



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE  
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ DU 20 AOÛT 1955 SKIKDA



**DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE**

*Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme*

*Master en informatique*

*Spécialité : Système Informatique*

***Thème***

**Système de classification  
Des signaux ECG**

**Réalisé par:**

- Bouasla Rahma
- Ramoul Yasmine

**Encadré Par :**

**Mr. Benoudina Lazhar**

**Année Universitaire : 2021/2022**



# *Remerciement*

*Nos remerciements vont avant tout à notre bon Dieu, créateur pour cette faveur qu'Il a bien voulu nous accorder. Nous lui donnons toute la Gloire et toute la Louange.*

*Nous tenons à exprimer toute nos reconnaissance à notre encadreur de mémoire, Monsieur Benoudina Lazhar . Nous le remercie de nous avoir orienté, aide et conseillé. Nous a beaucoup appris sur les défis à relever dans le monde des affaires. Il a partagé ses connaissances et expériences dans ce milieu, tout en nous accordant sa confiance et une large indépendance dans l'exécution de missions valorisantes..*

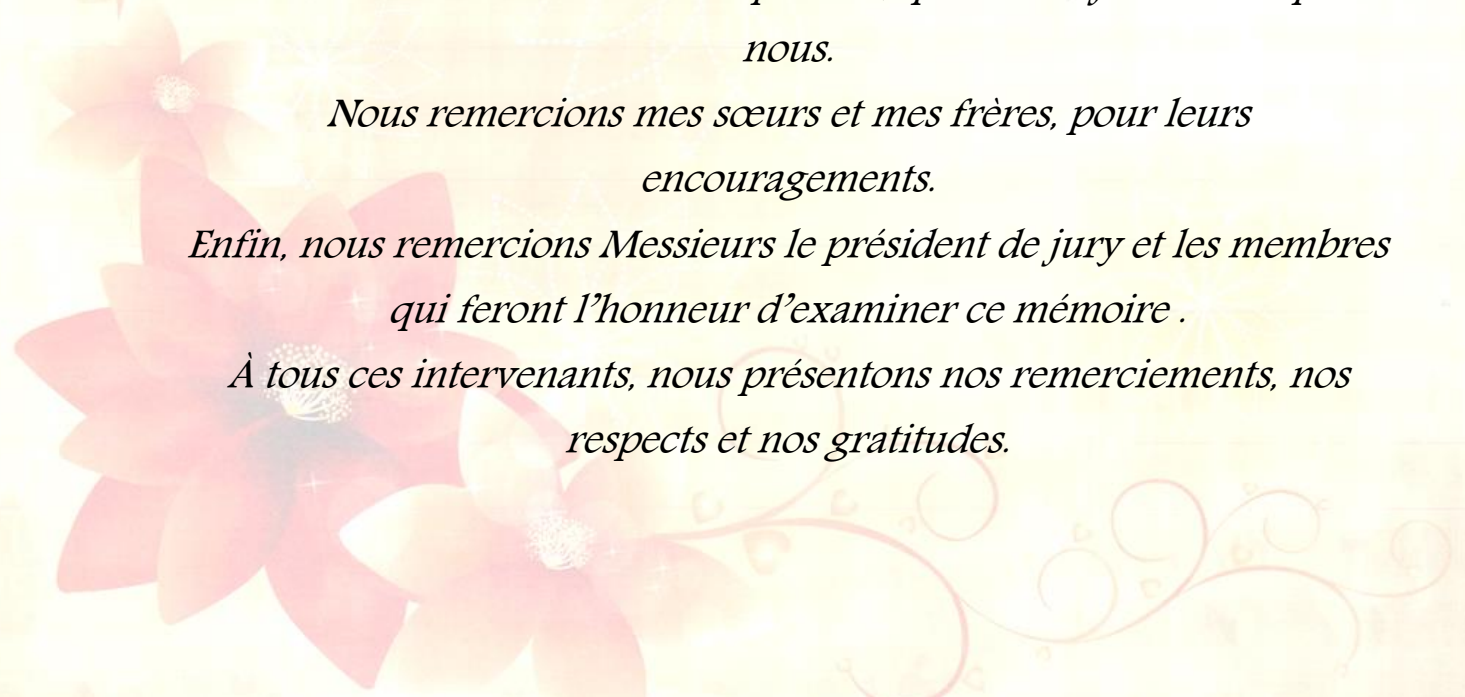
*Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.*

*Nous remercions nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous.*

*Nous remercions mes sœurs et mes frères, pour leurs encouragements.*

*Enfin, nous remercions Messieurs le président de jury et les membres qui feront l'honneur d'examiner ce mémoire .*

*À tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements, nos respects et nos gratitudes.*



The page is decorated with soft, pink roses in the corners. There are roses in the top-left, top-right, and bottom-left corners, and a single rose in the bottom-right corner. The roses are rendered in a soft, painterly style with light pink and white petals and green leaves.

# Dédicace

*Je dédie ce travail:*

*A ma mère, pour son amour*

*Ses encouragements et ses sacrifices*

*A mon père, pour son soutien, son affection*

*Et la confiance qu'il m'a accordé*

*A la mémoire de ma chère grand-mère*

*A mes très chers sœurs Zineb, Djihane, Imane et Cherifa et leurs  
enfants Norane, Karam ,Rital,*

*A mes très chers frères Aziz et Hakim*

*A tous les membres de ma famille*

*A ma chère amie et binôme Rahma,*

*Pour sa entente et sa sympathie.*

*A mes chères amies Salssabile , Kanza , Youssra , Rachida*

*Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.*

*A tous mes autres ami(e)s,*

*A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.*

*Ramoul Yasmine*



# Dédicace

*Je dédie ce travail:*

*A ma mère, pour son amour*

*Ses Encouragements et ses sacrifices*

*A mon père, pour son soutien, son affection*

*Et la confiance qu'il m'a accordée*

*A mes très chers sœurs Marwa, Houda , Moufida, Radia*

*Meriem et Fatima .*

*A tous les membres de ma famille*

*A ma chère amie et binôme Yasmine*

*Pour sa entente et sa sympathie.*

*A mon amie Ramzi*

*Pour leur aide et support dans les moments difficiles.*

*A tous mes autres ami(e)s,*

*A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.*

*Bouasla Rahma*

## **Résumé**

Le signal de l'électrocardiogramme (ECG) est largement utilisé comme l'un des outils les plus importants dans la pratique clinique afin d'évaluer l'état cardiaque des patients. Les systèmes automatiques d'analyse des ECG constituent de précieux outils pour aider les praticiens et pour la supervision des malades.

Le travail dans ce mémoire présente un ensemble de méthode de classification et de discrimination d'arythmies et d'anomalies cardiaques en utilisant des paramètres pertinents. Les paramètres extraits de la base de données d'arythmies cardiaques MIT-BIH sont utilisés pour mener un ensemble de tests pour évaluer les différents algorithmes proposés pour la classification et la discrimination des arythmies cardiaques. Dans un premier test et dans le but de détecter et classer l'une concerne une arythmie cardiaque appelée L'infarctus du myocarde (IDM) et la deuxième une arythmie cardiaque Fibrillation auriculaire (ACFA) par rapport aux battements normaux, avec « réseau de neurones perceptron multicouche » développé sous environnement MATLAB a été évalué. Finalement, dans un dernier test, le système neuronal multi-agent développé dans le cadre de ce travail a été testé et évalué dans le but de discrimination et de classification d'arythmies. Les résultats obtenus, sont très satisfaisants et encourageants, malgré l'utilisation d'un nombre limité de paramètres pertinents caractérisant le battement cardiaque.

**Mots clés :** Signal électrocardiographique (ECG), réseaux de neurones (RN), système multi-agents (SMA).

**Abstract:**

The electrocardiogram (ECG) signal is widely used as one of the most important tools in clinical practice to assess the heart condition of patients. Automatic ECG analysis systems are a valuable tool to assist practitioners and for patient supervision.

The work in this thesis presents a number of methods for classification and discrimination of cardiac arrhythmias and abnormalities using pertinent parameters. These parameters are related to time intervals and variability which are extracted from ECG signals. The used algorithm to extract such parameters is that which was developed by researchers. The parameters extracted from the MIT-BIH arrhythmia database are then used to carry out a number of experiments to evaluate the different proposed classification and discrimination methods. The first experiment consists and classify one relates to a cardiac arrhythmia called myocardial infarction (IDM) and the second a cardiac arrhythmia atrial fibrillation (ACFA)beats from normal beats using Multilayer perceptron MLP neural network developed in MATLAB environment. Finally, in a last experiment, the developed MAS-NN (multi-agent system neural network) was evaluated for the same objective. The obtained results were very satisfactory despite the use of limited number of temporal parameters characterizing the ECG signals.

**Keywords:** Signal electrocardiographic (ECG), neural networks (NN), multi-agent system (MAS).

## المخلص:

تستخدم إشارة مخطط كهربية القلب (ECG) على نطاق واسع كأحد أهم الأدوات في الممارسة السريرية لتقييم حالة قلب المرضى. تعد أنظمة التحليل التلقائي لتخطيط القلب أداة قيمة لمساعدة الأطباء والإشراف على المريض.

يندرج العمل المنجز في هذه المذكرة في هذا السياق اذ يقدم عدة تجارب تصنيف باستخدام قاعدة بيانات (MIT-BIH). حيث تم الحصول على المعلومات اللازمة من تخطيط القلب بواسطة الخوارزمية المطورة. بعد ذلك تم اجراء التجربة الأولى التي تتمثل تمييز باضطراب النظم القلبي يسمى احتشاء عضلة القلب والثانية في رجفان اذيني من عدد كبير من دقائق القلب العادية بواسطة MATLAB وخلال العمل المنجز في هذه المذكرة الذي يعتمد على نظام متعدد العملاء (SMA) والشبكات العصبية الاصطناعية (RNA) محاولين تحسين النتائج.

على الرغم من كون المعلومات التي تستخدم لوصف كل نبضة قلبية قليلة، كانت النتائج جدا مرضية ومشجعة .

**كلمات مفتاحية:** إشارة تخطيط القلب، (ECG) الشبكات العصبية الاصطناعية، (RNA) نظام متعدد العملاء (SMA).

<b>Introduction Générale</b> .....	1
<b>Chapitre 1: Le cœur et l'électrocardiographie</b>	
1. Introduction .....	3
2. Fonction du Cœur .....	3
3. Anatomie du cœur .....	3
4. Le Cycle Cardiaque .....	4
5. Automatisation cardiaque .....	5
6. Électrocardiogramme .....	6
<b>6.1</b> Les dérivations d'un ECG .....	7
<b>6.1.1</b> Dérivations dans le plan frontal .....	7
<b>6.1.2</b> Dérivations bipolaires .....	8
<b>6.1.3</b> Dérivations unipolaires .....	9
<b>6.1.4</b> Les dérivations précordiales .....	10
7. Les différentes Ondes de l'ECG .....	10
<b>7.1</b> L'onde P .....	11
<b>7.2</b> Le complexe QRS .....	11
<b>7.2.1</b> Axe de QRS dans le plan frontal (Â QRS) .....	12
<b>7.3</b> L'onde T .....	13
<b>7.4</b> L'onde U .....	13
<b>7.5</b> Les segments et intervalles d'un ECG normal .....	13
<b>7.5.1</b> Intervalle PR .....	13
<b>7.5.2</b> L'Intervalle QRS .....	13
<b>7.5.3</b> Intervalle QT .....	13
<b>7.5.4</b> L'intervalle R-R .....	13
<b>7.5.5</b> Segment PR (pause du nœud AV) : .....	13
<b>7.5.6</b> Segment ST .....	13
8. LECTURE DE L'ECG .....	14
<b>8.1</b> Le rythme cardiaque .....	15
<b>8.2</b> Axe électrique cardiaque .....	16
<b>8.3</b> Altérations du segment ST .....	16
9. Conclusion .....	16
<b>Chapitre 2: Classification des signaux électrocardiographiques (ECG)</b>	
1. Introduction .....	18
2. Les étapes de la classification automatique de l'ECG .....	18
<b>2.1</b> Prétraitements .....	18
<b>2.2</b> Extraction des caractéristiques .....	18
<b>2.3</b> Classification .....	18
3. Les réseaux de neurones artificiels (RNA) .....	19
4. Historique .....	19
5. Notions de base sur les réseaux de neurones .....	20
<b>5.1</b> Neurone biologique .....	20
<b>5.2</b> Neurone artificiel (formel) .....	21
6. Architecture des réseaux de neurones .....	22
<b>6.1</b> Réseau de neurones non bouclés (en Anglais feed-forward) .....	23
<b>6.1.1</b> Réseaux de neurones monocouches .....	23
<b>6.1.2</b> Réseaux de neurones multi couche .....	24
<b>6.2</b> Réseau de neurones bouclé .....	24
7. Apprentissage d'un réseau de neurone .....	25
<b>7.1</b> Apprentissage supervisé « apprentissage avec un enseignant » .....	25
<b>7.2</b> Apprentissage non supervisé .....	25

8. Le perceptron multicouche (Multi Layer Perceptron).....	26
9. Apprentissage du PMC par la retro-propagation (RP).....	27
10. Domaines d'application des réseaux de neurones artificiels.....	28
11. Conclusion.....	29

## Chapitre 3: Agent et Système Multi Agents

1. Introduction .....	31
2. Historique.....	31
3. Agent.....	32
3.1 Définition 1.....	32
3.2 Définition 2.....	33
3.3 Définition 3.....	33
3.4 Agent intelligent .....	33
4. Propriétés d'un agent .....	33
4.1 Propriétés essentielles d'un agent.....	33
4.2 Autre Propriétés.....	34
5. Typologie des agents.....	35
5.1 Agent réactif.....	35
5.2 Agents cognitifs .....	36
5.3 Agents hybrides.....	37
6. Approche orientée-agent et approche orientée-objet.....	37
7. Architecture des agents.....	38
8. Les Système Multi-agent (SMA).....	39
8.1 Définition.....	39
8.2 Caractéristiques d'un système multi-agents.....	40
8.3 Avantages d'une a système multi-agent.....	41
9. Communication entre agents.....	41
9.1 Communication par partage d'informations.....	41
9.2 Communication par envoie de message.....	42
9.3 Les langages de communications.....	43
9.3.1 Langage de communication KQML.....	43
9.3.2 Langage de communication FIPA-ACL.....	43
10. L'environnement dans les systèmes multi-agents.....	44
11. Plateformes SMA.....	45
12. Domaine d'applications des systèmes multi-agents.....	46
13. Conclusion.....	47

## Chapitre 4: Conception

1. Introduction .....	49
2. AUML (Agent based Unied Modeling Language) .....	49
3. Objectifs du travail .....	49
4. Conception globale.....	49
4.1 Agentification du système.....	49
4.2 Architecture générale du système .....	50
4.2.1. Couche Interface.....	50
4.2.2. Couche Extraction.....	51
4.2.3. Couche Classification.....	51
4.2.4. Couche Vote .....	51
4.3 Le réseau de neurones utilisé dans notre travail.....	52
5. Les différentes représentations dans Agent UML.....	52
5.1 Le diagramme de protocole.....	53
5.2 Le diagramme de classe.....	54

6. Conception.....	56
6.1 Diagramme de cas utilisation.....	56
6.2 Le diagramme de classes d'agent.....	58
6.3 Le diagramme de protocole d'agent.....	61
7. Conclusion .....	66
<b>Chapitre 5 : Implementation</b>	
1. Introduction.....	68
2. Outils de développement .....	68
2.1 Présentation de logiciel de développement (Netbeans).....	68
2.2 Langage de programmation.....	68
2.3 La plateforme de développement des agents JADE.....	68
2.4 La base de données MIT-BIH.....	69
2.5 Le laboratoire matriciel MATLAB.....	70
2.6 La bibliothèque de créations des réseaux de neurones Opencv.....	70
3. Les anomalies cardiaques traitées .....	70
3.1 Une crise cardiaque (IDM).....	70
3.1.1 Définition (Infarctus du myocarde).....	71
3.1.2 Les différents types Infarctus du myocarde.....	71
3.1.3 Diagnostic.....	71
3.2 Arythmie complète par fibrillation auriculaire (ACFA).....	72
3.2.1 Définition.....	72
3.2.2 Les différents types de fibrillations auriculaires.....	72
3.2.3 Diagnostic.....	73
4. Développement de l'interface graphique .....	73
5. Résultats et analyse Dans notre travail.....	77
6. Conclusion.....	78
<b>Conclusion Générale.....</b>	<b>80</b>
<b>Bibliographies.....</b>	<b>82</b>

<b>Figure 1.1:</b> L'anatomie du cœur.....	4
<b>Figure 1.2 :</b> Circulation sanguine dans le cœur.....	4
<b>Figure 1.3 :</b> Séquence temporelle de la propagation de l'activité électrique cardiaque, analogie avec les ondes de L'ECG.....	5
<b>Figure 1.4 :</b> Un examen d'ECG .....	6
<b>Figure 1.5 :</b> Le tracé ECG.....	6
<b>Figure 1.6:</b> triangle d'Einthoven.....	8
<b>Figure 1.7 :</b> Dérivations bipolaires.....	8
<b>Figure 1.8:</b> Le double triaxe de Bayley.....	9
<b>Figure 1.9 :</b> Les dérivations frontales représentées selon le double triaxe de Bayley.....	10
<b>Figure 1.10 :</b> Les dérivations précordiales .....	10
<b>Figure 1.11 :</b> Les Ondes et les intervalles d'un signal ECG.....	11
<b>Figure 1.12 :</b> Les différents aspects du complexe QRS.....	12
<b>Figure 1.13 :</b> Calcul de l'AXE de QRS.....	12
<b>Figure 1.14:</b> Aspect d'un ECG normal.....	14
<b>Figure 1.15 :</b> L'utilisation de la réglette.....	15
<b>Figure 1.16:</b> la réglette de l'ECG.....	15
<b>Figure 2.1 :</b> Etapes de la classification automatique de l'ECG.....	18
<b>Figure 2.2:</b> Neurone biologique.....	21
<b>Figure 2.3 :</b> Modèle d'un neurone artificiel.....	21
<b>Figure 2.4:</b> Schéma général des différentes topologies des réseaux de neurones.....	23
<b>Figure 2.5 :</b> réseau de neurone non bouclé.....	23
<b>Figure 2.6 :</b> Le perceptron monocouche.....	24
<b>Figure 2.7 :</b> Réseaux de neurones multi couche.....	24
<b>Figure 2.8 :</b> Apprentissage supervisé.....	25
<b>Figure 2.9 :</b> Apprentissage non supervisé.....	26
<b>Figure 2.10:</b> Un PMC, avec une seule couche cachée, contenant N neurones d'entrée, M neurones cachés et J neurones de sortie.....	27
<b>Figure 2.11:</b> Organigramme de rétro-propagation.....	28
<b>Figure 3.1:</b> L'agent, un processus à 3 phases : perception, délibération puis action.....	33
<b>Figure 3.2 :</b> une figure qui représente les Caractéristiques des Agents.....	35
<b>Figure 3.3:</b> Architecture d'un agent réactif.....	36
<b>Figure 3.4 :</b> Architecture d'un agent cognitif.....	37
<b>Figure 3.5 :</b> architecture hybride en couche verticales.....	37
<b>Figure 3.6 :</b> structure d'un agent.....	39
<b>Figure 3.7 :</b> Représentation d'un agent en interaction avec son environnement.....	40
<b>Figure 3.8 :</b> communication par partage d'informations.....	42
<b>Figure 3.9 :</b> communication par envoi de message.....	43
<b>Figure 4.1 :</b> Architecture globale du système.....	50
<b>Figure 4.2 :</b> Exemple d'un réseau de neurones utilisé.....	52
<b>Figure 4.3 :</b> Comparaison entre le diagramme de séquence et le diagramme de protocole.....	53
<b>Figure 4.4 :</b> Les différentes interactions concurrentes.....	54
<b>Figure 4.5 :</b> Les différents types de classes agents.....	54
<b>Figure 4.6:</b> Diagramme de classe Agent UML.....	55
<b>Figure 4.7 :</b> Symbole des messages.....	56
<b>Figure 4.8 :</b> Diagramme de cas utilisation.....	57

<b>Figure 4.9</b> : diagramme de classe agent Interface.....	58
<b>Figure 4.10</b> : diagramme de classe agent extraction.....	59
<b>Figure 4.11</b> : diagramme de classe agent extraction.....	60
<b>Figure 4.12</b> : diagramme de classe agent classifieur.....	60
<b>Figure 4.13</b> : diagramme de classe agent vote.....	61
<b>Figure 4.14</b> : Diagramme de protocole Authentification.....	62
<b>Figure 4.15</b> : Diagramme de protocole extraction.....	63
<b>Figure 4.14</b> : Diagramme de protocole charger le signale.....	63
<b>Figure 4.16</b> : Diagramme de protocole classer signale.....	64
<b>Figure 4.17</b> : Diagramme de protocole Vote.....	65
<b>Figure 5.1</b> : Figure définit la plateforme JADE.....	69
<b>Figure 5.2.</b> : Architecture Logicielle de JADE.....	69
<b>Figure 5.3</b> : Infarctus du myocarde.....	72
<b>Figure 5.4</b> : la déférence entre ECG normal et ACFA.....	73
<b>Figure 5.5</b> : L'interface graphique de l'authentification.....	74
<b>Figure 5.6</b> : L'interface graphique du notre système.....	74
<b>Figure.5.7</b> : La phase d'apprentissage.....	75
<b>Figure.5.8</b> : le RMA avec les agents de notre système.....	75
<b>Figure 5.9</b> : Un exemple de classification par notre système. (Résultat Normal).....	76
<b>Figure 5.10</b> : Un exemple de classification par notre système. (Résultat Normal ).....	76
<b>Figure 5.11</b> : Un exemple de classification par notre système. (Infarctus du myocarde)..	77
<b>Figure 5.12</b> : L'échange des messages entre les agents de système.....	77



## Liste des Tableaux

---

<b>Tableau 1.1</b> : Nom des douze dérivation standards.....	7
<b>Tableau 1.2</b> : Position des dérivation bipolaires des membres.....	8
<b>Tableau 1.3</b> : valeurs habituelles des différents paramètres caractérisant un battement cardiaque.....	13
<b>Tableau 2.1</b> : Les fonctions d'activation.....	22
<b>Tableau 3.1</b> : Programmation Orientée Objets versus Programmation Orientée Agents.....	38
<b>Tableau 5.1</b> : Etude comparative des Classifier.....	78



## Liste des abréviations

---

**ACFA** : Fibrillation auriculaire

**AUML** : Agent based Unified Modeling Language

**ECG** : Électrocardiogramme

**IA** : Intelligence Artificielle

**IAD** : Intelligence Artificielle distribué

**IDM** : Infarctus du myocarde

**PMC**: Perceptron multicouche

**RNA** : Réseaux de neurones artificiels

**SMA** : Système multi agents

The background is a light blue gradient with various medical icons. In the top left, there is a red heart with a white ECG line. To its right is a white syringe with a blue plunger and a needle. In the bottom left, a silver stethoscope is visible. In the bottom right, there is a white clipboard with a yellow clip. The text 'Introduction Générale' is centered in a bold, red, sans-serif font.

# Introduction Générale

### Introduction Générale

L'électrocardiogramme est considéré comme l'un des outils les plus importants dans la cardiologie, ou un médecin en général, utilise pour diagnostiquer les maladies cardiaques. Le signal de l'électrocardiogramme est, en termes simples, la représentation des activités électriques du cœur et de ses origines, ce qui signifie que tout problème cardiaque se traduit par des changements dans la forme de l'ECG. Nos travaux dans ce mémoire ont été consacrés au développement et à la mise en œuvre d'un système de classification des battements cardiaques.

La lecture d'un ECG, surtout de longue durée, peut s'avérer difficile pour les cardiologues pour la détection de problèmes précis, spécifiques ou rares. Ils doivent également savoir plusieurs choses liées à l'ECG, comme par exemple : "quelle est la tension dans une dérivation particulière ou une combinaison de dérivations ou quel est l'axe du vecteur de ce signal électrique ?". En outre, il existe toujours des risques d'erreurs humaines dans le diagnostic pendant l'analyse du signal ECG, qui peut durer des heures et des heures. Il est donc de plus en plus important de développer une technique plus efficace et plus rapide pour l'aide à la décision.

Pour cela, nous allons développer un classifieur automatique des arythmies cardiaques en exploitant la puissance des réseaux de neurones artificiels (RNA) dans ce domaine tout en distribuant les tâches de ce système sur un ensemble d'entités autonomes qui constituent ce qu'on appelle un système multi agents (SMA). On souhaite avoir un taux optimal de classification des pathologies cardiaques et une meilleure maîtrise de la complexité de notre problème à travers sa décomposition en un ensemble d'agents.

Afin d'aboutir à l'accomplissement de notre travail, nous allons suivre le plan suivant :

- Le premier chapitre : est consacré à l'étude des signaux ECG en présentant l'anatomie et l'activité électrique du cœur, mais aussi l'électrocardiogramme qui constitue l'appareillage le plus important dans le domaine cardiaque.
- Le deuxième chapitre : se familiariser avec les réseaux de neurones pour savoir ses capacités de classification.
- Le troisième chapitre : faire un petit survol à propos des Systèmes Multi Agent et leurs impacts sur la décomposition des problèmes complexes.
- Le quatrième chapitre : ici on a entré dans le vif de notre travail en présentant l'architecture globale du système qu'on a proposé, mais aussi les différents diagrammes qui permettent de modéliser ce dernier.
- Le cinquième chapitre : Enfin, la partie réalisation : montrer les fruits de notre travail à travers les différentes captures écran de l'application tout en expliquant les fonctionnalités offertes par celle-ci.

The background is a light blue gradient with various medical icons. In the top left, there is a red heart with a white ECG line. To its right is a white syringe with a blue plunger and a needle. In the bottom left, a silver stethoscope is shown. In the bottom right, there is a white clipboard with a yellow clip and a blue border. The text is centered in the middle of the page.

# **Chapitre 1**

## **Le cœur et l'électrocardiographie**

### 1. Introduction

La bonne santé de l'humain réside dans le bon fonctionnement de son cœur, donc il est nécessaire de savoir tout ce qui lui est lié. Les pathologies cardiaques sont l'une des maladies les plus graves qui touchent l'homme car elles peuvent entraîner la mort. Ce chapitre introduit un survol sur les notions et la terminologie de base, concernant l'électrocardiographie, au début on présente une description de l'anatomie du cœur. Ensuite, une description de son activité mécanique et électrique focalisant sur l'électrocardiogramme. Après, on présente une étude descriptive sur l'ECG, le principe de l'électrocardiographie, les différents techniques pour l'obtenir, et aussi les différents paramètres caractérisant le signal cardiaque.

### 2. Fonction du Cœur

Le cœur est un muscle qui a pour fonction de faire circuler le sang dans l'organisme en agissant comme une pompe par des contractions rythmiques. Il est capable de faire circuler 4 à 5 litres de sang, en permanence, depuis la naissance jusqu'à la mort. Chaque jour, le cœur doit battre en moyenne 100.000 fois, et pomper 8.000 litres de sang, soit 2 milliards de battements en moyenne dans une vie. Le rythme cardiaque est aussi capable de s'adapter aux besoins du corps. Lorsque celui-ci est au repos, le cœur bat 60 à 100 fois par minute. [7] Le cœur se compose de trois couches et de quatre Chambre

### 3. Anatomie du cœur

Le cœur est situé entre les poumons au milieu de la poitrine, derrière et légèrement à gauche du sternum. Une membrane à double couche appelée péricarde entoure le cœur comme un sac. La couche externe du péricarde entoure les racines des principaux vaisseaux sanguins du cœur et est attachée par des ligaments à la colonne vertébrale, au diaphragme et à d'autres parties du corps. La couche interne du péricarde est attachée au muscle cardiaque. Une couche de fluide sépare les deux couches de membrane, laissant le cœur bouger pendant qu'il bat.

Chaque «pompe» dans le cœur est composée de deux chambres, une oreillette et un ventricule, donnant le cœur un total de quatre chambres, les chambres supérieures sont appelées oreillettes gauche et droite, et les chambres inférieures sont appelées ventricules gauche et droit. Une paroi musculaire appelée septum sépare les oreillettes gauche et droite et les ventricules gauche et droit. Le ventricule gauche est la chambre la plus grande et la plus forte du cœur. Les parois de la chambre du ventricule gauche ne mesurent qu'environ un demi-pouce d'épaisseur, mais elles ont suffisamment de force pour pousser le sang à travers la valve aortique et dans le corps [6]

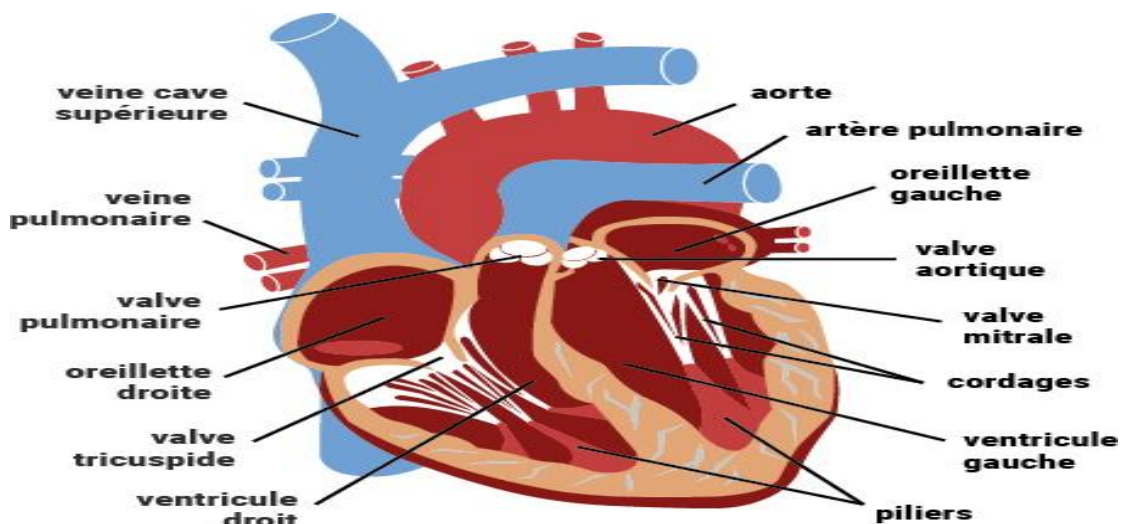


Figure 1.1: L'anatomie du cœur.

### 4. Le Cycle Cardiaque

La pulsatile dans le cœur est causée par une contraction et une relaxation périodiques, connu essous le nom de cycle.

