



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université Abess Laghrour - Khenchela



Thèse

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
master en informatique

Option

Génie logiciel et systèmes distribués

Développement d'un système multi agents d'aide au diagnostic médical

Présenté par :

Sahraoui Tawfik

Benmansour Wafa

Dirigé par :

M.Benothmane Mohammed

Les membres de jury :

Président Dr. Siam Abderrahim

Examineur M. slama Sofiane

Rapporteur M. Benothmane Mohammed

Année universitaire 2022/2023

Table de matières

Table de Figures IV

Liste de Tableaux	V
Introduction Générale	V
1 Le diagnostic médicale	4
1.1 Introduction	4
1.2 Quelques concepts clés	5
1.2.1 Le signe	5
1.2.2 Le symptôme	5
1.2.3 Le syndrome	6
1.2.4 La maladie	6
1.3 Le diagnostic médical	6
1.3.1 Définition du diagnostic médical	6
1.3.2 Processus du diagnostic médical	7
1.4 Le raisonnement médical	8
1.4.1 Définition	8
1.4.2 Types de raisonnement médical	9
1.5 La notion de décision	10
1.5.1 Définition	10
1.5.2 Processus de décision	11
1.5.3 Types de décisions	13
1.5.4 Définition de l'aide à la décision médicale	13
1.5.5 Objectifs des systèmes d'aide à la décision médicale	14
1.5.6 Caractéristiques des systèmes d'aide à la décision médicale	15
1.5.7 Les méthodologies de l'aide à la décision médicale	16
1.5.8 Types de systèmes d'aide à la décision	18
1.5.9 Quelques exemples de systèmes d'aide à la décision médicale :	19

1.6	Raisons du choix d'une solution basée sur l'intelligence artificielle et les systèmes multi agents	21
1.7	Conclusion	25
2	Les systèmes multi agents	26
2.1	Introduction	26
2.2	La notion d'agent	26
2.2.1	Qu'est-ce qu'un agent?	26
2.2.2	Environnement d'un agent	28
2.2.3	Principales Caractéristiques de l'agent	29
2.2.4	Typologie des agents	31
2.2.5	Architecture d'agents	34
2.2.6	Définition des systèmes multi agents(SMA)	35
2.2.7	Caractéristiques d'un système multi agent	37
2.2.8	Interactions entre agents dans un système multi agents	40
2.2.9	La communication dans les systèmes multi agents	43
2.2.10	Méthodologies de développement des systèmes multi agents	46
2.2.11	Raisons du choix de la méthode Voyelles comme méthode de conception du notre systeme multi agents	50
2.2.12	Domaines d'utilisation des systèmes Multi-Agents	52
2.3	Conclusion	53
3	Développement d'un système multi agents d'aide a la decision (Diagnostic du diabète type 1)	55
3.1	Introduction	55
3.2	Etude de cas	55
3.3	Le diagnostic médicale et les SMA	58
3.4	Choix de l'approche de conception	59
3.5	Conception de système	60
3.5.1	Analyse de système (Identification des composants)	60

3.5.2	Diagrammes de conception du système	68
3.6	Implémentation de système	71
3.6.1	Environnement de développement de système	71
3.6.2	Méthodes de classification de système	77
3.6.3	Fonctionnement du système	79
3.7	Conclusion	84
	Conclusion générale	86
	Table de références	87

Table de Figures

1.1	modèle du processus de décision selon Herbert.A Simon [46]	12
2.1	Interaction entre un agent et son environnement.	27
2.2	L'agent, un processus à 3 phases : perception, délibération puis action	29
2.3	Agent réactif	32
2.4	Agent cognitif	33
2.5	Architecture en couches d'un agent.	34
2.6	Système Multi-Agent	36
2.7	Communication par partage d'information	45
2.8	Communication par envoi de messages	45
2.9	Les trois concepts centraux de la méthode Aalaadin	47
2.10	Architecture de la méthode GAIA	49
3.1	Le processus de diagnostic médical dans un hôpital	57
3.2	Modélisation d'un système d'aide au diagnostic médical	58
3.3	Structure d'un message FIPA-ACL	65
3.4	architecture du système partie 1	66
3.5	architecture de système partie 2	67
3.6	Diagramme de cas d'utilisation	68
3.7	Diagramme de classes	69
3.8	Diagramme de séquences	70
3.9	Fenêtre d'accueil du système	80
3.10	Deuxième fenêtre apparue	80
3.11	Fenêtre de saisie des informations du patient	81
3.12	interface d'affichage du résultat de diagnostic	82
3.13	Interface Sniffer pour visualiser les messages	83

Table de Tableaux

2.1 Agents cognitifs vs agents réactifs.[47]	33
--	----

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Je tiens à exprimer ma gratitude et ma reconnaissance à mes deux parents qui ont été un soutien constant tout au long de mes études, en particulier dans les moments difficiles. Leur amour inconditionnel et leurs encouragements ont été essentiels pour mon parcours académique.

Je souhaite également adresser mes remerciements à mes frères et mes soeurs, qui ont toujours été là pour moi, me soutenant et m'inspirant à persévérer dans mes efforts.

Enfin, j'aimerais exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur, M. Ben Othmane Mouhammed, pour son expertise, ses conseils précieux et son soutien tout au long de mon travail. Ses orientations et son engagement ont été essentiels pour ma réussite.

À tous, je vous adresse mes sincères remerciements pour votre présence et votre soutien indéfectible. Votre amour, votre confiance et votre encouragement ont été des moteurs dans mon parcours académique. Je suis reconnaissant de vous avoir à mes côtés.

Tawfik

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A mes deux parents, à mes chers frères

Je leur dis merci pour tout ce qu'ils ont fait et continuent à faire pour moi.

Je tiens à dédier ce travail à mon encadreur, Mr. Ben Othmane Mouhammed, qui a joué un rôle essentiel dans la réalisation de ce projet. Son expertise, sa guidance et ses conseils précieux ont été d'une importance capitale tout au long de ce parcours.

A tous ceux qui me sont chers

Wafa

Remerciements

Avant tout nous remercions dieu le tout puissant qui nous a donné la force, la patience et le courage pour qu'on puisse accomplir ce modeste travail.

Nous remercions profondément notre encadreur monsieur Ben Othmane Mouhammed pour ses suivis et ses précieuses orientations dans notre travail et Nous voudraient vous remercier pour tous vos conseils et vos remarques intéressantes.

Nous exprimons nos reconnaissances à tous personnes qui a contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce travail ; nos enseignants, nos amis, nos collègues de promotion génie logiciel et systèmes distribués 2023.

Nous remercions également les membres de jury d'avoir accepté juger ce modeste travail

Résumé

L'application présentée dans ce travail exploite plusieurs domaines de l'intelligence artificielle, notamment l'apprentissage automatique, la classification et les systèmes multi-agents. Cette application vise à fournir un système d'aide à la décision pour le diagnostic du diabète de type 1 en utilisant des techniques avancées.

L'apprentissage automatique est utilisé pour permettre au système d'apprendre à partir des données et de prendre des décisions ou de faire des prédictions sans être explicitement programmé. Dans ce contexte, l'apprentissage automatique est appliqué à des méthodes de classification telles que le KNN, le SVM et la classification logistique. Ces méthodes permettent de prédire la présence ou l'absence de la maladie en analysant les attributs des patients.

Parallèlement, le système est conçu en utilisant une approche basée sur les systèmes multi-agents. Les systèmes multi-agents sont des systèmes composés d'entités autonomes appelées agents, qui interagissent et collaborent pour atteindre un objectif commun. Dans ce cas, les agents du système travaillent ensemble pour améliorer la précision du diagnostic du diabète de type 1 en partageant des connaissances et en communiquant entre eux.

En conclusion, l'application combine les concepts de l'intelligence artificielle tels que l'ap-

apprentissage automatique, la classification et les systèmes multi-agents pour fournir un système d'aide à la décision avancé pour le diagnostic du diabète de type 1. Cette approche permet d'exploiter les avantages de l'apprentissage automatique pour la prédiction précise de la maladie, tout en exploitant les capacités de collaboration et de communication des agents pour améliorer les résultats du diagnostic.

Introduction Générale

La médecine est un domaine en constante évolution, où le diagnostic médical joue un rôle crucial. Il permet d'identifier la nature des maladies ou troubles médicaux chez les patients, posant ainsi les bases d'une prise en charge personnalisée. Le processus de diagnostic repose sur une évaluation complète des antécédents médicaux, des symptômes, des résultats d'examens et de l'expertise clinique. Un diagnostic précis est essentiel pour orienter les décisions médicales ultérieures et éviter des conséquences néfastes. Cependant, la complexité croissante des maladies et la disponibilité de grandes quantités de données médicales posent des défis. C'est pourquoi les avancées technologiques, notamment l'intelligence artificielle, sont intégrées pour améliorer l'exactitude et l'efficacité du diagnostic. Les systèmes multi-agents sont une approche prometteuse, permettant la coopération et l'interaction entre différents agents pour accomplir des tâches spécifiques. Ils exploitent l'intelligence collective des agents, accélérant ainsi le processus de diagnostic et adaptant les décisions aux changements dans les données ou les connaissances médicales.

Notre travail suit l'approche proposée par Zouad Sara [44], qui utilise une architecture basée sur des agents intelligents pour les systèmes d'aide au diagnostic médical du diabète de type 2 qui utilise la recherche dans un archive préalablement stocké par un agent (Archive) et elle n'a pas utilisé la classification. Chose que nous allons intégrer la conception actuelle, nous apportons des améliorations à cette approche en intégrant les méthodes de classification. Dans la conception actuelle, nous avons identifié plusieurs agents qui jouent des rôles clés dans le système d'aide au diagnostic médical du diabète :

1. L'agent interface : Cet agent facilite l'interaction entre le système et l'utilisateur. Il permet à l'utilisateur de fournir des informations telles que les antécédents médicaux, les symptômes et les résultats d'examens.
2. L'agent superviseur : Cet agent coordonne les activités des autres agents. Il est responsable de la gestion des tâches, de la collecte des informations nécessaires et de la prise de décisions pour le processus de diagnostic.

3. L'agent classification : Cet agent utilise des techniques d'apprentissage automatique pour analyser les données médicales et classer les patients en fonction de leur probabilité de développer un diabète de type 2. Il utilise des modèles statistiques et des connaissances médicales pour effectuer cette classification.
4. L'agent SVM classification : Cet agent utilise l'algorithme SVM (Support Vector Machine) pour effectuer la classification des patients. L'algorithme SVM est connu pour sa capacité à traiter des ensembles de données complexes et à trouver des relations non linéaires entre les variables.
5. L'agent KNN classification : Cet agent utilise l'algorithme KNN (K-Nearest Neighbors) pour effectuer la classification des patients. L'algorithme KNN se base sur la similarité entre les échantillons et les voisins les plus proches pour prendre des décisions de classification.
6. L'agent logistique classification : Cet agent utilise l'algorithme de régression logistique pour effectuer la classification des patients. L'algorithme de régression logistique est couramment utilisé pour modéliser les relations entre une variable binaire et un ensemble de variables explicatives.

Nous avons choisi ces méthodes de classification en raison de leur efficacité et de leur capacité à gérer des ensembles de données complexes. En utilisant des techniques d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle, notre système peut analyser de grandes quantités de données médicales, détecter des relations complexes et fournir des recommandations de diagnostic précises.

Dans l'approche de conception des systèmes multi-agents, nous nous sommes basés sur la méthode VOYELLE de Yves Demazeau. Cette méthode nous permet de modéliser les interactions et les coopérations entre les agents, en exploitant l'intelligence collective pour améliorer l'exactitude et la complétude des résultats de diagnostic.

En résumé, notre travail vise à développer un système d'aide au diagnostic médical pour le diabète de type 2 en utilisant une approche basée sur des agents intelligents. En intégrant des techniques d'intelligence artificielle et en utilisant des méthodes de classification telles que SVM, KNN et régression logistique, notre système fournit une assistance précieuse aux prati-

ciens en facilitant la prise de décision médicale.

Chapitre 1

Le diagnostic médicale

1.1 Introduction

L'industrie de la santé est en constante évolution grâce aux avancées technologiques et à la recherche en médecine. Dans ce contexte, le diagnostic médical est un élément clé pour la prise en charge des patients, qui dépendent de l'exactitude des résultats pour recevoir le traitement approprié. Cependant, le diagnostic médical peut être complexe et sujet aux erreurs. Pour aider à surmonter ces défis, on trouve des approches et des outils qui ont été développés pour soutenir le processus de diagnostic, tels que les systèmes d'aide à la décision médicale qui occupent un large espace dans le domaine médicale depuis de nombreuses années.

MYCIN a été l'un des premiers systèmes experts de diagnostic médical, spécialisé dans les maladies viscérales. Il a notamment permis l'identification des micro-organismes responsables des infections sanguines. MYCIN fonctionnait en évaluant les symptômes rapportés par le patient et les résultats des tests médicaux disponibles. Le système pouvait également demander des informations complémentaires sur le patient et suggérer des tests de laboratoire supplémentaires afin de parvenir à un diagnostic plus précis. Une fois le diagnostic établi, MYCIN recommandait alors un traitement adapté à la situation médicale du patient.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les concepts clés liés au diagnostic médical, et le raisonnement médical. Ensuite, on fournira une vue d'ensemble des types et des approches des systèmes d'aide à la décision médicale, ainsi que quelques exemples.

Cette présentation ne se prétend pas exhaustive, mais elle a uniquement pour but d'introduire un minimum d'éléments nécessaires à notre travail.

1.2 Quelques concepts clés

1.2.1 Le signe

Un signe médical est la manifestation objective d'une pathologie, observée et identifiée par le médecin. Il peut être observé à différents niveaux (par exemple clinique, para-clinique ou complémentaire), et peut nécessiter des techniques de recueil plus ou moins rapides et/ou coûteuses. [24]

Il y'a deux types de signe :

— **Le signe positif**

Un signe est dit positif si c'est sa présence qui a une signification par exemple : Si fièvre, maux de nez et toux alors il y'a un état grippal.

— **Le signe négatif**

Les signes négatifs ou les signes absents comme étant tous les signes qui sont exprimés avec des négations. Par exemple « pas de vertiges, absence de fièvre etc».[24]

1.2.2 Le symptôme

Un symptôme est une manifestation ou un signe observable d'une maladie ou d'un état pathologique. Les symptômes peuvent être physiques (par exemple, douleur, fièvre, rougeur) ou psychologiques (par exemple, anxiété, dépression, confusion).[45]

Un symptôme représente une des manifestations subjectives d'une maladie ou d'un processus pathologique, tel qu'exprimé par le patient. Les symptômes peuvent être multiples pour une pathologie donnée.

Un symptôme se distingue d'un signe. Le symptôme est l'expression subjective des effets ressentis par le malade tandis que les signes en sont l'expression objective déduite par le médecin, ou plus généralement de la personne réalisant un diagnostic. [24]

1.2.3 Le syndrome

Le syndrome est un ensemble de signes et de symptômes qui se produisent ensemble et qui caractérisent une maladie ou un trouble particulier. C'est un terme médical utilisé pour décrire des manifestations cliniques multiples qui surviennent en même temps et qui sont souvent associées à une cause commune.

Selon le site MedlinePlus, géré par la Bibliothèque nationale de médecine des États-Unis, un syndrome est "un ensemble de symptômes qui se produisent ensemble et qui caractérisent une maladie ou un trouble particulier". Les syndromes sont souvent nommés d'après la maladie ou le trouble qu'ils caractérisent, tels que le syndrome de Down, le syndrome de fatigue chronique, le syndrome de Guillain-Barré et le syndrome du côlon irritable.[33]

1.2.4 La maladie

La maladie est un état de perturbation de la santé d'un organisme, caractérisé par des signes et des symptômes spécifiques et identifiables. Elle peut être causée par des facteurs biologiques, physiques, psychologiques ou environnementaux et peut être aiguë ou chronique.

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), "la maladie est un état anormal de l'organisme qui affecte son fonctionnement physique ou mental". La maladie peut être causée par des agents pathogènes tels que des virus, des bactéries, des parasites ou des champignons, ou par des facteurs environnementaux tels que la pollution de l'air, de l'eau ou des aliments. Elle peut également être causée par des facteurs de mode de vie, tels que le tabagisme, la consommation d'alcool, une alimentation malsaine et le manque d'exercice.[36]

1.3 Le diagnostic médical

1.3.1 Définition du diagnostic médical

En termes étymologiques, Le mot "diagnostic" vient du grec ancien "diagnostikos" qui signifie "capable de discerner" ou "qui distingue"; il s'agit donc d'acquérir la connaissance à travers les signes observables. [12]

En sens général, le diagnostic est le raisonnement menant à l'identification de la cause (l'origine) d'une défaillance, d'un problème ou d'une maladie, à partir de symptômes relevés par des observations, des contrôles ou des tests.

En médecine, le diagnostic est le processus d'identification d'une maladie ou d'un trouble à partir des symptômes présentés par le patient.

Selon le dictionnaire Larousse, le diagnostic est "l'opération par laquelle on identifie une maladie à partir de ses symptômes et de l'ensemble des données cliniques et paracliniques". [12]

Le diagnostic médical tel que défini par l'Académie nationale de médecine : « le diagnostic médical consiste à reconnaître les maladies par leurs symptômes et leurs signes, et à les distinguer les unes des autres. L'élaboration du diagnostic a comme premier objectif la prise en charge appropriée du malade. Il est un élément essentiel de la décision médicale». [10]

Et d'après Randolph Miller qui a défini Le diagnostic médical comme suit : « l'acte d'associer le nom d'une ou plusieurs maladies ou syndromes à des manifestations observées (antécédents, symptômes, signes) sur un patient»[34]

1.3.2 Processus du diagnostic médical

L'élaboration d'un diagnostic est un processus qui requiert un ensemble d'étapes, chacune apportant des informations (cliniques, biologiques, radiologiques, etc.), aboutissant à une appréciation de l'état de santé d'un patient». [10]

Il se déroule en trois étapes : l'enquête interrogative, l'examen clinique proprement dit et les examens complémentaires.

- Premièrement, le médecin prend connaissance des symptômes se manifestant chez un patient. A partir des symptômes, il formule des hypothèses diagnostiques initiales.
- Dans un deuxième temps, il procède à un examen initial du patient qui lui permet d'augmenter la part de confiance en certaines hypothèses, et de la diminuer pour d'autres.

- Le médecin obtient des signes supplémentaires via des examens biologiques ou d'imageries. En même temps, il pose au patient des questions dont les réponses peuvent être utiles à conforter ou rejeter une hypothèse initialement formulée. [20]

Le médecin effectue une analyse approfondie des informations collectées obtenues au cours des trois étapes précédentes en les combinant avec ses connaissances et son expérience. Si au terme des étapes précédentes, le taux de confiance d'une certaine hypothèse s'accroît au point de dissiper le doute sur la maladie à laquelle est confronté le médecin, ce dernier peut alors formuler son diagnostic final et prescrire le traitement adéquat au patient. Si le cas reste ambigu, le médecin peut rechercher des informations supplémentaires à partir d'autres sources, telles que des examens complémentaires tels que des analyses biologiques ou des examens d'imagerie médicale permettant d'éliminer l'ambiguïté.[20]

Ensuite, il utilise ces informations supplémentaires qui viennent compléter la quantité d'informations dont il dispose déjà, et qui lui permet de confirmer ou d'infirmer la ou les hypothèses qu'il a déjà faites. Si le médecin n'arrive toujours pas à établir un diagnostic, une dernière étape consiste à ce qu'il ait recours à l'étude d'une base de cas similaires traités par le passé (son expérience) afin d'établir une correspondance avec le cas actuel auquel il est confronté en s'appuyant sur toutes les informations dont il dispose. Il utilise alors les cas les plus similaires afin d'en extraire des informations susceptibles de l'aider à trouver une solution à son cas.

1.4 Le raisonnement médical

1.4.1 Définition

Les raisonnements impliquent la capacité mentale à exploiter les informations existantes pour produire de nouvelles informations. Ces informations sont considérées comme fiables ou hypothétiques, nécessitant une validation par la recherche d'informations appropriées. Ces activités mentales peuvent être le résultat d'un système formel ou de l'esprit humain. [44]

1.4.2 Types de raisonnement médical

Le processus du diagnostic médical peut relever d'un raisonnement médical sous ses formes.
[20]

a. Le raisonnement déductif

L'approche déductive est un type de raisonnement qui part du général pour arriver 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.[44]

b. Le raisonnement inductif

Le raisonnement médical inductif est une méthode de raisonnement souvent utilisée en médecine notamment pour diagnostiquer les maladies rares ou inhabituelles. Cette approche a été décrite dans plusieurs ouvrages de médecine, dont certains ont été publiés il y a plus de 50 ans. Par exemple, Dr John E. Wennberg dans son livre "Diagnostic Reasoning in Medicine" [51] a expliqué comment les médecins utilisent le raisonnement inductif pour formuler des hypothèses diagnostiques à partir de données cliniques.

Le raisonnement médical inductif consiste à reformuler une proposition générale à partir d'observations particulières, on utilise une méthode ascendante sert à déduire des règles à partir d'exemples. Si ces règles sont valides, elles peuvent être appliquées non seulement aux exemples particuliers, mais aussi de manière générale. En somme, il s'agit d'induire des règles à partir de cas particuliers pour les généraliser à l'ensemble des cas possibles.[44]

c. Le raisonnement abductif

Le raisonnement abductif est une méthode de raisonnement diagnostique qui est largement utilisée dans la pratique médicale. Cette méthode de raisonnement a été décrite par le philosophe et logicien américain Charles S. Peirce au 19ème siècle.

Dans son article intitulé "Abduction and Medicine", Peirce a expliqué que le raisonnement abductif implique d'élaborer des hypothèses sur la base d'observations et d'indices. Les hypothèses sont ensuite testées pour voir si elles correspondent aux observations. Si elles ne correspondent pas, de nouvelles hypothèses sont élaborées et testées jusqu'à ce qu'une hypothèse cohérente soit identifiée.

En conclusion, Le raisonnement abductif 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. [44]

d. Le raisonnement par analogie

« Le raisonnement par analogie est le procédé qui consiste à affecter une ou plusieurs propriétés à un objet (la cible) sachant qu'un objet de référence (la base) l'a ou les possède déjà. Ce transfert peut nécessiter ou induire l'apparition d'autres propriétés sur la cible. L'analogie exploite des relations de correspondances et des relations de dépendances afin de transposer des connaissances d'un univers à un autre.» [20]

Le raisonnement médical par analogie consiste à utiliser une situation ou un cas clinique similaire à celui que l'on rencontre pour aider à formuler un diagnostic ou un traitement. Cela peut être particulièrement utile dans les situations où l'on n'a pas de réponse claire ou lorsque les symptômes sont inhabituels. Par exemple, si un patient présente des symptômes qui ressemblent à ceux d'une maladie rare ou peu connue, un médecin peut utiliser des analogies avec des cas similaires pour déterminer un diagnostic. En utilisant des connaissances sur les caractéristiques et les traitements de ces cas similaires, le médecin peut mieux comprendre comment traiter le patient.

