'est trouvée, l'Agent Coordinateur initie et supervise le processus de décision de groupe, guidant les activités collaboratives et interagissant avec les agents collaborateurs des participants, tout en affichant les informations nécessaires et en respectant l'anonymat de certains participants. Avec une vue d'ensemble sur le déroulement du processus, il est responsable de la coordination générale et de l'orientation des échanges. Après l'évaluation des alternatives par les participants, l'Agent Organisateur (AOrg) lui transmet les résultats, qui incluent une liste classée et filtrée des alternatives. En suivant l'agenda établi lors de la phase pré-décision, l'Agent Coordinateur détermine la méthode d'évaluation à appliquer et communique aux participants la liste des solutions à examiner selon cette méthode.
- **Agent Organisateur AOrg** : Pendant la phase d'organisation des alternatives, l'Agent Coordinateur (ACoord) fait appel à l'Agent Organisateur (AOrg), expert dans le domaine concerné par la prise de décision. Durant la phase de génération des alternatives, l'ACoord s'assure que les participants soumettent leurs propositions dans les délais impartis par le facilitateur. Ensuite, l'AOrg prend en charge l'organisation des alternatives. Grâce à ses compétences spécialisées, il clarifie les alternatives en supprimant les doublons, les synonymes et les contradictions.

L'AOrg n'a pas accès aux propositions individuelles des participants et n'a pas une vision globale du groupe. Une fois les alternatives organisées, il transmet les résultats à l'ACoord, qui, avec l'accord du facilitateur, poursuit le processus. Les alternatives structurées sont alors soumises à la phase d'évaluation, où les agents décideurs appliquent les méthodes d'évaluation appropriées pour sélectionner les meilleures options.

- **Agent Système ASys** : C’est un agent de Supervision qui a pour mission de gérer les connexion et déconnexions des différents utilisateurs de l'application. Il est responsable de la création des comptes pour les facilitateurs et les participants. Lors d'une réunion, il recense tous les acteurs présents et informe l'Agent Facilitateur de toute déconnexion d'un participant survenue pendant le processus. Les déconnexions peuvent se produire pour deux raisons principales ; *Volontaire* ou *Involontaire*.

En plus de ces responsabilités, l'Agent système doit tenir un journal des événements, consignait toutes les interactions et actions survenues dans le système. Ce journal permet de suivre l'historique des événements et de retracer toute activité effectuée. Par ailleurs, il supervise techniquement le système, veillant à ce que tout fonctionne correctement et intervenant en cas de problème technique. Son rôle est essentiel pour garantir la continuité et la fiabilité des sessions de travail collaboratif.

### 3.2.2. Description des différents cas d’utilisation des agents du système

#### Participant

- Connexion d'un participant au système.
- Début de la session de travail.
- Génération des différentes options de solutions.
- Demande d'évaluation des options de solutions.
- Évaluation des options de solutions.
- Fin de la session de travail d'un participant.

#### Facilitateur

- Connexion du facilitateur au système.
- Début de la session de travail.
- Invitation et contact des participants.
- Lancement du processus décisionnel.
- Communication entre les utilisateurs.
- Annonce de la solution sélectionnée.
- Mise à jour de la mémoire organisationnelle.

#### Administration (Système)

- Réception et identification des nouveaux événements (cas).
- Désignation du facilitateur chargé de résoudre le problème.
- Récupération de la liste des membres du groupe.
- Contrôle de la présence des participants.
- Vérification des paramètres des participants.
- Signalement des départs des participants.

### 3.3. Conception détaillée

À ce stade, l'objectif est de formaliser les divers composants du SMA (Système Multi-Agents). En utilisant la méthodologie « **Voyelle** », nous devons définir le système multi-agents en termes de modules (**A, E, I, O**). Pour la phase de conception initiale, nous avons déjà identifié tous les agents du

système et leurs rôles respectifs. Dans cette phase de conception détaillée, nous allons présenter l’ordre de décomposition suivant : **(A, I, O, E)**.

### 3.3.1 Agents

Les agents du système correspondent aux entités déjà définies lors de la phase préliminaire de conception. En ce qui concerne les spécifications comportementales des agents, il est essentiel qu'ils soient capables de communication et dotés de capacités de raisonnement. C'est pourquoi, ils doivent être conçus comme des agents cognitifs comme le montre la figure ci-dessous.



Figure V.2: Cycle de base de fonctionnement d'un agent cognitif

Dans notre contexte, la perception implique la réception de messages synchrones, tandis que l'action se réfère à l'envoi de ces messages. La décision se matérialise par l'exécution des tâches assignées à l'agent, influencée par ses états internes et les messages reçus. Un schéma illustrant l'architecture d'un agent est présenté dans la figure V.3.

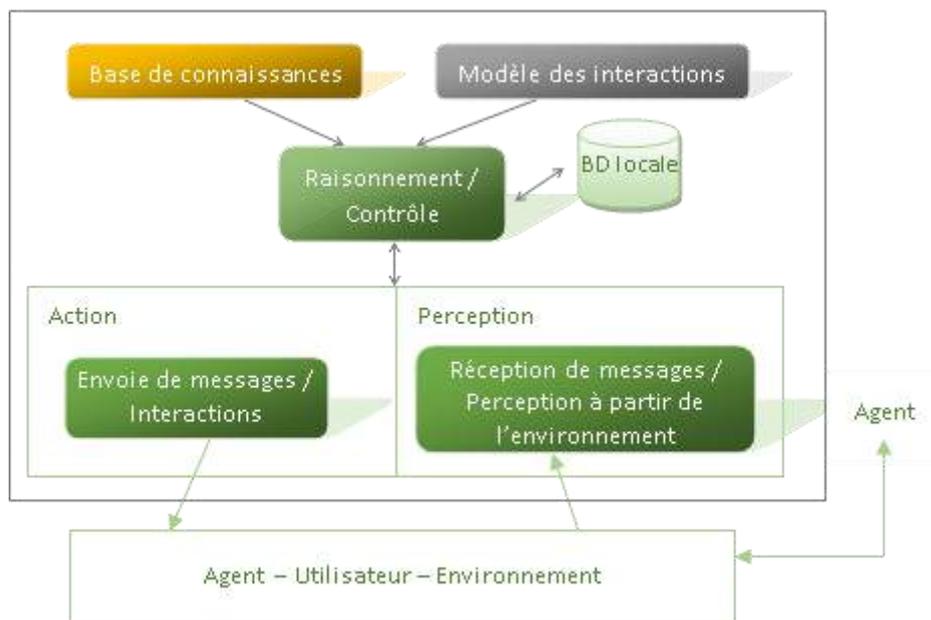


Figure V.3: Architecture générale d'un agent

En se basant sur le langage UML (Unified Modeling Language), nous allons présenter le fonctionnement des agents ainsi que les différentes interactions.

## Les diagrammes de cas d’utilisation

### Cas d’utilisation du Participant

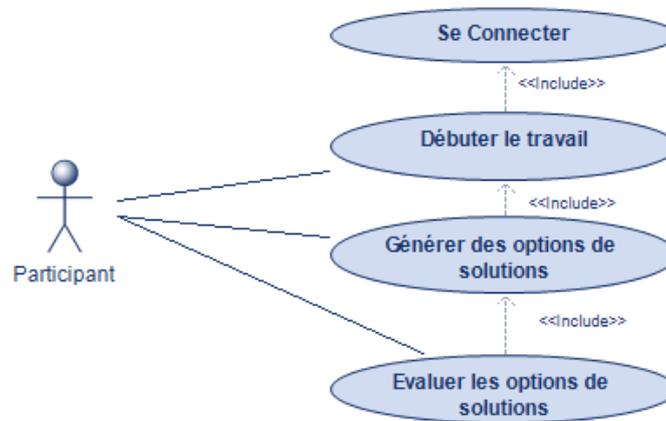


Figure V.4: Cas d'utilisation du Participant

### Cas d'utilisation du Facilitateur

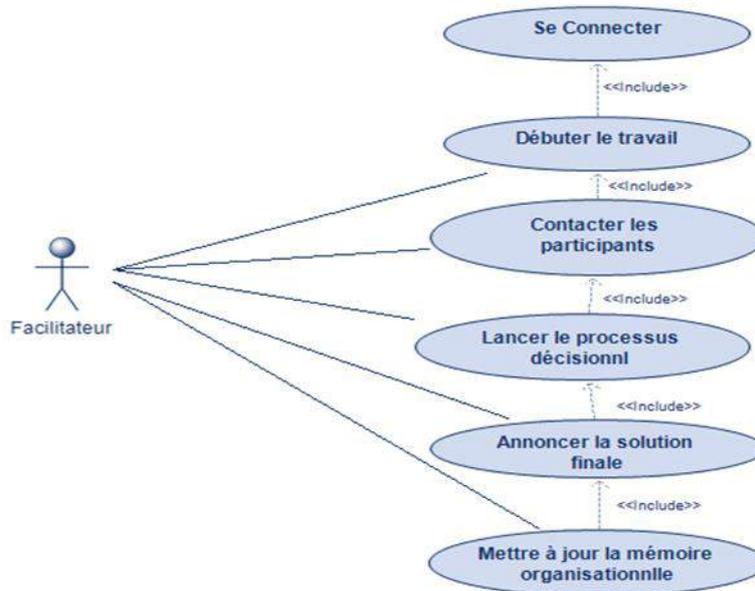


Figure V.5: Cas d'utilisation du Facilitateur

### Cas d’utilisation de l’agent Système

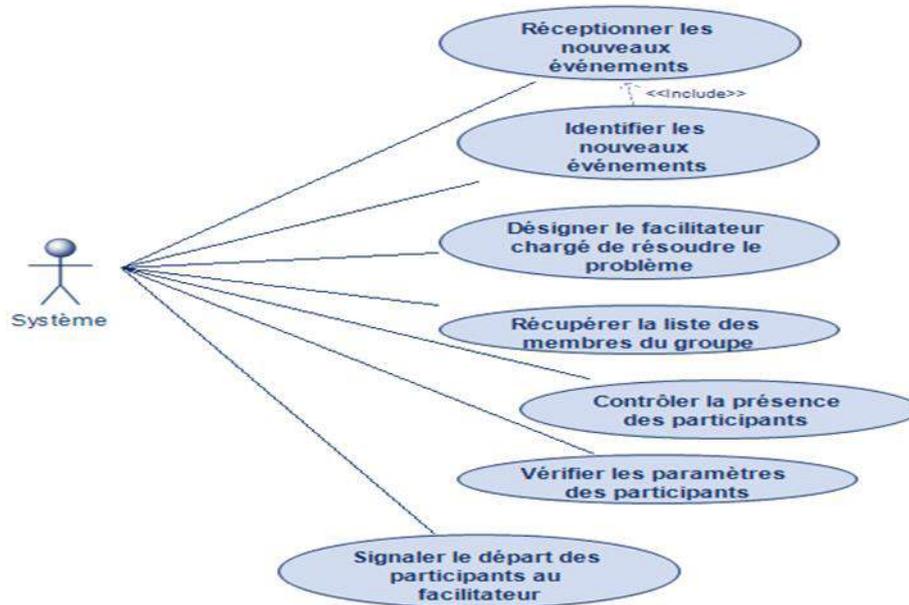


Figure V.6: Cas d'utilisation du Système

#### 3.3.2. Interactions

Nous allons représenter les interactions à l'aide de diagrammes de séquences, en nous limitant explicitement à celles qui sont intégrées dans le cadre du processus d'aide à la décision de groupe.