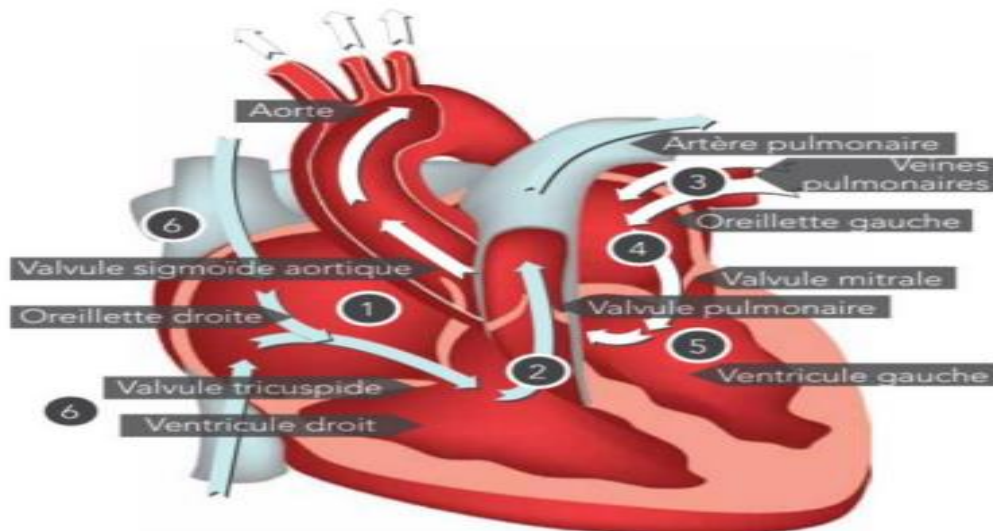


Figure 1.2 : Circulation sanguine dans le cœur [5]

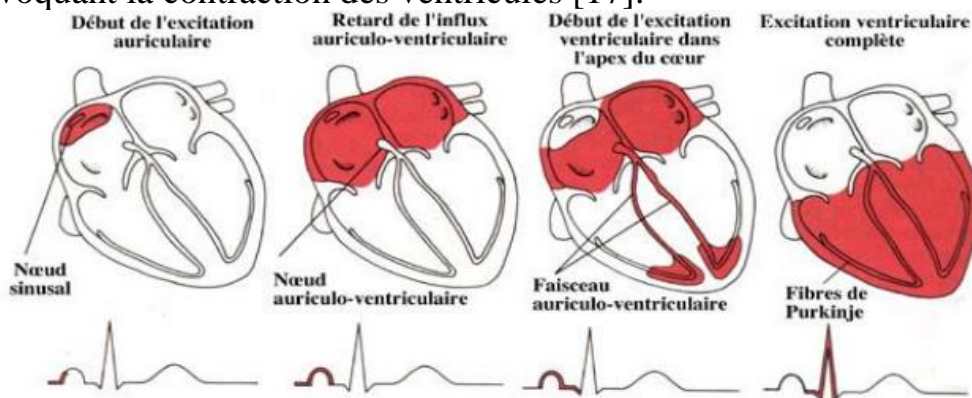
1. D'abord, l'oreillette droite se remplit du sang appauvri en oxygène provenant du corps (des muscles, des organes, du cerveau et même du cœur). Lorsque l'oreillette est pleine, elle se contracte. À la contraction, la valvule tricuspide reliant l'oreillette droite et le ventricule droit s'ouvre. Le sang entre alors dans le ventricule droit.
2. Lorsque le ventricule droit est plein, il se contracte à son tour pour pousser le sang dans les poumons par la valvule pulmonaire.
3. Les poumons remplacent le dioxyde de carbone présent dans le sang par de l'oxygène. Le sang, maintenant oxygéné, est expulsé vers l'oreillette gauche.

4. Lorsque l'oreillette gauche se contracte, la valvule mitrale reliant cette dernière au ventricule gauche s'ouvre. Ainsi, le sang pénètre dans ce ventricule.
5. Le ventricule gauche expulse le sang oxygéné par la valvule aortique vers l'aorte, qui alimente le reste du corps cœur
6. Le sang riche en oxygène circule dans tout le corps. Enfin, les veines ramènent le sang pauvre en oxygène à l'oreillette droite, qui s'en remplit, et le cycle recommence [5].

La fréquence cardiaque représente le nombre de fois que le cœur bat par minute. Une fréquence normale varie d'une personne à l'autre. Toutefois, un adulte moyen au repos a généralement une fréquence cardiaque de 60 à 100 battements par minute. Au repos, elle tend à ralentir, tandis qu'elle accélère à l'effort. Connaître votre propre fréquence cardiaque peut vous aider à déceler des problèmes de santé [5].

### 5. Automatisme cardiaque

Pour pomper le sang dans tout le corps, les muscles du cœur doivent travailler ensemble pour presser le sang dans la bonne direction, au bon moment et avec la bonne force. Des impulsions électriques coordonnent cette activité. Le signal électrique commence au nœud sino-auriculaire, parfois appelé nœud sinusal ou SA. C'est le stimulateur cardiaque du cœur, et il se trouve en haut de l'oreillette droite. Le signal provoque la contraction des oreillettes, poussant le sang dans les ventricules. L'impulsion électrique se déplace ensuite vers une zone de cellules au bas de l'oreillette droite, entre les oreillettes et les ventricules, appelée nœud auriculo-ventriculaire ou AV. Ces cellules agissent comme un gardien. Ils coordonnent le signal afin que les oreillettes et les ventricules ne se contractent pas en même temps. Il doit y avoir un léger retard. De là, le signal se déplace le long des fibres, appelées fibres de Purkinje, à l'intérieur des parois ventriculaires. Les fibres transmettent l'impulsion au muscle cardiaque, provoquant la contraction des ventricules [17].



*Figure 1.3 : Séquence temporelle de la propagation de l'activité électrique cardiaque, analogie avec les ondes de L'ECG [18]*

Ce système électrique explique la régularité du rythme cardiaque et assure la coordination des contractions auriculo-ventriculaires. C'est cette activité

électrique qui est analysée par des électrodes posées à la surface de la peau et qui constitue l'électrocardiogramme ou ECG [4], comme nous pouvons le voir sur la figure 1.3.

### 6. Electrocardiogramme

L'électrocardiogramme est l'examen majeur en cardiologie qui permet d'effectuer des diagnostics précis notamment celui d'infarctus, de troubles du rythme, de l'infarctus du myocarde ou de péricardite.

Un ECG est une intervention indolore non invasive, ce qui signifie que rien n'est injecté dans l'organisme. Une quantité d'électrodes, habituellement entre 12 et 15 sont fixées à divers endroits de votre corps comme le bras, la jambe et la poitrine. Les électrodes sont fixées à l'aide de petites ventouses ou de timbres adhésifs. Des senseurs, situés dans les électrodes, détectent l'activité électrique du cœur. L'intervention exige habituellement que vous soyez allongé. Les résultats se présentent sous forme de tracé et votre médecin ou un technologue se charge de les interpréter. [1]

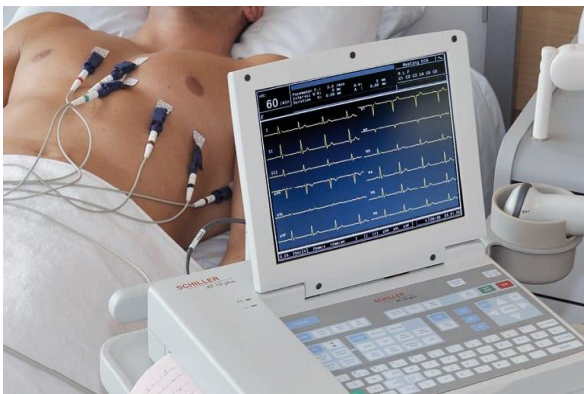


Figure 1.4 : Un examen d'ECG [19]

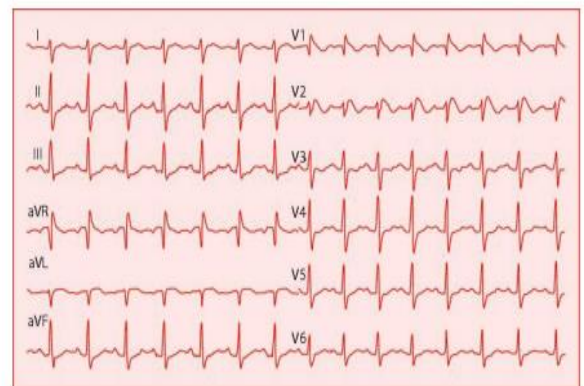


Figure 1.5 : Le tracé ECG.

L'électrocardiogramme est constitué en général de:

1. Un ensemble d'électrodes destinées à être appliquées en contact direct du patient.
2. Un système d'amplification des signaux issus des électrodes.
3. Un appareil enregistreur.

→ L'ECG est un examen essentiel en cardiologie. Il est peut être prescrit dans de nombreuses situations :

- ✓ détecter les arythmies qui peuvent avoir favorisé la formation de caillots.

- ✓ dépister des problèmes cardiaque, comme une crise cardiaque récent ou en cours, des arythmies (battements irréguliers), un blocage des artères coronaires, des régions endommagées du muscle cardiaque (causées par une crise cardiaque Antérieure), la dilatation du volume du cœur et l'inflammation de la membrane qui le recouvre (péricardite).
- ✓ détecter des troubles nom cardiaques comme les déséquilibres d'électrolytes et les maladies pulmonaires.
- ✓ surveiller le récupérationn à la suite d'une crise cardiaque, la progresssion d'une maladie cardiaque ou l'efficacité de certains médicaments ou d'un stimulateur cardiaque.
- ✓ Ecarter les possibilités de maladie du cœur chez les personnes en attente d'une intervention chirurgicale [19]

### 6.1 Les dérivations d'un ECG

Généralement les appareils électrocardiographiques peuvent enregistrer plusieurs différences de potentiel en même temps, selon l'emplacement et le nombre d'électrodes réparties sur le thorax et les membres. Chaque mesure de ces potentiels correspond à une dérivation de l'ECG. L'emplacement des électrodes est choisi de façon à explorer la quasitotalité du champ électrique-cardiaque.

Si on mesure le vecteur cardiaque dans une seule direction, on ne sera pas en mesure de le caractériser entièrement. Il est important d'avoir une standardisation de positionnement des électrodes (dérivations) pour que l'évaluation clinique du signal ECG soit faite. Les dérivations standards forment un système de 12 dérivations complémentaires [2].

Plan frontal		Plan horizontal	
Dérivations des membres		Dérivations précordiales	
Dérivations bipolaire	Dérivations unipolaires	Dérivations Unipolaires	
DI	aVR	V1	V4
DII	aVL	V2	V5
DIII	aVF	V3	V6

Tableau 1.1 : Nom des douze dérivations standards.

#### 6.1.1 Dérivations dans le plan frontal

Les dérivations frontales sont au nombre de 6, sont obtenues en plaçant les électrodes au niveau des membres .Elles explorent le cœur dans un plan frontal

#### 6.1.2 Dérivations bipolaires

Les dérivations bipolaires représentant les cotes de triangle équilatéral d'Einthoven dont le centre représente le centre électrique du cœur (selon l'hypothèse d'Einthoven).

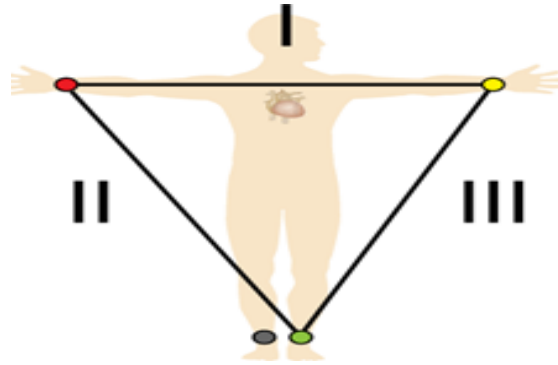


Figure 1.6: triangle d'Einthoven [8].

Les trois dérivations bipolaires I, II, III dites dérivations de Einthoven

- DI : mesure bipolaire entre bras droit(-) et bras gauche(+).
- DII : mesure bipolaire entre bras droit(-) et jambe gauche(+).
- DIII : mesure bipolaire entre bras gauche(-) et jambe gauche(+).

Les trois dérivations bipolaires enregistrent la différence de pontentiel entre 2 points d'enregistrement (entre 2 membres). Par exemple, pour la dérivation I ; L'électrode négative est placée sur le bras droit et l'électrode positive sur le bras gauche (Tableau 1.2).

Dérivation	Position	
	Electrode negative	Electrode positive
I	Bras droit	Bras gauche
II	Bras droit	Jambe gauche
III	Bras gauche	Jambe gauche

Tableau 1.2 : Position des dérivations bipolaires des membres [8].

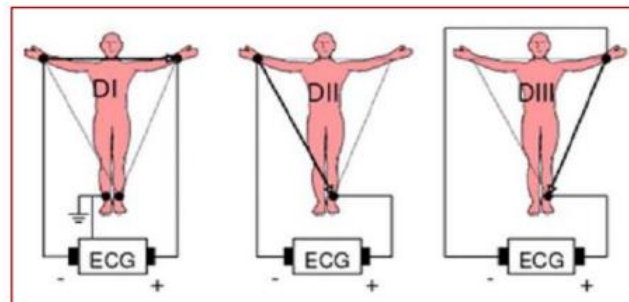


Figure 1.7 : Dérivations bipolaires.

### 6.1.3 Dérivations unipolaires:

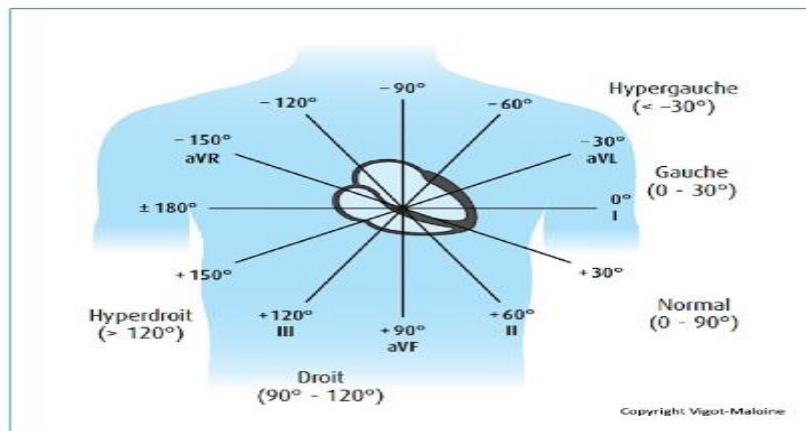
Les dérivations unipolaires des membres permettent d'étudier l'activité électrique du cœur sur le plan frontal. Elles ont été déterminées par Wilson et al. en 1934. Ces dérivations permettent de mesurer la tension entre un point de référence et le bras droit, le bras gauche et la jambe gauche respectivement.

Le point de référence est réalisé par la moyenne des signaux qui apparaissent sur les deux autres membres qui ne sont pas en observation. Ensuite, il a été amélioré par Goldberger en 1942. Goldberger a modifié le système des dérivations de Wilson pour obtenir trois dérivations unipolaires augmentées, appelées aVL, aVR et aVF

La dénomination des électrodes de Goldberg est la suivante :

- aVR (augmented Voltage Right arm) entre le bras droit et la borne centrale
- aVL (augmented Voltage Left arm) entre le bras gauche et la borne centrale
- aVF (augmented Voltage Foot) entre la jambe gauche et la borne centrale.

En faisant subir une translation sans changement de direction ni de sens aux différentes dérivations par rapport au centre du triangle d'Einthoven, on obtient le double triaxe de Bayley (figure 1.8)



*Figure 1.8: Le double triaxe de Bayley*

En inscrivant ce triaxe dans un cercle orienté par convention dans le sens horaire de 0 à +180 avec le pôle positif de DI est à 0 et le pôle négatif à 180, on obtiendra ainsi la figure 5.

Le triaxe de Bayley permet le calcul rapide de l'orientation de l'activité électrique de cœur dans le plan frontal

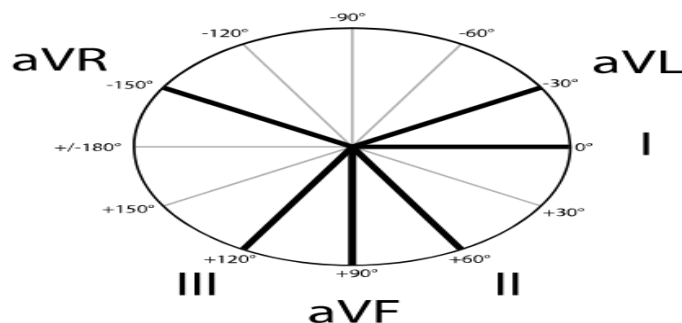


Figure 1.9 : Les dérivations frontales représentées selon le double triaxe de Bayley

### 6.1.4 Les dérivations précordiales :

Ce sont des dérivations unipolaires mises au point par Wilson (Wilson et al. 1944). Ces dérivations unipolaires sont obtenues en plaçant les électrodes au niveau de la région précordiale (figure 1.10). Elles explorent le cœur dans un plan horizontal.

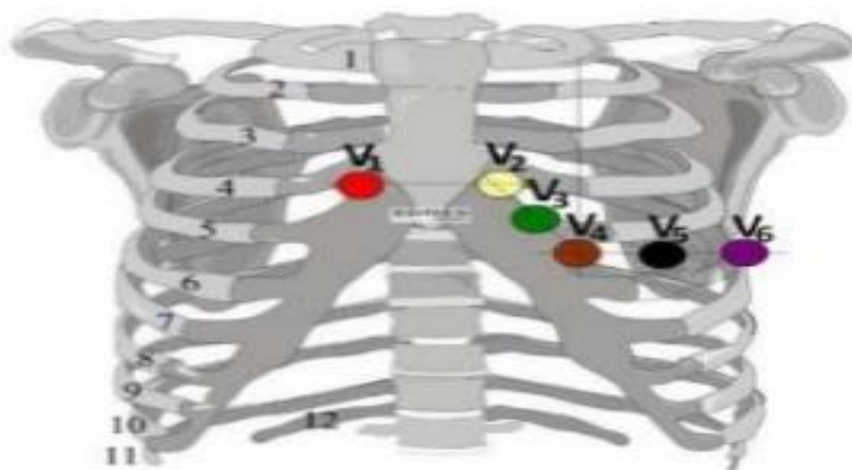


Figure 1.10 : Les dérivations précordiales

- V 1 : 4<sup>e</sup>me espace intercostal droit, bord droit du sternum (par asternal).
- V 2 : 4<sup>e</sup>me espace intercostal gauche, bord gauche du sternum (par asternal).
- V3 : à mi-chemin entre V2 et V4.
- V 4 : 5<sup>e</sup>me espace intercostal gauche, sur la ligne médio claviculaire.
- V 5 : même horizontale que V4, ligne axillaire antérieure.
- V6 : même horizontale que V4, ligne axillaire moyenne.

## 7. Les différentes Ondes de l'ECG

Le processus de dépolarisation et de repolarisation des structures myocardiques se présente dans l'ECG comme une séquence de déflexions ou ondes superposées à une ligne de potentiel zéro, appelée ligne isoélectrique ou ligne de base. Ces déflexions sont dites positives si elles sont situées au-dessus de la ligne isoélectrique sinon elles sont dites négatives. Pour chaque battement cardiaque l'ECG enregistre principalement 5 ondes successives symbolisées par les lettres P, Q, R, S, T comme montré sur la figure.

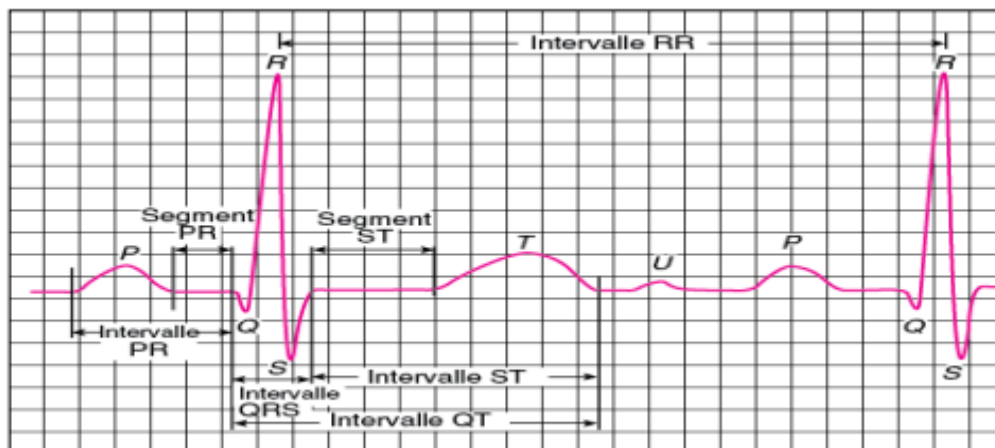


Figure 1.11 : Les Ondes et les intervalles d'un signal ECG.

## 7.1 L'onde P :

C'est la première onde détectable, qui représente la dépolarisation auriculaire. Il s'agit d'une petite déviation positive (ou négative) avant le complexe QRS, qui se propage à partir du nœud SA et est conduit dans toutes les cellules de l'oreillette par des jonctions intermédiaires qui connectent ces cellules [9]

Les Caractéristiques de l'onde P chez l'adulte sain :

- ✓ Onde P positive en DI, DII, aVF, V4 à V6
- ✓ Onde P négative en aVR
- ✓ Axe de l'onde P (plan frontal) : 0 à +75°
- ✓ Amplitude (Hauteur) inf. ou égale 2.5 mm (ou 2.5 mV)
- ✓ Largeur < 0.12 sec (ou < 3 petits carreaux)
- ✓ Aspect biphasique habituel en V1
- ✓ Surtout visible en DII et V1

## 7.2 Le complexe QRS :

C'est un ensemble de déflexions positives et négatives qui correspondent à la contraction des ventricules. Pour un cas normal, il a une durée inférieure à 0.12 seconde et son amplitude variable est comprise entre 5 et 20 mV. [9]

Il est constitué de trois ondes :

- ✓ L'onde Q : C'est la déflexion négative initiale du complexe QRS (en dessous de la ligne de base) représenté la Dépolarisation septale ventriculaire
- ✓ L'onde R : C'est la première déflexion positive, elle représente la dépolarisation du muscle ventriculaire résultant ou majeur.
- ✓ L'onde S : C'est la déflexion négative suivant l'onde R, elle représente la dépolarisation ventriculaire de la base des ventriculaire.

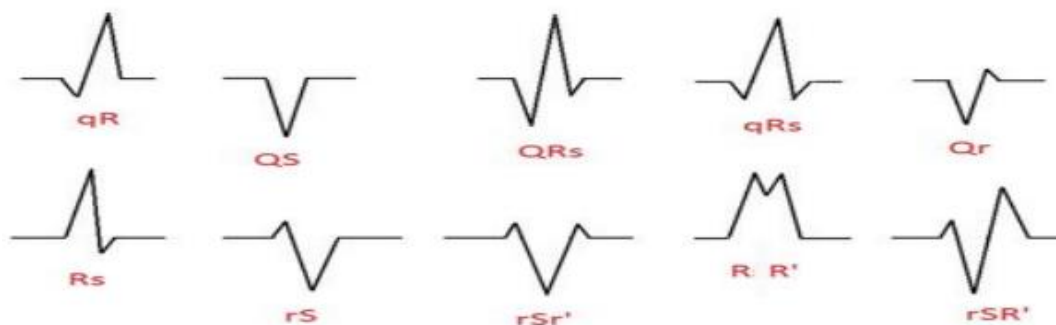


Figure 1.12 : Les différents aspects du complexe QRS

Le complexe QRS peut avoir plusieurs formes selon l'axe et l'orientation de l'activité électrique : qRs, qR, R, RS, rS, QS...figure 12) La déflexions supérieures à 5 mm sont désignées par des lettres majuscules Q, R, S, et celles inférieures à 5 mm par des lettres minuscules q, r, s.

### 7.2.1 Axe de QRS dans le plan frontal (Â QRS)

On n'utilise en pratique que la projection dans le plan frontal.

Son évaluation la plus simple consiste à repérer la dérivation où le complexe QRS est le plus nettement positif. L'orientation de cette dérivation est similaire à l'axe de QRS. Cette appréciation est bien suffisante en clinique usuelle. On peut faire appel à un procédé un peu plus précis avec un repère orthogonal (D1 et VF) : on reporte sur les axes des dérivations D1 et VF un vecteur proportionnel à la somme algébrique du complexe QRS dans la dérivation considérée ; l'axe moyen est le vecteur résultant de ces deux vecteurs (Figure 1.13).

La valeur normale de  $\hat{A}$  QRS est de  $+60^\circ$  avec des variations chez le sujet normal, de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ , en fonction de la morphologie du thorax. En dehors de ce quadrant, on parle de déviation axiale gauche ou droite. La valeur de  $\hat{A}$  QRS est intéressante dans les hypertrophies et les troubles de conduction intra ventriculaire (hémibloc antérieur gauche si  $\hat{A}$  QRS  $< -30^\circ$ , postérieur gauche si  $\hat{A}$  QRS  $> 120^\circ$ ).

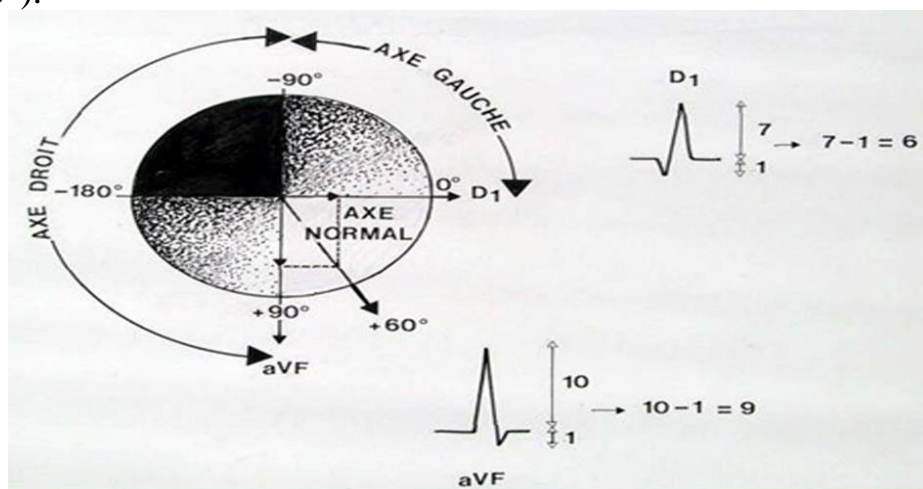


Figure 1.13 : Calcul de l'AXE de QRS [8]

## 7.3 L'onde T

Correspond au courant de repolarisation des ventricules. Cette onde succède le complexe QRS. L'onde T normale a une amplitude plus faible que le complexe QRS [12].

## 7.4 L'onde U:

Est une petite déflexion parfois observée après l'onde T dans les dérivations précordiales V à V4. Elle est positive dans toutes les dérivations sauf en a VR, sa présence traduit une anomalie métabolique.[10]

## 7.5 Les segments et intervalles d'un ECG normal :

### 7.5.1 Intervalle PR: (durée de conduction auriculo-ventriculaire)

Correspond à la durée de propagation de l'onde de dépolarisation du nœud sinusal jusqu'aux cellules myocardiques ventriculaires. L'intervalle PR Est le temps entre le début de P et le début du QRS. Sa durée normale, mesurée du début de l'onde P au début du complexe QRS est de 0,12 à 0,20 seconde. [11]

### 7.5.2 L'Intervalle QRS :

La durée de cet intervalle représente le temps de dépolarisation ventriculaire.[3]

### 7.5.3 Intervalle QT :

L'intervalle QT indique la durée des ventricules de la dépolarisation à la repolarisation. La région commence au début du complexe QRS et s'étend jusqu'au point final du T. La durée varie en fonction du sexe, de l'ancienneté et du rythme cardiaque [14]

### 7.5.4 L'intervalle R-R :

Sépare les sommets de deux ondes R successives et représente le cycle de repolarisation ventriculaire. Il est associé à la période cardiaque

	Onde P	Complexe QRS	Onde T	Intervalle PQ	Intervalle ST	Intervalle QT	Onde R
<b>Durée</b>	<0,11	0,08	0,2	0,12-0,2	0,2	0,36	0,07-0,1
<b>Amplitude</b>	<0,25	Qa<0 Ra>0 Sa<0	>0	Isoélectrique 0	Isoélectrique : 0	-	1,60

Tableau 1.3 : valeurs habituelles des différents paramètres caractérisant Un battement cardiaque [14]

### 7.5.5 Segment PR (pause du nœud AV) :

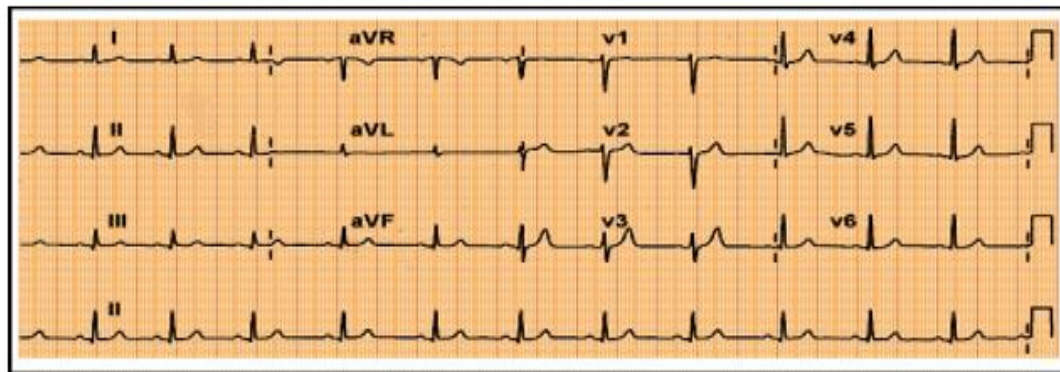
Le segment PR correspond au délai entre la fin de la dépolarisation des oreillettes et le début de celle des ventricules. C'est le temps pendant lequel l'onde de dépolarisation est bloquée au niveau du nœud AV.[13]

### 7.5.6 Segment ST

Segment ST (durée de stimulation complète des ventricules) : Le segment ST correspond à la phase pendant laquelle les cellules ventriculaires sont toutes dépolarisées, le segment est alors isoélectrique.[13]

### 8. LECTURE DE L'ECG :

La lecture de l'électrocardiogramme, doit être méthodique. Le tracé s'inscrit sur une bande de papier quadrillé dont l'abscisse est le facteur temps et l'ordonnée le voltage (figure 1.14). [15]



*Figure1. 14: Aspect d'un ECG normal*

Un petit carreau en abscisse correspond à  $4/100$  (0.04) de seconde, un 1 cm en ordonnée correspond à 1 millivolt (mv). On doit vérifier d'abord la bonne qualité du tracé : étalonnage correct (1 mv= 1cm), bonne connexion des fils, la stabilité de la ligne de base et l'absence d'artefact (tremblement musculaires parasites, mauvaise conduction au niveau des électrodes... etc.)