1.5 La notion de décision

1.5.1 Définition

La plupart des écoles rationalistes-analytiques considèrent la décision comme étant un choix parmi plusieurs alternatives, tandis que d'autres écoles estiment que la décision implique également la sélection des buts et des alternatives. Les approches cognitives, quant à elles, considèrent la décision comme le résultat d'un processus global de résolution de problèmes. [2]

Une décision est une action qui est prise pour faire face à une difficulté ou répondre à une modification de l'environnement, c'est à dire, pour résoudre un problème qui se pose à l'individu ou à l'organisation.[31]

Selon la définition de Roy Bernard et Denis Bouyssou dans leur ouvrage "Aide multicritère

à la décision : méthodes et cas” : « On présente souvent la décision comme le fait d’un individu isolé (le ”décideur”) exerçant librement un choix entre plusieurs possibilités d’actions à un moment donné dans le temps ». [42]

Henry Mintzberg [35], estime qu’une décision, qu’elle soit individuelle ou résultant d’un travail de groupe, peut être définie comme l’engagement dans une action, c’est à dire, une intention explicite d’agir. [2]

Par ailleurs, du point de vue de la théorie de la décision , on identifie cinq types de problèmes décisionnels distincts :

1. **Description** : Problèmes associés à la caractérisation réelle de l’état courant de l’organisation ;
2. **Investigation** : Problèmes associés aux relations entre deux ou plusieurs éléments de données ou phénomènes ;
3. **Explication** : Problèmes associés à l’établissement d’une relation cause à effet ;
4. **Prédiction** : Problèmes associés à la projection future basée sur des données historiques ;
5. **Prescription** : Problèmes associés à la projection normative basée sur des données historiques .[2]

1.5.2 Processus de décision

Dans toute question relative au processus de prise de décision, il s’agit de développer et d’employer un modèle de décision. Les modèles de décision couramment utilisés se composent généralement de ces éléments clés :

- **le décideur** : un individu ou un groupe chargé de prendre une décision particulière.
- **un ensemble d’entrées au processus décisionnel** : des modèles de données numériques ou qualitatives pour interpréter ces données, l’expérience avec des ensembles de données similaires, des situations de décisions similaires et des différents types de normes culturelles et psychologiques et des contraintes associées à la prise de décision.
- **le processus de décision lui-même** : un ensemble d’étapes, plus ou moins bien comprises pour transformer les entrées en sorties sous forme de décisions.

- **un ensemble de sorties du processus décisionnel** : incluant les décisions elles-mêmes et idéalement un ensemble de critères pour évaluer les décisions produites par le processus par rapport à l'ensemble des besoins, des problèmes ou des objectifs qu'occasionnent les activités du processus décisionnel en premier lieu. [2]

Le processus de décision peut être considéré comme un chemin qui part des données pour aller aux procédures de décision. Plusieurs typologies des décisions ont été proposées parmi lesquelles. Cependant, le processus le plus diffusé est celui de Herbert.A Simon [46] qui a détaillé ce processus en quatre étapes, non nécessairement séquentielles, il est schématisé par la figure 1.1

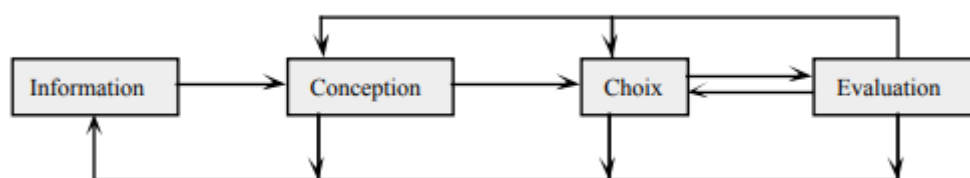


Figure 1.1 – modèle du processus de décision selon Herbert.A Simon [46]

- **Information** : Cette étape consiste à déterminer l'ensemble des données nécessaires liées à la situation de prise de décision et qui seront utilisées lors des phases suivantes.
- **Conception** : Cette étape génère les différentes alternatives qui forment l'ensemble des possibilités. Les différentes solutions sont donc élaborées à ce stade.
- **Choix** : Cette étape constitue la phase de décision proprement dite. Elle permet de restreindre l'ensemble des possibilités au sous ensemble des possibilités sélectionnées et qui sera en fait la solution.
- **Evaluation** : Le but de cette étape est d'évaluer la qualité de la prise de décision avec la possibilité de retourner si nécessaire à l'une des étapes précédentes. L'acte de décider ne constitue ainsi qu'une partie, indissociable, du processus complet de décision. [7]

1.5.3 Types de décisions

On distingue plusieurs classifications de décisions. On citons la classification développée initialement par Simon [46] et reprise par Lévine P [31] qui comporte trois types :

1. Décision structurée : le problème est clairement posé en termes techniques, les données sont fiables et numériques, etc. Les modèles associés sont clairement définis. Ils permettent une résolution fiable et algorithmique du processus décisionnel. C'est le cas d'une facturation, d'un achat, d'une gestion bancaire, etc.

2. Décision Semi structurée (peu structuré) : des décisions peu ou moins structurées pour lesquelles on peut préétablir certaines procédures décisionnelles, mais pas suffisamment pour recommander une décision déterminée.

Le problème peut ne pas être clairement posé, les données sont souvent qualitatives, peu fiables, très peu stables, difficilement accessibles, etc. La résolution est difficilement exprimable sous forme algorithmique. La résolution du problème consiste à faire appel à l'intuition et au savoir-faire du décideur. C'est le cas des Décisions relatives à la mise en marché d'une nouvelle ligne de produits, analyse de rentabilité.

3. Décision non structuré : Le problème n'est pas clairement posé, le principe de rationalité limitée s'applique à toutes les étapes du processus décisionnel. La décision élaborée est difficilement justifiable de manière rationnelle. C'est le cas par exemple d'une réaction de l'opérateur face à un aléa qui n'a jamais été envisagé. [7]

1.5.4 Définition de l'aide à la décision médicale

On introduit en premier la notion d'aide à la décision proposée par Bernard Roy : « l'aide à la décision est l'activité de celui (homme d'étude) qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités, mais non nécessairement complètement formalisés, cherche à obtenir des éléments de réponses aux questions que pose un intervenant (décideur) dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, à recommander ou simplement à favoriser un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service duquel cet intervenant se trouve placé, d'autre part.»[42]

L'une des définitions les plus couramment citées de l'aide à la décision médicale a été proposée par Jerome A. Osheroff «L'aide à la décision clinique consiste, d'une manière générale, à fournir aux cliniciens ou aux patients des connaissances cliniques et des informations relatives aux patients, filtrées intelligemment ou présentées au moment opportun, afin d'améliorer les soins prodigués aux patients. Les connaissances cliniques peuvent aller de simples faits et relations aux meilleures pratiques de prise en charge des patients atteints de maladies spécifiques, en passant par les nouvelles connaissances médicales issues de la recherche clinique.»[39]

L'aide à la décision médicale (ADM) est un processus interactif qui implique l'utilisation de technologies de l'information et de la communication pour fournir aux professionnels de la santé des informations pertinentes, des connaissances et des outils pour les aider à prendre des décisions éclairées concernant les soins de leurs patients. Selon l'Organisation mondiale de la santé, l'ADM vise à améliorer la qualité et l'efficacité des soins de santé en facilitant la prise de décision basée sur des données probantes, les préférences des patients et l'expertise clinique des professionnels de la santé.

1.5.5 Objectifs des systèmes d'aide à la décision médicale

Un système d'aide à la décision médicale a les principaux objectifs suivants :

- Les systèmes d'aide à la décision médicale sont conçus pour fournir des données et des informations pertinentes à la demande du clinicien lors des différentes étapes du processus de diagnostic et de recherche de thérapies. Cela peut inclure des informations sur les antécédents médicaux du patient, les résultats d'examen cliniques et les options de traitement disponibles.
- les SADM sont également conçus pour aider les cliniciens à formuler des diagnostics, à élaborer des plans de traitement et à fournir des pronostics. Cela peut impliquer l'utilisation de bases de données cliniques, de modèles de prédiction et d'algorithmes d'apprentissage automatique pour générer des recommandations personnalisées pour chaque patient.
- les SADM peuvent également être utilisés pour alerter les cliniciens au bon moment afin d'éviter des événements indésirables.

- De plus, et d'une manière générale, les SADM peuvent prendre plusieurs formes, notamment l'aide à la documentation des soins, l'accès en ligne aux informations de référence et la gestion de protocoles ou processus complexes. Chacune de ces formes peut être utilisée pour aider les cliniciens à améliorer la qualité et l'efficacité des soins qu'ils fournissent à leurs patients.[32]

1.5.6 Caractéristiques des systèmes d'aide à la décision médicale

Efraim Turban, Jay E.Aronson et Ting Peng Liang dans leur ouvrage "Decision support systems and intelligent systems" [11] ont cités les caractéristiques communes des systèmes d'aide à la décision.

Nous citons les caractéristiques qui nous paraissent fondamentales :

- 1. Identification du problème :** il permet l'identification d'un problème et sa compréhension,
- 2. Automatisation des tâches de traitement de l'information :** Les SAD automatisent les tâches de collecte, de stockage, de traitement et de présentation de l'information nécessaire à la prise de décision.
- 3. Modélisation et analyse des données :** Les SAD utilisent des techniques de modélisation et d'analyse des données pour aider les décideurs à comprendre les relations entre les variables, à identifier les tendances et les modèles, et à évaluer les conséquences potentielles des décisions.
- 4. Interaction homme-machine :** Les SAD permettent une interaction entre l'opérateur humain et le système, généralement sous la forme d'une interface conviviale, pour faciliter la communication, la collaboration et le partage des informations.
- 5. Prise de décision structurée et non structurée :** Les SAD sont conçus pour prendre en charge à la fois des décisions structurées (bien définies et répétibles) et des décisions non structurées (complexes et mal définies) en fournissant des outils et des méthodes adaptés à chaque type de décision.
- 6. Intégration de multiples sources d'information :** Les SAD intègrent des données provenant de différentes sources, qu'elles soient internes à l'organisation ou externes, afin

de fournir une vue d'ensemble et une base solide pour la prise de décision.

7. Aide à l'évaluation des alternatives : Les SAD fournissent des mécanismes pour évaluer et comparer différentes alternatives de décision en utilisant des critères prédéfinis et des méthodes d'analyse appropriées.

8. Flexibilité et adaptabilité : Les SAD sont conçus pour être flexibles et s'adapter aux besoins spécifiques des utilisateurs et des situations de décision, en offrant des fonctionnalités personnalisables et évolutives, c'est-à-dire pouvoir s'adapter à un large spectre de processus de pilotage décisionnels.

Il est important de noter que cette liste de caractéristiques n'est pas exhaustive et que les SAD peuvent varier en fonction de leur domaine d'application et de leur contexte d'utilisation.

1.5.7 Les méthodologies de l'aide à la décision médicale

L'aide à la décision médicale peut être abordée à travers deux approches principales : l'approche intelligence artificielle et l'approche purement numérique de l'aide à la décision. Ces techniques permettent de traiter et d'analyser les données médicales de manière quantitative.

a. L'approche purement numérique de l'aide à la décision :

Cette approche reposait principalement sur l'utilisation d'algorithmes numériques tels que l'analyse discriminante et les méthodes statistiques multidimensionnelles ou le théorème de Bayes.

Historiquement, elle a été la première utilisée dans les systèmes d'aide à la décision. Elle a donné lieu à de nombreuses applications qui ne s'opposent pas mais qui viennent compléter l'approche symbolique de l'intelligence artificielle.

— Les analyses discriminantes et les méthodes statistiques multidimensionnelles :

Dans le cadre de l'aide à la décision, notamment pour le diagnostic, ces méthodes sont appliquées sur un échantillon de cas pour déterminer une fonction discriminante. Par exemple, si l'objectif est de discriminer et distinguer les patients malades des non malades, il s'agit de trouver, dans un espace à p -dimensions représentant les variables des patients, un plan qui sépare de manière optimale les points correspondant aux malades des points correspondant aux sujets sains, selon un cri-

rière spécifique. Cette fonction discriminante obtenue est ensuite testée sur un autre échantillon de données pour évaluer sa validité.

- **Les systèmes bayésiens** : Ces systèmes sont basés sur le théorème de Bayes formulé par Thomas Bayes au 18^e siècle. Ces systèmes permettent de modéliser et d'évaluer les probabilités conditionnelles dans le cadre du diagnostic médical.

L'approche bayésienne a été largement appliquée dans divers domaines, et a donné lieu à de nombreuses applications, l'une des applications les plus significatives est celle réalisée par le médecin Francis Thomas de Dombal à Leeds, au Grande-Bretagne sur les douleurs abdominales aiguës.

Ce système utilise un modèle bayésien pour calculer les probabilités des différentes affections provoquant des douleurs abdominales aiguës. Chaque patient est défini par 35 à 40 variables et le système connaît 7 catégories diagnostiques telles que l'appendicite, la diverticulite, la perforation d'ulcère duodéal, l'occlusion du grêle et les douleurs abdominales non spécifiques. Les résultats des évaluations réalisées ont démontré que le système atteignait, en moyenne, un niveau de performance supérieur à celui des experts.

D'autres études d'évaluation ont été réalisées par l'équipe de Leeds. L'une d'elles, a montré que le taux d'appendicites perforées (qui est un 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, le taux d'appendicites perforées a augmenté à 20%. [44]

- b. L'approche intelligence artificielle** : L'approche de l'intelligence artificielle est également utilisée dans l'aide à la décision médicale. Elle implique l'utilisation de techniques telles que l'apprentissage automatique (machine learning) et les réseaux neuronaux pour analyser les données médicales. Ces techniques permettent d'extraire des modèles et des informations à partir des données, et d'effectuer des prédictions ou des recommandations basées sur ces modèles. Rasmussen a modélisé les performances humaines selon trois niveaux de comportements :

- le niveau des automatismes (Skill Based Behavior, SBB) est réactif; l'opérateur

bien entraîné exécute spontanément l'action adéquate dès qu'il détecte les conditions anormales).

- le comportement basé sur des règles (Rule Based Behavior, RBB) où l'opérateur expert, ayant identifié l'état du système applique directement une tâche prédéfinie qu'il a apprise .

- le comportement basé sur les connaissances (Knowledge Based Behavior, KBB), où l'opérateur est face à un problème qu'il n'a jamais rencontré et doit inventer une solution. Il s'appuiera par exemple sur ses connaissances structurelles et fonctionnelles ou dysfonctionnelles du système pour raisonner. [40]

Ces différentes approches peuvent être combinées pour développer des systèmes d'aide à la décision médicale plus complets et précis.

1.5.8 Types de systèmes d'aide à la décision

Il existe différentes classifications qui permettent de catégoriser les SAD selon des aspects tels que le niveau de gestion, les techniques utilisées et le mode d'interaction, offrant ainsi une meilleure compréhension de la diversité des systèmes d'aide à la décision.

D'autre part, Power, Efraim Turban et Jay E. Aronson ajoutent une autre typologie des SAD en fonction de leur objectif principal :

- 1. Systèmes d'aide à la décision orientés modèle (Model-Driven DSS) :** Ces SAD mettent l'accent sur l'utilisation de modèles pour représenter et analyser le problème de décision. Ils fournissent des outils de modélisation, de simulation, d'optimisation et de prévision pour évaluer les différentes alternatives et leurs conséquences.

- 2. Systèmes d'aide à la décision orientés données (Data-Driven DSS) :** Ces SAD se concentrent sur l'analyse de grandes quantités de données stockées pour produire des as-

sociations, des séquences, des classifications et des prévisions pour la prise de décision. Ils intègrent des fonctionnalités de collecte, de stockage, de manipulation et d'analyse des données, ainsi que des techniques d'exploration de données et de visualisation.

3. Systèmes d'aide à la décision orientés communication (Communication-Driven DSS) :

Ces SAD mettent l'accent sur la collaboration et l'échange d'informations entre les décideurs et les parties prenantes. Ces systèmes permettent de faciliter la communication, la coordination et le partage d'informations entre les différentes personnes impliquées dans le processus décisionnel. Ils favorisent la prise de décision collective en encourageant la participation et la contribution de multiples intervenants.

4. Systèmes d'aide à la décision orientés connaissances (Knowledge-Driven DSS) :

Ces SAD se concentrent sur la gestion et l'utilisation des connaissances pour la prise de décision. Ils intègrent des bases de connaissances, des systèmes experts et des techniques d'intelligence artificielle pour aider à la compréhension du problème, à l'identification des options et à l'évaluation des risques.

5. Systèmes d'aide à la décision orientés Web (Web-Driven DSS) :

Ces SAD sont conçus pour être utilisés via des applications et des interfaces Web. Ils exploitent les technologies du Web pour fournir un accès à distance, une convivialité et une flexibilité accrues. Ces systèmes permettent aux utilisateurs de se connecter et d'accéder aux fonctionnalités du SAD à partir de n'importe quel appareil disposant d'une connexion Internet. Ils peuvent inclure des tableaux de bord en ligne, des portails de données, des outils d'analyse en ligne, des visualisations interactives, des services de cloud computing, etc. L'utilisation du Web permet également de partager facilement des informations, de collaborer à distance et d'intégrer des sources de données provenant de différentes plates-formes [26].

1.5.9 Quelques exemples de systèmes d'aide à la décision médicale :

Il existe de nombreux systèmes d'aide à la décision médicale qui aident les professionnels de santé à prendre des décisions plus précises. Voici quelques exemples :

1. **MYCIN** : MYCIN est l'un des premiers systèmes d'aide à la décision médicale, développé dans les années 1970 à l'université de Stanford par le docteur Edward H. Shortliffe. Il était spécialisé dans le domaine du diagnostic et du traitement des infections bactériennes qui sert à analyser les symptômes d'un patient, recommander des diagnostics et proposer des traitements antibiotiques appropriés à l'aide des règles expertes et d'une base de connaissances. Il a été considéré comme une avancée majeure dans le domaine de l'intelligence artificielle médicale à l'époque. Cependant, il n'est plus en usage clinique de nos jours.
2. **DXplain** : DXplain est un système d'aide à la décision de diagnostic médical développé par la faculté de médecine de l'université Harvard située à Boston dans le Massachusetts. Ce système utilise une base de connaissances médicales qui comprend environ 5 000 symptômes associées à plus de 2 000 maladies pour aider les professionnels à diagnostiquer les maladies et à planifier le traitement.
3. **Isabel Healthcare** : Isabel Healthcare est un autre système d'aide au diagnostic médical qui utilise une base de données de maladies pour identifier les causes possibles des symptômes des patients. En saisissant une liste de symptômes et d'informations sur le patient, Isabel génère une liste des 10 diagnostics les plus probables. Il est utilisé dans de nombreux hôpitaux du monde entier.
4. **Watson for Oncology (WFO)** : Watson for Oncology est un système d'aide à la décision médicale développé par IBM pour aider les médecins oncologues à planifier un traitement pour les patients qui atteints de cancer. Le système s'appuie sur un vaste base de connaissances comprenant plus de 300 revues médicales, plus de 200 manuels et près de 15 millions de pages de texte pour fournir des recommandations sur les différentes options de médicaments et les instructions d'administration. Grâce à ses capacités d'apprentissage automatique, le système continue à apprendre et à s'améliorer en permanence au fil du temps. [1]

Il existe plusieurs d'autres systèmes experts qui touchent de nombreux domaines dans le milieu médical, comme :

- **Diabète** : DIABAID est un système expert d'aide à l'adaptation de l'insulinothérapie.
- **Médecine interne** : QMR, Internist, Cadiag. Fonctions respiratoires : HELP, VM, Centaur.

- **Anesthésie** : Attending.
- **Problèmes rénaux** : Pip, Nephros.
- **Infections** : DoseChecker, GermAlert, GermWatcher.
- **Prescription des antibiotiques** : GIDEON , Anticipator.
- **Radiologie** : Radex, Phoenix, RADIANT, ISIS (Intelligent Selection of Imaging Studies); système d'aide à la décision pour aider les médecins à choisir les procédures de diagnostic d'images.
- **Problèmes psychiatriques** : PsyberGuide, PSIQ; système qui se base sur le raisonnement à partir de Cas pour le diagnostic et la thérapie de désordres mentaux.
- **Prescription des antibiotiques** : Antibiotic Assistant , ICONS; est un système conseillé en thérapie d'antibiotique qui fait calculer les combinaisons des thérapies d'antibiotiques pour des patients en soins intensifs.[44]

1.6 Raisons du choix d'une solution basée sur l'intelligence artificielle et les systèmes multi agents

Il existe plusieurs raisons pour lesquelles nous avons choisi une solution basée sur l'intelligence artificielle et les systèmes multi agent pour ce projet.

Voici quelques-unes des principales raisons pour le choix de l'intelligence artificielle :

1. **Avancées technologiques et progrès de l'intelligence artificielle** : Les avancées récentes dans le domaine de l'intelligence artificielle, notamment l'apprentissage automatique et les réseaux neuronaux, offrent des opportunités pour développer des systèmes de diagnostic plus performants.
2. **Amélioration de la précision et fiabilité du diagnostic médical grâce à l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique** : L'intelligence artificielle, et en particulier l'apprentissage automatique, est capable d'analyser de grandes quantités de données et de détecter des schémas et des relations complexes. Cela peut conduire à une amélioration significative de la précision de la classification des pathologies par rapport aux méthodes

traditionnelles . De plus, les techniques d'apprentissage automatique permettent à l'intelligence artificielle de détecter des modèles complexes et des relations non linéaires entre les symptômes, les signes et les diagnostics, ce qui peut conduire à des diagnostics plus précis.

3. **Adaptabilité et évolutivité** : Les systèmes multi-agents sont appréciés pour leur capacité à s'adapter aux changements et à fonctionner dans des environnements dynamiques. Les agents, qui sont des entités autonomes, peuvent prendre des décisions en temps réel et ajuster leur comportement en fonction des nouvelles informations et des exigences qui évoluent. Cela signifie que notre système est capable de répondre aux besoins et aux défis variables du domaine médical.

Les SMA sont flexibles et adaptables. Ils peuvent s'ajuster en temps réel aux nouvelles informations et aux changements dans leur environnement. Dans le domaine médical, cela signifie que notre système peut s'adapter aux situations changeantes, aux nouveaux symptômes, aux nouvelles données et aux exigences qui évoluent. Cela permet d'assurer une prise de décision plus efficace et de mieux répondre aux besoins des patients et des professionnels de la santé.

