

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Larbi Ben M'hidi d'Oum el Bouaghi
Ecole Doctorale en Informatique de l'Est
Pôle Constantine

N° d'ordre :
Série :

MEMOIRE
Présenté pour l'obtention de diplôme
Magister en informatique
Option Intelligence Artificielle

T h è m e

Une architecture à base d'agents intelligents pour les systèmes d'aide au diagnostic médical

Par
Zouad Sara

Soutenu le ... /... /2012 devant la commission d'examen :

Pr. BOUFAIDA Mahmoud	Professeur	Université de Constantine	Rapporteur
Pr. SAHNOUN Zaidi	Professeur	Université de Constantine	Président de Jury
Dr. MAAMRI Ramdane	MDC	Université de Constantine	Examineur
Dr. MOKHATI Farid	MDC	Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi	Examineur

Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier Dieu pour l'aide qu'il n'a accordé pour arriver au terme de mon projet.

Je dois une reconnaissance particulière à mon promoteur Mr Boufaida Mahmoud pour la confiance qu'il m'a accordé en me proposant ce projet, mais aussi pour sa disponibilité, sa gentillesse et surtout sa générosité.

Je remercie aussi le Pr Benabess Médecin spécialité en Médecine Interne. pour l'accueil qu'il m'a accordé tout au long de mon stage, mais surtout sa coopération et sa gentillesse.

Mes remerciements vont aussi à chacun des membres du jury pour avoir fait l'insigne honneur d'examiner mon travail, sans oublier mon respect à tous mes professeurs.

Pour n'oublier aucun, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce travail.

Dédicaces

Je remercie Dieu le tout puissant pour l'aide, le courage et la patience qu'il m'a accordés tout au long de mon cursus.

Je dédie ce mémoire aux êtres qui me sont les plus chers au monde, mes parents, à qui je ne saurai exprimer ma profonde reconnaissance et gratitude... mais je sais bien que ma réussite est le plus beau et le plus cher cadeau que je puisse leur offrir.

A toi ma mère, pour ton amour, ta patience et ta présence à mes côtés dans les moments les plus difficiles que j'ai vécus.

A toi mon père pour ton amour, ta patience et surtout les sacrifices que tu as fait pour nous.

A vous mes grands parents, mes tantes, mes neveux, ma nièce, mes chers frères & sœurs Karim, Amir, Adlène, Ferial, Naouel pour votre amour, votre patience et surtout vos encouragements qui me donnaient toujours les forces nécessaires pour continuer, tout au long de mon cursus.

La table des matières

Remerciments	2
Table des matières	3
Table des figures	5
Resumé	7
Introduction générale	8
CHAPITRE 1 : CARACTRESTIQUES DES SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION MEDICALE	12
1. Introduction	12
2. Définition de l'aide à la décision médicale	12
3. Caratéristique d'un système d'aide à la décision médicale	12
4. Définition du diagnostic médical	13
5. Intérêts et objectifs de l'aide à la décision médicale	14
5.1. Pour les médecins	14
5.2. Pour les maladies	15
6. Typologie des systèmes d'aide à la décision	18
6.1. Système d'aide indirecte	18
6.2. Système d'aide à la prescription	19
6.2.1. Prescription d'examens complémentaires	19
6.2.2. Prescription médicamenteuse	20
6.3. Systèmes de rappels automatiques	22
6.4. Systèmes consultants	23
7. Méthodologie de l'aide à la décision médicale	23
7.1. Approche purement numérique	23
7.1.1. Les analyses discriminantes	23
7.1.2. Systèmes Baysiens	24
7.2. L'approche Intelligence Articielle	24
8. Raisonnement médical	25
8.1. Définition	25
8.2. Modèles de raisonnement médical	26
9. Techniques de représentation des connaissances	29
9.1. Les systèmes à base de règles	29
9.1.1. Avantages de cette technique	30
9.1.2. Inconvénients de cette techniques	30
9.2. Réseaux sémantiques	30
9.2.1. .Avantages de cette technique	30
9.2.2. Inconvénients de cete techniques	31
9.3. Les systèmes basés sur la logique	31
9.3.1. Avantages de cette technique	31
9.3.2. Inconvénients de cette techniques	32
10. Exemples de systèmes d'aide à la décision médicale	32
11. Conclusion	34

CHAPITRE 2 : APPORT DES SYSTEMES MULTI AGENTS ET DES ONTOLOGIES	35
4. Introduction	35
5. Caractéristiques des systèmes multi agents	36
5.1. Définition de l'agent	36
5.2. Typologie des agents	38
5.2.1. Agent réactif	38
5.2.2. Agent cognitif	39
5.3. Fonctionnement d'un agent	41
5.4. Définition des systèmes multi agents	43
5.5. Modèles de systèmes multi agents	46
5.5.1. Les systèmes à tableau noir	46
5.5.2. Les systèmes d'acteurs	47
5.5.3. Les système distribués	48
5.6. La communication dans les systèmes multi agents	48
5.6.1. Les interactions et les protocoles de communication dans les SMA	48
a. Les interactions dans les SMA	48
5.6.2. Comment communiquer ?	50
5.6.3. Modes de communication	50
a. Par partage d'information	51
b. Par envoi de messages	51
c. Modèle hybride	52
d. Langage de communication dans les SMA	52
5.6.4. Méthodologies de conception des SMA	54
a. Methodologies centrées sur les agents	54
b. Méthodologies issues des méthodologies orientées objets	56
c. Méthodologie issues de l'ingénierie des connaissances	57
5.7. Programmation orientée agent	58
5.8. Quelques systèmes d'aide à la décision médicale basés agent	60
5.8.1. Appliqués dans le domaine médical	61
5.8.2. Appliqués à la pathologie du Diabète	67
5.9. Synthèse	67
6. Les ontologies	68
6.1. L'intérêt de l'utilisation de l'ontologie	69
6.2. L'apport de l'ontologie à notre système	70
6.3. Conclusion	70
CHAPITRE 3 : CONCEPTION DU SYSTEME D'AIDE A LA DECISION MEDICALE	72
1. Introduction	72
2. Présentation générale du modèle	72
3. Conception du SMA	74
3.1. Choix de l'approche de conception du SMA	75
3.1.1. Analyse du SMA	75
a. Les agents	75
b. L'environnement	76
c. Les interactions	77
d. Organisation	79

e. Utilisateur	79
3.1.2. Conception du SMA	79
4. Représentation des ressources du système	84
4.1. Base de connaissances	84
4.2. L'ontologie	85
4.2.1. Construction de l'ontologie du domaine	86
5. Fonctionnement du système	89
5.1. Diagramme de séquence	89
5.2. Fonctionnement	90
6. Conclusion	91
CHAPITRE 4 : REALISATION DU SYSTEME D'AIDE A LA DECISION MEDICALE	93
1. Introduction	93
2. Etude de cas	93
2.1. Description de la pathologie	93
2.2. Calcul du score de Flemingham	95
3. Les données du problème	96
4. Recueil de l'expertise	96
5. Environnement de développement	97
5.1. Langage de programmation	97
5.2. Choix de la plateforme	97
5.3. Présentation de l'éditeur PROTEGE	97
6. Description des agents	99
6.1. Description des agents Agent DiagnosticTraitement et Agent Pathologie	100
6.1.1. Agent Pathologie	100
6.1.2. Agent Diagnostic Tratiement	101
7. Description de la base de connaissances	103
8. L'ontologie des facteurs de risque du diabète 2	104
9. Conclusion	105
Conclusion générale	106
bibliographie	108

Table des figures

Fig. n°	Titre	Page
1	Démarche du Diagnostic	5
2	Agent réactif	6
3	Agent cognitif	11
4	Différences entre agents cognitifs et agents réactifs	11
5	Structure de fonctionnement de l'agent	17
6	Système multi agent vu selon différents niveaux de détail	18
7	Communication par partage d'informations.	20
8	Communication par envoi de messages	21
9	Les méthodologies orientées Agents	23
10	Programmation Orientée Objets vs Programmation Orientée Agents	24
11	L'évolution vers la programmation orientée agent	25
12	Architecture du système de diagnostic médical CMDS	63
13	Architecture du système PalliaSys	65
14	Modélisation d'un système d'aide au diagnostic médical	71
15	Démarche de diagnostic médical	72
16	Architecture du système	73
17	Structure d'un message FIPA-ACL	76
18	Architecture interne de l' AI	78
19	Architecture d'un agent cognitif	79
20	Ontologie des facteurs de risque du diabète 2	84
21	Processus de construction de l'ontologie	85
22	Diagramme de séquence global du système	90
23	Prédiction du risque de survenue d'un diabète 2 dans les 10 ans	96
24	Interprétation des résultats du Score de Framingham	97
25	Identification du médecin par l'Agent Interface	101
26	Saisie du texte contenant les observations du médecin	102
27	Résultat du diagnostic après traitement des données saisies	102
28	Fragments de codes programmés en JAVA	103
29	Interface de l'Ontologie Diabfact	104

Resumé :

La prise en charge du diabète de type 2, notamment en Algérie, est une tâche difficile tant sur le plan du diagnostic que sur celui du traitement. Le nombre croissant de diabétiques de type 2, les complications liées à cette maladie, représentent autant de problèmes que le diabète lui-même, qu'il devient préférable d'anticiper sa survenue pour ne pas en arriver là. Les systèmes d'aide à la décision et au diagnostic médical peuvent être d'une grande utilité aux cliniciens. L'objectif de ce travail est de développer une nouvelle approche afin de prédire et diagnostiquer le diabète 2, en utilisant deux paradigmes de l'IA à savoir les systèmes multi agents et ontologie. Cette architecture est basée sur une société d'agents, ayant chacun un rôle et qui interagissent entre eux, nous avons intégré une ontologie spécifique afin de gérer la sémantique dans notre système.

Mots clés : Diabète de type 2, Les systèmes d'aide à la décision, Diagnostic médical, Systèmes multi agents, Ontologie spécifique.

Summary:

The management of diabetes 2, particularly in Algeria, is a difficult task both as diagnostic and treatment. The increasing number of diabetic, complications associated with this disease, are all problems that diabetes itself, it becomes preferable to anticipate its occurrence. Decision support system and medical diagnosis can be extremely useful to clinician. The objective of this work is to develop a new approach to predict and diagnose diabetes 2, using two paradigms of AI, multi-agent systems and ontology. This architecture is based on a society of agents, each with a role and interact with each other, we integrate a specific ontology to manage the semantic aspect in our system.

Keywords: Diabetes 2, Decision support system, Medical diagnosis, Multi agent system, specific Ontology.

ملخص:

تشخيص وعلاج مرض السكري من النوع 2، وبخاصة في الجزائر، مهمة صعبة. العدد المتزايد من مرضى السكري من النوع 2، و التطورات المرتبطة بهذا المرض، يصبح من الأفضل تشخيصه مبكرا. الدعم في اتخاذ القرار و التشخيص الطبي أن يكون مفيدا للغاية للأطباء. الهدف من هذا العمل هو وضع نهج جديد للتنبؤ وتشخيص مرض السكري 2، باستخدام نماذج من الذكاء الاصطناعي، الأنظمة متعددة الأعوان و الأنطولوجيا . ويستند هذا الهيكل على مجتمع من الأعوان ، ولكل منها دور وتتفاعل مع بعضها البعض، و تم دمج أنطولوجيا معينة لإعطاء معاني للكلمات في نظامنا.

الكلمات الرئيسية : مرض السكري من النوع 2، الدعم في اتخاذ القرار، التشخيص الطبي، الأنظمة متعددة الأعوان ، الأنطولوجيا.

Introduction Générale

La médecine est une discipline dont le développement continu modifie en permanence les conditions d'exercice.

Le diagnostic médical est une activité fondamentale de la médecine car l'identification d'un syndrome ou d'une maladie est le plus souvent le préalable d'une prise en charge appropriée du patient ce qui est clairement exprimé dans l'article 33 du Code de Déontologie quand il prévoit que « le médecin doit toujours élaborer son diagnostic avec le plus grand soin, en y consacrant le temps nécessaire, en s'aidant dans la mesure du possible des méthodes scientifiques les plus adaptées et, s'il y a lieu, de concours appropriés ». Il est donc normal que les premières investigations dans le domaine du traitement automatique des informations se soient intéressées à ce problème.

Les pionniers de l'informatique médicale comme [Shortliffe, 1976], [De Dombal, 1972], ont cherché à automatiser l'élaboration d'un diagnostic. Les méthodes développées s'appuyaient sur des modèles statistiques (calcul de probabilités, théorème de Bayes) et/ou des modèles logiques issus des recherches menées en Intelligence Artificielle.

La complexité du domaine médical et les progrès de l'informatique ont provoqué l'évolution du concept initial de Système de Diagnostic vers un concept plus général de Système d'Aide à la Décision Médicale. Ce changement de point de vue a permis d'élargir le champs de vision de cette discipline en y intégrant des paramètres comme les choix thérapeutiques, les désirs et les préférences du patient en face de ces choix, le coût des examens complémentaires, les capacités techniques ou financières du système de santé, etc.

La prise en compte de tous ces éléments a conduit de facto les concepteurs de ces systèmes à reconsidérer la position du diagnostic dans le système de santé et à privilégier la notion d'aide qu'un système informatique peut apporter à tous les décideurs. Dans cette approche, l'aide au diagnostic est devenue l'un des éléments d'un système d'information plus vaste.

Plusieurs travaux relatifs à l'aide au diagnostic ont été développés en utilisant les systèmes expert, la théorie de décision...etc, cependant, plusieurs lacunes ont été décelées à savoir : ils ne traitaient pas des problèmes complexes et arrivaient à simuler un expert fiable dans un

Introduction Générale

domaine limité d'expertise par conséquent ne répondaient pas aux attentes du praticien.

L'objectif de notre travail, est de définir une architecture d'un système d'aide à la décision et au diagnostic médical. Cette architecture est basée sur une société d'agents, ayant chacun un rôle et interagissent entre eux. Afin de gérer la sémantique dans notre système, nous avons intégré le paradigme Ontologie spécifique à la pathologie étudiée qui est le Diabète 2.

Nous avons appliqué la méthode Voyelle [Demazeau, 1995], permet de mieux couvrir l'ensemble des phases de développement d'un système multi agents, Elle est fondée sur la décomposition de la vue d'un système multi-agents en quatre dimensions : Agents, Environnement, Interaction et Organisation. Nous avons défini cinq types d'agents qui communiquent pour atteindre l'objectif global du système.

Notre but n'est pas de porter un effort sur la compréhension du diagnostic en lui même, mais de mieux cerner l'aide qu'un ordinateur peut apporter au praticien dans sa démarche diagnostique. On cherche ainsi à identifier les tâches qui entrent dans cette démarche et que l'on peut réaliser automatiquement.

Notre approche, consiste donc à développer ce système d'assistance à l'aide des techniques de développement de systèmes à base de connaissances proposées en Intelligence Artificielle, c'est-à-dire qu'ils contiennent un modèle de représentation des données à traiter et des raisonnements qui leurs sont appliqués. Bien adapté aux besoins de l'application, nous avons opté pour les systèmes multi agents pour leurs nombreux avantages et en particulier la prise en charge des systèmes complexes tel que le notre mais aussi pour les caractéristiques à savoir des agents intelligents (autonomie, pro-activité, capacités sociales) et l'architecture des systèmes multi-agents (traitement de l'information distribuée, communication, coordination, négociation) se révèle une piste prometteuse pour résoudre les problèmes dans le domaine de la santé en général et les problèmes liés au diagnostic en particulier. Ce travail s'appuie sur différentes avancées technologiques relatives au Système Multi Agent (SMA) pour faciliter la prise de décision.

A ce propos, nous soulignons que « la complexité des problèmes médicaux est souvent telle, qu'on a jugé d'utiliser les SMA en les combinant avec le paradigme d'ontologie, qui nous a permis, d'établir un vocabulaire commun sur des notions médicales admises par tous les agents, de traiter l'aspect sémantique des informations, de séparer le contenu médical du système d'aide à la décision pour faciliter la mise à

Introduction Générale

jour des données, de mettre à jour de façon aisée notre base de connaissances vu l'évolution constante des normes de santé, de faciliter l'agrégation de données multi-sources (personnels de santé, textes) et multi-formats selon la norme de représentation des données dans une ontologie; On peut ainsi unifier la représentation de l'information pour définir ensuite des raisonnements adaptés au contexte d'exécution d'un outil de décision.

Le diagnostic médical est probablement le premier à avoir utilisé les techniques de l'intelligence artificielle dans le domaine médical, les systèmes d'aide au diagnostic ont toujours besoin de l'intégration de différentes sources de données et la collaboration de différents types d'utilisateurs, ces caractéristiques font que les systèmes multi agents soient les mieux adaptés pour leurs réalisations.

Dans notre travail, l'IA et la médecine se rencontrent. Nous essayons de rassembler des connaissances venues des deux domaines pour réaliser un système informatique d'aide au diagnostic appliqué en diabétologie, ce domaine nous a fourni un cadre adéquat pour tester l'architecture d'un système dont l'objectif est d'aider les praticiens à rassembler des informations pouvant avoir plusieurs origines (littérature, cas cliniques types, expertise,..... etc), pour une meilleure prise en charge du patient.

Le manuscrit est structuré de la manière suivante :

Le premier chapitre, présente le contexte dans lequel s'inscrivent nos recherches, permet d'introduire les principaux concepts liés au domaine médical, nous présentons en bref l'aide au diagnostic médical, le raisonnement médical ainsi que la représentation des connaissances médicales.

Dans Le deuxième chapitre, nous présentons un état de l'art de deux domaines qui nous intéressent, à savoir les systèmes multi agents et les ontologies. Nous étudions dans ce chapitre les différents liens existants entre ces deux paradigmes.

Le troisième chapitre, présente la conception du système, l'architecture et le fonctionnement de chaque composant de ce dernier à savoir les agents, l'ontologie et la base de connaissances.

Introduction Générale

Le quatrième chapitre, décrit la mise en oeuvre de notre architecture. Nous décrivons les choix techniques et la conception logicielle du prototype.

Ce mémoire s'achève par une conclusion générale où quelques perspectives des futures recherches seront évoquées.



Chapitre 1

**CARACTERISTIQUES DES
SYSTEMES D'AIDE A LA DECISION
ET
AU DIAGNOSTIC MEDICAL**

1. Introduction :

Ce chapitre introduit en premier lieu la notion de prise de décision dans le domaine médical ainsi que quelques définitions liées à celle-ci. Cette présentation ne se prétend pas exhaustive, mais a uniquement pour but d'introduire un minimum d'éléments nécessaires à la présentation des systèmes d'aide à la décision et au diagnostic médical, leurs caractéristiques, et leurs objectifs.

Durant les dernières décennies, le développement de systèmes d'aide dans le domaine médical a été perçu avec beaucoup d'intérêt par les médecins. MYCIN [Shortliffe,1976], système expert de diagnostic en médecine viscérale, en est probablement l'exemple phare. Il a notamment permis d'identifier des micro-organismes responsables d'infections. Le développement de ces systèmes est d'autant plus marqué que l'avance dans la recherche médicale s'accompagne de l'utilisation de moyens informatiques de plus en plus puissants visant à faciliter le travail au médecin. Ainsi, le développement des systèmes experts et autres systèmes à base de connaissances ont permis le rapprochement entre médecins et ingénieurs biomédicaux.

2. Définition de l'aide à la décision médicale :

L'Aide à la décision clinique¹, permet de « fournir aux cliniciens ou aux patients des connaissances cliniques ou des données relatives au patient, filtrées intelligemment et présentées au moment opportun pour faciliter la démarche de soin»².

3. Caractéristiques des systèmes d'aide à la décision :

Le concept de Système d'Aide à la Décision (SAD) est apparu dans la littérature dans les années 70 [Little, 1970; Gorry et Scott-Morton, 1971]. Ce sont des outils spécifiquement développés pour supporter la prise de décision. Les SAD se caractérisent principalement par leur interactivité, leur flexibilité et leur adaptabilité. Le développement de tels systèmes implique l'utilisation de techniques issues de divers domaines comme l'informatique, la recherche opérationnelle, l'intelligence artificielle, l'ingénierie logicielle, l'interaction homme-machine et les télécommunications.

¹ clinical decision support

² Clinical Decision Support Implementers' Workbook, Osheroff et al. HIMSS 2004

Les SAD sont particulièrement utiles pour aider à résoudre des problèmes complexes de grande dimension et ayant des objectifs fortement dépendants des préférences de l'utilisateur.

Le domaine des SAD est très vaste. Quelques auteurs proposent des états de l'art relativement complets [Davis et al, 1986; Lévine et Pomerol, 1990].

4. Définition du diagnostic médical :

Étymologiquement, diagnostic vient du grec "Diagnosis " : connaissance. A l'origine utilisé dans le domaine médical, ce terme signifie « Le diagnostic est l'identification d'une maladie par ses symptômes »³. Ceux-ci ayant été analysés par l'interrogatoire et l'examen clinique, il ne reste plus au médecin qu'à puiser dans ses connaissances pour trouver la maladie en cause. Plus généralement, on peut le définir comme : un jugement porté sur une situation, sur un état. Mais l'interprétation du mot diagnostic possède de nombreuses significations suivant les interlocuteurs auxquels on s'adresse: le diagnostic financier d'une société concerne la vérification de son état financier, le diagnostic médical s'intéresse à déterminer une maladie pour identifier les causes, le diagnostic industriel, quand à lui, a pour objet de trouver la cause d'une défaillance [Zwingelstein G, 1995]. Les travaux de recherches sur le diagnostic ont mobilisé durant ces dernières années une large communauté de chercheurs [Balakrishnan, K., 1997], [Meneganti, M., 1998], [Palmero, G.I.S., 2005], [Vuckovic, A., 2002], [Wolf, A., 2003]. Il a aujourd'hui conquis sa place tel que la recherche dans ce domaine s'appuie sur la prise en compte de cas réels. Ce constant aller retour entre la réalité du terrain et l'avancée scientifique fait du diagnostic un terrain de recherche très intéressant.

En médecine, le diagnostic est un acte essentiel, puisqu'il conduit à la définition du traitement le mieux adapté. Il exige de la part du médecin non seulement des connaissances théoriques et de l'expérience mais encore un jugement sûr et souvent, une véritable intuition, appelé "sens clinique". Le diagnostic médical consiste en l'identification de la physiopathologie précise causant la maladie⁴ du patient. Lorsque le diagnostic est posé, le médecin peut envisager le pronostic, c'est-à-dire prévoir l'évolution probable de la maladie selon l'influence de la thérapeutique. Le pronostic est le jugement que le médecin porte a priori

³ Selon le dictionnaire Larousse

⁴ Maladie ou pathologie

sur l'évolution d'une maladie, d'après son diagnostic et suivant les possibilités thérapeutiques, sur les différentes complications que la maladie peut présenter et sur son issue. Comme le diagnostic, le pronostic nécessite des connaissances théoriques ainsi qu'une expérience importante du médecin [Schmidt & Gierl 1997].

La figure 1 résume les activités de diagnostic et de pronostic médicaux.

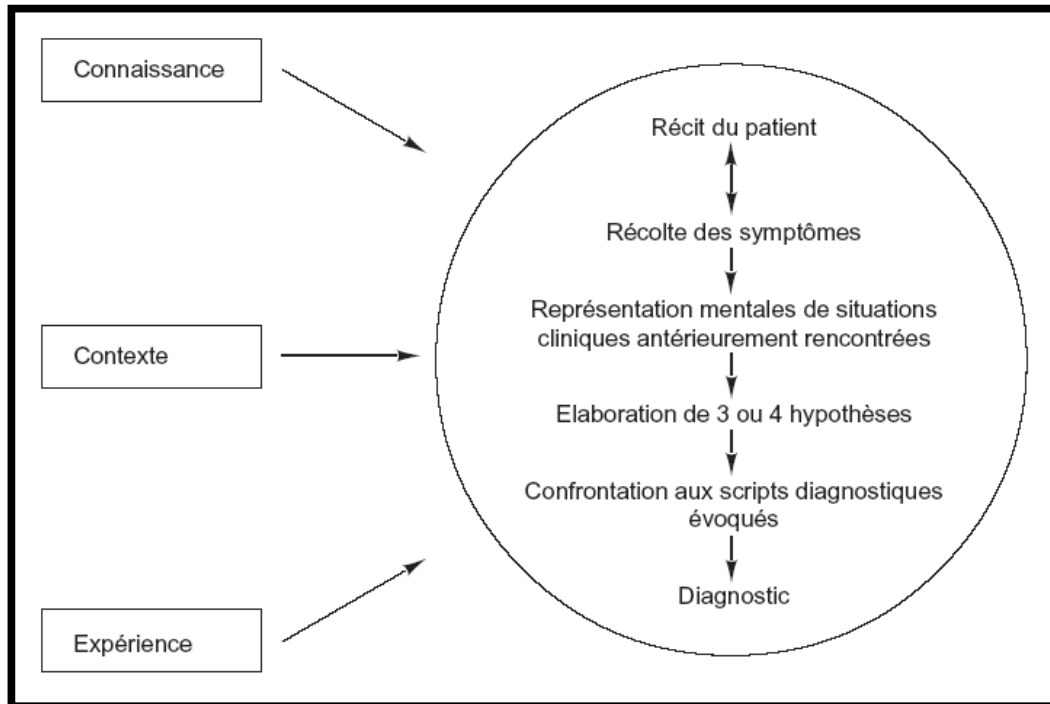


Fig 1 : Démarche du Diagnostic médical [Bowen J.L., 2006]

5. Intérêts et objectifs de l'aide au diagnostic médical :

Le domaine médical a su très rapidement intégrer des outils d'aide au diagnostic [Piater, J.H., 1995], [Vuckovic, A., 2002], [Wolf, A., 2003], [Yan, H., 2005] et la santé a constitué un enjeu très motivant pour les recherches dans ce domaine.

Mais il existe des difficultés au diagnostic médical qui peuvent être liées aux praticiens ou aux malades.

5.1 Pour les médecins :

Les possibilités de mémorisation sont inégales, les connaissances variables en fonction de l'ancienneté des études et d'un éventuel enseignement post-universitaire suivi. L'expérience, presque toujours

favorable, peut entraîner une fausse certitude de déjà vu avec moins de rigueur dans l'interrogatoire ou l'examen. Tel médecin peut avoir ponctuellement fatigue ou souci diminuant ses capacités de concentration.

Le cerveau humain ne serait pas fait pour garder un trop grand nombre de données, présentes à l'esprit en même temps ; ce qui rend très difficile l'approche tenant compte de tous les signes présents [Hewel, 1972].

De nombreuses études sur le raisonnement médical montrent que, généralement, le médecin élabore un petit nombre d'hypothèses (quatre à six), très tôt en phase d'examen, sur un faible nombre de signes caractéristiques (un à deux), avec un bon degré de fiabilité. [Pauker, 1976].

Ce qui arrive aussi parfois, c'est que le cerveau engagé dans une direction, bloque, par un phénomène d'induction négative, les autres voies: le diagnostic positif erroné exclut le diagnostic différentiel qui paraît inutile cela peut même entraîner une hypothèse diagnostique élaborée avant la fin de l'examen, qui n'est plus systématique, mais orienté par la première « impression » ou « intuition ».

5.2 Pour les maladies :

Leur expression peut être trompeuse. Un signe peut bloquer la bonne voie diagnostique. Les systèmes d'aide au diagnostic impliquent pour les médecins deux comportements différents :

- En phase d'exploitation, le médecin peut s'appuyer sur les déductions auxquelles le système est arrivé.
- En phase de révision, le médecin peut simuler des multitudes de symptômes et observer les déductions du système. Dans ce cas, le système permet au médecin pratiquant, non seulement de réviser ses connaissances, mais d'affiner son diagnostic.

les expériences passées ont montré que les systèmes développés dans le domaine d'aide au diagnostic médical ont globalement abouti à une impasse, pour les raisons suivantes :

- Pendant que l'ensemble des recherches se focalisaient sur la construction d'un diagnostic, les praticiens se détournaient de ces ((boîtes noires)) qui affichaient la prétention de les priver de la partie la plus intéressante de leur activité; alors même qu'ils n'émettaient pas la requête d'obtenir une aide dans ce domaine [I. Amoura et P. Bourgeois, 1996]. Comme le

remarque R. Salamon dans sa préface de l'ouvrage de B. Grenier [E. J. Berk, 1996], ces systèmes ont été perçus comme les

➤ instruments d'une intrusion de l'informatique dans le secteur de la santé et non pas comme une réponse aux véritables préoccupations.