On étudiera ensuite :

- La fréquence cardiaque : La première chose qu'il faut déterminer sur un électrocardiogramme, c'est la fréquence cardiaque (nombre de cycles par minute)

- normale au repos entre 50-100 cycles/min

-inférieure à 50, c'est une bradycardie sinusale, supérieure à 100, c'est une tachycardie sinusale. Il y a plusieurs méthodes pour calculer la fréquence cardiaque :

- ✚ La fréquence cardiaque se calcule en divisant 300 par le nombre de gros carrés, de 5 mm séparant deux complexes QRS (figure 14).
- ✚ La méthode dite de 300, 150, 100, 75, 60,50 : la plus utilisée (figure 9)
- ✚ La règle de 6 secondes : utilisée surtout en cas de rythme irrégulier. On calcule le nombre de complexe QRS sur 6 secondes et on le multiplie par 10.
- ✚ L'utilisation de la règle : la fréquence se mesure en 25 mm/s sur 2 intervalles successifs, entre la 1ère et la 3ème onde P (figure 1.15)

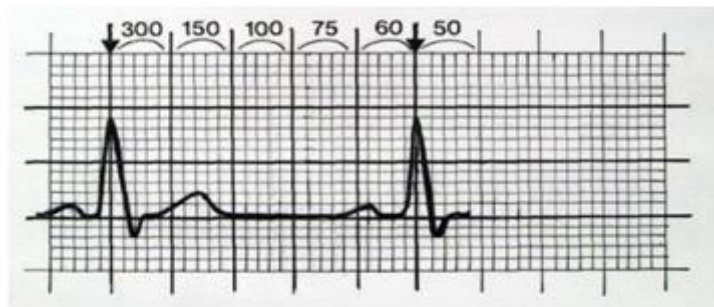


Figure 1.15 : L'utilisation de la règle

Diviser 300 par le nombre de carrés de 5 mm séparant 2 complexes QRS Dans cet exemple  $300/5=60$



+

Figure 1.16: la règle de l'ECG[16].

### 8.1 Le rythme cardiaque :

L'étape suivante consiste à déterminer si les complexes QRS sont rythmiques. Comment le savoir ? C'est très simple. Observez si les intervalles R-R (distance entre deux complexes QRS) sont constants . En cas de doute, vous pouvez utiliser un compas ou une règle.

Ensuite, il faut évaluer si l'électrocardiogramme est en rythme sinusal. Pour ce faire, nous devons déterminer si chaque cycle contient une onde P produite par le nœud sinusal toujours suivie d'un complexe QRS.

L'onde P : Sa durée normale est inférieure ou égale à 0.11 s. Son amplitude normale est inférieure ou égale à 2.5 mm.

L'intervalle PR : La durée normale de l'intervalle PR est comprise entre 0.12 et 0.20 s. Il se mesure du début de l'onde P au début du complexe QRS.

L'intervalle QT : Il se mesure du début de complexe QRS à la fin de l'onde T, varie en fonction de l'âge, le sexe et surtout de la fréquence et se corrige selon la formule de Bazett :  $QTc = QTm / \sqrt{RR}$  en seconde ou  $QTc = QTm / \sqrt{60/FC}$ .

Il doit être inférieur à 0.43s chez l'homme et à 0.45 chez la femme

### 8.2 Axe électrique cardiaque

C'est une des étapes de l'analyse électrocardiographique qui demande généralement le plus de travail. Une méthode sûre et rapide pour savoir s'il est normal consiste à vérifier que les dérivations D1 et aVF sont positives.

### 8.3 Altérations du segment ST

A présent, il faut observer, à son tour, le segment ST. Cette ligne tant crainte qui nous avertit de la présence d'une cardiopathie ischémique. Le segment ST est la ligne entre la fin du complexe QRS et le début de l'onde T [16].

## 9. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons présenté l'anatomie du système cardiovasculaire ainsi que son activité mécanique et électrique ensuite nous avons introduit les dérivations d'électrocardiographie pour comprendre l'origine du signal ECG, puis nous avons expliqué les ondes et les intervalles d'un ECG.



# **Chapitre 2**

## **Classification des signaux électrocardiographiques (ECG)**

### 1. Introduction

La classification de l'arythmie cardiaque est une étape importante dans les systèmes d'aide à décision et dans les dispositifs de surveillance médicale. En effet, le signal ECG est un indicateur continu du fonctionnement du cœur et sa surveillance est très utile pour détecter toute déviation fonctionnelle du cœur. Dans ce projet, nous cherchons à implémenter un système de classification des signaux électrocardiographiques en trois (03) classes.

### 2. Les étapes de la classification automatique de l'ECG :

La chaîne typique de traitements nécessaires pour la classification des signaux, en particulier l'ECG, est composée des phases suivantes :



Figure 2.1 : Etapes de la classification automatique de l'ECG

#### 2.1 Prétraitements :

Dans cette phase, une série de prétraitements est appliquée aux signaux ECG afin de les préparer à l'étape suivante. Par exemple : la détection des positions des pics R.

#### 2.2 Extraction des caractéristiques :

C'est la phase la plus délicate de la chaîne puisque le signal subit une série de transformations ou opérations afin d'extraire les informations discriminantes ou caractéristiques du signal qui seront utiles pour la prise de décision ou classification correcte du signal ECG.

#### 2.3 Classification :

Dans cette étape, le signal ou le battement ECG sera classé dans une catégorie ou classe suivant les caractéristiques extraites. Il existe différentes méthodes de classification utilisées dans le processus de reconnaissance des formes qui ont leurs propres capacités et caractéristiques. Elles sont citées et décrites brièvement comme suit :

- ✓ Les réseaux de neurones artificiels (Artificial Neural Networks, ANN).

- ✓ Les machines à vecteurs de support (Support vector machines, SVM).
- ✓ La discrimination linéaire (Linear discrimination, LD).
- ✓ Les arbres de décision (Decision trees, DT).
- ✓ Les plus proches voisins (k-Nearest Neighbors, KNN).

Dans ce travail on va utiliser les réseaux de neurones artificiels.

### 3. Les réseaux de neurones artificiels (RNA) :

Les RNA (ou ANN) constituent une nouvelle approche de modélisation des systèmes complexes, particulièrement utile lorsque ces systèmes sont difficiles à modéliser à l'aide des méthodes statistiques classiques.[20].

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de neurones élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque neurone élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau [21].

### 4. Historique

Aujourd'hui, les réseaux de neurones sont utilisés dans des nombreux domaines à cause de leurs propriétés, en particulier leur capacité d'apprentissage.

- 1890 : W. James, célèbre psychologue américain introduit le concept de mémoire associative et propose ce qui deviendra une loi de fonctionnement pour l'apprentissage sur les réseaux de neurones connue plus tard sous le nom de loi de Hebb.

- 1943 : J. Mc Culloch et W. Pitts laissent leurs noms à une modélisation du neurone biologique (un neurone au comportement binaire). Ce sont les premiers à montrer que des réseaux de neurones formels simples peuvent réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes (tout au moins au niveau théorique).

- 1949 : D. Hebb, physiologiste américain explique le conditionnement chez l'animal par les propriétés des neurones eux-mêmes. Ainsi, un conditionnement de type pavlovien tel que, nourrir tous les jours à la même heure un chien, entraîne chez cet animal la sécrétion de salive à cette heure précise même en l'absence de nourriture. La loi de modification des propriétés des connexions entre neurones qu'il propose explique en partie ce type de résultats expérimentaux [22].

Le premier réseau de neurones artificiel apparaît en 1958, grâce aux travaux de Rosenblatt qui conçoit le perceptron. Ce dernier est inspiré du système visuel (en terme d'architecture neurobiologique) et possède une couche de neurones d'entrée une couche de sortie ("décisionnelle"). Ce

réseau parvient à apprendre, à identifier des formes simples et à calculer certaines fonctions logiques.

- 1969 : M. Minsky et S. Papert publient un ouvrage qui met en exergue les limitations théoriques du perceptron. Limitations alors connues, notamment concernant l'impossibilité de traiter par ce modèle des problèmes non linéaires. Ils étendent implicitement ces limitations à tout modèle de réseaux de neurones artificiels. Leur objectif est atteint, il y a abandon financier des recherches dans le domaine (surtout aux U.S.A.), les chercheurs se tournent principalement vers l'IA (Intelligence Artificielle) et les systèmes à bases de règles.

Il faudra attendre le début des années 80 pour que l'intérêt pour ce domaine soit de nouveau présent. En effet, Hopfield démontre en 1982 tout l'intérêt d'utiliser les réseaux récurrents (dits "feed-back») pour la modélisation des processus. Les réseaux récurrents constituent alors la deuxième grande classe de réseaux de neurones, avec les réseaux type perceptron (dits "feed-forward"). [23]

En parallèle des travaux de Hopfield, Werbos conçoit son algorithme de rétro propagation qui ne sera pourtant popularisé qu'en 1986 par Rumelhart.

### 5. Notions de base sur les réseaux de neurones :

#### 5.1 Neurone biologique

Le cerveau humain est composé de cellules distinctes appelées neurones formant un ensemble dense d'environ 10 à 100 milliards d'unités interconnectées. Le neurone est une cellule composée d'un corps cellulaire et d'un noyau.[24]

La fonction est de transmettre un signal électrique dans certaines conditions. Il agit comme un relai entre une couche de neurones et celle qui la suit [25]. Les neurones reçoivent des signaux (impulsions électriques) par les dendrites et envoient l'information par les axones. Les contacts entre deux neurones (entre axone et dendrite) se font par l'intermédiaire des synapses. [26]

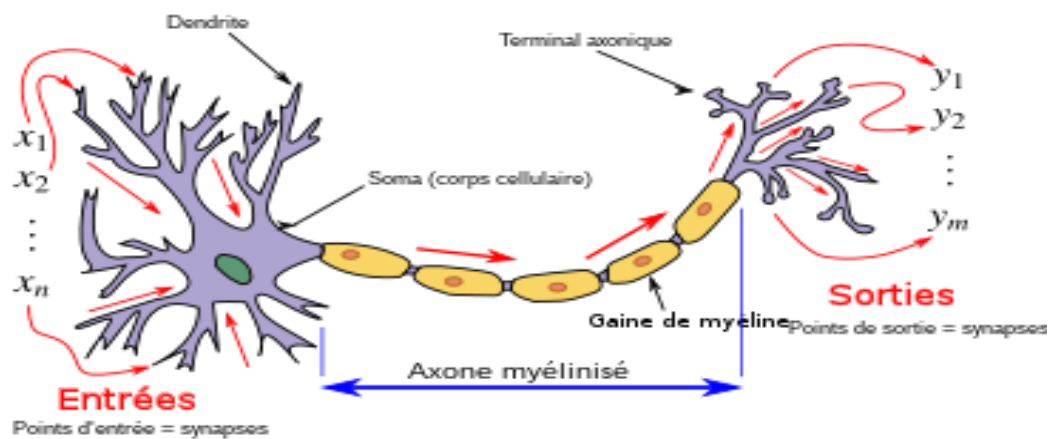


Figure 2.2: Neurone biologique [27]

### 5.2 Neurone artificiel (formel) :

Le neurone formel qui représente la brique de base des RNA est une modélisation mathématique qui reprend les principes du fonctionnement du neurone biologique.

La figure 2.3 montre un schéma comportant la structure générale d'un neurone artificiel

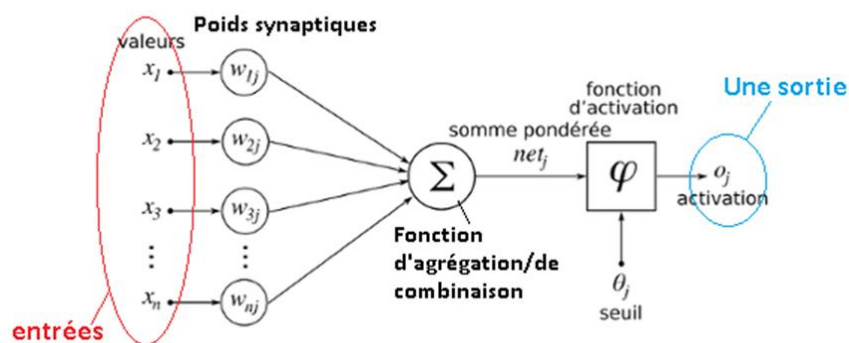


Figure 2.3 : Modèle d'un neurone artificiel [28]

Pour un nombre compris entre  $j=1$  et un nombre quelconque  $n$ , le neurone formel va calculer la somme de ses entrées ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ), pondérées par les poids synaptiques ( $w_1, \dots, w_n$ ), et la comparer à son seuil  $\theta$ . Si le résultat est supérieur au seuil, alors la valeur renvoyée est 1, sinon la valeur renvoyée est 0.

Mathématiquement nous pouvons décrire le neurone de la figure 2.3 par les deux équations suivantes :

$$\text{La somme pondérée des entrées : } = \sum_{i=0}^n w_i x_i$$

$$\text{La sortie du neurone : } = (u + b)$$

Le biais (b) : joue un rôle de seuil, quand le résultat de la somme pondérée dépasse ce seuil.

La fonction d'activation (ou fonction de transfert), notée ( $\varphi$ ), sert à convertir le résultat de la somme pondérée des entrées d'un neurone en une valeur de sortie, cette conversion s'effectue par un calcul de l'état du neurone en introduisant une non-linéarité dans le fonctionnement du neurone. Il y a plusieurs types de fonctions de transfert qui peuvent être utilisées dans les RNA. LE Tableau 2.1 présente les fonctions donnant généralement les meilleurs résultats possibles. [29]

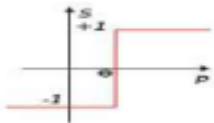
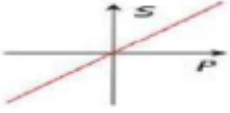
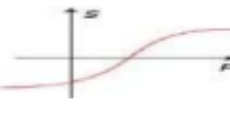

Type	Equation	
<b>Fonction binaire</b>	$s = -1$ si $p \leq \theta$ $s = 1$ si $p \geq \theta$	
<b>Fonction linéaire</b>	$S = AP$	
<b>Fonction sigmoïde</b>	$S = \text{th}(p)$	
<b>Fonction gaussienne</b>	$S = \exp(-p^2 / \sigma)$	

Tableau 2.1: Les fonctions d'activation [30]

### 6. Architecture des réseaux de neurones

Selon la topologie de connexion des neurones, on peut les classer en deux grandes catégories: réseaux non bouclés (statique ou feed-forward) et réseaux bouclés (dynamique, feed back ou récurrent). Un réseau de neurone est en général composé de plusieurs couches de neurones, des entrées jusqu'aux sorties. On distingue deux grands types d'architectures de réseaux de neurones :

- ✚ les réseaux de neurones non bouclés
- ✚ et les réseaux de neurones bouclés. [31]

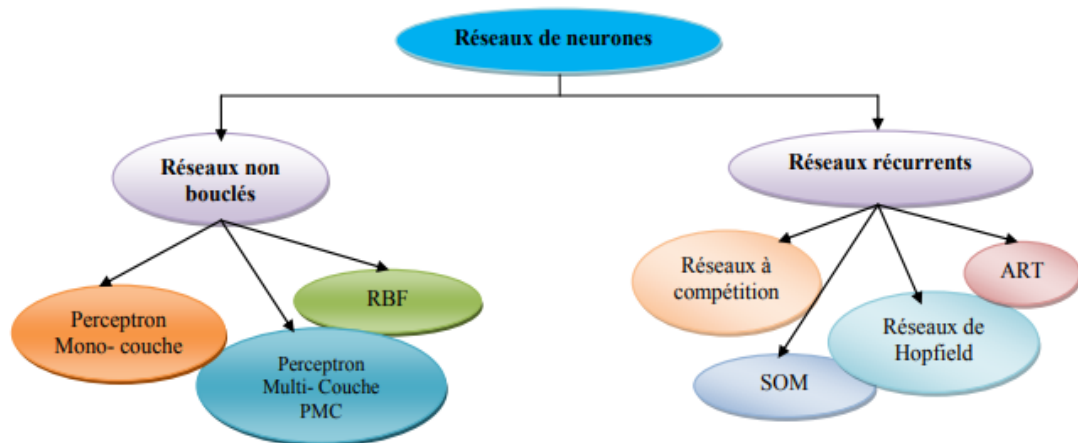


Figure 2.4: Schéma général des différentes topologies des réseaux de neurones. [32]

### 6.1 Réseau de neurones non bouclés (en Anglais feed-forward)

Un réseau de neurone non bouclé (dit aussi statique) est donc représenté graphiquement par un ensemble de neurones connectés entre eux, l'information circulant des entrées vers les sorties sans « retour en arrière » ; c'est-à-dire à partir d'un neurone quelconque, en suivant les connexions, on ne peut pas revenir au neurone de départ [33]

La particularité de ce type de réseaux est que l'information se propage dans un sens unique, sans aucune rétroaction (des entrées vers les sorties)

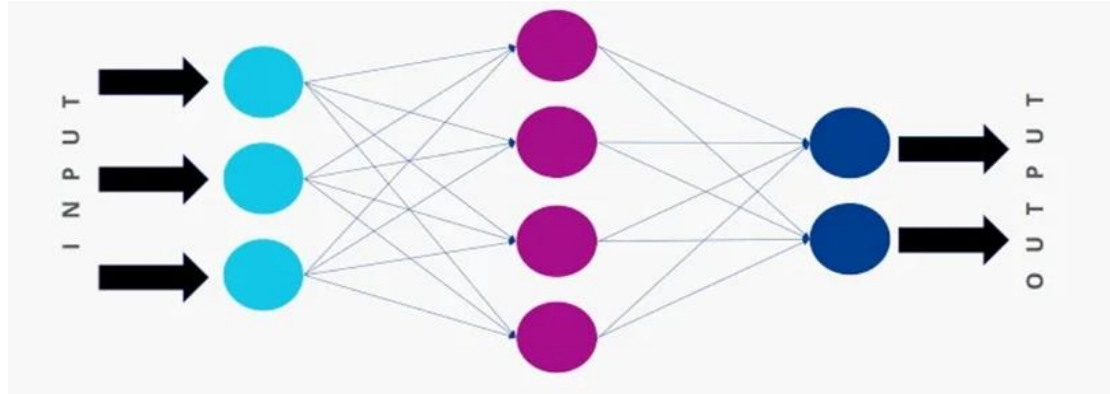


Figure 2.5 : réseau de neurone non bouclé

#### 6.1.1 Réseaux de neurones monocouches

Le perceptron monocouche est un réseau simple, puisqu'il ne se compose que d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie. Il peut aussi être utilisé pour faire de la classification et pour résoudre des opérations logiques simples, il suit généralement un apprentissage supervisé selon la règle de correction de l'erreur [34].

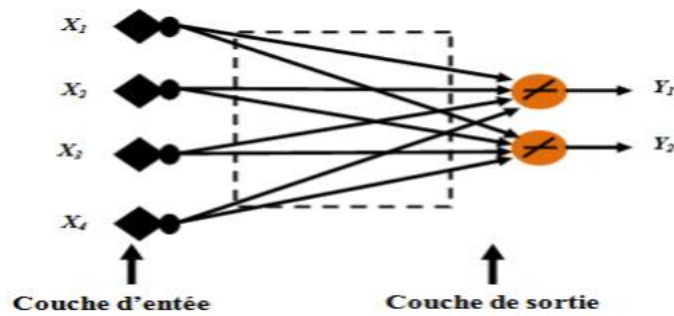


Figure 2.6 : Le perceptron monocouche

### 6.1.2 Réseaux de neurones multi couche

Les neurones sont arrangés par couches. Il n'y a pas de connexion entre neurones d'une même couche, chaque neurone d'une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante et celle-ci seulement. Ceci nous permet d'introduire la notion de sens de parcours de l'information (de l'activation) au sein d'un réseau et donc définir les concepts de neurones d'entrée, neurone de sortie. Par extension, on appelle couche d'entrée l'ensemble des neurones d'entrée, couche de sortie l'ensemble des neurones de sortie. Les couches intermédiaires n'ayant aucun contact avec l'extérieur sont appelées couches cachées.

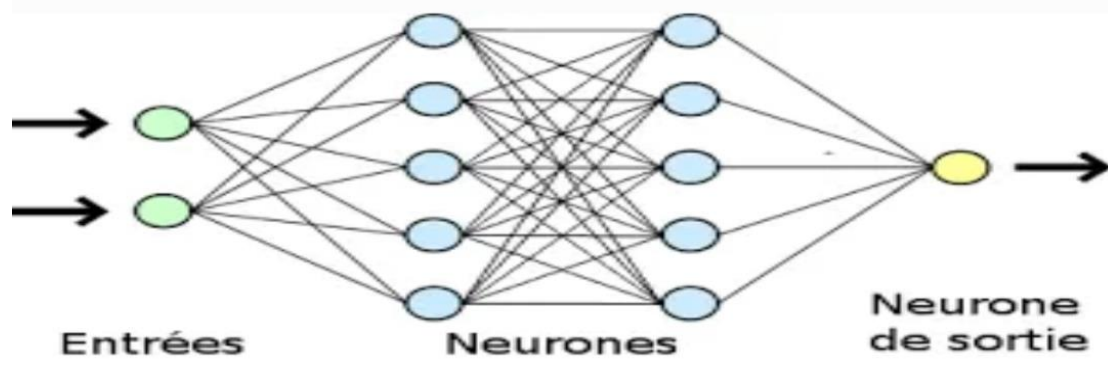


Figure 2.7 : Réseaux de neurones multi couche

### 6.2 Réseau de neurones bouclé

Contrairement aux réseaux de neurones non bouclés dont le graphe de connexions est acyclique, les réseaux de neurones bouclés peuvent avoir une topologie de connexions quelconque, comprenant notamment des boucles qui ramènent aux entrées la valeur d'une ou plusieurs sorties. Pour qu'un tel système soit causal, il faut évidemment qu'à toute boucle soit associé un retard : un réseau de neurones bouclé est donc un système dynamique, régi par des équations différentielles ; comme l'immense majorité des applications sont réalisées par des programmes d'ordinateurs, on se place dans le cadre des systèmes à temps discret, où les équations différentielles sont remplacées par des équations aux différences. Il s'agit

donc des réseaux de neurones avec retour en arrière (feedback network or récurrent network). [35]

### 7. Apprentissage d'un réseau de neurone

Si le neurone est considéré comme étant la pierre angulaire du réseau de neurones artificiels, l'apprentissage peut être défini comme le processus le plus important pour la construction d'une structure performante du réseau de neurones en se déroulant sur l'adaptation des poids. Pour cela, il existe deux méthodes d'apprentissage : l'apprentissage supervisé et non supervisé. Les deux méthodes précédentes, fournissent au réseau neuronal une base d'apprentissage qui représente les données sur lesquelles le réseau peut apprendre et réaliser la phase d'apprentissage [36].

#### 7.1 Apprentissage supervisé « apprentissage avec un enseignant »

Dans ce type d'apprentissage, on cherche à imposer au réseau un fonctionnement donné en forçant les sorties des réseaux à prendre des valeurs bien données (choisie par l'opérateur) et ce en modifiant les poids synaptiques. Le réseau se comporte alors comme un filtre dont les paramètres de transfert sont ajustés à partir des couples entrée-sortie présentés [37]. L'adaptation des paramètres du réseau s'effectue à partir d'un algorithme d'optimisation, l'initiation des poids synaptiques étant le plus souvent

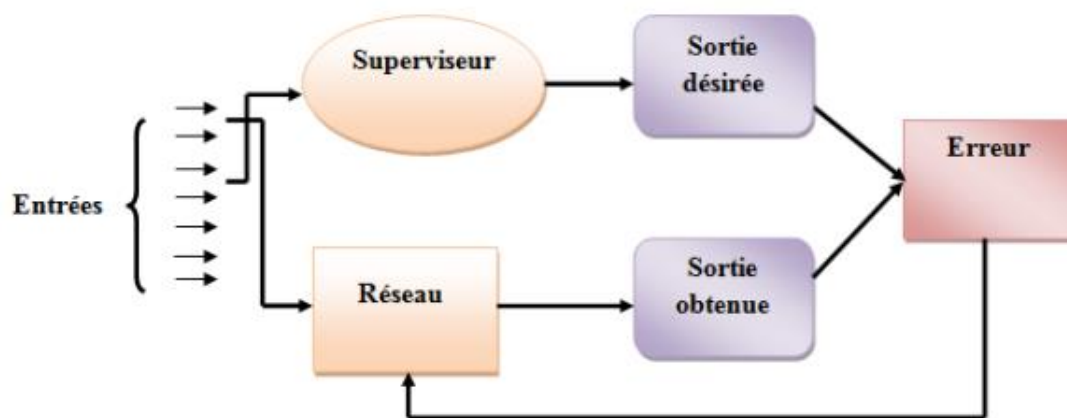


Figure 2.8 : Apprentissage supervisé

#### 7.2 Apprentissage non supervisé

Contrairement à l'apprentissage supervisé, seules les valeurs d'entrée sont disponibles dans ce type d'apprentissage non supervisé qui est appelé aussi « apprentissage par compétition ». Dans ce cas, les exemples présentés à l'entrée provoquent une auto adaptation du réseau afin d'engendrer des valeurs de sortie qui soient proches en réponse à des valeurs d'entrée similaires. [36]

Dans ce cas, l'apprentissage est basé sur des probabilités. Le réseau va se modifier en fonction des régularités statistiques de l'entrée et établir des

catégories, en attribuant et en optimisant une valeur de qualité, aux catégories reconnues. [37]

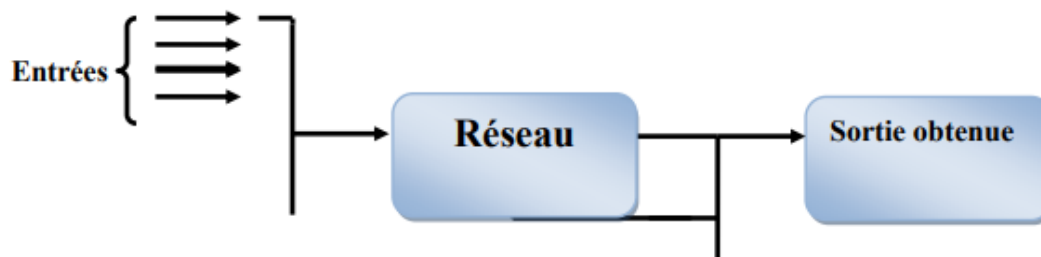


Figure 2.9 : Apprentissage non supervisé.

### 8 Le perceptron multicouche (Multi Layer Perceptron) :

Le perceptron multicouche (PMC ou MLP), est une topologie de réseau de neurones de type feed-forward le plus simple et le plus connu des réseaux de neurones. Il est constitué d'une couche d'entrées, d'un nombre quelconque de couches cachées et d'une couche de sorties. La première couche est reliée aux entrées puis chaque couche est reliée à la précédente. Les neurones de la même couche ne sont pas connectés entre eux. Les sorties des neurones de la dernière couche correspondent toujours aux sorties du système. Généralement dans les problèmes de classification, une seule couche cachée est suffisante pour avoir des résultats satisfaisants [38].

La figure (2.10) illustre un PMC, avec une seule couche cachée, comportant  $N$  neurones d'entrée,  $M$  neurones cachés et  $J$  neurones de sortie. Le  $n$  ème neurone d'entrée est relié avec le  $m$  ème neurone caché par le poids  $w_{nm}$  et le  $m$  ème neurone caché est relié avec le  $j$  ème neurone de sortie par le poids  $u_{mj}$ . A chaque présentation d'un exemple  $(x_1, x_2, \dots, x_N)$ , les composants de son vecteur caractéristique seront transmis aux neurones de la couche cachée. Les sorties de ces neurones  $(y_1, y_2, \dots, y_M)$  seront à leur tour transmis aux neurones de la couche suivante (la couche de sortie). La sortie du  $m$  ème neurone caché est donnée par :

$$y_m = \varphi(r_m) = \varphi(\sum_{n=1}^N x_n W_{nm} + b)$$

Où :  $\varphi()$  est la fonction d'activation des neurones de la couche cachée.

Les neurones de la couche de sortie constituent la sortie du réseau. La sortie du  $m$  ème neurone est donnée par :

$$z_j = \varphi(s_j) = \varphi(\sum_{m=1}^M Y_m W_{mj} + b)$$

Où :  $\varphi()$  est la fonction d'activation des neurones de sortie.

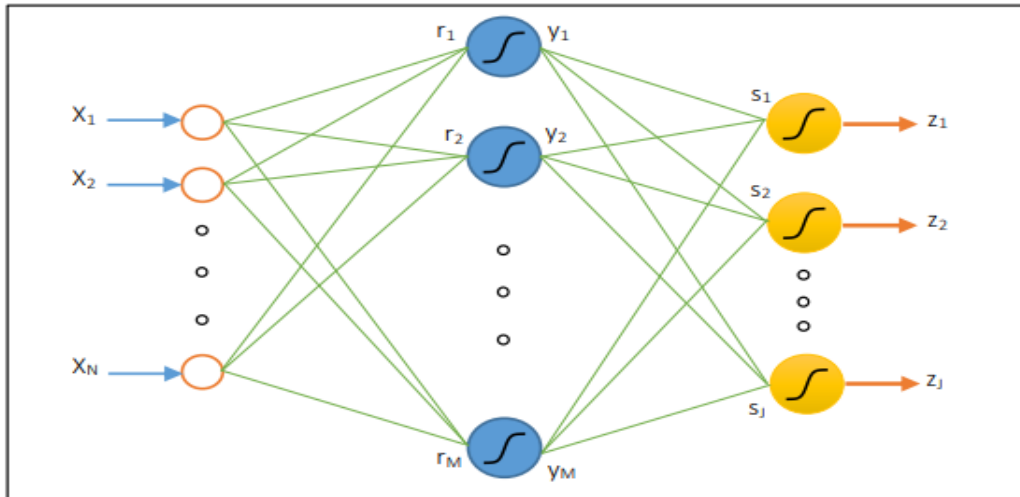


Figure 2.10: Un PMC, avec une seule couche cachée, contenant  $N$  neurones d'entrée,  $M$  neurones cachés et  $J$  neurones de sortie.

### 9. Apprentissage du PMC par la retro-propagation (RP) :

La retro-propagation du gradient est un algorithme d'apprentissage supervise pour les perceptrons multicouches, qui a été développé en particulier par Rumelhart et Parkenet le Cun en 1985. C'est un algorithme qui permet à un réseau multicouche d'apprendre par mises à jour des poids des différentes couches, Le terme rétro-propagation du gradient provient du fait que l'erreur calculée en sortie est transmise en sens inverse vers l'entrée. [39].

En résumé, nous utiliserons, pour l'apprentissage du réseau, l'algorithme de rétro propagation avec minimisation du gradient d'erreur qui est défini par les étapes suivantes : [40]

1. Initialiser les poids à des petites valeurs et les seuils du réseau.
2. Insérer à l'entrée du réseau une observation (exemple) de la base de données en forme de vecteur de caractéristiques, puis calculer sa valeur d'activation et sa fonction d'activation :

$$S = \sum_j w_{ij} x_j \quad (3.1)$$

$$Y = \varphi(S) = \varphi(s + b) \quad (3.2)$$

Avec  $Y$ : La sortie du neurone  $i$ .