4. **Traitement de données non structurées** : Dans le domaine médical, il y a souvent des données non structurées telles que des images médicales, des notes de patients, des résultats de laboratoire, etc. L'intelligence artificielle offre des techniques avancées pour traiter et extraire des informations à partir de ces données non structurées, ce qui peut être précieux pour la classification des pathologies.
5. **Automatisation des tâches** : L'intelligence artificielle permet d'automatiser des tâches complexes et chronophages dans le domaine médical. Par exemple, elle peut analyser de grandes quantités de données médicales, rechercher des modèles et prendre des décisions basées sur ces modèles. Cette automatisation libère du temps pour les professionnels de la santé et améliore l'efficacité globale des processus de classification. En simplifiant, l'intelligence artificielle permet de gagner du temps et d'améliorer l'efficacité en automatisant des tâches complexes liées à l'analyse de données médicales et à la prise de décisions.
6. **Aide à la prise de décision** : Les systèmes basés sur l'intelligence artificielle peuvent fournir des informations et des recommandations aux professionnels de la santé, ce qui les aide à prendre des décisions éclairées en matière de diagnostic et de traitement des patho-

logies. Cela peut contribuer à une meilleure qualité des soins et à de meilleurs résultats pour les patients.

En combinant ces avantages, l'utilisation de l'intelligence artificielle dans notre solution offre un potentiel significatif pour améliorer la classification des pathologies, ce qui a motivé notre choix d'adopter cette approche.

Voici également les principales raisons pour lesquelles nous avons choisi les SMA (systèmes multi-agents) :

1. **Distribution des responsabilités** : Les SMA permettent de répartir les responsabilités entre différents agents autonomes. Chaque agent peut se spécialiser dans une tâche spécifique, ce qui facilite la gestion et l'organisation des différentes fonctionnalités du système. Cela permet également d'améliorer l'efficacité et la performance globale du système.
2. **Adaptabilité et flexibilité** : Les SMA sont connus pour leur capacité à s'adapter aux changements et à faire face à des environnements dynamiques. Les agents peuvent prendre des décisions en temps réel et ajuster leur comportement en fonction des nouvelles informations et des exigences changeantes. Cela rend notre système capable de répondre aux besoins et aux défis variables du domaine médical.
3. **Coopération et coordination** : Les SMA favorisent la coopération et la coordination entre les agents. Chaque agent peut communiquer, collaborer et partager des connaissances avec d'autres agents, ce qui permet une résolution de problèmes plus efficace et une meilleure prise de décision. Dans le contexte du diagnostic médical, cela signifie que les différents agents peuvent travailler ensemble pour analyser les données, discuter des options de traitement et parvenir à un consensus.
4. **Scalabilité** : Les SMA sont également connus pour leur capacité à évoluer et à s'adapter à des systèmes de grande envergure. À mesure que notre système se développe et que de nouvelles fonctionnalités sont ajoutées, les SMA offrent la possibilité de prendre en charge une architecture évolutive et modulaire. Cela permet d'intégrer facilement de nouveaux agents et de gérer une croissance future.
5. **Tolérance aux erreurs et à la défaillance** : Les SMA sont conçus pour être tolérants aux erreurs et aux défaillances. Si un agent rencontre un problème ou échoue, les autres agents

peuvent prendre le relais et assurer la continuité des opérations. Cela garantit la fiabilité et la robustesse du système, en minimisant l'impact des défaillances potentielles.

En résumé, les SMA offrent des avantages tels que la distribution des responsabilités, l'adaptabilité, la coopération, la scalabilité et la tolérance aux erreurs. C'est pourquoi nous avons opté pour cette approche pour notre système, car elle répond aux besoins spécifiques du domaine médical et favorise une conception efficace et performante.

En conclusion, le choix d'une solution basée sur l'intelligence artificielle et les systèmes multi-agents (SMA) présente plusieurs avantages majeurs pour ce système. L'intelligence artificielle offre des capacités avancées d'analyse et de prise de décision automatisée, permettant une prédiction précise de la présence ou de l'absence de la maladie. Cela peut conduire à des diagnostics plus précoces et à une meilleure prise en charge des patients. De plus, les SMA offrent une approche décentralisée et collaborative, permettant une répartition des tâches entre différents agents et une coordination efficace des ressources. Cette approche améliore l'efficacité, l'adaptabilité et la résilience du système dans des environnements médicaux complexes.

En conclusion, le choix d'une solution basée sur l'intelligence artificielle et les systèmes multi-agents (SMA) présente plusieurs avantages majeurs pour notre application. L'intelligence artificielle offre des capacités avancées d'analyse et de prise de décision automatisée, permettant une prédiction précise de la présence ou de l'absence de la maladie. Cela peut conduire à des diagnostics plus précoces et à une meilleure prise en charge des patients. De plus, les SMA offrent une approche décentralisée et collaborative, permettant une répartition des tâches entre différents agents et une coordination efficace des ressources. Cette approche améliore l'efficacité, l'adaptabilité et la résilience du système dans des environnements médicaux complexes. En combinant l'intelligence artificielle et les SMA, notre solution offre une approche puissante et prometteuse pour la détection précoce et la gestion des maladies, ouvrant ainsi la voie à de meilleures pratiques médicales et à des résultats améliorés pour les patients.

En combinant l'intelligence artificielle et les SMA, cette solution offre une approche puissante et prometteuse pour la détection précoce et la gestion des maladies, ouvrant ainsi la voie à de meilleures pratiques médicales et à des résultats améliorés pour les patients.

1.7 Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté les concepts clés du contexte médicale de cette étude, à savoir le diagnostic médical et à l'aide à la décision. Nous avons discuté de leurs caractéristiques, de leurs rôles, de leurs processus et de leurs objectifs. En outre, Un état de l'art des systèmes d'aide à la décision en médecine a mis en évidence la grande diversité des systèmes développés dans ce domaine.

Chapitre 2

Les systèmes multi agents

2.1 Introduction

Ce chapitre présente une synthèse sur les systèmes multi agent (SMA). Avant d'aborder l'aspect des systèmes multi-agents, nous établirons tout d'abord un aperçu sur le concept agent qui représente l'unité élémentaire des SMA, Nous commençons par quelques définitions fameuses de la notion agent ; notamment selon J. Ferber et M. Wooldridge, par la suite, nous allons nous intéresser aux différentes typologies et architectures que peut avoir un agent et aux différentes catégories auxquelles appartient un agent. Dans un second temps, nous passons à la notion SMA. Nous commençons par la présentation de quelques définitions, ensuite nous passons en revue les caractéristiques des SMA pour enchaîner avec les interactions et la communication dans les systèmes multi agent.

2.2 La notion d'agent

2.2.1 Qu'est-ce qu'un agent ?

Le concept d'agent a été l'objet d'études pour plusieurs décennies dans différentes disciplines. Il a été non seulement utilisé dans les systèmes à base de connaissances, la robotique, le langage naturel et d'autres domaines de l'intelligence artificielle, mais aussi dans des disciplines comme la philosophie, la psychologie, la psychologie sociale, la psychologie cognitive, la sociologie, la biologie, et l'informatique.[3]

Étymologiquement parlant, le terme " agent " trouve son origine dans le latin du moyen âge ; "agentem", accusatif de "agens", participe présent du verbe "ago" qui signifie celui qui agit, qui s'occupe d'une tâche.

Et en fonction de l'évolution des connaissances et de l'expérience tirée de son utilisation, on retrouve plusieurs définitions de ce qu'est un agent.

Voici quelques définitions fameuses sur la notion agent selon différents auteurs :

- D'après la définition de Michael Wooldridge, qui est restreint au domaine informatique : « Un agent intelligent : est un système informatique situé dans un environnement et qui agit d'une façon autonome et flexible pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu. »[19]
- Et d'après Stuart Russell et Peter Norvig : « On appelle un agent, une entité qui perçoit son environnement grâce à des capteurs¹ et qui agit sur cet environnement via des effecteurs² qui répond aux stimulations qu'il reçoit. » Figure(2.1) [14]

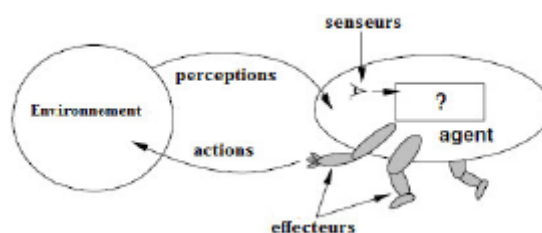


Figure 2.1 – Interaction entre un agent et son environnement.
[50]

- Et d'après Jacques Ferber, qui propose cette définition plus détaillée «An agent can be a physical or virtual entity that can act, perceive its environment (in a partial way) and communicate with others, is autonomous and has skills to achieve its goals and tendencies. It is in a multi-agent system (MAS) that contains an environment, objects and agents (the agents being the only ones to act), relations between all the entities, a set of operations that can be performed by the entities and the changes of the universe in time and due to these actions.... » [8]; l'auteur a défini le fonctionnement de l'agent et ses propriétés comme suit :

1. Les capteurs sont une caractéristique fondamentale des agents, et notamment pour la notion de perception. Les capteurs sont des mécanismes sensoriels permettant à l'agent de disposer d'un certain type d'information sur ce qui l'entoure.

2. Un effecteur est un dispositif propre à l'agent, lui permettant l'action, la locomotion ou la préhension dans et sur son environnement.

On appelle agent une entité physique (réelle) ou virtuelle :

1. Qui est capable d'agir dans un environnement,
 2. Qui est capable d'agir au sein d'un environnement,
 3. Qui peut communiquer avec d'autres agents de manière directe,
 4. Qui est munie par un ensemble de tendances, (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction ou de survie, qu'elle cherche à optimiser) Qui est mue par un ensemble de tendances, (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction ou de survie, qu'elle cherche à optimiser) Qui est mue par un ensemble de tendances, (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction ou de survie, qu'elle cherche à optimiser),
 5. Qui possède des ressources propres,
 6. Qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement,
 7. Qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune),
 8. Qui possède des compétences et offre des services,
 9. Qui peut éventuellement se reproduire, mourir et changer d'état dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.[48]
- Une autre définition d'après Pnueli Amir : Un agent est un processus cyclique composé de trois phases : perception – délibération– action [6]) (figure 2.2)

2.2.2 Environnement d'un agent

L'environnement représente le monde dans lequel les agents évoluent ou se situent. Ce peut être l'environnement géographique, social, informatique, transport, etc. selon le domaine d'application, un agent évolue de façon autonome dans un environnement dans lequel d'autres agents existent. Cet environnement est une entité structurelle qui peut être due à des processus dynamiques.

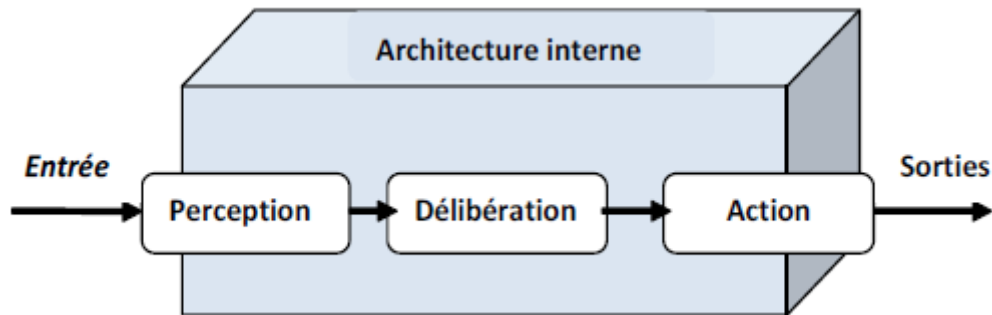


Figure 2.2 – L'agent, un processus à 3 phases : perception, délibération puis action [28]

D'après J. Ferber, les agents n'ont qu'une représentation partielle de leur environnement, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas de vision globale de tout ce qui se passe. Il affirme également que l'environnement d'un agent est caractérisé par tout ce qui n'est pas lui ; ce qui englobe les autres agents. Un environnement contient l'ensemble des objets (concrets ou abstraits) utilisés par les agents. L'environnement pour un agent dans ce cas consiste à définir les objets qu'il utilise et non pas les autres agents. Il peut être partiellement inconnu voire hostile. Les fonctions principales des agents, dans un environnement, sont : percevoir, décider et agir. Parmi les sous-fonctions importantes d'un agent, nous citons : la détection de conflits et la coopération (négociation, coordination). Cette composante est peu étudiée par les chercheurs pour le moment. [37]

2.2.3 Principales Caractéristiques de l'agent

Michael Wooldridge dans son ouvrage "An Introduction to MultiAgent Systems" a établi une distinction entre caractéristiques des agents (caractéristiques essentielles qui déterminent le concept agent et caractéristiques optionnelles) qui conduit à une distinction entre les caractéristiques d'agents, d'agents intelligents et d'agents spécifiques.[9]

a. Caractéristiques des agents : les caractéristiques essentielles des agents sont :

- **Autonomie :**

- Un agent a un certain degré d'autonomie.
- Il possède certains états (non-accessibles aux autres agents et composants du système).

— Il peut prendre certaines décisions par rapport à ses états (sans intervention externe directe).

- **Situé :**

— Un agent est situé dans son environnement (physique ou virtuel).

— Il a une représentation de son environnement.

b. Caractéristiques des agents intelligents :

- **Réactif :**

— Un agent peut percevoir son environnement via des senseurs.

— Il peut agir sur son environnement (de façon limitée) via des effecteurs.

- **Social :**

— Un agent est capable d'interagir et de communiquer avec les autres agents pour atteindre ses buts

— Il est capable de coopérer avec les autres agents pour résoudre des problèmes ou effectuer des tâches ou pour aider d'autres agents dans leurs activités

- **Proactif :**

— Un agent est capable prendre des initiatives afin d'atteindre ses buts ou d'effectuer des tâches (et d'adopter les comportements appropriés).

- **Capacité à agir :**

— un agent est mû par un certain nombre d'objectifs qui guident ses actions, il ne répond pas simplement aux sollicitations de son environnement ;

- **Actif :**

— Un agent est toujours actif. Il s'exécute donc nécessairement dans un thread ou un processus indépendants.

- **Apprentissage :**

— Un agent est capable d'apprendre et d'évoluer en fonction de cet apprentissage.

— Il est capable de changer de comportement (en fonction des expériences passées). [23]

c. Caractéristiques des agents spécifiques :

la pluridisciplinarité des SMA a élargi les caractéristiques des agents à des caractéristiques optionnelles en vue d'atteindre leurs objectifs parmi ces caractéristiques nous soulignons la mobilité, l'adaptabilité, la rationalité, l'intentionnalité et la véracité.[9]

2.2.4 Typologie des agents

Les systèmes multi-agents sont en général classés en deux principales familles : les systèmes cognitifs (appelé raisonnement de plus haut niveau) et les systèmes réactifs d'agents. Cette distinction repose essentiellement sur le processus décisionnel de l'agent et la représentation de l'environnement dont il dispose. Si l'agent est doté d'une représentation symbolique de l'environnement à partir duquel il est capable de formuler des raisonnements, nous disons qu'il est cognitif tandis que s'il ne dispose que d'une représentation limitée à ses perceptions, alors il est réactif.

Il existe des agents qui possèdent des caractéristiques des deux catégories. Ceux-là sont appelés des agents hybrides. [37]

a. Agents réactifs

Un agent réactif comme son nom l'indique, ne fait que réagir aux changements qui surviennent dans l'environnement, sont de plus bas niveau. [27]

Les agents réactifs, sont des entités extrêmement simples. Ils disposant des capacités de raisonnement très limitées, ils ne possèdent pas de mémoire ; et ne peuvent donc ni prendre le passé en compte, ni prévoir au-delà du court terme, ils n'ont pas capables de se représenter l'environnement, des autres agents qui sont présents dans le système, et d'eux-mêmes, ils ne disposent que d'un protocole et d'un langage de communication réduit, leurs capacités répondent uniquement sur le mode stimulus - action : stimulus → percept → action, mode situé très localement [44]. Leurs buts ne sont pas décrits explicitement mais sont « encodés » dans leur structure interne même et dans leur environnement. (Figure 2.3) [50]

Le principe d'un agent réactif permet la construction de systèmes composés de nombreux petits agents, qui sont des automates. Les interactions des agents entre eux permettent l'émergence de structures d'une couche d'abstraction supérieure qui sont potentiellement observables. Leur conception n'est pas si facile du fait de la difficulté de prévoir les phé-

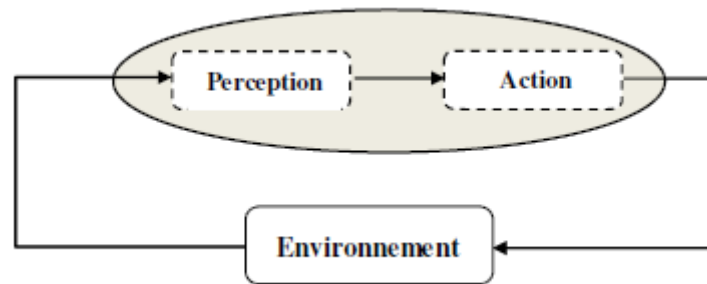


Figure 2.3 – Agent réactif
[27]

nomènes d'émergences.[19]

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 .[44]

b. Agents cognitifs Contrairement aux agents réactifs, les agents 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. [44]

Très souvent, cette classe d'agents s'inspire de théories de la cognition, principalement humaine. Ce sont ces différentes théories de la cognition qui induisent les comportements des agents. (Figure2.4) [9]

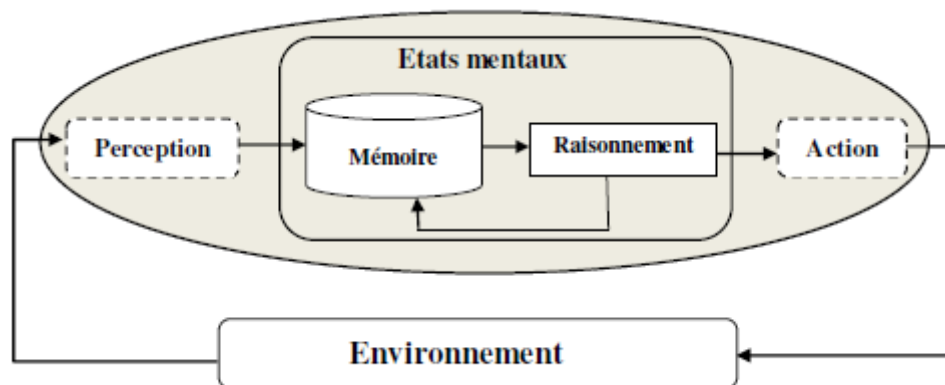


Figure 2.4 – Agent cognitif
[27]

Le tableau suivant donne quelques ordres de comparaison entre les agents cognitifs et réactifs :

Systèmes d'agents cognitifs	Systèmes d'agents réactifs
- Représentation explicite de l'environnement	- Pas de représentation explicite
- Peuvent tenir compte de leur passé	- Ne tiennent pas compte du passé
- Agents exécutant des tâches complexes	- Fonctionnement stimulus/réponse
- Peu d'agents (petit nombre)	- Grand nombre d'agents

Table 2.1 – Agents cognitifs vs agents réactifs.[47]

c. Agent hybride Cette architecture est développée sur la base de la combinaison de propriétés cognitives et réactives. Typiquement, cette architecture se compose de plusieurs couches où les agents résidant dans les couches inférieures ont des comportements réactifs qui sont responsables de la prise de décision à court terme. D'autre part, les agents résidant dans les couches supérieures ont des comportements cognitifs qui sont responsables de l'orientation du système vers les objectifs à long terme.

Autrement dit, le système réactif assure la réalisation des activités de type réflexes en réponse aux stimuli de l'environnement. Ces activités ne nécessitent pas la mise en œuvre de raisonnements complexes. Le système cognitif assure la réalisation d'activités basées sur la planification et la délibération, nécessitant la mise en œuvre de raisonnements complexes.[5] C. R. Robinson [41] suggère qu'en termes de capacités, les agents hybrides sont considérés comme les plus polyvalents parmi les autres architectures.[18]

2.2.5 Architecture d'agents

La figure 1.5 présente une structure d'agent typique qui illustre un exemple d'architecture en couches d'un agent intelligent. Un agent a fondamentalement une architecture à trois couches qui comprend la couche de traitement des messages, la couche comportementale et la couche fonctionnelle.

Dans la couche de traitement des messages, chaque fois qu'un message en langage de communication d'agent (ACL) est reçu ou envoyé par l'agent, cette couche est chargée de faciliter le flux de ces messages ACL en mettant en œuvre les analyseurs d'ontologie pertinents ainsi que de maintenir le contrôle fonctionnel des conversations avec d'autres agents.(Figure2.5)

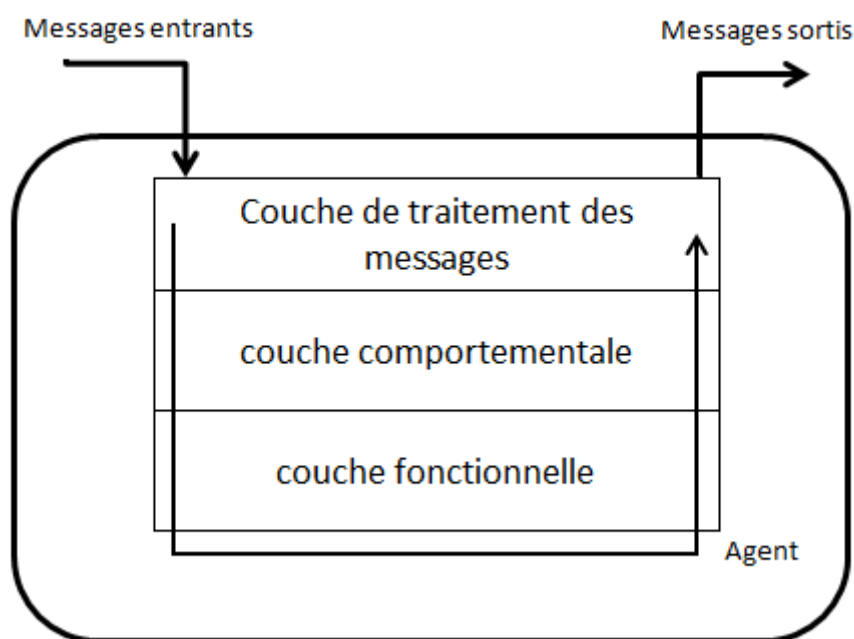


Figure 2.5 – Architecture en couches d'un agent.