➤ Les modèles de raisonnement développés dans les années 60-80 s'appuyaient sur des théories statistiques complexes dont l'appropriation des résultats nécessitaient des connaissances que peu de praticiens possédaient, ou sur des méthodes basées sur l'implication logique, incapables de modéliser la complexité des situations réelles [D. Kayser, 1997].

L'informatique a fait son apparition à tous les niveaux du système de santé. A présent, les médecins émettent la requête d'obtenir une aide dans leur pratique.

En ce qui concerne le deuxième point, pour les méthodes relevant de l'Intelligence Artificielle, la recherche sur la modélisation des raisonnements peut s'appuyer sur des extensions de la logique classique comme la logique multi-valuée, la logique floue ou les logiques modales. Le développement de méthodes basées sur les réseaux de neurones ouvre de nouvelles voies à la représentation de processus de classification. Les capacités accrues des ordinateurs pour l'exécution des programmes et le stockage des informations autorisent le développement d'algorithmes toujours plus complexes. L'intégration de l'enseignement de l'épidémiologie, de la statistique et de l'informatique dans certains cursus médicaux, a familiarisé les différents décideurs à la manipulation des outils relevant de ces disciplines. Ces outils sont devenus faciles d'accès grâce à des logiciels de plus en plus ergonomiques, même si cette accessibilité plus grande a révélé de nouveaux problèmes dus à une utilisation inconsidérée des logiciels [G. Booch, J. Rumbaugh, et I. Jacobson, 1997].

Aujourd'hui, on constate que les médecins doivent manipuler un nombre important d'informations (accroissement d'ailleurs du dans la plupart des cas à l'informatique). Dans ce contexte, l'ordinateur peut devenir un support important dans l'étape diagnostique, mais que cela concerne uniquement la partie du diagnostic qui peut être structurée, généralisée et rendue objective. Ceci signifie que les ordinateurs ne doivent pas remplacer le médecin mais au contraire l'assister dans sa pratique.

Chapitre 1 : Caractéristiques des systèmes d'aide à la décision et au diagnostic médical

L'aide fournie par l'ordinateur, peut se matérialiser par une liste de suggestions faites au praticien quant à la conduite à tenir, la proposition d'un ensemble de diagnostics à envisager ou des avertissements au sujet de contre-indications thérapeutiques [G. Booch, 1997].

Le point de départ de la conception d'un système doit donc être la définition de ses objectifs en fonction de l'analyse des besoins des utilisateurs et des caractéristiques des problèmes posés.

Quatre types d'objectifs des systèmes d'aide à la décision médicale [Perreault et Metzger, 1999]:

- « Administratif »: fournit une aide au codage et à la documentation des actes et diagnostics cliniques, pour l'organisation des procédures de soins, des consultations et des prises de rendez-vous.
- « Gérer les situations cliniques complexes »: les patients justifiant un traitement ou suivi au long cours ou en plusieurs séances (protocoles de chimiothérapie ou de recherche cliniques), traçabilité des prescriptions, des RV, rappels de mesures préventives.
- « Contrôles des coûts »: surveillance et estimation des erreurs de prescription, prévention des prescriptions inutiles, répétées ou redondantes
- « Aide à la décision »: diagnostic clinique et plan thérapeutique. Promouvoir les bonnes pratiques, la mise en œuvre de recommandations de pratiques nationales concernant des pathologies particulières, les politiques de santé publiques.

Notre travail vise à atteindre le quatrième objectif à savoir l'aide à la décision et au diagnostic médical pour une meilleure prise en charge du patient.

Objectifs spécifiques :

- Améliorer la prise en charge, suivi et surveillance des maladies chroniques fréquentes (ex: diabète).
- Personnaliser les soins délivrés à un patient donné
- Promouvoir les bonnes pratiques cliniques et favoriser le transfert de connaissances

Les objectifs d'un système dépendent des utilisateurs, de leurs fonctions et de leurs connaissances. Le degré d'aide à la décision et les

fonctions attendues doivent également être définis. Il existe ainsi trois grandes catégories de systèmes.

6. Typologie des systèmes d'aide à la décision médicale :

Il existe plusieurs types de systèmes d'aide à la décision médicale tel que :

6.1. Systèmes d'aide indirecte à la prise de décisions (les systèmes d'assistance documentaire) :

L'accès à l'information pertinente fait partie du processus de la décision et la prépare. En ce sens, l'accès aux résultats de laboratoire ou la consultation des éléments importants du dossier médical du patient constituent des aides indirecte à la décision. Cette aide intervient pour faciliter l'appréciation d'une situation par le médecin.

Ces facilités d'accès ont été plus ou moins intégrées dans les systèmes d'information hospitaliers. Les systèmes de bases de données concernant les médicaments et leurs interactions ou les références bibliographiques sont d'autres exemples de systèmes pouvant intervenir dans la décision médicale.

L'objectif des systèmes d'aide à la documentation est donc de faciliter le recueil des données cliniques en proposant aux cliniciens des outils s'intégrant dans leur démarche clinique et leur permettant une saisie simple et rapide des données pertinentes dans le contexte spécifique du patient.

Les systèmes d'aide à la documentation peuvent être déclenchés par différents évènements :

- Soit automatiquement, par exemple, après la saisie par l'utilisateur d'un diagnostic dans la liste des problèmes du patient, ou en cas de données manquantes lors de la prescription d'un médicament (mesure de la créatinine par exemple).
- Soit à la demande de l'utilisateur, par sélection d'un problème du patient et choix d'un formulaire à partir de menus hiérarchisés comportant la liste des formulaires spécifiques associés au problème.

Aujourd'hui, ces outils permettent de stocker l'information ou le savoir médical et mettent en œuvre des procédures d'accès à l'information stéréotypées. Ils fournissent des renseignements non personnalisés. En médecine, les chercheurs en intelligence artificielle ne leur ont pas encore, en général, prêté beaucoup attention. Cette aide à la décision est donc

restée pour le moment, presque exclusivement, du domaine des méthodes de programmation classiques.

Le système d'aide à la décision ADM [P. Lenoire, 1981] est actuellement toujours utilisé dans sa fonction documentaire. Nous pouvons également citer les systèmes de références bibliographiques tels que Medline [National Library of Medicine].

6.2. Systèmes d'aide à la prescription :

Les fonctions de base des systèmes de prescription informatisée, faciliter la prescription d'examens à visée diagnostique, la prescription de soins infirmiers ou de procédures de traitement et la prescription de médicaments.

Intégrés aux systèmes de gestion du dossier du patient, ils permettent la génération automatique de demandes d'examens ou d'ordonnances médicamenteuses, leur acheminement par messagerie vers les services prestataires, ainsi que l'impression ou l'enregistrement des prescriptions, des résultats d'examens et des médicaments prescrits dans le dossier du patient.

Le couplage d'un SADM aux systèmes de prescription permet l'implémentation de recommandations de pratique et de bon usage des soins pour améliorer la qualité et l'efficacité des soins. Il est aujourd'hui considéré comme le moyen le plus approprié pour l'introduction et l'intégration des SADM dans le processus de soins.

6.2.1. Prescription d'examens complémentaires :

Les fonctions d'aide à la prescription d'examens complémentaires ont pour objectifs de rappeler les examens recommandés dans une situation clinique donnée, de détecter et d'éviter la prescription d'examens inutiles ou doublonnés, de détecter les contre-indications entre un acte ou une procédure et les caractéristiques cliniques du patient, ou de prévenir les interactions entre un acte diagnostique et un médicament.

Ces fonctions donnent accès à des listes d'actes appropriés pour une situation clinique donnée (bilan pré-thérapeutique d'une tumeur du sein, protocole de surveillance d'un traitement médicamenteux). Selon les cas, ces listes peuvent être :

- Soit prédéfinies, comportant à la fois les examens systématiques et ceux pouvant être prescrits sous certaines conditions,

- Soit générées dynamiquement par le système, en tenant compte des données cliniques du patient afin de ne comporter que les actes appropriés, qu'ils soient systématiques ou optionnels.

Le déclenchement des interventions du SADM s'effectue :

- Soit automatiquement, à partir par exemple de l'entrée ou de la sélection d'un problème ou d'une prescription dans le dossier du patient.
- Soit à la demande de l'utilisateur, par sélection d'un problème du patient et le choix d'un formulaire approprié comportant la liste des formulaires spécifiques associés au problème, à partir d'un menu hiérarchisé.

Des fonctions de détection de doublons, de prescriptions d'actes non appropriés, ou de contre-indications peuvent être déclenchées et génèrent des alertes informant l'utilisateur d'un problème potentiel (interaction entre un examen et une affection ou un médicament, examen non approprié à la situation), ou des rappels signalant la duplication d'examens ou leur caractère non approprié.

Les systèmes d'aide à la prescription d'examens sont en général bien acceptés par les cliniciens, notamment parce qu'ils permettent des gains de temps (au prix d'un apprentissage initial) et s'intègrent bien dans le processus de travail. Ils ont en général un impact positif sur la qualité des pratiques.

6.2 .2 Prescription médicamenteuse :

Les systèmes d'aide à la prescription médicamenteuse ont pour objectif d'améliorer la sécurité des soins en réduisant les erreurs de prescription et les effets indésirables évitables, et de favoriser l'application des recommandations de pratique et de bon usage des médicaments.

Ces systèmes comportent des fonctions de base et des fonctions avancées. Les fonctions de base concernent :

- La vérification des interactions médicament / allergies,
- L'aide au choix de médicaments figurant dans le livret thérapeutique d'un établissement et à la sélection des médicaments les moins coûteux,

- La détection des prescriptions de plusieurs médicaments ayant les mêmes effets thérapeutiques,
- La vérification des interactions médicamenteuse avec des niveaux gradués d'alertes.

Les fonctions avancées concernent :

- Des fonctions complémentaires d'adaptation des doses par exemple en présence d'insuffisance rénale, de populations fragiles (enfants ou sujets âgés) ou encore en fonction de la sensibilité de germes bactériens,
- La proposition d'alternatives en cas d'interactions médicamenteuses,
- La vérification des interactions et contre-indications entre médicaments et maladies,
- La vérification des contre-indications entre médicaments et grossesse,
- La prescription d'examens associés pour la détection d'évènements indésirables liés aux médicaments prescrits ou pour l'évaluation de l'efficacité du traitement.

Différentes modalités d'intervention des SADM sont utilisées par les fonctions d'aide à la prescription médicamenteuse :

- Le rappel automatique de la liste des médicaments ou protocoles thérapeutiques recommandés dans une situation donnée, à partir des caractéristiques cliniques du patient,
- L'affichage d'alertes en cas de paramètres biologiques anormaux impliquant un risque, ou en cas d'interactions médicamenteuses,
- L'accès à des informations de référence (Résumé Produit, recommandations de pratique ou de bon usage etc.).

Correctement conçus et intégrés à la démarche clinique, ces systèmes permettent d'augmenter l'exactitude et la complétude des prescriptions ; ils peuvent offrir des gains de temps aux prescripteurs aussi bien qu'aux services prestataires (pharmacie, prestataires d'examens diagnostiques), ce qui améliore leur acceptabilité.

De plus, l'utilisation de fonctions permettant l'utilisation de protocoles de prescription préétablis, et les bénéfices associés au SADM (tels que la génération, l'impression ou l'envoi par email des ordonnances vers les services de soins et la pharmacie) entraînent des gains de temps pour l'ensemble des soignants ; ils ont ainsi un effet positif sur leur satisfaction et leur perception de l'utilité du système, ce qui en facilite l'acceptation.

Ces systèmes, qu'ils soient utilisés en ambulatoire ou en hospitalisation, ont le plus souvent un impact positif sur la conformité des prescriptions aux recommandations de pratique, la réduction des erreurs de prescription et des effets indésirables et la réduction des coûts.

Cependant les cliniciens ignorent fréquemment les alertes et recommandations et estiment l'utilisation des systèmes de prescription difficile et génératrice de pertes de temps par rapport aux prescriptions sur papier.

6.3. Systèmes de rappels automatiques (les systèmes d'alerte) :

Certains systèmes permettent de rappeler au médecin des erreurs à ne pas commettre ou des éléments importants à prendre en compte pour la décision. Ils jouent le rôle de garde fous ou de chiens de garde⁵. Ils sont plus actifs, plus directement impliqués dans la décision médicale. L'assistance fournie n'est pas une aide au raisonnement ou à l'appréhension globale du cas du patient, mais plutôt un aide-mémoire fournissant une information utile et pertinente dans une situation facile à définir a priori. Ainsi par exemple, le rappel des valeurs normales des résultats d'examen de biologie et l'utilisation d'une typographie permettant d'attirer l'attention sur les valeurs anormales constituent une aide simple mais dont l'utilité est parfaitement démontrée. L'émission d'un message de mise en garde devant une association de médicaments déconseillée est un autre exemple plus élaboré. Dans les systèmes d'information classiques, la conception des logiciels, déroulant des algorithmes figés, permet la prise en compte d'un nombre de situations généralement assez faible. Les connaissances médicales qu'ils mettent en œuvre sont habituellement assez élémentaires et/ou peu diversifiées. Quelques équipes se sont intéressées à ce type d'applications en utilisant des techniques d'intelligence artificielle. Ainsi, peut-on classer le système HELP développé au Latter Day Saints Hospital de Salt Lake City par le groupe d'Homer Warner [Pryor, 1983].

⁵ watchdog systems

6.4. Les systèmes consultants :

Les systèmes consultants cherchent à donner un avis au spécialiste en raisonnant sur une situation médicale définie, qu'elle soit de nature diagnostique, thérapeutique ou pronostique. Les développeurs se sont principalement intéressés à ce type de système dont la conception est intellectuellement plus satisfaisante que celles des systèmes n'utilisant pas de véritables processus de raisonnement. Effectivement, c'est dans cette catégorie que l'on note le plus de réalisation en matière de systèmes d'aide à la décision, les systèmes experts médicaux peuvent être classés dans cette catégorie. Il faut remarquer cependant que le domaine médical a surtout fourni, à ce jour, un support et des exemples permettant de tester un mode de raisonnement ou de représentation des connaissances. Plus rares sont les développements de véritables applications répondant à un problème médical précis, validées avec une méthodologie rigoureuse et utilisable en clinique courante. Cependant, nous passerons en revue un certain nombre d'entre eux dans la partie traitant de la méthodologie décisionnelle.

7. Méthodologie de l'aide à la décision médicale :

La littérature compte plusieurs approches permettant l'aide à la décision tel que :

7.1 L'Approche purement numérique de l'aide à la décision :

Cette approche, basée principalement sur la mise en œuvre d'algorithmes numériques (comme l'analyse discriminante ou le théorème de Bayes) a été historiquement la première utilisée dans les systèmes d'aide à la décision. Elle a donné lieu à de très nombreuses réalisations qui ne s'opposent pas mais complètent l'approche symbolique de l'intelligence artificielle.

7.1.1 Les analyses discriminantes et les méthodes statistique multidimensionnelles [Fisher, 1936]:

Pour l'aide à la décision (diagnostic par exemple), ces méthodes sont appliquées sur un échantillon de cas (dont on connaît le diagnostic) pour déterminer la fonction discriminante. Schématiquement, si l'on suppose que l'on cherche à discriminer les sujets malades des non malades, on peut dire qu'il s'agit, dans un espace à p-dimensions correspondant aux variables décrivant les patients, de trouver le plan qui sépare au mieux (au sens d'un certain critère) les points correspondant aux malades et les points correspondant aux sujets sains.

Cette fonction obtenue est testée sur un autre échantillon de données afin d'évaluer sa validité. De nombreuses méthodes ont été proposées [Nakache, 1976] et appliquées dans différents domaines médicaux [François, 1990].

7.1.2 Les systèmes bayésiens [T. Bayes, 1702]:

L'approche bayésienne a donné lieu à de nombreuses applications, parmi lesquelles celle de F.T. de Dombal à Leeds (G.B.) sur les douleurs abdominales aiguës est l'une des plus significatives [de Dombal, 1972]. Ce système utilise un modèle bayésien pour calculer les probabilités des affections se manifestant par des douleurs abdominales aiguës. Chaque patient est défini par 35 à 40 variables et les 7 catégories diagnostiques connues du système sont l'appendicite, la diverticulite, la perforation d'ulcère duodénal, l'occlusion du grêle et les douleurs abdominales non spécifiques. Les résultats des différentes évaluations pratiquées montrent que le niveau de performance du système se situe, en moyenne, au-dessus de celui des experts. La qualité des soins pratiqués avec et sans l'assistance du système a été analysée [de Dombal, 1979].

D'autres études d'évaluation ont été réalisées par l'équipe de Leeds. L'une d'elles [de Dombal, 1974], en particulier, a montré que le taux d'appendicites perforées (indicateur d'interventions tardives) diminue de 40 à 5 % pendant la période d'utilisation du système. Après arrêt de son utilisation, un mois plus tard, on retrouve 20 % d'appendicites perforées.

7.2. L'approche intelligence artificielle :

Rasmussen [Rasmussen, 1983] a modélisé les performances humaines selon trois niveaux de comportements :

- les habiletés⁶ qui permettent des opérations rapides du type stimulus-réponse et sont le résultat d'un apprentissage, d'un entraînement.
- les procédés⁷ qui sont un niveau de manipulation de règles de savoir-faire ou de procédures.
- le comportement basé sur la connaissance⁸.

⁶ skill-based behavior

⁷ rule-based behavior

⁸ knowledge-based behavior

8. Raisonnement médical :

Dans un premier temps, nous définissons le raisonnement puis nous énumérons les types de raisonnements utilisés plus spécifiquement dans le milieu médical.

8.1. Définition :

Les raisonnements sont les activités mentales qui consistent à augmenter l'information disponible en produisant de nouvelles informations à partir d'informations existantes. Ces informations nouvelles sont tenues pour fiables ou sont considérées comme des hypothèses à valider par la recherche d'informations appropriées [Richard, 1990]. Selon [Caverni et al, 1994], ces activités mentales sont produites par un système formel ou humain.

On distingue souvent les raisonnements par le rapport des propositions qui servent de point de départ aux conclusions :

- La déduction : est un type de raisonnement qui va du général au particulier, du principe à la conséquence. Il permet de déduire des conclusions valides à partir d'un ensemble de prémisses, c'est une approche descendante.

- L'induction : montre une proposition générale à partir d'observations particulières. Cette approche est ascendante : à partir d'exemples, on déduit des règles qui décrivent ces exemples. Si ces règles sont bonnes, elles s'appliquent non seulement à ces exemples particuliers mais aussi d'une manière générale.

- L'abduction : ce raisonnement cherche à attacher des classes possibles à un ensemble de prémisses. Il permet, en remontant des conclusions aux hypothèses, de déterminer les causes susceptibles d'expliquer un fait.

- l'analogie : « C'est le procédé qui consiste à affecter une ou plusieurs propriétés à un objet (la cible) sachant qu'un objet de référence (la base) la ou les possède déjà. Ce transfert peut nécessiter ou induire l'apparition d'autres propriétés sur la cible » [Bourelly & Savelli 1992]. L'analogie exploite des relations de correspondances et des relations de dépendances afin de transposer des connaissances d'un univers à un autre [Coulon et al. 1990]. L'analogie se fonde sur la notion de similitude de termes dans un certain univers, du type : A est à B ce que C est à D [Haton 1991].

Du point de vue médical, le raisonnement de diagnostic utilise souvent des données incertaines. D'ailleurs, [Boreham, 1995] souligne le fait que, pour comprendre les avantages de la stratégie experte du diagnostic, il est nécessaire de se rendre compte du haut niveau d'incertitude dans cet environnement de tâche particulier.

8.2. Modèles de raisonnement médical:

La classification établie par Murphy et rappelée par [Williams, 1982] distingue quatre approches de diagnostic [Fieschi, 1986], selon les approches de type :

- a) Exhaustif : elle ne peut être recommandée comme une méthode générale applicable en routine devant tout malade car elle nécessite un nombre important de données sur le patient difficile, voire impossible, à obtenir.
- b) "GESALT"⁹ : elle nie la possibilité de décomposer tous les phénomènes en une somme de constituants élémentaires. Elle affirme que l'interprétation de certains éléments ne peut pas être dérivée de la somme de ses parties. Elle inclut des notions d'intuition et de données non verbales. Cette approche est liée à l'identification du trait pertinent.
- c) Algorithmique : cette approche suggère que les règles de connaissances ne soient pas ambiguës et propose un guide pour agir de manière séquentielle. Ces algorithmes réalisent une véritable "architecture de base" permettant de repérer les principales situations qui peuvent se présenter.
- d) Hypothético-déductif : cette approche conditionne la saisie des données. Cette approche est la plus développée dans les modèles des années 80. Elle est à l'origine de nombreux systèmes d'aide. Cette approche est développée par la suite.

Ces approches ne sont pas mutuellement exclusives et suivant le problème auquel il est confronté, le médecin en fait une utilisation combinée [Fieschi 1986].

La méthode hypothético-déductive est la plus utilisée et la plus pédagogique. Plusieurs versions de modèles hypothético-déductifs du raisonnement de diagnostic existent.

⁹ Mot allemand signifiant "configuration"

Dans le modèle typique suivant, le diagnostic est représenté par une séquence de phases [Boreham 1995] [Elstein et al. 1978] [Gonzalez & Faure 1988] :

1. formulation d'hypothèses, par exemple la liste des maladies cohérentes avec les problèmes du patient
2. recherche d'informations, par exemple rassembler d'avantages d'informations en rapport avec les maladies supposées
3. interprétation des données, par exemple classer les constatations anormales suivant qu'elles confirment, infirment ou n'apportent aucune contribution.
4. évaluation des hypothèses, par exemple accepter ou rejeter des maladies supposées ou les classer par ordre de probabilité.

L'expertise dans ce type de modèle dépend de l'habileté à tester les hypothèses. Elle peut être définie en terme de stratégies de recherche efficaces évitant les questions inutiles et redondantes. Cependant, le fait de modéliser l'expertise dans le diagnostic par une méthode hypothético-déductive échoue. Quatre constatations argumentent en faveur de ce constat [Boreham 1995] :

- de nombreuses études montrent que l'expertise de diagnostic dépend des cas étudiés par le médecin : le diagnostic dépend de l'expérience du médecin.
- bien qu'une différence fut trouvée dans la stratégie de recherche d'informations par questionnaire, l'expert a tendance à poser moins de questions et chacune produit de meilleurs résultats en termes de réduction d'incertitude [Leaper et al, 1973].
- la méthode hypothético-déductive elle-même peut être source d'erreurs. La formulation d'hypothèses mène à la fermeture prématurée et restreint la collecte d'informations ce qui réduit la précision du diagnostic si les hypothèses initiales sont fausses [Elstein et al. 1978].
- les diagnosticiens experts se distinguent des non-experts par le contenu des hypothèses : les experts sont plus à même d'inclure le diagnostic correct dans l'ensemble des hypothèses initiales [Boreham 1995].

Dans le raisonnement hypothético-déductif, le diagnostic est représenté par un procédé de recherche séquentielle qui rejette un ensemble d'hypothèses et converge vers un ensemble plus petit, qui est accepté.

Cependant, pour que cette stratégie soit applicable, il est nécessaire de disposer d'un ensemble suffisamment large de prémisses pour en déduire la valeur de vérité de toutes les hypothèses à tester. Dans un bon nombre de contextes réels, le diagnostic médical ne peut s'appuyer sur des données aussi étendues. De ce fait, le raisonnement employé ne peut pas s'expliquer dans le cadre strict de la logique hypothético-déductive [Boreham 1995].

Actuellement, ces modèles hypothético-déductifs du diagnostic expert ne sont pas complètement écartés. Cependant, ils sont vus comme des méthodes de résolution de problème limitées et utilisées plus fréquemment par des novices [Boreham, 1995].

Des travaux de recherche antérieurs [Boreham, 1995] suggèrent que, lorsque les données sont insuffisantes au test déductif des hypothèses du diagnostic, les médecins expérimentés utilisent des données situationnelles et ne raisonnent pas de façon déductive. [Boreham et al, 1996] propose un modèle de raisonnement diagnostique qui articule des données situationnelles et des données directement accessibles, en s'appuyant sur la logique de l'abduction. Reasonner à partir de données situationnelles ne peut pas être modélisé en termes de logique déductive car, par définition, ce type de données ne peut établir des valeurs vraies d'une hypothèse. C'est plutôt utilisé pour spécifier un nombre limité d'hypothèses qui sont sujettes pour des tests concluants. Des critères sont proposés pour déterminer si une abduction est justifiée ou non. La conclusion est que la logique abductive peut rendre compte des aspects du raisonnement diagnostique qui ne sont pas expliqués par les modèles traditionnels de type hypothético-déductif [Boreham et al, 1996].

Une autre proposition pour modéliser le raisonnement de diagnostic est de modéliser des structures de maladies qui sont des structures schématiques de connaissances qui représentent et organisent les données du modèle de patient attendu pour une maladie donnée [Pople, 1977]. A travers l'expérience des différentes manifestations des maladies de plusieurs patients, un expert différencie une simple structure de maladie parmi de nombreuses variantes. Le raisonnement de diagnostic procède en assortissant les données patient avec les structures de maladies stockées en mémoire [Johnston et al, 1981] [Boreham, 1995]. Il s'agit ici d'un raisonnement analogique.

Une brève revue des systèmes d'aide en médecine utilisant ces approches est présentée dans la partie suivante.

9. Techniques de représentation des connaissances :

Il en existe de nombreuses techniques pouvant être utilisées et nous en présentons les plus répandues dans cette section ainsi que les avantages et inconvénients de chacune. Une technique de représentation des connaissances est une façon de représenter la connaissance pour qu'elle soit utilisée pour inférer des nouvelles connaissances.

9.1. Les systèmes à base de règles :

Un système à base de règles comporte trois parties :

1. une base de règles,
2. une base de faits,
3. un moteur d'inférences.

La base de règles contient l'ensemble des règles de production du système. Cette base représente la connaissance opératoire que l'expert a du domaine du problème. Le moteur d'inférences, quant à lui, contrôle l'activité du système et est souvent couplé à un module permettant d'expliquer le raisonnement du système. L'élément de base des systèmes à base de règles est la règle de production. Une règle de production est de la forme : SI <condition> ALORS <action>. Cette technique de représentation de la connaissance consiste à définir un ensemble de règles de production qui modélisent la connaissance considérée [Kass, 1987]. Les systèmes à base de règles sont les plus aptes à modéliser des connaissances de type procédural [Haton et al., 1991]. Le fameux système Mycin pour le diagnostic médical, est l'exemple de système dont la connaissance est représentée sous forme de règles de production.

9.1.1. Avantages de cette technique :

Les systèmes à base de règles permettent notamment d'exprimer facilement des processus de résolution de problèmes en termes de buts et de sous buts qui sont atteints en réalisant des successions d'actions. Ils permettent ainsi en général de bien résoudre les problèmes de causalité ou de diagnostic. Ils offrent également un cadre déclaratif pour exprimer des connaissances procédurales ou des savoir-faire. La connaissance est exprimée de façon uniforme par des règles et des faits [Barr et Feigenbaum, 1981].

9.1.2. Inconvénients de cette technique :

Dans ces systèmes à base de règles, la connaissance n'est pas structurée et l'information concernant un objet quelconque est éparpillée au sein des différentes règles qui parlent de cet objet. De plus, les règles expriment souvent une connaissance apparente, superficielle, susceptible d'occulter le raisonnement profond de l'expert humain [Haton et al., 1991].

9.2. Les réseaux sémantiques :

Un réseau sémantique est un graphe composé d'un ensemble de nœuds qui représentent des concepts d'entité, attribut, objet, événement, état, etc. et d'un ensemble d'arcs orientés, liant deux nœuds, qui représentent des relations binaires entre ces concepts et étiquetés où chaque étiquette spécifie le type de relation modélisée. Les réseaux sémantiques ont été mis en œuvre par Quillian (cité dans [Haton et al., 1991]) comme un modèle psychologique explicite de la mémoire associative humaine : la mémoire est vue comme un réseau d'unités d'informations. Ces unités étant activées par un mécanisme qui propage des signaux à travers le réseau, la « procédure d'activation ».

9.2.1. Avantages de cette technique :

Les réseaux sémantiques sont bien adaptés aux domaines où les concepts sont simples et fortement liés entre eux. La représentation à base de réseaux sémantiques rend visible les diverses relations existantes entre les objets. Sur cette représentation sous forme de graphe, le mécanisme de filtrage permet de récupérer des informations explicites ou implicites de la base de réseaux à la manière des associations mentales de l'être humain.