3. Évaluer l'erreur des sorties du réseau :

$$\delta_j = (d_j - y_j) y_j (1 - y_j) \quad (3.3)$$

$d_j$  : la valeur de l'erreur désirée

4. la mise à jour des poids :

$$\Delta w_{ij} = \eta \delta_j y_i \quad (3.4)$$

$\eta$ : la valeur de taux d'apprentissage

5. Évaluer le signal d'erreur pour chaque couche cachée :

$$\delta_j = y_j(1-y_j) \sum_k w_{jk} \delta_k \quad (3.5)$$

6. Ajuster les poids de la couche cachée en utilisant la formule (3.4).

7. Répéter les étapes 2 à 6 pour l'ensemble des observations de la base d'apprentissage tant que le critère d'arrêt n'a pas été atteint. La formule de calcul de l'erreur quadratique de l'ensemble de la base d'apprentissage définie comme suit

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_p (\sum_k d_{pk} - y_{pk})^2 \quad (3.5)$$

Où p est l'indice d'un exemple de la base et k est l'indice du nœud de sortie. L'objectif est de minimiser cette erreur.

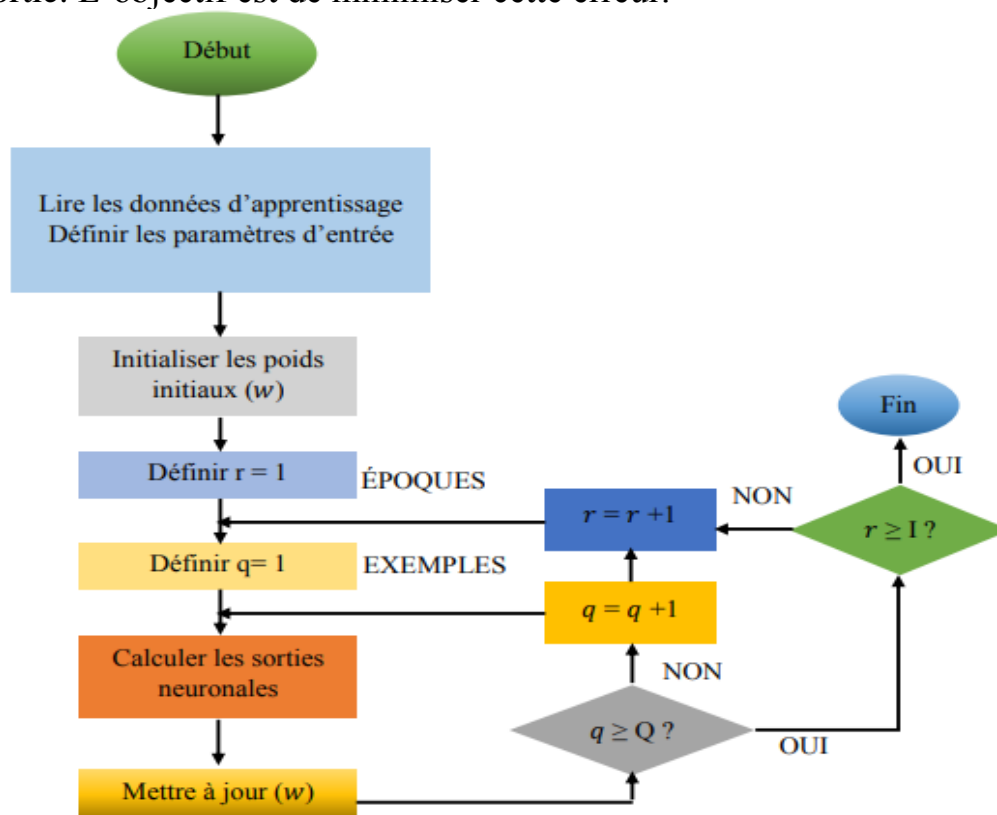


Figure 2.11: Organigramme de rétro-propagation

## 10. Domaines d'application des réseaux de neurones artificiels

Aujourd'hui, les réseaux de neurones artificiels ont de nombreuses applications dans des secteurs très variés :

- Prédiction : Notamment utilisée en finance pour prédire les fluctuations du prix sur le marché de diverses produits en fonction des facteurs économiques, ou autre influences fournies en entrées du réseau.[41]

- Traitement d'images : reconnaissance de caractères et de signatures, compression d'images, reconnaissance de forme, cryptage, classification, etc.
- Traitement du signal : filtrage, classification, identification de source, traitement de la parole...etc.
- Contrôle : commande de processus, diagnostic, contrôle qualité, asservissement des robots, systèmes de guidage automatique des automobiles et des avions...etc.
- Défense : guidage des missiles, suivi de cible, reconnaissance du visage, radar, sonar, lidar, compression de données, suppression du bruit...etc.
- Optimisation : planification, allocation de ressource, gestion et finances, etc.
- Simulation : simulation du vol, simulation de boîte noire, prévision météorologique, recopie de modèle...etc. [42]

### 11. Conclusion

On a abordé, dans ce chapitre, la partie essentielle de ce travail, à savoir, l'utilisation des réseaux de neurones artificiels dans la classification d'un signal électrocardiogramme ECG. On a donné tout d'abord quelques notions de base sur les RNA, leurs différents types, ainsi leur architecture. Ensuite, un peu de détail sur les PMC, les réseaux de neurones artificiels appliqués lors de ce travail.

The background is a light blue gradient with various medical icons. In the top left, there is a red heart with a white ECG line. To its right is a white syringe with a blue plunger and a needle. In the bottom left, there is a silver stethoscope. In the bottom right, there is a white clipboard with a yellow clip. The text is centered in the middle of the page.

# **Chapitre 3**

## **Agent et Système Multi Agents**

### 1. Introduction

A la différence de l'intelligence artificielle classique (IA) qui modélise le comportement intelligent d'un seul agent, l'intelligence artificielle distribuée (IAD) s'intéresse à des comportements intelligents qui sont le produit de l'activité coopérative entre plusieurs agents. Le passage du comportement individuel aux comportements collectifs est considéré non seulement comme une extension, mais aussi comme un enrichissement de l'IA, d'où émergent de nouvelles propriétés et de nouveaux comportements. L'IAD s'intéresse entre autre à la modélisation de comportement intelligent entre plusieurs agents pour des activités coopératives, d'où la réalisation des systèmes dit « multi-agents ». Gerhard Weiss [43] a donné une définition pour l'IAD assez large : « L'IAD est, en partie, l'étude, la conception et la réalisation de systèmes multi-agents, c'est-à-dire de systèmes dans lesquels des agents intelligents interagissent, poursuivent un ensemble de buts ou réalisent un ensemble d'actions ».

Le concept d'agent est devenu très important dans le domaine de l'intelligence artificielle et plus généralement dans celui de l'informatique. Nous allons donc aborder, dans ce chapitre, des définitions et des concepts clés dans le domaine des SMA.

### 2. Historique

Les systèmes d'Intelligence Artificielle (IA) sont devenus complexes relativement à l'évolution des domaines d'application comme l'aide à la décision, la conduite des processus industriels etc. En effet, l'approche classique de l'IA qui considère le comportement intelligent du système dans un seul agent a montré ses limites. Par conséquent, l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD) est apparue vers la fin des années 1970 [44]. L'IAD propose une nouvelle vision de la conception des systèmes et considère la modélisation du raisonnement sur la base de la distribution des connaissances sur plusieurs entités.

Les Systèmes Multi-agents sont une branche de l'IAD. Ils sont apparus dans le courant des années 80. Ils sont à la connexion de plusieurs domaines en particulier de l'Intelligence artificielle, des systèmes informatiques distribués et du génie logiciel [45]. Les systèmes multi-agents s'intéressent à la résolution de problèmes complexes en se basant sur la distribution de la connaissance et des compétences sur un ensemble d'entités autonomes. Par ailleurs, ces entités s'appuient sur une organisation ainsi que des interactions qui leur confèrent un comportement global cohérent et collectif. Ce dernier se traduit par la coopération, la résolution de conflits, la négociation etc. Dans ce genre de système, un comportement global performant peut aussi être produit par

émergence à partir du comportement local d'entités moins performantes. C'est le cas de l'étude des organisations sociales des insectes tels que les fourmis, les abeilles et les termites. Les SMA sont particulièrement utiles pour résoudre des problèmes et concevoir des systèmes qui sont physiquement et/ou fonctionnellement distribués.

### 3. Agent

#### 3.1 Définition 1

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 et la psychologie. Aujourd'hui, avec l'avènement de nouvelles technologies et l'expansion de l'Internet, ce concept est encore associé à plusieurs nouvelles applications comme agent ressource, agent courtier, assistant personnel, agent interface, agent ontologique, etc. Dans la littérature, on trouve une multitude de définitions d'agents. Elles se ressemblent toutes, mais diffèrent selon le type d'application pour laquelle est conçu l'agent. Nous trouvons dans [46] une discussion sur les différentes définitions attribuées aux agents ainsi que la différence entre un agent et un programme classique. À titre d'exemple, voici l'une des premières définitions de l'agent due à (Ferber, 1995) [47] :

On appelle agent une entité physique ou virtuelle:

- a. qui est capable d'agir dans un environnement.
- b. qui peut communiquer directement avec d'autres agents.
- c. qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser).
- d. qui possède des ressources propres.
- e. qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement,
- f. qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune).
- f. qui possède des compétences et offre des services.
- g. qui peut éventuellement se reproduire.
- h. dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.

### 3.2 Définition 2

- Selon M. Wooldridge, « un agent est un système informatique situé dans un environnement donné, et qui est capable d'agir de manière autonome dans cet environnement en fonction des objectifs qui lui sont définis » (Wooldridge 1999). [48]

### 3.3 Définition 3

- Selon S. Russell et P. Norvig : « On appelle agent toute entité qui peut être considérée comme percevant son environnement grâce à des capteurs et qui agit sur cet environnement via des effecteurs. » (Russell et Norvig 2006). [49]

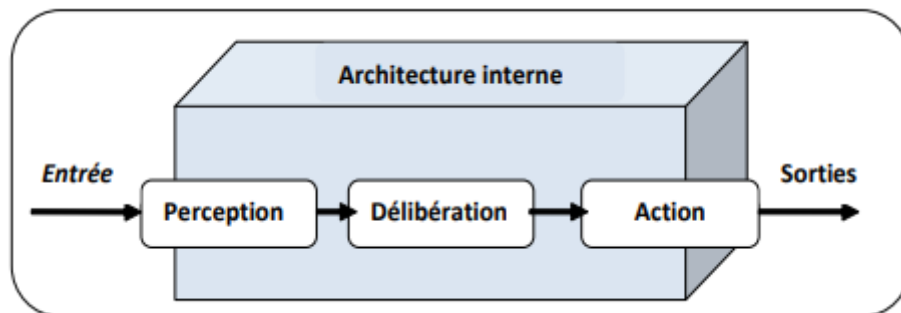


Figure 3.1: L'agent, un processus à 3 phases : perception, délibération puis action

### 3.4 Agent intelligent

Parler d'agent intelligent nous amène à nous questionner sur ce qu'est l'intelligence, ainsi que sur la différence entre un agent intelligent et un simple agent. Pour M. Wooldridge, un agent est considéré comme intelligent lorsqu'il est capable d'effectuer des actions flexibles de manière autonome par rapport à ses objectifs (Jennings 1995, Wooldridge 1999). Et par flexible il signifie la réactivité, la pro-action, et la sociabilité [50] :

- La réactivité: l'agent intelligent doit réagir dans un temps raisonnable aux changements de l'environnement.
- La pro-action: l'agent intelligent prend l'initiative d'un comportement tendant vers un but précis.
- La sociabilité : l'agent intelligent doit être capable d'interagir avec d'autres agents intelligents.

## 4 Propriétés d'un agent

### 4.1 Propriétés essentielles d'un agent :

- ✓ situé : l'agent est capable d'agir sur son environnement à partir des entrées sensorielles qu'il reçoit de ce même environnement. Exemples : systèmes de contrôle de processus, systèmes embarqués, etc.

L'agent est capable d'agir sur son environnement à partir des entrées sensorielles qu'il reçoit de ce même environnement.

- ✓ Autonome : L'agent est autonome s'il prend des décisions motivées par son états interne sans intervention extérieure. [51]
- ✓ Flexible : l'agent dans ce cas est :
  - capable de répondre à temps : l'agent doit être capable de percevoir son environnement et élaborer une réponse dans les temps requis;
  - Proactif : l'agent doit exhiber un comportement proactif et opportuniste, tout en étant capable de prendre l'initiative au "bon" moment;
  - Social : l'agent doit être capable d'interagir avec les autres agents (logiciels et humains) de façon coopérative ou compétitive pour atteindre ses objectifs. [52].
- ✓ Réactivité : un agent perçoit son environnement et répond aux changements qui s'y produisent en un temps raisonnable
- ✓ Communication : un agent peut communiquer avec d'autres agents ainsi qu'avec des utilisateurs humains
- ✓ Intelligence : c'est la capacité de l'agent à accepter les demandes de l'utilisateur et de mener à bien la tâche que lui est déléguée. A un degré d'intelligence plus élevé, l'agent devrait comprendre ce que l'utilisateur veut, et planifier les moyens à mettre en œuvre pour atteindre ce but. A un degré supérieur l'agent non seulement planifie ses propres actions mais aussi tient compte de celle des autres.
- ✓ Apprentissage : un agent peut mémoriser ses expériences et adapter son comportement en conséquence. s'il est capable de réaliser des actions flexibles et autonomes pour atteindre les objectifs qui lui ont été fixés.

### 4.2 Autre Propriétés :

- ✓ Mobilité : un agent peut se déplacer d'une machine à une autre et éventuellement se dupliquer.

- ✓ La rationalité : capacité de l'agent d'atteindre ses objectifs avec le moindre coût. Un agent rationnel n'exécute pas des comportements contradictoires avec ses buts.
- ✓ L'intentionnalité : l'agent possède une représentation explicite de ses états mentaux.
- ✓ La véracité : l'agent ne communique pas des fausses informations.

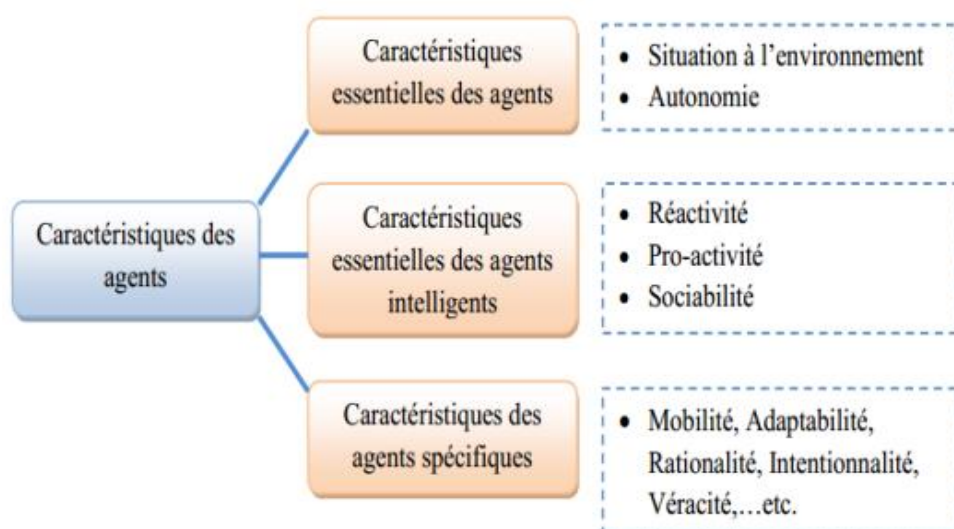


Figure 3.2 : une figure qui représente les Caractéristiques des Agents. [53]

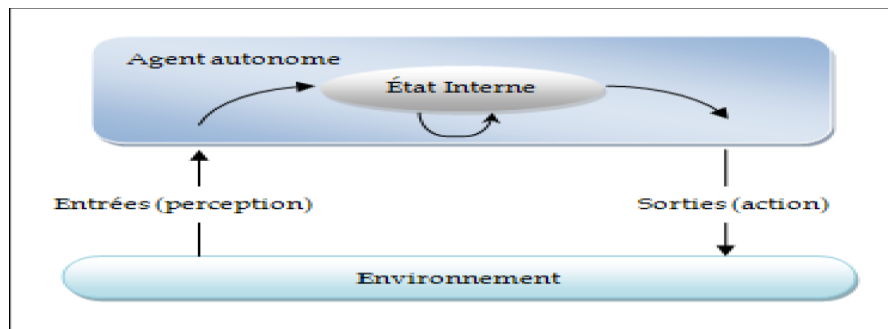
### 5 Typologie des agents

La typologie d'un agent est une description de son organisation interne, les données et les connaissances de l'agent, les opérations qui peuvent être effectuées sur ces composants et flux de contrôle des opérations. On peut citer essentiellement les typologies suivantes :

#### 5.1 Agent réactif

Les agents réactifs sont souvent qualifiés de ne pas être « intelligents » par eux-mêmes, ils sont considérés intelligents au niveau du groupe, du système. Ils sont des composantes très simples qui réagissent uniquement à leurs perceptions et qui agissent en fonction de cette perception. Ils n'ont pas une représentation symbolique de l'environnement ou des connaissances et ils ne possèdent ni croyances, ni mécanismes d'envoi de messages. Leurs capacités répondent uniquement au

mode stimulus/action qui peut être considéré comme une forme de communication .un SMA constitué d'agents réactifs possède généralement un grand nombre d'agent et présente un comportement global intelligent.[54]



*Figure 3.3: Architecture d'un agent réactif*

### 5.2 Agents cognitifs

Les agents cognitifs possèdent une représentation partielle de l'environnement, des buts explicites, ils sont capables de planifier leur comportement, mémoriser leurs actions passées, communiquer par envoi de messages, négocier, etc. Un SMA constitué d'agents cognitifs possède communément peu d'agents. L'agent est constitué d'une base de connaissances qui contient toutes les connaissances sur son fonctionnement (sa tâche) et sur son environnement .l'agent acquiert de nouvelles connaissances soit par l'échange d'informations avec les autres agents ou par le biais de ses perceptions sur son environnement. L'agent cognitif a la capacité de raisonner sur sa base de connaissances, ses intentions et ses buts pour prendre des décisions suivant une planification. Ils font souvent appel à des modes de communication plus complexes qu'une simple perception. Il communique généralement grâce à des données partagées ou par des communications directes. [54]

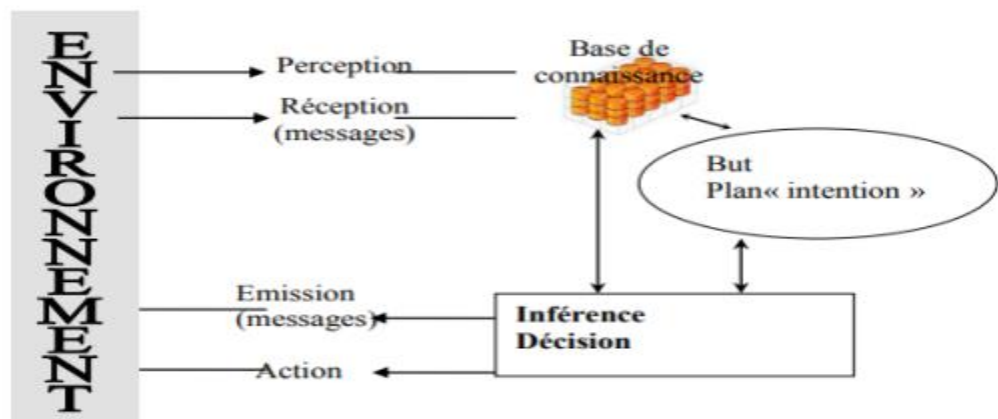


Figure 3.4 : Architecture d'un agent cognitif

### 5.3 Agents hybrides

Une architecture hybride d'un agent intelligent est une architecture composée d'un ensemble de modules organisés dans une hiérarchie, chaque module étant soit une composante cognitive avec représentation symbolique des connaissances et capacités de raisonnement, soit une composante réactive. De cette manière, on combine le comportement proactif de l'agent, dirigé par les buts, avec un comportement réactif aux changements de l'environnement. En plus, on espère obtenir simultanément les avantages des architectures cognitives et réactives, tout en éliminant leurs limitations.

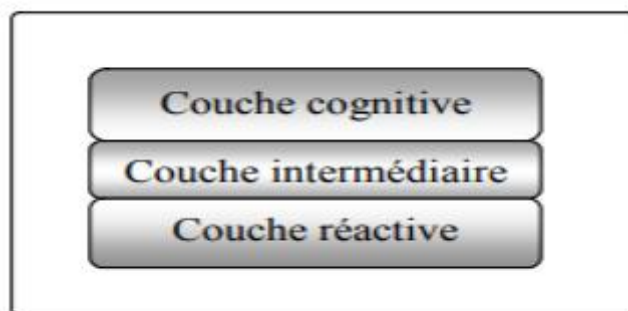


Figure 3.5 : architecture hybride en couche verticale [55]

## 6. Approche orientée-agent et approche orientée-objet

D'un point de vue informatique, l'approche multi-agent peut être considérée comme une évolution du paradigme orienté-objet. Du point de vue conceptuel, un objet est simplement une structure de données à laquelle sont associées des fonctions. Les agents sont des entités autonomes, ce qui signifie que leur comportement ne dépend pas d'une pression extérieure, contrairement aux objets.

Agents	Objets	Similarités
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Autonomie de contrôle : l'agent décide de son comportement en fonction de son état, croyances, connaissances, perceptions de l'environnement, requêtes des autres</li> <li>-L'agent est une entité interagissant dans un système multi-agent indépendant de tout langage</li> <li>- Un agent est à un degré d'abstraction plus élevé qu'un objet</li> <li>- Un agent est à un degré d'abstraction plus élevé qu'un objet.</li> <li>-les agents sont capables d'un comportement social</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pas d'autonomie : l'objet qui reçoit un appel de méthode exécute celle-ci (pas de proactivité, de réactivité)</li> <li>-Un objet est une entité passive (ou réactive)</li> <li>-flexibilité absente pour les objets.</li> <li>- L'objet est dépendant d'un langage mais "indépendant de toutes utilisations".</li> <li>-système a objets n'a priori qu'un seul flux de contrôle</li> <li>-Un objet n'est pas lié à un domaine (comme l'IA), mais à une méthode de programmation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Possèdent un «état interne».</li> <li>- Des unités de comportement modulaires (méthodes/compétences).</li> <li>- Communiquent par envoi de messages</li> <li>-Peuvent agir pour modifier leur état</li> </ul>

*Tableau 3.1: Programmation Orientée Objets versus Programmation Orientée Agents [56]*

### 7. Architecture des agents

L'architecture générale de l'agent cognitif qui sera présentée est une synthèse de plusieurs architectures proposées par des chercheurs en SMA.

6.1 Structure interne d'un agent On distingue essentiellement : les savoir-faire, les croyances, la connaissance de communication (figure 3.6)



*Figure 3.6 : structure d'un agent [57]*

- **Savoir –faire** : Le savoir-faire est une interface permettant la déclaration des connaissances et de compétences de l'agent. Il permet la sélection des agents à solliciter pour une tâche donnée
- **Croyance** : Dans un univers multi-agent, chaque agent possède des connaissances sur lui-même et sur les autres. Ces connaissances ne sont pas nécessairement objectives : on parle alors de croyances d'agent. Ce sont des connaissances considérées comme incertaines, elles nécessitent une formalisation adéquat (logique, modale par exemple).
- **Contrôle** : Il est représenté par les buts, les intentions, les plans et les tâches.
- **Expertise** : C'est la connaissance sur la résolution de problème (une base de règles par exemple pour un système expert).
- **Communication** : L'agent doit posséder un protocole de communication lui permettant d'interagir avec les autres agents, pour une bonne coopération et bonne coordination d'actions. Pour échanger les informations et les connaissances, les agents utilisent des ACL (Agent Communication Language). [57]

## **8. Les Système Multi-agent (SMA)**

### **8.1 Définition**

Un système multi-agent est un système distribué composé d'un ensemble d'agents. Contrairement aux systèmes d'IA, qui simulent dans une certaine mesure les capacités du raisonnement humain, les SMA sont conçus et implantés idéalement comme un ensemble d'agents interagissant, le plus souvent, selon des modes de coopération, de concurrence ou de coexistence [58,59,60].

J. Ferber a donné plus de détails sur la composition du SMA en précisant qu'un système multi-agents doit être composé des éléments suivants [67]:

- Un environnement E, c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.

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

L'IAD introduit le concept du système multi agents qui est un système constitué d'agents, qui interagissent dans et au travers d'un environnement selon certaines relations, et dont les caractéristiques sont : La coopération, la coordination et la communication.

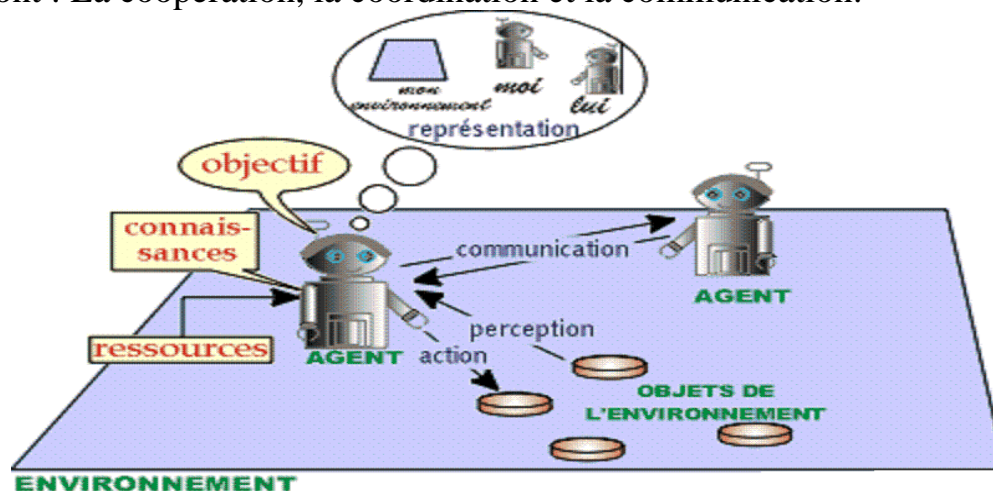


Figure 3.7 : Représentation d'un agent en interaction avec son environnement

### 8.2 Caractéristiques d'un système multi-agents

Les systèmes multi-agents sont généralement caractérisés par :

- La décentralisation des données.
- Chaque agent a des informations ou des capacités de résolution de problèmes limitées, ainsi l'agent à un point de vue partiel.
- Il n'y a aucun contrôle global du système multi-agents.
- La coopération, la coordination et la communication entre les différents agents du système est possible.
- Le calcul est asynchrone. [61]

### 8.3 Avantages d'une a système multi-agent

Le système multi-agent présente les avantages suivants par rapport à un système d'un seul agent ou approche centralisée [67]:

- a. Le système multi-agent distribue les ressources et les capacités de calcul à travers un réseau des agents interconnectés, considérant qu'un système centralisé peut être en proie à des limitations de ressources ou les pannes critiques, un système multi-agent est un système décentralisée et donc ne souffre pas d'une point unique de défaillance "single point of failure " problème associé à des systèmes centralisés.
- b. Un système multi-agent permet l'interconnexion et l'interopérabilité des multiples systèmes existants par construit un agent encapsuler.
- c. Un système multi-agent résoudre les problèmes en termes d'interaction autonomes des composants des agents, qui s'avère être un moyen plus naturel de représenter l'allocation des tâches, la planification d'équipe, les préférences des utilisateurs, les environnements ouverts, et ainsi de suite.
- d. Un système multi-agent récupère efficacement et filtrer des informations coordonnées à partir de sources qui sont spatialement distribués.
- e. Un système multi-agent propose des solutions dans des situations où l'expertise est spatialement et temporellement distribuée.
- f. Un système multi-agent améliore les performances globales du système, spécifiquement sur les dimensions de l'efficacité de calcul, la fiabilité, l'extensibilité, la robustesse, la maintenabilité, la réactivité, la flexibilité et la réutilisation.

## 9. Communication entre agents

La communication est l'un des concepts pertinents dans les systèmes multi-agents. Comme chez les humains, la communication est à la base de l'interaction et de l'organisation sociale, elle permet aux agents de coopérer, négocier, échanger des informations et effectuer des tâches en commun. Sans communication, on distingue essentiellement deux modèles de communication [62] :

1. Communication par partage d'information.
2. Communication par envoi de messages.

### 9.1 Communication par partage d'informations

En mode partage d'information, 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. Ce type de communication, appelé « tableau noir » ou « blackboard », fait l'objet de nombreuses publications qui ne seront pas détaillées ici. D'apparence assez simple, ce mode de communication centralisé implique que les agents effectuent un grand nombre de requêtes sur un seul et unique site central. De plus, le fonctionnement global du système n'est pas purement multi-agents, puisque le comportement d'un des agents est dépendant du contenu d'une base de connaissances commune. [63]

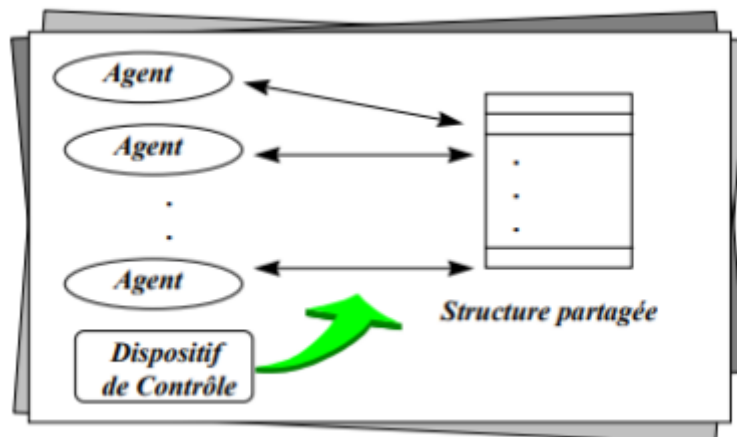


Figure 3.8 : communication par partage d'informations [63]

### 9.2 Communication par envoi de message

Si les agents communiquent par envoi de messages ils se rapprochent du modèle d'acteur proposé par Hewitt[64]. Ce premier modèle définissait un acteur comme une entité active et autonome qui a une vue partielle de l'univers. Cet acteur était décrit au moyen de deux éléments : des accointances (qui correspondent aux acteurs connus d'un autre acteur), et un comportement décrit par un script, ensemble de méthodes qui indiquent les différentes actions que peut accomplir cet acteur en réponse aux messages qu'il reçoit. L'acteur pourra adopter différents comportements pour répondre à un message : soit il le traite, soit il délègue la tâche à ses accointances, il peut également créer de nouveaux acteurs puis disparaître. L'envoi de messages est le seul mode de communication entre acteurs. Tous les messages sont asynchrones et placés dans une mémoire-tampon (sans attente de réponse). Chaque message contient une continuation, à qui doit être retournée la réponse à la requête. Il y a distribution des connaissances (chaque acteur possède un comportement réparti entre ses accointances) et distribution du contrôle (chaque acteur possède un script qui définit sa réaction aux messages qu'il reçoit) [63].