Dans la couche comportementale, elle contrôle et indique essentiellement. Quand un agent est censé effectuer des tâches spécifiques.

Par exemple, chaque fois qu'une nouvelle information est produite dans la couche fonctionnelle, la couche comportementale donne l'ordre à la couche de traitement des messages d'informer les autres agents intéressés. De même, en réponse aux messages ACL³ entrants, la couche compor-

3. ACL (Agent Communication Language) est un langage normalisé qui permet aux agents de s'échanger des informations, de transmettre des demandes, de faire des requêtes et de prendre des décisions dans le cadre de

tementale décidera s'il faut prendre des mesures concernant le contenu du message. La couche fonctionnelle contrôle essentiellement l'intelligence de base de l'agent. Cette couche comprend les attributs fonctionnels de base qui spécifient le type d'actions que l'agent peut effectuer ainsi que l'analyse du contenu du message ACL.

Par conséquent, le traitement des messages d'un agent consiste à recevoir des messages par l'intermédiaire de la couche de traitement des messages, qui sont ensuite transmis à la couche comportementale et finalement transférés à la couche fonctionnelle pour analyse avant que tout nouveau message puisse être envoyé par l'agent.

2.2.6 Définition des systèmes multi agents(SMA)

Un système est un ensemble d'éléments interagissant entre eux selon certains principes ou règles dont le but de réaliser une tâche donnée.

La plupart des auteurs basant sur la définition d'un système ; s'accordent généralement à définir un SMA comme un système composé d'agents qui communiquent et collaborent entre eux pour atteindre des objectifs commun (personnels ou collectifs).La communication implique l'existence d'un espace partagé pour la supporter. Cet espace est généralement appelé environnement.[48]

Les systèmes Multi Agents sont des systèmes distribués composé d'un ensemble d'agents homogènes et hétérogènes interagissant, selon des modes de coopération, de concurrence et de coexistence. [43]

Jacques Ferber (1995) à définit les systèmes Multi-Agents comme des systèmes composés 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 dans cet environnement c'est-à-dire, 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, modifiés par les agents.

leurs interactions. Les messages ACL sont structurés et contiennent des informations telles que l'expéditeur, le destinataire, le contenu du message et des informations supplémentaires permettant aux agents de comprendre et de traiter les messages de manière appropriée.

3. **Un ensemble A d'agents** : Qui sont des objets particuliers ($A \subseteq O$), 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** : Ce sont les différents types de manipulation qu'appliquent les agents de A sur les objets de O du système et qui sont en générale : perception, production, consommation, transformation ... etc.
6. **Un ensemble d'opérateurs** : Chargés de représenter l'application de ces opérations et la création du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers. (Figure2.6) [29]

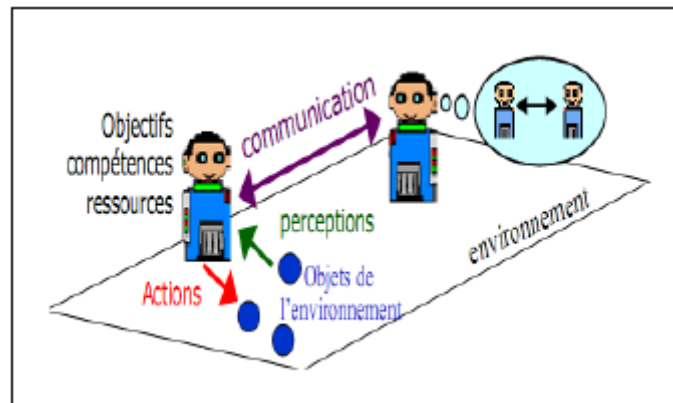


Figure 2.6 – Système Multi-Agent
[13]

La définition de Ferber présente les différents éléments d'un SMA. Cependant elle ne détaille pas son fonctionnement, pour cela on peut s'appuyer sur la définition de [25] dans son ouvrage qui décrit de manière très concise un SMA :

C'est un système composé d'entités multiples ou agents qui évoluent dans un environnement, conçu comme une entité particulière, dans lequel ils sont localisés. Ces agents sont dotés d'attributs, de comportements et de capacités de perception et de communication.

L'ensemble des valeurs des attributs d'une entité à un instant donné constitue l'état de cette entité, et la réunion de l'ensemble des états des entités forme l'état microscopique - ou dit plus simplement - l'état du système. Les capacités de perception des entités leur permettent de consulter un sous-ensemble de cet état microscopique, habituellement de façon localisée dans l'environnement. Les comportements sont des règles contrôlant à chaque instant l'évolution de cet état, en intervenant sur les états des entités qui les portent ou sur leur existence même (création et destruction), ainsi que sur les états et existences des autres entités intervenant dans les éventuelles actions, communications ou interactions d'écrites dans les comportements.[48]

2.2.7 Caractéristiques d'un système multi agent

Il est important de distinguer entre les caractéristiques fonctionnelles des SMA et les besoins non fonctionnels auxquels ils peuvent répondre tels que l'extensibilité, la portabilité, la fiabilité ou la robustesse .

Selon chaque système, ces caractéristiques ne sont pas forcément toutes nécessaires. Nous en présentons dans ce qui suit une liste en nous référant à une étude effectuée d'après Boissier :[4]

— **L'autonomie :**

L'autonomie désigne communément l'indépendance et la capacité d'action et de prise de décision. Dans les SMA, l'autonomie peut se définir en trois points essentiels : l'existence propre et indépendante de l'agent, le maintien de sa viabilité en dehors de contrôle extérieur et la prise de décision en tenant compte uniquement de ses perceptions et de ses connaissances. En effet, les agents sont capables de planifier leurs actions, de raisonner et de résoudre des problèmes sans contrôle extérieur.

— **La distribution :**

La distribution dans les SMA est une caractéristique qui répond au besoin de distribution physique des connaissances et des traitements. Cette distribution impose un découpage modulaire dont la nécessité est parfois accentuée par l'absence de modèle global du problème à résoudre. Dans un environnement multi-agents, la distribution signifie donc que plusieurs agents participent à la réalisation d'un objectif global en se partageant les connaissances, les traitements, les tâches et les ressources.

— **La décentralisation :**

La décentralisation signifie la répartition du contrôle. L'éventuelle complexité du problème à résoudre rend difficile à l'utilisateur de gérer le contrôle total du système. Ainsi, une approche décentralisée de résolution consiste à léguer à chaque agent une partie de ce dernier. La décentralisation peut être dictée, entre autres, par des contraintes liées à la distribution physique du système ou par des limitations des capacités de décision globale.

— **La communication :**

La communication permet aux agents d'échanger des informations et assure ainsi la cohérence du comportement global du système malgré la décentralisation. Il existe deux moyens de communication entre les agents, ces derniers peuvent échanger des informations indirectement en agissant sur l'environnement commun ou bien directement en s'envoyant des messages de manière souvent asynchrone.

— **L'interaction :**

Les agents interagissent au sein de l'environnement dans lequel ils évoluent. Ces interactions ne sont plus réalisées par des invocations de méthodes comme dans le cas des objets mais à travers la communication qui s'effectue généralement de pair à pair. Les interactions permettent ainsi d'exprimer des stratégies de coopération, de collaboration, de compétition, de négociation entre les agents.

— **L'organisation :**

Il existe de multiples relations complexes qui unissent les agents et qui peuvent porter sur les buts, les plans, les actions ou les ressources. Ces relations induisent des schémas globaux d'interactions entre les agents. Les organisations permettent donc de formaliser ces schémas et offrent un moyen de spécifier et de concevoir une structure du SMA qui définit l'ensemble des rôles et des relations existant entre ces rôles.

— **L'adaptation :**

Un SMA est soumis à divers types de contraintes qui peuvent affecter ses performances. Il est donc essentiel que le système change son comportement lorsqu'il estime qu'il est en train de dévier de son objectif global ou lorsqu'il s'avère qu'il peut réaliser une meilleure performance. L'adaptation est donc la capacité du système à modifier son comportement en cours de fonctionnement pour l'ajuster dans un milieu dynamique.

— **L'ouverture :**

Les SMA sont constitués de plusieurs entités autonomes, hétérogènes, en interaction entre elles au sein d'environnements dynamiques. Au-delà de cette hétérogénéité, les SMA sont caractérisés par l'ouverture qui se manifeste par l'évolution fonctionnelle du système. Cette évolution correspond à l'ajout, la modification ou la suppression dynamique d'entités du système.

— **L'émergence :**

L'émergence est l'apparition progressive de comportements non spécifiés a priori au sein du système. En effet, la fonction globale du système est attendue à partir des spécifications locales de chacun des agents, elle n'est pas programmée à l'avance et elle apparaît comme résultat des interactions des agents entre eux. Cette fonction survient sans organisateur extérieur du système.

— **La situation dans un environnement :**

L'environnement d'un SMA est vu comme étant un espace partagé par l'ensemble des agents. C'est le lieu commun au sein duquel les agents agissent et s'influencent les uns les autres. Les agents interagissent avec leur environnement par le biais des perceptions et des actions qu'ils peuvent effectuer sur lui.

— **La délégation :**

Dans une application multi-agents, l'utilisateur délègue son contrôle, ou du moins une partie de ce dernier, au système car il ne maîtrise pas le comportement de l'application globale. Cette délégation est due à la complexité de l'application et à l'incapacité de l'utilisateur à gérer toutes les décisions. L'utilisateur délègue son contrôle plus précisément aux agents, dont le caractère autonome et proactif leur permet de prendre les décisions à sa place.

— **La personnalisation :**

La personnalisation consiste à ce qu'un agent maintienne les préférences de l'utilisateur en observant ses comportements afin de construire un profil adapté à ce dernier. Ce pro-

fil est ensuite utilisé, par exemple, pour aider l'utilisateur à accéder à des informations pertinentes qui le concernent. Cette aide logicielle s'appelle "Profil Utilisateur".

— **L'intelligibilité :**

Un système intelligible est un système compréhensible et facilement abordable par les utilisateurs. Dans les SMA, l'intelligibilité découle du caractère anthropomorphique des agents. En effet, on retrouve souvent dans ces systèmes, une abstraction réaliste d'entités du monde réel à travers les agents.[22]

2.2.8 Interactions entre agents dans un système multi agents

L'interaction est une notion fondamentale dans les systèmes multi-agents, ou Les agents disposent de mécanismes d'interaction pour leur permettre d'accomplir leurs objectifs.

En ce qui suit, nous allons définir cette notion, et puis nous détaillerons les trois différentes formes d'interaction.

a. Définition d'interaction

Une des principales propriétés de l'agent dans un SMA est celle d'interagir avec d'autres agents. Ces interactions sont généralement définies comme toute forme d'action exécutée au sein du système d'agents et qui a pour effet de modifier le comportement d'un autre agent. On appellera situation d'interaction un ensemble de comportements résultant du regroupement d'agents possédant des compétences particulières et qui doivent agir pour satisfaire leurs objectifs en tenant compte des contraintes provenant des ressources plus ou moins limitées dont ils disposent .[19]

D'après Jacques Ferber «Une interaction est une mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. Les interactions s'expriment ainsi à partir d'une série d'actions dans les conséquences exercent en retour une influence sur le comportement futur des agents. »[8]

Les interactions sont des actions réciproques que les agents effectuent pour se mettre en relation entre eux, s'influencer, coopérer ou s'organiser. [17] 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.[22]

On distingue deux modes d'interaction : le mode direct et le mode indirect. Usuellement cette distinction est décrite dans la littérature relativement à l'environnement : l'interaction indirecte est traitée comme une interaction entre les agents et l'environnement alors que l'interaction directe correspond à des échanges entre agents sans passer par l'environnement.[50]

- **L'interaction directe** : L'interaction directe correspond à une interaction dirigée comme dans le cas d'envoi de messages. Un agent exploite ses capacités dans l'environnement pour émettre un message vers un ou plusieurs agents désignés dans l'environnement. Les langages de communication agent et les protocoles d'interaction⁴ sont les principaux points qui ont été étudiés pour l'interaction directe.[13]
- **L'interaction indirecte** : L'interaction indirecte quant à elle n'est pas dirigée ; elle est au contraire caractérisée par un découplage du nom, du temps et de l'espace. Ainsi pour interagir de manière indirecte, les agents n'ont pas besoin de connaître explicitement les autres agents, ils n'ont pas besoin d'être situés au même endroit et ils n'ont pas besoin de coexister en même temps. L'interaction est mise en œuvre par perception de l'environnement. [13]

b. Formes d'interaction

L'interaction entre les agents apparaît sous plusieurs formes qu'ils peuvent pratiquer pour accomplir leurs tâches et satisfaire leurs buts ; qui sont la coopération, la coordination et la négociation.

- **La coordination** :

Jacques Ferber [8] a défini la coordination comme suit : "la coordination d'actions dans un SMA est définie comme l'ensemble des tâches effectuées par les agents pour réaliser les autres actions (actions effectives) dans les meilleures conditions". Quand les agents utilisent des ressources communes ou résolvent des problèmes qui ne sont pas complètement indépendants mais liés et complémentaires, les agents du système doivent accomplir en plus de leurs tâches de résolution des problèmes

4. Un protocole d'interaction spécifie des règles qui doivent être respecté par les agents durant une conversation, et définit ainsi pour chaque étape les types de messages qui peuvent être envoyés. En suivant un protocole, un agent interprète les messages d'une conversation un par un, en changeant son propre état a chaque étape, et exploite le protocole pour produire le prochain de la conversation. [13]

individuels, des tâches supplémentaires (appelées tâches de coordination) qui améliorent le fonctionnement du système. La coordination entre les agents d'un système apparaît sous deux formes :

- La première forme consiste à bien coordonner les plans de fonctionnement des agents pour assurer une meilleure gestion des ressources (notamment celles qui sont rares) et éviter les conflits d'accès, c'est la coordination due à la gêne.

- La deuxième forme est la coordination due à l'aide, comme le signifie son nom, les agents doivent synchroniser leurs actions, et échanger les résultats qui sont nécessaires au fonctionnement des autres.[29]

- **La coopération :**

La coopération est une caractéristique essentielle en univers multi-agents pour l'exécution d'une tâche. Chaque agent possède un ensemble de compétences qui lui permettent de résoudre les différents problèmes, mais il existe des situations où ses capacités et ses compétences ne suffisent pas à accomplir certaines tâches (ou bien il ne dispose pas des moyens nécessaires) donc il aura besoin de l'intervention d'un autre agent du système qui va l'aider à résoudre le problème, c'est-à-dire qu'il y'a une coopération pour faire évoluer le système vers ses objectifs. La coopération consiste, donc, à faire participer plusieurs agents pour satisfaire un but individuel ou commun.

Jacques Ferber définit la coopération entre plusieurs agents comme "une situation dans laquelle, soit l'ajout d'un nouvel agent permet d'accroître les performances du groupe, soit l'action des agents sert à éviter ou à résoudre des conflits potentiels ou actuels.[29]

La situation de coopération apparaît quand les actions de chaque agent satisfont au moins l'une des conditions suivantes :

1. Les agents ont un but en commun et des agents qui décident de travailler en commun pour réaliser ce but.

2. Les agents effectuent les actions qui réalisent non seulement leurs propres buts mais aussi ceux des autres.[27]

- **La négociation :**

Les buts des agents dans un système Multi Agents peuvent être incompatibles et leurs demandes sont parfois contradictoires : Dans une situation de jeu, chacun cherche à être gagnant mais la réalisation de ce but pour un des joueurs rend impossible la réalisation du but des autres joueurs ; Les ressources dont les agents ont besoin peuvent être rares et l'utilisation d'une ressource par un des agents peut empêcher un autre agent de réaliser son but...etc. Ces situations et d'autres empêchent l'avancement désirable du système. Il faut, donc, trouver un moyen qui permette à chaque agent de poursuivre son travail : les agents doivent négocier la solution.

On peut définir la négociation comme le mécanisme pour coordonner un groupe d'agents qui ont leurs propres buts, désirs, préférences, etc, et pour améliorer les accords (en réduisant les inconsistances et l'incertitude) sur des points de vue communs ou des plans d'action grâce à l'échange structuré d'informations pertinentes.[29]

2.2.9 La communication dans les systèmes multi agents

Pour interagir, les agents ont besoin de communiquer. Les communications dans les SMA comme chez les humains, sont à la base des interactions et de l'organisation. Sans la communication, les agents se trouvent tous être isolés et incapables de coordination pour réaliser des tâches collectivement et résoudre les différents conflits qui proviennent de la concurrence de leurs activités.

a. Définition

La communication peut être définie comme « L'ensemble des actions qui donnent la possibilité à un agent de transmettre une information à un autre agent, par un langage articulé ou par d'autres codes »[30]

Les questions abordées par un modèle de communication peuvent être résumées par les interrogations suivantes : Pourquoi ?, Quand ?, Qui communique ?, et Comment ?

— Pourquoi les agents communiquent-ils ?

Les agents communiquent pour synchroniser leurs actions et pour résoudre des conflits, qui sont des conflits de ressources, de buts ou d'intérêts. Ils communiquent également pour s'aider mutuellement ou, comme le souligne J.Ferber, suppléer aux limites de leurs champs de perception.

— **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. La difficulté réside dans l'identification de ces situations.

— **Avec qui les agents communiquent-ils ?**

Les communications peuvent être sélectives sur un nombre restreint d'agents ou diffusées à l'ensemble d'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 communication et définir les moyens permettant non seulement l'envoi et la réception de données mais aussi le transfert de connaissances avec une sémantique appropriée à chaque type de message.[29]

b. Modes de communication

Il existe principalement deux modes de communication : communication par partage d'informations et communication par envoi de message. Ces deux modes ont été fusionnés pour aboutir le modèle hybride.

1. La communication par partage d'information (mémoire partagé) :

En ce mode partage d'information, les agents ne sont pas en liaison directe mais communiquent via une structure de données partagée ; toute l'information sur le système est centralisée dans une structure de données globale. Les agents viennent lire et écrire dans cette base de données pour faire évoluer le système qui contient initialement les données du problème (Figure 2.7). Ce type de communication est appelé aussi "tableau noir" (blackboard). [13]

2. La communication par messages : En ce mode, Les agents sont en liaison directe et envoient leurs messages directement et explicitement au destinataire .[44]

Les systèmes multi-agents fondés sur ce type communication se caractérisent par le fait que chaque agent possède une représentation propre et locale de l'environnement qui l'entoure. Chaque agent alors interroger les autres agents sur cet environnement ou leur envoyer des informations sur sa propre perception des choses. Cette

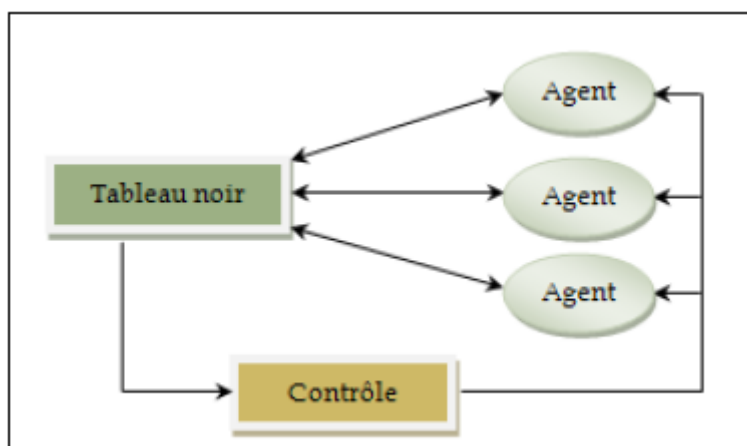


Figure 2.7 – Communication par partage d’information [13]

communication permet de réaliser un véritable système multi agent puisque chaque agent possède sa propre base de connaissances.[13]

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.[44]

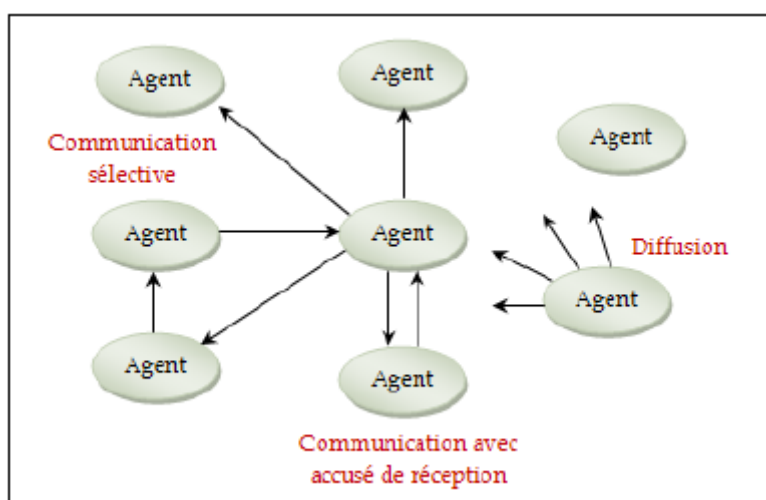


Figure 2.8 – Communication par envoi de messages [13]

2.2.10 Méthodologies de développement des systèmes multi agents

Plusieurs méthodes de conception des SMA existent, à l'heure actuelle. Chacune d'entre elles repose sur une idée conceptuelle spécifique et recouvre un ensemble d'aspect essentielles à pris en compte pour cette tâche.[38]

Dans ce qui va suivre, nous présentons quelques exemples de ces méthodologies les plus utilisées.

a. La méthode des VOYELLES

Cette approche est proposé par Yves Demazeau , est une méthode complète qui se concentre des concepts propres au domaine du multi-agent .

Elle est composée de trois phases :

1. **La phase analyse** : Consiste à décomposer le problème selon quatre dimensions : Agents, Environnements, Interactions, et Organisations (les quatre voyelles A, E, I, O).
 - **Agents (A)** : Définir les éléments nécessaires à la construction des agents à savoir leur modèle, leur architecture, leur implémentation...
 - **Environnements (E)** : Dans un système multi agents, on appelle environnement l'espace commun aux agents du système.
 - **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.
 - **Organisations (O)** : Qui structurent les agents en groupes, hiérarchies, relations, etc.

A noter que pour prendre en compte la participation active de l'opérateur humain dans les systèmes de simulation comme la réalité virtuelle, on trouve la voyelle U qui représente l'utilisateur.

2. 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.

3. 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.[44]

b. La méthode Aalaadin

Le modèle AALAADIN est proposé par Ferber et Gutknecht. C'est un modèle généraliste développé pour la création de systèmes complexes. Ce modèle, comme le montre la figure 2.9, repose sur trois concepts : agents, groupes et rôles (AGR).