#### Diagramme de séquence lors de la phase de pré-décision

##### 1). Sollicitation des Participants

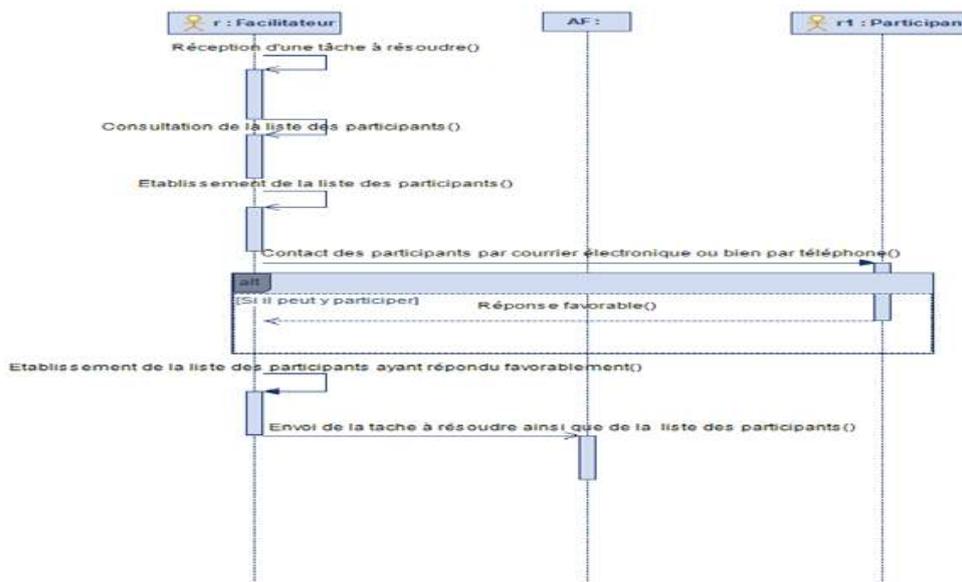


Figure V.7: Sollicitation des Participants

2). Démarrage du processus d’Aide à la Décision

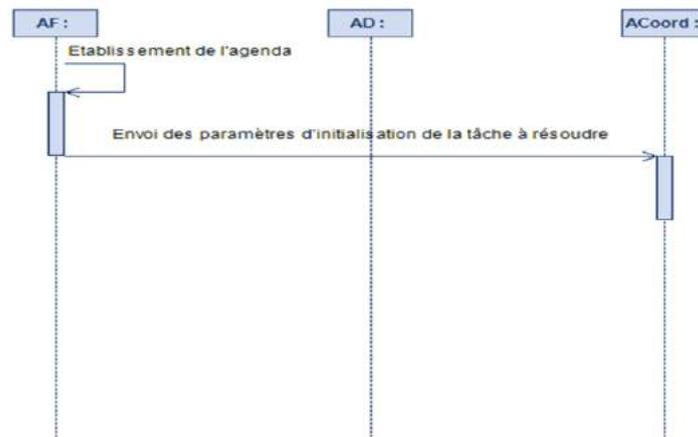


Figure V.8: Démarrage du processus d’Aide à la Décision

Diagramme de séquence lors de la phase de décision

1).Génération de Solutions

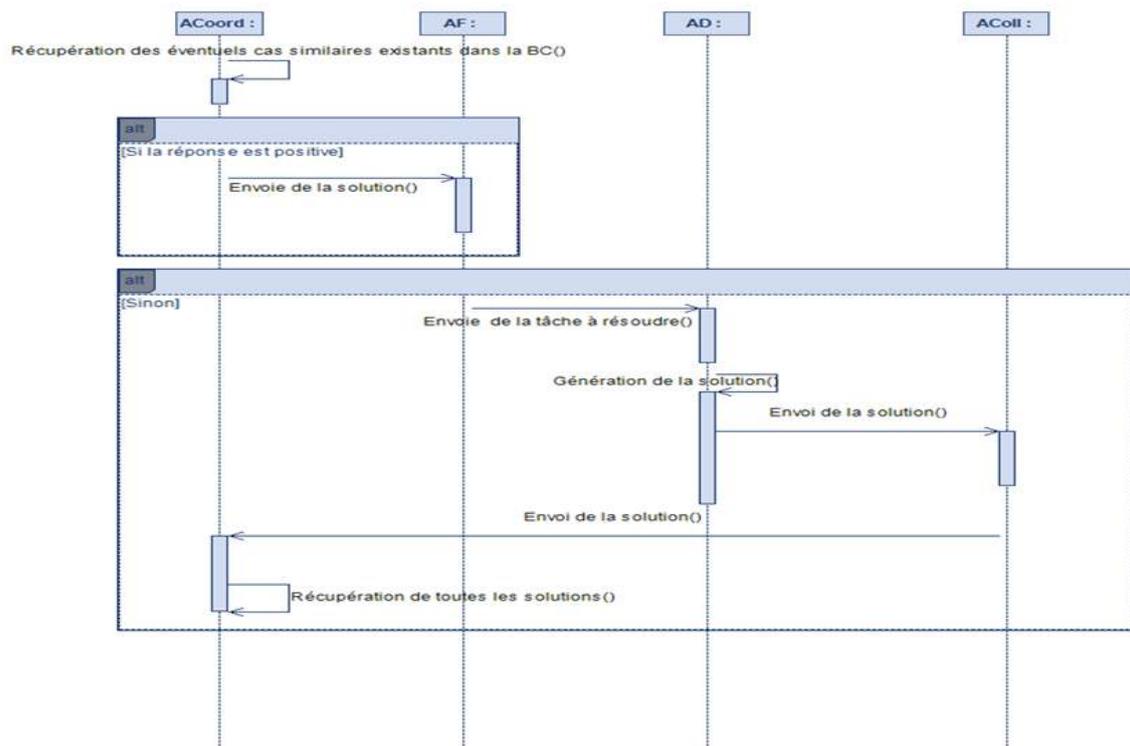


Figure V.9: Génération de Solutions

## 2). Organisation des Alternatives

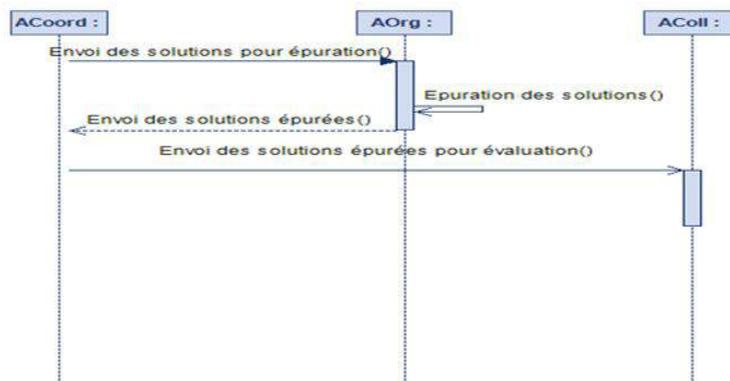


Figure V.10: Organisation des Alternatives

## 3). Evaluation des Alternatives

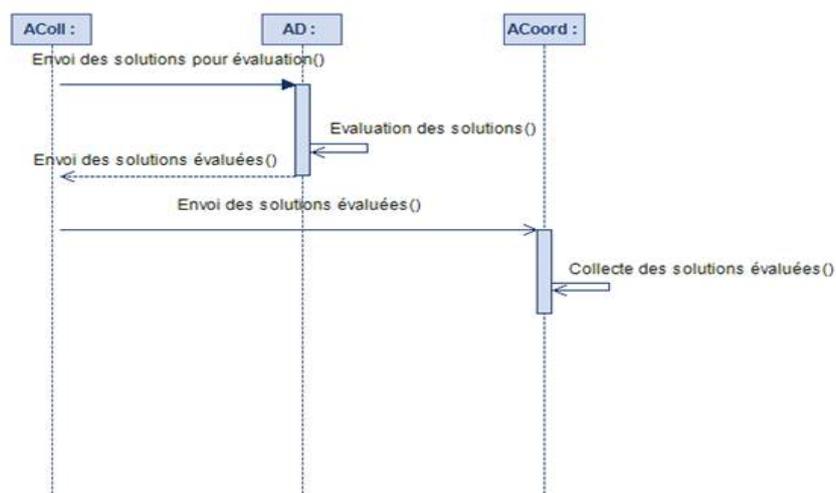


Figure V.11: Evaluation des Alternatives

#### 4). La Décision

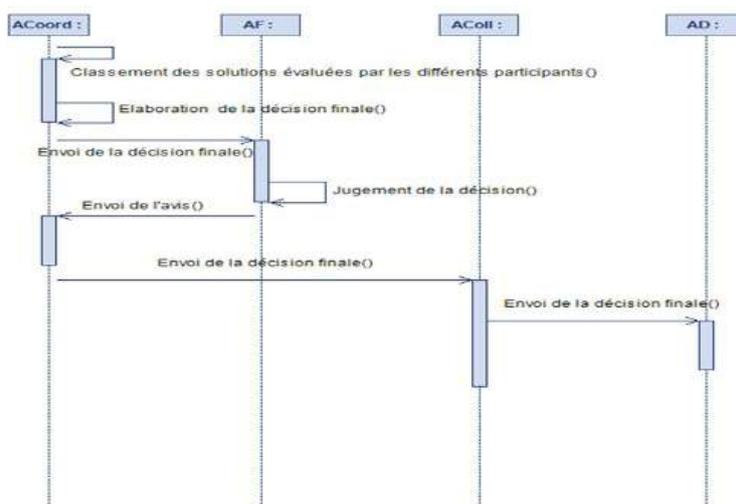


Figure V.12 : La Décision

#### Diagramme de séquence lors de la phase post-décision

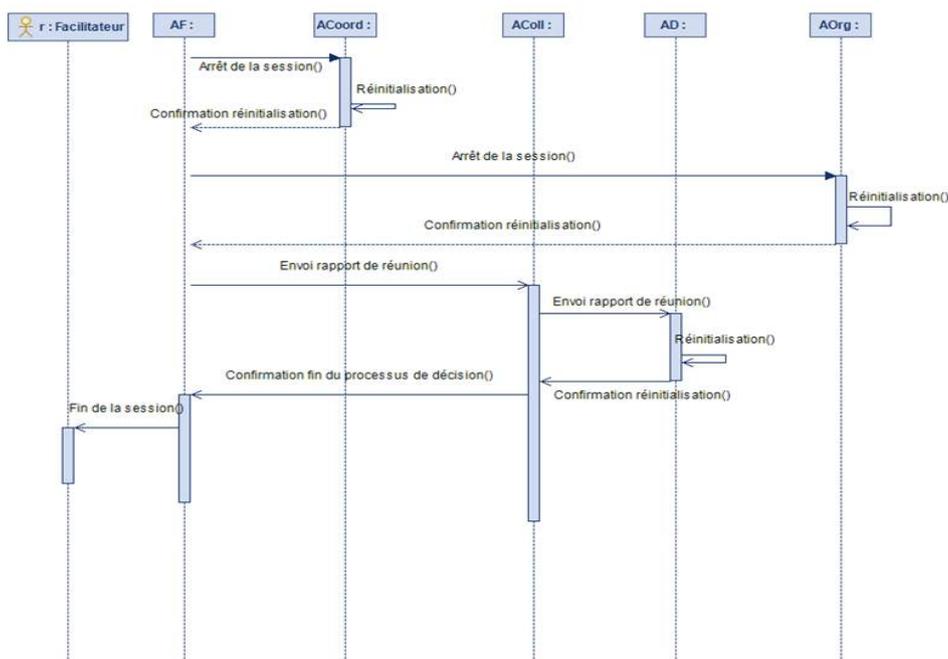


Figure V.13 : Clôture du Meeting

### 3.3.3. Organisation

Nous avons opté pour une approche cognitive. Cette méthode présuppose que l'organisation des agents est établie à l'avance. L'accent est donc mis sur la modélisation du raisonnement distribué et sur les mécanismes d'interaction. En conséquence, nous considérons que l'organisation des agents est statique, car les liens d'autorité et de communication entre les agents peuvent être entièrement définis durant la phase de conception du système. Ces liens permettent de mettre en place un moyen de contrôle global de la société d'agents et facilitent la résolution du problème de prise de décision collective.

### Structure organisationnelle du facilitateur

Cette structure est constituée de trois agents : AF, ACoord et AOrg. L'Agent Coordinateur joue le rôle principal dans le processus de prise de décision et assure la communication avec les deux autres agents de la structure. Cependant, il n'existe pas de communication directe entre l'Agent Facilitateur et l'Agent Organisateur. L'organisation de cette structure est déterminée par les types de communications établies entre les agents.

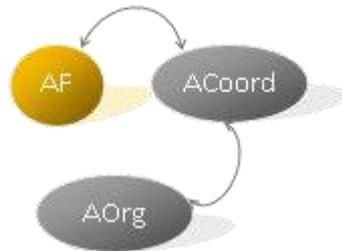


Figure V.14 : Structure Organisationnelle du Facilitateur

	AF	ACoord	AOrg
AF		C	
ACoord	C-S		C
AOrg		S	
C : Relation de communication			
S : Relation de subordination			

Tableau V.1 : Relations entre les agents de la structure « Facilitateur »

### Organisation générale au sein du SMA

De la même manière, nous récapitulons dans le tableau suivant les relations possibles entre les différents agents du système.

	AF	ACoord	AOrg	AColl	AD
AF		C			
ACoord	C-S		C		
AOrg		S			
AColl		S-C			C-S
AD	C			C, S	C
C : Relation de communication					
S : Relation de subordination					

Tableau V.2 : Relations entre les agents

### 3.3.4. Environnement

Nous avons cité éléments de l’environnement passifs tels que les BDD et les BC.

#### La base de données

Nous allons la présenter sous forme de diagramme UML pour s’aligner avec les représentations précédentes.

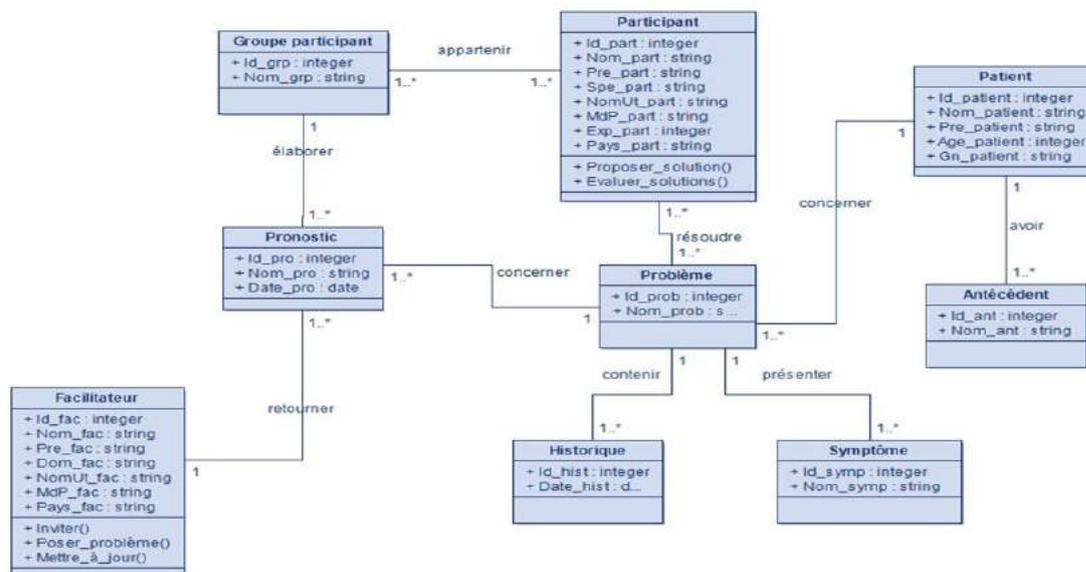


Figure V.15 : Diagramme de classe

#### La base des cas

Lorsqu'une tâche à résoudre est proposée par le facilitateur, le système commence par rechercher dans une base de cas pour trouver une situation similaire. Si un cas similaire est trouvé, cela signifie que la tâche a déjà une solution existante, et l'utilisation du GDSS peut être évitée. En revanche, si aucun cas similaire n'est présent dans la base de cas, la tâche devra être résolue avec l'aide du GDSS. Une fois la tâche résolue, elle doit être ajoutée à la base de cas, enrichissant ainsi l'historique des tâches résolues et contribuant à la capitalisation des connaissances de l'organisation.