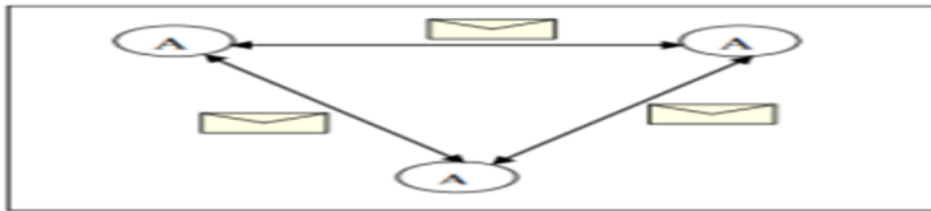


Figure 3.9 : communication par envoie de message

### 9.3 Les langages de communications

Pour communiquer, des agents doivent connaître, comprendre et utiliser un langage commun, appelé langage de communication d'agents ACL (Agent Communication Language). Ce langage se focalise essentiellement sur la manière de décrire exhaustivement des actes de communication d'un point de vue syntaxique et sémantique supportant un langage de représentation des connaissances [65]. Les deux ACLs les plus connus sont KQML et FIPAACL

#### 9.3.1 Langage de communication KQML :

Aux Etats-Unis, un standard de langage de communication de haut niveau appelé KQML « Knowledge Query and Manipulation Language » a été développé. Ce dernier est fondé sur la théorie des actes de langage dans le but de permettre aux agents cognitifs de coopérer. Il est basé sur le fait de pouvoir coder explicitement dans les messages des actes illocutoires en termes de type de message (appelés performatives) et repose sur les états mentaux des agents. Le contenu du message échangé est une expression spécifiée en KIF (Knowledge Inter change Format) qui utilise le formalisme de la logique de premier ordre. KQML est un langage de communication et un protocole de haut niveau pour l'échange de l'information, orienté messages et indépendant de la syntaxe du contenu et de l'ontologie applicable (Une ontologie d'édéfinit le vocabulaire dans un domaine donné pour que les agents puissent se comprendre). Conceptuellement, nous pouvons identifier trois couches dans un message de KQML : contenu, communication et message [63].

#### 9.3.2 Langage de communication FIPA-ACL :

Ce langage a été proposé par la corporation de chercheurs FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agent), organisation à but non lucratif, créée en 1996 et qui propose des standards pour l'interopérabilité des agents logiciels. Un message FIPA-ACL est constitué d'une liste non ordonnée de 14 champs. Un message Il comporte 2 champs relatifs à la communication qui sont Sender et Receiver et qui correspondent respectivement à l'agent émetteur et à l'agent récepteur du message. Un message FIPA-ACL comporte 4 champs relatifs au contenu [66] :

- Le champ content qui indique le contenu propositionnel du message

- Le champ encoding qui indique le langage d’encodage du contenu. Ce contenu doit être une expression bien formée du langage de représentation spécifié par le champ Language.
- Le champ ontology qui indique l’ontologie du message.
- Le champ protocole fait référence à l’un des protocoles proposés par FIPA (par exemple, le protocole Contract Net).

### 10 L’environnement dans les systèmes multi-agents

Selon J. Ferber, l’environnement peut être considéré comme la représentation du monde dans lequel les agents se situent. L’environnement est modifiable par les agents, soit de façon globale, soit en faisant la distinction entre objets passifs (soumis aux actions des agents) et entités actives (les agents). L’environnement d’un SMA fournit un support commun aux actions des agents, permettant ainsi l’interaction dans le système. [67],

Russell et Norvig [68] distinguent pour un environnement les propriétés suivantes [63] :

1. Accessible/inaccessible (observable/non observable) : accessible si un agent peut, à l’aide des primitives de perception, déterminer l’état de l’environnement et ainsi procéder, par exemple, à une action .Si l’environnement est inaccessible alors il faut que l’agent soit doté de moyens de mémorisation afin d’enregistrer les modifications qui ont survenues.
2. Déterministe/indéterministe : un environnement est déterministe si un changement de son État est déterminé uniquement par son État courant et les actions des agents. Un environnement indéterministe pourra produire un résultat différent pour une même action.
3. Statique/Dynamique : un environnement est dit statique s’il ne change d’état que sous l’effet des actions des agents. Au contraire, un environnement dynamique possède ses propres processus d’évolution qui peuvent modifier son État sans intervention des agents
4. Discret/Continu : l’environnement est discret lorsque le nombre de perceptions et d’actions possibles est limité. Si ce n’est pas le cas, l’environnement est alors continu.

### 11. Plateformes SMA

- AnyLogic : Logiciel de simulation multi-agents et multi méthode.
- CORMAS : (Common Ressources Multi-Agent System) est un Framework de développement de systèmes multi agents, open-source et basé sur le langage de programmation orientée objet Small Talk. Il est centré sur des problématiques de recherche en sciences du développement et de négociation entre acteurs.
  - DoMIS : Un outil permettant la conception de Systèmes Multi-agents (orientés "pilotage opérationnel de systèmes complexes"). Utilisé Pour l'analyse décisionnelle des systèmes complexes.
  - JACK : Un langage de programmation et un environnement de développement pour agents cognitifs, développé par la société Agent Oriented Software comme une extension orientée agent du langage Java.
  - JADE : (Java Agent Development) est un Framework de développement de systèmes multiagents, open-source et basé sur le langage Java. Il offre en particulier un support avancé de la norme FIPA-ACL, ainsi que des outils de validation syntaxique des messages entre agents basé sur les ontologies.
- Jadex : Une plate-forme agent développée en JAVA par l'université de Hambourg qui se veut modulaire, compatible avec de nombreux standards et capable de développer des agents.
- Jagent : Un Framework open source réalisé en Java dont l'objectif est de faciliter le développement et le test de systèmes multi agents.
- Janus : Une plateforme multi-agents modulaire écrite en Java. Elle permet de créer des systèmes multi-agents avec ou sans une approche organisationnelle basée sur le modèle Capacité-Rôle Interaction-Organisation (CRIO). [66]
- Jason : Un environnement open source de développement d'agents dans le formalisme AgentSpeak, et développé en Java. [66]

Les plates-formes de développement de systèmes multi agents : Il y a plusieurs des plateformes de développement de systèmes multi agents comme :

- JADE : (Java Agent Développement) est un Framework de développement de systèmes multi-agents, open-source et basé sur le langage Java. Il offre en particulier un support avancé de la norme FIPA-ACL, ainsi que des outils de validation syntaxique des messages entre agents basé sur les ontologies.
- DoMIS : est un outil permettant la conception de Systèmes Multi-agents (orientés "pilotage opérationnel de systèmes complexes") et

basé sur la méthode de conception B-ADSc, Axé sur la conception, DoMIS permet l'établissement de spécifications utilisables par toute plateforme de développement capable de simuler, au mieux, le temps réel.

GAMA : est une plateforme de simulation open-source (LGPL) proposant un environnement de modélisation à base d'agents spatialement explicites (Utilisation de données SIG pour la description des agents et de leur environnement). Développée par l'IRD/UPMC au sein de l'unité mixte internationale UMMISCO .

→ Jadex : est une plate-forme agent développée en JAVA par l'université de Hambourg qui se veut modulaire, compatible avec de nombreux standards et capable de développer des agents suivant le modèle BDI.

### **12. Domaine d'applications des systèmes multi-agents**

Il y a plusieurs domaines d'application pour les applications agents dues au fait que les architectures basés sur les agents fournissent une manière bien particulière afin d'aborder des problèmes rapidement. C'est pour cette raison que les agents sont largement utilisés dans les domaines suivants. [66]

→ L'Énergie La gestion des réseaux, le support d'un centre de crise.

→ L'Industrie L'automatisation des processus et de la production, la logistique, les robots coopératifs, la maison intelligente.

→ La Communication (Y compris télécommunication) La gestion de réseaux, le commerce électronique, la maison intelligente, les services du réseau personnel, le calcul mobile.

→ L'Information L'assistance personnelle, la recherche d'Information, la gestion du Workflow. La Santé La supervision des malades, les systèmes de support.

→ La transportation La logistique, le support de la mobilité, l'information du voyage.

→ Les Composants L'automatisation de la production, les smart cartes intelligentes.

### 13. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les concepts de base de IAD : les systèmes multi-agents et la notion d'agents, qui représente un artefact (robot, logiciel...) capable de percevoir, de se représenter et d'agir sur son environnement. Ainsi dans notre travail on exploite l'avantage de ces caractéristiques pour bien structuré l'application et maîtriser la complexité du problème. L'objectif de ce chapitre était alors d'introduire les systèmes multi-agents. On a vu qu'ils pouvaient être très utiles dans certaines situations et qu'ils avaient plusieurs avantages intéressants comme la modularité, la vitesse et la fiabilité.

The background is a light blue gradient with various medical icons. In the top left, there is a red heart with a white ECG line. In the top center, there is a white syringe with a blue plunger and a needle. In the bottom left, there is a silver stethoscope. In the bottom right, there is a white clipboard with a yellow clip. The text is centered in the middle of the page.

# **Chapitre 4**

## **La conception**

### 1. Introduction

La conception est une étape très importante qui précède l'implémentation de tout le système. A travers ce chapitre, nous avons divisé ce chapitre en quatre parties, nous allons présenter le langage de modélisation AUML ainsi que nous avons utilisé pour la modélisation nos différents diagrammes. Ensuite, nous allons faire une représentation de la conception globale et détaillée de notre système. Dans la troisième partie, nous allons présenter le rôle de chaque agent, ainsi que la structure du réseau de neurones utilisé et le processus de classification adopté. Enfin nous terminerons par la partie conception ou nous allons présenter les différents diagrammes de notre application.

### 2. AUML (Agent based Unified Modeling Language)

Agent UML est un projet relativement jeune proposé en 1999 et les premiers travaux de spécification ont débuté en 2003. AUML vise à proposer un ensemble de notations mieux adaptées au paradigme multi-agent [69]. Il consiste à utiliser le langage de modélisation UML et de son extension afin de représenter les agents, leurs comportements et leurs interactions entre eux. AUML n'est pas limité à l'utilisation d'UML, il est adapté même par d'autres approches [70].

### 3. Objectifs du travail

Il s'agit de réaliser un système multi agents neuronale qui permettra la classification des signaux électrocardiogramme afin d'atteindre les objectifs suivants :

- ✓ On souhaite avoir un taux optimal de classification des pathologies cardiaques. Adopter l'approche Multi-agent qui nous semble intéressent et permettant ainsi d'agentifier les services fournis par le logiciel.
- ✓ Aider les personnes à la décision de l'existence d'une pathologie cardiaque.

### 4. Conception globale

#### 4.1. Agentification du système

Nous proposons les cinq agents suivants qui seront distribués dans différentes couche de l'application :

**Agent administrateur, agent interface, agent extraction, agent classifieur et agent vote.** Nous les détaillons dans ce qui suit de la conception.

### 4.2. Architecture générale du système

Le schéma général de la conception de notre approche est présenté dans la figure ci-dessous

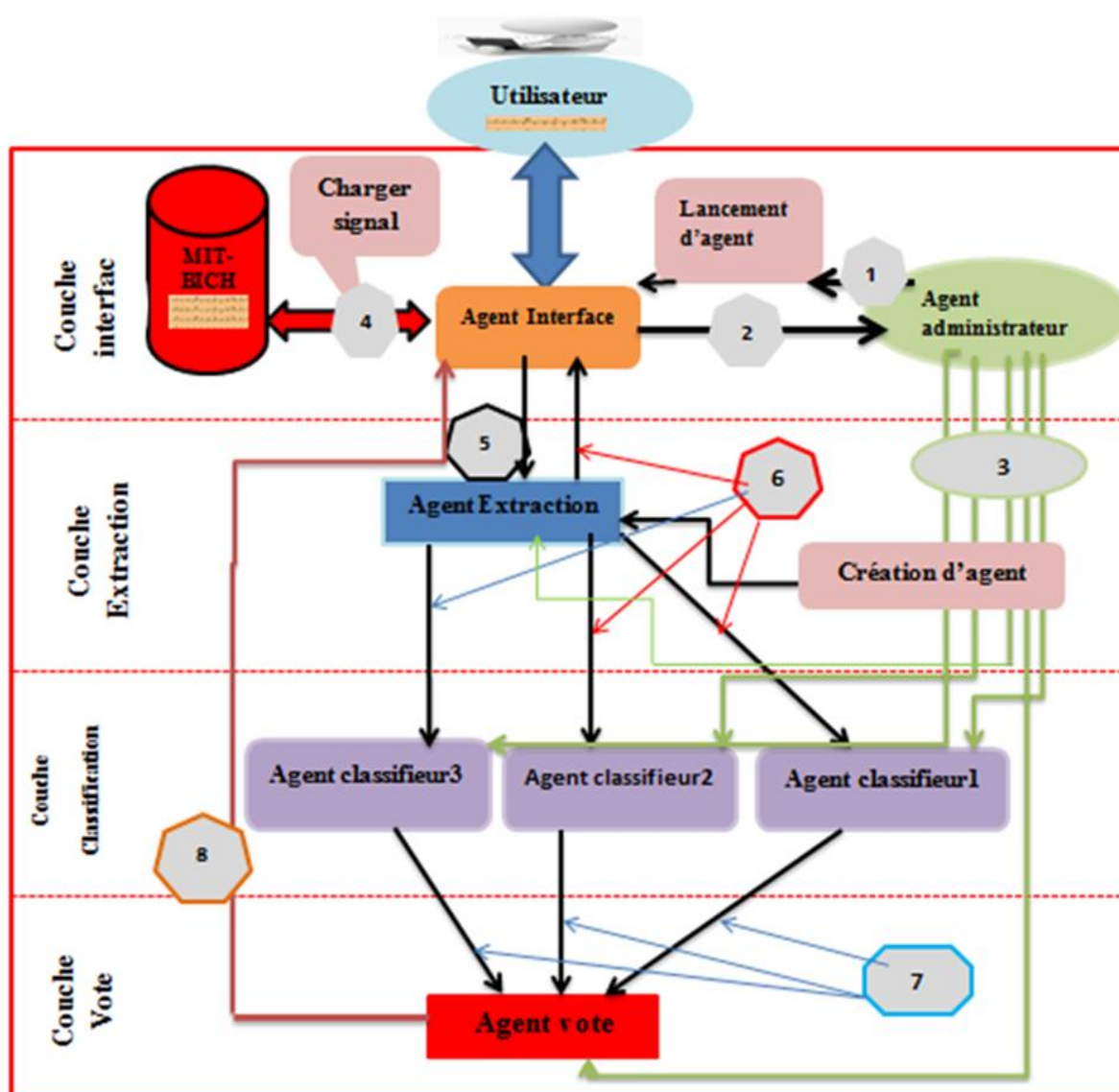


Figure 4.1 : Architecture globale du système

Comme le montre la figure précédente, on a proposé une architecture à couches qui est composée de 4 couches à savoir : Couche Interface, Couche Extraction, Couche Classification, Couche Vote.

#### 4.2.1. Couche Interface

Généralement l'interface est l'élément de référence qui permet à l'utilisateur de juger de la qualité du système. Elle constitue le seul moyen qui permet l'interaction directe entre le système et l'utilisateur.

Cette couche contient deux agents principaux dans le déroulement du système qui sont l'agent administrateur et l'agent interface :

- ✓ Agent administrateur : Cet agent a un seul objectif qui est la création de tous les agents du système.
- ✓ L'agent interface : Cet agent est créé par l'agent administrateur, Il sert comme un intermédiaire entre l'utilisateur et les agents du système, son rôle essentiel est de recevoir les actions fournis par l'utilisateur et les transmet aux agents du système. Lorsque ces derniers lui renvoient les résultats obtenus de leurs traitements, l'agent interface se charge de les afficher à l'utilisateur.

### 4.2.2. Couche Extraction

Dans cette couche, il y a un seul agent :

- ✓ Agent Extraction : Cet agent effectue les tâches suivantes:
  - ❖ La réception des données d'agent interface.
  - ❖ La réception du signal ECG traité pour obtenir les points caractéristiques.
  - ❖ Envoyer les résultats obtenus de leur traitement aux agents de classification.

### 4.2.3. Couche Classification

Cette couche est composée d'un ensemble des agents de classification (classifieurs).

- ✓ Les Agents de classification : Chaque agent de classification effectue les étapes suivantes :
  - ❖ La réception des données d'agent extraction.
  - ❖ Classer le signal ECG.
  - ❖ Envoyer la classification obtenue à l'agent vote.

### 4.2.4. Couche Vote

Cette couche comporte lui aussi un seul agent

- ✓ Agent Vote : Cet agent effectue les tâches suivantes:
  - ❖ Recevoir les résultats qui ont été obtenus par les divers agents de classification, et la sélection d'une meilleure classification parmi toutes les classifications.
  - ❖ Envoyer le résultat obtenu à l'agent Interface. Une fois les différentes ondes d'un battement cardiaque sont localisées, on peut extraire (déterminer) ensuite les 5 paramètres suivants :
    - RR\_ précédent, le rythme cardiaque précédent.
    - RR\_ suivant, le rythme cardiaque suivant.
    - QRS, la durée du complexe QRS.

- QR, la durée du QR.
- RS, la durée du RS.

### 4.3 Le réseau de neurones utilisé dans notre travail

Comme première étape nous avons créés des réseaux de neurones de types perceptron multicouche qui jouent le rôle de classifieurs (figure 4.2). Chacun d'entre eux reçoit un vecteur d'entre contenant cinq paramètres et incluant un certain nombre de neurones dans sa (ses) couche(s) cachée. Nous ne connaissons pas les valeurs intermédiaires (la sortie d'une couche qui est l'entrée de la couche suivante) .On a travaillé sur trois classes de sortie : l'une concerne une arythmie cardiaque appelée L'infarctus du myocarde (IDM) et la deuxième une arythmie cardiaque Fibrillation auriculaire(ACFA), et la troisième constitue la classe des battements normaux(N).

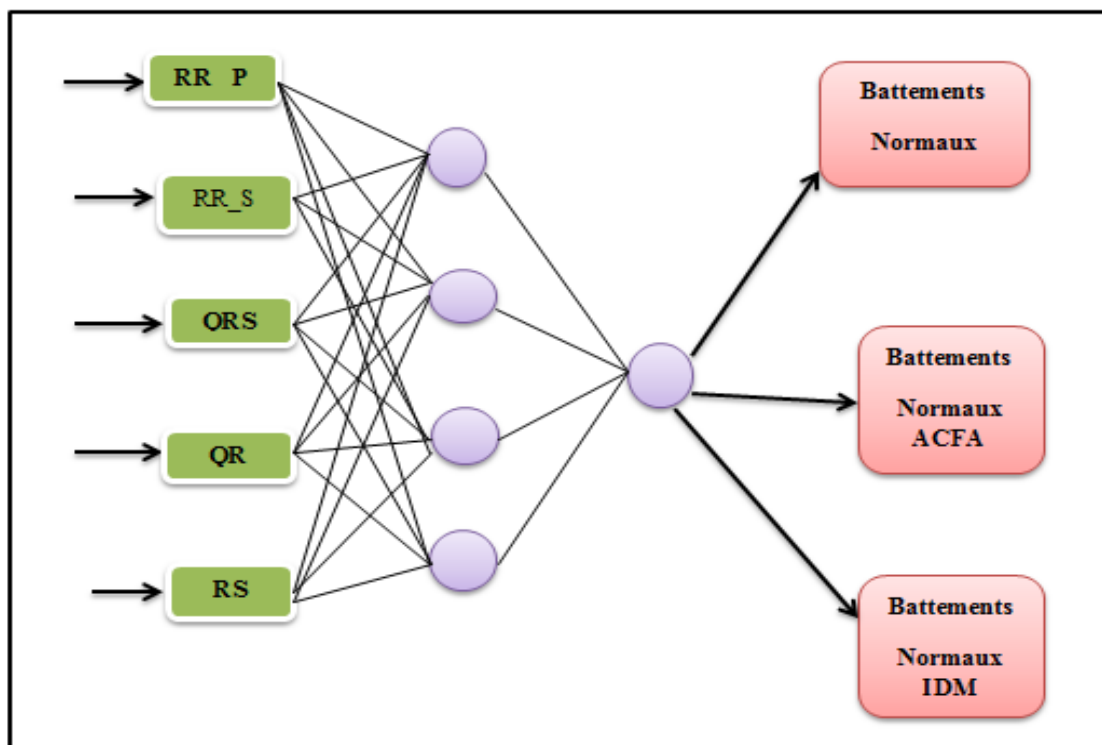


Figure 4.2 : Exemple d'un réseau de neurones utilisé.

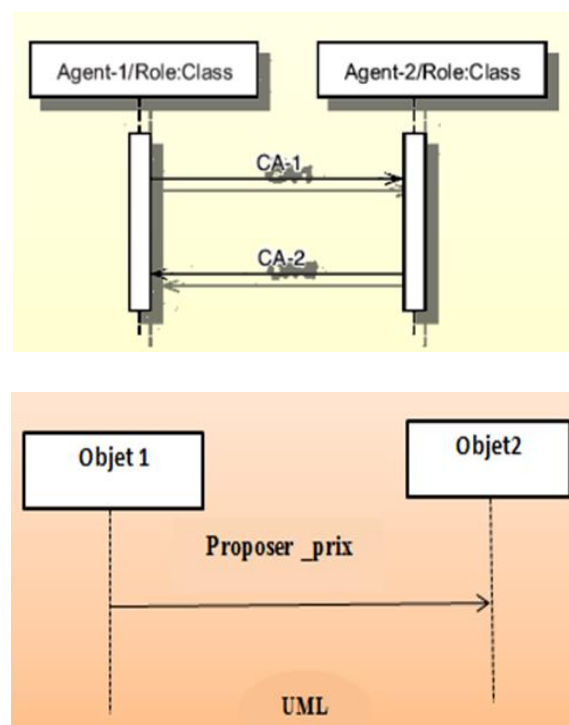
## 5. Les différentes représentations dans Agent UML

Agent UML est une extension d'UML. Par conséquent, il hérite des représentations proposées par UML telles que le diagramme d'activité, le diagramme de séquence, le diagramme de cas d'utilisation ainsi que le

diagramme de classe [71]. Dans ce qui suit, nous allons nous attarder sur les diagrammes de séquence devenus diagramme de protocole dans Agent UML ainsi que sur les diagrammes de classes.

### 5.1 Le diagramme de protocole

Les diagrammes de protocole (Appelés diagrammes de séquence dans UML) décrivent les protocoles d'interaction utilisés par les agents. Ils exploitent la richesse des communications entre agents (Actes de communications) [71]. Par conséquent, les messages sur les flèches style orienté objet laissent place à ces actes de communications. La figure 4.3 illustre la différence entre le diagramme de séquence dans UML et le diagramme de protocole dans Agent UML.



*Figure 4.3 : Comparaison entre le diagramme de séquence et le diagramme de protocole.*

UML a été étendu afin de représenter des actes de communications (AC) simultanés envoyés par l'agent émetteur et l'agent récepteur. On appelle ça les interactions concurrentes [72].

On distingue trois types d'interactions concurrentes :

- Actes de communication simultanés AC-1 \_a AC-n sont envoyés en parallèle.
- Une sélection de actes n est envoyée en parallèle.

- c. Choix exclusif : un seul des actes de communication est envoyé La Figure 4.4 illustre les différentes interactions concurrentes.

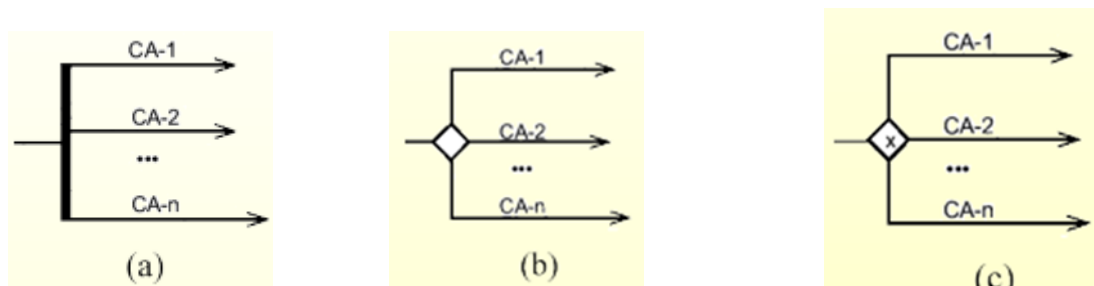


Figure 4.4 : Les différentes interactions concurrentes

### 5.2 Le diagramme de classe

Il existe deux approches pour étendre le diagramme de classe Agent UML an de représenter les agents. Ces approches sont celles de BAUER [2] et de HUGET [1]. Dans ce qui suit, nous allons représenter le diagramme de classe d'Agent UML selon l'approche de BAUER. BAUER [2] définit trois différents types de classes agents : le premier désigne une classe d'agent le second une classe d'agent satisfaisant un rôle distingué et le dernier définit une instance d'agent satisfaisant des rôles distingués. Les différents types de classes agent sont représentés dans la figure 4.5

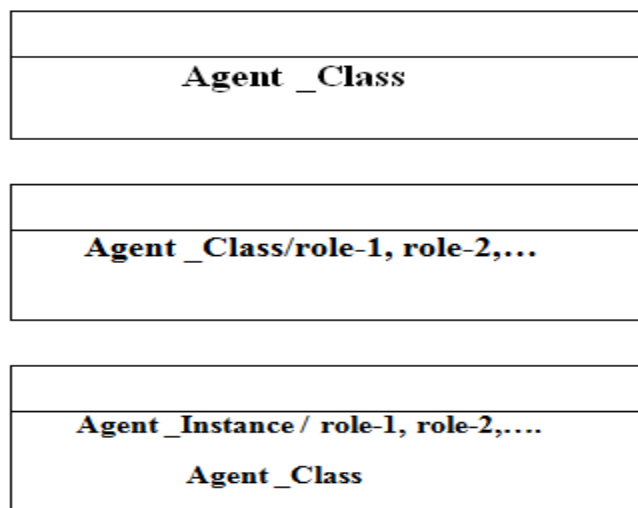
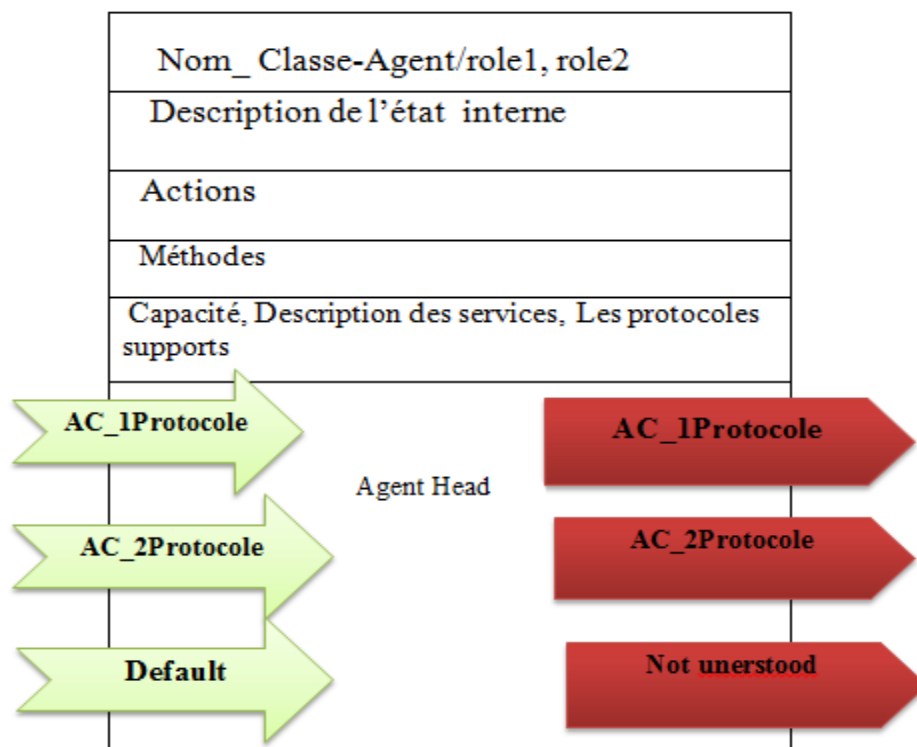


Figure 4.5 : Les différents types de classes agents

Une classe d'agent représente un agent ou un groupe d'agents pouvant jouer un rôle ou avoir un comportement déterminé. BAUER [2] définit le diagramme de classe agent comme suit (Figure 4.6)



*Figure 4.6: Diagramme de classe Agent UML*

Les propriétés de ce diagramme sont :

- Nom de la classe agent/ role1, role2... : Un agent d'une classe donnée peut avoir plusieurs rôles.
- Description des états : Définition de variables d'instance qui reflètent l'état de l'agent.
- Actions : deux types d'actions peuvent être spécifiés : action proactive exécutée par l'agent lui-même si une précondition devient vraie, et réactive résultant d'un message reçu d'un autre agent. En d'autres termes les actions sont les plans qu'a un agent.
- Méthodes : Elles sont définies comme dans UML, avec éventuellement des préconditions, post-conditions ou invariants.
- Envoi et réception de messages : description des messages émis et reçus par l'agent en Précisant les protocoles. Le diagramme de classe Agent UML est caractérisé par des messages entrants et sortants. La figure 4.6 illustre la différence entre les messages entrants et les messages sortants des agents selon AUML.