9.2.2. Inconvénients de cette technique :

L'inconvénient majeur des réseaux sémantiques est que le concepteur du réseau a du mal à déterminer le niveau de détail et les structures générales nécessaires à la bonne expression d'une proposition. De plus, la seule information attachée à un nœud est son nom, complété par une étiquette. Cette simplification pose plusieurs problèmes. Le premier problème rencontré est qu'il est difficile d'exprimer des propositions ayant des quantificateurs universels, existentiels et numériques. Le deuxième problème est que les réseaux sémantiques offrent une représentation statique du monde, ce qui rend difficile la modélisation de l'évolution de l'information.

9.3. Les systèmes basés sur la logique :

La logique mathématique figure parmi les premiers outils utilisés par l'intelligence artificielle pour formaliser la connaissance. La logique la plus utilisée est la logique des prédicats du premier ordre. La connaissance de l'apprenant est alors représentée sous la forme d'un ensemble de formules auxquelles sont associées des valeurs de vérité, ainsi qu'un mécanisme qui permet d'inférer de nouvelles formules à partir des connaissances possédées jusque-là. On peut distinguer parmi les logiques utilisées :

- La logique classique.
- Les logiques multivaluées. Ce sont des formalismes logiques qui utilisent plus de deux valeurs de vérité.
- La logique probabiliste. Ce formalisme utilise des valeurs de vérité qui peuvent s'échelonner sur l'ensemble des réels compris entre 0 et 1. La valeur de vérité associée à une formule représente la probabilité que cette formule soit vraie.

9.3.1. Avantages de cette technique :

Le cadre formel de la logique mathématique permet de manipuler directement certaines notions cognitives élémentaires en leur donnant un sens précis. La logique fournit un formalisme clair et non ambigu. Cette clarté vient, d'une part, du fait que la signification d'une formule ne dépend que de sa structure et de la signification donnée à ses composants atomiques et, d'autre part, du fait que le langage d'expression logique est proche du langage naturel.

9.3.2. Inconvénients de cette technique :

Le premier inconvénient, et non des moindres, est que la représentation d'objets complexes est difficile. En effet, un objet est décrit par son nom qui ne porte pas d'information sur son sens et sa structure. Les composants, propriétés et relations des objets sont, eux aussi, décrits par des noms. Ces éléments sont liés entre eux et avec l'objet par des formules logiques. Comme l'ensemble des formules de la base n'a pas de structure, la connaissance d'un objet est disséminée dans des formules différentes, non organisées. Il y a donc une grande distance entre le modèle et les éléments du monde, qui complique l'acquisition des connaissances, la compréhension et la modification de la représentation, et la vérification de sa cohérence.

Le deuxième problème vient du fait que les mécanismes de raisonnement utilisent des algorithmes généraux qui ne sont pas toujours assez efficaces pour la résolution de problèmes nécessitant un grand volume de connaissances. Le dernier problème tient au fait que la logique des prédicats ne permette pas de représenter des connaissances incomplètes.

10. Quelques exemples de systèmes d'aide en médecine :

La médecine a été un champ d'application visé de façon privilégiée par les systèmes d'aide à la décision. Ainsi, la simulation d'un diagnostic médical a été l'une des tâches réalisées par les premiers systèmes experts [Gonzalez & Faure 1988].

Concernant le milieu médical, deux périodes marquent la conception des outils d'aide à la décision. Les méthodes mettant en œuvre les concepts de la Théorie de la Décision ont d'abord été développées. Les systèmes experts, issus des recherches en Intelligence Artificielle, inaugurent une seconde période [Gonzales & Faure 1988].

Les premières applications médicales, utilisant la Théorie de la Décision, se sont centrées sur :

- la recherche du diagnostic le plus probable dans un domaine restreint de spécialité, sur la base de signes que présenterait un patient : par exemple, les travaux de [De Dombal, 1972] à propos du diagnostic de douleurs abdominales aiguës.
- la sélection d'une action à entreprendre à la suite d'une consultation : par exemple, [Schwartz et al., 1973] à propos d'un cas d'hypertension sévère où il s'agit de décider entre un traitement immédiat et des examens complémentaires.

Cependant, l'aide que proposent ces méthodes a dû être jugée inadaptée par les médecins soit parce qu'ils considèrent que les connaissances prises en compte ne sont que partielles, soit parce qu'ils jugent que ce mode de représentation est arbitraire, ce qui peut expliquer que ces méthodes ne soient pas utilisées [Gonzales & Faure, 1988].

Durant la seconde période, les systèmes experts se sont développés dans le milieu médical. L'objectif de ces systèmes experts est de simuler un expert fiable dans un domaine limité d'expertise, afin de réaliser aussi bien ou mieux que lui des tâches qui relèvent de sa compétence reconnue d'expert [Gonzalez & Faure, 1988].

Chapitre 1 : Caractéristiques des systèmes d'aide à la décision et au diagnostic médical

Un des systèmes les plus connus est MYCIN. Il s'agit d'un système d'aide à la décision dans l'identification des micro-organismes responsables des infections. Il a été construit dans les années 70 par le Docteur Edward Shortliffe [Fieschi, 1986].

Plusieurs systèmes experts qui ont été développés touchent de nombreux domaines dans le milieu médical, à savoir :

- médecine interne : Internist, Cadiag, Toubib [Fieschi, 1986].
- fonctions respiratoires : VM, Centaur [Fieschi, 1986].
- radiologie : Radex [Fieschi, 1986], Phoenix [Kahn, 1991].
- infections : DoseChecker, GermAlert, GermWatcher [Kahn, 1993].
- anesthésie : Attending [Fieschi, 1986].
- problèmes rénaux : Pip, Nephros [Fieschi, 1986].
- prescription des antibiotiques : Anticipator [Fieschi, 1986].
- diabète : DIABAID est un système expert d'aide à l'adaptation de l'insulinothérapie [Fontaine et al., 1997].

A cela, s'ajoutent d'autres systèmes à base de connaissances utilisant, par exemple, le Raisonnement à partir de Cas :

- radiologie : ISIS (Intelligent Selection of Imaging Studies), système d'aide à la décision pour aider les médecins à choisir les procédures de diagnostic d'images [Kahn, 1994].
- problèmes psychiatriques : PSIQ, système utilisant le Raisonnement à partir de Cas pour le diagnostic et la Thérapie de désordres mentaux [Schwartz et al., 1997].
- prescription des antibiotiques : ICONS, conseillé en thérapie d'antibiotique calculant les combinaisons des thérapies d'antibiotiques pour des patients en soins intensifs ayant une maladie infectieuse avec complications [Schmidt & Gierl, 1997].

10. Conclusion :

Ce premier chapitre a introduit les principaux concepts du contexte général de ce travail, à savoir l'aide à la décision et au diagnostic médical, leurs caractéristiques, leurs rôles ainsi que leurs objectifs.

Un état de l'art des systèmes d'aide à la décision en médecine a mis en évidence le nombre important de systèmes développés dans ce domaine.



Chapitre 2

**APPORTS
DES SYSTEMES MULTI AGENTS
ET
DES ONTOLOGIES**

1. Introduction :

Le premier chapitre de ce document, nous a permis de mettre en évidence la problématique du diagnostic médical dans un contexte distribué. Les systèmes multi agents, faisant l'objet d'intérêts croissants, semblent particulièrement bien adaptés à la problématique (chap 1). L'idée est de multiplier les entités intelligentes et de les doter de facultés de communication afin qu'elles aient le moyen de communiquer entre elles pour que se construise par coopération une solution globale à un problème donné. Dans notre cas, le problème est de diagnostiquer. Pour résoudre des problèmes complexes, il peut être nécessaire et naturel de faire intervenir plusieurs points de vue, c'est à dire de faire coopérer différents experts utilisant des stratégies de résolution et des sources de connaissances distinctes. Chacun d'eux n'a qu'une vue partielle du problème et tend à atteindre un but qui peut être cohérent avec l'objectif général à atteindre.

La première partie de ce chapitre donne un panorama sur les systèmes multi agents. Nous décrivons les propriétés et lois qui émergent d'un système multi agent. Nous commençons par décrire l'aspect individuel (le comportement d'un agent) ensuite par étudier l'aspect collectif (comportement d'une société d'agents). Les interactions entre ces différentes entités intelligentes peuvent faire apparaître des phénomènes nouveaux comme l'émergence. En effet, chaque agent peut être spécialiste dans son domaine de compétence dans lequel il peut intervenir sans pour autant trouver la solution globale. En revanche, l'interaction entre les différents agents du système fait qu'il y a émergence de la solution globale.

La deuxième partie, définit l'ontologie et décrit les raisons qui nous ont conduit à utiliser les ontologies comme modèle de représentation de l'information dans notre système.

2. Caractéristiques des systèmes multi agents :

Nous aborderons d'abord le paradigme agent dans cette section pour comprendre les caractéristiques des systèmes multi agents.

2.1. Définitions d'un agent :

Il n'y a pas une définition acceptée à l'unanimité pour la notion d'agent. Dans ce qui suit, on présente les définitions les plus courantes.

- « Un agent est une entité qui perçoit son environnement et agit sur celui-ci » [Russell, 1997].
- Un agent est un système informatique, situé dans un environnement, et qui agit d'une façon autonome pour atteindre les objectifs (buts) pour lesquels il a été conçu [Wooldrige et Jennings, 1995].
- « 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.» [Shoham, 1993].
- 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 des interactions avec les autres agents [Ferber, 1995].

Dans ce document, nous retiendront La définition, qui semble couvrir les caractéristiques des agents que nous avons développés, est celle proposée par Jennings, et Wooldridge [Wooldrige et Jennings, 1995].

En partant de l'ouvrage de [Wooldrige et Jennings, 1995], et des définitions citées, on peut identifier les caractéristiques suivantes pour la notion d'agent :

- **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 ;

Chapitre 2 : Caractéristiques des SMA et Ontologies

- Proactif : l'agent doit exhiber un comportement proactif et opportuniste, tout en étant capable de prendre l'initiative au bon moment ;
- Social : l'agent doit être capable d'interagir avec des autres agents (logiciels ou humains) afin d'accomplir des tâches ou aider ces agents à accomplir les leurs.
- Intentionnalité : 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.
- Rationalité : 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.
- Engagement : 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 tout le plan qu'il a élaboré, ce qui le conduit (ainsi que les autres agents) à agir en conséquence.
- Adaptabilité : 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.
- Intelligence : Un agent intelligent est un agent cognitif, rationnel, intentionnel et adaptatif.

Bien entendu, certains agents auront des caractéristiques additionnelles et, pour certains types d'applications, certains attributs seront plus importants que d'autres. Par contre, c'est la présence de tous ces attributs dans une seule entité logicielle qui procure la force au paradigme agent et qui le distingue des autres paradigmes logiciels tels que les systèmes orientés objets, les systèmes distribués et les systèmes experts.

2.2. Typologies des Agents :

La conception du raisonnement d'un agent introduit automatiquement des approches de traitement des connaissances. Pour simplifier notre présentation, nous décrivons des raisonnements « réflexes » ou « réactifs » et des raisonnements de plus haut niveau (appelés raisonnements cognitifs). Le choix du type de raisonnement proposé par le concepteur est basé sur un large éventail de possibilités. Certes, il est évident que plus le raisonnement des agents est simple, plus les interactions entre agents devront être performantes afin de maîtriser la cohérence globale du système.

2.2.1 Agents réactifs : Les agents réactifs, sont des entités extrêmement simples ne disposant de presque aucune capacité de raisonnement, n'ayant pas de mémoire, n'étant pas capables de se représenter l'environnement, sont de plus bas niveau, ne disposent que d'un protocole et d'un langage de communication réduit, ne se comportant que sur le mode stimulus-réponse, mode situé très localement. Un agent réactif est un agent de faible granularité. Les premiers travaux relatifs à cette approche ont été réalisés au MIT en 1986 par R.BROOKS [Herceau et Ferber, 1991].

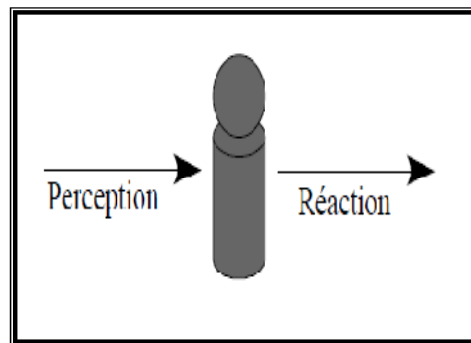


Fig 2 : Agent réactif

Les agents réactifs sont souvent qualifiés de non « intelligents ». Ils sont des composantes très simples qui perçoivent l'environnement et sont capables d'agir sur celui-ci. Ils n'ont pas une représentation symbolique de l'environnement ou des connaissances et ils ne possèdent pas de croyances, pas de mécanisme d'envoi de messages. Leurs capacités répondent uniquement au mode stimulus/action qui peut être considéré comme une forme de communication.

Un SMA constitué d'agents réactifs possède généralement un grand nombre d'agents et présente un comportement global intelligent. Les agents réactifs sont considérés intelligents au niveau du groupe. En conséquence, l'intelligence est distribuée entre beaucoup d'agents réactifs. Le comportement intelligent devrait émerger de l'interaction entre ces agents réactifs et l'environnement qui les entoure. L'architecture réactive la plus connue et la plus influente est celle proposée par Rodney Brooks ; elle s'appelle architecture de subsumption¹⁰. Une architecture de subsumption comporte plusieurs modules, chaque module étant responsable de la réalisation d'une tâche simple. Ces modules correspondent à des comportements spécifiques pour accomplir une tâche particulière, et s'appellent modules de compétence.

Les architectures réactives ont l'avantage de la simplicité et de l'efficacité de calcul. Pourtant, elles présentent plusieurs limitations, ce qui fait que ces architectures ne peuvent pas être utilisées dans de nombreuses classes d'applications. Les principales objections contre l'utilisation d'architectures réactives sont les suivantes : Les agents ont une vision de courte durée sur la résolution du problème, et ils ne peuvent pas toujours choisir la meilleure action à exécuter à un certain moment ; comme les agents réactifs ne maintiennent pas une représentation de l'environnement, ils ne peuvent pas avoir des buts ; dans ce cas, même le grand avantage de cette architecture, l'émergence de l'intelligence par interaction, peut devenir un désavantage, car des interactions indésirables peuvent émerger.

2.2.2 Agents cognitifs : A l'opposé, les autres agents, dits cognitifs, sont plus 'intelligents'. Plus complexes, ils peuvent se construire une représentation de l'environnement, ils possèdent une base de connaissances et ils sont aptes à mener un raisonnement étayé sur cette dernière, des capacités de raisonnement, ils peuvent tenir compte de leur passé et ainsi anticiper sur l'avenir pour planifier leurs actions. Ils peuvent aussi connaître les états mentaux des autres agents. Comme exemple de système multi agent cognitifs nous citerons la plate forme de développement de système multi-agents SARA (système multi agents pour le filtrage d'alarmes) [Khoualdi, 1994], CONDOR (système multi-agent pour le support des activités de conception de produits) [Iffencker, 1992].

¹⁰ En anglais "subsumption architecture".

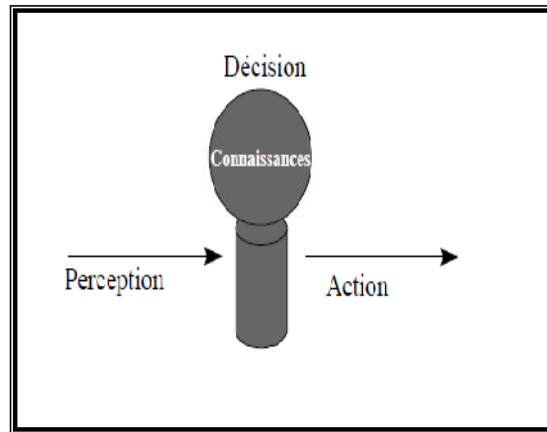


Fig 3 : Agent cognitif

C'est l'école cognitive qui, jusqu'à maintenant, a donné lieu aux applications les plus avancées. Toutefois, pour avoir le meilleur des deux solutions, à savoir architectures cognitives et réactives, les chercheurs ont conçu des architectures hybrides qui combinent les caractéristiques de ces deux architectures. Il est possible de concevoir des systèmes hétérogènes comportant les deux types d'agents. Il est aussi possible de doter les agents cognitifs de capacités de réactions aux événements : on parlera alors d'agents hybrides.

De nombreux travaux de recherche peuvent se classer dans ce type d'approche, notamment l'approche BDI qui repose sur le modèle "Croyance-Désir-Intention"¹¹, Dans ce qui suit, on va présenter d'une manière informelle, intuitive, la signification de ces trois éléments dans un modèle BDI.

- Le B = Belief (Croyance) : Les croyances d'un agent sont les informations que l'agent possède sur l'environnement et sur d'autres agents qui existent dans le même environnement. Les croyances peuvent être incorrectes, incomplètes ou incertaines et, de ce fait, elles sont différentes des connaissances de l'agent, qui sont des informations toujours vraies. Les croyances peuvent changer au fur et à mesure que l'agent, par sa capacité de perception ou par l'interaction avec d'autres agents, recueille plus d'information.

- Le D = Desire (Désir) : Les désirs d'un agent représentent les états de l'environnement, et parfois de lui-même, que l'agent aimerait voir réalisés. Un agent peut avoir des désirs contradictoires ; dans ce cas, il doit choisir parmi ses désirs un sous-ensemble qui soit consistant. Ce sous-ensemble consistant de ses désirs est parfois identifié avec les buts de l'agent.

¹¹ En anglais "Belief-Desire-Intention"

- Le I = Intention (Intention) : Les intentions d'un agent sont les désirs que l'agent a décidé d'accomplir ou les actions qu'il a décidé de faire pour accomplir ses désirs. Même si tous les désirs d'un agent sont consistants, l'agent peut ne pas être capable d'accomplir tous ses désirs à la fois.

L'agent a une représentation explicite de ses croyances, désirs et intentions. Les ensembles des croyances de l'agent, ses désirs et ses intentions peuvent être représentés au moyen de divers modèles de représentation de connaissances, par exemple en utilisant la logique des prédicats du premier ordre, une logique d'ordre supérieur, le modèle des règles de production, ou bien comme de simples structures de données.

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

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

Fig 4 : Différences entre agents cognitifs et agents réactifs [Reichgelt, 1990]

Notre architecture combine ces deux types d'agents pour tenter de retirer les avantages de chacun d'eux.

2.3 Fonctionnement d'un agent :

L'architecture fonctionnelle d'un agent cognitif est illustrée par la (fig 5). Les agents sont immergés dans un environnement dans lequel et avec lequel ils interagissent. Leur structure axée autour de trois fonctions principales : percevoir, décider et agir.

Un agent a la possibilité d'acquérir des connaissances sur son environnement (perception). Il a aussi des capacités d'interaction avec les autres agents (communication).

En fonction des connaissances et des croyances dont il dispose, et des buts qu'il se fixe suite à une perception ou à une interaction avec le monde extérieur ; l'agent doit élaborer un plan d'action. Pour cela, il doit décider du but à retenir et à satisfaire en premier, planifier en fonction de ce but et passer à l'exécution [Demazeau et Muller, 1990].

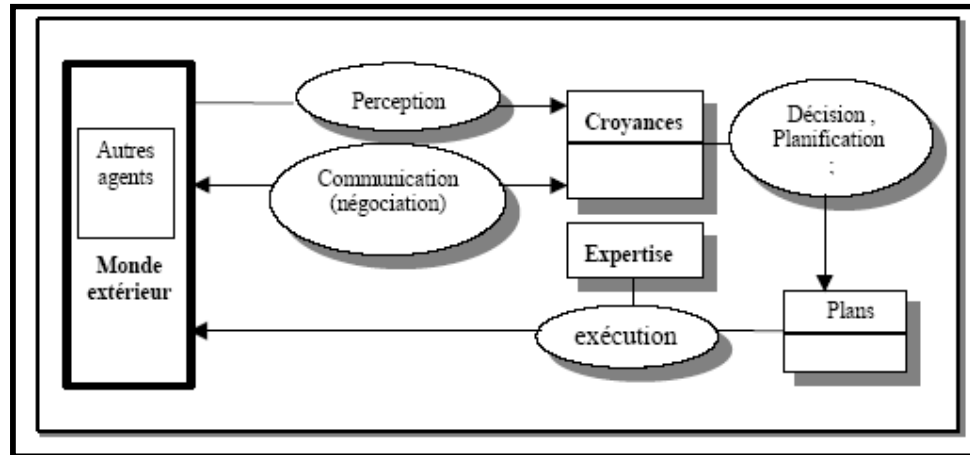


Fig 5 : Structure de fonctionnement de l'agent

Les différents modules représentés par la figure 5 sont présentés ci-dessous :

➤ Perception : Les connaissances d'un agent ont plusieurs origines :

- Le savoir initial de l'agent ;
- La perception de soi et du monde (ses accointances et son environnement) ;
- La communication avec les autres agents.

Les informations issues de la perception et du savoir initial de l'agent sont considérées comme des connaissances certaines puisqu'elles n'ont subi aucune mise à jour, alors que les connaissances provenant des autres agents sont considérées comme incertaines, puisqu'elles évoluent sans que l'agent en soit forcément informé. On peut pour cela associer, à chaque connaissance, son origine afin d'en évaluer la crédibilité et d'en permettre la vérification.

➤ **Prise de décision** : Durant son exécution, un agent se fixe un certain nombre de buts, suite à ses observations et à ses interactions avec le monde (perception, communication, négociation). Il se trouve donc confronté au problème de la sélection du but à satisfaire en premier et pour chaque but, de l'action (ou des actions) qui permet de l'atteindre. La prise de décision est une des caractéristiques des agents rationnels, l'agent tiendra compte de ses croyances pour faire son choix.

➤ **Planification** : La planification est le processus qui permet de déterminer la séquence d'actions permettant d'atteindre un but ; on parle de plan d'actions. Ce plan est constitué d'intentions, d'engagements, et de croyances sur l'univers qui l'entoure.

Cette section a présenté des systèmes où il n'y avait qu'un seul agent mais, dans la plupart des situations réelles, l'agent n'est pas seul dans son environnement, il y a d'autres agents présents autour de lui. Il nous faut donc aborder des systèmes où plusieurs agents doivent interagir entre eux pour effectuer leurs tâches. De tels systèmes sont appelés « systèmes multi agents »

2.4 Définition d'un système multi agents :

Un système multi agents est « un ensemble d'entités qui coordonnent leurs connaissances, buts, expériences et plans pour agir ou résoudre des problèmes, incluant le problème de la coordination inter-agent lui-même » [Mandiau et al, 2000 (a)]. Un système multi agents peut donc être défini comme une entité logicielle composée de plusieurs agents intelligents (fig6).

Dans [Ferber, 1995], un système multi-agents est défini de la façon suivante : On appelle système multi-agent (ou SMA), un système composé des éléments suivants :

1. Un environnement E , c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
2. 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 les agents.
3. Un ensemble A d'agents, qui sont des objets particuliers, lesquels représentent les entités actives du système.
4. Un ensemble de relations R qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.

5. Un ensemble d'opérations Op permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O .
6. Des opérateurs chargés 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.

Les agents composent un « système » car ils constituent un ensemble cohérent autour d'un « objet » commun. L'objet qui les relie peut prendre diverses formes : ce peut être un objectif commun (par exemple, diagnostiquer un système physique), ou un langage commun, le minimum étant un environnement commun. L'ensemble des agents forme un groupe parce qu'ils interagissent. Selon les objectifs qu'ils poursuivent et leurs capacités à les atteindre, l'interaction entre les membres du groupe peut être de type coopératif, conflictuel, ou tout autre type de relation intermédiaire entre ces deux extrêmes.

Alors que la description d'un agent donne une vision locale, la description du SMA (système multi agents) offre une vue globale et externe. Pour obtenir une vision complète, il faut ajouter la description intermédiaire qui concerne l'aspect « social », interne au système, des interactions entre les agents. C'est par l'intermédiaire de cette couche d'interactions que les comportements individuels interfèrent et composent le comportement global du système. Inversement, le comportement global influe sur les comportements individuels via cette couche sociale.

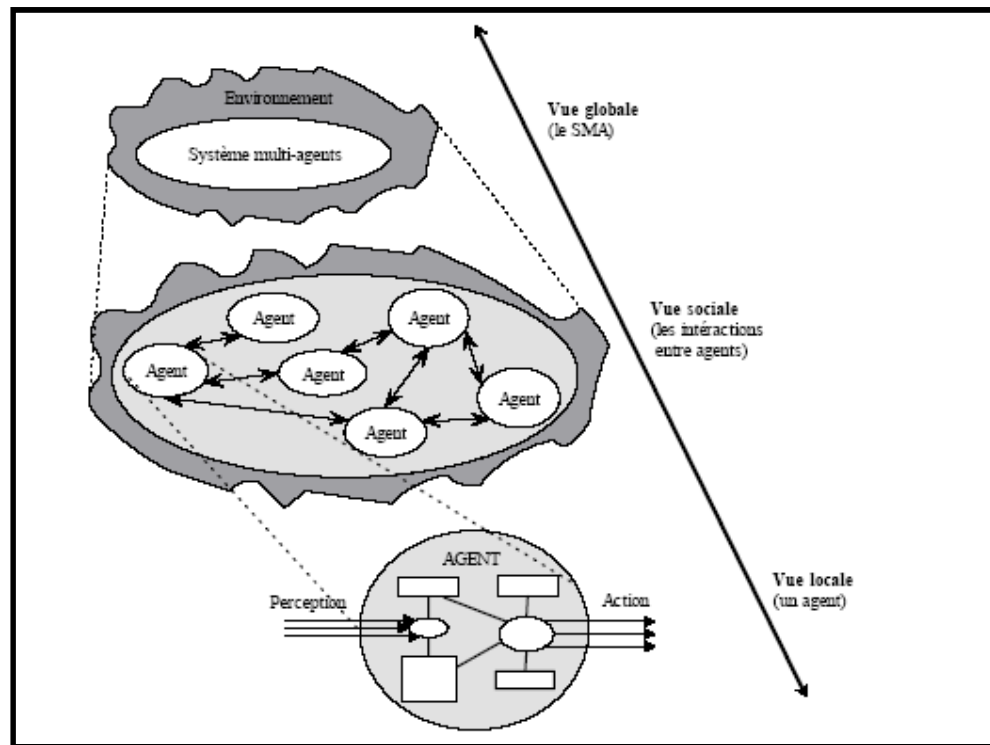


Fig 6 : Système multi agent vu selon différents niveaux de détail

Un système multi agents est donc constitué d'un ensemble de processus informatiques se déroulant en même temps, donc de plusieurs agents vivant au même moment, partageant des ressources communes et communiquant entre eux. Le principal problème à résoudre lors de la conception des systèmes multi agents réside dans la formulation de la coordination entre les agents.

La recherche sur les agents s'intéresse aux mécanismes de décision, de coordination et de communication entre agents.

L'organisation des agents est un cadre qui fixe les rôles des agents dans le groupe et donc les règles d'interactions entre eux. Deux modèles d'organisation fondamentalement différente sont souvent distingués dans la littérature.

- Organisation émergente : Un premier modèle concerne l'émergence d'organisations. En effet, graduellement, une forme d'organisation se met en place ou, plus précisément, un observateur a l'impression de voir apparaître (émerger) un comportement structuré parmi les agents.

Chaque entité, par son action locale, participe au développement de l'ensemble sans qu'aucune d'entre elles ne dirige les autres. Ces systèmes mettent généralement en jeu un nombre assez important d'individus. Leur nombre, ajouté au fait qu'ils n'ont pas conscience de leur appartenance à un groupe, conduit à une grande souplesse du système. C'est l'adaptabilité de chaque agent qui se répercute au niveau supérieur. Il suffit que les conditions environnementales varient pour que chaque individu réagisse différemment et que, par conséquent, des changements soient observables au niveau du groupe.

- Organisation support d'activités : Les agents sont intégrés dans une structure organisationnelle. Cette structure est plus ou moins flexible et autoadaptative [Mandiau et al, 2000 (b)], mais les comportements des agents vis-à-vis de leurs congénères sont délimités (déterminés) par leurs rôles respectifs. Ce modèle se rapproche plus des organisations humaines car chaque agent est autonome tout en ayant connaissance de ce qu'il doit faire et comment se comporter avec tel ou tel agent en fonction de leurs rôles respectifs. Ces modes de comportement induisent des organisations moins flexibles que celles proposées par le modèle d'émergence. En revanche, ils ont l'avantage de représenter de manière explicite les liens entre les agents ou rôles joués par ceux-ci.