Nous allons considérer que les cas sont des situations déjà résolues et archivées dans une base de connaissance ou cas, lors de l'arrivée d'un nouveau cas qui est bien sûr un patient souhaitant avoir un pronostic, nous allons lancer la recherche, chaque patient présente un ensemble de symptômes et il souffre d'un problème donné qui concerne un organe (zone...) donné, il peut avoir des antécédents. La tâche de résolution concerne la proposition de solution à ce cas. La base de cas sera présentée comme suit :

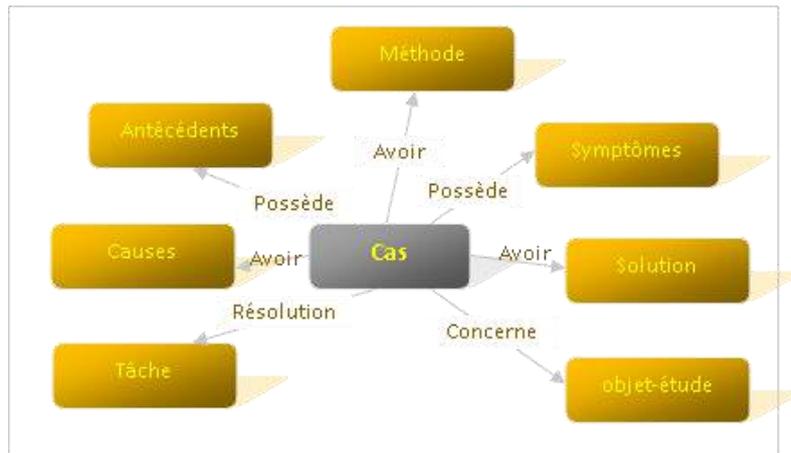


Figure V.16: Structure générale de la base des cas

### Représentation d'un extrait de l'ontologie utilisée

Nous avons développé la base de connaissances en intégrant l'ontologie avec l'outil Protégé. Protégé, reconnu pour ses capacités avancées, intègre également un mécanisme de raisonnement, ce qui permet d'enrichir et d'améliorer la précision de la base de connaissances. La figure suivante présente un extrait partiel de l'ontologie, illustrant la structure et les relations définies au sein de ce système.

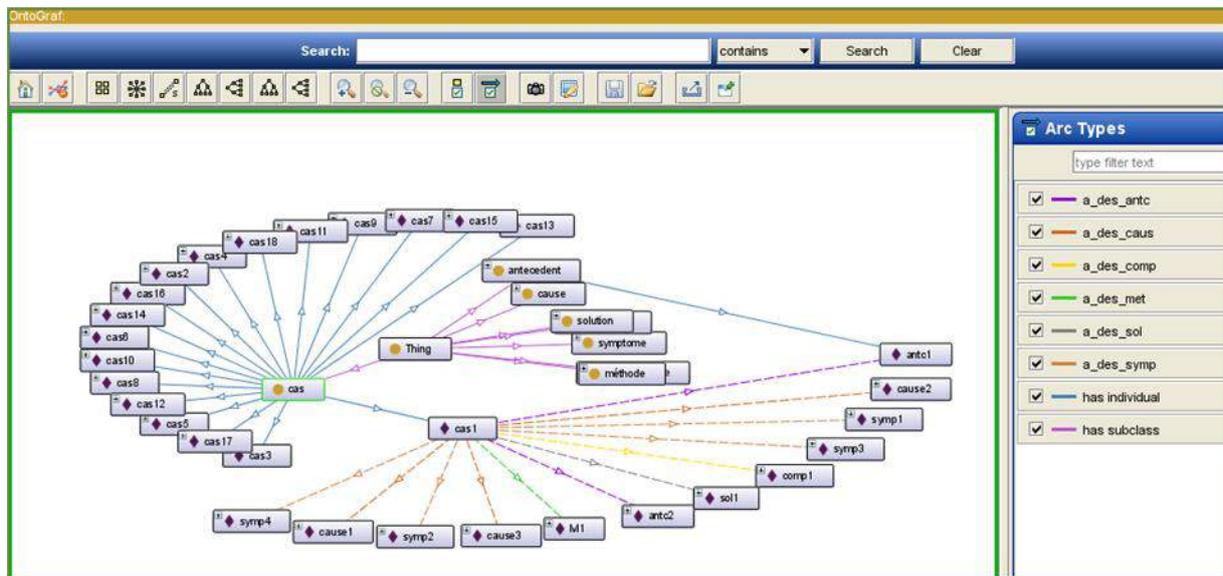


Figure V.7 : Vue partielle de l'ontologie de tâche

## 4. CONCLUSION

Nous avons exploré dans ce chapitre une architecture d'un système d'aide à la décision collaborative, en proposant une modélisation d'un GDSS distribué utilisant un système multi-agents basé sur la méthodologie « Voyelle ». Ce chapitre s'est étendu sur différents axes, où nous avons d'abord abordé les différentes phases du processus décisionnel et défini le rôle de chaque agent dans le système. Ensuite, nous avons illustré le fonctionnement du système à travers les dimensions (A, I, O, E), en détaillant chaque dimension lors de l'étape de la conception détaillée. L'approche Voyelle

permet de spécialiser les agents pour diverses tâches, telles que l'assistance, la coordination et l'organisation des alternatives. Les protocoles d'interaction, essentiels au processus d'aide à la décision collective, sont au cœur de notre SMA. Grâce à cette structure organisationnelle, certains agents sont spécifiquement assignés à la gestion de ces protocoles, comme l'agent ACoord pour le facilitateur et les agents AColl pour les participants. Cette organisation est particulièrement bénéfique, car elle permet à l'ACoord de jouer un rôle central en tant que gestionnaire de tous les protocoles d'interaction. Le prochain chapitre portera sur l'implémentation du système, où nous examinerons certains scénarios d'exécution.

**CHAPITRE VI : IMPLEMENTATION DE  
L'OUTIL COLLABORATIF D'AIDE A LA  
DECISION**

---

# CHAP.6-IMPLEMENTATION DE L'OUTIL COLLABORATIF D'AIDE A LA DECISION

## 1. INTRODUCTION

Dans le chapitre précédent, nous avons décrit l'architecture de notre système d'aide à la décision collaborative tout en spécifiant l'approche proposée. Dans ce dernier chapitre, nous allons présenter la mise en œuvre des différents composants de notre application y compris l'environnement de développement, les outils choisis (la plateforme d'implémentation du SMA, les langages de programmation) ainsi que les différentes interfaces pour une meilleure compréhension.

## 2. ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

### 2.1 Environnement matériel

Les ordinateurs portables que nous avons utilisés présentent les caractéristiques suivantes :

Caractéristiques	PC1	PC2
Marque	HP	HP
Processeur	Intel(R) Core(TM) i3-7020U CPU @ 2.30GHZ	Intel(R) Celeron(R) CPU N3060 @ 1.60GHz
RAM	4,00 Go	4,00 Go
Disque dur	HDD 1 To, SSD 256 Go	SSD 256 Go
Système d'exploitation	Windows 10, 64 bits	Windows 10, 64 bits

*Tableau 1.1 : Environnement matériel*

### 2.2 Environnement logiciel

- **IDE NetBeans**

NetBeans est un environnement de développement intégré (EDI), placé en open source en juin 2000 sous licence CDDL (Common Development and Distribution License).

En plus de Java, NetBeans permet également de supporter différents autres langages, comme C, C++, JavaScript, XML, et HTML. Il comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne (éditeur en couleur, projets multi-langage, éditeur graphique d'interfaces et de pages Web). Conçu en Java, NetBeans est disponible sous Windows, Linux, ou sous une version indépendante des systèmes d'exploitation (requérant une machine virtuelle Java).

NetBeans constitue par ailleurs une plate-forme qui permet le développement d'applications spécifiques (bibliothèque Swing (Java)). L'IDE NetBeans s'appuie sur cette plate-forme, il s'enrichit à l'aide de plugins **[WEB 01]**.

- **L’API Jena**

JENA est un environnement de travail open source en Java, pour la construction d’application web sémantique. JENA permet de manipuler des documents RDF, RDFS, OWL et SPARQL. Il fournit un moteur d’inférences permettant des raisonnements sur les ontologies. JENA est maintenant sous Apache Software Licence. Nous l’avons utilisée principalement dans notre projet pour manipuler les ontologies [WEB 02].

- **L’API JFreeChart**

JFreeChart est une bibliothèque open source qui permet d’afficher des données statistiques sous la forme de graphiques. Elle possède plusieurs formats dont le camembert, les barres ou les lignes et propose de nombreuses options de configuration pour personnaliser le rendu des graphiques. Elle peut s’utiliser dans des applications standalones ou des applications web et permet également d’exporter le graphique sous la forme d’une image. Nous l’avons utilisée pour visualiser graphiquement les variations des valeurs de la Fitness concernant les AG [WEB 03].

- **Java**

Java est un langage de programmation informatique orienté objet créé par James Gosling et Patrick Naughton, employés de Sun Microsystems, avec le soutien de Bill Joy. C’est l’un des langages de programmation les plus utilisés au monde, de par sa modularité, sa rigueur et sa portabilité. Ces caractéristiques font qu’il est fréquemment utilisé pour développer une large gamme d’applications, allant des applications de bureau aux applications mobiles, en passant par les applications Web. Sa syntaxe est proche de celle de C++, mais a été épuré par rapport à ce dernier. Il existe plusieurs IDE (Integrated Development Environment) pour le langage JAVA par exemple Eclipse, JBuilder et NetBeans que nous avons utilisé [WEB 04] [WEB 05].

- **Protégé**

PROTEGE est une interface modulaire, développée au Stanford Medical Informatics de l’Université de Stanford, permettant l’édition, la visualisation, le contrôle, l’extraction à partir de sources textuelles, et la fusion semi-automatique d’ontologies.

PROTEGE OWL autorise la définition de méta-classes, dont les instances sont des classes, ce qui permet de créer son propre modèle de connaissances avant de bâtir une ontologie. De nombreux plugins sont disponibles ou peuvent être ajoutés par l’utilisateur [WEB 06].

- **La plateforme multi agents JADE**

JADE (Java Agent DEvelopment Framework) est un framework logiciel entièrement implanté dans le langage Java et la configuration minimale requise est la version 5 de Java (l’environnement d’exécution ou JDK). Il simplifie la mise en œuvre des systèmes multi agents grâce à un middleware conforme aux spécifications FIPA et à un ensemble d’outils graphiques qui prennent en charge les phases de débogage et de déploiement. Un système basé sur Jade peut être distribué sur des machines (qui n’ont même pas besoin de partager le même système d’exploitation) et la configuration peut être contrôlée via une interface graphique distante. La configuration peut même être modifiée au moment de l’exécution en déplaçant les agents d’une machine à une autre, selon les besoins [WEB 07].

Jade contient [KHEB 17]:

Runtime Environment : environnement d’exécution, où les agents peuvent vivre, qui doit être actif avant qu’un agent puisse être exécuté sur une autre donnée.

Librairie de classe : que les développeurs utilisent pour développer leurs agents.

Suite d’outils graphiques : qui facilitent la gestion et la supervision de la plateforme des agents : RMA (Remote Agent Management) GUI.

Elle inclut tous les composants (agents de base) qui contrôlent un SMA (nécessaire aux spécifications FIPA) [Web 08] :

**DF (Directory Facilitator)** : son rôle est de fournir le service « Pages Jaunes » aux autres agents. Il enregistre les descriptions des agents ainsi que les services qu’ils offrent. Il doit fournir l’information la plus actuelle sur les agents enregistrés dans son répertoire à tous les agents autorisés.

**AMS (Agent Management System)** : cet agent est responsable de gérer les activités d’une plateforme. Ses responsabilités consistent à créer des agents, supprimer des agents, décider si un agent peut dynamiquement s’inscrire sur la plateforme et enfin superviser la migration d’agents de plateforme en plateforme.

**Le canal de communication de l’agent (Agent Communication Chanel)** : fournit le chemin pour un échange entre un agent et d’autres agents. Il achemine des messages entre agents situés dans la même plateforme mais également à d’autres agents résidant sur d’autres plateformes.

Ces trois composants sont activés automatiquement à chaque démarrage de la plateforme.

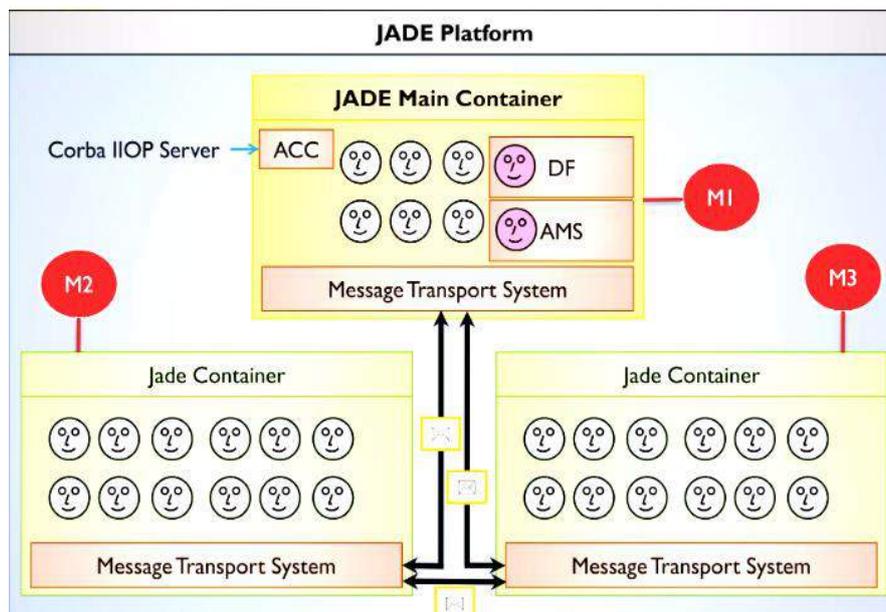


Figure VI.1 : Architecture logicielle de la plateforme Jade [YOUS 14]

Une plateforme est constituée par un ensemble de conteneurs : un conteneur spécial appelé Main Container comprend les agents AMS et le DF, les autres conteneurs s’enregistrent auprès de celui-ci

dès leur lancement via son URL (Hôte et Port). Chaque conteneur peut contenir plusieurs agents : un thread par agent.