*Figure 4.7 : Symbole des messages*

## 6. Conception

Pour la conception de notre application, nous avons eu recours au langage Modélisation objet agent (Agent UML) Agent UML est une extension d'UML dans le but de bénéficier de ce standard incontournable. Dans notre phase de conception nous nous sommes intéressés à trois diagrammes de conception, à savoir :

- ✓ Le diagramme de cas d'utilisation.
- ✓ Le diagramme de protocole.
- ✓ Le diagramme de classe

### 6.1. Diagramme de cas utilisation

Ce diagramme permet de décrire l'aspect fonctionnel du système à travers l'ensemble des cas d'utilisation effectués par différents acteur qui participent à l'utilisation de l'application. Ainsi, Le diagramme de cas d'utilisation global illustre les 2 types d'acteurs de notre système, à savoir humain et logiciel. Un acteur humain qui provoque le chargement du signale ECG que l'on désire classifier. Un deuxième acteur logiciel sera nécessaire afin de lancer les agents de classification y inclus le processus d'apprentissage du réseau de neurone correspondant .La figure suivant va présenter le diagramme de cas d'utilisation de notre travail :

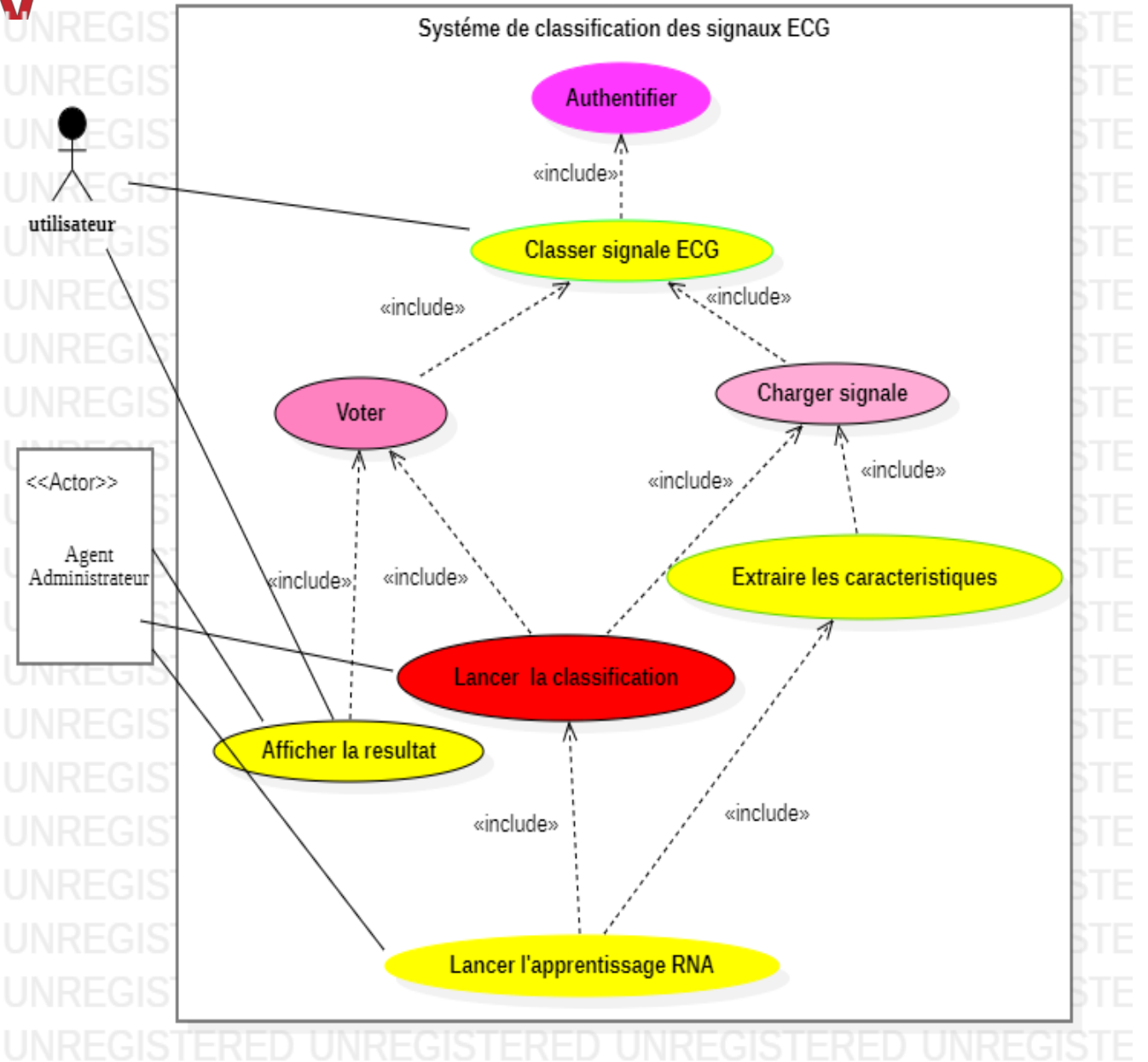
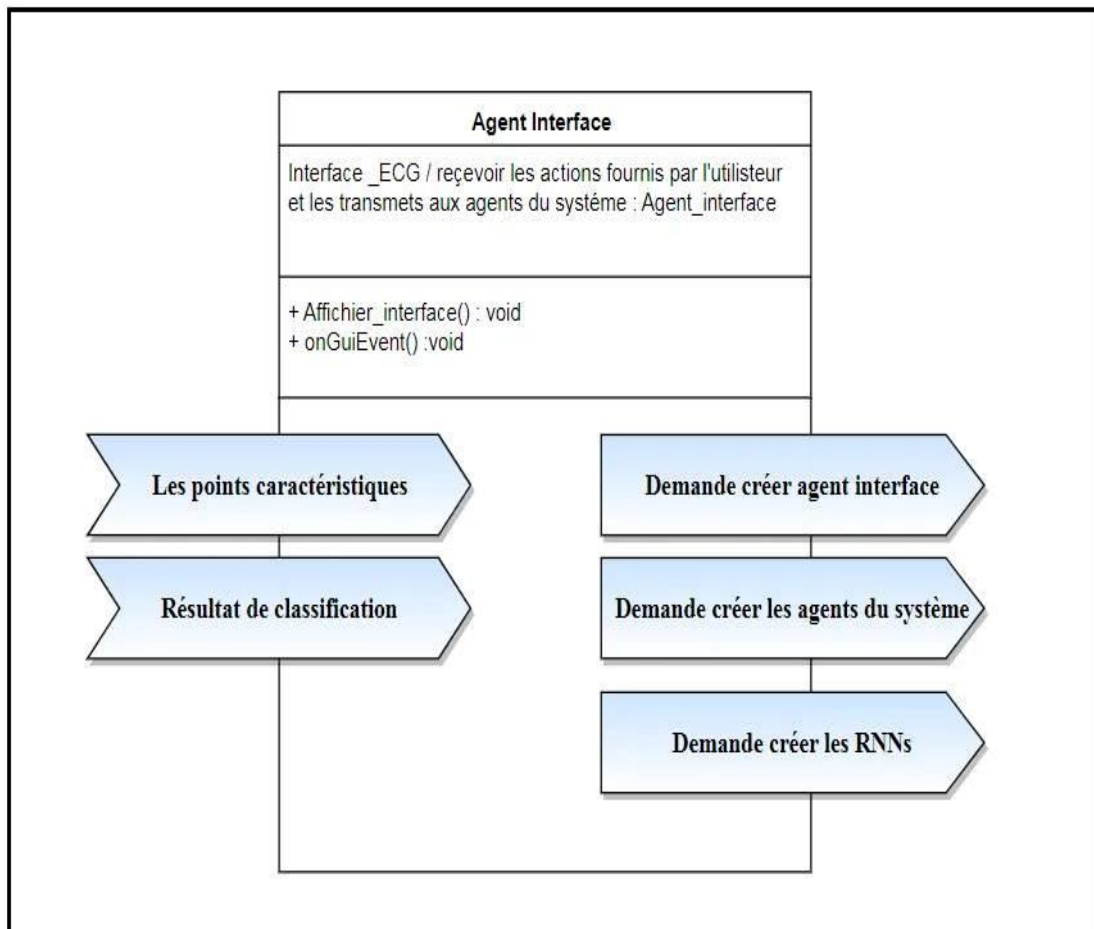


Figure 4.8 : Diagramme de cas utilisation

### 6.2 Le diagramme de classes d'agent

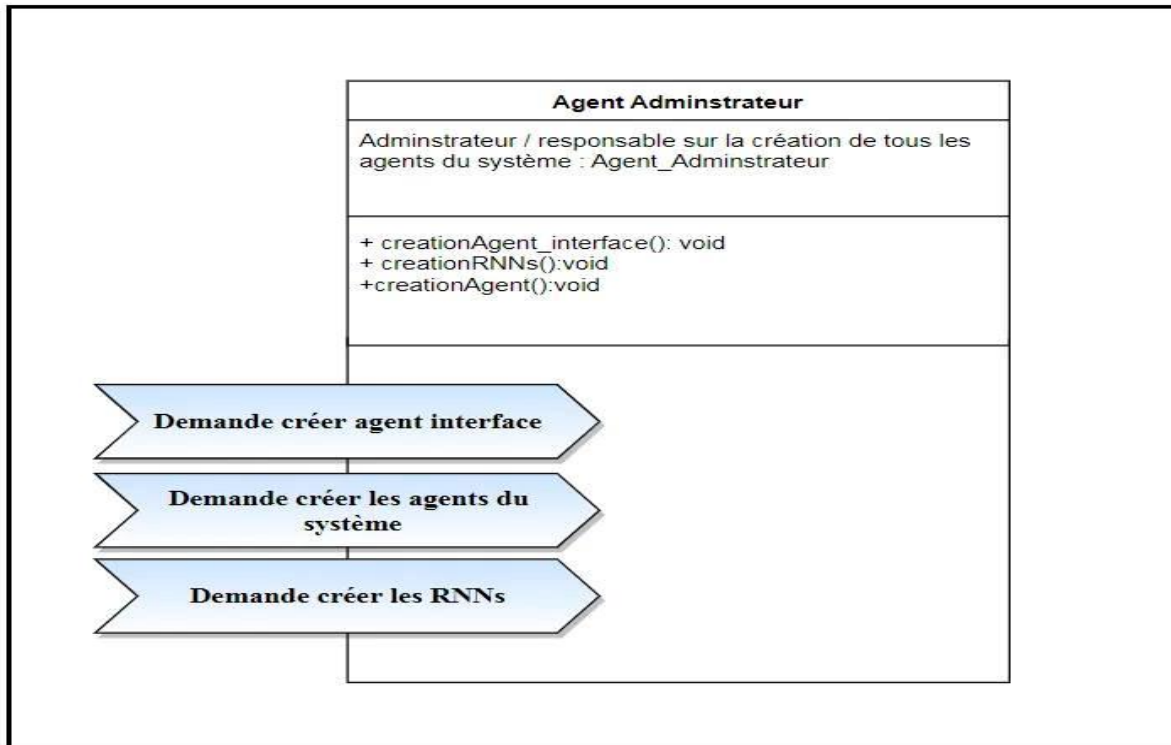
Nous avons employé le diagramme de classe pour représenter la vue statique

- Classe agent Interface:



*Figure 4.9 : diagramme de classe agent Interface.*

### ➤ Classe Agent Administrateur :



*Figure 4.10 : diagramme de classe agent extraction*

- Classe agent extraction:

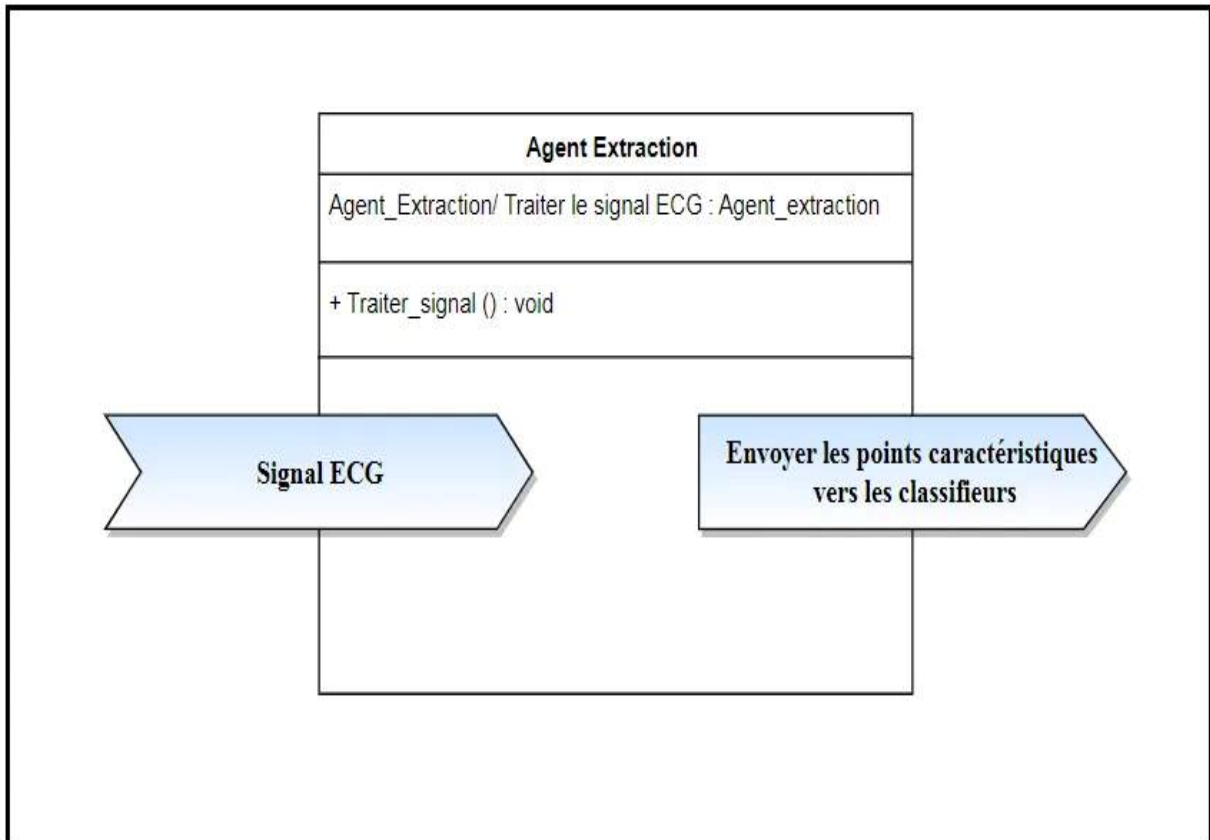


Figure 4.11: diagramme de classe agent extraction

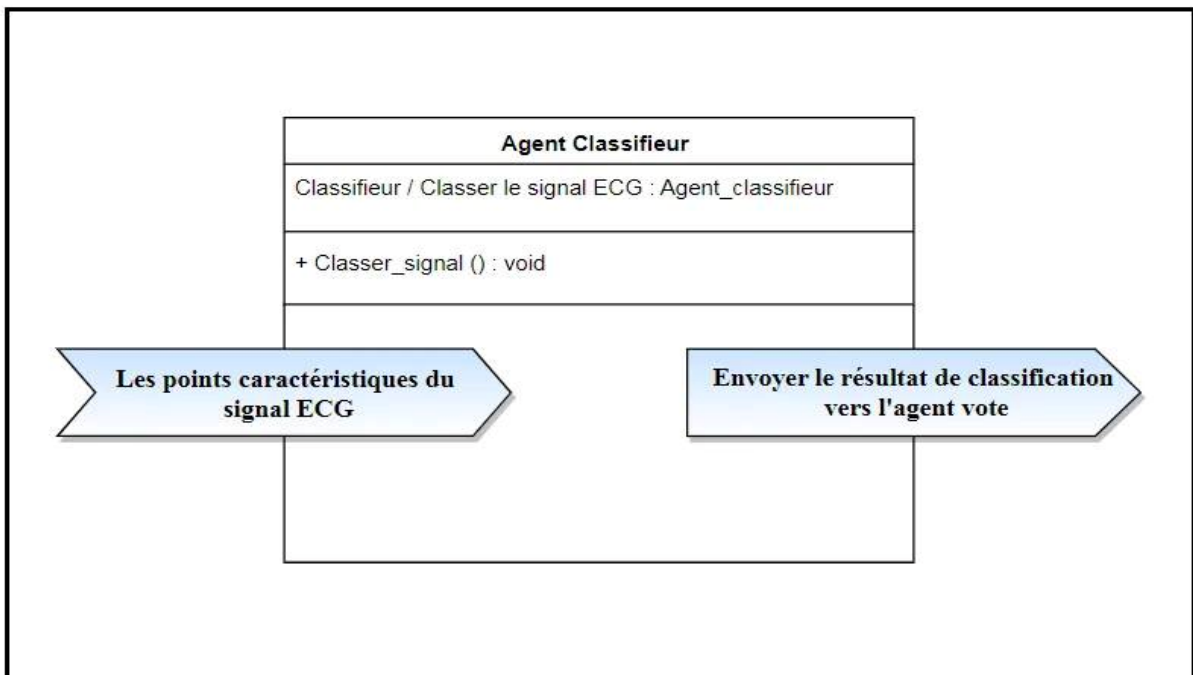
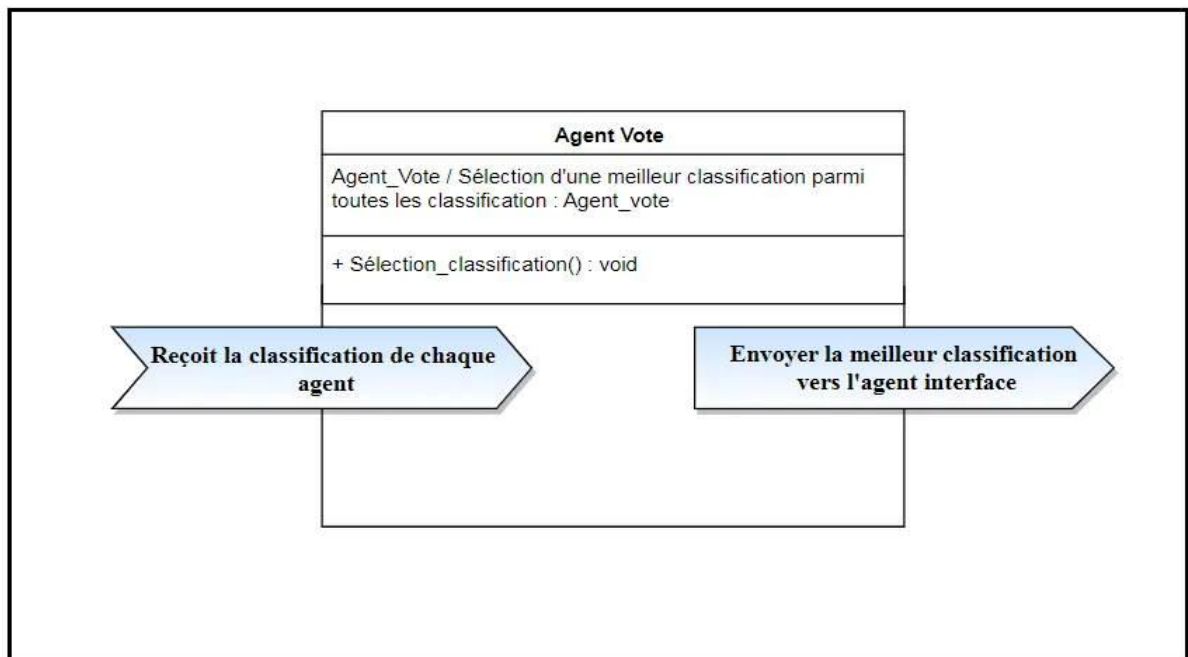


Figure 4.12: diagramme de classe agent classifieur

### ➤ Classe agent Vote



*Figure 4.13 : diagramme de classe agent vote*

### 6.3 Le diagramme de protocole d'agent

Les diagrammes présentés dans cette partie montrent la vue dynamique de notre système et les différentes interactions. Nous allons présenter les protocoles d'interactions les plus importants entre les agents.

## ➤ Diagramme de protocole Authentification

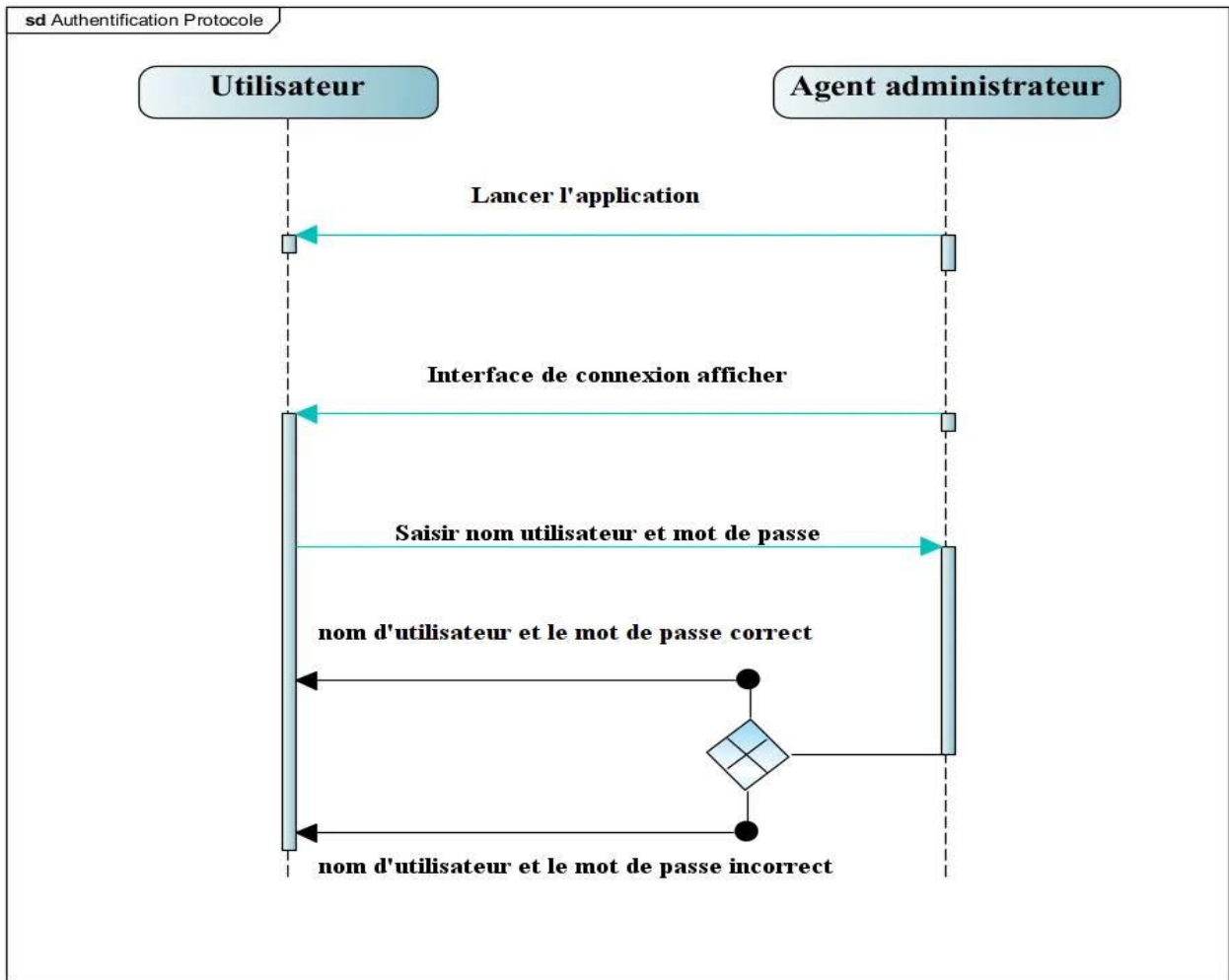


Figure 4.14 : Diagramme de protocole Authentification

## ➤ Diagramme de protocole charger le signale

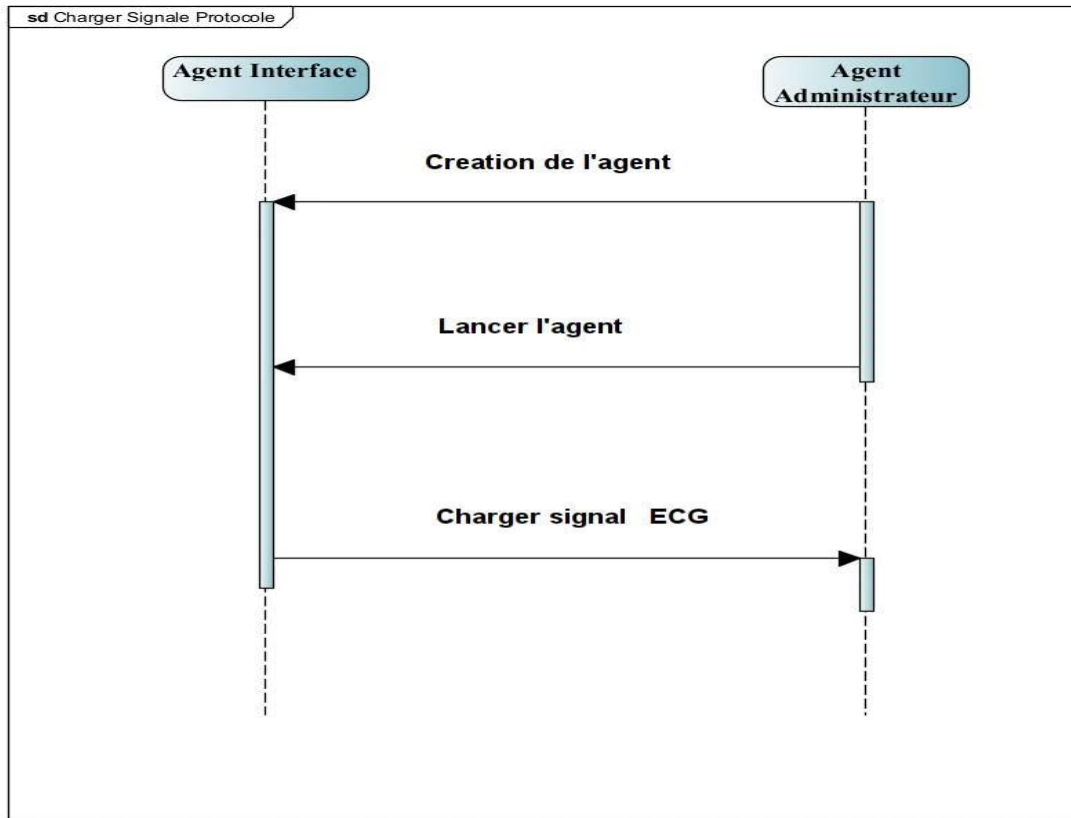


Figure 4.14 : Diagramme de protocole charger le signale.

## ➤ Diagramme de protocole extraction

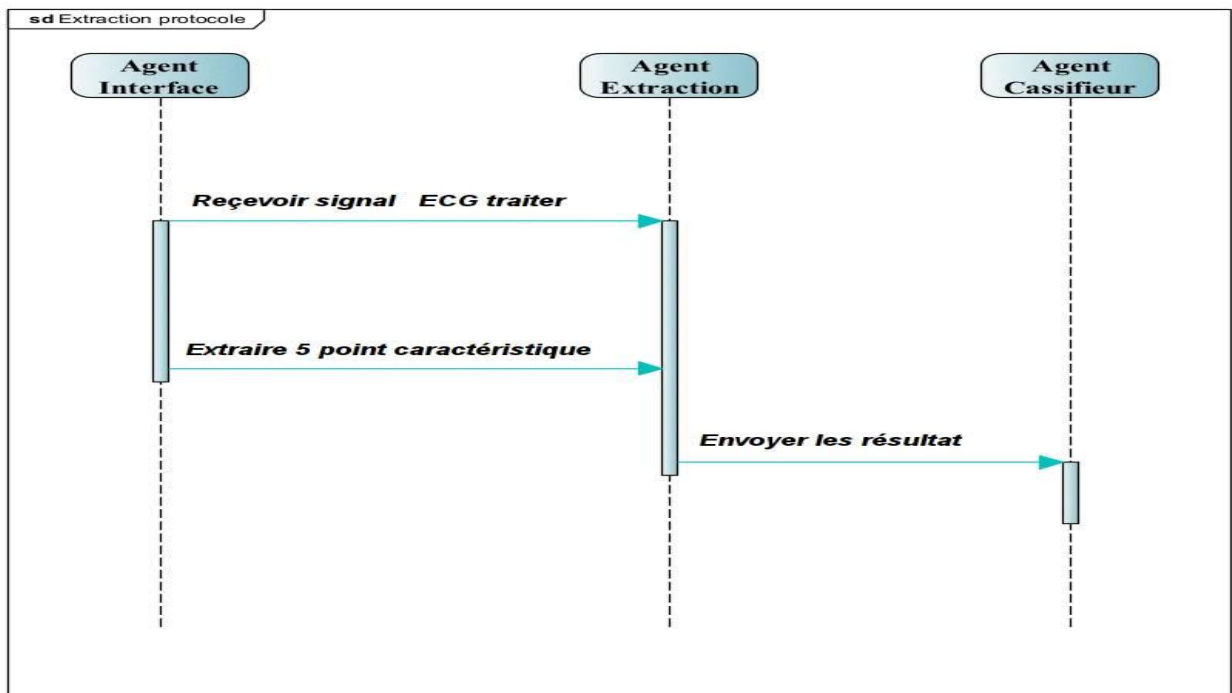


Figure 4.15 : Diagramme de protocole extraction.

### ➤ Diagramme de protocole Classifier signale

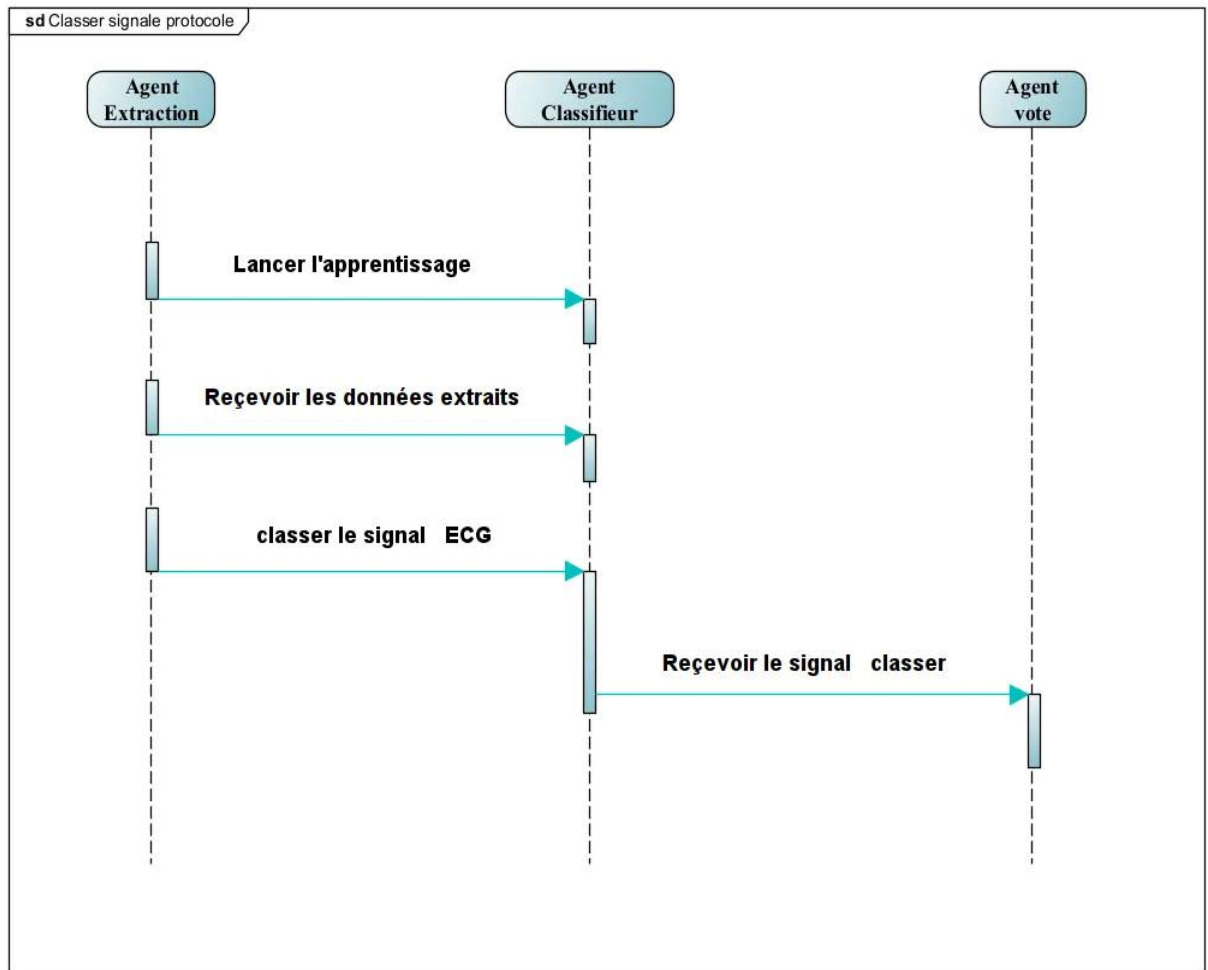


Figure 4.16 : Diagramme de protocole classer signale.