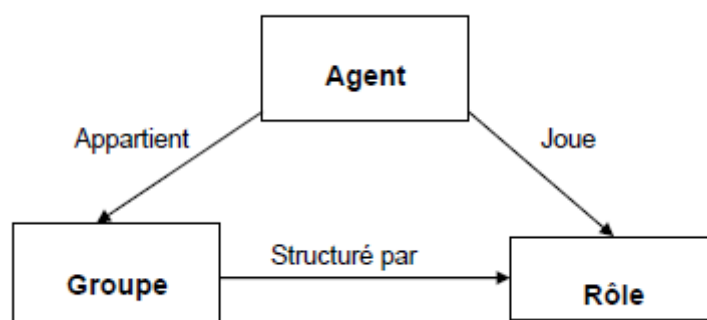


Figure 2.9 – Les trois concepts centraux de la méthode Aalaadin [49]

1. l'agent : qui est défini comme une entité active, autonome et communicante. Un agent est capable d'appartenir à plusieurs groupes, d'en créer, de joindre à des groupes existant et de les quitter.

L'architecture interne de l'agent n'est pas décrite pour permettre au concepteur

de choisir le modèle adaptable à son application .

2. **le groupe** : est un ensemble d'agents qui sont en relation, et qui partagent des caractéristiques communes comme par exemple le même métier. Dans un groupe, un agent doit jouer un rôle qui constitue une partie de son comportement et chaque agent fait partie d'un ou plusieurs groupes.[15]
3. **le rôle** : qui est défini comme une représentation d'une fonction jouée par les agents au sein d'un groupe.
 - Chaque agent peut jouer un ou plusieurs rôles dans un groupe ;
 - Chaque rôle est local à un groupe ;
 - Un rôle peut être attribué à plusieurs agents ;
 - Chaque agent a la possibilité de jouer plusieurs rôles simultanément dans le même groupe ou dans des groupes différents.

Les principales étapes de la méthode Aalaadin sont :

1. **La phase d'analyse** : Cette phase consiste à identifier les fonctions du système et les dépendances au sein de communautés identifiées. Il est nécessaire de définir les mécanismes de coordination et d'interaction entre les entités d'analyse.
2. **La phase de conception** : Consiste à identifier les groupes et les rôles dans des diagrammes de structures organisationnelles.
3. **la phase de réalisation** : Consiste à faire le choix de l'architecture d'agent et la gestion des entités du domaine permet d'implanter le système à partir d'organisations concrètes.[23]

c. La méthode GAIA

GAIA est une méthode conçue par Wooldridge [52] pour l'analyse et la conception

orientées agent.

Comme l'illustre la figure 2.10, la méthode GAIA est fondée d'une architecture à deux niveaux.

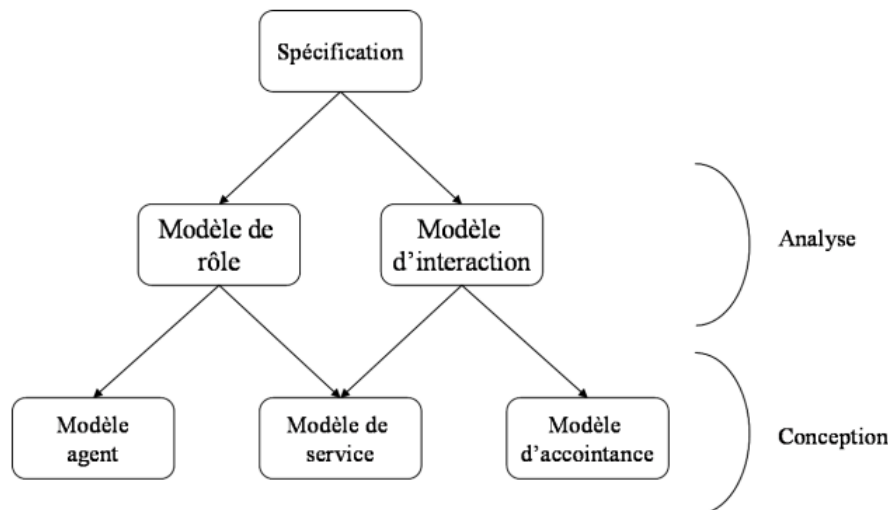


Figure 2.10 – Architecture de la méthode GAIA
[16]

1. La phase d'analyse : Cette phase est-elle même devise en deux modèles :

- **Le modèle de rôle (role model) :** Identifie les principaux rôles du système.
- **Le modèle d'interaction (interactions model) :** C'est un ensemble de définitions de protocoles d'interaction.

2. La phase de conception : Cette est découpée en trois modèles :

- **Le modèle d'agent (Aagent model) :** Identifie les agents du système en les associant aux différents rôles.
- **Le modèle de services (Services model) :** Identifie les principaux services nécessaires pour accomplir les rôles des agents.
- **Le modèle d'acointance (Acquaintance model) :** Définit les liens de communication entre les agents.[44]

2.2.11 Raisons du choix de la méthode Voyelles comme méthode de conception du notre systeme multi agents

Le choix de la méthode VOYELLE dans notre étude repose sur plusieurs facteurs clés qui la distinguent des autres méthodes citées telles que la méthode GAIA conçue par Wooldridge et la méthode Aalaadin proposée par Ferber et Gutknecht.

Premièrement, la méthode VOYELLE est spécifiquement conçue pour répondre aux besoins de modélisation et de conception des systèmes multi-agents. Elle propose un cadre conceptuel et méthodologique qui est adapté aux caractéristiques et aux défis spécifiques des systèmes basés sur des agents.

Dans le contexte de notre projet de diagnostic médical basé sur des agents, la méthode VOYELLE se distingue par sa capacité à prendre en compte les particularités du domaine médical. Elle permet d'analyser et de représenter efficacement les interactions entre les différents agents impliqués dans le processus de diagnostic, tels que les médecins, les patients, les systèmes d'aide à la décision, etc.

Par rapport à la méthode GAIA, qui est une autre approche populaire pour la modélisation des SMA, la méthode VOYELLE offre des concepts plus spécifiques au domaine médical. Elle propose des éléments de modélisation plus adaptés aux problématiques diagnostiques, tels que la représentation des symptômes, des signes cliniques, des résultats d'examens, etc. Cela permet une meilleure prise en compte des particularités du diagnostic médical et une modélisation plus précise des interactions entre les agents.

De même, par rapport à la méthode Aalaadin, qui propose une approche basée sur des automates pour la modélisation des SMA, la méthode VOYELLE offre une plus grande flexibilité et une représentation plus riche des comportements des agents. Elle permet de modéliser les agents avec des capacités d'apprentissage, d'adaptation et de prise de décision en fonction de leur environnement. Cela est particulièrement pertinent dans le domaine médical, où les diagnostics peuvent être complexes et nécessitent des capacités d'analyse et de raisonnement avancées.

Deuxièmement, la méthode VOYELLE propose des concepts et des notations précis pour représenter les différents composants des systèmes multi-agents. Ces composants comprennent les agents, l'environnement, les interactions et l'organisation.

La méthode VOYELLE fournit des éléments de modélisation spécifiques qui permettent de décrire en détail chaque composant. Par exemple, pour les agents, on peut définir leurs caractéristiques, leurs capacités, leurs comportements et leurs interactions avec d'autres agents. Pour l'environnement, on peut modéliser les éléments physiques ou virtuels dans lesquels les agents évoluent et interagissent. Les interactions entre les agents peuvent être représentées par des protocoles, des messages échangés ou des actions conjointes. L'organisation des agents peut être définie par des structures hiérarchiques, des rôles, des règles ou des normes.

En utilisant les concepts et les notations proposés par la méthode VOYELLE, il devient plus facile de représenter et de comprendre le fonctionnement global du système multi-agents. Les diagrammes et les modèles créés grâce à cette méthode permettent d'appréhender la structure et les interactions entre les différents composants, facilitant ainsi la communication et la collaboration entre les membres de l'équipe de développement.

Et troisièmement, la méthode VOYELLE propose une approche systématique et structurée pour la conception des systèmes multi-agents (SMA). Elle fournit des étapes claires qui nous aident à analyser le système à étudier et à construire son architecture.

Tout d'abord, la méthode VOYELLE encourage une analyse approfondie du système en identifiant ses composants essentiels tels que les agents, l'environnement, les interactions et l'organisation. Cela nous permet de comprendre les différents aspects du système et de déterminer comment ils interagissent les uns avec les autres.

Ensuite, la méthode VOYELLE propose des outils et des notations spécifiques pour modéliser ces composants et leurs comportements. Elle nous guide dans la définition des

caractéristiques et des rôles des agents, la représentation de l'environnement dans lequel ils évoluent, la spécification des protocoles d'interaction, et l'organisation des agents selon une structure hiérarchique ou un système de coordination.

De plus, la méthode VOYELLE nous aide à construire l'architecture globale du système en décrivant les liens et les dépendances entre les différents composants. Elle facilite la prise de décision en proposant des critères pour évaluer et sélectionner les solutions appropriées pour notre système.

En utilisant la méthode VOYELLE, nous bénéficions d'une méthodologie bien définie qui nous guide tout au long du processus de conception des SMA. Cela nous permet de suivre une approche cohérente et structurée, ce qui facilite la compréhension, la communication et la collaboration au sein de l'équipe de développement.

En résumé, nous avons choisi la méthode VOYELLE pour sa pertinence dans la conception des systèmes multi-agents, sa précision dans la représentation des composants essentiels, son approche méthodologique et notre familiarité avec cette méthode. Ces facteurs combinés ont motivé notre choix de privilégier la méthode VOYELLE par rapport aux autres méthodes mentionnées dans ce chapitre.

2.2.12 Domaines d'utilisation des systèmes Multi-Agents

Les SMA sont un cadre convenable pour la conception et la réalisation de systèmes complexes, ouverts, coopératifs, décentralisés et à des niveaux d'abstraction de plus en plus évolués.

La jeunesse des systèmes Multi-Agents n'a pas empêché sa présence dans de nombreux domaines, grâce aux avantages qu'ils offrent et les caractéristiques dont ils disposent.

A l'heure actuelle, on trouve une variété d'applications dans différents domaines ; les SMA sont particulièrement utiles dans les domaines où la décentralisation est importante, tels que les réseaux informatiques et de télécommunications. Les concepts clés des SMA, tels que la flexibilité, la richesse des interactions et la mobilité, sont exploitables dans tous les types de réseaux (fixes, mobiles ou ambiants). Les agents intelligents sont

également pertinents pour les applications du web, notamment pour la recherche d'informations et le commerce électronique. Les SMA ont également fait leurs preuves dans les applications industrielles, telles que l'automatisation et le contrôle de processus, la production, la gestion du transport et du trafic aérien, la robotique, et d'autres applications. En outre, les SMA offrent une solution puissante pour la simulation en permettant de modéliser directement les individus, leurs comportements et les relations qui les lient. Ils sont ainsi un outil expérimental précieux pour la simulation de divers processus sociaux et pour éclaircir l'émergence de certains comportements, tant chez les sociétés humaines que chez les sociétés animales.[22]

L'utilisation des systèmes Multi-Agents varie d'un domaine à un autre, mais généralement elle tourne autour de trois axes fondamentaux selon Boissier [4].

- **La résolution** : Cette catégorie comprend les applications destinées résoudre des problèmes complexes tels qu'ils sont définis en IA classique, étendue à un contexte d'informatique distribuée. Dans ce cadre, les agents participent à la résolution d'un problème global en se partageant les tâches, les ressources et les connaissances.
- **L'intégration** : Cette catégorie comprend les applications qui visent à intégrer des logiciels existants, des systèmes mécaniques et des êtres humains et à faire interopérer l'ensemble d'une manière cohérente. On peut citer par exemple les applications de commerce électronique, de collectifiel ou d'informatique diffuse.
- **La simulation** : Cette catégorie comprend les applications destinées à modéliser et à reproduire des phénomènes du monde réel tels que les phénomènes sociaux, environnementaux ou éthologiques, afin de les comprendre et d'expliquer les comportements émergents. [22]

2.3 Conclusion

Pour bien comprendre le contexte dans lequel se déroule ce travail de mémoire, nous avons présenté dans ce chapitre les concepts essentiels de la technologie des systèmes multi-agents. Cette technologie potentiellement novatrice et adéquate a montrer aussi sa

capacité de gérer des systèmes complexes hétérogènes et distribuées.

Ces systèmes sont composés d'entités (agents) autonomes qui interagissent, et qui coopèrent et communiquent entre eux pour décomposer les problèmes en sous-problèmes et les résoudre plus facilement; dont les compétences, les connaissances (sur les autres agents et sur leur environnement), et les ressources peuvent être limitées.

Chapitre 3

Développement d'un système multi agents d'aide a la decision (Diagnostique du dia- bète type 1)

3.1 Introduction

Il convient d'étudier et d'analyser de façon approfondie tout système que l'on veut modéliser ceci dans le but d'en comprendre le fonctionnement dans tous les détails autant que possible.

Dans, notre cas, il s'agit d'implémenter un système multi agents permettant le diagnostic du diabète type 1. Nous avons fourni, dans les chapitres précédents, une synthèse de l'état de l'art nécessaire relatives à ce système.

A présent, nous passons à l'étape de conception qui permet d'en décrire le fonctionnement de façon théorique voire formelle en utilisant un ensemble d'outils techniques et en suivant une méthodologie de conception. Il existe plusieurs méthodologies de conception. Nous avons adopté l'approche simulation Multi-Agents du modèle Voyelles, vue que de notre point de vue cette approche dispose d'assez d'outils performants qui permettent de bien représenter les systèmes industriels.

3.2 Etude de cas

Le processus de diagnostic médical dans un hôpital implique plusieurs étapes et acteurs. Voici comment cela fonctionne généralement :

- 1. Prise en charge du patient :** Lorsqu'un patient se présente à l'hôpital, il est enregistré et orienté vers le service approprié en fonction de sa condition. Le personnel hospitalier, tel que les infirmières et les médecins, accueille le patient et recueille

des informations initiales, telles que les antécédents médicaux, les symptômes et les plaintes.

2. **Anamnèse et examen physique :** Le médecin mène une anamnèse approfondie en posant des questions sur les symptômes, les facteurs de risque et les antécédents médicaux du patient. Ensuite, un examen physique est réalisé pour évaluer l'état général du patient, effectuer des mesures et rechercher des signes physiques.
3. **Hypothèses diagnostiques :** Sur la base des informations recueillies, le médecin formule des hypothèses diagnostiques, c'est-à-dire les différentes maladies ou affections qui pourraient expliquer les symptômes du patient.
4. **Examens complémentaires :** Pour confirmer ou infirmer les hypothèses diagnostiques, le médecin prescrit des examens complémentaires tels que des analyses de sang, des radiographies, des échographies, des biopsies, des scanners, etc. Ces tests fournissent des informations supplémentaires pour affiner le diagnostic.
5. **Analyse des résultats :** Une fois les résultats des examens disponibles, le médecin analyse les données et les interprète en les confrontant aux hypothèses diagnostiques initiales. Il peut également consulter des spécialistes ou utiliser des outils d'aide à la décision pour parvenir à un diagnostic précis.
6. **Diagnostic final :** Le médecin établit un diagnostic final, en identifiant la maladie ou l'affection responsable des symptômes du patient. Ce diagnostic est communiqué au patient et peut nécessiter des explications supplémentaires.
7. **Plan de traitement :** En fonction du diagnostic, le médecin propose un plan de traitement adapté, qui peut inclure des médicaments, des interventions chirurgicales, des thérapies ou d'autres traitements spécifiques à la condition diagnostiquée.
8. **Suivi du patient :** Le système assure le suivi du patient en enregistrant les informations sur l'évolution de sa condition médicale, en proposant des examens de suivi et en mettant à jour le plan de traitement si nécessaire.

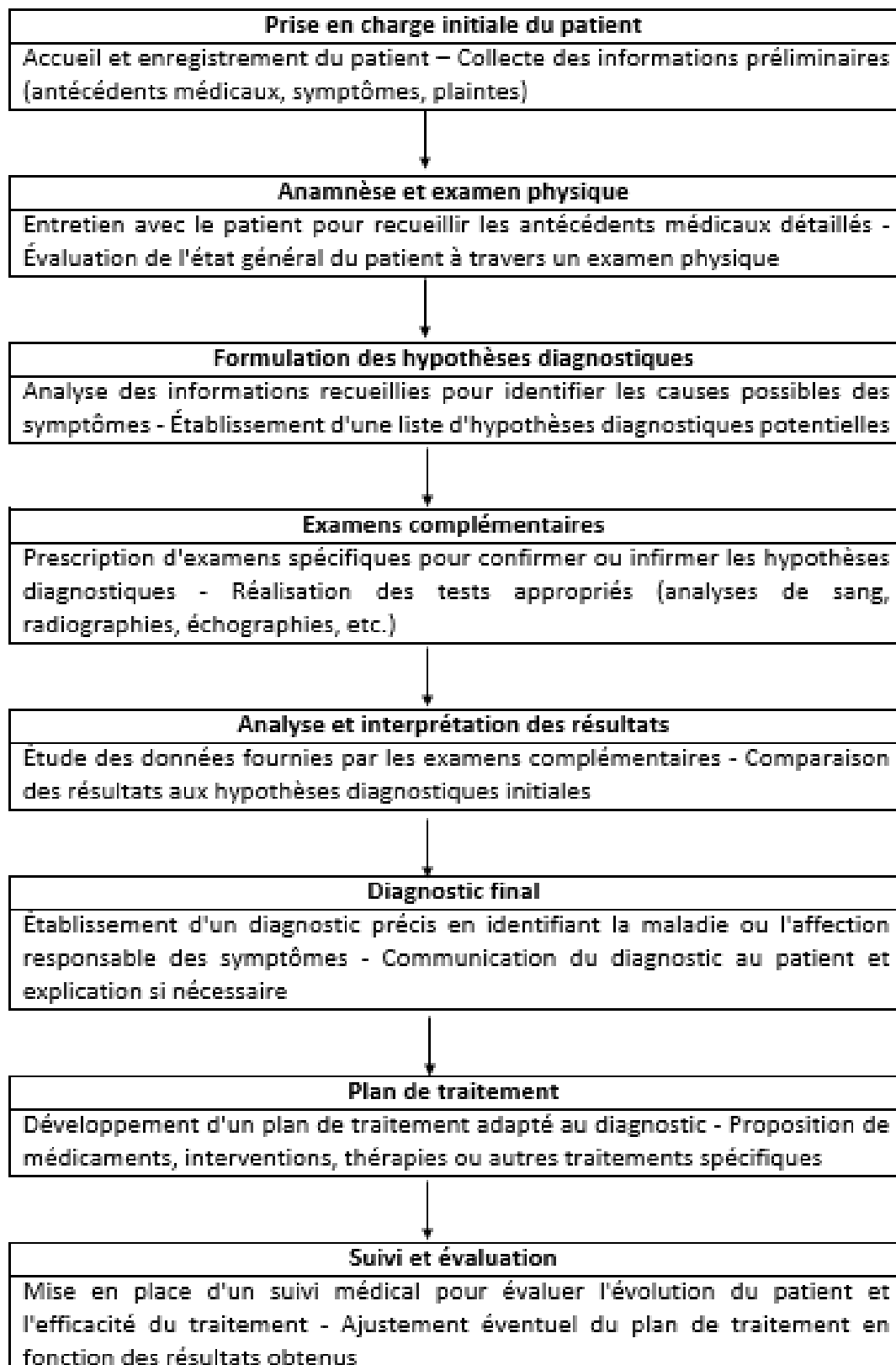


Figure 3.1 – Le processus de diagnostic médical dans un hôpital

L'intégration des systèmes d'aide à la décision au processus de diagnostic apporte une

assistance supplémentaire aux médecins en analysant les données médicales, en proposant des recommandations et en facilitant la prise de décision. Ils utilisent des algorithmes et des modèles basés sur l'intelligence artificielle pour aider à interpréter les informations et à formuler des hypothèses diagnostiques. En intégrant ces systèmes au processus de diagnostic, on peut améliorer la précision et l'efficacité des diagnostics médicaux.

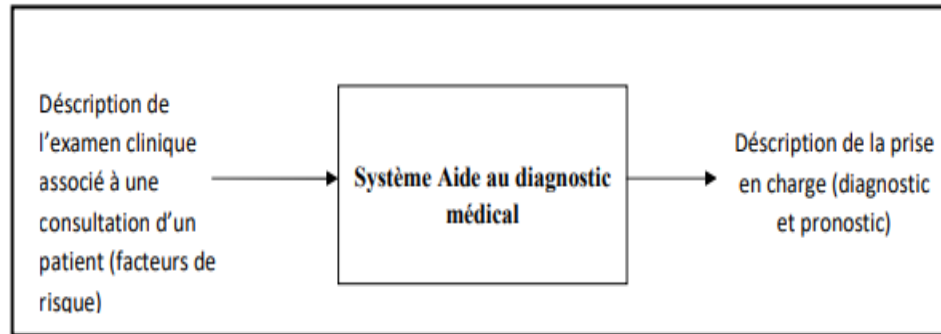


Figure 3.2 – Modélisation d'un système d'aide au diagnostic médical [44]

3.3 Le diagnostic médicale et les SMA

Dans le contexte d'un hôpital où l'espace géographique est vaste et les informations ne sont pas centralisées ni uniformes, l'utilisation de l'intelligence artificielle et des applications intelligentes devient essentielle. Cela permet de tirer parti des systèmes multi-agents et de l'apprentissage automatique pour optimiser le processus de diagnostic médical.

La collaboration des systèmes multi-agents permet de coordonner et de gérer efficacement les ressources et les informations dans un environnement complexe et distribué. Les agents peuvent être conçus pour interagir entre eux, échanger des informations, prendre des décisions et effectuer des tâches spécifiques pour soutenir le processus de diagnostic.

L'organisation des systèmes multi-agents implique de définir la structure, les rôles et les responsabilités des différents agents impliqués dans le processus de diagnostic. Chaque agent peut avoir des connaissances spécialisées dans un domaine spécifique, ce qui permet une meilleure prise de décision et une répartition efficace des tâches.

D'autre part, la désorganisation des systèmes multi-agents se réfère à la flexibilité et à l'adaptabilité des agents pour s'ajuster aux changements de l'environnement. Les agents peuvent s'auto-organiser, coopérer et échanger des informations en fonction des besoins du moment, ce qui permet une meilleure gestion des ressources et des informations dans un environnement dynamique.

L'apprentissage automatique joue un rôle clé dans ce contexte, car il permet aux systèmes de s'améliorer en tirant des connaissances à partir des données. Les algorithmes d'apprentissage automatique peuvent être utilisés pour analyser les données médicales hétérogènes, identifier des modèles, détecter des anomalies et prendre des décisions basées sur des informations précises.