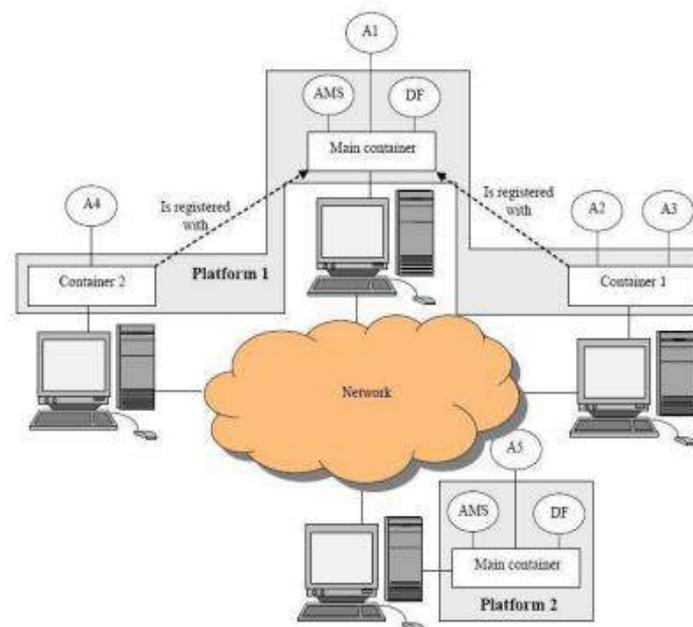


Figure VI.2 : Conteneurs et plateformes [KOVA 19]

#### ▪ Système de Gestion de Base de Données

Un système de gestion de base de données (SGBD) est le logiciel qui permet à un ordinateur de stocker, récupérer, ajouter, supprimer et modifier des données. Un SGBD gère tous les aspects primaires d’une base de données, y compris la gestion de la manipulation des données, comme l’authentification des utilisateurs, ainsi que l’insertion ou l’extraction des données. Un SGBD définit ce qu’on appelle le schéma des données ou la structure dans laquelle les données sont stockées.

Il existe plusieurs SGBD dont les principaux sont : MySQL, Oracle Database, PostgreSQL, MongoDB et SQLite. Parmi ces différents SGBD, notre choix s’est porté sur MySQL.

MySQL (MyStructuredQueryLanguage) est développé, supporté et distribué par Oracle, mais comme il est open-source, il est librement accessible à tous sous GPL (General Public License). Les bases de données MySQL sont relationnelles, ce qui signifie que les données sont réparties entre des tables. Il est très rapide et léger, ce qui permet donc de l’exécuter avec d’autres applications sur un ordinateur de bureau ou un ordinateur portable. Il supporte le langage informatique SQL et peut être intégré dans les applications écrites en Java, PHP, Python, etc.

### 3. ARCHITECTURE DE L’APPLICATION

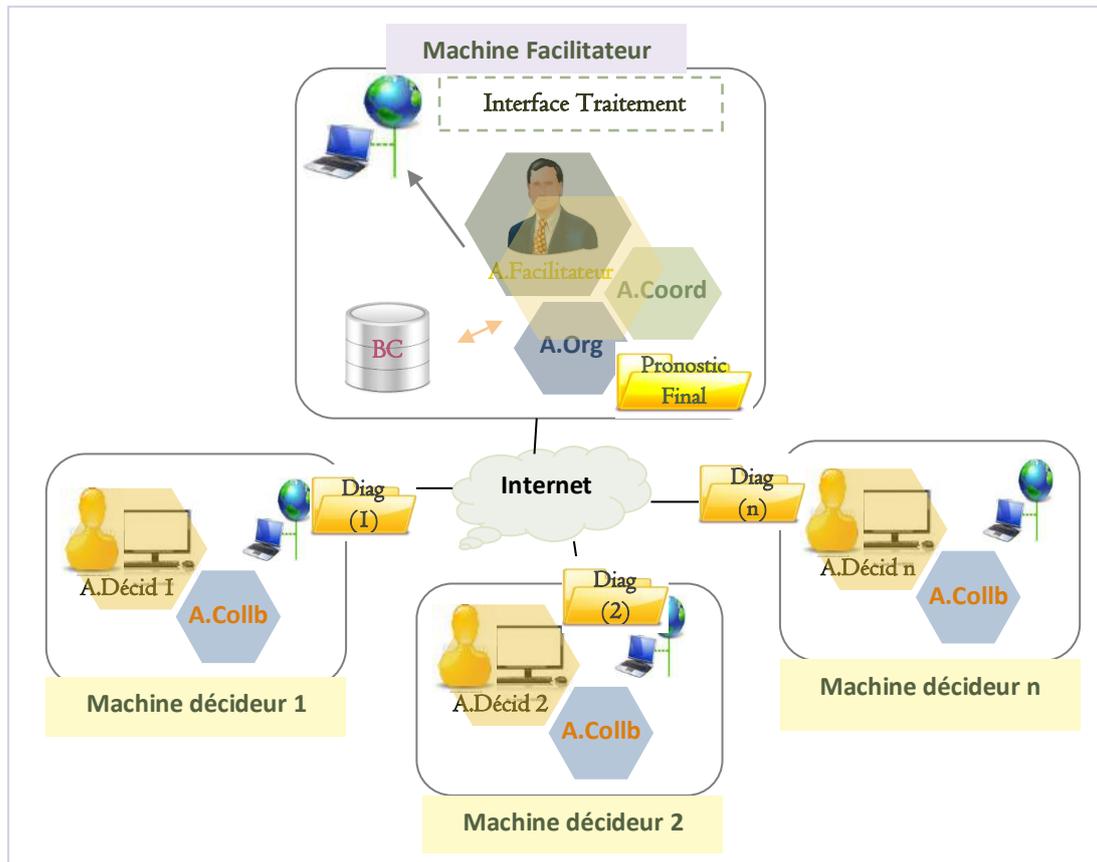


Figure VI.3 : Architecture générale de l’application

Les interactions entre les agents se déroulent selon des protocoles spécifiques, chacun constitué d'un ensemble de messages. Ces messages sont formulés en utilisant le langage FIPA-ACL. Lorsqu'un agent envoie ou reçoit un message, cela déclenche des actions faisant partie de son comportement programmé.

## 4. PRESENTATION DE L’APPLICATION MEDICAL PRONOSTIC MULTI-AGENT SYSTEM [MEDPROMAS]

### 4.1 Base de connaissances

Notre base de cas a été structurée selon un modèle ontologique, la figure suivante montre un extrait de la structure :

```

<!ENTITY rdf "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" >
]>

<Ontology xmlns="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
  xml:base="http://www.semanticweb.org/pc/ontologies/2024/5/untitled-ontology-119"
  xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"
  ontologyIRI="http://www.semanticweb.org/pc/ontologies/2024/5/untitled-ontology-119">
  <Prefix name="" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
  <Prefix name="owl" IRI="http://www.w3.org/2002/07/owl#" />
  <Prefix name="rdf" IRI="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" />
  <Prefix name="xsd" IRI="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#" />
  <Prefix name="rdfs" IRI="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#" />
  <Declaration>
    <Class IRI="#antecedent" />
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#cas" />
  </Declaration>
  <Declaration>
    <Class IRI="#cause" />
  </Declaration>
  <Declaration>

```

Figure VI.4 : Structure de la BC à base d’ontologie

## 4.2 Interface d’Accès à l’application

L’utilisateur de l’application MedProMas peut y accéder via cette première interface.



Figure VI.5 : Interface d’accès à MedProMas

## 4.3 Déroulement d’une session de prise de décision

### 4.3.1 1<sup>er</sup> Scénario

Dans le premier scénario, lorsqu’un patient se présente pour un diagnostic, nous avons immédiatement trouvé un cas similaire au sien.

#### Phase de Pré-décision

Comme nous avons cité dans le chapitre précédent, notre point de départ ici est l’Agent Sys qui doit tout superviser. Nous considérons le patient comme un cas pur lequel on cherche une solution.

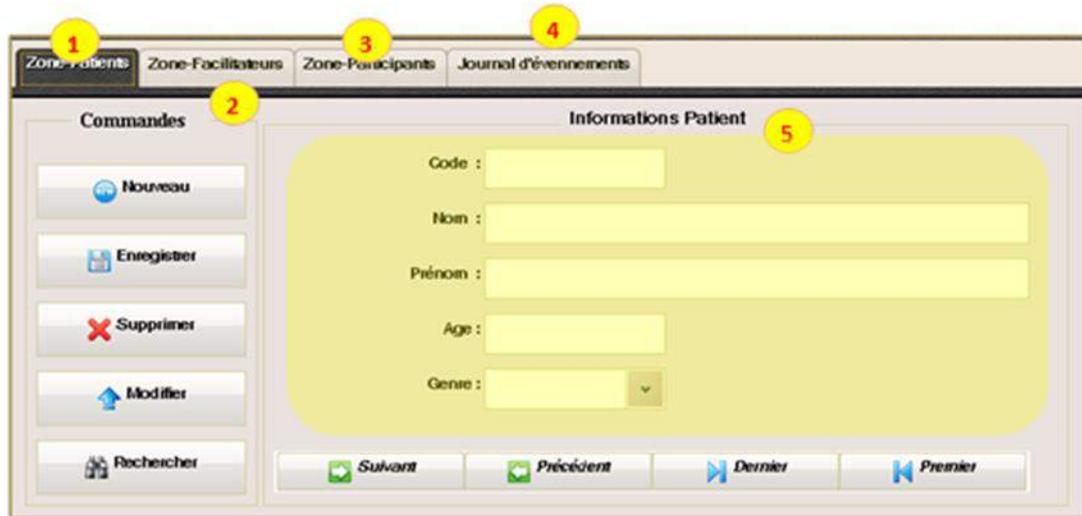


Figure VI.6 : Interface de l’Agent Sys

A travers cette fenêtre l’agent visualise les patients enregistrés dans la base et il peut également ajouter des nouveaux patients grâce à la boîte de commandes [Zone du gauche].

A partir de la zone [1], il sélectionne le cas à traiter après les avoir visualisés.

Liste des patients				
Ident. Patient	Nom Patient	Prénom Patient	Age	Sexe
1	Bachir	Amina	21	Féminin
2	Diallo	Ousmane	30	Masculin
3	Beriah	Kadda	21	Masculin
4	Zemouri	Aïssa	12	Masculin
5	Khentouch	Lamia	25	Féminin
6	Bourace	Zoubir	42	Masculin
7	Hienne	Hamid	28	Masculin

Figure VI.7 : Extrait des patients

Les informations du patient à traiter seront ensuite affichées dans la zone [5]. De même, la désignation du facilitateur se fera via la zone [2], et ses propres informations apparaîtront également dans la zone [5]. La zone [3] contient une liste des acteurs participants. Tous les événements relatifs au processus d'aide à la décision sont enregistrés dans le journal d'événements, situé dans la zone

[4]. Une fois que le terrain est préparé, l'agent Sys transfère ces données au facilitateur désigné pour prendre la relève.

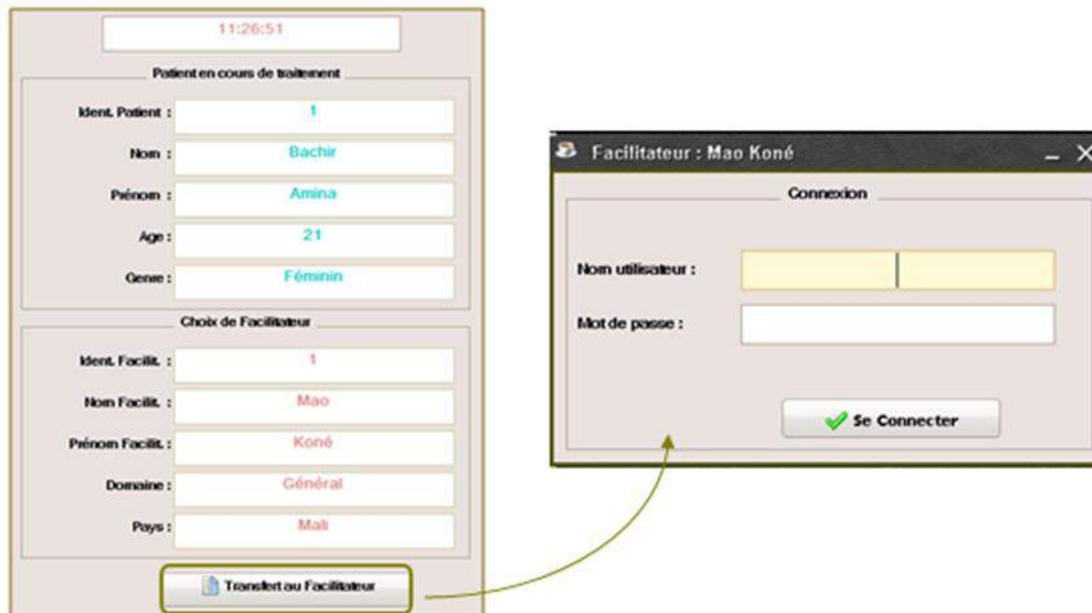


Figure VI.8 : Désignation du patient en cours du traitement et du facilitateur.

Le bouton Transfert au facilitateur joue le rôle d'activation du facilitateur désigné pour débiter le processus. Il pourra ensuite se connecter et accéder à son espace.

Le facilitateur, une fois activé, il peut lancer une session de résolution.



Figure VI.9 : Interface principale de l'Agent facilitateur

Le facilitateur reçoit automatiquement les informations relatives au patient sujet du problème, zone [1]. Avant qu'il lance un meeting, il active son subordonné, l'Agent Coord qui tente de chercher dans la base de cas, un cas similaire au cas présent. Dans le cas d'une réponse positive, l'agent Coord récupère le cas et envoie un rapport au facilitateur, et dans le cas contraire (réponse négative), c'est à ce stade-là, l'agent facilitateur lance le meeting.

Dans la zone[2], on complète les informations du patient par la description détaillée du problème, cette description contient le problème lui-même, la zone ou l’organe concerné(e) et les symptômes qui décrivent ce problème. Par exemple, s’il s’agit d’un problème spécifique, on choisit l’une des rubriques présente dans la liste, où chaque rubrique présente une suggestion des symptômes et zones (organes) les plus répandues. Le facilitateur peut ajouter saisir des informations qui ne sont pas prédéfinies dans les rubriques.