## ➤ Diagramme de protocole vote

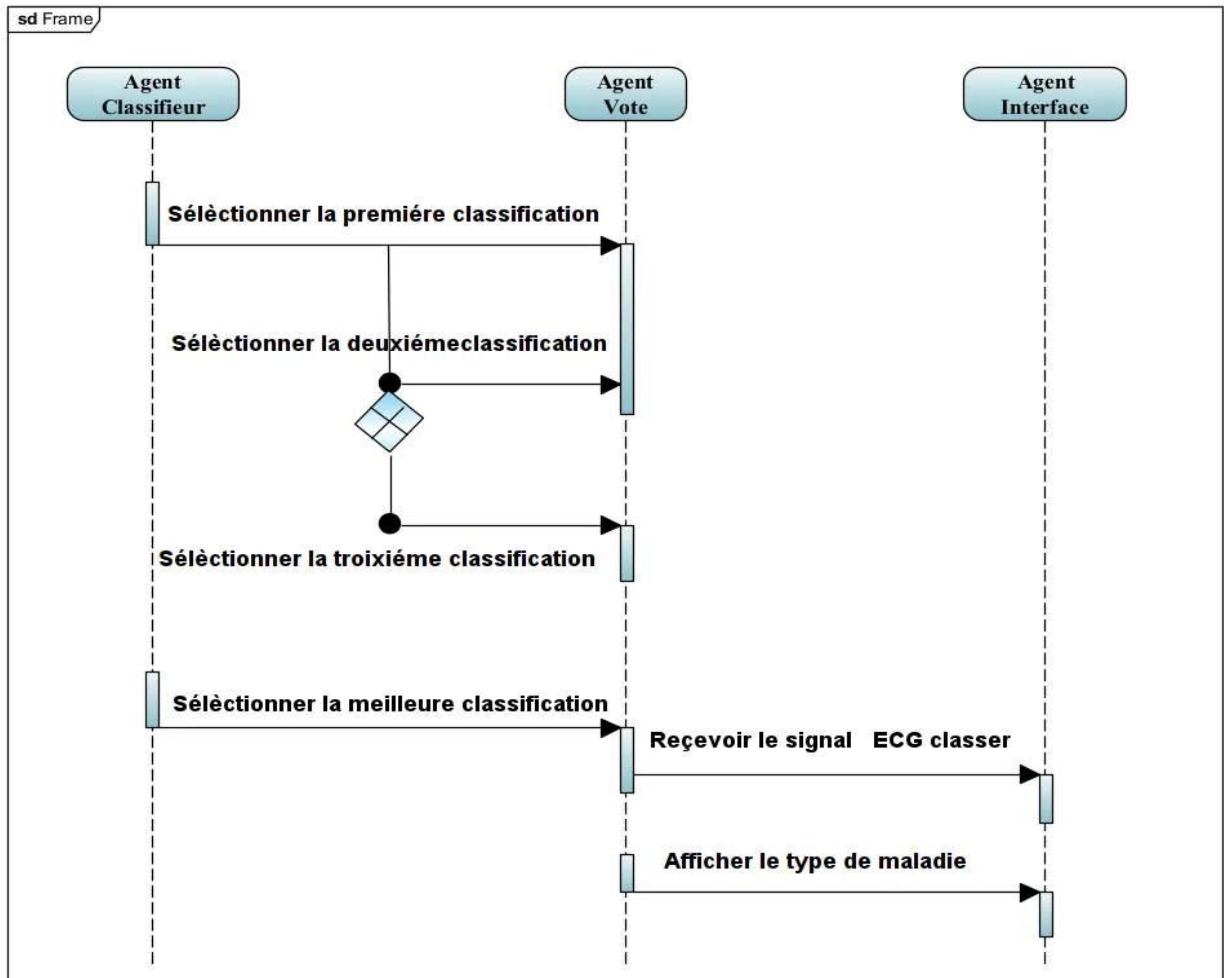


Figure 4.17 : Diagramme de protocole Vote.

### 7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une architecture d'un système capable de classifier les signaux ECG à travers la combinaison entre les réseaux de neurones et les systèmes multi agents. Ainsi, nous avons profité de l'importance des agents et de ses caractéristiques sociales afin d'agentifier les services fournis par le logiciel tout en assurant une meilleure décomposition de celui-ci. La puissance des réseaux de neurones en matière de classification permet d'obtenir au taux de classification pertinent.

The background is a light blue gradient with various medical icons. In the top left, there is a red heart with a white ECG line. To its right is a white syringe with a blue plunger. In the bottom left, a silver stethoscope is visible. In the bottom right, there is a white clipboard with a yellow clip. The text 'Chapitre 5' and 'Implementation' is centered in a bold, red, sans-serif font.

# **Chapitre 5**

## **Implementation**

### 1. Introduction :

Notre objectif est de développer une application pour la classification des signaux électrocardiogrammes, en utilisant les systèmes multi agents et les réseaux de neurones. Dans ce chapitre, nous présentons les outils nécessaires pour le développement de notre système, également les interfaces graphiques de l'application et les différentes fonctionnalités du système. Finalement, une discussion à propos des résultats obtenus sera présentée afin de juger l'efficacité de notre travail.

### 2. Outils de développement :

#### 2.1 Présentation de logiciel de développement (Netbeans)

NetBeans est un environnement de développement intégré (IDE) pour java, placé en open source par Sun en juin 2000 sous licence CDDL etGPLv2 (Common Development and Distribution License). En plus de Java, NetBeans permet également de supporter différents autres langages, comme Python, C, C++, XML, Ruby et HTML. Il comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne (éditeur en couleur, projets multi-langage, éditeur graphique d'interfaces et de pages web). Conçu en java, NetBeans est disponible sous Windows, Linux, Solaris (sur x86 et SPARC), Mac OS X et Open VMS. [73]

#### 2.2 Langage de programmation

Le langage Java est un langage de programmation informatique orienté objet créé par James Gosling et Patrick Naughton, C'est cette plateforme qui garantit la portabilité de Java Avec le langage Java, vous pouvez développer, des applications Desktop, développer des applets pour vos sites web, développer des sites en JSP, des applications pour téléphone mobile. [74]

#### 2.3.La plateforme de développement des agents JADE

Jade (Java Agent Development Framework) [75] est une plateforme multi-agent créée par le laboratoire TILAB. JADE permet le développement de système multi-agents et d'applications conformes aux normes FIPA. Elle est implémentée en Java et fourni des classes qui implémentent «JESS» (JavaExpert System Schell) pour la définition de comportement. JADE possède trois modules principaux (nécessaire aux normes FIPA) :

- DF «DirectorFacilitator» fournit un service de pages jeunes à la plateforme.
- ACC «Agent Communication Channel» gère la communication entre les agents.
- AMS «Agent Management System» supervise l'enregistrement des agents, leurs accès et l'utilisation du système. Le langage de

communication dans cette plateforme est FIPA-ACL (Agent Communication Language).

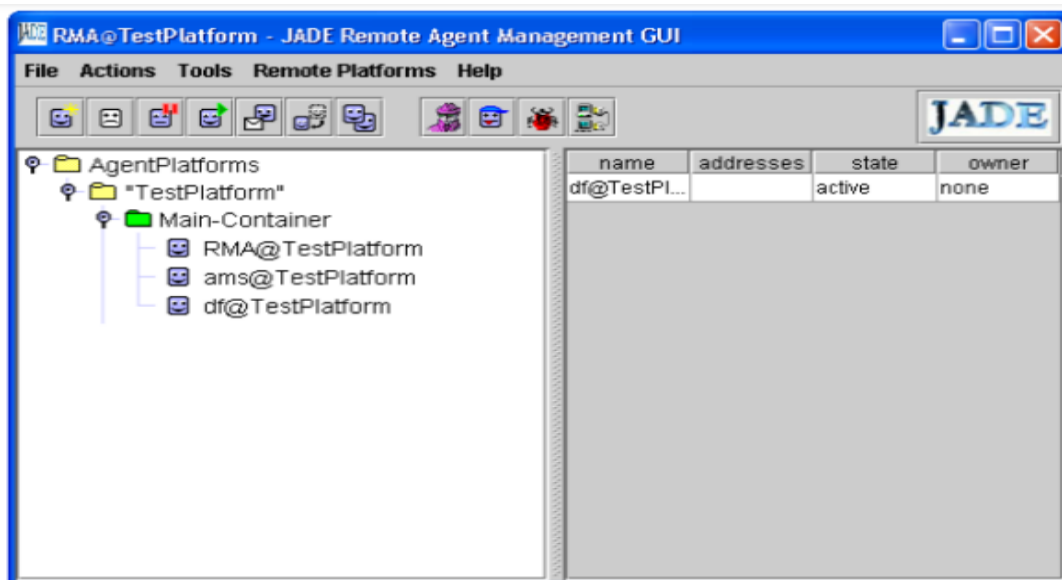


Figure 5.1 : Figure définit la plateforme JADE [76]

Chaque instance du JADE est appelée conteneur « Container », et peut contenir plusieurs agents. Un ensemble de conteneurs constitue une plateforme. Chaque plateforme doit contenir un conteneur spécial appelé main-conteneur et tous les autres conteneurs s'enregistrent auprès de celui-là dès leur lancement.

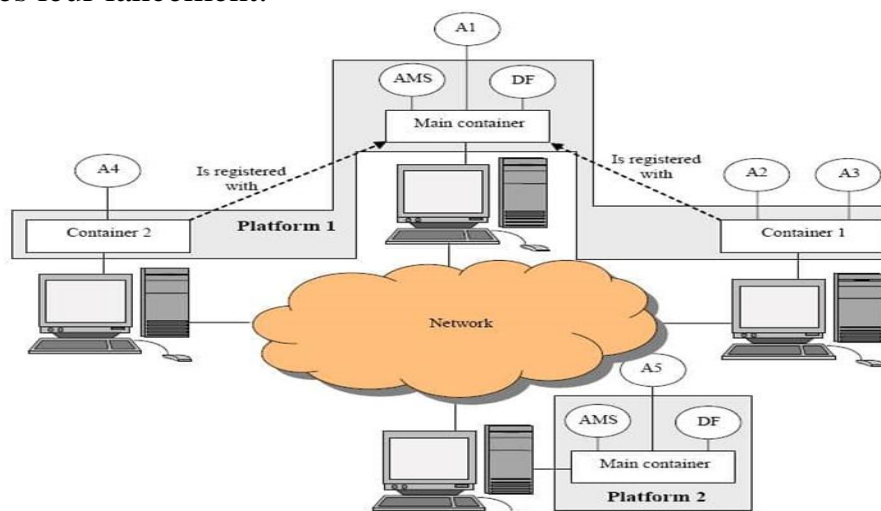


Figure 5.2. : Architecture Logicielle de JADE. [76]

### 2.4 La base de données MIT-BIH

La base de données sur l'arythmie du MIT-BIH (Massachusetts Institute of Technology-Beth Israel hospital) offre des données précieuses pour la détection de l'arythmie cardiaque. Cette base de données contient 48 enregistrements d'une durée d'une demi-heure sur deux voies (DII et V5). Chaque enregistrement ECG est échantillonné à une fréquence de

360 Hz. Les enregistrements correspondent à des sujets qui sont 25 hommes âgés de 32 à 89 ans, et 22 femmes âgées de 23 à 89 ans. Les signaux sont numérotés de 100 à 124 pour le premier groupe qui comporte une variété de formes d'ondes et de 200 à 234 pour le deuxième qui comporte une variété de cas pathologiques. Chaque enregistrement a été annoté indépendamment par plusieurs cardiologues (deux au moins) ce qui permet d'avoir des études plus fiables. Chaque battement cardiaque est associé avec une annotation du type d'arythmie, par exemple : normal (N), extrasystole ventriculaire (PVC), bloc de branche gauche (LBBB)...etc.

Cette base de données est largement utilisée à des fins de recherche fondamentale et de développement de dispositifs médicaux sur le rythme cardiaque et les maladies associées. Elle est aussi utilisée comme une référence pour la validation et la comparaison des algorithmes sur le signal ECG).[77].

### **2.5 Le laboratoire matriciel MATLAB**

Fournit une boîte à outils très riche permettant de traiter les signaux en se basant sur des fonctions prédéfinies dans ce domaine de traitement signal. En effet, et à partir d'une base de données des signaux déjà traité, nous allons faire l'extraction de ses caractéristiques afin de déterminer l'emplacement des ondes .... Les signaux traités sont tirés de la base de données universelle MIT-BIH

### **2.6 La bibliothèque de créations des réseaux de neurones (RNNs) Opencv**

Opencv Est une bibliothèque graphique libre, initialement développée par Intel, spécialisée dans le traitement d'images en temps réel. La société de robotique Willow Garage et la société ItSeez se sont succédé au support de cette bibliothèque.

La bibliothèque OpenCV met à disposition de nombreuses fonctionnalités très diversifiées permettant de créer des programmes en partant des données brutes pour aller jusqu'à la création d'interfaces graphiques basiques, parmi ces fonctionnalités les algorithmes d'apprentissage qui contient certains nombres d'algorithmes dans le domaine de l'apprentissage artificiel tel que :

- Réseaux de neurones Artificiels.
- K-means et les arbres de décision

## **3. Les anomalies cardiaques traitées**

L'anomalie ACFA et IDM sera prise en considération dans les expériences citées dans ce travail.

### **3.1 Une crise cardiaque (IDM)**

#### **3.1.1 Définition (Infarctus du myocarde)**

Une crise cardiaque survient quand l'apport en sang riche en oxygène est interrompu dans une partie du muscle cardiaque. Les crises cardiaques sont souvent causées par une obstruction des artères qui acheminent le sang au cœur. Les victimes d'une crise cardiaque éprouvent fréquemment des symptômes comme un serrement ou des douleurs à la poitrine, des douleurs dans le dos, le cou, la mâchoire ou le bras, un essoufflement, de la transpiration, des nausées et, à l'occasion, une perte de connaissance. En cas de crise cardiaque, le traitement immédiat consiste à trouver les artères obstruées et à les dégager. Par la suite, les soins destinés à assurer le meilleur rétablissement possible comprennent des changements au mode de vie et de nouveaux médicaments. [78]

### 3.1.2 Les différents types Infarctus du myocarde

Il existe deux types de crises cardiaques :

- ✓ Infarctus du myocarde avec élévation du segment ST (STEMI)  
Si l'artère coronaire visée est totalement obstruée par un caillot, la circulation sanguine est interrompue, ce qui endommage toute l'épaisseur du muscle cardiaque alimenté par cette artère. Cette situation entraîne une modification caractéristique sur l'électrocardiogramme appelée « élévation du segment ST ».
- ✓ Infarctus du myocarde sans élévation du segment ST Si l'artère coronaire n'est que partiellement obstruée par un caillot, la circulation sanguine diminue sans s'interrompre. Seule une partie du muscle cardiaque est endommagée, et l'ECG n'affiche aucune élévation du segment ST. Il s'agit là d'un infarctus du myocarde sans élévation du segment ST, ou crise cardiaque sans STEMI. En général, les STEMI sont des crises cardiaques plus graves que celles sans STEMI, en outre, les risques de complications en aval, comme l'insuffisance cardiaque, sont proportionnels à l'ampleur de la crise cardiaque. [79]

### 3.1.3 Diagnostic

L'évaluation commence par un ECG initial et en série et des mesures en série des marqueurs cardiaques afin de pouvoir distinguer l'angine instable, l'infarctus du myocarde avec élévation du segment ST (STEMI), et l'infarctus du myocarde sans élévation du segment ST (NSTEMI). Cette distinction représente la clé de l'arbre décisionnel, car la fibrinolyse, bénéfique en cas d'infarctus du myocarde avec sus-décalage du segment ST (STEMI), pourrait augmenter les risques en

cas d'infarctus du myocarde sans sus-décalage du segment ST (NSTEMI) et en cas d'angor instable. De plus, le cathétérisme cardiaque en urgence est indiqué en cas d'infarctus du myocarde avec sus-décalage du segment ST (STEMI) mais pas généralement dans l'infarctus du myocarde sans sus-décalage du segment ST (NSTEMI). [80]

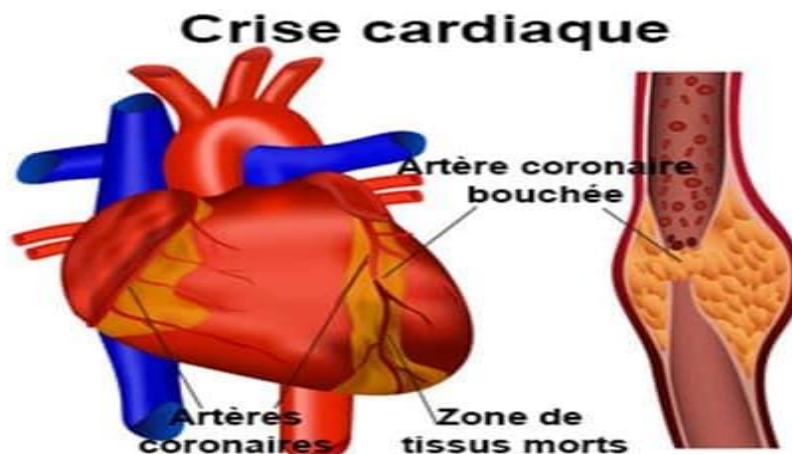


Figure 5.3 : Infarctus du myocarde [79]

### 3.2 Arythmie complète par fibrillation auriculaire (ACFA) [81]

#### 3.2.1 Définition

La fibrillation auriculaire est un trouble du rythme cardiaque (arythmie) qui consiste en une activation anarchique des oreillettes. Cela entraîne une absence quasi-complète des contractions auriculaires et, en corollaire, une contraction irrégulière des ventricules. En effet, le cœur est composé de quatre cavités, deux oreillettes et deux ventricules. Les oreillettes reçoivent le sang provenant des veines et les ventricules éjectent le sang par les artères.

#### 3.2.2 Les différents types de fibrillations auriculaires

En fonction de la fréquence et de la durée, on classe la fibrillation auriculaire en trois formes :

- ✓ La fibrillation auriculaire paroxystique : elle se manifeste sous forme de crises aiguës qui ne durent pas plus de sept jours et se terminent spontanément
- ✓ La fibrillation auriculaire persistante : elle dure plus de sept jours et ne se termine pas spontanément. Mais un traitement peut normaliser le rythme cardiaque
- ✓ La fibrillation auriculaire permanente : elle reste présente durablement, il n'est pas possible de retrouver un rythme normal.

### 3.2.3 Diagnostic

Le diagnostic d'arythmie cardiaque par fibrillation auriculaire est envisagé lorsque le médecin prend le pouls du patient et que celui-ci est rapide et irrégulier. Néanmoins, l'AC/FA peut être paroxystique, c'est-à-dire non permanente et survenir par "crises" : poser le diagnostic dans ces conditions n'est pas facile. L'examen indispensable à réaliser est l'électrocardiogramme (ECG) qui permet de mettre en évidence la contraction anarchique de l'oreillette. Parfois, notamment en cas d'ACFA paroxystique, il faut porter un Holter-ECG qui procédera à l'enregistrement du rythme cardiaque sur 24 heures.

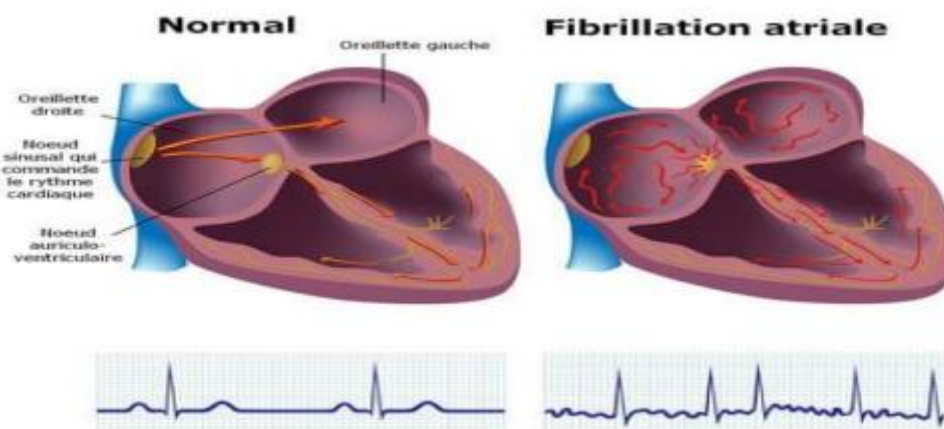


Figure 5.4 : la différence entre ECG normal et ACFA [82]

## 4. Développement de l'interface graphique

L'interface permet à l'utilisateur de faire apprendre les réseaux de neurones et lancer les agents relatifs à la classification, également elle permet de charger un signal ECG pour afficher le résultat son classification (signal normal ou une arythmie cardiaque). La figure ci-dessous représente l'interface graphique principale de notre système:

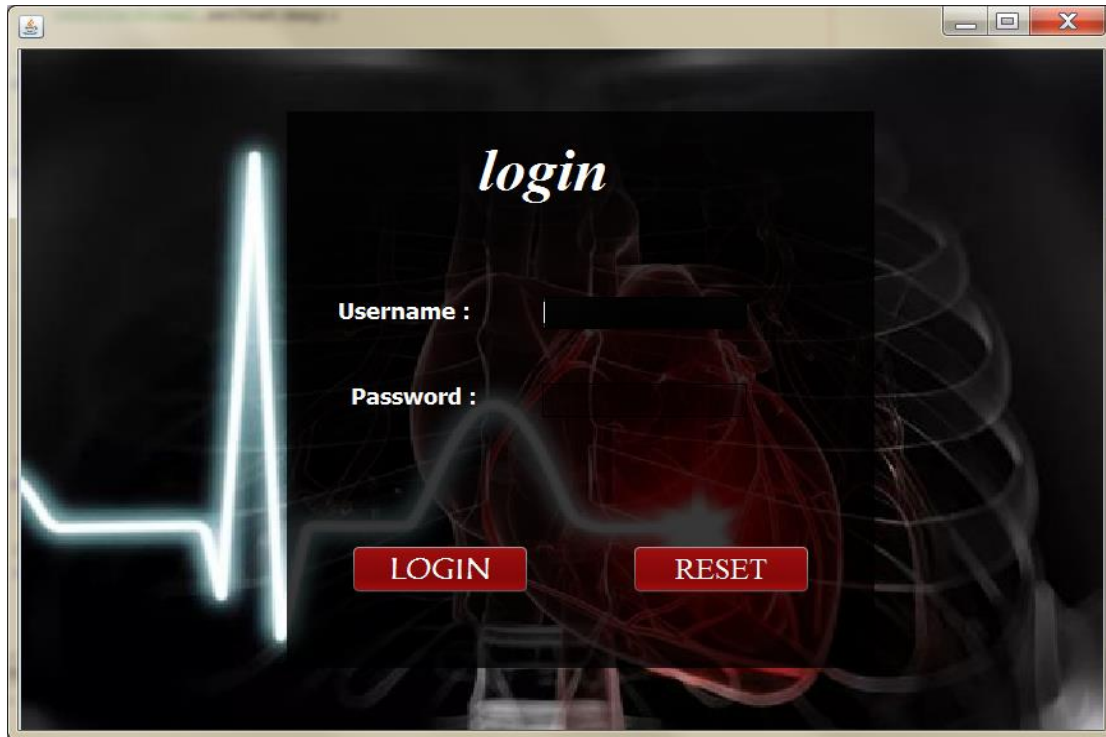


Figure 5.5 : L'interface graphique de l'authentification

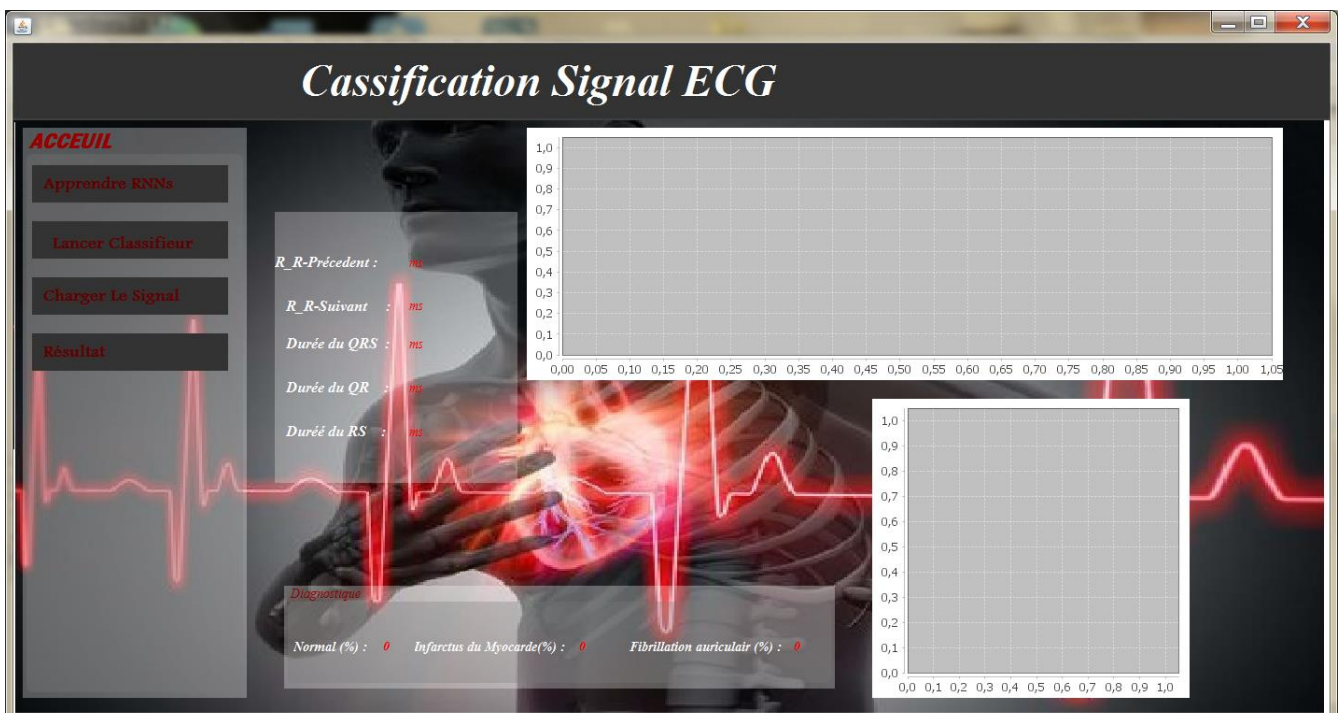


Figure 5.6 : L'interface graphique du notre système.

Via cette interface, les fonctionnalités réalisées par le système sont : 1) Lancement de l'apprentissage des réseaux de neurones :

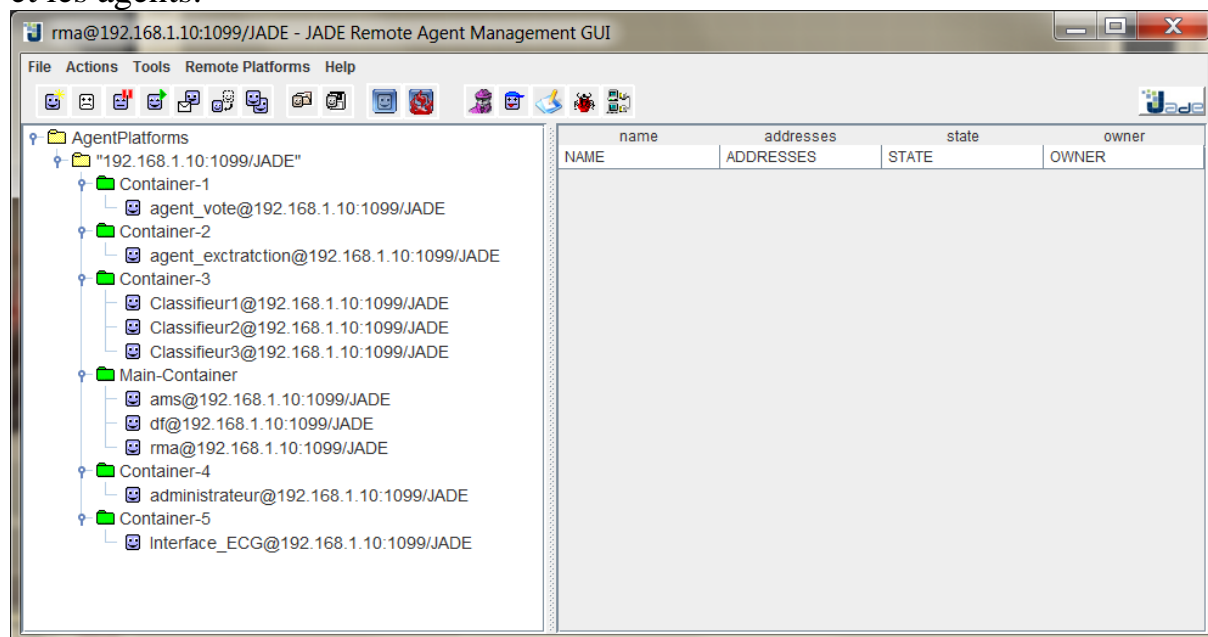
En s'appuyant sur une base de données d'apprentissage. Voici un extrait d'exécution :

```
RR_P:43.0 RR_S:-34.0, QRS:261.0, QR:-92.0, RS:40.0
RR_P:125.0 RR_S:123.0, QRS:63.0, QR:14.0, RS:49.0
RR_P:42.0 RR_S:-32.0, QRS:260.0, QR:-89.0, RS:189.0
RR_P:52.0 RR_S:106.0, QRS:75.0, QR:26.0, RS:49.0
RR_P:43.0 RR_S:-34.0, QRS:261.0, QR:-92.0, RS:40.0
RR_P:353.0 RR_S:363.0, QRS:49.0, QR:37.0, RS:12.0
RR_P:390.0 RR_S:397.0, QRS:18.0, QR:10.0, RS:8.0
RR_P:237.0 RR_S:233.0, QRS:18.0, QR:12.0, RS:6.0
RR_P:281.0 RR_S:286.0, QRS:23.0, QR:14.0, RS:9.0
RR_P:234.0 RR_S:241.0, QRS:21.0, QR:12.0, RS:9.0
```

*Figure.5.7 : La phase d'apprentissage.*

b) Lancement des agents de classification : La plate-forme Jade affiche une interface graphique (GUI). Cette dernière agent de contrôle RMA et les agents de notre système.