2.5 Modèles de systèmes multi agents :

Nous distinguons trois classes de systèmes multi agents [Haton, 1991] les systèmes à tableaux noirs, les systèmes d'acteurs et les systèmes physiquement distribués.

2.5.1 Les systèmes à tableaux noirs :

Dans de tels systèmes, le tableau noir est le seul moyen de coopération. La coopération est alors implicite et les agents s'ignorent totalement. Les agents, appelés aussi « sources de connaissances », sont des modules interdépendants renfermant chacun une partie de la connaissance du domaine d'application traité. Dans de tels systèmes, un agent n'a connaissance ni du problème complet, ni de l'état global de la solution. Il réagit uniquement aux informations auxquelles il a accès et ne peut pas raisonner sur sa coopération avec les autres. La communication entre ces

différents agents se fait à travers une zone de données commune, appelée tableau noir¹². Le système de contrôle est totalement centralisé.

Tout système basé sur le modèle de tableau noir est constitué de trois entités principales : le tableau noir, les sources de connaissances et le mécanisme de contrôle.

➤ Les agents : [Delouis, 1991] stockent leurs hypothèses dans un tableau noir. Ces agents représentent des modules indépendants. La coopération entre ces agents s'effectue par des ajouts, des suppressions ou des modifications des éléments du tableau noir. Sous certaines conditions, les agents peuvent reconnaître les situations dans lesquelles ils peuvent intervenir et ainsi faire progresser la solution. En revanche, lorsque l'agent est sélectionné, il peut modifier une certaine zone du tableau. Chaque agent permet de traiter une étape dans la résolution du problème, en manipulant des connaissances au niveau adapté. Un agent est une association (contexte/traitement) ; la partie contexte décrit les conditions sous lesquelles l'agent peut être activé, la partie traitement décrit, le plus souvent sous forme d'une procédure ou d'un ensemble de règles, comment l'agent doit être exécuté.

➤ Le tableau noir : contient une description de l'état de la résolution sous formes d'entités appelées souvent faits, hypothèses ou nœuds. Il est décomposé en niveaux qui permettent une décomposition de la solution en niveaux d'abstraction. Le tableau noir contient donc les données du

problème, les solutions partielles et la solution globale du problème à résoudre.

➤ Le mécanisme de contrôle : Les agents doivent répondre de façon opportuniste aux changements du tableau noir. Pour cela, il existe un ensemble de modules de contrôle qui gèrent les opérations réalisées sur le tableau noir et décident de la prochaine action à entreprendre. Leur rôle consiste à déterminer soit un agent à activer soit une région du tableau noir à étudier, soit une combinaison des deux [Delouis, 1991].

Dans ce modèle des SMA, l'expertise est distribuée entre les sources de connaissances tandis que le contrôle de la résolution est centralisé. En général, les avantages reconnus des systèmes basés sur un tableau noir sont essentiellement la possibilité de gérer une très grande quantité d'informations et de décomposer les problèmes, lors de leurs différentes

¹² tableau noir (blackboard).

étapes de résolution, en niveaux d'abstractions pour une application donnée.

Les systèmes basés sur un tableau noir sont caractérisés par une communication indirecte puisque les différents agents communiquent par l'intermédiaire du mécanisme de contrôle. Ils sont aussi caractérisés par une communication centralisée, puisque ce mécanisme de contrôle active et désactive les différents agents. Cependant, les recherches récentes ont souligné des goulets d'étranglement liés à ce type de mécanisme [Mandiau et al, 2000 (a)].

2.5.2 Les systèmes d'acteurs :

A l'inverse des systèmes à tableau noir, les systèmes d'acteurs relèvent d'une distribution totale des connaissances et du contrôle [Ferber, 1995]. Ces systèmes se caractérisent par :

- Un traitement local qui veut dire qu'un agent ne peut manipuler que sa base de connaissance locale, envoyer des messages aux autres agents qu'il connaît (accointances) et créer de nouveaux agents. De ce fait, les connaissances et le comportement sont distribués parmi les agents, qui effectuent des tâches en parallèle et de manière indépendante.
- La seule structure de contrôle est l'envoi de message.

Le modèle acteur est une extension du modèle objet par ajout de la notion d'activité. Chaque objet, appelé acteur, est un agent actif, autonome, communiquant librement avec ses semblables. Les acteurs évoluent dans un univers dynamique, où des activités se créent, se déroulent et s'achèvent. Ils participent à ces activités, et communiquent entre eux pour se confier ou se déléguer des tâches et se transmettre des résultats [Gerald, 1990].

2.5.3 Les systèmes distribués :

Les systèmes distribués sont composés d'agents plus complexes que précédemment, dotés de capacités de raisonnement élaborées [Gerald, 1990]. Généralement, ces agents sont localisés sur des sites physiquement différents. Cela implique la mise en oeuvre de stratégies de coordination très élaborées entre les agents. Ces derniers doivent en effet être capables de planifier intelligemment leurs activités locales en fonction de celles des autres.

2.6 Communication dans les systèmes multi agents :

Les communications dans les SMA sont à la base des interactions et de l'organisation. Une communication peut être définie comme une forme d'action locale d'un agent vers d'autres agents.

Les questions abordées par un modèle de communication peuvent être résumées par l'interrogation suivante : qui communique quoi, à qui, quand, pourquoi, et comment ?

- Pourquoi les agents communiquent-ils ? la communication permet l'interaction entre agents et par conséquent la coopération et la coordination d'actions.
- Quand les agents communiquent-ils ? les agents sont souvent confrontés à des situations où ils ont besoin d'interagir avec d'autres agents pour atteindre leurs buts locaux ou globaux.
- Avec qui les agents communiquent-ils ? les communications peuvent être sélectives sur un nombre restreint d'agents ou diffusées à l'ensemble des agents. Le choix de l'interlocuteur dépend essentiellement des accointances de l'agent (connaissances qu'a l'agent sur les autres agents).
- Comment les agents communiquent-ils ? la mise en œuvre de la communication nécessite un langage de communication compréhensible et commun à tous les agents. Il faut identifier les différents types de communications et définir les moyens permettant non seulement l'envoi et la réception des données mais aussi le transfert des connaissances avec une sémantique appropriée à chaque type de message.

2.6.1 Les interactions et les protocoles de communication dans les SMA :

a. Les interactions dans les SMA :

Un système multi agents (SMA) se distingue d'une collection d'agents indépendants par le fait que les agents interagissent en vue de réaliser conjointement une tâche ou d'atteindre conjointement un but particulier. Les agents peuvent interagir en communiquant directement entre eux ou par l'intermédiaire d'un autre agent ou même en agissant sur leur environnement. Les interactions entre agents sont définies selon Ferber [Ferber, 1995] comme étant la mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. L'interaction entre agents s'effectue par la communication, les actes de langages et les protocoles d'interaction. Les agents interagissent entre eux.

Pour atteindre son objectif ou pour améliorer la coordination des actions, un agent peut demander des services à un autre agent.

La notion d'interaction constitue l'essence d'un système Multi Agents puisque c'est grâce à elle que les agents vont pouvoir produire des comportements collectifs complexes et dépendants les uns des autres. Ces interactions entre agents sont motivées par l'interdépendance des agents selon ces trois dimensions.

- Leurs buts peuvent être compatibles ou non.
- Les agents peuvent désirer des ressources que les autres possèdent.
- Un agent X peut disposer d'une capacité nécessaire à un agent Y pour l'accomplissement d'un des plans d'actions de Y.

En général les interactions sont mises en œuvre par un transfert d'informations entre agents ou entre l'environnement et les agents, soit par perception, soit par communication. L'interaction peut être décomposée en trois phases non nécessairement séquentielles [Thomas, 2005] :

- La réception d'information ou la perception d'un changement.
- Le raisonnement sur les autres agents à partir des informations acquises.
- Une émission de messages ou plusieurs actions modifiant l'environnement.

Ferber a proposé une classification des situations d'interaction selon plusieurs critères en distinguant trois situations : la présence d'objectifs communs ou compatibles, l'accès à des ressources communes, la répartition des compétences au sein des agents.

➤ La coordination :

La coordination permet aux agents, d'une part, de s'inspirer de certains résultats des autres agents, et d'autre part, d'éviter de refaire un travail qui a été déjà fait par un autre agent [Ferber, 1995].

➤ La coopération :

La coopération est une attitude adoptée par les agents qui décident de travailler ensemble. Elle permet à un agent de [Ferber, 1995] :

- Mettre à jour les connaissances globales du système.
- Intégrer des informations venant d'autres agents.
- Interrompre son plan d'exécution pour aider les autres agents.
- Déléguer la tâche qu'il ne sait pas résoudre à un autre agent dont il connaît les compétences.

2.6.2 Comment communiquer ?

Pour coordonner l'activité d'un ensemble hétérogène d'agents autonomes, il faut que les agents communiquent dans un langage compréhensible par les autres. On observe que dans un système ouvert un tel langage peut constituer une interface entre les agents. L'utilisation d'un langage commun implique que tous les agents comprennent son vocabulaire sous tous ses aspects concernant:

- La syntaxe : qui précise le mode de structuration des symboles ;
- La pragmatique : qui permet d'interpréter les symboles ;
- L'ontologie : qui permet d'utiliser les mêmes mots d'un vocabulaire commun.

2.6.3 Mode de communication :

Les modes et protocoles de communication établissent les moyens et les styles de communication entre agent. Il existe deux formes de communication : Communication par envoi de message et la communication par partage d'information. Ces deux modèles ont été combinés pour donner naissance à un modèle hybride.

a. Communication par partage d'information :

Les agents ne sont pas en liaison directe mais communiquent via une structure de données partagée, ou on trouve les connaissances relatives à la résolution (état courant du problème) qui évolue durant les processus d'exécution. Ce mode de communication est utilisé quand il y a recouvrement des domaines d'expertise. Le meilleur exemple qui utilise ce type de communication est les systèmes à tableau noir (fig 7).

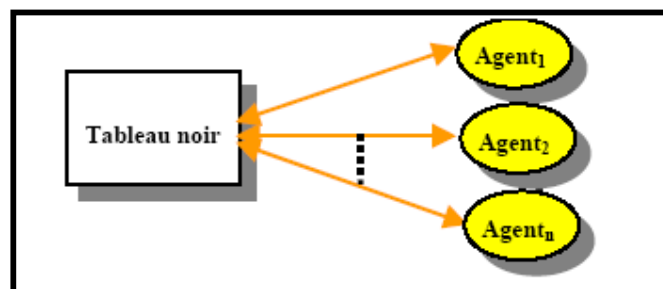


Fig 7 : Communication par partage d'informations

b. Communication par envoi de message :

Les agents sont en liaison directe et envoient leurs messages directement et explicitement au destinataire (Fig 8). Ce mode de communication est utilisé dans les systèmes d'acteurs. La transmission se fait suivant deux modes :

- Transmission point à point ; l'agent émetteur connaît et précise l'adresse de ou des agent(s) destinataire(s).
- Transmission par diffusion : le message est envoyé à tous les agents du système.

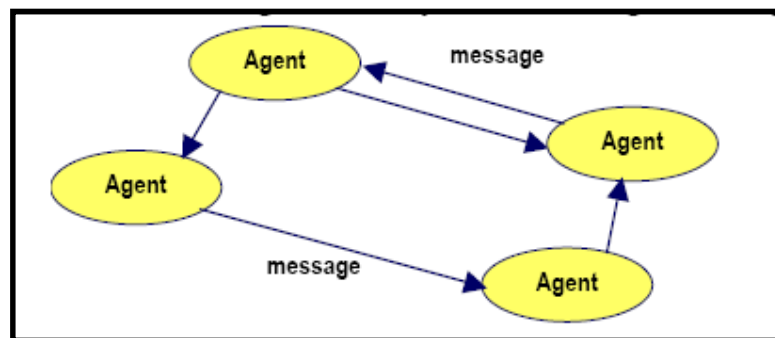


Fig 8 : Communication par envoi de messages

- L'envoi de message : L'univers des acteurs est complètement homogène. L'acteur est l'unique entité. Un seul type d'événement peut se produire : l'envoi d'un message par un acteur à un autre. Plus précisément, un acteur émetteur transmet à un acteur récepteur un acteur message dont une des accointances (donnée locale) est le message à transmettre [Gerald, 1990]. Ceci se fait d'une manière asynchrone. Ce message peut être une requête, une information ou une suggestion, etc.
- Envoi de message et continuation : La notion de continuation est l'un des aspects les plus caractéristiques des modèles d'acteurs [Haton, 1991]. Le message contient une continuation qui désigne l'acteur auquel doit être transmis le résultat du message. Par défaut, la continuation est l'acteur qui a émis le message. L'acteur ayant émis le message n'est pas bloqué et peut continuer son activité.
- Délégation : A la réception d'un message, l'agent vérifie si l'expéditeur du message fait bien partie de ses accointances. Si l'expéditeur est inconnu, l'agent ne va pas traiter le message mais va le déléguer à un autre susceptible de s'y intéresser.

Chapitre 2 : Caractéristiques des SMA et Ontologies

Pour cela, il consulte les informations qu'il possède sur le modèle des autres agents [Iffenger, 1992].

c. Modèle hybride :

Le principe est de concevoir des systèmes d'agents à base de tableau noir qui communiquent par le mode d'envoi de message [Baujard, 1992].

d. Les langages de communication dans les SMA :

Dans un SMA cognitif, les agents doivent disposer d'un langage commun pour pouvoir échanger les informations et coopérer leurs actions pour la résolution d'un problème.

Ce langage est un ensemble de primitives connues par chaque agent, il permet donc de structurer et d'uniformiser les interactions inter-agents. Les primitives de base d'un langage de communication peuvent être résumées en ces points :

- Établissement d'une connexion entre deux entités.
- Identification du nœud destinataire.
- Envoi de données.
- Réception des données.
- Définition d'un type de communication (Synchrone, Asynchrone).

Il existe plusieurs types de protocoles de communication, les plus connus sont :

➤ Knowledge query and manipulation language (KQML) [Labrou et Finin, 1997] :

Initialement prévu comme moyen d'échange d'informations entre programmes à base de connaissance, sa structure orientée message et la généralité de ses primitives lui permettent d'être utilisé comme ACL (Agent Communication Language). Ses performatifs (actes communicatifs) sont divisés en trois catégories :

- Sept (7) performatifs de régulation de conversation : Traitent quelques cas particuliers (Sorry, Error...), et permettent quelques variantes de la conversation (Standby, Ready, Next, Rest, Discard,...).
- Dix Sept (17) performatifs de discours : Permettent l'échange d'information et des connaissances (Ask-If, Tell, Deny, Stream-All,...).
- Onze (11) performatifs d'assistance et de réseau pour étendre la conversation à plus de deux agents (Forward, Broker-All,...).

➤ Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA-ACL) [FIPA, 2002] :

C'est un langage de communication indépendant de la syntaxe et de la Sémantique (ontologie) du contenu. Il est aussi indépendant du mécanisme de transport des messages (TCP/IP, SMTP, IIOP, HTTP), des protocoles de haut niveau utilisés pour la communication (REQUEST, QUERY) et la négociation (CONTRACT-NET).

Les spécifications de FIPA-ACL se composent d'un ensemble de types de messages et de la description normative d'un ensemble de protocoles d'interaction de haut niveau, y compris la demande d'action, l'établissement de contrats et plusieurs mécanismes d'enchère. FIPA-ACL possède 22 actes communicatifs, exprimés par des performatifs. Les actes communicatifs peuvent être primitifs, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas définis à partir d'autres actes, ou composé d'un ensemble d'actes. Ces performatifs sont divisés en cinq catégories :

- Cinq (5) performatifs de passage d'information : Inform, Inform-if, Inform-ref, Confirm, Disconfirm.
- Trois (3) performatifs de requisiion d'information : Query-if, Query-ref, Subscribe.
- Quatre (4) performatifs de negociation : Accept-proposal, Cfp, Propose, Reject-proposal.
- Huit (8) performatifs de distribution ou d'execution d'une action : Request, Requestwhen, Request-whenever, Agree, Cancel, Refuse, Propagate, Proxy.
- Deux (2) performatifs de manipulation des erreurs : Failure, Not-understood

➤ Autres langages :

Il existe une multitude d'autres langages comme : ARCOL (ARtimis Communication Language), ICL (InterAgent Communication Language), AOP (Agent Oriented Programming) et MAC (Mobil Agent Communication).

2.6.4 Les méthodologies de conception des SMA :

Plusieurs méthodologies ont été proposées pour guider les concepteurs dans leur tâche d'analyse et de conception. Pour cela, les notions de rôle, d'interaction et d'organisation sont souvent mises en avant, pour faciliter la décomposition et la description de systèmes complexes distribués. La figure illustre les méthodologies les plus connues :

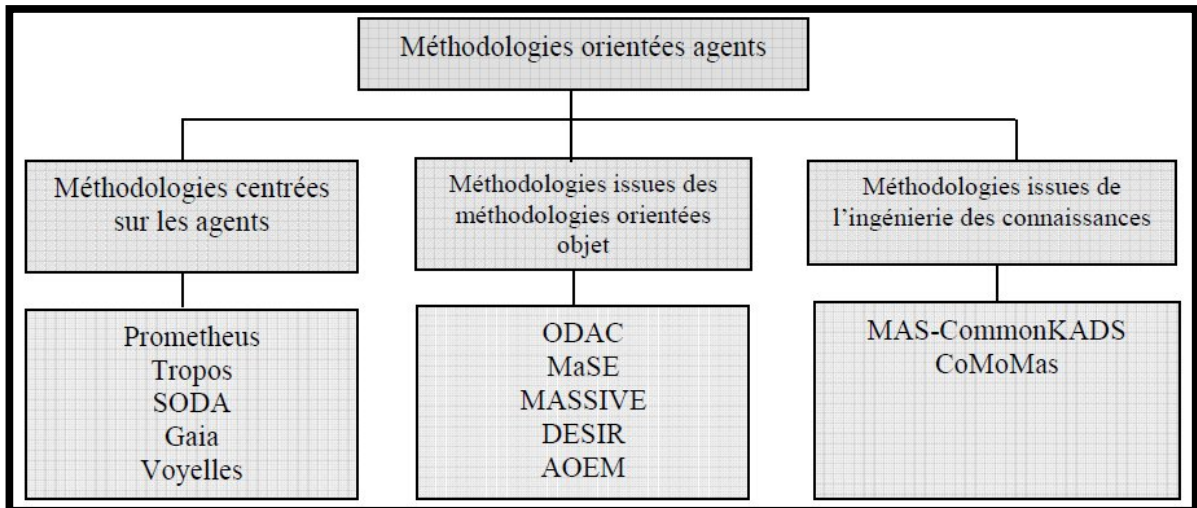


Fig 9 : Les méthodologies orientées Agents [Labarthe, 2006]

a. Méthodologies centrées sur les agents [Labarthe, 2006]:

Ces méthodes sont caractérisées par la prise en compte des concepts du paradigme agent dès la phase d'analyse du système. Parmi ces méthodes on peut citer :

➤ La méthode Gaia [Wooldridge, 2001] :

Elle contient cinq modèles répartis en deux phases :

- 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.
- 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 communication entre les agents.

➤ La méthodologie Voyelles [Demazeau, 1995]:

Pour un problème à résoudre (ou un système à simuler) dans un domaine donné, l'utilisateur choisit le modèle d'agent, le modèle d'environnement, le modèle d'interaction et le modèle d'organisation. Cette méthodologie est composée de trois phases :

- La phase d'analyse : permet d'identifier et de décomposer le problème en quatre composantes fondamentales, pour dégager l'architecture générale du système.

- Les agents (A) : Définir les éléments nécessaires à la construction des agents à savoir leur modèle, leur architecture, leur implémentation...

- L'environnement (E) : Dans un système multi agents, on appelle environnement l'espace commun aux agents du système. Ça consiste donc à trouver les éléments nécessaires à la réalisation des interactions extérieures au système comme par exemple la perception de cet environnement, les actions que l'on peut y faire.

- Les interactions (I) : Les interactions proviennent de la mise en relation. Dynamique de plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. Il existe plusieurs types d'interactions, qui dépendent de trois paramètres que sont les buts, les ressources et les compétences

- L'organisation (O) : C'est une structure décrivant les interactions et autres relations qui existent. L'organisation peut donc apparaître comme une structure de coordination et de communication.

- La phase de conception : Elle permet de choisir les modèles opérationnels des composantes pour aboutir à la spécification du fonctionnement global du système exprimé sous forme de diagramme de comportements.

- La phase d'implémentation : Elle consiste en l'instanciation des modèles, en utilisant des plates-formes et des langages choisis. Le système implémente peut alors être exécuté, évalué (test et validation) et repensé en cas d'inadéquation avec les besoins exprimés par le type de problèmes et de domaine d'application:

b. Méthodologies issues des méthodologies orientées objet [Labarthe, 2006]:

- La méthode AOEM (Agent Oriented Methodology for enterprise Modelling) [Kendall et al., 1996] :

Le processus de modélisation est constitué de quatre étapes successives qui sont:

- Identification et description des fonctions du système par la conception de diagrammes IDEF0 (Décomposition hiérarchique et fonctionnelle), ainsi elle identifie les agents du système.
- Transformation des diagrammes IDEF0 en utilisant la notation des cas d'utilisation.
- Description des interactions entre les cas d'utilisation et entre les acteurs et les cas d'utilisation.
- Conception du système multi-agents.

- La Méthode MaSE (Multi-Agent Systems Engineering) [DeLoach, 1999] :

Les étapes associées à cette méthodologie sont les suivantes:

- Identification des buts du système afin de les structurer et de les représenter sous forme d'une hiérarchie.
- Identification des rôles et leurs interactions en utilisant le diagramme des cas d'utilisation pour définir le comportement général du système, ses fonctionnalités, son environnement (utilisateurs et acteurs) et les rôles du système, et le diagramme de séquences pour représenter les messages échangés entre rôles.
- Identifier la décomposition fonctionnelle du système en utilisant les rôles et les tâches concurrentes. Chaque rôle correspond au moins à un but auquel s'ajoute un ensemble de tâches correspondantes. Lors de la création des modèles de rôles, les interactions entre les rôles sont définies en connectant les tâches entre elles. Le mode de tâches concurrentes permet de représenter, à l'aide d'automates à états finis, les tâches réalisées par les rôles pour l'accomplissement de leurs buts respectifs.
- Identifier le système multi agents par la description des architectures d'agents et de leurs liens conversationnels. Une classe d'agent précise leurs rôles assignés.
- Définir les protocoles de coordination entre deux agents en expliquant les comportements des agents durant la conversation.
- Spécifier l'architecture interne des agents.
- Conception du système en spécifiant la distribution des agents selon l'architecture physique du système.

c. Méthodologies issues de l'ingénierie des connaissances [Labarthe, 2006]:

➤ La Méthode MAS-CommonKADS [Iglesias, 1997]:

Elle commence par la conceptualisation, où l'utilisateur spécifie les besoins et les caractéristiques du système, ensuite viennent les deux phases d'analyse et de conception du SMA qui produisent les modèles suivants :

- 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 agents et les capacités conversationnelles en utilisant un langage de communication agent.
- Le modèle d'organisation : Décrit l'organisation du système Multi Agent.
- 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 système Multi Agent 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 plate forme de développement d'agents.

La méthode CoMoMAS, Elle utilise la syntaxe de CML (Conceptual Modelling Language) pour décrire ses différents modèles qui sont :

- Le modèle d'agent : Décrit l'architecture et la structure des connaissances des agents. C'est le principal modèle.
- Le modèle d'expertise : Décrit les compétences cognitives et réactives des agents.
- Le modèle de coopération : Décrit la coopération entre agent, en utilisant les méthodes de résolution des conflits.
- Le modèle de tâches : Décrit la décomposition des tâches du système et indique si ces tâches sont exécutées par un humain ou un agent informatique.
- Le modèle du système : Définit les aspects organisationnels de la société des agents et leurs aspects architecturaux.

- Le modèle de conception : Intègre les modèles précédents dans un système global. Il décrit les différentes exigences pour la conception.

2.7 PROGRAMMATION ORIENTÉE AGENTS :

L'architecture de l'agent une fois décidée, on peut utiliser n'importe quel langage de programmation pour implémenter l'agent. Il est toutefois intéressant de disposer d'un langage de programmation qui offre des modèles de conception spécialisés pour bâtir nos agents et qui permette, de cette manière, de développer plus vite nos applications. Les langages de programmation agents ont été conçus dans ce but. Pourtant il est bien difficile de concevoir un langage qui offre les modèles adéquats pour implémenter n'importe quel agent. On a vu dans les sections précédentes qu'il y a une grande diversité d'architectures possibles pour les agents et que les architectures et les modes de coopération peuvent être très différents. Les chercheurs ont proposé de nombreux langages pour la programmation des agents, chaque langage favorisant une vision particulière de la notion d'agent intelligent. On ne peut pas dire qu'il y ait actuellement un langage générique. Une place particulière dans le panorama est occupée par le langage de programmation qui a introduit l'approche de la programmation orientée agents.

La programmation orientée agents a été proposée par Yoav Shoham en 1993 comme un nouveau paradigme de programmation, que l'on peut voir comme une spécialisation de la programmation orientée objets. Dans cette approche, les agents sont les éléments centraux du langage comme les objets sont centraux pour les langages orientés objets. La perspective sur les agents est cognitive : les agents sont caractérisés par des notions mentales comme leurs croyances, leurs décisions et leurs obligations. De plus, à chaque agent est associé un ensemble d'habiletés qui représentent ce que l'agent sait faire. En même temps, la programmation orientée agents suppose qu'on va développer des programmes dans lesquels plusieurs agents interagissent, ce qui met l'accent sur la dimension sociale des agents. Le langage de programmation proposé par Shoham comme démonstration de ce nouveau paradigme s'appelle AGENT

La différence principale entre un tel langage et un langage de programmation classique que l'on pourrait utiliser pour développer des agents, vient du fait que les notions mentales qui caractérisent les agents apparaissent dans le langage lui-même, et que la sémantique du langage est intimement liée à la sémantique de ces notions mentales.

Chapitre 2 : Caractéristiques des SMA et Ontologies

La programmation orientée agents peut être vue comme une spécialisation de celle orientée objets parce que les modules du programme sont maintenant des agents, c'est-à-dire des objets avec un état qui définit les notions mentales associées, et que les messages entre objets sont remplacés par des messages entre agents. En quoi les messages entre agents diffèrent-ils de ceux entre objets ? Premièrement, parce que ces messages sont modélisés en partant de la théorie des actes de langage, qui s'intéresse aux actions de communication comme informer, demander, offrir, accepter, rejeter et d'autres (pour la théorie des actes de langage). Deuxièmement, puisque les agents sont autonomes et dotés de capacités mentales, ils ont la liberté de décider s'ils vont ou non exécuter l'action spécifiée dans le message. Par contraste, un objet recevant un message va toujours exécuter l'action spécifiée dans le message. Cette spécialisation même fait que la programmation orientée agents est différente de celle orientée objets comme le montre le tableau ci-dessous, tableau de différences établi par Shoham

	POO ¹³	POA ¹⁴
Unité de base	objet	agent
Paramètres définissent l'unité de base	Pas de contrainte	croyances, décisions, obligations, habiletés
Processus de calcul	Envoi de messages et méthodes pour la réponse	Envoi de messages et méthodes pour la réponse
Types de messages	Pas de contraintes	informer, demander, offrir, promettre, accepter, rejeter, ...
Contraintes sur les méthodes	Pas de contraintes	Consistance, vérité...

Fig 10 : Programmation Orientée Objets vs Programmation Orientée Agents [Shoham,1993].

¹³ AOO: Approche Orientée Objet

¹⁴ AOA: Approche Orientée Agent.