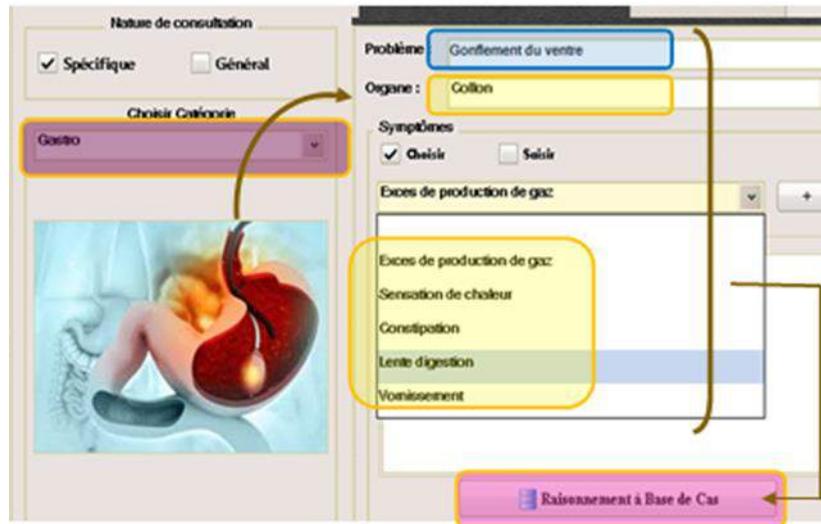


Figure VI.10 : Compléments d’informations du patient – identification du problème

### Phase de décision

L’agent Coord, dans ce cas a trouvé un cas similaire, il va transmettre un rapport au facilitateur relatif au pronostic suggéré.



Figure VI.11 : Cas similaire trouvé lors de la recherche dans la BC

Dans ce cas, le facilitateur n’a pas besoin d’ouvrir une session de meeting.

En date du 16:18:10 le patient (e) :

Nom et Prenom : Bachir Amina

Agé (e) de : 21 ans

Genre : Féminin

S'est présenté (e) pour une consultation

pour le problème Gonflement du ventre concernant Collon ayant les symptômes :

- 1 - Exces de production de gaz
- 2 - Sensation de chaleur
- 3 - Lente digestion

Et après une analyse du problème, le(s) pronostic(s) proposé(s) est :

Introduction des fibres dans le regime alimentaires  
Consommations des aliments riches en

*Figure VI.12 : Rapport relatif au cas du patient*

#### 4.3.2 2<sup>ème</sup> Scénario

Nous allons proposer dans ce scénario un cas qui n’a pas de cas similaires dans la BC.

##### **Phase de Pré-décision**

La même que le premier scénario

##### **Phase de décision**

Dans ce cas-là, l’agent facilitateur reçoit une réponse négative de la part de l’agent Coord, alors, il doit solliciter un groupe de participants pour résoudre le problème. Ces derniers doivent confirmer leur participation. Ensuite, il envoie les paramètres du problème, comprenant l'agenda et la tâche à résoudre.

Nous supposons la description suivante du problème comme le montre la figure VI.13 :

Figure VI.13 : Nouveau problème du patient

Dans ce cas-là, l’agent facilitateur examine la liste de tous les participants et filtre uniquement ceux spécialiste dans le domaine.

Ident. participant	Nom	Prénom	Domaine	Expérience	Pays
1	Amina	Mellal	Dentiste	5	Algérie
2	Saran	Touré	Chirurgie	2	Mali
3	Pascal	Leblanc	Généraliste	1	France
4	Serbah	Boualem	Cardio	12	Tunisie
5	Sadimou	George	Gastrologue	10	France
6	Djelloul	Amina	Cardio	12	Algérie
7	Sellami	Mohammed	Gastro	8	Maroc
8	Kaidi	Omar	Dermatologie	12	Algérie
9	Bedjaoui	Faiza	Dermatologie	6	Tunisie

Ident. participant	Nom	Prénom	Domaine	Expérience	Pays	Disponibilité
8	Kaidi	Omar	Dermatologie	12	Algérie	
9	Bedjaoui	Faiza	Dermatologie	6	Tunisie	
10	Khlifi	Ahmed	Dermatologie	7	Algérie	
14	Bedjaoui	Faiza	Dermatologie	6	Tunisie	
15	Benbachir	Djamila	Dermatologie	7	Algérie	

Figure VI.14 : Sollicitation des participants

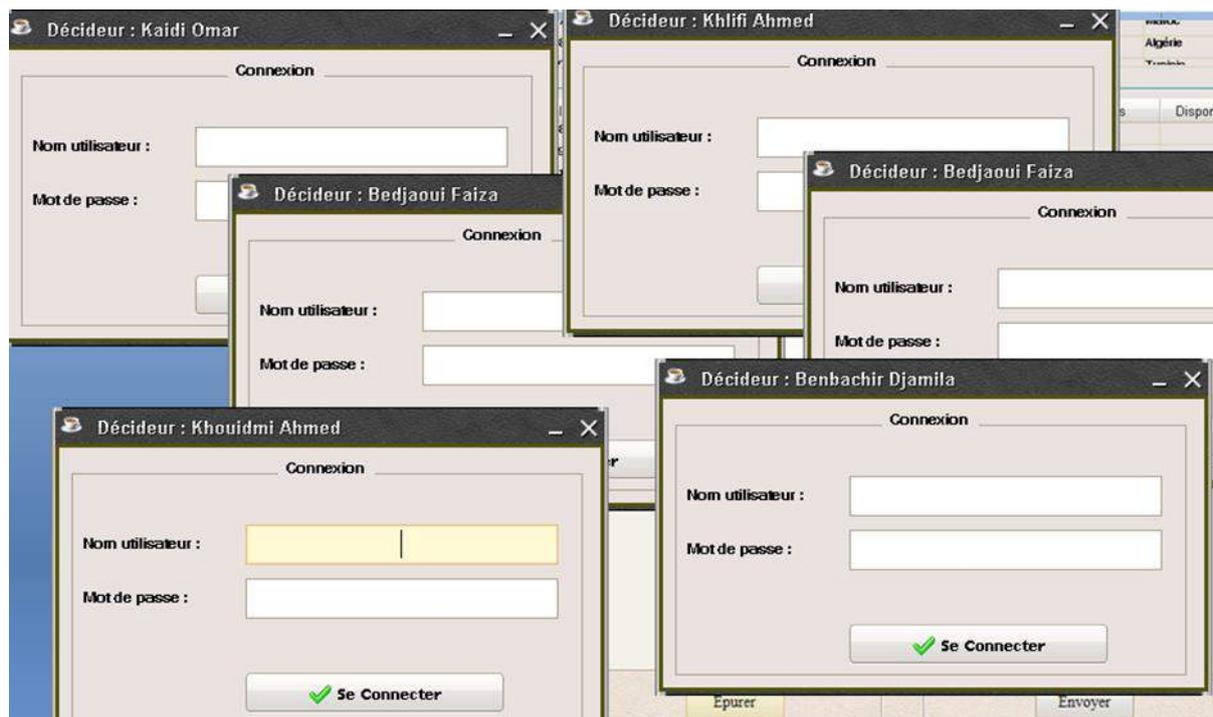


Figure VI.15 : Liste de participant du groupe du pronostic

Une fois que les participants se connectent et reçoivent l’invitation de la part du facilitateur, ils ont le choix d’accepter ou de refuser de participer à la réunion. Dans le cas où ils acceptent la participation, alors ils recevront les informations concernant le cas à traiter. Nous supposons que quatre décideurs ont intégré le groupe. La figure VI.12 montre à quoi ressemble l’invitation.

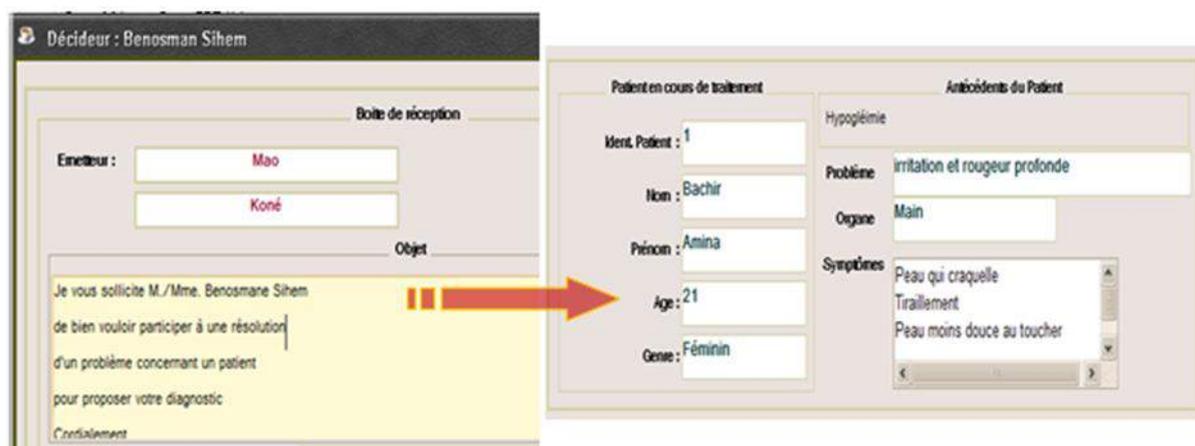


Figure VI.16 :Acceptation de participation

Une phase de génération d'options est initiée. Chaque participant propose une ou plusieurs solutions au problème. Ces solutions sont ensuite transmises à leurs agents collaboratifs respectivement. Ceux-ci les rassemblent et procèdent à une phase d'organisation des solutions alternatives. Cette étape est réalisée par l'agent organisateur, qui élimine les solutions redondantes. Le résultat est ensuite envoyé au facilitateur, qui sélectionne une méthode d'évaluation et lance la phase d'évaluation des solutions alternatives.



Figure VI.17 : Génération des alternatives (diagnostics)



Figure VI.18 : Réception des alternatives pour épuration



Figure VI.19 : Epuration des alternatives

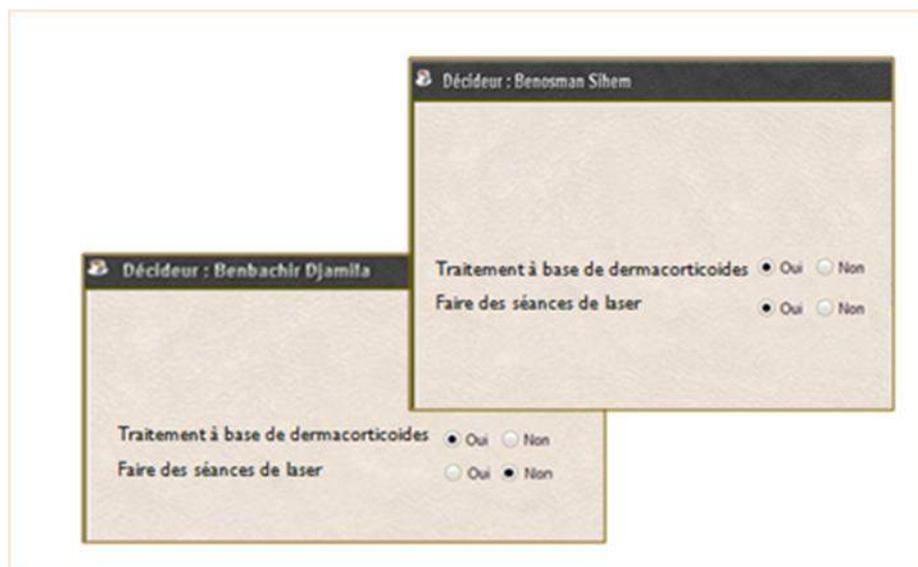


Figure VI.20 : Exemple d'évaluation des différents diagnostics



Figure VI.21 : Pronostic final

Ce pronostic sera ensuite renvoyé aux différents décideurs.

### Visualisation des différentes interactions

Pour avoir une vision générale sur les différentes interactions et événements, la figure suivante donne un aperçu sur ce journal qui est supervisé par l’agent Sys.

Heure	Evennements	Emetteurs	Recepteurs
17:15:20	Transfert du patient : Bachir Amina	User	Agent Système
17:15:20	Transfert du dossier patient au facilitateur : Mao Koné	Agent Système	Agent Facilitateur
17:15:20	Réception du dossier patient par le facilitateur : Mao Koné	Agent Système	Agent Facilitateur
17:16:7	Envoie de cas par le facilitateur : Mao Koné	Agent Facilitateur	Agent Coordinateur
17:16:8	Début de lancement de la Recherche du problème irritation ...	Agent Coordinateur	Agent Facilitateur
17:16:39	Pas de pronostic similaire pour le patient Bachir Amina	Agent Coordinateur	Agent Facilitateur
17:16:39	Réception du cas non similaire par l'agent coordinateur	Agent coordinateur	Agent Facilitateur
17:16:40	Demande la liste des participants à l'agent système	Agent Facilitateur	Agent Systeme
17:16:40	Réception une demande de liste des participants par le facili...	Agent Facilitateur	Agent Système
17:16:41	Envoie la liste des décideur au facilitateur : Mao Koné	Agent Système	Agent Facilitateur
17:16:41	Réception de la la liste Générale des décideurs	Agent Systeme	Agent Facilitateur
17:16:42	Filtrage des decideurs selon le domaine : Dermatologie	Agent Facilitateur	Agent Facilitateur
17:16:48	Sollicitation du Décideur : Kaidi Omar pour participation	Agent Facilitateur	Agent Décideur
17:16:49	Sollicitation du Décideur : Bedjaoui Faiza pour participation	Agent Facilitateur	Agent Décideur
17:16:50	Sollicitation du Décideur : Khlifi Ahmed pour participation	Agent Facilitateur	Agent Décideur
17:16:51	Sollicitation du Décideur : Bedjaoui Faiza pour participation	Agent Facilitateur	Agent Décideur

Figure VI.22 : Aperçu du journal d'évènements

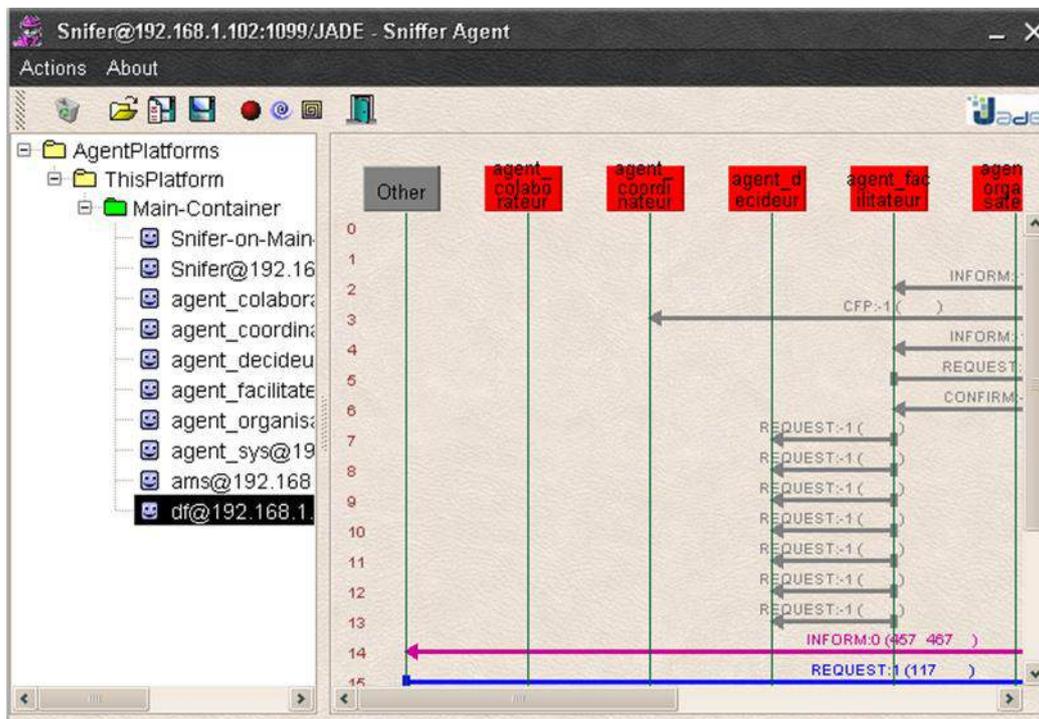


Figure VI.23 : Aperçu d'un extrait des interactions des agents délivrés par l'agent snifer

## 5. CONCLUSION

L'implémentation du système a été effectuée sur la plateforme JADE, qui facilite la création d'agents cognitifs et le développement de systèmes distribués. JADE a démontré son efficacité pour la création et la gestion d'agents cognitifs dans des systèmes distribués. La capacité de JADE à contrôler et visualiser les protocoles d'interaction a permis d'assurer une vérification interactive et précise des échanges, renforçant ainsi la fiabilité du système développé.