Dans notre étude de cas spécifique sur le diabète, l'utilisation de l'intelligence artificielle et des systèmes multi-agents combinée à l'apprentissage automatique permettrait de recueillir et d'analyser efficacement les informations pertinentes pour le diagnostic du diabète de type 1. Les agents spécialisés pourraient collaborer pour collecter les données des patients, échanger des informations, entraîner des modèles d'apprentissage automatique et prendre des décisions éclairées.

En conclusion, dans un environnement hospitalier avec un espace géographique étendu et des informations non centralisées, l'intelligence artificielle, les applications intelligentes, les systèmes multi-agents et l'apprentissage automatique sont des éléments clés pour optimiser le processus de diagnostic médical, améliorer la collaboration et fournir des soins de santé plus efficaces et personnalisés aux patients atteints de diabète de type 1.

3.4 Choix de l'approche de conception

Le choix de l'approche de conception pour le développement d'un système multi-agents dans le contexte du projet a été basé sur plusieurs critères, dont la couverture des phases de développement et l'adéquation aux principes fondamentaux des systèmes multi-agents.

Parmi les méthodologies examinées dans l'état de l'art, l'approche "Voyelles" a été sélectionnée. Cette approche se distingue par sa structure en trois phases : l'analyse des SMA (Systèmes Multi-Agents), la conception et l'implémentation. Elle repose sur les principes essentiels des systèmes multi-agents, en particulier la décomposition du système en quatre dimensions clés : les agents, l'environnement, l'interaction et l'organisation.

L'approche "Voyelles" a été choisie en raison de sa capacité à couvrir l'ensemble des phases de développement d'un système multi-agents, de l'analyse à l'implémentation. De plus, elle offre une structure basée sur les principes fondamentaux des systèmes multi-agents, ce qui facilite la compréhension et la modélisation du système.

3.5 Conception de système

Dans cette section nous allons effectuer une analyse du système à étudier en identifiant les composants agents, environnement, interactions et organisation. Ensuite, nous allons construire l'architecture proposée pour le système.

Enfin ,en utilisant AUML (Agent Unified Modeling Language) comme référence pour représenter et modéliser notre système multi-agents, nous passerons à la conception détaillée à travers les diagrammes suivants :

1. Diagramme de cas d'utilisation ;
2. Diagramme de classes ;
3. Diagramme de séquences.

3.5.1 Analyse de système (Identification des composants)

Cette phase consiste à identifier et à décomposer le système en cinq composantes fondamentales : les agents, l'environnement, l'interaction, l'organisation et les utilisateurs.

En analysant ces cinq dimensions, on peut établir une vision claire de la structure et des interactions du système, ce qui facilite la conception de solutions adaptées aux besoins identifiés.

a. Les agents :

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

1. Interface Agent : L'agent interface joue le rôle d'intermédiaire entre les utilisateurs et les agents d'un système multi-agent (SMA). Son objectif principal est de faciliter la communication et le contrôle de l'accès au système. Voici un résumé de ses fonctions principales :

- Contrôler l'accès au système .
- Lire les informations de l'instance
- Traduire les requêtes des utilisateurs. L'agent interface comprend les requêtes formulées par les utilisateurs et les traduit dans un format compréhensible par les autres agents du SMA.
- Transmettre les requêtes à l'agent "SuperV agent" .
- Afficher les résultats du diagnostic

2. SuperV Agent :

L'agent superviseur joue un rôle central dans un système multi-agent (SMA). Il superviseur assure la gestion et le contrôle du processus de diagnostic dans le SMA.

- Vérifier l'existence de l'instance dans la base de données ; s'il n'y trouve aucune correspondance , il ajoute l'instance à la base de données et procède à l'apprentissage automatique..
- Créer l'agent classification .
- Transmettre les informations de l'instance à l'agent "Classification" .

3. Classification Agent :

L'agent "Classification" coordonne les actions des agents spécialisés, analyse les résultats et choisit la prédiction la plus fiable pour être transmise à l'agent "super_V".

- Récevoir les informations de l'instance à diagnostiquer provenant de l'agent superviseur.
- Créer les agents responsables de classification "KNN Agent", "SVM Agent" et "logistic Agent".
- Transmettre les informations de l'instance aux trois agents (KNN Agent, SVM Agent et Logistic Agent).
- Attendre des résultats de classification des trois agents.
- Analyser les résultats (prédictions) de classification venant des trois agents de classification.
- Mesurer la performance d'un modèle par le calcul des S1_score et de l'accuracy de chaque prédiction.
- Sélectionner le S1_score maximum parmi les trois résultats.
- Prise de la prédiction associée au S1_score maximum.
- Transmettre la prédiction sélectionnée au "superV Agent".

4. SVM Agent :

Cet agent est responsable de la tâche spécifique de classification en utilisant l'algorithme SVM.

- Récevoir les informations pertinentes concernant l'instance à diagnostiquer de l'agent SuperV.
- Généralement il effectuer un prétraitement des données qui peut inclure des étapes telles que la normalisation, la réduction de dimension ou le nettoyage des données, afin de préparer les données d'entrée pour l'algorithme SVM.
- Entraîner du modèle SVM;l'agent SVM utilise les données d'entraînement disponibles pour créer un modèle SVM. L'algorithme SVM cherche à trouver un hyperplan optimal qui sépare les différentes classes de manière maximale.
- Classifier les instances ; Une fois que le modèle SVM est entraîné, l'agent SVM utilise ce modèle pour effectuer la classification des instances de test.

Il applique la fonction de décision du modèle SVM pour prédire la classe à laquelle chaque instance appartient.

- Renvoyer les résultats; l'agent SVM transmet les résultats de classification obtenus, tels que les étiquettes prédites, à l'agent classification. Ces résultats peuvent être utilisés ultérieurement pour l'analyse comparative des performances des différents algorithmes de classification utilisés.

5. KNN Agent :

Ce est chargé de la tâche spécifique de classification en utilisant l'algorithme KNN.

- Récevoir les informations pertinentes concernant l'instance à diagnostiquer de l'agent SuperV Agent.
- Effectuer un prétraitement des données.
- Entraîner le modèle KNN; L'agent KNN utilise les données d'entraînement disponibles pour créer un modèle KNN. L'algorithme KNN recherche les K voisins les plus proches de chaque instance de test dans l'espace des caractéristiques. La classe majoritaire parmi les voisins les plus proches est utilisée pour prédire la classe de l'instance de test.
- Classifier les instances; Pour chaque instance de test, l'agent KNN calcule les distances entre cette instance et les instances d'entraînement, puis sélectionne les K voisins les plus proches. La classe majoritaire parmi les voisins les plus proches est utilisée pour prédire la classe de l'instance de test.
- Renvoyer les résultats; l'agent KNN transmet les résultats de classification obtenus, tels que les étiquettes prédites, à l'agent classification. Ces résultats peuvent être utilisés ultérieurement pour l'analyse comparative des performances des différents algorithmes de classification utilisés.

6. Logistic Agent : Cet agent est un composant d'un système multi-agents chargé d'effectuer la classification à l'aide de l'algorithme de régression logistique.

- Récevoir les données pertinentes de l'agent SuperV

- Effectuer un prétraitement des données Avant de procéder à la classification afin de préparer les données d'entrée pour l'algorithme de régression logistique.
- Entraîner le modèle de régression logistique ; l'agent Logistic utilise les données d'entraînement disponibles pour entraîner un modèle de régression logistique. L'algorithme de régression logistique est un algorithme d'apprentissage supervisé qui cherche à trouver la meilleure courbe de régression qui représente les relations entre les variables indépendantes (caractéristiques) et la variable dépendante (classe).
- Classifier les instances ; une fois le modèle de régression logistique est entraîné, l'agent Logistic l'utilise pour effectuer la classification des instances de test. Pour chaque instance de test, l'agent Logistic applique le modèle pour estimer la probabilité d'appartenance à chaque classe. Généralement, un seuil de décision est fixé pour attribuer une classe spécifique à chaque instance en fonction des probabilités estimées.
- Renvoyer les résultats ; l'agent Logistic transmet les résultats de classification, tels que les étiquettes prédites ou les probabilités estimées, à l'agent classification ou à d'autres agents concernés.

b. Environnement

L'environnement de ce système est constitué par les éléments définis lors de son activation. Il comprend l'ensemble des agents modélisés et la base de données qu'ils utilisent comme ressource principale pour réaliser leurs objectifs.

c. Interactions

Le système consiste à deux types d'interactions : les interactions utilisateur-agent et les interactions agent-agent.

- **Interaction Utilisateur-Agent** : Ces interactions se traduisent soit par les actions du médecin sur l'interface intelligente (interaction utilisateur-agent), soit par l'affichage des résultats dans une interface graphique (interaction agent-utilisateur).
- **Interaction Agent-Agent** : Pour les interactions entre agents, ils communiquent entre eux pour partager des informations et bénéficier des connais-

sances et des compétences des autres agents. Cette communication permet aux agents de coordonner leurs actions, de répartir les tâches et de travailler en coopération pour atteindre les objectifs du système. Les agents échangent des messages en utilisant le langage ACL (Agent Communication Language), qui permet une interopérabilité maximale entre les agents. Lorsqu'un agent envoie une requête à un autre agent, ce dernier peut soit refuser la requête en donnant les raisons du refus, soit accepter la requête et fournir une réponse qui peut être un échec (Failure) ou un résultat informé (Inform-result) contenant le résultat de la requête. La coordination et la coopération entre les agents permettent de mettre à jour les connaissances globales du système, d'intégrer des informations provenant d'autres agents, d'apporter une assistance mutuelle et de déléguer des tâches selon les compétences des agents.

La figure ci-dessus illustre un exemple montrant les informations contenues dans le message minimum de l'ACL de FIPA :

- Le type du message envoyé.
- L'expéditeur du message.
- Le destinataire du message.
- Le contenu du message.[44]

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

Figure 3.3 – Structure d'un message FIPA-ACL
[44]

d. Organisation

l'organisation joue un rôle important pour définir la structure et les interactions entre

les agents. Une structure organisationnelle est définie en regroupant les agents en différentes classes, où chaque classe est associée à un rôle spécifique. Les agents d'une même classe partagent des caractéristiques communes et sont responsables de tâches similaires.

e. Utilisateur

les utilisateurs se résument aux médecins qui demandent de l'aide au système. Ils sont les seuls utilisateurs actifs qui interagissent avec le système pour soumettre leurs requêtes de diagnostic médical et consulter les résultats.

3.5.1.1 L'architecture du système multi agent proposé

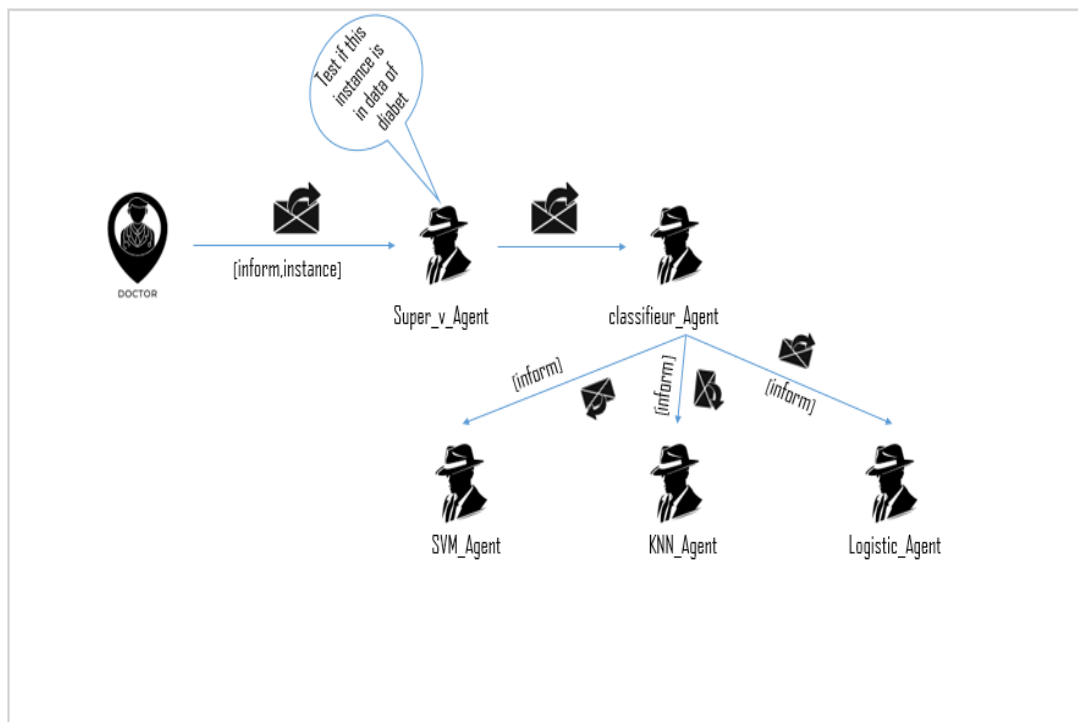


Figure 3.4 – architecture du système partie 1

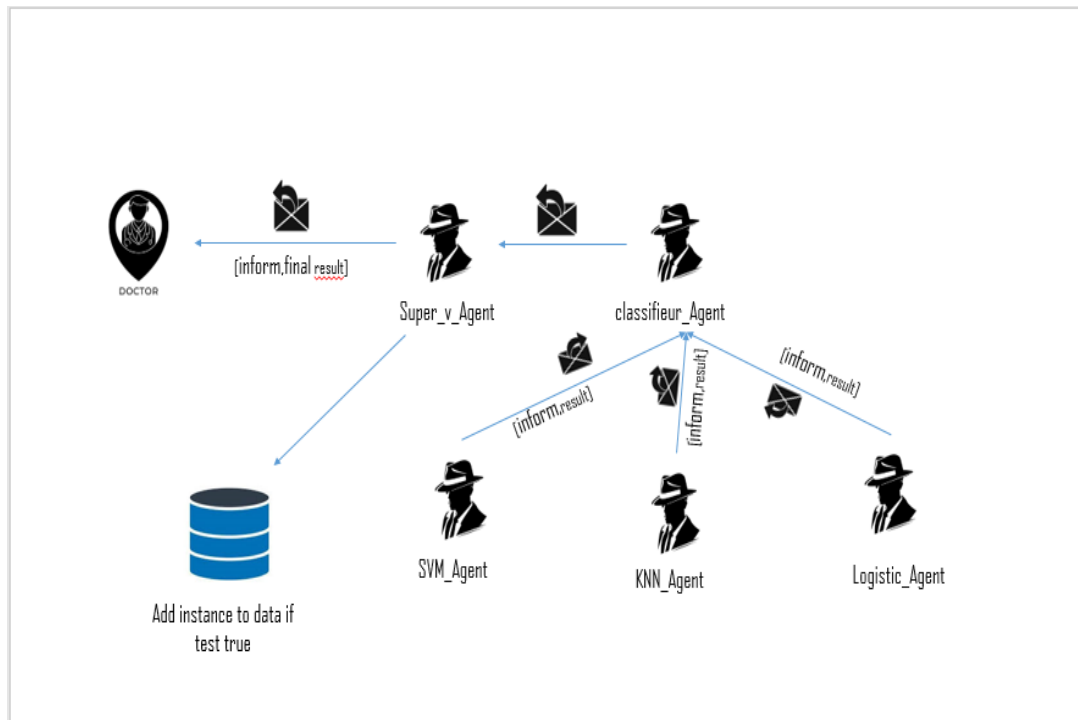


Figure 3.5 – architecture de système partie 2

3.5.2 Diagrammes de conception du système

Dans cette section, nous allons présenter les différents diagrammes de conception qui nous aideront à modéliser et à représenter notre système. Ces diagrammes sont des outils visuels puissants qui permettent de mieux comprendre la structure et le fonctionnement du système. Voici les principaux diagrammes que nous allons utiliser :

- 1. Diagramme de cas d'utilisation :** Le diagramme de cas d'utilisation présente les interactions entre les acteurs (utilisateurs) et le système, en mettant l'accent sur les fonctionnalités offertes par le système du point de vue des utilisateurs. Il permet de visualiser les différentes actions qu'un utilisateur peut effectuer et les objectifs qu'il peut atteindre en utilisant le système.