Avec l'évolution des théories concernant les agents et des langages de programmation associés, on peut également souligner d'autres différences entre POO et POA :

- Les agents sont autonomes alors que les objets ne le sont pas ; un agent va décider par son propre processus de décision s'il exécute ou non une action requise ;
- Les agents ont leurs propres buts et ils agissent d'une manière proactive pour atteindre leurs buts (par exemple, ils saisissent des opportunités) alors que les objets ne le font pas ;
- Les agents sont capables d'un comportement social : ils peuvent s'engager dans des interactions complexes, par exemple coopération, compétition, négociation, avec d'autres agents ; ce n'est pas le cas des objets ;

La figure 11, illustre l'évolution de la programmation structurée vers la programmation orienté agent en passant par les différentes phases d'évolution (programmation orienté objet, les objets distribués en utilisant des standards comme CORBA, programmation composants qui a fait son apparition avec le développement en langage java).

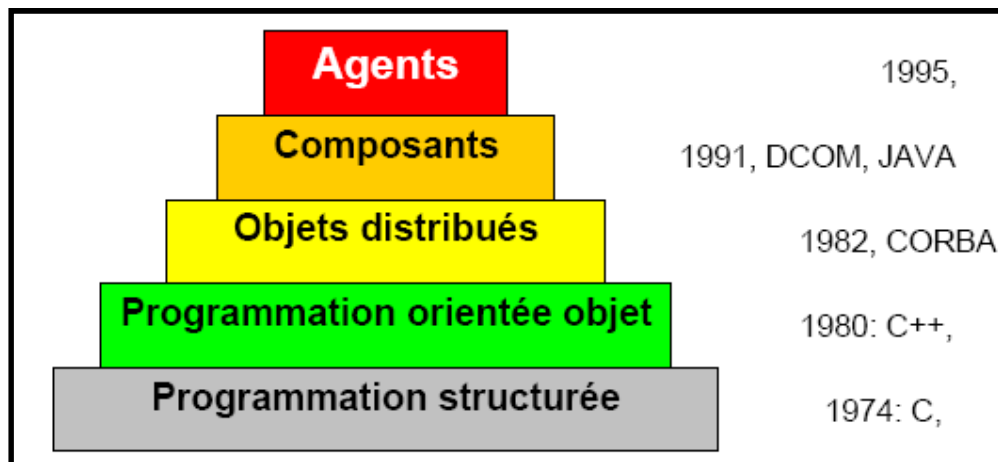


Fig 11 : L'évolution vers la programmation orientée agent [Shoham, 1993]

2.8 Quelques systèmes d'aide à la décision basés Agents :

Les Systèmes d'Aide à la Décision (SAD) sont présents dans de nombreux domaines et ont pour objectif d'aider le décideur dans sa tâche en lui fournissant tous les éléments pertinents pour la prise de décision. Cela consiste très souvent à extraire de l'information depuis de multiples sources et à la traiter.

Des traitements de l'information pour une prise de décision multi critères sont alors nécessaires. Les systèmes multi agents apparaissent comme étant bien adaptés pour traiter de l'information qui peut revêtir diverses formes et provenir de diverses sources. En effet, il faut pouvoir faire la corrélation entre l'ensemble des éléments obtenus pour les présenter à l'utilisateur. L'approche à base d'agents permet d'effectuer cette corrélation en utilisant la négociation et la coopération entre agents. Il s'agit donc d'un domaine d'application pour les SMA.

2.8.1 Appliqués au domaine médical :

Dans le meilleur des mondes, les systèmes informatiques de santé serviraient à améliorer les soins, la qualité des diagnostics et la coordination du personnel de santé tout en veillant à respecter scrupuleusement la réglementation, à protéger le personnel soignant des risques de procès et à dépenser moins de temps et d'argent en prestations de service informatique.

Les propriétés des agents intelligents (autonomie, pro-activité, capacités sociales) et l'architecture des systèmes multi agents (traitement de l'information distribuée, communication, coordination, négociation) se révèlent une piste prometteuse pour résoudre les problèmes dans le domaine médical.

Les agents intelligents ont déjà été proposés pour faire face à différents types de problèmes dans le domaine médical. En voici quelques exemples de leur champ d'application.

Le système de diagnostic CMDS (Contract Net Based Medical Diagnosis System) se compose d'agents artificiels et de médecins spécialisés dans différents domaines médicaux. Au début, un problème noté « Pr » est communiqué à un agent médical nommé « Mda » membre du système, qui aura pour rôle de manipuler de façon autonome la résolution des problèmes. En cas de difficultés il fait appel à un agent auxiliaire appelé « Asg » ou un autre agent médecin « Mda₁ » avec une autre spécialité. [Iantovics 2007, 2008, 2009, 2010]. La Figure présente l'architecture du système CMDS. Pr={Pr₁, Pr₂,..., Pr_q} représente problème qui doit être résolu par le système. Mda={Mda₁, Mda₂,..., Mda_n} représente les agents spécialisés dans le diagnostic médical. Asg={Asg₁, Asg₂,..., Asg_k} représente les agents assistants. Les agents assistants sont capables d'aider les agents spécialisés dans la résolution du problème.

L'algorithme décrit la résolution du problème, comment un agent médical dénoté Mda_i ($Mda_i \in Mda$) opère après avoir reçu les entrées du problème arrive à résoudre ce dernier. L'algorithme a été décrit en détails dans [Iantovics, 2007]. [Iantovics, 2007] définit aussi les connaissances médicales que détiennent les agents médicaux.

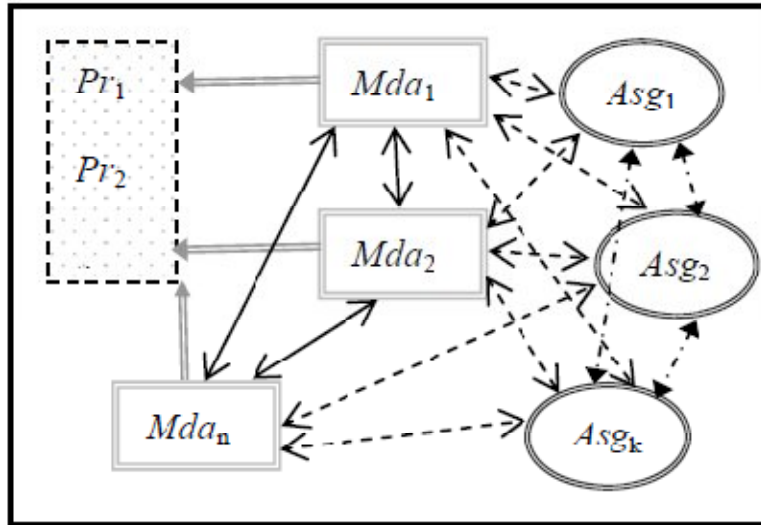


Fig 12 : Architecture du système de diagnostic médical CMDS

Les agents de l'ensemble Mda sont spécialisés dans le diagnostic médical.

Les agents de l'ensemble Asg sont spécialisés afin d'assister les agents de l'ensemble Mda .

Algorithm Problem Solving

Step 1 - The problem solving.

$St_d \rightarrow Mda_i$.

If (Mda_i is capable to processes St_d) then

$Mda_i(St_d) \gg St_h$.

If (St_h contains the St_d solution) then

Goto Step 2.

Else

$Mda_i(St_h) \gg an$.

$Mda_i(an) \rightarrow Acg$.

EndIf

else

$Mda_i(St_d) \gg an$.

$Mda_i(an) \rightarrow Acg$.

EndIf

While (the waiting time to an is not expired) do

 @Mda_i evaluates the bids to an.

EndWhile

@Mda_i awards the problem solving statement to a suitable agent Mda_b
(Mda_b ∈ Acg).

@ Mda_i reçoit la déclaration du problème St_q de Mda_b.

Step 2 – la formation de la solution du problème.

@ la solution sol_d est extraite à partir de la dernière déclaration du problème à résoudre.

@ la solution sol_d du problème est transmise à l'expéditeur St_d.

Fin de la résolution du problème.

PalliaSys, intègre la technologie de l'information et les systèmes multi-agents pour améliorer les soins donnés aux patients palliatifs. [Riaño et al, 2002]. L'objectif principal du projet est de concevoir PalliaSys, construire un Système informatisé pour améliorer la gestion des données stockées dans l'Unité de soins palliatifs (PCU) d'un grand hôpital. Cette unité est spécialisée dans le traitement des personnes atteintes de maladies en phase terminales, et son objectif est de soulager leur douleur lors de la phase finale de leur vie. Selon le premier diagnostic médical, le patient peut être traité de la PCU, dans une autre unité de l'hôpital, dans un hospice spécialisé associé à l'hôpital, ou à la maison. En raison du caractère hautement distribué des soins palliatifs, il est particulièrement intéressant d'avoir un système informatique qui permet l'échange d'informations entre les personnes qui participent au traitement d'un patient (médecins PCU, les médecins associés à d'autres unités ou à un centre de soins palliatifs, les équipes médicales qui font des visites à domicile des patients). Le système PalliaSys est également accessible par des patients qui séjournent chez eux, afin qu'ils aient la possibilité d'accéder à certains services sans se rendre à l'hôpital.

L'un des objectifs fondamentaux du système PalliaSys est d'améliorer le processus de collecte des informations des patients palliatifs. Les données sont stockées dans une base de données centrale située à l'UCP du centre médical. Le système doit fournir aux utilisateurs qui participent à la prise en charge d'un patient palliatif un accès sécurisé et authentifié aux données relatives aux patients. Le deuxième objectif du projet est d'améliorer l'accès aux informations aux médecins et aux patients.

Chapitre 2 : Caractéristiques des SMA et Ontologies

Par l'utilisation d'un SMA, il est possible de surveiller en permanence le statut de chacun des patients et de fournir de manière proactive personnalisée, détaillée la mise à jour des informations aux médecins PCU. C'est le sujet principal de ce projet. Enfin, un autre objectif important de la PalliaSys est de faire une analyse intelligente des historiques réunis à l'UCP, en appliquant de nouvelles techniques d'apprentissage. Par exemple, il est possible de définir des modèles de patients, afin d'analyser l'évolution médicale, et de créer des modèles de ces évolutions qui permettent de faire des prédictions sur les états futurs de patients.

L'Architecture du système PalliaSys:

Dans cette section, nous décrivons le système PalliaSys et ses différentes composantes. L'architecture de base de PalliaSys est montrée (dans une forme simplifiée) de la figure suivante :

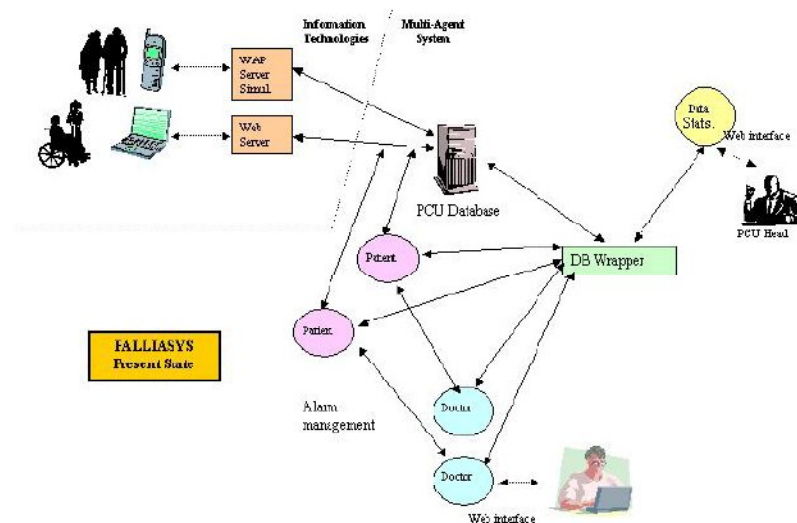


Fig 13 : Architecture du système PalliaSys

Deux parties principales peuvent être distinguées au sein du système:

1. Technologies de l'Information et de la communication, utilisés par les patients à partir de leurs maisons pour fournir ou pour voir leurs données médicales personnelles, envoyer des demandes ou recevoir des informations des médecins.
3. Un système multi agent, utilisé pour gérer en toute sécurité les données cliniques, garder une trace de l'état des patients en soins palliatifs et d'analyser leur évolution.

Dans le système, nous trouverons quatre types d'agents:

- Le Wrapper base de données. Cet agent contrôle l'accès à la base de données de l'UCP. Il comprend des mécanismes d'authentification qui assurent que seul les agents dûment autorisés peuvent demander à lire ou modifier les données cliniques, respectant certains mécanismes de sécurité, telles que la définition de différents types d'utilisateurs, l'utilisation de connexions et mots de passe, le cryptage des messages et l'utilisation de SSL (Secure Socket Layer) ont déjà été mises en œuvre.
- Un agent docteur pour chaque médecin de l'UCP. Il fournit une interface graphique qui permet au médecin d'obtenir facilement les informations de ses patients, de contrôler le calendrier des RDV.
- Un agent patient pour chaque patient. Chacun de ces agents est responsable de surveiller en continu l'évolution de l'état du patient. Ces agents doivent vérifier si les patients ont envoyé les rapports périodiques concernant leur santé, s'ils ont aussi envoyé des rappels aux patients s'ils oublient d'envoyer leurs rapports dans les temps ou s'ils ont une visite prévue avec un médecin qui les suit. Une caractéristique intéressante est que si l'agent des patients détecte un problème (Par exemple, le degré de la douleur a augmenté fortement dans la dernière auto-évaluation, ou le patient n'a pas réussi à envoyer un rapport dans les temps), il peut envoyer un avertissement à l'agent docteur responsable du patient, des mesures appropriées (Par exemple un appel téléphonique ou une visite au domicile du patient) sont prises.

Le système multi agent comprend également un agent, l'analyseur de données, spécialisé dans les Data Mining, la découverte de connaissances et l'apprentissage automatique des techniques. Sa tâche principale est d'effectuer une analyse intelligente de l'évolution de l'état des patients et de découvrir les connaissances médicales utiles et intéressantes. En outre, le chef de l'UCP de l'administration doit rédiger un rapport annuel détaillant toutes les activités de l'unité au cours des 12 derniers mois. Ce travail a toujours été fait à la main. L'analyseur de données fournit également au gestionnaire toutes les informations statistiques dont il a besoin pour remplir ce rapport (chiffres, statistiques, comparaisons avec les années précédentes, etc).

Chapitre 2 : Caractéristiques des SMA et Ontologies

Nous pouvons également citer d'autres travaux qui ont utilisé le paradigme agent pour la décision médicale tels que :

TOMAS (Telemedecine-Oriented Medical Assistant) qui 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. [Mea, 2001] .

A.-J. Fougères a illustré Une architecture cognitive d'agents communicants dans des systèmes d'information complexes le système se compose des agents suivants : Un agent nommé « Agent infectieux » est introduit localement (par un agent appelé « Agent de simulation » qui active les maladies (grippe, méningite). Il peut, en raison de sa proximité, infecter un agent nommé « agent individu sain ». Ce dernier devient porteur de la maladie et peut la véhiculer dans son environnement évolutif (déplacements), il informe ses symptômes (sous forme de messages) à un agent nommé « AgentMedecin » dans le cas d'une épidémie, l'AgentMedecin informe un agent nommé « Agent INVS » pour assurer le control. [Fougeres, 2008]

A Multi-Agent System (MAS) Based Scheme for Health Care and Medical Diagnosis System se compose des agents suivants : Un agent utilisateur nommé « Agent UA » dont le rôle est de prendre des symptômes des nouveaux patients comme des données brutes, ceci à l'aide d'une interface utilisateurs, un agent principal nommé « Agent MA » applique une certaine méthode pour convertir les données en connaissances afin de choisir un agent docteur spécialiste (nomme « agent SDA ») pour manipuler le cas du patient. [Shibakali, 2009]

ERMA Assistant d'urgence Medicale pour fournir des diagnostics et des conseils au personnel des soins de santé en contact avec les patients traumatisés, basé sur des agents intelligents de suivi a été développé pour démontrer le système de l'environnement du traumatisme avec un accent particulier sur les types de choc et de stabilisation des gaz du sang artériel. [Mabry et al, 2004]

OHDS est un système d'assistance au médecin dans le processus de diagnostic, traitement et la surveillance de l'évolution de nouvelles épidémies basé sur l'exploration de toutes les données pertinentes à chaque cas et les données scientifiques dans les différentes bases de données. OHDS combine les avantages des systèmes multi agents holonic avec ceux de l'ontologie pour la structuration des informations et l'organisation de la recherche. L'ontologie est considérée comme le noyau

du système pour sa capacité de structuration des informations et l'amélioration de la recherche de manière significative. Ces agents intelligents utilisent la logique floue comme mécanisme de raisonnement

HealthAgent est un projet de recherche dont l'objectif est l'amélioration de la classification des tumeurs au cerveau par le biais des systèmes multi-agents sur un réseau sécurisé et distribué de bases de données, il définit une méthode d'accès à la base de donnée candidate contenant les nouveaux cas basé sur le calcul de score de compatibilité. En utilisant son architecture multi agents, il fournit une infrastructure au HealthAgent réseau, dont les informations et les connaissances pour le diagnostic des tumeurs sont distribuées.

2.8.2 Appliqués à la pathologie du Diabète :

Une étude de cas impliquant des agents différents qui fournissent des consultations et des thérapies pour les patients souffrant de diabète. [Tian et al., 03].

Une application sur les conseils de dosage précis pour les patients diabétiques et visent à produire un système à base d'assistant personnel numérique dans lequel les patients entrent divers détails sur leur alimentation et leur condition physique. [Greenwood et al , 03].

2.9 Synthèse :

Après la domination de la technologie objet, la technologie agent semble prendre de plus en plus d'importance. En effet, elle permet de répondre aux besoins de nombreux domaines d'application jusque là difficilement abordables par les moyens traditionnels. Il s'agit notamment des systèmes complexes, des systèmes d'aide à la décision et plus essentiellement des systèmes de santé et de la prise en charge des patients qui nous intéressent plus particulièrement dans cette thèse.

Par conséquent, nous avons présenté dans cette partie du chapitre les concepts multi agents et les concepts sur lesquels nous avons fondé nos travaux. Ces concepts nous ont permis de modéliser correctement et d'une manière fidèle à la réalité (distribution, mobilité, autonomie, interaction, etc.) le Système d'Aide au Diagnostic du Diabète pour améliorer la prise en charge des patients diabétiques (dans le chap 3).

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous présentons une vue d'ensemble sur les approches d'ontologie et leur apport dans nos recherches.

3. Les Ontologies :

L'ingénierie des connaissances est une science ayant pour objet la modélisation et l'acquisition des connaissances en vue de leur partage et de leur diffusion. Elle intervient dans l'analyse de données textuelles, la recherche dans les bases de données, l'indexation, l'annotation, etc. [Charlet, 2005].

L'ingénierie ontologique est le sous ensemble de l'ingénierie des connaissances, ayant pour objet la mise au point de représentations et de modèles permettant aux systèmes informatiques de manipuler la sémantique des informations. Elle procède par la construction, l'exploitation, et la maintenance d'artefacts informatiques appelés ontologies.

Dans notre travail, le but n'était pas de savoir comment, quelle méthodologie utiliser pour la construction mais plutôt de connaître son apport aux systèmes multi agents, en mettant à leur disposition un vocabulaire commun.

Il n'y a pas de définition consensuelle des ontologies. La notion d'ontologie est empruntée au domaine de la philosophie. Dans ce domaine, l'ontologie se définit comme la science de l'être : c'est la science des objets, des propriétés, des événements, des relations qui existent dans le monde réel. Cette notion a été reprise par le domaine de l'informatique, mais cette discipline n'est pas parvenue à en donner une définition claire et consensuelle. En 1993, Gruber T.R définit une ontologie comme une spécification partagée d'une conceptualisation [Gruber, 1993].

En 2000, Bachimont B propose comme définition : « Définir une ontologie pour la représentation des connaissances, c'est définir, pour un domaine et un problème donné, la signature fonctionnelle et relationnelle d'un langage formel de représentation et la sémantique associée » [Bachimont, 2000].

En 2002, Charlet J propose comme définition : « Une ontologie implique ou comprend une certaine vue du monde par rapport à un domaine donné. Cette vue est souvent conçue comme un ensemble de concepts, leurs définitions et leur interrelations. On appelle cela une conceptualisation ... Une ontologie peut prendre différentes formes mais elle inclura nécessairement un vocabulaire de termes et une spécification de leur signification. ... Une ontologie est une spécification rendant partiellement compte d'une conceptualisation » [Charlet, 2002].

Compte tenu de la popularité des définitions existant et de l'absence de consensus existant, nous retenons la définition suivante qui est beaucoup plus simple et opérationnelle : une ontologie est l'ensemble des concepts d'un domaine et des relations existant entre ces concepts. Ces concepts peuvent être des objets matériels ou des idées du domaine à modéliser et sont organisés sous la forme d'une hiérarchie (relation « is_a »). Ces concepts sont le plus souvent caractérisés à l'aide de propriétés. Les relations peuvent être des relations sémantiques ou des relations de subsomption (relation « is_a »).

Les ontologies médicales sont des systèmes terminologiques riches et formalisés, développés pour le partage et l'exploitation du contenu sémantique des dossiers médicaux [Charlet et al., 2006]. Notre objectif est donc de définir une ontologie dédiée à la prise en charge du Diabète, en vue d'assister les médecins dans leurs décisions. .

Une ontologie modélise les connaissances d'un domaine particulier pour la résolution d'un problème spécifique. Dans notre cas, on va construire une ontologie du diabète pour une prise en charge du patient.

3.1 L'intérêt de l'utilisation des ontologies :

L'intérêt théorique de l'utilisation d'ontologies, spécifications formelles explicites de termes d'un domaine et de relations entre elles [Gruber, 1993], est multiple :

- partager une compréhension commune sur la structure d'informations liées à l'apprentissage entre les utilisateurs et les machines (par exemple entre softwares) [Kanellopoulos, 2006].
- permettre la réutilisation de domaines de connaissances existants.

À ces intérêts théoriques nous pouvons ajouter ou en préciser certains dans un contexte de modélisation de connaissance médicale et de son intégration dans un outil de formation, tels que :

- la nécessité d'établir un vocabulaire commun sur des notions de santé admises par tous les acteurs du monde de la santé.
- l'évolution constante des normes de santé implique la possibilité de mettre à jour de façon aisée notre base de connaissances.
- la nécessité de séparer le contenu médical du futur outil de décision pour faciliter la mise à jour des données en garantissant l'intégrité des deux systèmes alors indépendants.
- la possibilité d'inclure au sein de l'ontologie des notions d'intelligence artificielle. Ceci à l'aide des diverses possibilités offertes par l'extension Web Ontology Language (OWL) [Sirin, 2007] du langage RDF utilisé pour décrire notre ontologie.
- la convention de représentation des données dans une ontologie permet de faciliter l'agrégation de données multi-sources (capteurs, personnels de santé, textes) et multi-formats. On peut ainsi unifier la représentation de l'information pour définir ensuite des raisonnements adaptés au contexte d'exécution d'un outil de décision.

3.2 L'apport de l'ontologie à notre système :

Le lien le plus répandu entre systèmes multi agents et ontologies est l'utilisation d'ontologies pour faire fonctionner les systèmes multi agents [Gandon, 2002], Dans ce cas, les agents se réfèrent à une ontologie connue pour mettre en oeuvre un langage commun et être capable d'interagir. L'ontologies est alors un moyen de médiation entre agents logiciels, ce qui est une des raisons de sa définition.

Tout système intelligent a besoin d'une quantité considérable de connaissances sur un domaine pour être utile dans ce domaine. Dans notre cas, l'organisation de la connaissance permet d'avoir un sens unique des concepts médicaux qui sont utilisés.

3.3 CONCLUSION :

Les technologies agent attirent beaucoup l'attention de nos jours, particulièrement pour des applications largement distribuées et ouvertes. Ces applications présupposent l'interopérabilité des agents issus de différentes infrastructures. Les concepts multi-agents peuvent désormais apporter des solutions à des problèmes complexes.

Ce chapitre a porté sur le principe des SMA et des interactions dans la résolution collective de problèmes. Les concepts de base permettant de mettre en place l'échange d'information, et d'interaction ont été étudiés. La communication constitue donc un concept fondamental du paradigme multi agent et la brique de base de cette notion d'interaction. Les agents communiquent des manières bien plus sophistiquées que les objets. Contrairement aux objets, les agents n'ont pas nécessairement de comportement déterministe (ils peuvent dire « non »).

Les interactions dans un système d'agents cognitifs se traduisent donc par des schémas de conversations construits à partir des actes de communication et des prises de décision locales des agents (de caractère autonome) ou sous la forme de protocoles d'interaction pré-définis qui concernent le potentiel de tous les agents du système.

Si les systèmes multi agents semblent être les outils les mieux adaptés à la complexité des problèmes qui se posent pour le diagnostic , il reste à concevoir les algorithmes de chaque agent et le mode de coordination entre les agents. En effet, la modélisation d'une procédure de diagnostic distribuée est une des applications possibles des systèmes multi agents.

Utiliser le paradigme multi agent pour le diagnostic médical possède deux objectifs :

- Développer une architecture robuste d'une procédure de diagnostic permettant le partitionnement et la séparation des entités favorisant la réutilisation des sources, et la maintenance des logiciels.
- Spécifier un système de diagnostic distribué, favorisant la coopération et la communication entre les différents agents.

Nous avons également abordé les ontologies et leur apport à notre architecture, leurs liens avec les systèmes multi agents.

Nous verrons plus en détails la conception de notre architecture dans le prochain chapitre.

Chapitre 3

CONCEPTION DU SYSTEME D'AIDE AU DIAGNOSTIC

1. Introduction :

Après avoir étudié les différentes caractéristiques des systèmes d'aide au diagnostic médical à savoir : interactivité, flexibilité et adaptabilité, et les outils de conception et techniques de développement, nous proposons dans ce chapitre une architecture basée agents d'un système d'aide à la décision et au diagnostic médical. Nous décrivons les différents types d'agents mis en oeuvre et les modes d'interaction entre eux, le développement du système suit l'approche 'Voyelles' (A, E, I, O) reposant sur des principes purement multi agents, fondée sur la décomposition de la vue d'un système multi agents en quatre aspects fondamentaux: Agents, Environnement, Interaction et Organisation. elle comporte deux phases : la phase d'analyse, et la phase de conception, nous avons également construit une ontologie qui permet de donner une sémantique aux termes utilisés au sein de notre système.