# CONCLUSION GENERALE

---

## CONCLUSION GENERALE

Les progrès scientifiques du 21<sup>ème</sup> siècle ont considérablement transformé le domaine du pronostic médical, apportant de nouvelles technologies et méthodologies qui ont amélioré la précision et la fiabilité des prédictions. En dépit de tous ces progrès, plusieurs défis persistent, notamment la complexité des données, la variabilité interindividuelle et la nécessité d'une gestion éthique et efficace des informations médicales.

L'objectif de ce mémoire était de proposer un outil intelligent capable de fournir des pronostics médicaux précis et précoces, afin d'améliorer la qualité des soins de santé et de contribuer au bien-être des patients.

Le chapitre I de ce mémoire explore les processus de prise de décision individuels et collectifs, en mettant en avant l'importance des modèles, des méthodologies de raisonnement et leur intégration dans les systèmes d'aide à la décision médicale (SADM). Les SADM offrent des avantages comme une décision plus rapide et une réduction des erreurs médicales, malgré des défis tels que la fiabilité et l'acceptation par les professionnels de santé.

Nous avons parlé dans le chapitre des différentes méthodologies et plateformes de développement des SMA, soulignant leur pertinence dans la conception de systèmes complexes comme les Systèmes d'Aide à la Décision Médicale (SADM).

Le chapitre III explore comment l'ingénierie des connaissances enrichit les systèmes d'aide à la décision collective, en particulier dans le domaine médical. Il met en avant une approche centrée sur les connaissances, incluant les ontologies, le Web sémantique, les Linked Data, les graphes de connaissances, et la logique de description.

Dans le chapitre IV, nous avons parcouru les travaux déjà effectués dans le cadre du développement de Systèmes d'Aide à la Décision (SAD), en mettant particulièrement l'accent sur ceux qui reposent sur les systèmes multi-agents pour la prise de décision collaborative.

Le chapitre V présente une architecture de système d'aide à la décision collaborative basé sur un GDSS distribué utilisant un système multi-agents.

Les GDSS sont des outils automatisés conçus pour faciliter le travail collaboratif et soutenir la prise de décision collective. Ils sont particulièrement utiles dans les environnements complexes où les décisions doivent être prises en concertation avec plusieurs experts ou décideurs, et où le facteur

temps est important. Contrairement aux systèmes d'aide à la décision individuels (SIAD), les GDSS sont adaptés à des situations plus complexes, nécessitant à la fois la gestion de la décision collective et la coordination des participants. Notre système a été développé en suivant la méthodologie VOYELLE.

Le système a été implémenté sur la plateforme JADE, qui facilite la création d'agents cognitifs et le développement de systèmes distribués.

Le système doit pouvoir réagir de manière dynamique en s'adaptant aux cas des patients. Cela est rendu possible grâce à l'intégration de techniques d'intelligence artificielle, en particulier le Raisonnement à Base de Cas (RBC) et les ontologies, qui ont suscité un intérêt croissant ces dernières années. En combinant le RBC avec les ontologies, notre approche facilite la réutilisation et la capitalisation des connaissances.

L'approche basée sur des agents pour la conception du GDSS présente un intérêt particulier grâce à la spécialisation des agents dans diverses tâches. Elle permet également de structurer les interactions nécessaires au processus d'aide à la décision collaborative. Ainsi, notre système multi-agents est défini comme étant orienté vers les interactions, car ces protocoles d'interaction constituent un élément clé du système.

Le dernier chapitre porte sur l'implémentation de notre outil de prise de décision suivant une architecture à base d'agents permettant ainsi de répondre à la problématique posée dans l'introduction générale. Un exemple d'application en milieu médical, visant une collaboration des acteurs afin de proposer un pronostic a démontré la faisabilité et l'applicabilité de notre modèle d'architecture.

Au cours de notre étude, nous avons mis en évidence certains aspects qui ouvrent des perspectives d'approfondissement et d'extension pour le développement d'un environnement intégré de prise de décision collective.

Une des perspectives de ce travail pourrait se traduire par l'utilisation des méthodes de calcul de similarité fondée sur le deep learning lors de la phase d'épuration des solutions proposées.

De plus, nous pouvons considérer l'aspect de la mobilité des agents. En effet, les acteurs peuvent être équipés d'agents informationnels capables de se déplacer à travers le web pour rechercher les informations nécessaires.

Collaboration avec des systèmes existants pour faciliter l'interopérabilité avec d'autres systèmes d'information et outils de gestion pour créer un écosystème décisionnel plus intégré et cohérent

La mise en place d'une base de connaissances plus riche pour tous les participants constitue également une perspective future de ce mémoire.

---

*« Ma devise, tout d'abord de se faire plaisir dans tout ce que je fais, d'être sincère et déterminé, et d'avoir l'amour du travail bien fait »*

*- Philippe Etshebest -*

---

# BIBLIOGRAPHIE

---

## [ACKE et al. 05]

Ackermann, F., Franco, L., Gallupe, B., & Parent, M. (2005). GSS for multi-organizational collaboration: reflexions on process and content. *Group Decision Negotiation* 14(4), 307-331.

## [ADLA 07]

Adla, A. (2007). A Distributed architecture for Cooperative intelligent Decision Support Systems. *IEEE Multidisciplinary Engineering and Education Magazine (MEEM)*, Vol.2, N° 2, 22-29.

## [ADLA 10]

Adla, A. (2010). Aide à la Facilitation pour une prise de Décision Collective: Proposition d'un Modèle et d'un Outil. *Thèse de Doctorat Université de Toulouse*. France.

## [AFER 19]

Aferhane, A. (2019, juin 20). Les systèmes d'aide à la décision médicale: Apprentissage automatique. MEMOIRE DE FIN D'ETUDES Pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques (MST).

## [ARPI 03]

Arpirèz, J., Corcho, O., Fernández-López, M., & Gomez-Perez, A. (2003). WebODE in a Nutshell. *AI Magazine*. 24. 37-48.

## [ARUS et al. 06]

Arus, C., Celda, B., Dasmahaptra, S., Gonzalez-Velez, H., Huffel, S., Leuven, K., . . . Robles, M. (2006). On the Design of a Web-Based Decision Support System for Brain Tumour Diagnosis Using Distributed Agent. *IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology Workshops*.

## [BACH 00]

Bachimont, B. (2000). Engagement sémantique et engagement ontologique : conception et réalisation d'ontologies en Ingénierie des connaissances. In J. Charlet, M. Zacklad, G. Kassel & D. Bourigault (Eds.), *Ingénierie des connaissances, évolutions récentes et nouveaux défis Paris: Eyrolles*.

## [BACH et al. 02]

Bachimont, B., Isaac, A., & Troncy, R. (2002). Semantic Commitment for Designing Ontologies: A Proposal. In Asuncion Gomez-Pérez and V. Richard Benjamins, editors, *13th International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management, EKAW'2002, volume LNAI 2473, Sigüenza, Spain, October, Springer Verlag*, 114-121.

## [BAEI 98]

Baeijs, C. (1998). Fonctionnalité Emergente dans une Société d'Agents Autonomes. *Thèse de Doctorat Université de Grenoble*. France.

**[BAGN et al. 04]**

Bagnis, C. I., Deray, G., Baumelau, A., Le Quintrec, M., & Vanherweghem, J. (2004). Herbs and the Kidney. *American Journal of Kidney diseases* 44(1), 1-11.

**[BAND 10]**

Bandou, F. (2010). Diagnostic de pannes d'un système de pompage photovoltaïque.

**[BANE et al. 07]**

Baneyx, A., & Charlet, J. (2007). Évaluation, évolution et Maintenance d'une ontologie en médecine : état des lieux et expérimentation.

**[BEAC 97]**

Beach, A. (1997). The psychology of decision making, people in organizations. *Sage Publication Inc.* California.

**[BELA 15]**

BELABBES, F. (2015). Conception et implémentation d'une ontologie médicale Cas : insuffisance cardiaque. *Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen.*

**[BELH 19]**

Belhamiani, F. (2019). Outil intelligent d'aide à Maintenance Industrielle : raisonnement à partir de cas et ontologie .*Mémoire de Master en Informatique, Université Belhadj Bouchaib Ain Temouchent .*

**[BELL et al. 02]**

Bell, I., Caspi, O., ER Schwartz, G., Grant, K., Gaudet, T., Rychener, D., Weil, A. (2002). Integrative medicine and systemic outcomes research: Issues in the emergence of a new model for primary health care. *Archives of internal medicine* 162(2), 133-140.

**[BELL 11]**

Bellifa, I. (2011). Approche Multi-Agent pour la reconnaissance de Diabète. *Mémoire de master Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen.*

**[BENA 17]**

Benabdallah, A. (2017). Construction semi-automatique des ontologies à partir des documents textuels arabes.

**[BENB 12]**

Benbelkacem, S. (2012). Aide à la décision médicale: Plannification guidé par Datamining et Raisonnement à Partir Cas. *Mémoire de Magister Université d'Oran.*

**[BENH 18]**

Benhadji, N. (2018). « Système multi-agents de pilotage réactif des parcours patients au sein des systèmes hospitalier ». *Thèse de Doctorat, université de Lorraine.*

**[BENH 16]**

Benhamza, K. (2016). Conception d'un système multi-agents adaptatifs pour la résolution de problème. *Thèse de Doctorat en Sciences Université Badji Mokhtar-Annaba.*

**[BOIS et al. 96]**

Boissier, O., & Demazeau, Y. (1996). Asic: An architecture for social and individual control and its application to computer vision. In John W. Perran and Jean-Pierre Muller, Editor, Distributed Software Agents and Application, 6th European Workshop on Modelling Autonomous Agents-MAAMAW . Denmark Springer, 1-18.

**[BOIS et al. 04]**

Boissier, O., Gitton, S., & Glize, P. (2004). Caractéristiques des Systèmes et des Applications. Systèmes Multi-Agents. *Observatoire Français des Techniques Avancées, ARAGO 29, Diffusion Editions TEC & DOC, 25-54.*

**[BORS 97]**

Borst, W. (1997). Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse. *Ph.D. Dissertation, University of Twente.*

**[BOUK et al. 20]**

Boukredera, D., Adel-aissanou, K., Abdoune, K., & Bouriahi, L. (2020). Conception d'un Système Multi-Agents d'Aide à la Décision pour une Gestion Efficace des Services d'Urgence : Cas de l'Hôpital de Kherrata. Séminaire Mathématique de Béjaia, 18(1) <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/221965>, 85-102.

**[BOUR 17]**

Bourahla, A. (2017). Le Raisonnement à Partir de Cas dans les Systèmes d'Aide à la Décision Médicale: Prise en Charge de l'Enfant Victime d'un Accident de la Route . Université Abdelhamid Ibn Badis - Monstaganem.

**[BOUR 92]**

Bouron, M. (1992, Novembre 17). STRUCTURES DE COMMUNICATION ET D'ORGANISATION POUR LA COOPERATION DANS UN UNIVERS MULTI-AGENTS. THESE de DOCTORAT pour obtenir le titre de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS 6.

**[BOUS 96]**

Bousquet, F. (1996). Usage des ressources renouvelables et modélisation des représentations: une approche par les systèmes multi-agents. "Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement" Journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés du CNRS-session B, Cité des Sciences et de l'industrie Paris, 123-128.

**[BOUZ et al. 15]**

Bouzidi, A., & Ray, A. (2015, Novembre). Diagnostic du cancer du sein à l'aide du classification fuzzy-f.l.r. *Mémoire de Master.* Université de Tlemcen.

**[BRIC et al. 04]**

Brickley, D., & Guha, R. (2004, February). RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema.

**[BUI et al. 86]**

Bui, T., & Jarke, M. (1986). Communication Design for Co-op: A Group Decision Support System. *ACM Trans. Office Information Systems, Vol. 4, N°2, 81-103.*

**[CHAI et al. 01]**

Chaib-draa, B., Jarras, I., & Moulin, B. (2001). Systèmes multiagents: Principes généraux et applications. Hermès.

**[CHEN et al. 18]**

Chen, L., Li, H., & Wang, F. (2018). MediChoice: A Medical Choice Optimization System based on Multi-agent Reinforcement Learning. *In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine*, 1-6.