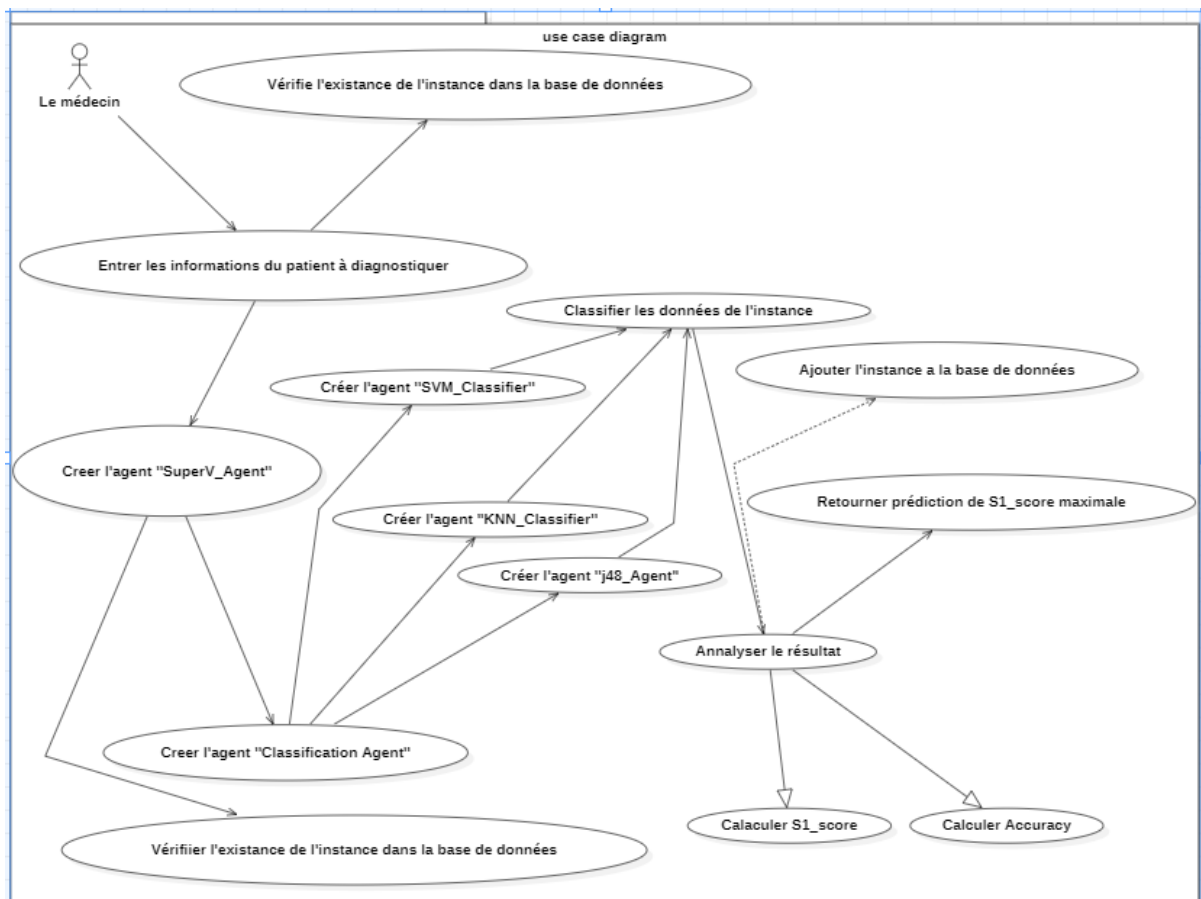


Figure 3.6 – Diagramme de cas d'utilisation

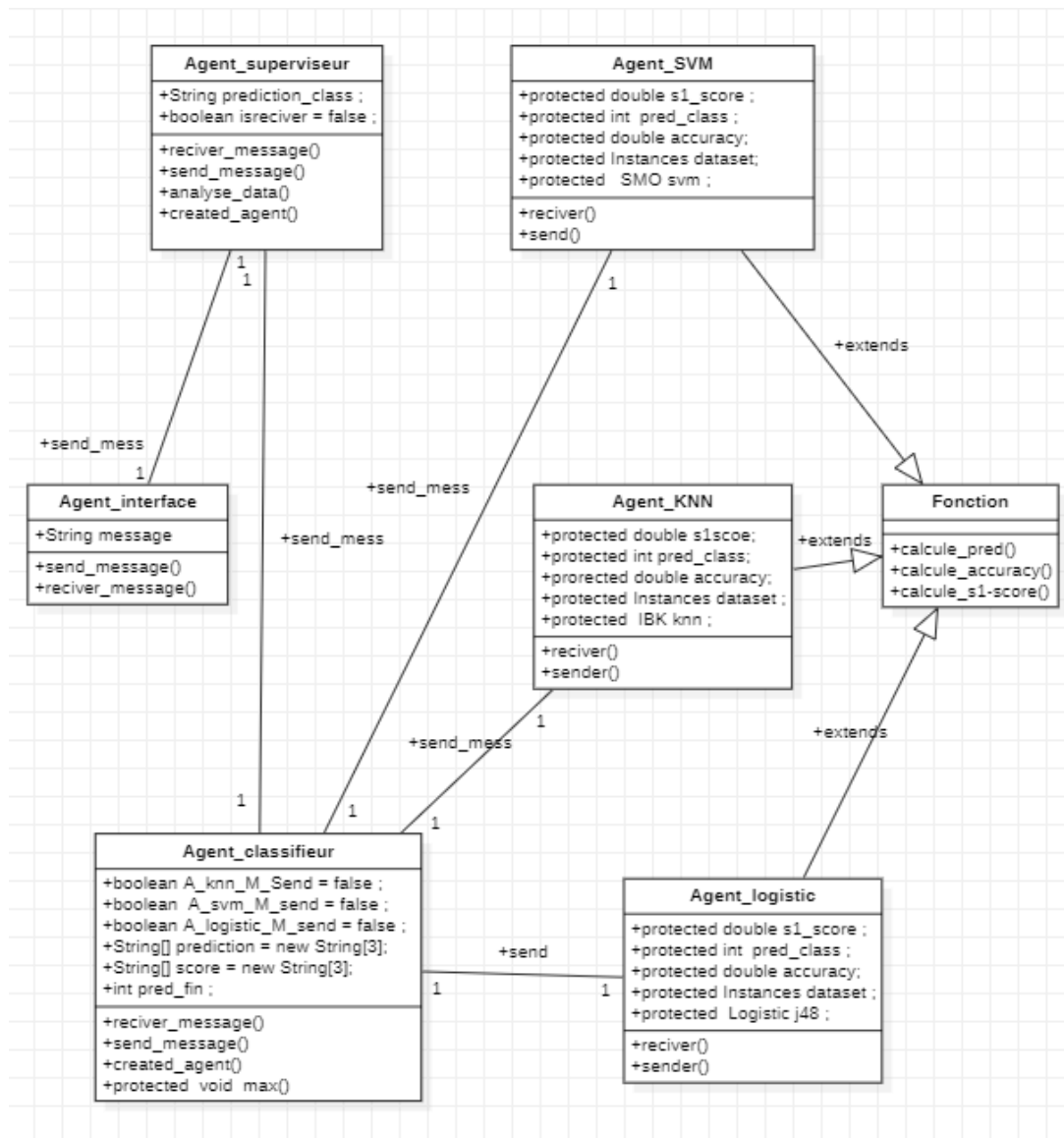


Figure 3.7 – Diagramme de classes

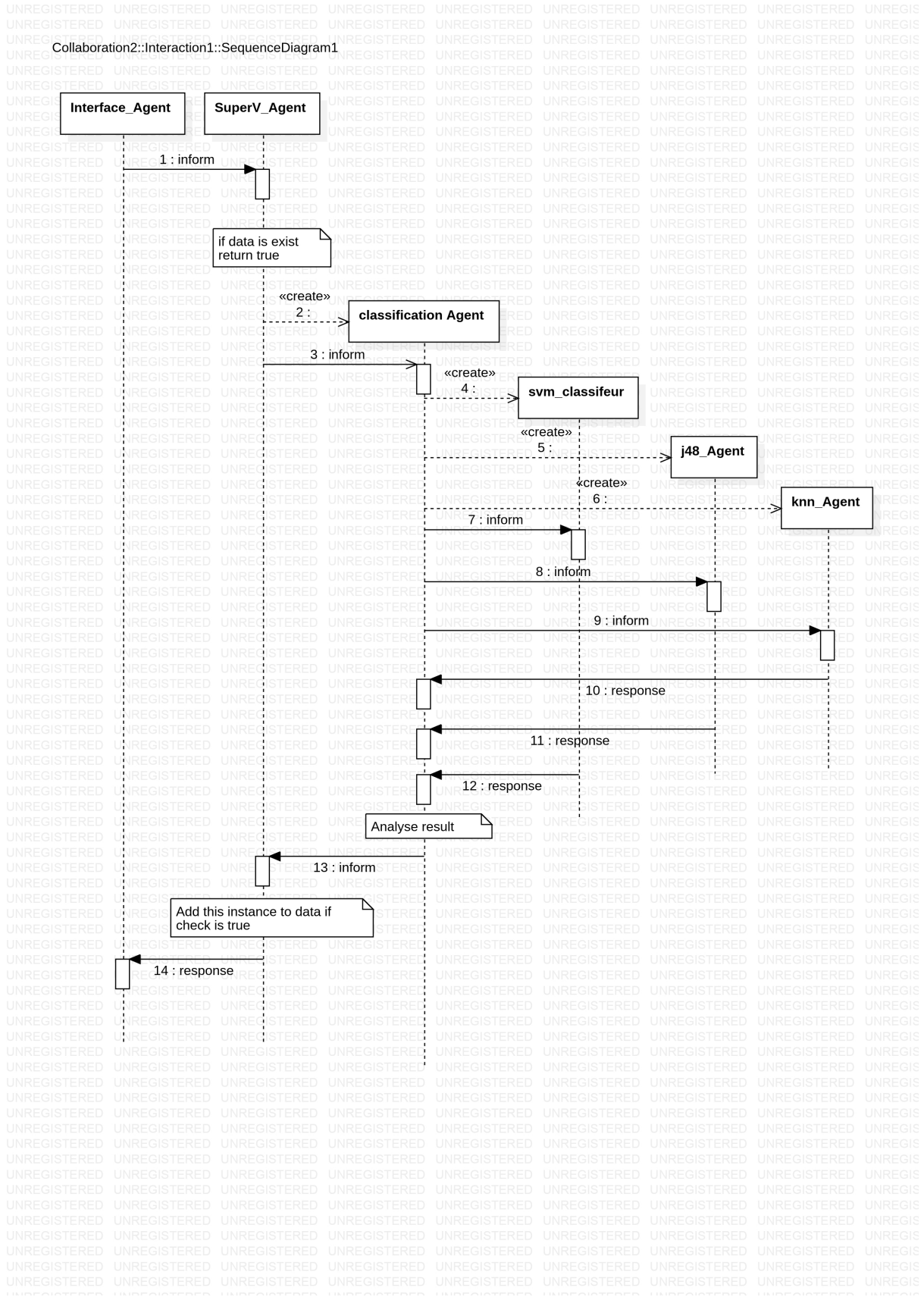


Figure 3.8 – Diagramme de séquences

3.6 Implémentation de système

L'étape implémentation consiste à traduire le résultat obtenu lors de la phase de conception en un programme ou logiciel informatique exécuté sur machine en utilisant les outils de programmation adaptés au problème à traiter.

Ce système est un ensemble de classes (agents) écrites en java et exécutées sous la plateforme de développement des agents Jade et l'environnement Weka pour la technique d'apprentissage automatique qui consiste en la classification.

3.6.1 Environnement de développement de système

a. Le langage de programmation Java

Java est un langage de programmation et une plate-forme de calcul lancé par Sun Microsystems en 1995. Depuis ses débuts modestes, Java a beaucoup évolué. A l'heure actuelle, une grande partie du monde numérique dépend de Java : de nombreux services et applications reposent sur cette plate-forme fiable. De même, de nouveaux produits et services numériques innovants et tournés vers l'avenir dépendent aussi de Java.

Java est le choix privilégié pour le développement du système multi proposé :

- **Compatibilité avec JADE :** Java est le langage de programmation utilisé pour développer les agents dans la plateforme JADE (Java Agent DEvelopment Framework). En choisissant Java, nous assurons la compatibilité et l'intégration fluide avec JADE, ce qui facilite le développement du système multi-agent.
- **Portabilité :** Java offre une portabilité élevée, ce qui signifie que le système développé peut être exécuté sur différentes plateformes sans nécessiter de modifications majeures. Cela permet une flexibilité dans le déploiement du système sur différents environnements informatiques.
- **Large bibliothèque d'objets :** Java dispose d'une vaste bibliothèque d'objets prêts à l'emploi. Cette richesse de la bibliothèque Java permet d'accélérer le développement et d'améliorer l'efficacité du système.

- **Programmation orientée objet** : Java est un langage orienté objet, ce qui correspond bien à la modélisation des entités du système multi-agent. La programmation orientée objet permet de structurer le système en utilisant des classes, des objets et des relations entre eux, ce qui facilite la conception et la maintenance du système.
- **Performance** : Java offre de bonnes performances en termes d'exécution des programmes. Cela est essentiel pour le système multi-agent, qui peut impliquer des calculs intensifs et des échanges de données en temps réel. Java offre une exécution rapide et efficace, ce qui est crucial pour le bon fonctionnement du système de diagnostic médical.
- **L'accès simplifié aux bases de données** : Java facilite l'accès aux bases de données grâce à ses fonctionnalités intégrées. L'interaction des développeurs Java avec les bases de données peut être efficace et conviviale grâce à l'utilisation des bibliothèques et des frameworks appropriés.

La réalisation du logiciel a été faite en utilisant le langage JAVA avec l'IDE netbeans. NetBeans est un environnement de développement intégré (EDI) spécialement conçu pour le développement d'applications orientées objet. Cet environnement offre une interface conviviale et des fonctionnalités avancées pour la création d'interfaces graphiques et la gestion des bases de données.

Sa compatibilité avec le langage Java permet une programmation orientée objet efficace, tandis que sa bibliothèque d'objets prêts à l'emploi facilite le développement des agents. De plus, NetBeans facilite l'accès et la manipulation des bases de données, simplifiant ainsi la gestion des informations nécessaires au fonctionnement du système.

- b. la plate-forme de développement des agents JADE** (Java Agent DEvelopment Framework) est une plateforme gratuite et open-source largement utilisée dans le domaine des systèmes multi-agents pour le développement d'applications distribuées et d'agents intelligents. JADE a été développée par le Laboratoire d'Informa-

tique de Grenoble (LIG) de l'Université Grenoble Alpes. Elle a été créée par Fabio Bellifemine, Giovanni Caire et Dominic Greenwood en 1999. JADE fournit un ensemble d'outils, de bibliothèques et de services permettant de créer et de déployer des agents qui peuvent interagir, coopérer et prendre des décisions de manière autonome.

Les principales caractéristiques de la plateforme JADE sont les suivantes :

- JADE simplifie l'implémentation d'un système multi-agent (SMA) en fournissant un middleware qui respecte les spécifications de la FIPA¹. Il propose une bibliothèque de classes que les utilisateurs peuvent utiliser et étendre, ainsi qu'un ensemble d'outils graphiques permettant le débogage et l'administration du SMA à concevoir.
- JADE offre la possibilité de développer des applications multi-agents évolutives. Les développeurs peuvent facilement ajouter de nouveaux agents, modifier les comportements existants et étendre les fonctionnalités du système sans compromettre sa stabilité.
- JADE facilite la création d'applications multi-agents complexes et évolutives en offrant des fonctionnalités telles que la communication entre les agents, la gestion des ressources, la coordination des actions et l'exécution de tâches distribuées.
- La plateforme JADE intègre des mécanismes de supervision, de détection d'erreurs et de résolution de conflits, ce qui permet de surveiller l'exécution des agents et de détecter d'éventuelles erreurs ou comportements anormaux. Cela facilite la résolution rapide des problèmes et améliore la fiabilité du système.
- JADE assure une communication transparente entre les agents en permettant

1. FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) est une organisation internationale qui a été créée pour promouvoir le développement et l'adoption de standards ouverts dans le domaine des systèmes multi-agents. FIPA fournit des spécifications et des recommandations pour faciliter l'interopérabilité et l'interaction entre les différents agents logiciels autonomes

l'échange de messages de manière cohérente et standardisée, en utilisant le langage normalisé FIPA-ACL (Agent Communication Language), ce qui facilite l'interopérabilité et l'interaction entre les agents.

- En utilisant JADE, les développeurs bénéficient d'un gain de productivité, car la plateforme implémente déjà deux agents, à savoir le DF² (Directory Facilitator) et l'AMS³ (Agent Management System), dont les fonctionnalités sont utiles pour notre application. Ces caractéristiques font de JADE un outil puissant et polyvalent pour le développement de systèmes multi-agents, offrant aux développeurs les fonctionnalités nécessaires pour créer des applications robustes et évolutives dans divers domaines, y compris le diagnostic médical du diabète.

c. La base des données

L'application nécessite une base de données spécifique pour le processus d'apprentissage des différents agents impliqués dans la classification.

Le nom de la base de données : Diabète.

Nombre d'instances : 768 cas.

Nombre d'attributs : 9 attributs dont 8 attributs font partie des caractéristiques ou des facteurs qui peuvent être pris en compte pour le diagnostic du diabète type 1, et le neuvième (9ème) attribut représente la classe, qui peut prendre les valeurs 1 ou 0.

Lorsque la classe est égale à 1, cela indique la présence de la maladie. En revanche, lorsque la classe est égale à 0, cela indique l'absence de la maladie.

- 1. Nombre de grossesse :** Le nombre de grossesses antérieures peut être un facteur pertinent dans l'évaluation du risque de diabète, représente le nombre de fois que la personne concernée a été enceinte.

Il peut prendre des valeurs entières positives, indiquant le nombre de grossesses

2. DF (Directory Facilitator) est un agent intégré qui joue un rôle important dans la gestion des services, Il facilite la gestion et la découverte des services dans un système multi-agents. Il permet aux agents de s'enregistrer, de rechercher et de mettre à jour les services disponibles, favorisant ainsi la communication et la collaboration entre les agents au sein de la plateforme.

3. AMS (Agent Management System) est un agent intégré qui joue un rôle crucial dans la gestion des agents, assure la gestion et le contrôle des agents au sein du système multi-agents. Il facilite la création, la supervision, la gestion des ressources et le suivi des agents, garantissant ainsi un fonctionnement harmonieux et efficace de l'environnement d'exécution.

qu'elle a connues jusqu'à présent. Cependant, il est important de noter que cet attribut seul ne détermine pas directement la présence ou l'absence de la maladie. Il fait partie d'un ensemble d'attributs qui, combinés, sont utilisés dans le processus de classification pour évaluer les risques de diabète.

- 2. Le taux de glucose :** La mesure du taux de glucose dans le sang à jeun est une indication importante pour diagnostiquer le diabète. Des niveaux élevés de glucose peuvent être un signe de diabète. Il est généralement exprimé en milligrammes par décilitre (mg/dL) ou en millimoles par litre (mmol/L).

Dans le processus de classification pour le diagnostic du diabète, cet attribut est utilisé en combinaison avec d'autres pour évaluer les risques de la maladie. Il existe des seuils spécifiques de taux de glucose qui peuvent être utilisés pour déterminer la présence ou l'absence du diabète.

- 3. La pression artérielle (mm Hg) :** La pression artérielle représente la force exercée par le sang contre les parois des artères. Dans le contexte du diagnostic du diabète, La mesure de la pression artérielle peut être utilisée pour évaluer la santé cardiovasculaire générale du patient. Des niveaux élevés de pression artérielle peuvent être associés au diabète.

- 4. Epaisseur de pli de peaux (mm) :** L'épaisseur du pli cutané est un attribut qui mesure l'épaisseur du pli cutané situé sur le triceps⁴, La mesure de l'épaisseur du pli cutané dans cette zone donne une indication sur la quantité de tissu adipeux sous-cutané présent dans cette région du corps. Généralement exprimé en millimètres (mm).

Cet attribut est utilisé dans le contexte du diagnostic du diabète pour recueillir des informations sur la distribution de la graisse corporelle de la personne concernée. Il est important de noter que l'épaisseur du pli cutané, en tant qu'attribut isolé, ne détermine pas directement la présence ou l'absence de la maladie. Cependant, lorsqu'il est combiné avec d'autres attributs dans le processus de classification, il peut contribuer à l'évaluation des risques de diabète.

- 5. Le taux d'insuline (mu U/ml) :** L'insuline est une hormone produite par le pancréas qui joue un rôle clé dans la régulation du taux de glucose dans le corps.

4. Le triceps est un muscle situé à l'arrière du bras. Il est composé de trois faisceaux musculaires qui se rejoignent pour former le tendon du triceps, qui s'attache à l'omoplate et à l'os de l'avant-bras. Le triceps est responsable de l'extension du coude, c'est-à-dire de redresser le bras lorsque celui-ci est plié

Lorsque nous consommons des aliments, notamment des glucides, le taux de glucose dans le sang augmente. Le taux d'insuline dans le sang peut être mesuré pour évaluer la fonction pancréatique et la production d'insuline. Des niveaux anormalement bas ou élevés peuvent indiquer des problèmes de régulation de l'insuline associés au diabète.

6. Index de masse corporelle : L'index de masse corporelle (IMC) est un indicateur utilisé pour évaluer la relation entre le poids et la taille d'une personne. Il est calculé en divisant le poids en kilogrammes par le carré de la taille en mètres. L'IMC est couramment utilisé pour estimer si une personne a un poids corporel normal, en surpoids, ou est considérée comme étant en état de maigre.

L'IMC peut être un indicateur pertinent pour évaluer le risque de développer la maladie. Des études ont montré qu'il existe une corrélation entre un IMC élevé et un risque accru de diabète de type 2. Les personnes ayant un IMC élevé sont plus susceptibles d'avoir une résistance à l'insuline, ce qui peut conduire au développement du diabète.

7. Facteur génétique : Le facteur génétique se réfère à l'influence des gènes sur le développement et l'apparition de certaines caractéristiques ou maladies. Les antécédents familiaux de diabète peuvent augmenter le risque de développer la maladie. Si des membres de la famille proche sont atteints de diabète, cela peut être un facteur de risque à prendre en compte dans le diagnostic.

8. Age (an) : l'âge peut jouer un rôle dans l'incidence et le développement de la maladie. En général, le risque de diabète augmente avec l'âge, bien que le diabète puisse également se développer à tout âge. Les études ont montré que le diabète de type 2 est plus fréquent chez les personnes plus âgées, tandis que le diabète de type 1 peut apparaître à tout âge, y compris chez les enfants et les jeunes adultes.

9. La classe (égale 1 ou 0) : Si classe = 1 , cela implique positivement la présence de la maladie.

Si classe = 0 , cela implique négativement implique l'absence de la maladie.

d. Environment Weka

Weka est une suite de logiciels d'apprentissage automatique (machine learning) open-source largement utilisée dans la communauté de la recherche et de l'industrie.

Il fournit une plateforme complète pour l'exploration des données, la préparation des données, la modélisation et l'évaluation des algorithmes d'apprentissage automatique.

Weka offre une grande variété d'algorithmes d'apprentissage automatique, y compris des classifieurs, des régressions, des regroupements (clustering), des règles d'association, et bien d'autres encore.

Weka est écrit en langage Java et propose une interface graphique conviviale pour faciliter l'utilisation et l'analyse des données. Il offre également une interface en ligne de commande et une bibliothèque Java qui permettent d'intégrer Weka dans d'autres applications et workflows.

L'avantage de Weka réside dans sa facilité d'utilisation, sa flexibilité et sa capacité à traiter efficacement de grands ensembles de données. Il est également régulièrement mis à jour avec de nouvelles fonctionnalités et est pris en charge par une communauté active d'utilisateurs et de développeurs. [21]

3.6.2 Méthodes de classification de système

Dans notre système, nous avons utilisé trois classifieurs différents : la régression logistique, les machines à vecteurs de support (SVM) et la méthode des k plus proches voisins (KNN).

Chaque classifieur offre ses propres avantages et caractéristiques uniques pour la tâche de classification dans notre système. La combinaison de ces trois classifieurs nous permet d'obtenir une meilleure précision et une meilleure performance globale dans notre système.

1. Le classifieur KNN (K-nearest neighbors ou k plus proches voisins) :

le classifieur des k plus proches voisins ou K-nearest neighbors (KNN) est utilisé pour prendre des décisions de diagnostic en se basant sur les données de la base de données. Les instances de la base de données représentent des patients et leurs caractéristiques associées, telles que le nombre de grossesses, le taux de glucose, la

pression artérielle, etc.

Lorsqu'un nouvel échantillon est présenté au système, le classifieur KNN cherche les k échantillons les plus proches dans la base de données en termes de similarité des caractéristiques. Les classes de ces échantillons voisins sont prises en compte pour déterminer la classe prédite du nouvel échantillon. Si la majorité des échantillons voisins appartiennent à la classe 1, cela indique la présence de la maladie, tandis que si la majorité appartient à la classe 0, cela indique l'absence de la maladie.

Ainsi, le classifieur KNN est utilisé dans le système multi-agent pour contribuer au processus de diagnostic du diabète de type 1 en prenant en compte les facteurs pertinents contenus dans la base de données et en utilisant la classe associée à chaque instance pour prendre des décisions de diagnostic.

2. Le classifieur SVM (Support Vector Machine ou Machine à vecteurs de support) :

Lors de l'utilisation du classifieur SVM, les huit premiers attributs sont utilisés pour former le modèle ; un modèle fait référence à la représentation apprise à partir des données d'entraînement. Pour le classifieur SVM, le modèle est une représentation mathématique qui capture les relations entre les attributs et les classes des échantillons d'entraînement. Le modèle SVM est formé en trouvant un hyperplan qui sépare les échantillons de différentes classes dans un espace de dimension élevée. Cet hyperplan est déterminé en optimisant une fonction de coût qui vise à maximiser la marge entre les échantillons les plus proches de chaque classe. Une fois le modèle formé, il peut être utilisé pour prédire la classe de nouveaux échantillons en évaluant leur position relative par rapport à l'hyperplan.

En résumé, le modèle SVM est une représentation mathématique apprise à partir des données d'entraînement qui permet de prédire la classe d'échantillons non étiquetés en se basant sur les attributs des patients pour construire un modèle de classification capable de prédire la présence ou l'absence de la maladie du diabète de type 1.

Il repose sur des techniques mathématiques sophistiquées visant à trouver un hyperplan optimal dans un espace de dimension élevée, ce qui permet d'obtenir des résultats de diagnostic précis.

3. Le classifieur logistique :

Le modèle logistique est une approche de modélisation statistique utilisée pour prédire la probabilité d'appartenance à une classe spécifique en fonction des valeurs des attributs d'un échantillon. Il est largement utilisé dans les tâches de classification où l'objectif est de prédire une variable de classe binaire.

Le modèle logistique utilise une fonction sigmoïde pour modéliser la relation entre les attributs et la probabilité de présence de la maladie. La fonction sigmoïde transforme la somme pondérée des attributs en une probabilité comprise entre 0 et 1. Les poids des attributs sont appris lors de la phase d'apprentissage du modèle.

Une fois que le modèle logistique est entraîné sur la base de données, il peut être utilisé pour prédire la probabilité de présence de la maladie pour de nouvelles instances. Si la probabilité prédite dépasse un seuil prédéfini, on considère que la maladie est présente, sinon, on considère qu'elle est absente.

3.6.3 Fonctionnement du système

Dans ce qui suit, nous présentons le fonctionnement de notre système en présentant ses différentes interfaces.

Au démarrage de l'application, une fenêtre s'affiche présentant une description de l'application. Cette fenêtre comprend également deux boutons : le bouton "Quitter" pour quitter l'application et le bouton "Démarrer" qui, lorsqu'il est cliqué, fait apparaître une deuxième fenêtre.

Après avoir cliqué sur le bouton "Start", une deuxième fenêtre s'affiche, affichant un

message de bienvenue "Welcome to the Medicine Application". La fenêtre affiche également le texte "Check your Diabete diagnostic type 1" pour indiquer aux utilisateurs qu'ils peuvent maintenant effectuer leur diagnostic médical en cliquant sur le bouton "Start".