2. Présentation générale du modèle :

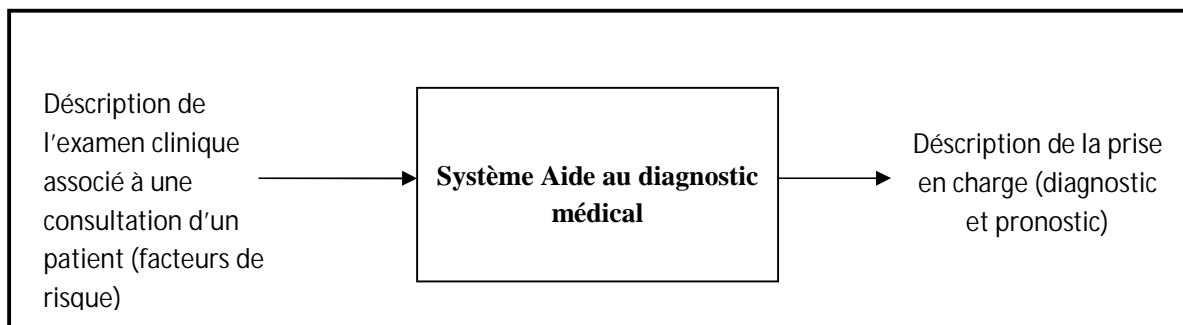


Fig 14 : Modélisation d'un système d'aide au diagnostic médical

Dans un premier temps, le médecin recueille les facteurs de risque, en écoutant le patient et en l'examinant puis il évoque des hypothèses diagnostiques susceptibles d'expliquer ses observations. Il tente ensuite de prévoir l'évolution de la maladie. Ces décisions (diagnostic et pronostic) relèvent de la connaissance à la différence des suivantes qui sont de l'ordre de l'action. En effet, dans un second temps, le médecin décide des investigations utiles à la validation du diagnostic. Il prescrit les examens dits complémentaires (examens de laboratoire, radiographies, etc.) qui lui donneront des informations permettant de confirmer ou infirmer l'une ou l'autre hypothèse. Nous présentons dans la figure 15, la démarche générale d'établissement d'un diagnostic médical

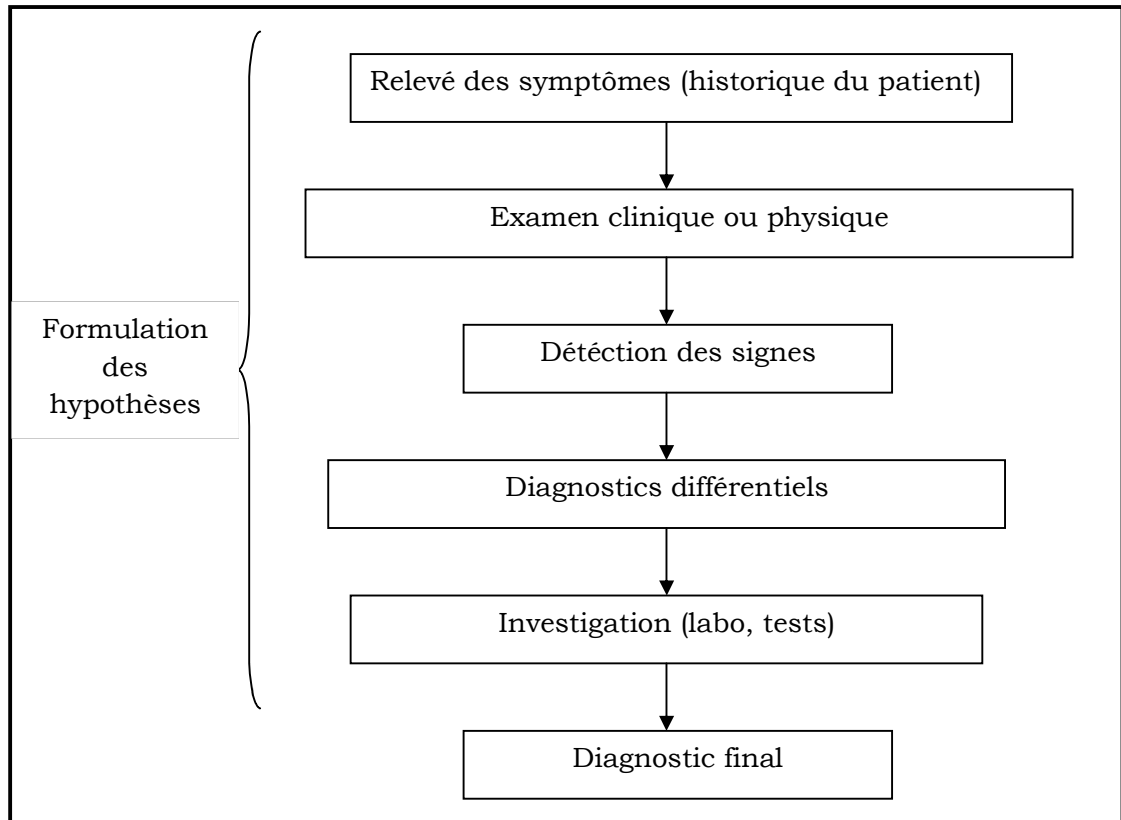


Fig 15 : Démarche de diagnostic médical

L'Architecture globale de notre système est composée d'une société d'agents communiquant entre eux, à leur disposition deux ressources à savoir l'ontologie et la base de connaissance. Elle est illustrée par la figure 16.

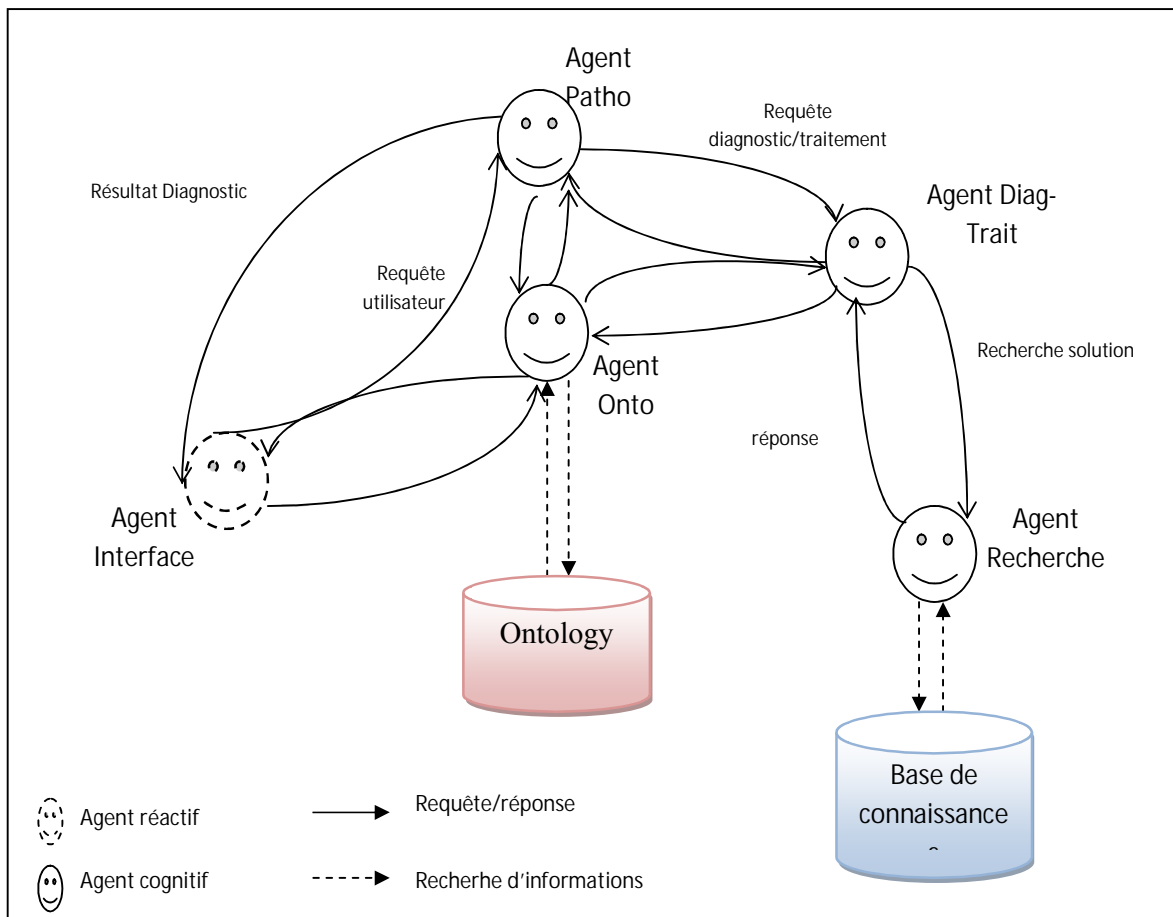


Fig 16 : Architecture du système

3. Conception du SMA :

Nous proposons dans ce qui suit une conception d'un système d'aide à la décision et au diagnostic médical basée sur un système multi agents dont les agents sont dotés d'un mécanisme de raisonnement 'logique' sur des règles existantes. Les 'meilleures' règles générées servent à enrichir la base de connaissances du système, préalablement initialisée par des connaissances validées, introduites par des médecins experts.

Le développement du système suit l'approche 'Voyelles' [Demazeau, 1995] comportant deux phases : la phase d'analyse qui nous a permis d'identifier et de décomposer le problème afin de dégager l'architecture générale du système, la phase de conception permet la spécification du fonctionnement global du système exprimée sous forme de diagrammes de comportements. La troisième phase de l'approche 'Voyelles' étant relative à l'implémentation du système multi agents (Elle sera traitée dans la partie réalisation- le chapitre 4).

3.1 Choix de l'approche de conception :

Parmi les méthodologies citées dans l'état de l'art et qui couvre le mieux l'ensemble des phases de développement d'un système multi agents, nous avons choisi l'approche 'Voyelles' (vue dans la chapitre 2). Ce choix se justifie par le fait que 'Voyelles' repose sur des principes purement multi agents : Elle est fondée sur la décomposition de la vue d'un système multi agents en quatre dimensions : Agents, Environnement, Interaction et Organisation, (récemment une cinquième dimension a été ajoutée : Utilisateur).

3.1.1 Analyse du SMA (Identification des composants) :

Cette phase consiste à identifier et à décomposer le problème en cinq composantes fondamentales (agents, environnement, interaction, organisation, utilisateurs) afin de dégager l'architecture générale du système.

Nous avons identifié cinq agents de deux types ; réactif et cognitif.

a. Les agents :

➤ Agent Interface (AI):

Il sert d'intermédiaire entre les utilisateurs et les agents du SMA, par conséquent, il contrôle l'accès au système. permet de traduire les requêtes des utilisateurs et les transmet aux agents concernés, et affiche les résultats du diagnostic au médecin.

➤ Agent Ontologique (AO) :

Il gère les informations au sein de l'ontologie, il joue le rôle d'une interface entre l'ontologie, la requête de l'utilisateur et les autres agents du système. L'agent OA communique d'une part avec les autres agents en langage FIPA-ACL et d'autre part avec l'ontologie par des requêtes en FLogic. Ce type d'agent possède un autre rôle qui est de produire de nouvelles relations sémantiques entre les concepts locaux de son ontologie.

➤ Agent Recherche (AR) :

Il recherche l'information dans la base de connaissance du système, et maintient l'intégrité de cette dernière.

➤ Agent Pathologie (AP):

Il analyse la requête et la décompose pour rechercher les signes contenus dans sa base de connaissance, puis envoie les facteurs à l'agent diagnostic-traitement, il envoie également les résultats du diagnostic à l'agent interface pour être affichés

L'objectif général de cet agent est de collecter les informations médicales durant toutes les étapes de soins effectuées par le médecin. Il s'agit ici de regrouper les informations concernant l'historique, l'examen clinique, les radios, les analyses et les examens complémentaires.

➤ Agent Diagnostic-Traitement (ADT) :

c'est l'agent clé du système, s'occupe de l'activité principale du système proprement dit. Son but est de proposer un diagnostic et un pronostic. Pour cela, il cherche dans sa base de connaissances la solution qui répond aux besoins du médecin ; s'il n'existe pas de solution, il demande à L'agentRecherche d'en proposer une qu'il intègre dans sa base de connaissances.

Il calcule également un score qui permet de prédire la maladie avant quelques années (dans notre système de 8 ans à 10 ans), et pour ça il additionne des points en références à des critères appelés facteurs de risque du diabète de type2.

b. Environnement :

Il est Constitué par ce qui est fixé durant l'activation du système : l'ensemble des agents modélisés et les ressources qu'ils manipulent à savoir l'Ontologie et la Base de Connaissances pour réaliser leurs objectifs. Les agents agissent sur cet environnement en fonction des entrées qu'ils reçoivent de lui, ces entrées sont les informations sur les patients (facteurs de risque).

c. Interactions :

On distingue les interactions utilisateur-agent et les interactions agent-agent :

➤ Interaction Utilisateur-Agent :

Elles correspondent soit à l'action du médecin sur l'interface intelligente (interaction utilisateur-agent), soit à l'affichage des résultats dans une interface graphique (interaction agent-utilisateur). En effet lorsque le médecin sollicite le système d'aide au diagnostic médical: il soumet sa requête à l'agent interface, ce dernier reformule la requête (message FIPA-ACL) et la transmet à l'agent diagnostic. Lorsque l'agent interface reçoit les résultats de ses requêtes depuis l'agent Pathologie, il les reformule et affiche les résultats dans l'interface.

➤ Interaction Agent-Agent :

La communication inter-agents permet aux agents de bénéficier des informations et du savoir faire des autres agents et par conséquent augmente les capacités perceptives des agents, elle constitue l'un des moyens principaux assurant la répartition des tâches et la coordination des actions.

Pour atteindre le but global du système, les agents doivent non seulement communiquer via l'envoi de messages mais également coopérer.

• Communication par envoi de messages :

Le langage de communication que nous avons choisi pour l'envoi de messages entre nos différents agents est le langage ACL (Agent Communication Language) dont la spécification permet une interopérabilité maximale entre les agents. La syntaxe d'un message FIPA-ACL est illustrée comme suit :

```
(request
:sender Agent_A
:receiver Agent_B
:content
(...)
:in-reply-to action
:reply-with reponse
:language FIPA-SLO
)
```

Fig 17 : Structure d'un message FIPA-ACL

Dans l'ACL de FIPA le message minimum contient l'information suivante :

- le type du message envoyé.
- l'expéditeur du message
- le destinataire du message
- le contenu du message.

Lorsqu'un agent soumet une requête (message FIP-ACL) à un autre agent, ce dernier :

- Refuse la requête en répondant par un message (Refuse) en donnant les raisons du refus.
- Accepte la requête en répondant par un message (Agree) : soit il n'aboutit pas à un résultat, uquel cas, il répond par un message (Failure), soit il aboutit à un résultat, et répond par un message (Inform-result) qui contient le résultat de la requête.

- Coordination et cooperation :

La coordination permet aux agents, d'une part, de s'inspirer de certains résultats des autres agents, et La coopération permet aux agents de travailler ensemble afin de :

- Mettre à jour les connaissances globales du système.
- Intégrer des informations venant d'autres agents.
- Interrompre son plan d'exécution pour aider les autres agents.
- Déléguer la tâche qu'il ne sait pas résoudre à un autre agent dont il connaît les compétences.

d. Organisation :

Une structure organisationnelle est définie par un ensemble de classes d'agents caractérisées par les rôles qui leurs sont affectés, et l'ensemble de relations abstraites existantes entre ces rôles.

e. Utilisateurs : Nous avons identifié deux types d'utilisateurs :

- L'administrateur du système qui a la charge de la maintenance du système.
- Les médecins qui demandent de l'aide au système.

3.1.2 conception du SMA :

L'objet de cette phase consiste à choisir les modèles fonctionnels des composantes pour aboutir à la spécification du fonctionnement global du système exprimée sous forme de diagramme de comportements.

Le système S = (AO, AP, AR, AI, ADT).

Nous distinguons deux types d'agents dans notre système : des agents réactifs (AI) et cognitifs (AO, AP, AR, ADT) dont l'architecture est inspirée des systèmes experts, pour cela ils ont besoin de deux types de ressources pour pouvoir réaliser leurs tâches : l'ontologie et la base de connaissances.

Le choix d'un modèle d'agents se fait essentiellement en fonction des besoins exprimés au cours de la phase d'analyse, tous les agents disposent d'un module de communication (boîtes où les agents reçoivent leurs messages).

L'architecture de nos agents est décrite ci-dessous :

• L'agent interface :

C'est un agent réactif, il sert d'intermédiaire entre l'utilisateur et les autres agents pour transmettre leurs messages, son architecture est représentée par la figure18 :

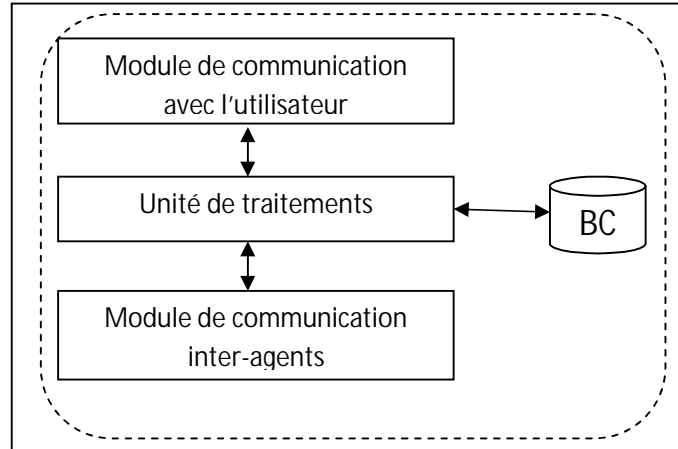


Fig 18 : Architecture interne de l' AI

Fonctionnement de l'agent interface :

- a) L'authentification :
 - Saisie du nom du medecin et du mot de passe.
- b) L'agent interface reçoit la requête du médecin à travers le module de comminations avec l'utilisateur, traduit la requête dans l'unité de traitement, puis la transmet à l'agent Pathologie via le module de communications inter-agents.
- c) Il reçoit les résultats de traitement de l'agent Diagnostic dans sa boite aux lettres, fait un traitement sur ces résultats et les remet au médecin.

Sa base de connaissances contient ses propres données.

L'agent interface peut être décrit comme suit :

- Si le médecin est identifié Alors lui permettre l'accès aux fonctions du système.
- Si le médecin n'est pas identifié Alors afficher un message d'erreur.
- Si le médecin saisie les données sous forme de listes de facteurs de risque Alors envoyer la requête à l'agent Pathologie
- Si l'agent Diagnostic-Traitement envoi message de diagnostic-Pronostic Alors afficher les résultats.

- Architecture des agents du système (AP, AD, AR, AO) :

L'architecture de nos agents est décrite par la figure 19 ci-dessous :

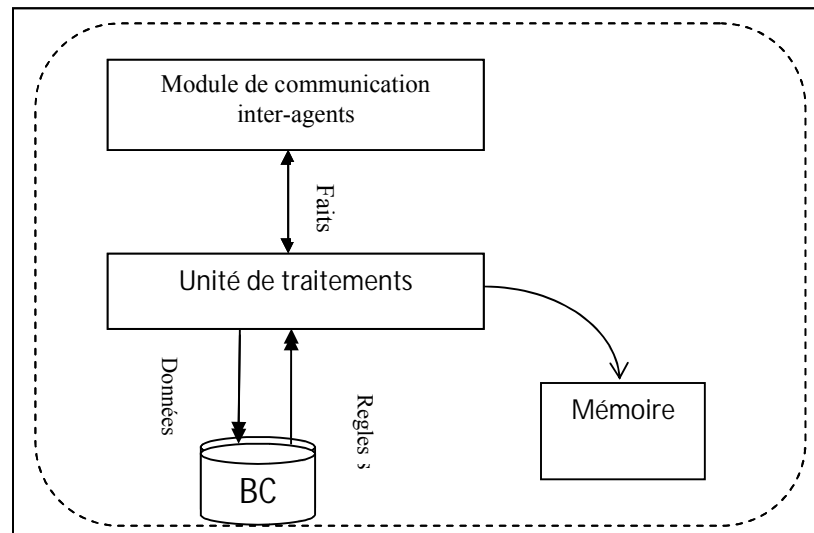


Fig 19 : Architecture d'un agent cognitif

L'architecture interne commune aux agents cognitifs du système comprend les composants suivant : la base de connaissances, la mémoire, l'unité de traitements, le module de communication.

- La base de connaissances : contient les règles d'inférence déclaratives applicables sur le domaine médical étudié, pour déduire de nouvelles données. Les règles sont implémentées comme des schémas déclaratifs SI

Condition
ALORS
Action.

- La mémoire : contient des données provisoires produites par le raisonnement de l'agent. Elle constitue en quelque sorte la mémoire de travail du système. Elle est variable en cours de l'exécution et vidée lorsque l'exécution se termine.
- Le module de communication : permet à l'agent d'interagir avec les autres agents par envoi de messages.

- L'unité de traitement (ou raisonneur) : représente le cœur de l'agent, son but est de résoudre un problème à partir des données initiales (spécification du problème) ou résultats partiels contenus dans sa mémoire via l'enchaînement des règles de production.

La stratégie du raisonneur comporte les phases consécutives :

- La détection des règles candidates,
- La sélection d'une règle à appliquer,
- Le déclenchement de la règle retenue.

Dans notre système, nous avons utilisé la technique du chaînage avant en partant des signes observés sur le patient pour déduire le diagnostic. En chaînage avant, le raisonnement est guidé par les signes recueillis. Si la liste des prémisses d'une règle sont vérifiées, la règle est déclenchée et ses conclusions sont ajoutées à la base de faits. C'est un raisonnement guidé par les les entrées (facteurs) comporte :

- Détecter les règles dont les prémisses (faits) sont vérifiées (filtrage)
- Sélectionner la règle à appliquer
- Appliquer la règle
- Recommencer jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de règle applicable.

Fonctionnement de l'Agent Pathologie :

- a) Recevoir le message de l'agent Interface contenant les données saisies par le médecin.
- b) Vérifier la consistance entre les observations saisies et ses connaissances de référence.
- c) Envoyer la liste des facteurs de risque à l'Agent Diagnostic-Traitement.

L'agent Pathologie peut être décrit comme suit :

- Si la liste des facteurs n'est pas définie Alors se mettre en attente pour un message contenant cette dernière.
- Si la liste des facteurs saisie par le médecin n'est pas valide Alors message d'erreur.
- Si la liste est valide Alors envoyer un message à l'agent Diagnostic-Traitement contenant les facteur et leurs paramètres.

Fonctionnement de l'Agent Diagnostic-Traitement:

- a) Recevoir le message de l'agent Pathologie contenant la liste des facteurs de risque.
- b) proposer un diagnostic et un pronostic si la solution existe dans sa base de connaissances et calcule le score de Framingham (qu'on verra dans le chapitre 4)
- c) Envoyer la liste des facteurs à l'Agent Recherche en lui demandant de proposer une solution s'il ne trouve pas dans sa base de connaissances.
- d) Envoyer le résultat du diagnostic à l'agent Interface.

l'agent Diagnostic-Traitement peut être décrit comme suit :

Les étapes que suit l'agent Diagnostic-Traitement pour son fonctionnement sont les suivantes :

- Si la liste des facteurs fait partie d'une règle dans sa base de connaissances Alors exécuter cette règle et proposer le diagnostic et le pronostic en calculant le score.
- Si la solution n'existe pas dans sa base de connaissances Alors faire appel à l'agent Recherche pour en proposer une..
- Si solution Alors envoyer un message à l'agent Interface contenant le diagnostic et le pronostic.

Fonctionnement de l'Agent Recherche:

- a) Recevoir le message de l'agent Diagnostic-Traitement contenant la liste des facteurs de risque.
- b) proposer un diagnostic et un traitement si la solution existe dans sa base de connaissances.
- e) Envoyer le résultat du diagnostic à l'agent Diagnostic-Traitement.

L'agent Recherche peut être décrit comme suit :

- Si une liste des facteurs n'est pas reçue Alors se mettre en attente pour un message contenant cette dernière.
- Si la liste est reçue Alors recherche solution.
- Si solution obtenue Alors envoyer un message à l'agent Diagnostic-Traitement contenant le résultat de recherches.

Fonctionnement de l'Agent Ontologie:

- a) Recevoir le message de n'importe quel agent du système contenant des concepts en relation avec le domaine.
- b) Traduire les messages reçus, il permet ainsi aux agents d'avoir un langage de communication commun.

L'agent Ontologie peut être défini comme suit :

- Si un message est reçu Alors le traduire en concepts élémentaires et chercher les synonymes.

4. Représentation des ressources du système :

En observant le raisonnement du médecin sur ses connaissances académiques, il s'est avéré que les règles de production le reproduisent parfaitement.

4.1 Base de connaissances :

La base de Connaissances rassemble toutes les connaissances du système, contient l'ensemble des variables (signes cliniques, biologiques, etc.), la description des diagnostics, des conduites à tenir et des traitements, ainsi que les "liens" qui permettent de déduire un diagnostic ou une conduite à tenir à partir des variables. Ces "liens" sont le plus souvent des règles de production qui s'écrivent sous la forme: Si [Condition] Alors [Action], par exemple:

Règle1 : si obésité abdominale et (triglyceridémie ou traitement hypolipémiant) et (pression artérielle ou traitement anti hypentenseur) alors risque de développer le diabète de type 2.

Règle 2 : si obésité abdominale et (triglyceridémie ou traitement hypolipémiant) et (cholestérol ou traitement hypolipémiant) alors risque de développer le diabète de type 2.

Règle 3 : si obésité abdominale et (triglyceridémie ou traitement hypolipémiant) et (glycémie à jeun) alors risque de développer le diabète de type 2.

Règle 4 : si obésité abdominale et (choléstérol ou traitement hypolipémiant) et (glycémie à jeun élevée) alors risque de développer le diabète de type 2.

Règle5 : si obésité abdominale et (choléstérol ou traitement hypolipémiant) et (pression artérielle ou traitement anti hypentenseur) alors risque de développer le diabète de type 2.

Règle 6 : si obésité abdominale et (glycémie à jeun élevée) et (pression artérielle ou traitement anti hypentenseur) alors risque de développer le diabète 2.

4.2 L'Ontologie :

De la maladie à la procédure de soin en passant par les symptômes et les données physiologiques, dans un cheminement de pensée décisionnel classique utilisé par les médecins, l'étude des symptômes et les observations et analyses qui en découlent conduisent au diagnostic qui s'accompagne d'une procédure de soin adaptée. Ce cheminement se rapproche du modèle SOAP (Subjective, Objective, Assessment, Plan) utilisé par certains médecins pour décrire dans une fiche informative l'état de santé complet d'un patient [Weed L.L., 1969].

Dans un tel modèle :

- S décrivent les symptômes et signes cliniques du patient.
- O décrivent les observations et analyses du médecin.
- A correspondent aux maladies et problèmes de santé du patient.
- P correspondent aux procédures de soins ou plans de santé mis en place pour résoudre les problèmes de santé du patient.

Pour les besoins de l'application, seuls S et A de ce modèle ont été conservés à savoir les signes et maladies. Ce choix a été réalisé en vue de l'automatisation dans un outil applicatif du cheminement logique d'une démarche diagnostique qui, partant d'un ensemble de facteurs de risque sélectionnés, aboutit au diagnostic et pronostic d'une maladie.

A la réutilisation d'une ontologie existante dans le domaine médical, il a été préféré la création d'une ontologie spécifique aux facteurs de risque du diabète2. Elle sera utilisée afin de diagnostiquer et prévenir le diabète 2.

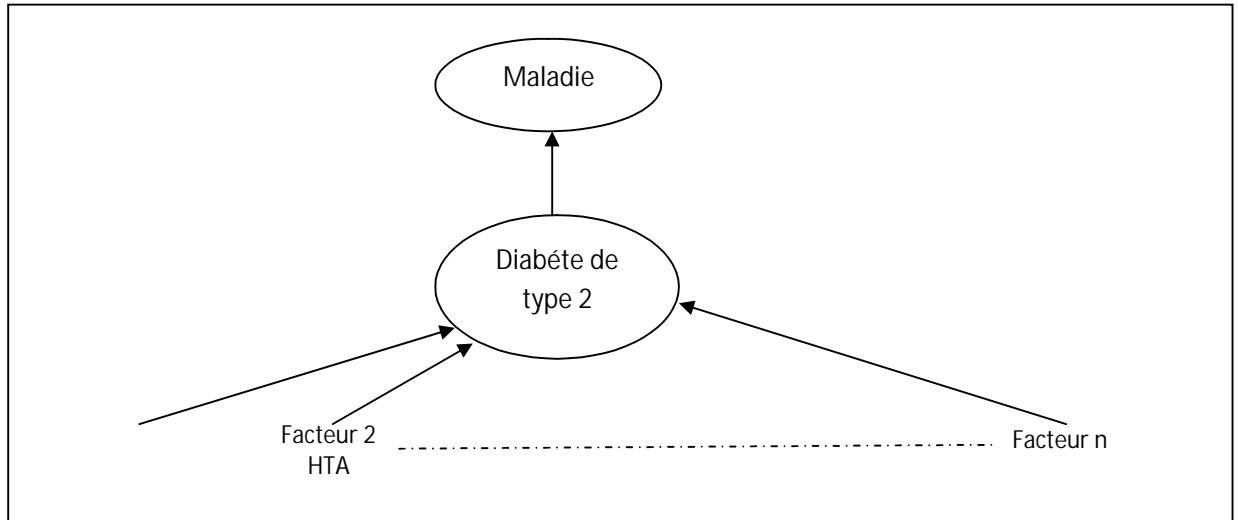


Fig 20 : Ontologie des facteurs de risque du diabète 2

4.2.1 Construction de l'ontologie du domaine :

Le processus de construction de cette ontologie comprend (04) phases :

- Phase 1: Specification de l'information.
- Phase 2: Conceptualisation.
- Phase 3: Formalisation.
- Phase 4: Implementation.
- Phase 5: Evaluation.