**[CHEN et al. 16]**

Chen, M., Zang, D., & Shafiq, D. (2016). Multi-Agent Systems for Healthcare Workflow Management. *In IEEE Transactions on Services Computing*, 9(4), 608-620.

**[CLAY 97]**

Clayton, M.J. (1997). Delphi: a Technic to Harness Expert Opinion for Critical Decision-Making Tasks in Education. *Educational Psychology vol. 17 Issue 4*, 373-386.

**[CORT 06]**

Cortes, R. (2006). Management de l'innovation technologique et des connaissances : Synergie entre la théorie TRIZ et le Raisonnement à Partir de Cas.Application en génie des procédés et systèmes industriels. *Thèse doctorale. Institut National Polytechnique de Toulouse*.

**[COUL et al. 92]**

Coulehan, J.L., & Marian, R.B. (1992). *The medical interview: a primer for students of the art*.FA Davis.

**[DAKN 11]**

Daknou, A. (2011). Architecture distribuée à base d'agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d'urgence en milieu hospitalier. *Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale 072 Sciences pour l'ingénieur PRES Université Lille Nord de France*.

**[DARM 03]**

Darmoni, S. (2003). Titres et Travaux, Informatiques de santé , Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication.

**[DAVI et al. 86]**

Davis, G., Olson. M, H., Ajenstat, J., & Peaucelle J., L. (1986). *Systèmes d'information pour le management Volume 1 et 2*. Montreal: Editions G.Vermette.

**[DEGO et al. 91]**

Degoulet, P., & Fieschi, M. (1991). Traitement de l'information médicale: Méthodes et applications hospitalières. *Masson*.

**[DELO 99]**

Deloch, S. (1999). Multiagent Systems Engineering: A Methodology And Language for Designing Agent Systems. *Agent-Oriented Systems*.

**[DEMA et al. 90]**

Demazeau, Y., & Müller, J. (1990). *AI Decentralized*. Elsevier.

**[DENN et al. 96]**

Dennis, A., Quek, F., & Poothari, S. (1996). Using the Internet to implement support for distributed decision making. In P. Humphreys, L. Bannon, A. McCosh, P. Migliarese, J-C. Pomerol (Eds.), *Implementing Systems for Supporting Management Decisions: Concepts, Methods and Experiences*, Chapman & Hall., London, 139-159.

**[DROG 93]**

Drogoul, A. (1993). De la simulation multi-agents à la résolution collective de problèmes .Une étude de l'emergence de structures d'organisation dans les systèmes multi-agents. *Thèse de l'Université Paris 6*. France.

**[DUJA 07]**

Dujardin, T. (2007). De l'apport des ontologies pour la conception de systèmes multi-agents ouverts. Mémoire de Master Recherche Informatique mention Intelligence Artificielle et Extraction de Connaissances, Université de Lyon.

**[DURF et al. 87]**

Durfee, E., & Lesser, V. (1987). "Using Partial Global Plans to Coordinate Distibuted Problem Solving". *Dans le Proceedings of the 10 th IJC AI Milan, Italy*, 875-883.

**[DURF et al. 89]**

Durfee, E., & Lesser, V. (1989). Negotiating task decomposition and allocation using partial global planning. In L.Gasser and M.Huhns, editors, *distributed Artificial Intelligence Volume II*. Pitman Publishing: London and Morgan Kaufmann:San Matéo, CA, 229-244.

**[FENG et al. 15]**

Feng, M., & Li, Y. (2015). MDMA: A Multi-Agent Decision-Making System for Medical Diagnosis. *In International Conference on Smart Health Springer*, 127-138.

**[FERB 95]**

Ferber, J. (1995). Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective . Editions Inter-editions.

**[FERB et al. 05]**

Ferber, J., Michel, F., & Baez, J. (2005). AGRE: Integrating environment with organization. *Environment for Multi-agent Systems*, 48-56.

**[FERN et al. 97]**

Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., & Juristo, N. (1997). METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. *In:"AAAI-97 Spring Symposium Series", 24-26 March 1997, Stanford University, EEUU*.

**[FERR 03]**

Ferrand, N. (2003). "Modèles Multi-Agents pour l'Aide à la Décision et la Négociation en Aménagement du Territoire". *Thèse de doctorat, université Joseph Fourier*. France.

**[FINI et al. 94]**

Finin, T., Fritzeson, R., Mckay, D., & Mcentire, R. (1994). KQML as an Agent Communication Language. *Proceedings of 3rd International Conference in Information and Knowledge Management (CIKM'94)*.

**[FIPA 97]**

FIPA. (1997). *Agent Communication Language Specification FIPA*.

**[FLOR 06]**

Florence , L. (2006). Les systèmes à base de connaissances. *l'Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'information, J. Akoka and I. Comyn-Wattiau (Ed.)*, 1197—1208.

**[GECH et al. 05]**

Gechter, F., & Olivier, S. (2005). Conception de SMA réactifs pour la résolution de problèmes : Une approche basée sur l'environnement. *Journées Francophones des Systèmes Multi-Agents - JFSMA'2005. Hermès Lavoisier Editions*.

**[GHER 17]**

GHERZOULI, I. (2017). Système d'aide au diagnostic médical à base d'ontologie. *Mémoire de Master Université Mohamed Boudiaf-M'Sila*.

**[GOME 99]**

Gomez-Pérez, A. (1999). Ontological engineering: A state of the art .*Expert Update: Knowledge Based Systems and Applied Artificial Intelligence, 2(3), Elsevier, 33-43*.

**[GOME et al. 04]**

Gomez-Pérez, A., & Lozano-Tello, A. (2004). ONTOMÉTRIQUE : une méthode pour choisir l'ontologie appropriée. *Journal de gestion de bases de données (JDM) 15(2), Droits d'auteur : © 2004 | Tome : 15 | Numéro : 2 , 18*.

**[GONZ et al. 08]**

González, A., López, B., & Corchado, J. M. (2008). MediMAS: A multi-agent system for medical data analysis. *In Proceedings of the 3rd International Workshop on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems. Springer. 59-68*.

**[GRAN et al. 98]**

Grand, S., & Cliff, D. (1998). "Creatures: Entertainment software agents with artificial life". *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems.1 (1)*.

**[GRUB 93]**

Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition 5(2)*, 199-220.

**[GRUV et al. 03]**

Gruver, W.A., Kotak. D.B., Leeuwen. E.H. & Norrie, D.H. (2003). Holonic manufacturing systems: Phase 2. Holonic and Multi Agent Systems for Manufacturing. *International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi Agent Systems, HoloMAS. Prague*.

**[GU et al. 20]**

Gu, D., Su, K., & Zhao, H. (2020). A case-based ensemble learning system for explainable breast cancer recurrence prediction. *Artificial Intelligence in Medicine, 107: 101858*.

**[GUAR 97]**

Guarino, N. (1997). Comprendre, construire et utiliser des ontologies. *Revue internationale d'études homme-machine, Volume 46, numéros 2-3, 239-310*.

**[GUES et al. 02]**

Guessoum, Z., Mandiau, R., Matthieu, P., Boissier, O., Glize, P., Hamri, A., Tranvouez, E. (2002). Systèmes multi-agents et simulation. *LIP 6-Université de Paris 6, CReSTIC-Université de Reims, LAMIH-Université Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis LIFL-Université de sciences et technologies de Lille G2I-ENSM.SE, Saint Etienne IRIT.*

**[GUIL 13]**

Guillaume, A. (2013). «Une approche multi-agents pour le développement d'un jeu vidéo ». *Mémoire en vue de l'obtention du grade de Maître en sciences, Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal. Canada.*

**[GUTK 01]**

Gutknecht, O. (2001). Proposition d'un modèle organisationnel générique de systèmes multi-agents et examen de ses conséquences formelles, implémentatoires et méthodologiques. *Thèse de doctorat de l'université des Sciences et Techniques du Languedoc de Montpellier.*

**[HATO et al. 22]**

Hatoon, S., Ykhlef, M., Al-Qutt, M., & al, A. e. (2022). An automatic Adaptive Case-Based Reasoning System for Depression Remedy Recommendation. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications vol. 13, no 11.*

**[HERN 14]**

Hernández, C. B. (2014). A Multi-Agent System for Monitoring Chronic Patients. *In Journal of Biomedical Informatics, 52, 319-331.*

**[HOLT 89]**

Holtzman, S. (1989). Intelligent decision systems reading, Massachusetts. *Addison-wesley.*

**[HORR et al. 01]**

Horrocks, I., Harmelen, F., Fensel, D., McGuinness, D., & Patel-Schneider, P. (2001). OIL : Une infrastructure ontologique pour le web sémantique. *Revue Systèmes intelligents IEEE, Volume 16, Numéro 2, Éditeur Société informatique IEEE, 38-45.*

**[IANT 07]**

Iantovics, B. L. (2007). The CMDS Medical Diagnosis System. *IEEE Ninth International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC 2007).*

**[IGLE et al. 97]**

Iglesias, C., Garijo, M., González, J., & Velasco, J. (1997). Analysis and design of multi-agent systems using mas-commonkads. *AAAI'97 Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages, Providence, RI.*

**[JARK et al. 87]**

Jarke, M., Jelassi, M. T., & Chakun, M. F. (1987). MEDIATOR: Towards negotiation support system. *European Journal of Operational research Volume. 31, 314-334.*

**[JARR et al. 02]**

Jarras, I., & Chaib-dra, B. (2002). Aperçu sur les systèmes multiagents. *Série scientifique, centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations (CIRNO), Université de Montréal.*

**[JENN et al. 92]**

Jennings, N., & Wittig, T. (1992). "ARCHON: Theory and practice" In *Distributed Artificial Intelligence: Theory and practice*, L.Gasser et N. Avouris (Ed.). Kluwer Academic Publishers.

**[JENN et al. 98]**

Jennings, N. R., W. M. (1998). A roadmap of agent research and development. *In Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1(1), 7- 38.*

**[JOHN et al. 92]**

John L, C., & Marian R, B. (1992). *The medical interview: a primer for students of the art.* FA Davis.

**[JONE et al. 12]**

Jones, P. & Patel, M., (2012). An Agent-Based System for Medical Diagnostic Reasoning. *In Artificial Intelligence in Medicine, 56(3), 201-214.*

**[KARA et al. 01]**

Karacapilidis, N., & Papadias, D. (2001). Computer supported argumentation and collaborative decision making: the HERMES system. *Information Systems,26(4), 259-267.*

**[KAZA et al. 20]**

Kazar, O., Sahnoun, Z., & Frecon, L. (2020). « *Multi-agents system for medical diagnosis* ». Récupéré sur <https://www.researchgate.net/publication/324569957>

**[KERM 14]**

Kermani, M. (2014, 06 24). Développement d'une ontologie floue et classification d'instances: Application au domaine des analyses médicales. *Thèse de doctorat.*

**[KHAL 09]**

Khalfi S. (2009). Construction d'une ontologie pour la prise en charge des patients à domicile.

**[KHAN et al. 13]**

Khan, W. Z., Aalsalem, M.Y., & Khan, S.U. (2013). CareNet: A Collaborative Healthcare Network for Sharing of Medical Expertise. *In Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine, 1-5.*

**[KHEB 17]**

Khebbache, M. E.(2017). Environnements de développement des SMA,[cours BIAD communication.pdf \(slideshare.net\)](#), Date de Consultation 10-06-2024

**[KHOU 11]**

Khouider, S. (2011). *Outils d'aide à la décision pour la prise de commandes imprévues.* Thèse de doctorat, Université de Paul Verlaine de Metz, France.

**[KOUA 19]**

Kouadri, L. (2019).*Construction du parcours de soins d'un patient.*Mémoire de Master, Université de 8 Mai 1945-Guelma.

**[LABA 06]**

Labarthe, O. (2006). Modélisation et simulation orientées agents de chaînes logistiques dans un contexte de personnalisation de masse: Modèles et cadres méthodologiques. *Thèse de Doctorat Université Laval*. Canada.

**[LABO 06]**

Laborie, F. (2006). Le concept de la salle de décision collective et son application au processus complexe EADS. *Thèse de Doctorat Université Paul Sabatier*. Toulouse, France.

**[LAZO et al. 12]**

Lazouni, M., Daho, M., & Cheikh, M. (2012). « Un système multi agents pour l'aide au diagnostic en Anesthésie ». *Biomedical Engineering International Conference BIOMEIC'12*.

**[LEVI et al. 89]**

Lévine, P., & Pomerol, J. (1989). Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts. *Edition Hermès*.

**[LEWI et al. 07]**

Lewis, L., Bajwa, D., Pervan, G., King, V., & Munkvold, B. (2007). A cross-regional exploration of barriers to the adoption and use of electronic meeting systems. *Group decision negotiation*, 16, 381-398.

**[LU 09]**

Lu, W. (2009). An agent-based simulation for workflow emergency department. *Systems and Informations Engineering Design Symposium IEEE*, 19-23.

**[MALO et al. 90]**

Malone, T., & Crowston, K. (1990). What is Coordination Theory and How It Can Help Design Cooperative Work Systems? *In the Proceedings of the Conference on Computer-Supported Cooperative Work, Los Angeles, USA*, 357-370.

**[MANO et al.05]**

Mano, J.-P., Gleizes, M.-P., & Glize, P. (2005). Résolution émergente et collective de problèmes par systèmes multi-agents: principes et applications. Institut de Recherche en Informatique de Toulouse, Université Paul Sabatier 118 route de Narbonne 31062 Toulouse cedex 4 (France), {mano,gleizes,glize}@irit.fr www.irit.fr/SMAC.

**[MANS 18]**

Mansoul, A. (2018). Aide à la décision médicale guidée par un processus d'extraction de connaissances. *Thèse de Doctorat Université Oran 1*.

**[MANZ et al. 18]**

Manzoor, S., Bukhari, S. A., & Hussain, M. (2018). HealthAgent: A Multi-Agent System for Healthcare Decision Support using Reinforcement Learning. *In International Conference on Machine Learning and Data Engineering Springer*, 29-38.

**[MARA 99]**

Marakas, G. (1999). Decision Support Systems in the Twenty-first Century. *Prentice Hall:Upper Saddle River*. New Jersey.