♣ L'agent RMA, qui se charge de contrôler le cycle de la plateforme et les agents.



*Figure.5.8 : le RMA avec les agents de notre système.*

c) La classification:

L'utilisateur doit charger le signal ECG en vue de leur classification.

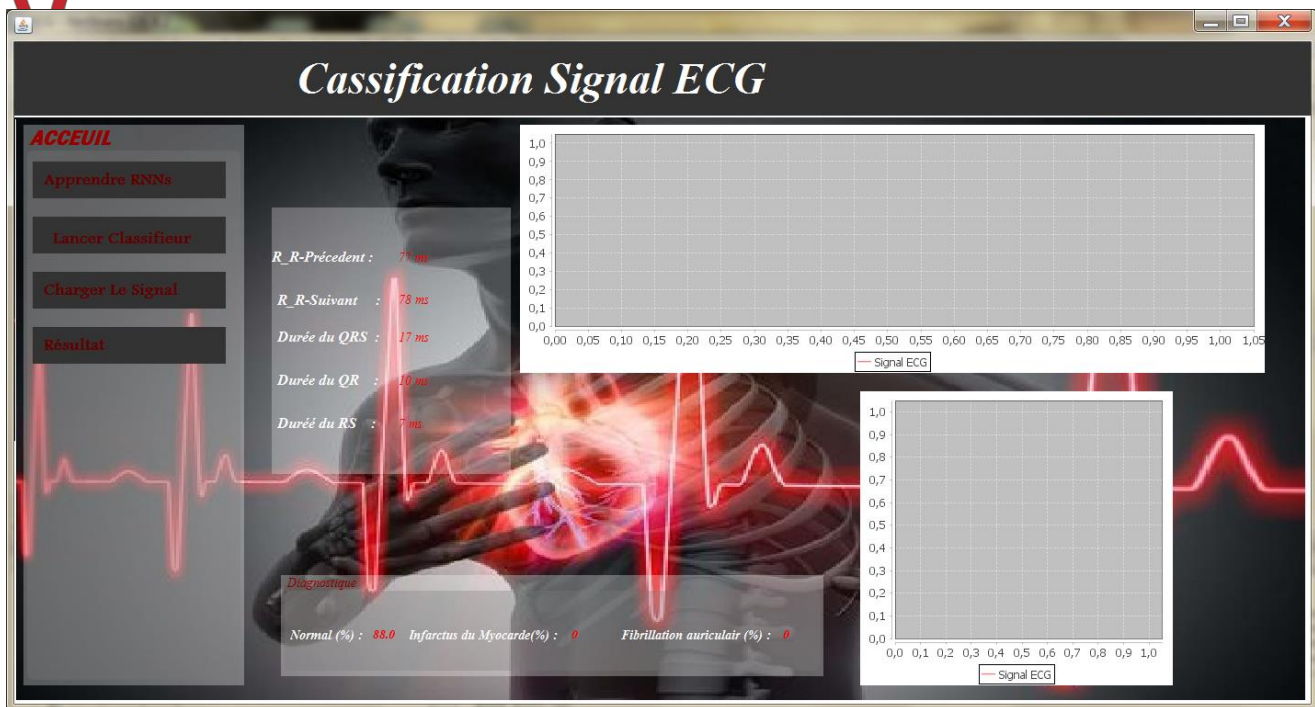


Figure 5.9 : Un exemple de classification par notre système. (Résultat Normal)

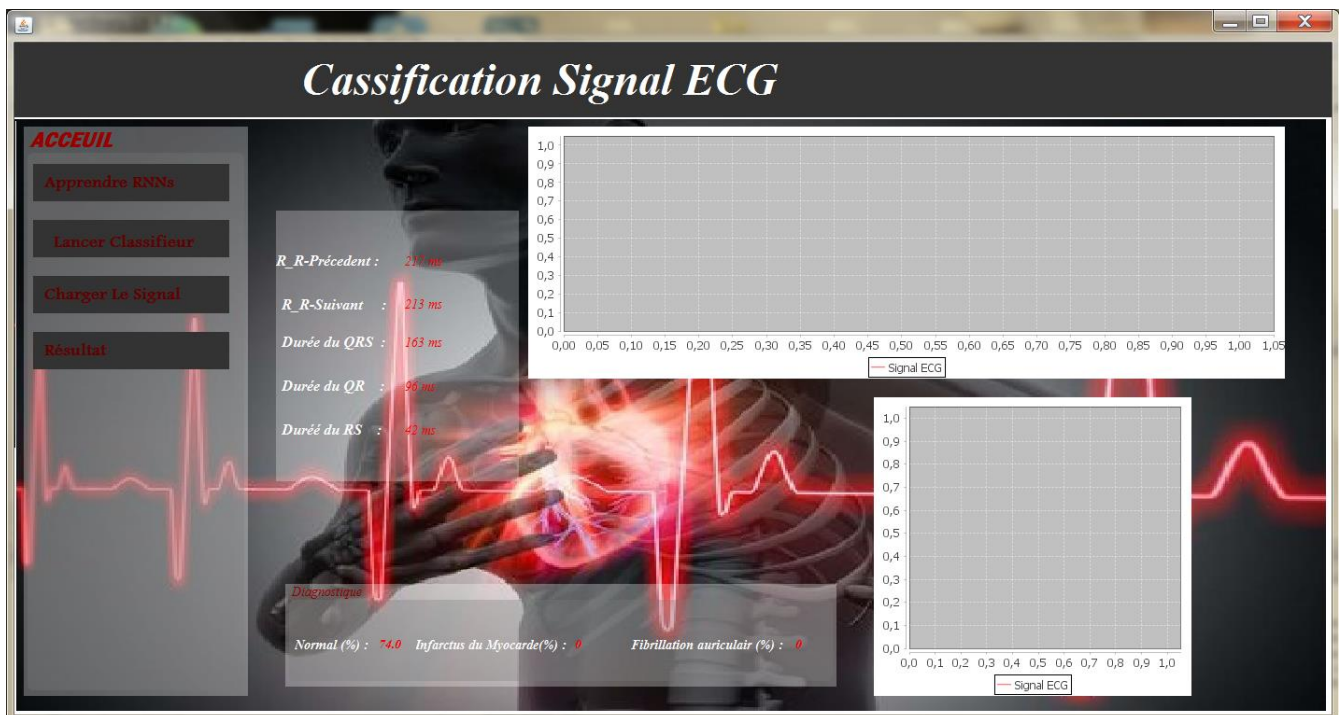
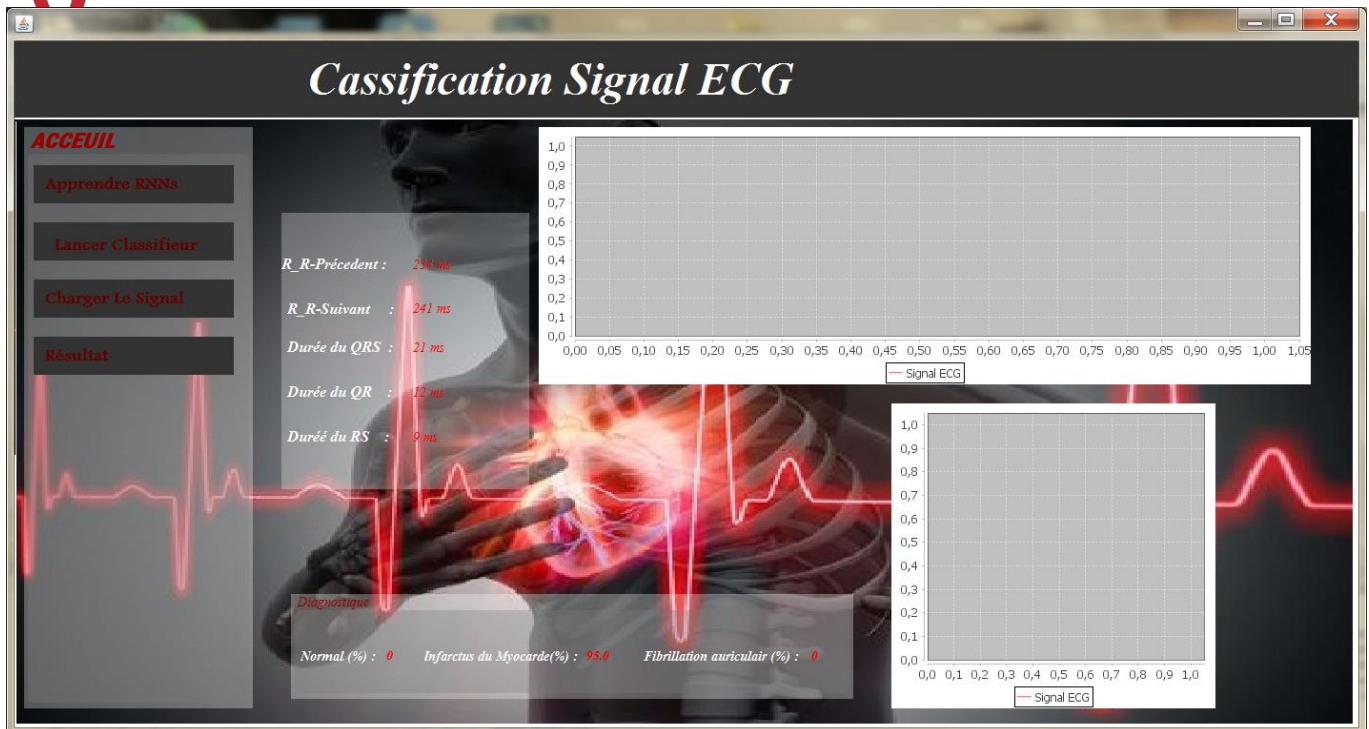
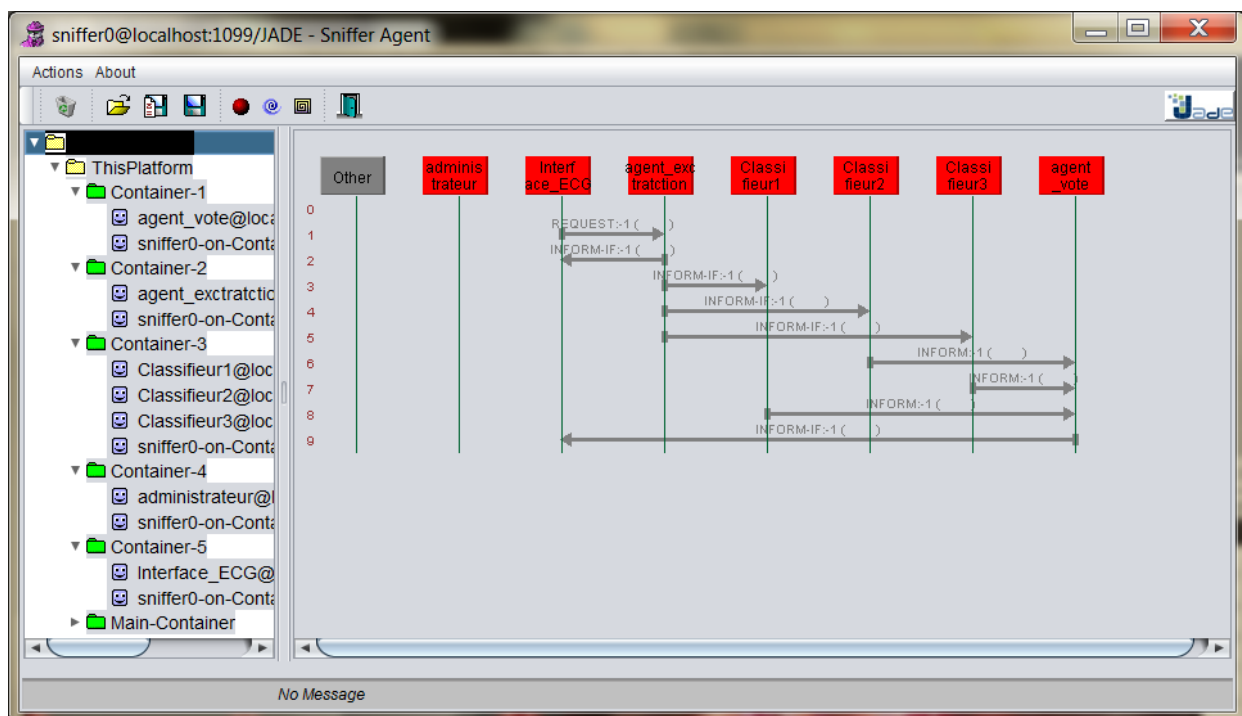


Figure 5.10 : Un exemple de classification par notre système. (Résultat Normal)



**Figure 5.11 : Un exemple de classification par notre système. (Infarctus du myocarde).**

Après la classification, on peut visualiser l'échange des messages entre les agents du système à l'aide Sniffer de la plateforme Jade.



**Figure 5.12 : L'échange des messages entre les agents de système**

### 7. Résultats et analyse Dans notre travail

On implémenté trois classifieurs neuronaux qui donnent des taux de classification du signal ECG satisfaisants et prometteurs. D'après les expériences qu'on a effectuées nous avons constaté qu'un classifieur composé de deux couches cachées est approprié pour obtenir des meilleurs taux de classification et cela dans un temps d'apprentissage minimal. Ainsi, le tableau suivant va montrer le taux de classification de chacun des réseaux de neurones adoptés mais aussi le temps d'apprentissage consacré.

	Classifieur 1	Classifieur 2	Classifieur 3
Temps d'apprentissage (ms)	31	62	32
Temps de test	0.98	0.98	0.98

*Tableau 5.1 : Etude comparative des Classifier*

L'utilisation des agents est justifié afin d'assurer une meilleur décomposition du système ce qui va nous permettre la maitrise de la complexité de notre travail. Pour cela, et afin de garantir un temps de réponse optimal du système, on a utilisé des agents de type réactifs en exploitant la notion de parallélisme qui se trouve au niveau de la plateforme Jade.

D'après les tests, on a pu remarquer que l'introduction des agents au sein de notre système permet d'obtenir un temps de réponse

### 8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une implémentation à notre conception. Nous développons un système multi agents neuronal qui est capable de classifier les signaux ECG et permettant ainsi de fournir une classification optimale dans un temps raisonnable tout en maitrisant la complexité du problème avec sa décomposition en agents.



# Conclusion Générale

### Conclusion

Le but de notre projet est d'obtenir une application de classification efficace, donc nous cherchons à développer un système automatique d'analyse du signal ECG, capables d'aider les médecins à faire le diagnostic cardiaque qui semble indispensable en raison du grand nombre de patients dans les unités de soins intensifs et de la nécessité d'une observation continue.

Le travail réalisé dans ce mémoire concerne le développement, la réalisation et l'évaluation d'une méthode de classification et de discrimination des arythmies et d'anomalies cardiaques très fréquente appelées IDM et ACFA faisant appel aux systèmes multi-agent avec une expertise neuronale.

Le classificateur de réseau neuronal perceptron multicouche est utilisé pour classer les trois types de battements ECG (battement normal, battement de fibrillation auriculaire, battement d'Infarctus du myocarde), notre système a été validé sur des signaux ECG des différents patients extraits de la base de données universelle (Benchmark) MIT-BIH.

Pour mieux structuré et organiser notre problème complexe, il fallait le décomposer en plusieurs parties en adoptant l'approche multi-agent qui nous semblait intéressante afin de bien maîtriser la complexité du problème et qui permettait d'agentifier les services fournis par le logiciel.

Les résultats obtenus par notre application sont très satisfaisants et sont justifié par un taux de classification intéressant des signaux ECG. Comme perspective de notre travail, on va réfléchir de généraliser l'application afin de classer plusieurs types d'anomalies cardiaque.

The background is a light blue gradient with various medical icons. In the top left, there is a red heart with a white ECG line. To its right is a white syringe with a blue plunger and a needle. In the bottom left, a silver stethoscope is visible. In the bottom right, there is a white clipboard with a blue border and a yellow clip. The word 'Bibliographie' is centered in a bold, red, sans-serif font.

# **Bibliographie**

N°	Bibliographies
[1]	A. BELKHIRI & S. SLIMI, «Elaboration d'une application d'analyse automatique d'ECG dérivations au repos sous LABVIEW», Master en Imagerie et Appareillage Biomedical de l'université M'Hamed Bougara , Boumerdes, Algérie, 2013
[2]	A.Cabasson ; « estimation et analyse des intervals cardiaque », thèse de doctoarat université de nice-Sophia Antipolis, 2008.
[3]	D. AMZIL, « Méthode hybride pour la restauration des signaux : ECG, EEG, EMG », MASTER, Université Mohamed Khider Biskra, Juin 2012
[4]	E. GUÉGUEN, « Étude et optimisation des techniques UWB haut débit multi bandes OFDM», Thèse de doctorat en Électronique, Institut National des Sciences Appliquées de Rennes (Institut d'Électronique et de Télécommunications), France, 14 janvier 2009.
[5]	<a href="https://www.coeuretavc.ca/coeur/qu-est-ce-que-les-maladies-du-coeur/commentfonctionne-le-coeur">https://www.coeuretavc.ca/coeur/qu-est-ce-que-les-maladies-du-coeur/commentfonctionne-le-coeur</a>
[6]	<a href="https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/heart-anatomy/">https://www.texasheart.org/heart-health/heart-information-center/topics/heart-anatomy/</a>
[7]	<a href="https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-coeur-6849/">https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-coeur-6849/</a>
[8]	<a href="http://campus.cerimes.fr/cardiologie-etmaladiesvasculaires/enseignement/cardio_4/site">http://campus.cerimes.fr/cardiologie-etmaladiesvasculaires/enseignement/cardio_4/site</a>
[9]	H. AMARA, N. HAMZAOU, « Débruitage de Signal Electrocardiogramme (ECG) par la Transformée de Walsh-Hadamard et la Transformée des Ondelettes : Applications dans le Domaine de la Diagnostic des Maladies Cardiaques », Master,
[10]	H. MEZIANE, « Acquisition de signaux Electrocardiogrammes (ECG) à l'aide de la carte DSPACE », mémoire de fin d'études, Université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen, le 02 Juillet 2003
[11]	I. HOUAMED, « Détection de l'Onde P dans un Signal ECG », Magister en électronique, Université de Batna, 17/04/2011
[12]	J. TERRIEN, « Construction de la courbe d'évolution du rythme cardiaque et de la respiration à partir d'un ECG », Projet de TP, Automne 2003Université Dr. Tahar Moulay Saida 14 /06/2016
[13]	R. BENALI, « Analyse du signal ECG par réseau adaptif d'ondelettes en vue de la reconnaissance de pathologies cardiaques », Doctorat en Sciences, Université Abou Bekr Belkaid, Avril 2013
[14]	S. RAMESH, T. SUMANAM, « classification of ECG signals », Master of Science, California State University, Sacramento, 2016

[15]	Standardization of precordial leads. Joint recommendations of the American Heart Association and the Cardiac Society of Great Britain and Ireland » Am Heart J. 1938 ;15:235-9
[61]	Guide Pratique de l'ECG - J. Sende. Ed. ESTEM. 2003.
[17]	Nadia KRICHANE et Samira TAZEBOUDJT, « Classification des signaux ECG par les réseaux de neurone probabiliste », Mémoire de master, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 1er Octobre 2015.
[18]	Med Ben MESSAOUD, " Traitement des Électrocardiogrammes en Vue de Diagnostic des Pathologies Cardiaques ", thèse de Doctorat, école nationale d'ingénieurs de Sfax, 2008.
[19]	J. Willis Hurst. « Naming of the Waves in the ECG, With a Brief Account of Their Genesis » [archive] Circulation 1998 ; 98:1937-42
[20]	M. DJEKOUN, R. DJEBAR, S. BENSOLTANE, L. GHRIEB, « contribution des reseaux de neurones artificiels (RNA) a la caracterisation d'un stress oxydatif chez saccharomyces cerevisiae induit par le cadmium. mise en evidence d'un biomarqueur potentiel (cas du malondialdehyde) », Université Mentouri-Constantine, Algérie, Juin 2011
[21]	Ramla Halimi Yamina Hammouya, « Classification d'un signal ECG par RNA(RBF)», Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 30/06/2019.
[22]	Zahir ASRADJ, « Identification des systèmes non linéaires par les réseaux de neurones »
[23]	B.K. Bose, « Artificial neural network applications in power electronics » Proceedings of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'2001), pp.1631– 1638, Denver, CO, NovemberDecember 2001.
[24]	M. TALBI, « analyse et traitement du signal électrocardiographique (ECG) », Doctorat en Sciences, Université Mentouri de Constantine, 2011
[25]	F. RABAH, « La séparation aveugle de sources par les techniques neuronales », Magister en Electronique, Université de Batna, 01/23/2014
[26]	<a href="http://villemin.gerard.free.fr/Wwwgvmm/Logique/IANeuron.htm">http://villemin.gerard.free.fr/Wwwgvmm/Logique/IANeuron.htm</a>
[27]	P.K. Simpson, « Artificial Neural Systems », Pergmon Press Elmsford, New York, 1989
[28]	Cybenko, G. (1989) « Approximation by superpositions of a sigmoidal function: Math

	», Control, Signais and Systems, 2, 303-314.
[29]	NEMISSI, Mohamed. Classification et reconnaissance des formes par algorithmes hybrides. Thèse de doctorat. Université du Guelma 2009
[30]	F. RABAH, « La séparation aveugle de sources par les techniques neuronales », Magister en Electronique, Université de Batna, 01/23/2014
[31]	G. Dreyfur. « Réseaux de neurones : Méthodologie et application », édition Eyrolles, 2004.
[32]	M. TALBI, « analyse et traitement du signal électrocardiographique (ECG) », Doctorat en Sciences, Université Mentouri de Constantine, 2011
[33]	K.J. Hunt, D. Sbarbaro, R. Zbikowski, P.J. Gawthrop, « Neural networks for control systems – A survey » ; Automatica, Vol.28, No.6, pp.1083–1112, 1992.
[34]	Mr.belgacem.Amar, Classification des signaux ECG avec un système-multi-agent neuronale, Magister ,TELMCEN,2012.
[35]	Lotfi Baghli---- Contribution à la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux de neurones et des algorithmes génétiques, Doctorat,1999.
[36]	Rumelhart, D.E., Hinton, E. et Williams, J. (1986) « Learning internal representation by error propagation » Dans Parallel distributed processing. Vol.1. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. pp. 318-362.
[37]	M. Parizeau, « Réseaux de neurones » ; Notes de cours (GIF-21140 et GIF-64326), Université Laval, Canada, Automne 2004.
[38]	<a href="https://fr.my-ekg.com/comment-lire-ecg.html">https://fr.my-ekg.com/comment-lire-ecg.html</a>
[39]	Marc Parizeau, « RÉSEAUX DE NEURONES, GIF-21140 et GIF-64326 », UNIVERSITE DE LAVAL, automne 2004.
[40]	Widrow, B. et Lehr, M.A. (1990). 30 years of adaptive neural networks: perceptron, madaline and backpropagation. Proceedings of the IEEE, 78(9) : 1415-1442.
[41]	P. Wira, « Approches neuromimétiques pour l'identification et la commande » ; Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Haute Alsace, France, Novembre 2009.
[42]	B.K. Bose, « Artificial neural network applications in power electronics » ; Proceedings of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'2001), pp.1631– 1638, Denver, CO, NovemberDecember 2001.
[43]	G.Weiss. Multiagent systems.A modern approach to distributed artificial

	intelligence.MIP Press,Cambridge,United Kigdom, 1999
[44]	Hayes-Roth. F, Erman. L,Fous. S,Lark. J. S, & Davidson. J, (1988), ‘‘ ABE : à Cooperative Operating System and Development Environment. ‘‘ In Reading in Distributed Artificial Intelligence, A.Bond et Gasser (ED.), Morgan Kaufman
[45]	Jarras. I, & Chaib-draa. B, (2002), «Apercu sur les systèmes multiagents ». Série scientifique. Centre interuniversitaire de recherche en analyse es organisation .Montréal,Canada.
[46]	R. Fikes and Nils Nilsson. strips : A new approach to the application of theorem proving to problem solving. Artificial Intelligence, 2(3/4) :189-208, 1971.
[47]	J. Ferber. Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective. InterEditions, 1995
[48]	Wooldridge, M. 1999. « Intelligent Agent », Multiagent Systems de Weiss G. , Cambridge, The MIT Press.
[49]	Russell, S., et Norvig, P. 2006. Intelligence artificielle, Ime édition, France : Pearson.
[50]	Jennings, N. R., et Wooldridge, M. 1995. « Intelligent Agent: Theory and practice », The Knowledge Engineering Review 1 O.
[51]	Jarras i Chaib-Draa, B. Aperçu sur les systèmes Multi-Agents. Série Scienti- que du centre inter universitaire de recherche en analyse des organisations, CIRANO, 2002.
[52]	Adina Magda Florea,Professeur à l’Université ‘‘Politehnica’’ de Bucarest.
[53]	Toufik Marir Cours SMA Complet Un support de cours destiné aux étudiants de 02ème année Master Option : Architectures Distribuées2017.
[54]	Tahri Samira « Analyse hydrodynamique d’un piston de moteur à combustion interne par simulation de Système multi agent (SMA) » Mémoire de Magister [43] les Agents Intelligent, Thibauts SMETS et Nicolas VAN BERGHE.ELEC 29 20/Réseaux des télécommunications, juin 2000.
[55]	<a href="http://turing.cs.pub.ro/auf2/html/chapters/chapter2/chapter_2_3_2.html">http://turing.cs.pub.ro/auf2/html/chapters/chapter2/chapter_2_3_2.html</a>
[56]	Melle Malika AMMOUCHE « Synthèse sur les techniques de négociation utilisant les SMA dans les réseaux de radio cognitive » Thèse Pour obtenir le diplôme de Doctorat en Sciences
[57]	B. Chaib-draa. Interaction between agents in routine, familiar and unfamiliar situations. Internati
[58]	B. Chaib-draa. Industrial applications of distributed AI. Communications of the ACM,

	38(11) :49-53, 1995.
[59]	B. Moulin and B. Chaib-draa. An overview of distributed artificial intelligence. In G. M. P. O'Hare and N. R. Jennings, editors, Foundations of Distributed AI, pages 3-54. John Wiley & Sons : Chichester, England, 1996
[60]	J. Ferber Les Syst`emes Multi Agents : vers une intelligence collective (1995)
[61]	<a href="https://archives.limsi.fr/Individu/jps/enseignement/examsma/2005/1.plateformes_3/indexFerguen.html">https://archives.limsi.fr/Individu/jps/enseignement/examsma/2005/1.plateformes_3/indexFerguen.html</a>
[62]	Intelligence artificielle et syst`eme Multi-agent, Support de cours : extrait de mon m`emoire de th`ese de doctorat (partie `etat de l'art) N.KABACHI
[63]	N. R. Jennings, M. Wooldridge, and K. Sycara. A roadmap of agent research and development. Int Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1(1) :7- 38, 1998.
[64]	<a href="https://www.developpez.net/forums/d994228/general-developpement/algorithme-mathematiques/intelligence-artificielle/agent-vs-objet/">https://www.developpez.net/forums/d994228/general-developpement/algorithme-mathematiques/intelligence-artificielle/agent-vs-objet/</a>
[65]	FIPA," Communicative Act Library Specification. Standard SC00037J", Foundation for Intelligent Physical Agents, 2002.
[66]	Pesty S., Brassac C., et Ferrent P., Ancrer les agents cognitifs dans l'environnement. In : Actes des 5e Journ`ees Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribu`ee et les Syst`emes Multi-Agents. `La Colle sur Loop, Avril 1997
[67]	J. Ferber. Les syst`emes multi-agents : Vers une intelligence collective. Inter Editions, 1995.
[68]	Russell, S.J. Rationality and intelligence. Artificial Intelligence, Vol. 94, 1997. p.57-77.
[69]	<a href="https://www.memoireonline.com/10/12/6375/m_La-generation-des-diagrammes-AUML--partir-dun-programme-Jade1.html">https://www.memoireonline.com/10/12/6375/m_La-generation-des-diagrammes-AUML--partir-dun-programme-Jade1.html</a> consult`e le 28/04/2018
[70]	Ahmed yardimici « soft computing in medicine »D`epartement of industrial Automations, TBMT0, Akdeniz University.070059, Turkey2010.
[71]	S. NOIMAINEE, J.Tontrakoon, « The ECG Monitor from Database Using Mobile Telephone », the 2004 International technical Conferance on circuits/Systems, Computers and Communication (ITC-CSCC2004).
[72]	<a href="https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-coeur-6849/">https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-coeur-6849/</a>
[73]	NetBeans ; <a href="https://netbeans.org/downloads/">https://netbeans.org/downloads/</a>

## Bibliographies

[74]	Moussaoui Mohamed Lamine ; Système Multi Agent pour planification de la production.
[75]	JADE ; <a href="http://jade.tilab.com/">http://jade.tilab.com/</a>
[76]	<a href="https://archives.limsi.fr/Individu/jps/enseignement/examsma/2005/1.plateformes_3/indexFerguen.html">https://archives.limsi.fr/Individu/jps/enseignement/examsma/2005/1.plateformes_3/indexFerguen.html</a>
[77]	CHAABNA ABD ELHANI et ZOUAIMIA KHALIL, « Détection du complexe QRS dans le signal électrocardiographique (ECG) », Mémoire de master, Université 8 Mai 1945 Guelma, Octobre 2020.
[78]	<a href="https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=infarctus-dumyocarde">https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=infarctus-dumyocarde</a>
[79]	<a href="https://www.sante-sur-le-net.com/wp-content/uploads/2015/06/img_infarctusmyocarde.jpg">https://www.sante-sur-le-net.com/wp-content/uploads/2015/06/img_infarctusmyocarde.jpg</a>
[80]	<a href="https://www.sante-sur-le-net.com/maladies/cardiologie/infarctus-du-myocarde/">https://www.sante-sur-le-net.com/maladies/cardiologie/infarctus-du-myocarde/</a>
[81]	<a href="https://www.msmanuals.com/fr/professional/troubles-cardiovasculaires/troublesdu-rythme-et-de-la-conduction/fibrillation-auriculaire">https://www.msmanuals.com/fr/professional/troubles-cardiovasculaires/troublesdu-rythme-et-de-la-conduction/fibrillation-auriculaire</a>
[82]	<a href="https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibrillation_atriale#/media/Fichier:Afib_ecg.jpg">https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibrillation_atriale#/media/Fichier:Afib_ecg.jpg</a>