Figure 3.9 – Fenêtre d'accueil du système

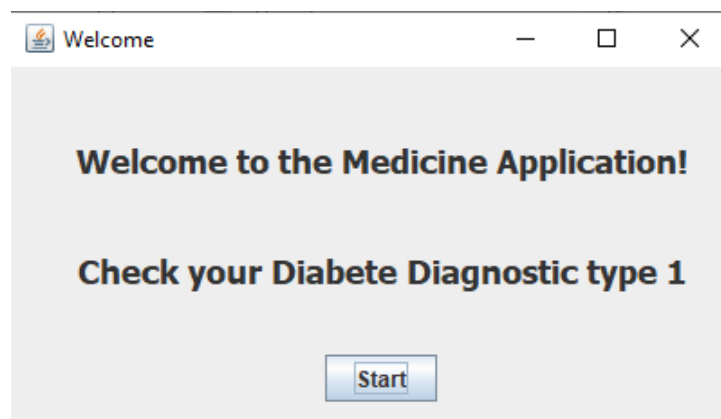
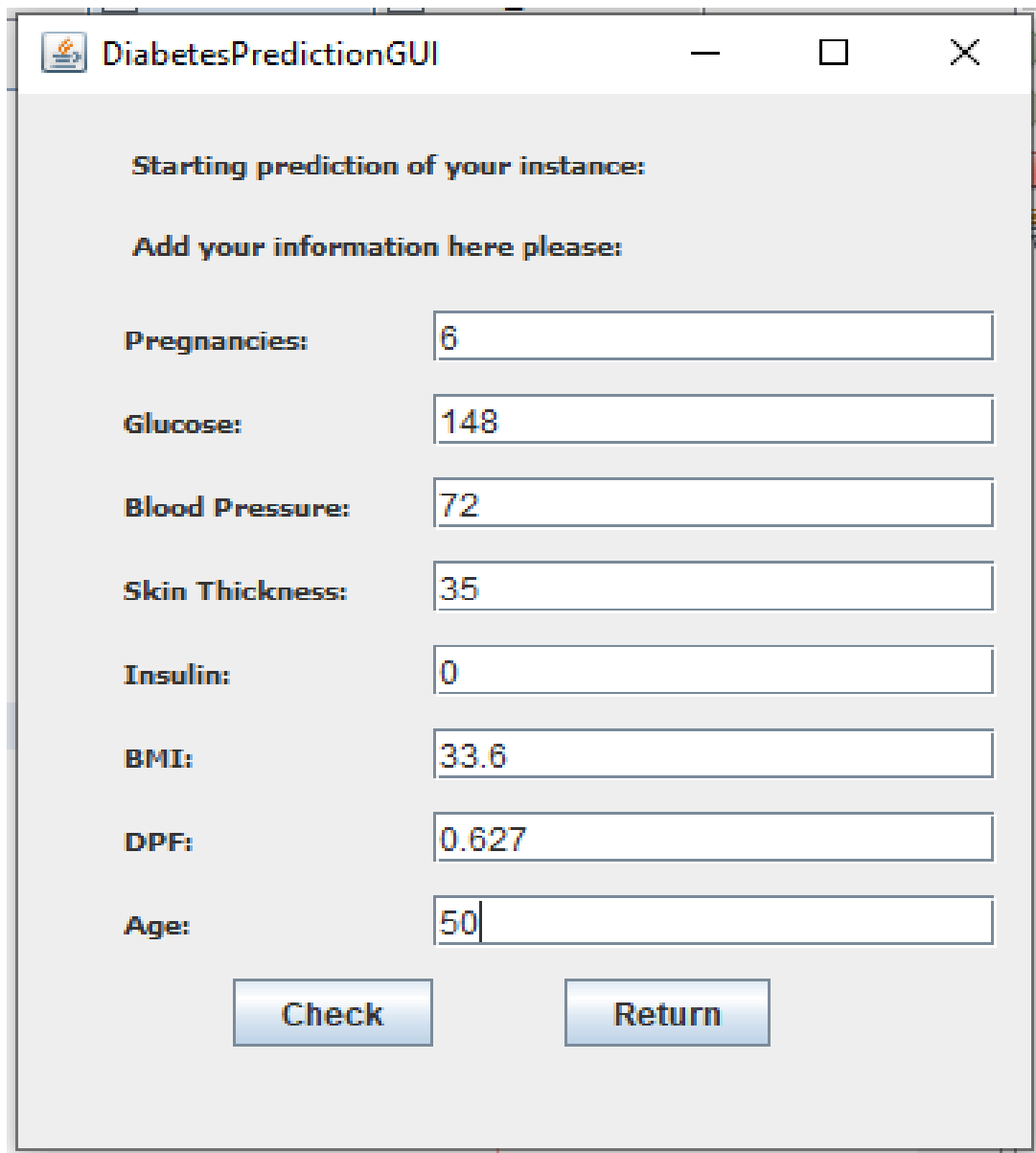


Figure 3.10 – Deuxième fenêtre apparue

Une fenêtre apparaît avec un message "ENTER YOUR INFORMATIONS FOR DIABETE DIAGNOSTIC" pour indiquer à l'utilisateur qu'il doit entrer les informations de la personne à diagnostiquer et 8 cases avec l'indication de chacune .

Au bas de la fenêtre, vous trouverez deux boutons : le bouton "Retour" permettant de revenir à la fenêtre précédente et le bouton "Vérifier" pour vérifier si cette instance existe dans la base de données et lancer le processus de classification.



The screenshot shows a window titled "DiabetesPredictionGUI" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window content is as follows:

Starting prediction of your instance:

Add your information here please:

Pregnancies:	<input type="text" value="6"/>
Glucose:	<input type="text" value="148"/>
Blood Pressure:	<input type="text" value="72"/>
Skin Thickness:	<input type="text" value="35"/>
Insulin:	<input type="text" value="0"/>
BMI:	<input type="text" value="33.6"/>
DPF:	<input type="text" value="0.627"/>
Age:	<input type="text" value="50"/>

At the bottom of the window, there are two buttons: "Check" and "Return".

Figure 3.11 – Fenêtre de saisie des informations du patient

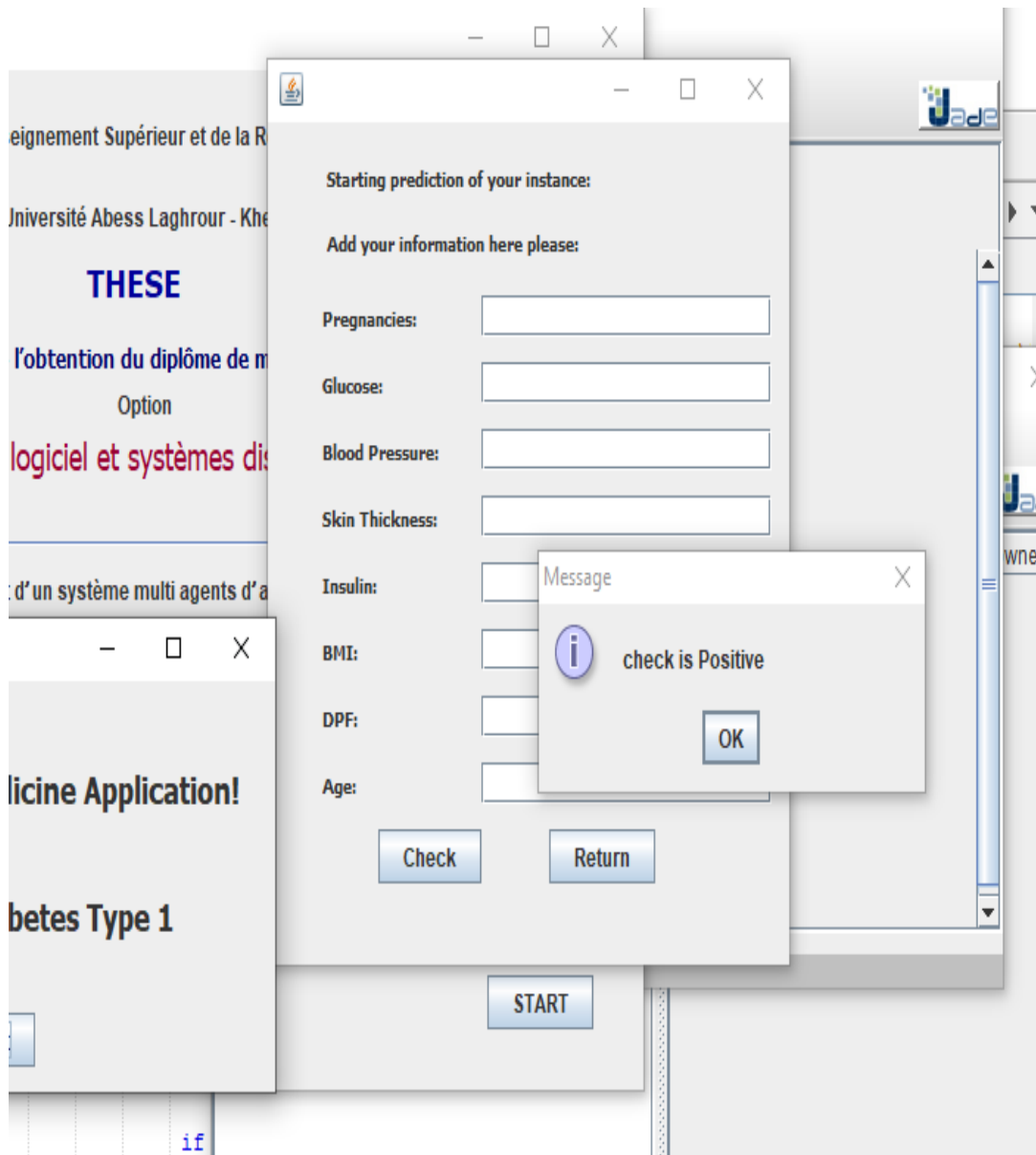


Figure 3.12 – interface d’affichage du resultat de diagnostic

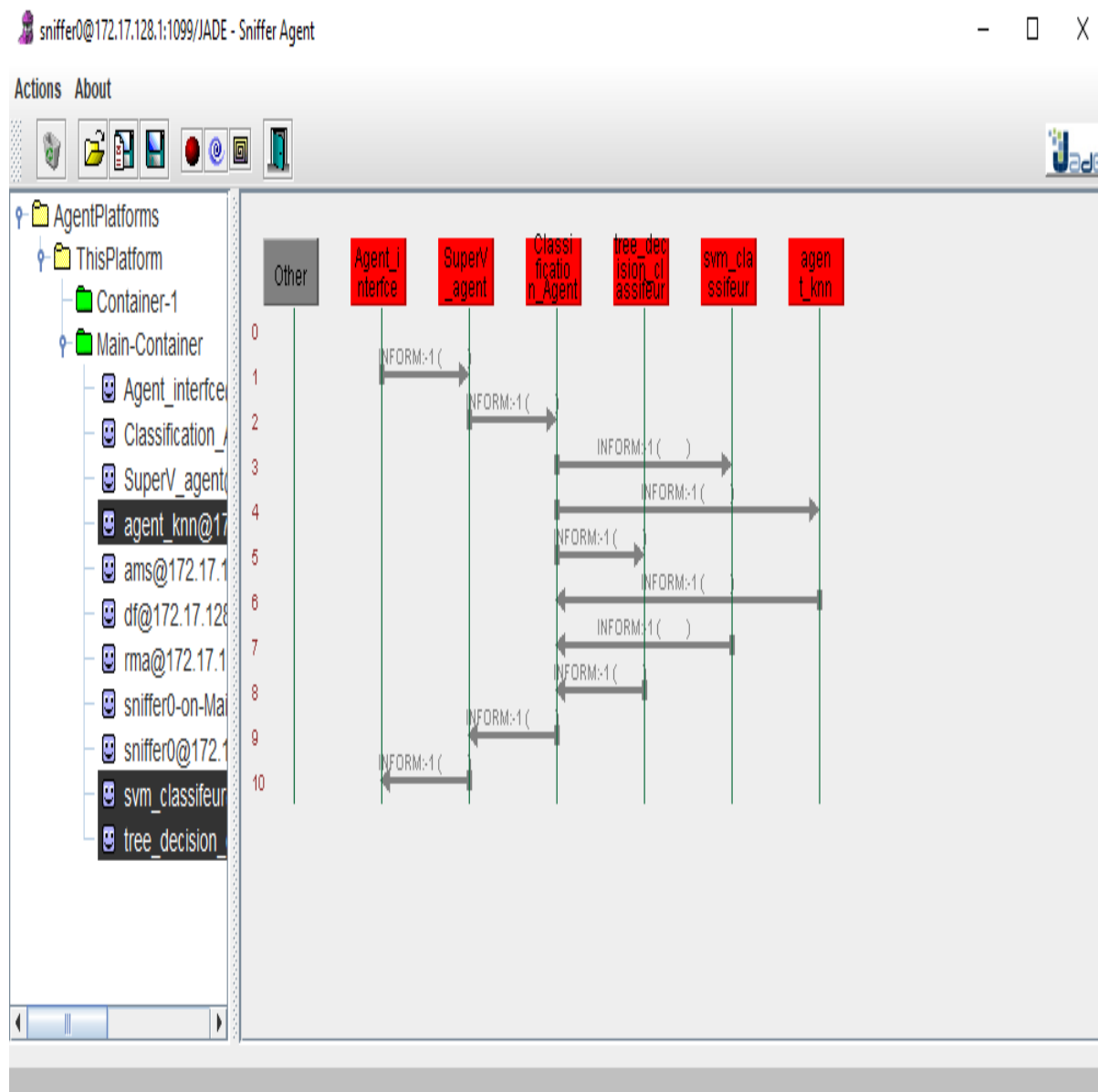


Figure 3.13 – Interface Sniffer pour visualiser les messages

Comme exemple, voici un message ACL envoyé de l'Agent Classifieur (SVM) a l'Agent classification . Apres la classification de tous les Agents l'agent supervisor évaluera le système comme suit :

True Positives (TP) : The number of positive instances correctly classified as positive.

False Negatives (FN) : The number of positive instances incorrectly classified as negative.

True Negatives (TN) : The number of negative instances correctly classified as negative.

False Positives (FP) : The number of negative instances incorrectly classified as positive.

Le taux = $(TP + TN) / (TP+FN + TN + FN)$;

sensibilité = $TP / (TP + FN)$

spécificité = $TN / (TN + FP)$

Le taux de classification correcte CC=99.479

La sensibilité(Pourcentage) SE=46

La spécificité SP=46

3.7 Conclusion

En conclusion de ce chapitre, nous avons présenté la conception de notre système basé sur la méthode VOYELLES pour la création de systèmes multi-agents (SMA). Nous avons décrit en détail la mise en œuvre des différents composants de notre architecture, en mettant l'accent sur l'étude de cas spécifique de la pathologie du diabète de type 1.

Nous avons commencé par définir l'environnement de développement et avons choisi la plateforme JADE comme base pour notre système multi-agents. Nous avons également sélectionné les langages de programmation Java et Weka pour l'apprentissage automatique et la classification, permettant ainsi de tirer parti des techniques avancées de l'intelligence artificielle.

Pour illustrer notre application, nous avons fourni des exemples d'exécution, mettant en évidence la manière dont notre système fonctionne et peut être utilisé pour le diagnostic du diabète de type 1. Ces exemples démontrent la pertinence et l'efficacité de notre approche basée sur les SMA et l'apprentissage automatique.

En résumé, ce chapitre nous a permis de mettre en place les fondements de notre système, en détaillant sa conception et sa mise en œuvre. Il s'agit d'une étape cruciale dans le développement de notre application, car elle nous permet de passer à la phase suivante, qui consiste à évaluer les performances de notre système et à le perfectionner davantage.

Conclusion générale

Le développement d'un système multi-agent pour le diagnostic médical ouvre de nouvelles perspectives et présente de nombreux avantages. Les progrès réalisés dans le domaine de l'intelligence artificielle et des systèmes multi-agents contribuent à améliorer la précision, l'efficacité et la fiabilité du diagnostic médical. En utilisant des agents intelligents spécialisés, ces systèmes peuvent collaborer pour analyser des données médicales complexes, interpréter les symptômes et les résultats des tests, et fournir des recommandations diagnostiques plus précises. Les systèmes multi-agents facilitent également la gestion de l'information répartie, la communication et la coordination entre les différents acteurs du domaine médical.

Ces avancées technologiques ouvrent de nouvelles perspectives pour améliorer les soins de santé, faciliter la prise de décision clinique et améliorer la prise en charge des patients atteints de différentes pathologies. Cependant, malgré les nombreux avantages, il est crucial de poursuivre le développement et l'évaluation de ces systèmes en accordant une attention particulière à leur intégration dans les pratiques médicales et à l'acceptation des professionnels de la santé.

La recherche future devrait se concentrer sur l'amélioration continue de ces systèmes, en les adaptant à d'autres maladies et en favorisant leur adoption dans des environnements cliniques réels, afin de les utiliser de manière optimale au bénéfice des patients et des professionnels de la santé. Il est important de continuer à développer ces systèmes en gardant à l'esprit leur utilisation pratique et leur acceptabilité pour assurer leur efficacité dans la pratique médicale quotidienne.

Bibliographie

- [1] (2016). 21 hôpitaux à travers la chine adopteront watson pour l'oncologie afin d'aider les médecins à personnaliser les soins contre le cancer. <https://www.prnewswire.com>.
- [2] ADLA, A. (2010). Aide à la facilitation pour une prise de décision collective : proposition d'un modèle et d'un outil.
- [3] B.Moulin, B.-d. (1996). An overview of distributed artificial intelligence.
- [4] Boissier, O., G. S. . G. P. (2004). Caractéristiques des systèmes et des applications. systèmes multi-agents / observatoire français des techniques avancées.
- [5] DAKNOU, A. (2011). Doctorat délivré par l'école centrale de lille architecture distribuée à base d'agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d'urgence en milieu hospitalier.
- [6] Damien, T. (1986). Specification and development of reactive systems (invited paper).in ifip congress.
- [7] Damien, T. (1992). Conception d'un système de pilotage distribué, supervisé et multicritère pour les systèmes automatisés de production.
- [8] Damien, T. (1999). Multi-agent system : An introduction to distributed artificial intelligence jacques ferber harlow : Addison wesley longman . paper : Isbn 0-201-36048-9.
- [9] DJEBBAR, A. (2019). Approche pour mesurer la réputation dans les sma normatifs.
- [10] du CNPEN, A. (2022). Diagnostic médical et intelligence artificielle : Enjeux Éthiques. avis commun du ccne et du cnpen, avis 141 du ccne, avis 4 du cnpen.l.
- [11] Efraim Turban, J. E. e. T. P. L. (2007). Decision support systems and intelligent systems.
- [12] en ligne, D. L. (2023). Diagnostic.

- [13] et GUESSOUM Lamia, A. S. (2009). Conception et réalisation d'une plate-forme multi-agents minimale.
- [14] et Norvig P., R. S. (1995). Artificial intelligence : A modern approach, the intelligent agent book. prentice hall series in artificial intelligence.
- [15] Ferber, J. Gutknecht, O. (1997). A meta-model for the analysis and design of organizations in multi-agent systems. proceedings of the third international conference on multi- agent systems.
- [16] Fournier, S. (2005). Intégration de la dimension spatiale au sein d'un modèle multi-agents à base de rôles pour la simulation : Application à la navigation maritime.
- [17] Frédéric AMBLARD, Amal El FALLAH-SEGHROUCHNI, B. G. C. H. (2021). Interactions entre agents systèmes multi-agents. réf : H5020 v1.
- [18] GABER, M. S. (2019). Coptimal control and management of electrical microgrid using multi-agent system.
- [19] GROULS, A. (2013). Agents et systemes multi agents vers une synthese de ces concepts.
- [20] Guefack, P. S. V. D. (2014). Modélisation des signes dans les ontologies biomédicales pour l'aide au diagnostic.
- [21] Hall, M., F. E. H.-G. P. B. R. P. . W. I. H. (2009). Weka 3 :data mining software in java. acm sigkdd explorations newsletter.
- [22] Hmida, F. B. (2015). Évaluation des performances des systÈmes multi-agents.
- [23] Imane, B. (2011). Approche multi-agent pour la reconnaissance de diabète.
- [24] Imane, G. (2017). Système d'aide au diagnostic médical à base d'ontologie.
- [25] J-P. Treuil, A. D. e. J.-D. Z. (2008). Modélisation et simulation à base d'agents. dunod.
- [26] KADRI, F. (2014). Contribution à la conception d'un système d'aide à la décision pour la gestion de situations de tension au sein des systèmes hospitaliers. application à un service d'urgence.

- [27] KARIMA, B. (2016). Conception d'un système multi-agents adaptatif pour la résolution de problème.
- [28] KHALID, G. (2011). Application des systèmes multi-agents pour des enchères optimales au sens de pareto.
- [29] LAZHA, B. (2009). Modélisation et simulation basées multi-agents du contrôle de processus industriels.
- [30] Legras, F. (2008). Organisation dynamique d'équipes d'engins autonomes par écoute flottante.
- [31] Lévine P., J. P. (1989). Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts.
- [32] Mansoul, A. (2018). Aide à la décision médicale guidée par un processus d'extraction de connaissances.
- [33] MedlinePlus (2021).
- [34] Miller, R. A. (2009). Computer-assisted diagnostic decision support : history, challenges, and possible paths forward. *advances in health sciences education : theory and practice*.
- [35] Mintzberg, H. (1979). *The structuring of organization*", prentice hall.
- [36] mondiale de la santé, O. (2019). Une architecture à base d'agents intelligents pour les systèmes d'aide au diagnostic médical.
- [37] Nabila, K. (2011). Une approche multi agents pour le data mining.
- [38] NFAOUI, E. H. (2008). Architecture d'aide à la décision distribuée et de simulation proactive dans les chaînes logistiques : une approche multi agent.
- [39] Osheroff (2004). *Clinical decision support implementers'workbook*.
- [40] PATRICK MILLOT, MARIE-PIERRE PACAUX-LEMOINE, D. T. (2015). Une conception anthropo-centrée pour casser le mythe de l'«humain magique» en génie industriel.

- [41] Robinson, C. R. (2008). "decentralised data fusion using agents," phd, the university of york.
- [42] Roy, B. . D. B. (1993). Aide multicritère à la décision : méthodes et cas". economica, paris (france).
- [43] SABAS, A. (2001). SystÈmes multi-agents : Une analyse comparative des mÉthologies de dÉveloppement vers la convergence des méthodologies de développement et la standardisation des plateformes sma.
- [44] Sara, Z. (2012). Une architecture à base d'agents intelligents pour les systèmes d'aide au diagnostic médical.
- [45] Saunders (2007). Modélisation des signes dans les ontologies biomédicales pour l'aide au diagnostic. *Saunders*.
- [46] Simon, H. A. (1977). The new science of management decision. prentice-hall.
- [47] Sofiane Labidi, W. L. (2006). De l'intelligence artificielle distribuee aux systemes multi-agents.
- [48] Soyez, J. (2013). Thèse de doctorat de l'université lille 1 conception et modélisation de systèmes de systèmes : une approche multi-agents multi-niveaux.
- [49] TLILI, A. (2007). Etude et réalisation d'une plate forme multi-agents.
- [50] Tranier, J. (2008). Vers une vision intégrale des systèmes multi-agents. contribution à l'intégration des concepts d'agent, d'environnement, d'organisation et d'institution.
- [51] Wennberg (1968). Diagnostic reasoning in medicine.
- [52] Wooldridge, M., J. N. e. K. D. (2000). The gaia methodology for agent-oriented analysis and design. autonomous agents and multi-agent systems.