**[MIZO et al. 00]** Mizoguchi, R., Kozaki, K., Sano, T., & Kitamura, Y. (2000). Construction et déploiement d'une ontologie végétale. Dans : Dieng, R., Corby, O. (éd.) *Méthodes, modèles et outils d'ingénierie des connaissances et de gestion des connaissances. EKAW 2000. Notes de cours en informatique, vol 1937.* Springer, Berlin, Heidelberg.

**[MORI 77]**

Morin, E. (1977). *La Méthode : la Nature de la Nature.* Paris : Le Seuil.

**[MORV 09]**

Morvan, G. (2009). Approche multi-agents d'un système d'aide à la décision en environnement dynamique et incertain. Application à l'entomologie médico-légale. *Université d'Artois.*

**[MRJE 97]**

M.R, J. (1997). Emergence et SMA. In JFIAD-SMA, La Colle-sur-Loup, France, 323-342.

**[MULL et al. 02]**

Müller, J., & Philippe, M. (2002). Systèmes multi-agents et systèmes complexes : ingénierie, résolution de problèmes et simulation. *Actes des JFIADSMA'02, 28 - 30 octobre 2002, Lille, France Paris : Hermès, 266.*

**[MULL 98]**

Müller, J. (1998). Vers une technologie de conception de systèmes multi-agents de résolution de problème par émergence. *JFIADSMA'98 Hermès.*

**[NACH 14]**

Nachet, B. (2014). *MODELE MULTI-AGENTS POUR LA CONCEPTION DES SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION COLLECTIVE. Thèse de Doctorat en Informatique Université d'Oran.*

**[NAOU et al. 13]**

Naoufel, K., & Wided, L.-C. (2013). A Distributed and Collaborative Intelligent System for Medical Diagnosis. *Advances Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal 2.5, Special Issue 2.*

**[NECH et al. 91]**

Neches, R., Fikes, R., Finin, T., Gruber, T., Patil, R., Senator, T., & Swartout, W. (1991). Enabling technology for knowledge sharing. *AI magazine.*

**[NFON 18]**

Nfongourain, R. (2018). The good physicians for prospective diagnosis: The next steps. *Neurodegeneration and Neurorehabilitation.*

**[NFON 22]**

Nfongourain, R. (2022). « Système multi-agents d'aide à la construction d'une équipe pluridisciplinaire en vue d'un diagnostic efficace pouvant allier médecine moderne et médecine traditionnelle ». *Thèse de Doctorat/PHD en Informatique, Dépt. Mathématiques et Informatique. Université de NGAOUNDERE.*

**[NOR et al. 09]**

Norvig, P., & Russel, S. (2009). *Artificial Intelligent:A Modern Approach*,3rd Edition . *Prentice Hall*,ISBN: 0-13-604259-7

**[NUNA et al. 97]**

Nunamaker, J., Briggs, R., Mittleman, D., Vogel, D., & Balthazard, P. (1997). Lessons from a dozen years of group support systems research: a discussion of lab and field findings. *J Manage InfSyst* 13(3), 163-207.

**[OYE et al. 20]**

Oyelade, O., & Ezugwu, A. (2020). Covid19: A natural language processing and ontology oriented temporal case-based framework for early detection and diagnosis of novel coronavirus. *preprints 2020, 2020050171*.

**[PANZ et al. 02]**

Panzarasa, P., Jennings, N. R., & Norman, T. J. (2002). Formalising collaborative decision-making and practical reasoning in multi-agent systems. *Journal of Logic and Computation* 12(1), 55-117.

**[PERE 21]**

Perez, B. (2021, Septembre). « Prédiction de l'évolution d'un système complexe dans un contexte non déterministe : architecture basée sur le couplage SMA / RàPC et la clusterisation ». *Thèse de doctorat*.

**[PHAN 04]**

Phan, D. (2004). Hierarchy of cognitive interactive agents and statistical mechanics; how Object Oriented Programming highlights the connection. in Coelho, Espinasse, Seidel,eds, 5th Workshop on Agent Based Simulation, Lisbon, Portugal, SCS Pub.House, Erlangen, San Diego, 69-76.

**[PICA 04]**

Picard, G. (2004). Cooperative agent model instantiation to collective robotics. International Workshop on Engineering Societies in the Agents World Springer Berlin Heidelberg, 209-221.

**[PITT et al. 18]**

Pitttoli, F., Damasceno, H., Barbosa, J. V., Butzen, E., Gaedke, M., Da Costa, J. D., & Dos Santos, R. S. (August 2018). An intelligent system for prognosis of non communicabl diseases, risk factors. *Telematics and Informatics Volume 35, Issue 5, 1222-1236*.

**[PLA et al. 13]**

Pla, A., Lopez, B., Gay, P., & Pous, C. (February 2013). eXIT\*CBR.v2: Distributed case-based reasoning tool for medical prognosis. *Decision Support System Volume 54 Issue 3, 1499-1510*.

**[PSYC et al. 03]**

Psyché, V., Mendes, O., & Bourdeau, J. (2003). Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance. *Revue STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation), Volume Dix, 89-126*.

**[RAKE 12]**

Rakel, D. (2012). *Integrative Medicine E-Book*. Elsevier health sciences.

**[RAKO 04]**

Rakoto, H. (2004). Intégration du Retour d'Expérience dans les processus industriels. Application à Alstom Transport. *Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse.*

**[RASO 06]**

Rasovska, I. (2006). Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas. Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance. *Thèse doctorale. L'UFR des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté.*

**[RAWS et al. 20]**

Rawson, T., Hernandez, B., Moore, L., Herrero, P., Charani, E., Ming, D., & Homes, A. (2020, April). A real-world evaluation of a case-based reasoning algorithm to support antimicrobial prescribing decisions in acute care. *Clinical infectious diseases.*

**[REMY 18]**

Rémy, N. M. (2018). The good physicians for prospective diagnosis: The next steps. *Neurodegeneration and Neurorehabilitation.*

**[RELWet al. 16]**

Relwendé, A. Y. & Joel, C. (2016, Novembre). Système multi-agents d'aide à la décision clinique, appliqué à la prise en charge de l'embolie pulmonaire.

**[ROY 85]**

Roy, B. (1985). Méthodologie Multicritères d'Aide à la Décision. *Collection Gestion, Série Production et techniques quantitatives appliquées à la gestion, Economica.* Paris.

**[ROY 00]**

Roy, B. (2000). Réflexion sur le thème : quête de l'optimum et aide à la décision. *Cahier du Lamsade n°167.* Université Paris-Dauphine, France.

**[RUSS 97]**

Russel, S. (1997). Rationality and Intelligence. *Artificial Intelligence.*

**[SAAT 80]**

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning Priority Setting, Resource Allocation. *New York: McGraw-Hill.*

**[SCHA 82]**

Schank, R. (1982). Dynamic Memory: A Theory of Reminding and Learning in Computers and People. *Cambridge University Press, New York, NY.*

**[SCHM 88]**

Schmidt, S., & Smolka, G. (1988). Attributive concept descriptions with unions and complements. *Artificial Intelligence Laboratories.*

**[SCHN 94]**

Schneider, D.K. (1994). Modélisation de la démarche du décideur politique dans la perspective de l'intelligence artificielle. *Thèse de l'Université de Genève*. Suisse.

**[SEGU 08]**

Seguy, A. (2008). Décision Collaborative dans les Systèmes Distribués-Application à la E-Maintenance. *Thèse de Doctorat Université de Toulouse*.

**[SERO et al. 14]**

Séroussi, B., & Bouaud, J. (2014). Systèmes informatiques d'aide à la décision en médecine: panorama des approches utilisant les données et les connaissances. *Pratique Neurologique-FMC*.

**[SHEN et al. 14]**

Shen Y, JACQUET-A,A., COLLOC J. (2014). Un système multi-agents d'aide à la décision clinique fondé sur des ontologies. *Université de Paris Ouest*.

**[SHIB 09]**

Shibakali, G. (2009). A multi-agent systems (MAS) based schame for health care and medical diagnosis system. *International Conference on Intelligent Agent & Multi-Agent Systems*.

**[SHOH 93]**

Shoham, Y. (1993). Agent oriented Programming. *Artificial Intelligent*.

**[SHOR 76]**

Shortliffe, E. (1976). Computer Based Medical Consultations : MYCIN. *American Elsevier*. New York.

**[SILV et al. 14]**

Silva, N., Neves, J., & Machado, J. (2014). MASDIMA: A multi-agent system for diabetes mellitus type 1. *In Proceedings of the 7th International Conference on Health Informatics. SCITEPRESS - Science and Technology Publications*, 285-290.

**[SIMO 77]**

Simon. H., A. (1977). The new science of management decision. *Prentice Hall*. New Jersey, Etats Unis.

**[SMIT et al. 15]**

Smith, B., Jones, M., & Brown, L. (2015). MedMAS: A Multi-agent System for Enhanced Medical Decision Support. *In Journal of Medical Systems*, 39(11), 145.

**[SPEN 99]**

Spencer, J. (1999). Complementary / alternative medicine: and evidence-based approach. *Mosby Incorporated*.

**[STEE 89]**

Steels, L. (1989). Cooperation between distributed agents Through Self-organisation. North Holland, Amsterdam: *Journal on robotics and autonomous systems*.

**[STUD et al. 98]**

Studer, R., Benjamins, V., & Fensel, D. (1998). Ingénierie des connaissances : principes et méthodes. *Ingénierie des données et des connaissances*, 25, 61-197.

**[SURE et al. 02]**

Sure, Y., Erdmann, M., Angele, J., Staab, S., Studer, R., & Wenke, D. (2002). *OntoEdit: Collaborative Ontology Development for the Semantic Web*. In: Horrocks, I., Hendler, J. (eds) *The Semantic Web — ISWC 2002. ISWC 2002. Lecture Notes in Computer Science, vol 2342*. Springer, Berlin, Heidelberg.

**[SYBO 16]**

Sybord, C. (2016). Big Data et conception d'un système d'information d'aide à la décision clinique : vers une gestion sociocognitive de la responsabilité médicale ? *Les Cahiers du numérique Vol. 12*, 73-108.

**[TURB 93]**

Turban, E. (1993). *Decision Support and Expert Systems*. New York, Macmillan.

**[URBA 07]**

Urbani, D. (2007). «Elaboration d'une approche hybride SMA-SIG pour la définition d'un système d'aide à la décision; application à la gestion de l'eau ». *Université de corse Pasquale Paoli*. France.

**[USCH et al. 96]**

Uschold, M., &Grüninger, M. (1996). « Ontologies : principes, méthodes et applications ». *Knowledge Engineering Review, Vol. 11, numéro 2*, 93-155.

**[WAND et al. 04]**

Wanda, L., & Tena, B. (2004). The DELPHI technique: a research strategy for career and technical education. *Journal of Career and Technical Education, Vol. 20, No. 2, Spring*, 55-67.

**[WANG et al. 19]**

Wang, J., Yu, M., & Zhang, Y. (2019). MediAssist: A Multi-Agent System for Medical Decision Support Using Case-Based Reasoning. *In IEEE International Conference on Healthcare Informatics IEEE*, 1-7.

**[WEIS et al. 99]**

Weiss, G. (1999). *Multiagents systems, a modern approach to distributed*. The MIT Presse.

**[WELT et al. 01]**

Welty, C., & Guarino, N. (2001). Supporting ontological analysis of taxonomic relationships. *Ingénierie des données et des connaissances, 39*, 51-74.

**[WOOL et al. 95]**

Wooldridge, M., & Jennings, N. (1995). *Intelligent agent Theory and practice*. The Knowledge Engineering Review.

**[WOOL et al. 00]**

Wooldridge, M., Jennings, N., & Kinny, D. (2000). The Gaia Methodology For Agent-Oriented Analysis and Design. *Journal of Autonomonous Agent and Multi-Agent Systems 3(3)*, 285-312.

**[WOOL et al. 99]**

Wooldrige, M., Georgeff, M., Pell, B., Pollack, M., & Tambe, M. (1999). The belief-desire-intention model of agency. *Intelligent Agents V: Agents Theories, Architectures, And*

*Languages: 5th International Workshop, 1998 Proceedings 5* (pp. 1-10). ATAL '98 Paris, France: Springer Berlin Heidelberg.

**[WU et al. 05]**

Wu, Z., He, Y., & Jin, H. (2005). A model of intelligent distributed medical diagnosis and therapy system based on mobile agent and ontology. *Eighth International Conference on High-Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPCASIA'05)*.

**[Y AHL et al. 16]**

Yahla, M., & Messaoud, M. (2016). Conception et réalisation d'une application pour la gestion des systèmes d'aide à la décision médicale. *Mémoire de Master, Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen*.

**[ZOUA 12]**

Zouad, S. (2012). Une architecture à base d'agents intelligents pour les systèmes d'aide au diagnostic médical. *Mémoire de Magister en Informatique Université Larbi Ben M'hidi d'Oum et Bouaghi Ecole doctorale en Informatique de l'Est Pole Constantine*.

**[WEB 01]**

[www.netbeans.org](http://www.netbeans.org), Date de Consultation 01-06-2024

**[WEB 02]**

<https://jena.apache.org/>, Date de Consultation 08-06-2024

**[WEB 03]**

[www.jfree.org/jfreechart/](http://www.jfree.org/jfreechart/), Date de Consultation 08-06-2024

**[WEB04]**

<http://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203555-java-definition>, Date de Consultation 11-06-2024

**[WEB 05]**

Java : Kassel R. (2023). *Les fondamentaux expliqués (JDK, JRE et JVM)*, [Java : Les fondamentaux expliqués \(JDK, JRE et JVM\) \(datascientest.com\)](https://www.datascientest.com), Date de Consultation 05-06-2024

**[WEB 06]**

[protege.stanford.edu](http://protege.stanford.edu), Date de Consultation 05-06-2024

**[WEB 07]**

[Jade Site | Java Agent Development Framework \(tilab.com\)](http://tilab.com), Jade, Date de Consultation

**[WEB 08]**

[Microsoft PowerPoint - IA3 \(univ-tlemcen.dz\)](http://univ-tlemcen.dz), Les Systèmes Multi-Agents, Date de Consultation 10-06-2024

**[YOUS 14]**

Youssfi, M. (2014). Systèmes multi agents concepts et mise en oeuvre avec le middleware jade. [Systèmes multi agents concepts et mise en oeuvre avec le middleware jade | PPT \(slideshare.net\)](https://slideshare.net), Date de Consultation 15-06-2024