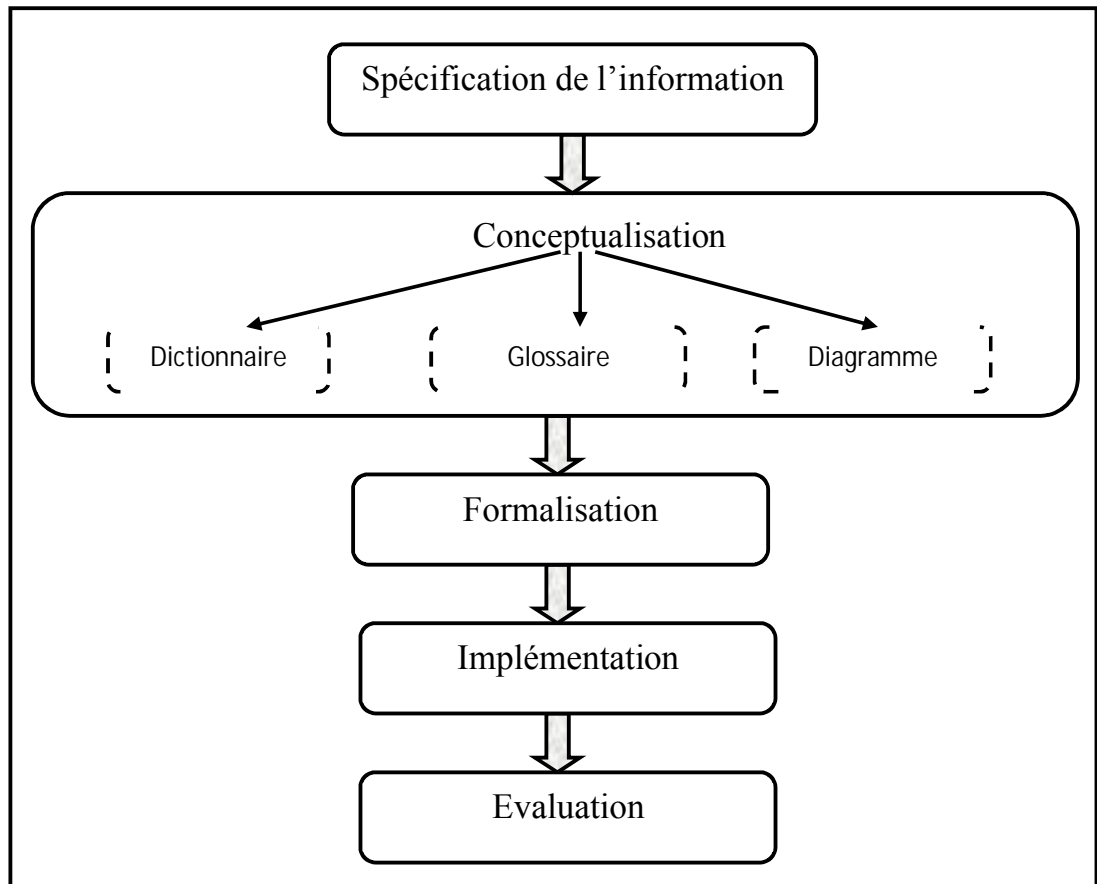


Fig 21 : Processus de construction de l'ontologie

Phase 1 : Spécification de l'information

Cette phase consiste à établir les documents informels qui décrivent l'ontologie des facteurs de risque du diabète 2 et acquérir les connaissances relatives à cette pathologie. Elle identifie également les utilisateurs et les questions auxquelles elle doit répondre. Les connaissances de l'ontologie proviennent de différentes sources : experts, encyclopédie, etc.

Domaine	Ontologie médicale spécifique au Diabète
Domaine de connaissance	Domaine de la pathologie étudiée.
Objectif	Ontologie des facteurs du diabète 2 permet une représentation formelles des connaissances relatives à la maladie du diabète. Le but du développement de cette ontologie est d'aider à la prévention du diabète et plus précisément de type 2, elle permet aux agents du système d'avoir un vocabulaire conceptuel commun qui leur permet de partager de façon collaboratif les connaissances médicales et de communiquer facilement.
Utilisateurs	Nos agents, spécialistes, Professionnels de santé médicale, Professionnels de santé para-médicale
Sources d'informations	Experts, Documents techniques en rapport avec le domaine du Diabète et l'encyclopédie Médicale. (livres, articles...)

Phase 2: Conceptualisation

Cette phase consiste à organiser et structurer les sources d'informations du domaine en utilisant une représentation formelle intermédiaire, par exemple tables et graphes pour obtenir à la fin un modèle abstrait (abstract model). Voici quelques étapes de la conceptualisation :

- Etablissement du glossaire de concepts relatifs au diabète 2.
- Définition des classes et la hiérarchie des classes (les concepts sont modélisés en classes et sub classes).
- Définition des relations entre les concepts.
- Spécification des propriétés des classes.
- Définition des instances de classes.

Ces étapes identifient les concepts clés relatifs au Diabète, leurs propriétés, et les relations qui les lient. Par exemple, dans le domaine du diabète, la tension artérielle, le régime, l'exercice physique...etc sont les concepts explicites. Chacun peut être étendu avec ses attributs propres.

Phase 3: Formalisation

Elle consiste à formaliser le modèle abstrait obtenu de la phase précédente en un langage formel de représentation des connaissances (appelé logique), le résultat est un modèle formel.

Phase 4: Implémentation

Cette phase consiste à rendre l'ontologie opérationnelle en utilisant un outil d'édition d'ontologies par exemple Racer, Protégé.... Dans notre cas, on a opté pour Protégé pour ses nombreuses extensions lui permettent en particulier de gérer des langages standards comme RDF et surtout OWL, de créer des axiomes formels de manière intuitive, d'accéder aux ontologies par des interfaces graphiques évoluées

Phase 5: Evaluation

Elle consiste à évaluer et mettre à jour notre ontologie. Elle doit être révisée pour donner un meilleur rendement. Mise à jour des symptômes dans l'ontologie, aidera à récupérer les termes plus précisément pour diagnostiquer le diabète 2.

5. Fonctionnement du système :

Cette partie consiste à présenter notre application en se basant sur le langage AUML.

5.1 Diagramme de séquence :

Nous présentons le fonctionnement global du système à travers le diagramme de séquence décrivant ainsi, l'aspect dynamique du système et en montrant la circulation et l'ordre chronologique des messages, autrement dit, il décrit la circulation de l'information.

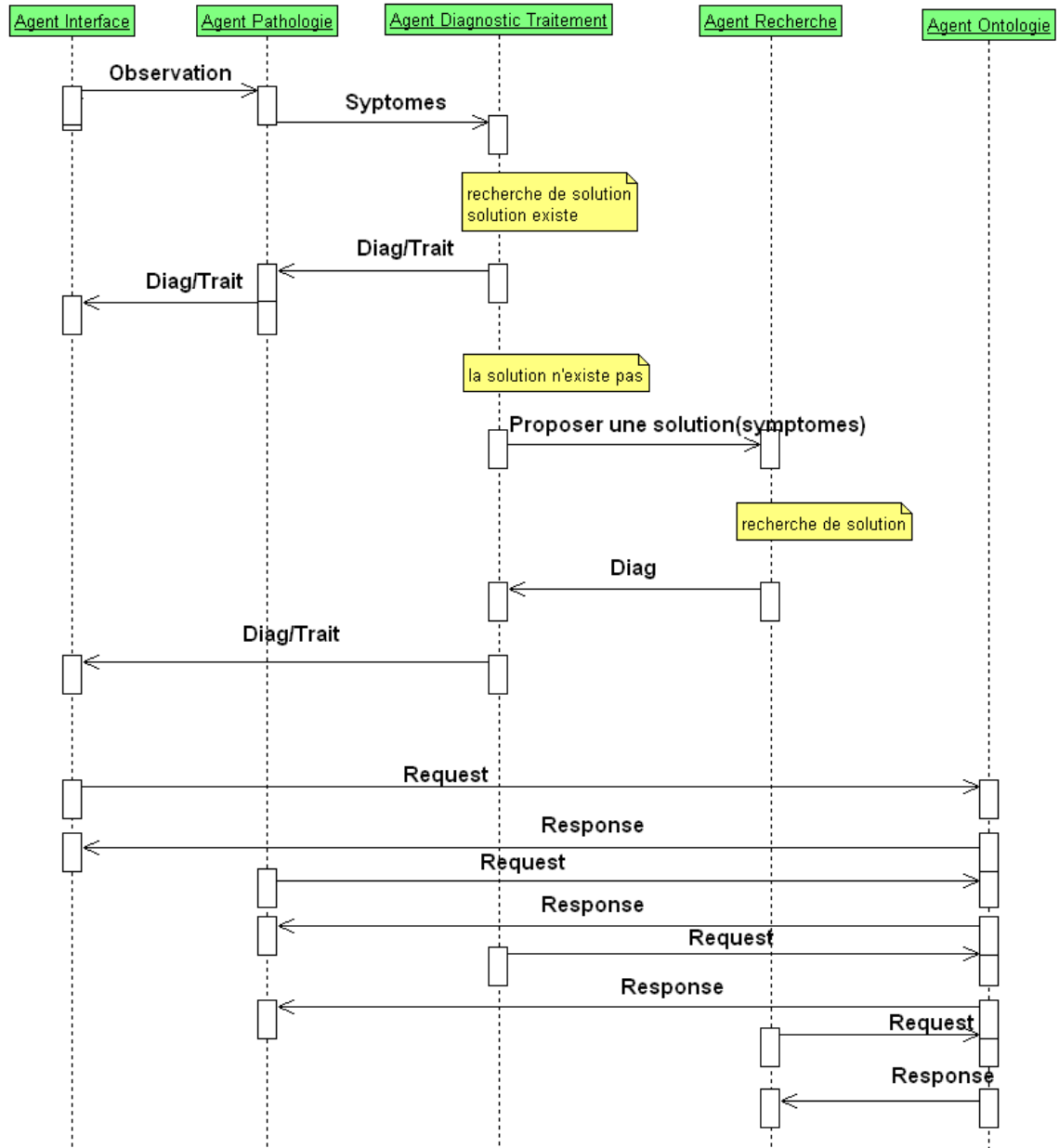


Fig 22 : Modélisation du fonctionnement global du système

5.2 Fonctionnement du système :

Les agents du système travaillent dans l'objectif de trouver le diagnostic le plus probable en fonction d'une certaine combinaison de facteurs de risque, et en se basant sur des connaissances disponibles sous forme de règles de production.

Les informations nécessaires à la décision sont disponibles pour tous les agents, et il n'y a pas de conflits pour y accéder. Tout cela traduit, que les agents de notre système interagissent en collaboration pour atteindre l'objectif.

Lorsqu'un médecin sollicite l'aide du système, il introduit les facteurs de risque qu'il a observé lors de l'interrogatoire et l'examen clinique, sa requête est prise en charge par l'agent interface AI, ce dernier traduit la requête en langage FIPA-ACL dans l'unité de traitement, puis la transmet à l'agent Pathologie AP via le module de communications inter-agents, il la transmet à l'agent Diagnostic-Traitement DAT afin de proposer un diagnostic et un pronostic en cherchant la solution dans sa base de connaissances qui répond aux besoins du médecin (en coopération avec l'agent Pathologie) ; s'il n'existe pas de solution, il demande à l'agent Recherche AR d'en proposer une, en accédant à la base de connaissances du système. L'agent Ontologie AO est sollicité par n'importe quel agent du système.

Le processus de diagnostic se décompose en trois parties principales. Premièrement, les différentes mesures et observations sont collectées par l'agent Interface (AI), c'est-à-dire qu'ils obtiennent les observations saisies par le médecin, puis ils les envoient vers l'agent Pathologie (AP) après traitement. Cette étape est appelée étape d'acquisition de données. Deuxièmement, tous les facteurs doivent être extraits. l'agents Pathologie vérifie la consistance entre les observations saisies et ses connaissances de référence. Cette étape est appelée l'étape de la détection. Finalement, le raisonnement diagnostique analyse les facteurs disponibles fournis par l'Agent Pathologie. Il mène à la détermination du diagnostic et des pronostics par l'Agent Diagnostic_Traitement (ADT)..

6. Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre notre architecture d'un système de'aide à la décision et au diagnostic médical en utilisant le paradigme multi agents.

Nous avons utilisée une architecture à base d'agent coopérants en bénéficiant de leur autonomie, modularité, distribution et intelligence. Le développement de cette architecture a suivi la méthodologie Voyelle composée de deux étape : Analyse et Conception.

Nous avons défini les différents agents du système, les différents modes d'interaction entre eux, et les ressources qu'ils utilisent pour leur fonctionnement à savoir : l'ontologie des facteurs de risque du diabète 2 qui traite l'aspect sémantique des termes et la base de connaissances.

Dans le prochain chapitre, nous fournissons la concrétisation de cette architecture à travers une étude de cas.



Chapitre 4

REALISATION DU SYSTEME D'AIDE AU DIAGNOSTIC

1. Introduction :

Le meilleur moyen pour construire un SMA est d'utiliser une plate-forme multiagents. Une plate forme multi-agents est un ensemble d'outils nécessaires à la construction et à la mise en service d'agents au sein d'un environnement spécifique. Essentiellement des produits résultants des travaux de recherche, et dont le choix dépend du domaine d'application, il existe plusieurs plate-forme multi-agents : Jade, Jack, MadKit,...

Dans cette partie nous allons présenter la mise en oeuvre des différents composants de notre application. Il s'agit de en premier lieu de présenter le contexte dans lequel le système d'aide au diagnostic a été réalisé et la façon dont les données ont été recueillies. Nous définissons ensuite l'architecture globale du système, ensuite présenter l'environnement de développement et justifier les outils choisis : plates-formes d'implémentation du système multi-agents, langages de programmation. Nous terminerons avec les résultats obtenus et une discussion sur nos futures perspectives.

2. Etude de cas :

2.1 Description de la pathologie :

Diabète de type 2, maladie grave par ses complications, notamment sur le cœur, nerfs et de plus en plus fréquente. Près de 250 millions personnes sont atteinte de part le monde dont 3 millions en Algérie, soit 10% de la population.

Cette maladie survient surtout chez les personnes pressentant des facteurs de risque et lorsqu'on prend de l'age. Le diabète de type 2 représente 90 % des cas de diabète après 60 ans (les autres 10 % étant des cas de diabète de type 1 où le pancréas ne secrète plus d'insuline).

Les personnes qui souffrent de diabète de type 2 peuvent ne présenter aucun symptôme pendant des années.

Cette maladie progressive et longtemps silencieuse est d'ailleurs souvent diagnostiquée à la faveur d'un contrôle de routine ou à la suite de complications.

Au fur et à mesure que la maladie progresse, les symptômes finissent par apparaître : augmentation de la soif et de la faim; besoin fréquent d'uriner; fatigue ; peau sèche sujette à des démangeaisons; coupures et blessures qui cicatrisent lentement ; infection fréquente des gencives; insensibilité et fourmillement des mains et des pieds; vision floue...etc

Chapitre 4 : Réalisation du système d'aide au diagnostic médical

De plus, chez les personnes souffrant de diabète de type 2, il est fréquent qu'une prise de sang révèle un taux sanguin élevé de triglycérides et un taux de cholestérol HDL ("bon" cholestérol) inférieur à la normale. Il est également fréquent d'observer une élévation anormale de la pression sanguine.

En somme, c'est la première fois qu'une maladie non transmissible est reconnue comme menace pour la santé mondiale aussi grave que les épidémies infectieuses telles que la malaria, la tuberculose ou le sida. Le diabète de type 2 devient un problème majeur de santé publique, les complications liées au diabète sont graves et responsables de séquelles lourdes et invalidantes, en particulier les complications micro vasculaires de rétinopathies et néphropathies, qui sont très liées à la fois à la durée d'évolution du diabète et au contrôle glycémique et des autres facteurs de risque cardiovasculaire, la mortalité des diabétiques est plus élevée que celle des sujets du même âge non diabétiques, d'où la nécessité de prévenir cette maladie par son dépistage précoce, donc on devrait évaluer annuellement le risque de diabète en se référant aux facteurs de risque, pour éviter les lourdes complications de cette maladie par la suite. Les patients présentant un syndrome métabolique sont à risque élevé de diabète. Une approche axée sur le changement des habitudes de vie est recommandée : saine alimentation et activité physique. On doit, de plus, traiter les facteurs de risque que sont : l'hypertension, l'obésité et les anomalies glycémiques pour ne pas en venir à traiter le diabète comme on dit "il vaut mieux prévenir que guérir".

La précocité du diagnostic et de la prise en charge ainsi que la globalité des actions thérapeutiques conditionnent le pronostic des patients afin de prévenir l'apparition ou l'évolution des complications liées à cette maladie.

Les facteurs de risque du diabète de type 2 sont les suivants :

- Avoir un parent du premier degré atteint de diabète
- Avoir un surplus de poids
- Être âgé de 40 ans ou plus
- Avoir eu un enfant qui pesait plus de quatre kilos à la naissance
- Avoir un diabète gestationnel
- Faire de l'hypertension artérielle
- Présenter une hypercholestérolémie ou une dyslipidémie
- Les personnes d'origine autochtone, africaine, hispanique et asiatique sont plus à risque que la population en général.

Chapitre 4 : Réalisation du système d'aide au diagnostic médical

Nous avons choisi les études de Framingham [Framingham, 1980] qui nous permettent d'évaluer le risque de développer le diabète en % et en année, par exemple un sujet X va être diabétique à 75 % dans 10 ans.

2.2 Calcul de score de Framingham [Framingham, 1980]:

Ce score simple figurant dans le tableau permet d'estimer le risque de développer un diabète dans les 10 ans de façon assez robuste. On parle du score prédictif de Framingham.

Glycémie à jeun : 5.6-6.9 mmol/l	Oui / non	10 points
IMC ¹⁵ : 25-29.9	Oui / non	2 points
IMC : ≥ 30	Oui / non	5 points
HDL-C ¹⁶ < 1 mmol/l (homme) HDL-C < 1.3 mmol/l (femme)	Oui / non	5 points
AF ¹⁷ positive pour diabète	Oui / non	3 points
TG ¹⁸ > 1.7 mmol/l	Oui / non	3 points
TA ¹⁹ > 130/85 mmHg ou HTA traitée	Oui / non	2 points
	TOTAL	X

Fig 23 : Prédiction du risque de survenue d'un diabète 2 dans les 10 ans
(The Framingham offspring study)

¹⁵ IMC : Indice de masse corporelle

¹⁶ HDL-C : Fraction high density lipoprotein - cholesterol

¹⁷ AF : Antécédant familial

¹⁸ TG : Taux de trigycérides

¹⁹ TA : Tension artérielle (mmHg)

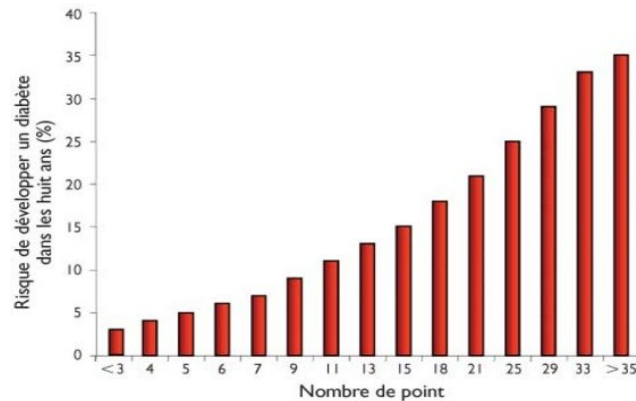


Fig 24 : interprétation des résultats du Score de Framingham

3. Les données du problème :

Les informations et les données utilisées par le système, ont été obtenues auprès du service de la Médecine Interne du CHU Constantine. La réalisation de notre application a été menée en collaboration avec le Professeur Benabbes Youcef spécialiste dans le domaine de la Diabétologie.

4. Recueil de l'expertise :

La première phase de ce projet a permis de définir les limites du domaine analysé. La Diabétologie est une branche de la Médecine Interne, assez vaste pour fournir un cadre représentatif du diagnostic au sein d'une spécialité médicale. Notre spécialiste a retenu l'étude de la pathologie du Diabète de type 2.

La deuxième phase a été pour nous une phase de familiarisation avec ce domaine médical. Dans cette optique, la consultation des archives du service de diabétologie et d'ouvrages destinés aux étudiants en médecine, nous a permis de prendre connaissance du vocabulaire et des concepts médicaux manipulés par les praticiens.

La phase suivante a été celle du recueil de l'expertise proprement dite. Ce recueil a débuté par un entretien enregistré, de plus de 4h. Cet entretien a permis de retenir l'essentiel des définitions, sans chercher à établir une complète valuation des facteurs. Le détail des définitions et la valuation des facteurs de risque se sont mis en place progressivement, en parallèle avec les différentes phases de développement du système.

Notre travail a ensuite consisté à mener conjointement la conception du logiciel, et la validation progressive du modèle. Cette validation a été réalisée grâce à des prototypes successifs qui ont permis de tester l'organisation des données et les réponses apportées par ce modèle aux problèmes de mise en place du système. Des entretiens réguliers avec le praticien (au total 50 Heures) ont permis la formalisation de ses connaissances

5. Environnement de développement :

5.1 Langage de programmation :

Le langage répondant au mieux à la mise en oeuvre de notre conception en termes de programmation orientée agents, est le langage Java.

Java est développé par Sun microsystem en 1995, et a connu rapidement un énorme succès. Le développement d'un système avec Java présente beaucoup d'avantages à savoir :

- « write once, run everywhere » constitue la force de Java, ceci est réalisé par une bibliothèque d'exécution qui se veut indépendante de la plateforme : il est possible d'utiliser le même code pour Windows 95/98/NT, UNIX, Macintosh, etc.
- Il est possible de développer des modules (objets) séparément, qui vont s'échanger des messages, et cela répond parfaitement à notre besoin de développement d'agents.

5.2 Choix de la plate-forme multi-agents :

On a choisit la plate-forme Jade pour implémenter notre système multi-agents, ce choix est motivé par le fait que Jade est écrite entièrement en java, elle bénéficie donc des avantages de ce langage en terme de portabilité et de souplesse. C'est aussi un produit open source (gratuite) et reprend aux normes FIPA-ACL. De plus cette plate-forme n'exige pas une méthodologie de conception du système multi-agents, elle laisse le concepteur libre choix de la méthode la plus adaptée pour son système.

Jade offre un ensemble d'outils graphiques qui permettent le débogage et l'administration du SMA, de plus, des agents dont les fonctionnalités sont très utiles, sont implémentés et son chargés à son lancement.

5.3 Présentation de l'éditeur PROTEGE :

L'outil PROTEGE a été développé par le Stanford Medical Informatics au sein de l'Université de Stanford. Le modèle de représentation de connaissances de PROTEGE est issu du paradigme des frames et contient des classes (pour modéliser les concepts), des slots (pour modéliser les propriétés des concepts) et des facettes (pour définir les valeurs des propriétés et des contraintes sur ces valeurs), ainsi que des instances des classes. PROTEGE introduit la notion de métaclasse, dont les instances sont des classes.

L'architecture de PROTEGE consiste en deux parties : 'le model' et 'la vue'. Le model est le mécanisme de représentation interne pour les ontologies et les composants de la vue fournit une interface utilisateur pour l'affichage et la manipulation du model sous-jacent.

L'interface très complète ainsi que l'architecture logicielle ouverte et extensible permettant l'insertion de plug-ins, ont grandement participé au succès de PROTEGE. Ces plug-ins pouvant apporter de nouvelles fonctionnalités entre autre OWLViz qui permet de gérer des représentations sous forme graphique, PROMPT qui est dédié à la gestion de plusieurs ontologies, en particulier à leur fusion et un plugin dédié à OWL.

En quelques années, cet éditeur s'est imposé comme la référence, avec une communauté d'utilisateurs extrêmement importante et active. Ses nombreuses extensions lui permettent en particulier de gérer des langages standards comme RDF et surtout OWL, de créer des axiomes formels de manière intuitive, d'accéder aux ontologies par des interfaces graphiques évoluées. Il est également possible de faire fonctionner des raisonneurs, comme RACER (Renamed Abox and Concept Expression Reasoner) pour le langage OWL-DL par exemple, pour vérifier la cohérence et la consistance de la structure ontologique.

Le plugin PROTÉGÉ OWL est une extension de PROTÉGÉ qui supporte le développement des ontologies en OWL. Il permet de :

- Sauvegarder des ontologies en plusieurs formats : RDF et OWL ;
- Editer et visualiser les classes et les propriétés des ontologies OWL ;
- Définir des expressions logiques des classes ;
- Exécuter des raisonneurs

6. Description des agents :

Nous avons identifié cinq types d'agents :

Agent Interface AI :

- Sert d'intermédiaire entre les utilisateurs et les agents du SMA
- contrôle l'accès au système.
- il permet de traduire les requêtes des utilisateurs et les transmet aux agents concernés.
- lorsque l'ADT lui renvoie les résultats du diagnostic et le pronostic, il les affiche au médecin.

Agent Ontologique AO :

- Gère les informations au sein de l'ontologie.
- Il joue le rôle d'une interface entre l'ontologie, la requête de l'utilisateur et les autres agents du système. L'agent OA communique d'une part avec les autres agents en langage FIPA-ACL et d'autre part avec l'ontologie par des requêtes en F-Logic. Ce type d'agent possède un autre rôle qui est de produire de nouvelles relations sémantiques entre les concepts locaux de son ontologie.

Agent Recherche AR :

- recherche l'information dans la base de connaissance du système.
- Maintient l'intégrité de la base de connaissances.

Agent Pathologie AP :

- analyse la requête et la décompose pour rechercher les signes et facteurs contenus dans sa base de connaissance.
- envoie les facteurs à l'agent diagnostic-traitement.

L'objectif général de cet agent est de collecter les informations médicales durant toutes les étapes de soins effectuées par le médecin. Il s'agit ici de regrouper les informations concernant l'historique, l'examen clinique, les radios, les analyses et les examens complémentaires.

Agent Diagnostic-Traitement ADT : c'est l'agent clé du système, s'occupe de l'activité principale du système proprement dit. Son but est de proposer un diagnostic et un pronostic. Pour cela, il cherche dans sa base de connaissances la solution qui répond aux besoins du médecin ; s'il n'existe pas de solution, il demande à l'agent Recherche d'en proposer une qu'il intègre dans sa base de connaissances. Pour son pronostic, il calcule un score qui permet de prédire le diabète2.

6.1 Description des agents Pathologie et Diagnostic-Traitement :

Nous donnons ci-dessous une description formelle de l'Agent Pathologie AP et l'Agent DiagnosticTraitement ADT.

6.1.1 Agent Pathologie AP :

C'est un agent intelligent du système. Il est activé en fonction des motifs d'entrée saisis par l'agent Interface. L'objectif général de cet agent est de contrôler les informations saisies par l'Agent Interface AI. Il s'agit ici de regrouper les informations concernant l'historique, l'examen clinique, les analyses et les examens complémentaires.

```
Public class AgentPathologie extends CIAgent{  
  
String name ; // nom de l'agent  
  
private Vector listeners = (AgentOntologie, AgentInterface,  
AgentDiagnostic-Traitement)  
// liste des tâches  
private task-get-history () {saisit l'historique de la maladie}  
private task-get-clinical-exam () {saisit les informations de l'examen  
clinique}  
private task-get-analysis-result () {saisit les résultats de l'analyse}  
private task-get-extend-exams () {saisit les examens complémentaires}  
}.  
}
```

6.1.2 Agent DiagnosticTraitement DAT :

C'est l'agent intelligent du système par excellence. Son but est de proposer un diagnostic et un pronostic. Pour cela, il cherche dans sa base de connaissances la solution qui répond aux besoins du médecin ; s'il n'existe pas de solution, il demande à l'Agent Recherche AR d'en proposer une qu'il intègre dans sa base de connaissances.

```
Public class AgentDiagnosticTraitement extends CIAgent{  
String name ; // nom de l'agent  
private Vector listeners = (l'AgentPathologie, l'AgentRecherche,  
l'AgentOntologie)  
// liste des tâches  
private task-generate-dignostique () { propose un disgnostique}  
private task-generate-pronostic () { propose un pronostic}  
private task-generate-score () { calcule le score}
```

Chapitre 4 : Réalisation du système d'aide au diagnostic médical

Nous présentons des interfaces dans la figure 26 de nos agents réalisée par la plateforme JADE.

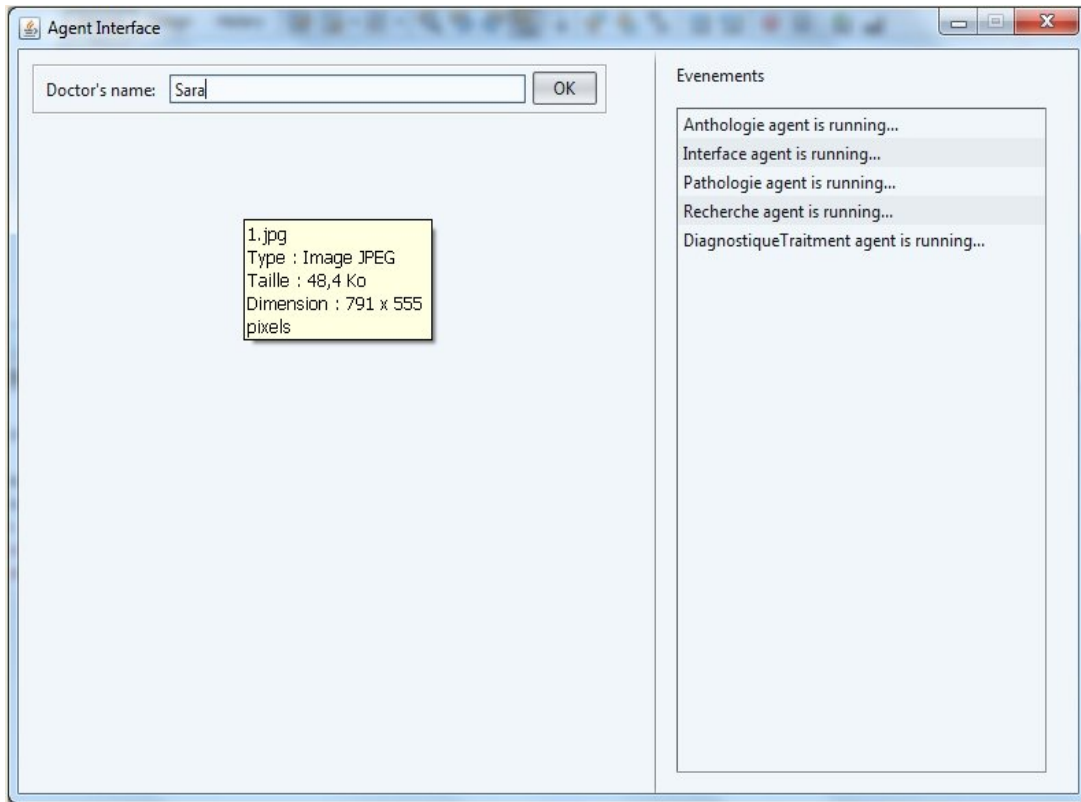


Fig 25 : Identification du médecin par l'Agent Interface

Chapitre 4 : Réalisation du système d'aide au diagnostic médical

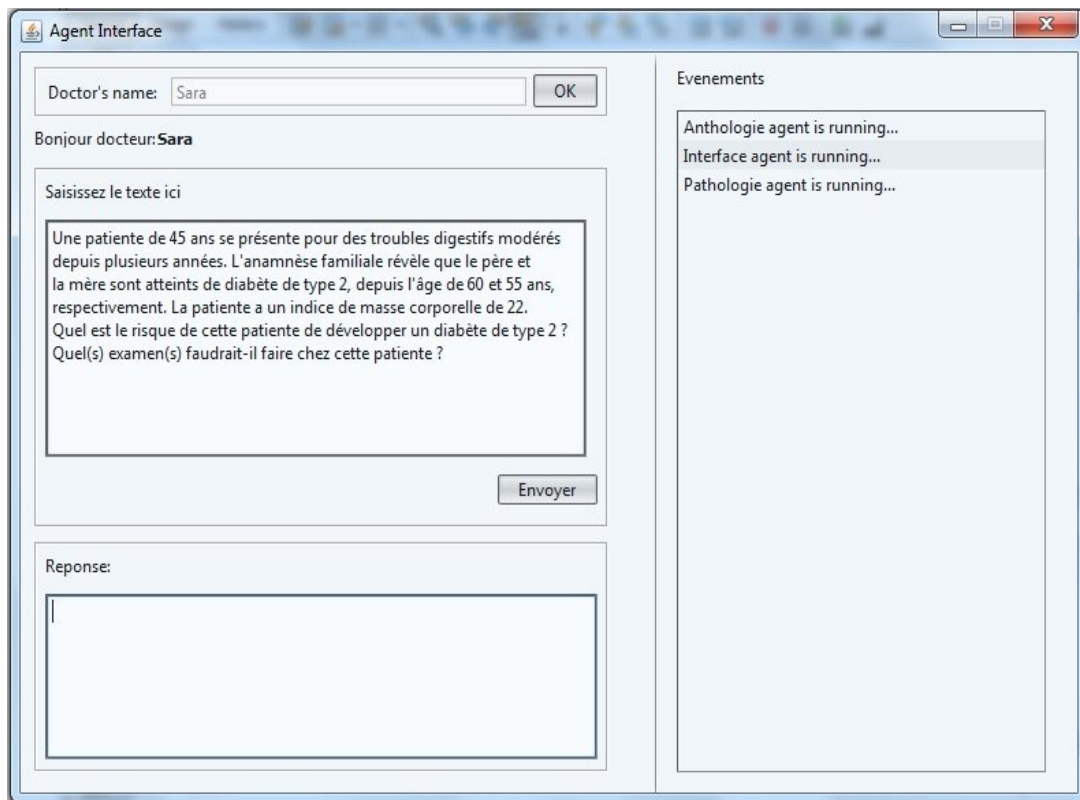


Fig 26 : Saisie du texte contenant les observations du médecin

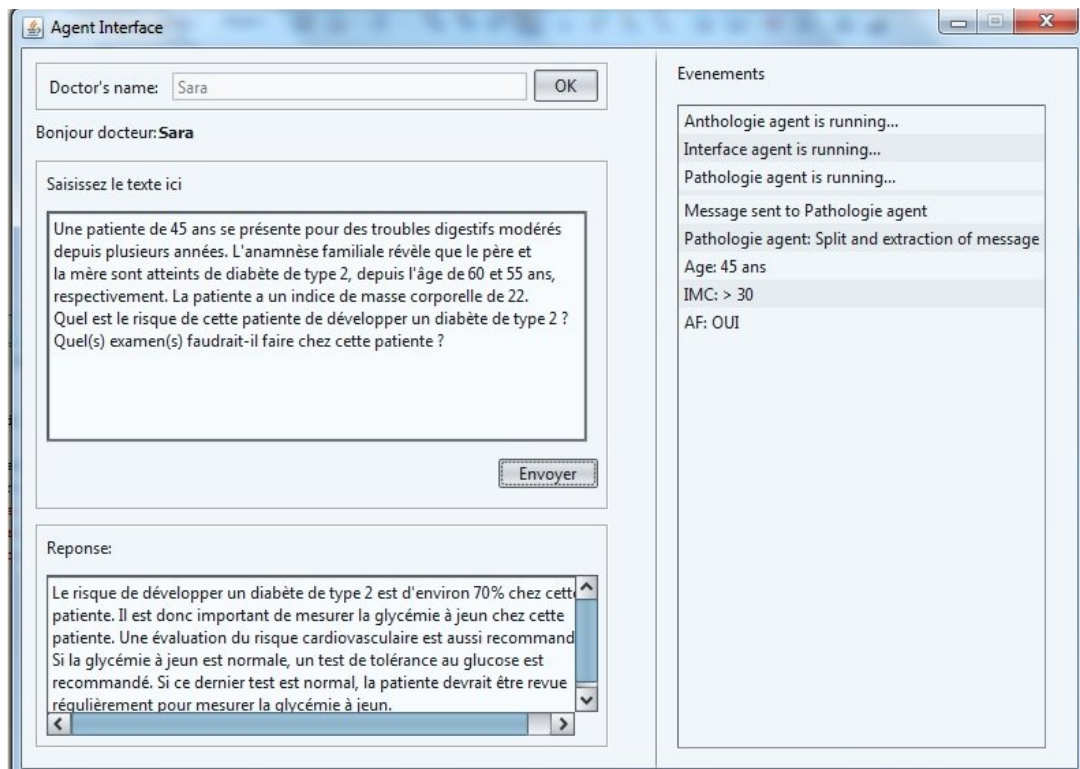
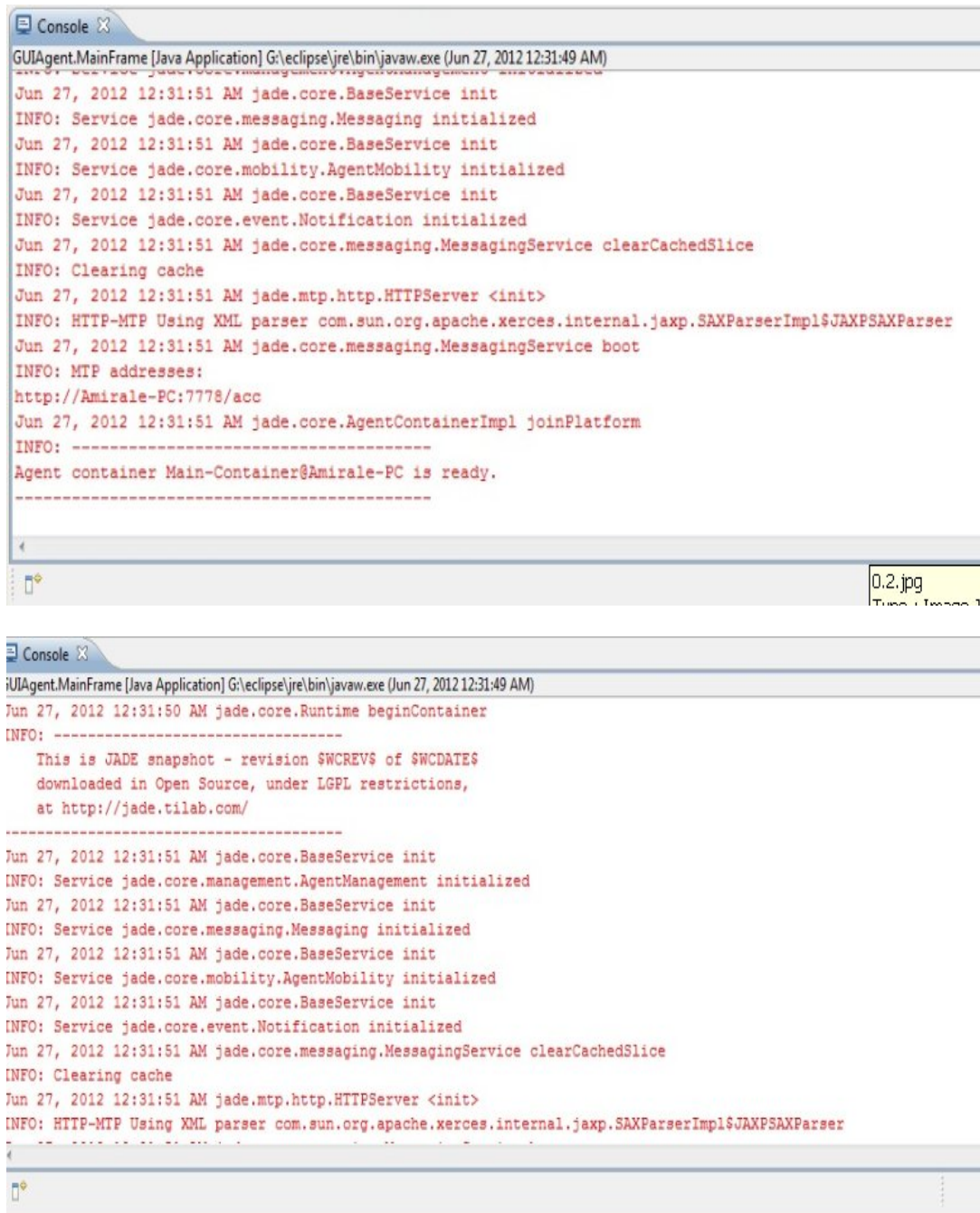


Fig 27 : Résultat du diagnostic après traitement des données saisies



```
GUIAgent.MainFrame [Java Application] G:\eclipse\jre\bin\javaw.exe (Jun 27, 2012 12:31:49 AM)
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.messaging.Messaging initialized
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.mobility.AgentMobility initialized
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.event.Notification initialized
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.core.messaging.MessagingService clearCachedSlice
INFO: Clearing cache
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.mtp.http.HTTPServer <init>
INFO: HTTP-MTP Using XML parser com.sun.org.apache.xerces.internal.jaxp.SAXParserImpl$JAXPSAXParser
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.core.messaging.MessagingService boot
INFO: MTP addresses:
http://Amirale-PC:7778/acc
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.core.AgentContainerImpl joinPlatform
INFO: -----
Agent container Main-Container@Amirale-PC is ready.
-----

GUIAgent.MainFrame [Java Application] G:\eclipse\jre\bin\javaw.exe (Jun 27, 2012 12:31:49 AM)
Jun 27, 2012 12:31:50 AM jade.core.Runtime beginContainer
INFO: -----
This is JADE snapshot - revision $WCREV$ of $WCDATES$
downloaded in Open Source, under LGPL restrictions,
at http://jade.tilab.com/
-----
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.management.AgentManagement initialized
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.messaging.Messaging initialized
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.mobility.AgentMobility initialized
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.core.BaseService init
INFO: Service jade.core.event.Notification initialized
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.core.messaging.MessagingService clearCachedSlice
INFO: Clearing cache
Jun 27, 2012 12:31:51 AM jade.mtp.http.HTTPServer <init>
INFO: HTTP-MTP Using XML parser com.sun.org.apache.xerces.internal.jaxp.SAXParserImpl$JAXPSAXParser
```

Fig 28 : Fragments de codes programmés en JAVA

7. Description de la base de connaissances :

La base de Connaissances rassemble toutes les connaissances du système, contient l'ensemble des variables (signes cliniques, biologiques, etc.), la description des diagnostics, des conduites à tenir et des traitements, ainsi que les "liens" qui permettent de déduire un diagnostic ou une conduite à tenir à partir des variables. Ces "liens" sont le plus

Chapitre 4 : Réalisation du système d'aide au diagnostic médical

souvent des règles de production qui s'écrivent sous la forme: Si [Condition] Alors [Action], par exemple :

Règle 1 : si obésité abdominale et (triglyceridémie ou traitement hypolipémiant) et (cholestérol ou traitement hypolipémiant) alors risque de développer le diabète de type 2.

Règle 2 : si obésité abdominale et (triglyceridémie ou traitement hypolipémiant) et (glycémie à jeun) alors risque de développer le diabète de type 2.

Règle 3 : si obésité abdominale et (cholestérol ou traitement hypolipémiant) et (glycémie à jeun élevée) alors risque de développer le diabète de type 2.

Règle 4 : si obésité abdominale et (cholestérol ou traitement hypolipémiant) et (pression artérielle ou traitement anti hypertenseur) alors risque de développer le diabète de type 2.

8. Ontologie des facteurs du Diabète 2 :

Nous présenterons un fragment dans la figure 25 de notre ontologie en Owl généré par PROTEGE

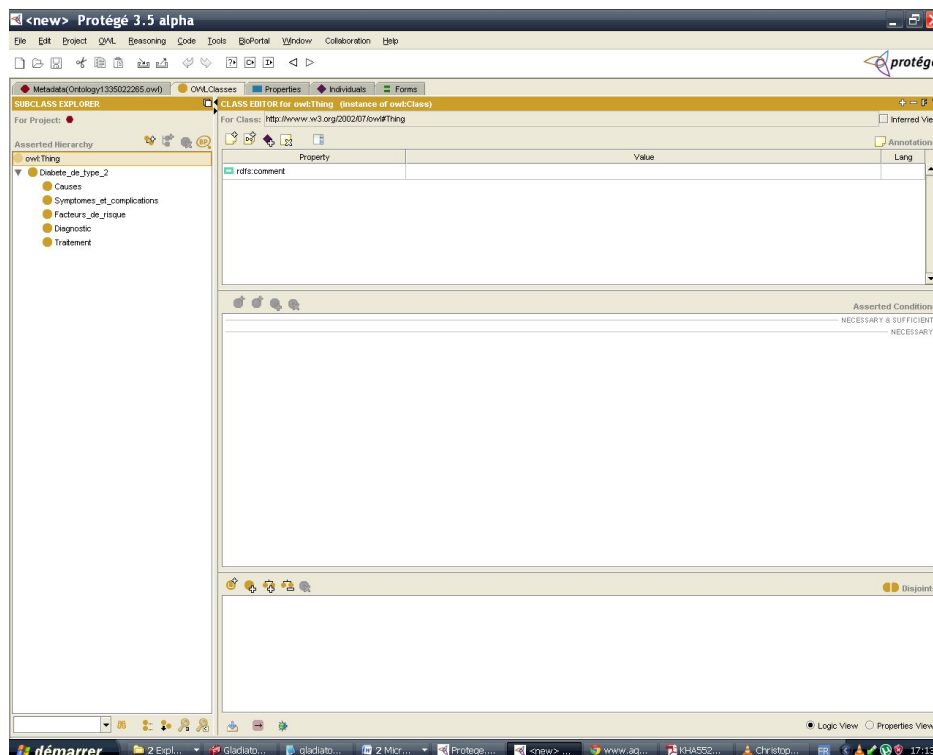


Fig 29 : Interface de l'Ontologie Diabfact

```
<rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#Personne" />
  <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string" />
</owl:DatatypeProperty>
<owl:ObjectProperty rdf:ID="nee_1e">
  <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#Personne" />
  <rdfs:range rdf:resource="#DateHeure" />
  <owl:inverseOf rdf:resource="#date_naissance" />
</owl:ObjectProperty>
<owl:DatatypeProperty rdf:ID="nom">
  <rdf:type rdf:resource="&owl;FunctionalProperty" />
  <rdfs:domain rdf:resource="#Personne" />
  <rdfs:range rdf:resource="&xsd;string" />
</owl:DatatypeProperty>
<owl:Class rdf:ID="Personne">
```

Fig 29 : Fragment du code OWL généré par PROTÉGÉ.

9. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la mise en oeuvre des différents composants de notre architecture vue dans le chapitre 3 présentant la conception de notre système. Il s'agit en premier lieu de présenter l'étude de cas qui est la pathologie du Diabète 2, la façon dont les données ont été recueillies. Nous avons ensuite défini l'environnement de développement, le choix de la plateforme d'implémentation JADE du système multi agents, le langage de programmation JAVA et PROTEGE pour l'ontologie. Nous avons donné quelques exemples d'exécution pour mieux illustré notre application.

Conclusion Générale

Le système de santé algérien est en pleine restructuration afin de rattraper les années de retard engendrées par différentes causes, les nouvelles technologies peuvent donner une impulsion et aider nos institutions hospitalières à développer des pratiques modernes dans l'exercice de l'activité médicale.

Cette conclusion se propose de restituer notre travail dans le contexte de la problématique de l'aide à la décision médicale présentée en introduction. Les trois points soulevés par l'analyse des systèmes passés étaient : l'accès des praticiens à l'informatique, les méthodes utilisées pour modéliser les tâches diagnostiques, les attentes des praticiens.

L'objectif de ce travail était de développer un système d'aide à la décision et au diagnostic médical basé agent. Nous avons utilisé la méthodologie Voyelle [Demazeau, 1995], permet de mieux couvrir l'ensemble des phases de développement d'un système multi agents, Elle est fondée sur la décomposition de la vue d'un système multi agents en quatre dimensions : Agents, Environnement, Interaction et Organisation A, E, I, O et utilisateur U. Nous avons défini cinq types d'agents qui communiquent pour atteindre l'objectif global du système. nous avons opté pour les systèmes multi agents pour leurs caractéristiques (autonomie, pro-activité, capacités sociales) et l'architecture des systèmes multi agents (traitement de l'information distribuée, communication, coordination, négociation), mais aussi leurs nombreux avantages et en particulier la prise en charge des systèmes complexes tel que le notre, se révèle une piste prometteuse pour résoudre les problèmes dans le domaine médical en général et les problèmes liés au diagnostic en particulier. Nous avons également abordé un notre paradigme de l'IA, l'ontologie qui a été d'un apport précieux à notre architecture, en traitant l'aspect sémantique des données du système, en d'autre terme elle a fourni un vocabulaire commun aux différents agents, les aidant à interagir sans aucune ambiguïté ce qui fait la force de notre approche.

Utiliser le paradigme multi agent pour le diagnostic médical possède deux objectifs :

- Développer une architecture robuste d'une procédure de diagnostic permettant le partitionnement et la séparation des entités favorisant la réutilisation des sources, et la maintenance des logiciels.

Conclusion Générale

- Spécifier un système de diagnostic distribué, favorisant la coopération et la communication entre les différents agents.

Le premier chapitre de cette thèse a permis d'introduire les principaux concepts du contexte général de ce travail : l'aide à la décision et au diagnostic médical, leurs caractéristiques et objectifs, les différents modes de raisonnement et les différentes méthodes d'aide à la décision médicale en terminons par quelques exemples de systèmes d'aide à la décision dans le domaine médical.

Le deuxième chapitre a permis à travers sa première partie de définir la notion d'agent et les systèmes multi agents, leurs caractéristiques, les méthodologies de construction des SMA, nous abordons des travaux d'aide à la décision médicale basés sur le paradigme agent.

Dans sa deuxième partie, nous avons vu globalement les ontologies et leurs apports à notre approche en expliquant le lien existant entre les SMA et l'ontologie.

Dans le troisième chapitre, nous avons expliqué en détail la conception de notre système en décrivant les différentes composantes du système, les différents agents, les ressources qu'ils utilisent pour leur fonctionnement à savoir l'ontologie et la base de connaissances pour enfin terminer par le fonctionnement global du système.

Le quatrième chapitre, nous a permis de mettre en oeuvre cette architecture basée agents, à travers une étude de cas qui nous a demandé de recueillir les données auprès du service de la Médecine Interne du CHU Constantine. La réalisation de notre application a été menée en collaboration avec le Pr Benabbès Youcef spécialiste dans le domaine de la Diabétologie.

Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale récapitulant tous les points abordés tout au long de ce manuscrit et en présentant quelques perspectives de nos futurs travaux.

On pourra enrichir cette architecture en introduisant d'autres types de raisonnement par exemple RàPC, ou faire une classification par les Réseaux neurones ou même par une combinaison de deux types de raisonnement au sein d'un même agent, on peut également avoir des agents avec différents modes de raisonnement. On peut aussi élargir notre ontologie pour prévenir tous les types de diabète.

Bibliographie

Bibliographie

[Bachimont, 2000], Bachimont B, Engagement sémantique et engagement ontologique: conception et réalisation des connaissances , in Ingénierie des connaissances, R Teulier, J Charlet, P Tchounikine, Editors. 2000, L'Harmattan:Paris.

[Baujard, 1992], Olivier Baujard. « Conception d'un environnement de développement pour la résolution de problèmes : Apport de l'intelligence Artificielle et Application à la Vision ». Thèse de l'Université de Joseph Fourier Grenoble I, 1992.

[Charlet, 2005], Charlet J. L'ingénierie des connaissances, entre science de l'information et science de gestion. in Cerisy "Activité, connaissance, organisation". 2005.

[Delouis, 1991], Delouis I. « Une nouvelle génération d'architectures pour le développement de systèmes à base de connaissances ». L.R.I. 1991.

[Demazeau 95], Demazeau Y., « From interactions to collective behaviour in agent-based systems», 1995.

[Demazeau et Muller, 1990], Yves Demazeau et Jean-Pierre MULLER. « Decentralized Artificial Intelligence » Elsevier Science Publishers B.V (North Holland) 1990.

[Ferber, 1995], Ferber J., Les Systèmes Multi-agents. Vers une intelligence collective InterEditions, 1995.

[FIPA, 2002], The foundation for Intelligent Physical Agents (2002). Specifications. retrieved July 7, 2005 from <http://www.fipa.org>.

[Fougeres, 2008], Fougeres A.J, Une architecture cognitive d'agents communicants dans des systèmes d'information complexes. Laboratoire M3M, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, France ,2008.

[Gerald, 1990], Masini Gerald « Les langages à objets langages de classes, langages de frame, langages d'acteurs ». Inter-edition 1990.

Bibliographie

[Greenwood et al , 2003], S.Greenwood, J.L.Nealon and P.Marshall. Agent-Based User Interface Adaptivity in a Medical Decision Support System, in Applications of Software Agent Technology in the Health Care Domain, Whitestein Series in Software Agent Technologies, Birkhauser Verlag, Basel, pages 35-48, 2003.

[Gruber, 1993], Gruber T.R., « A translation approach to portable ontology specification. », Knowledge Acquisition 5, 1993, p. 199-220.

[Haton, 1991], Jean Paul Haton « Le raisonnement en intelligence artificielle » Inter-editions 1991. Paris.

[Herceau et Ferber, 1991], Jean Herceau et Jacques Ferber « L'intelligence artificielle distribuée ». Recherche 233, Juin 1991, volume 22.

[Iantovics 2007, 2008, 2009, 2010], Iantovics 2007, 2008, 2009, 2010, IEEE, Springer.

[Iffencker, 1992], C. Iffencker. « Un système multi-agent pour le support des activités de conception de produit ». Thèse de l'Université Paris VI . Décembre 1992. Rapport n°93/01.

[Iglesias, 1997], C.A. Iglesias, M. Garijo, J.C. González, and J.R. Velasco. Analysis and design of multi-agent systems using mas-commonkads. In AAAI'97 Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages, Providence, RI, 1997.

[Kanellopoulos, 2006], Kanellopoulos D., KOTSIANTIS S., Pintelas P., « Ontology-based learning applications: a development methodology. », 24th IASTED Software Engineering, Février 2006.

[Kendall et al., 1996], E. A. Kendall, Malkoun M.T., and C. Jiang. A methodology for developing agent- based systems for enterprise integration. In D. Lukose and Zhang C., editors, First Australian Workshop on Distributed Artificial Intelligence, pages 216 - 231. Springer Verlag, LNAI 1087, 1996.

[Khoualdi, 1994], K.Khoualdi. « Filtrage d'alarmes pour un système automatisé par une approche multiagents ». Thèse de l'Université Paris VI. LAFORIA, 8 Novembre 1994.

[Labrou et Finin, 1997], A proposal for a new KQML specification, Technical Report CS- 97-03, Computer Science and Electrical Engineering Department, University of Maryland Baltimore County, 1997.

[Labarthe, 2006], « Modélisation et simulation orientée agent de chaînes logistiques dans un contexte de personnalisation de masse », Olivier LABARTHE Université : Paul Cezane, 2006.

Bibliographie

[Mabry et al, 2004], Susan L. Mabry, Caleb R. Hug, Russell C. Roundy. "Clinical DecisionSupport with IM-Agents and ERMA Multi-agents," *cbms*, page. 242, 17th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'04), 2004.

[Mandiau et al, 2000 (a)], Mandiau, R. (2000a). HDR : Modélisation et Evaluation d'Organisations Multi-Agents. LEMIH, L'universite de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis.

[Mandiau et al, 2000 (b)], Mandiau, R. (2000b). Modélisation et Evaluation d'Organisations Multi-Agents. Valenciennes, L'universite de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis: 128.

[Mea, 2001], Vincenzo Della Mea, "Agents acting and moving in healthcare scenario: a paradigm for telemedical collaboration", *IEEE Transaction on Information Technology in Biomedicine*. pages 10-13, 2001.

[Reichgelt, 1990], Knowledge representation: An AI perspective. Norwood, NJ: Ablex.

[Riaño et al, 2002], D. Riano, S. Prado, A. Pascual and S. Martin. A Multi-Agent System to Support Palliative Care Units. *Proceedings of the 15th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2002)*, 2002.

[Russell, 1997], Russell, S.J. « Rationality and intelligence ». *Artificial Intelligence*, Vol. 94, 1997. p.57-77.

[Shoham, 1993], Shoham, Y. "Agent-oriented programming". *Artificial Intelligence*, Vol. 60, 1993. p.51-92

[Shibakali, 2009], Shibakali G, Shiladitya P, *IEEE*, 2009.

[Thomas, 2005], « Proposition d'un formalisme pour la construction automatique d'interactions dans les systèmes multi-agents réactifs », Vincent Thomas, Université de Nancy I, 2005

[Tian et al., 2003], Tian, Jiang and Tianfield, Huaglory, "A Multi-agent Approach to the Design of an E-medicine System", *MATES 2003, LNAI 2831*, pages 85-94, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003.

[Sirin, 2007], Sirin E., Parsia B., Grau B.C., KALYANPUR A., Katz Y., « A practical OWL-DL reasoner. », *Journal of Web Semantics* 5(2), 2007.

[Wooldridge et Jennings, 1995], Wooldridge, M. et N. R. Jennings. « Agent theories, architectures, and languages ». Dans Wooldridge, Jennings (ed), *Intelligent Agents*, Springer Verlag, 1995. p.1-22.

Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie