

Université Saad DAHLAB de Blida



Faculté des Sciences

Département d'Informatique

Mémoire présenté par :

M<sup>elle</sup> DJOULAH Samah

En vue d'obtention du diplôme de Master

**Domaine:** MI

**Filière:** Informatique

**Spécialité:** Informatique

**Option:** Ingénierie de logiciel

Sujet :

## **E-consultation en prenant en compte la personnalité et les émotions d'un patient**

Soutenue le: 23-09-2012, devant le jury composé de :

M<sup>r</sup> D.BENNOUAR

M<sup>lle</sup> M.MEZZI

M<sup>lle</sup> F.ZAHRA

M<sup>r</sup> SIDOUMOU Mohamed Rédha

Président

Examinatrice

Examinatrice

Promoteur

## *Remerciements*

Il m'est très agréable de réserver cette page comme un témoin de reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont soutenu et encadré pour réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à mon promoteur M. Mohamed Rédha Sidoumou qui m'a prêté de son temps le plus précieux et m'a aidé par ses précieuses directives.

Je remercie aussi toute ma famille, ainsi que mes amis pour leur énorme soutien durant cette période.

Je tiens aussi à remercier tous les patient hémodialysés et toute l'équipe du service de néphrologie de l'hôpital de Koléa pour m'avoir aidé à réaliser mon projet et pour leur sympathie et leur collaboration.

Je tiens également à exprimer l'honneur que me font les membres du jury pour avoir accepté de me prêter leur attention et évaluer mon travail.

## Dédicaces

*A mes très chers parents,*

*A mes chères sœurs,*

*A mes chers frères,*

*A mes adorables nièces et neuneus,*

*A mes beaux frères,*

*A tous les membres de ma grande famille,*

*A tous mes amis,*

*A tous ceux que j'aime,*

*Je dédie ce travail.*

*Samah*

## Résumé

La modélisation du comportement humain est abordée dans différents domaines. Parmi ces disciplines on trouve la médecine et l'intelligence artificielle.

D'ailleurs, il existe des systèmes réels, au comportement qui échappent aux outils d'étude classiques où l'observateur n'arrive pas à saisir l'ensemble des tenants et aboutissants de ces systèmes. La relation entre un patient et son médecin n'échappée pas à cette règle. Puisque, lors d'une consultation médicale, les interactions avec le malade peuvent prendre différentes tournures, et cela dépendra du niveau de la coopération d'un patient.

Pour pallier à ce problème, les chercheurs dans le domaine des sciences cognitives ont proposé des modèles de traits comportementaux, plus particulièrement, le *Big Five*, qui a connu un certain succès, renforcé dans les 20 dernières années.

En outre, l'intelligence artificielle, a joué, elle aussi, un grand rôle pour résoudre ce problème. En fournissant des techniques de l'apprentissage automatique.

Parmi ses techniques on trouve les réseaux de neurone, et plus particulièrement le réseau d'ordre supérieur RPN (Ridge Polynomial Network), qui nous a aidé à réaliser l'apprentissage à partir d'un échantillon de données, dans le but d'extraction d'un modèle, sur lequel on peut compter pour classer un nouveau patient lors de l'e-consultation.

Ce mémoire se conclut par quelques perspectives de recherche pouvant prolonger les travaux accomplis durant ce projet.

### Mots clés :

Comportement humain, modèle Big five, modèle Ocean, inventaire IPIP-NEO, personnalité, émotions, intelligence artificielle, apprentissage automatique, apprentissage automatique supervisé, réseau de neurone, réseau d'ordre supérieur, réseau RPN, e-consultation.

# Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste des Formules

Liste des tableaux

Introduction générale

**CHAPITRE 1 : La simulation du comportement d'un patient**

Introduction

1.1 La personnalité

1.1.1 Définition

1.1.2 Historique :

1.1.3 Outils d'évaluation de la personnalité

1.1.4 Évaluation de la personnalité avec "BIG FIVE"

1.2 Prise en compte de l'émotion

1.3 Rôle de la culture

Conclusion

**CHAPITRE 2 : Introduction à l'apprentissage automatique**

Introduction

2.1 Qu'est ce que l'apprentissage ?

2.2 Types d'apprentissage automatique

2.2.1 Apprentissage supervisé

2.2.2 Apprentissage non-supervisé

2.2.3 Apprentissage semi-supervisé

2.2.4 Apprentissage par renforcement

2.3 Quelques algorithmes d'apprentissage supervisé

2.3.1 Les réseaux de neurones

2.3.2 Les arbres de décision

2.3.3 Les K proches voisins plus

2.3.4 Les Support Vector Machines (SVM)

Conclusion

**CHAPITRE 3 : Les réseaux de neurones**

Introduction

3.1 Origine biologique

3.1.1 Définition d'un neurone biologique

3.1.2 Structure du neurone

3.1.3 Fonctionnalité

3.2 Le neurone formel

3.2.1 Définition

3.2.2 Historique

3.2.3 Classification des réseaux de neurones

3.2.3.1 Les réseaux Feed Forward

3.2.3.2 Les réseaux Feed-back

3.2.4 Règles d'apprentissage	23
3.2.4.1 Règle de correction d'erreurs	23
3.2.4.2 Apprentissage de Boltzmann	24
3.2.4.3 Règles de Hebb	24
3.2.4.4 Règle d'apprentissage par compétitions	24
3.3 Réseaux de neurones à apprentissage supervisé	24
3.3.1 Les réseaux à fonction radiale de base	24
3.3.2 Le perceptron multicouche	27
3.3.3 Les réseaux d'ordres supérieurs	30
3.4 Mise en œuvre d'un réseau RPN	36
Conclusion	37
<b>Chapitre 4 : Architecture et conception du système</b>	<b>38</b>
Introduction	38
4.1 Architecture :	38
4.1.1 Première partie : Apprentissage	39
4.1.1.1 Préparation de l'échantillon	39
4.1.1.2 Evaluation de la personnalité d'un patient	40
4.1.1.5 Réalisation de l'apprentissage	41
4.1.2 Deuxième partie : E-consultation	44
4.1.2.1 Administration du site	44
4.1.2.2 Consultation	44
4.1.2.3 Gestion des analyses	44
4.1.2.4 Évaluations au comportement	45
4.2 Conception du système	46
4.2.1 Diagrammes de cas d'utilisations	47
4.2.2 Diagramme de classes	49
Conclusion :	53
<b>Chapitre 5 : Implémentation</b>	<b>54</b>
Introduction	54
5.1 Le modèle MVC	54
5.2 Travail à réaliser	56
5.2.1 Authentification	56
5.2.2 Compte administrateur	56
5.2.3 Compte patient	57
5.2.4 Compte technicien de laboratoire	61
5.2.5 Compte médecin	61
Conclusion	62
Conclusion générale	63
Bibliographie	
Annexe A	
Annexe B	
Annexe C	

# *Introduction générale*

Certains systèmes réels, au comportement ou à la structure complexe, échappent aux outils d'étude classiques. L'observateur n'a alors pas les moyens de saisir l'ensemble des tenants et aboutissants de ces systèmes caractérisés par un grand nombre d'interactions internes et externes, une structure non décomposable et un comportement imprédictible. La relation entre un patient et son médecin n'échappée à cette règle. D'ailleurs, lors d'une consultation médicale, les interactions avec le malade peuvent prendre différentes tournures. Certains malades coopèrent à 100% d'autres peuvent coopérer moins. C'est pour cette raison que l'étude des comportements sociaux s'inscrit dans cette problématique.

Ces dernières années, l'informatique a néanmoins permis de développer des outils de simulation de plus en plus performants permettant notamment la traçabilité des phénomènes, la réitération des expériences, la capture de moments clés et la possibilité d'étude de cas inexistantes ou encore jamais survenus en milieu réel. À partir d'une modélisation pertinente du système, on parvient aujourd'hui à simuler son évolution de plus en plus fidèlement. Au niveau de l'étude de l'individu et des interactions sociales, les sciences humaines apportent également leur expertise dans ce processus de modélisation. À la confluence de ces deux disciplines, on entrevoit aujourd'hui la possibilité de modéliser et simuler le comportement humain.

Les études dans le domaine des modèles comportementaux se sont particulièrement développées au cours du XXème siècle. Les progrès conjugués de la psychologie, de la médecine et des sciences cognitives ont permis de croiser des données expérimentales avec les modèles proposés par les chercheurs. D'ailleurs, les modèles de traits comportementaux, tel que le *Big Five*, ont connu un certain succès, renforcé dans les 20 dernières années par le développement du secteur des ressources humaines et de l'outil informatique. D'autre part, les travaux effectués conjointement dans les domaines de l'intelligence artificielle et de la vie artificielle ont fourni de l'importance au domaine de l'apprentissage automatique.

Parmi ses technique on trouve les réseaux de neurone, qui constituent un ensemble de techniques qui s'inspirent du vivant, et en particulier des systèmes nerveux. Un neurone formel est une représentation mathématique et informatique du neurone biologique. Ces derniers ont toujours été considérés comme le support physique de l'intelligence qui est à l'origine des miracles et des créations impressionnantes. Le neurone artificiel reproduit certaines caractéristiques biologiques, en particulier les dendrites, axone et synapses, au moyen de fonctions et de valeurs numériques, pour cela une étude établie sur les neurones biologiques permet de mieux utiliser les réseaux neuronaux artificiels.

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une entité unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau. Ce dernier comporte des paramètres appelés coefficients ou poids. Les variables de cette fonction sont habituellement appelées "entrées" du neurone, et la valeur de la fonction est appelée sa "sortie". Un neurone est donc avant tout un opérateur mathématique, dont on peut calculer la valeur numérique par quelques lignes de logiciel. Un réseau de neurones formels est une combinaison de fonctions élémentaires appelées neurones formels, ou simplement neurones. Chacun des neurones formels réalise, une fonction non linéaire paramétrée de ses variables, qui, au sein du réseau, peuvent être soit les sorties d'autres neurones, soit des variables exogènes. De nombreuses variantes sont définies selon le choix de la cellule élémentaire, de l'architecture du réseau et de la dynamique du réseau.

McCulloch et Pitts font les premiers à proposer un modèle. Ils inventent en 1943 le premier neurone formel qui portera leurs noms (neurone de McCulloch-Pitts). Quelques années plus tard, en 1949, Hebb propose une formulation du mécanisme d'apprentissage, sous la forme d'une règle de modification des connexions synaptiques (règle de Hebb). Le premier réseau de neurones artificiels apparaît en 1958, grâce aux travaux de Rosenblatt qui conçoit le fameux Perceptron. Le Perceptron est inspiré du système visuel et possède une couche de neurones d'entrée ainsi qu'une couche de neurones de sortie. Malgré tout l'enthousiasme que soulève le travail de Rosenblatt dans le début des années 60, la fin de cette décennie sera marquée en 1969, par une critique violente du Perceptron par Minsky et Papert. Ils montrent dans un livre (*Perceptrons*) toutes les limites de ce modèle, et soulèvent particulièrement l'incapacité du Perceptron à résoudre les problèmes non linéairement séparables. Il faudra attendre le début des années 80 et le génie de Hopfield pour que l'intérêt pour ce domaine soit de nouveau présent. En effet, Hopfield démontre en 1982 tout l'intérêt d'utiliser des réseaux récurrents dits "feed-back" pour la compréhension et la modélisation des processus mnésiques. En parallèle des travaux de Hopfield, Werbos conçoit son algorithme de rétro-propagation de l'erreur, qui offre un mécanisme d'apprentissage pour les réseaux multicouches de type Perceptron (appelés MLP pour Multi-layer Perceptron), fournissant ainsi un moyen simple d'entraîner les neurones des couches cachées. Cet algorithme de "back-propagation" ne sera pourtant popularisé qu'en 1986 par Rumelhart. Les travaux présentés dans ce mémoire ont donc pour but d'étudier l'emploi des réseaux de neurone dans le contexte de la prédiction de la coopération d'un patient hémodialysé.

Ce mémoire est organisé en six chapitre :

Le premier dresse un bilan des travaux de recherche dans le domaine de la modélisation comportementale, du tempérament de l'individu à ses émotions. Nous y détaillons les modèles utilisables dans le cadre d'une modélisation informatique du comportement humain. Ce chapitre traite les modèles purement comportementaux décrivant les grands traits de caractère de l'individu, et plus spécifiquement le modèle des *Big Five*, ainsi que les aspects sociaux d'interactions entre individus.

Le deuxième chapitre représente une introduction à l'apprentissage automatique, est plus particulièrement l'apprentissage supervisé. Dans cette partie de ce mémoire, nous avons décrit quelques algorithmes de ce type d'apprentissage, dans le but de comparer entre eux. Pour finir ensuite, par le choix des réseaux de neurone, grâce à leur capacité de traiter des problèmes structurés, de travailler sur des données incomplètes où bruitées, etc. Alors, le troisième chapitre est une introduction aux réseaux de neurones, quelles sont leurs origines, leurs types, ainsi, leurs règles d'apprentissage. On rencontre ensuite, des réseaux de neurones destinés à l'apprentissage automatique. Nous commençant par les perceptrons multicouches et les GRBF qui sont les modèles les plus couramment employés. Les architectures des réseaux sont présentées, ainsi que leurs méthodes d'apprentissages. Ensuite c'est au tour des réseaux d'ordre supérieur. ils sont au centre des travaux menés dans le cadre de ce projet. En réalisant des produits entre leurs entrées, ces réseaux peuvent utiliser des corrélations d'ordre supérieur entre les entrées, et sont ainsi plus adaptés à certains problèmes rencontrés dans tous les domaines. Différentes architectures d'ordre supérieur sont présentées, avec leur méthode d'apprentissage. Ce chapitre se termine par le choix de l'un des réseaux d'ordre supérieur comme méthodes d'apprentissage, qui se représente en réseau RPN (Ridge Polynomial

## *Introduction générale*

---

Network) et sa mise en œuvre pour la prédiction de la coopération d'un patient dialysé, en expliquant la manière de la détermination de son architecture et l'échantillonnage nécessaire pour sa réalisation.

Le quatrième chapitre n'est que t'autre qu'une représentation du fonctionnement du système, à l'aide d'une architecture qui se divise en deux parties, la première représente la réalisation de l'apprentissage, et la seconde concerne la manière dont on applique le résultat de l'apprentissage réalisé sur un nouveau patient pour connaître le taux de sa coopération. En plus d'une conception, pour arriver en fin au dernier chapitre qui parle de l'implémentation des réseaux de neurone et la manière dont une e-consultation se déroule.

*Chapitre 1 :*

*La simulation du  
comportement d'un patient*

### **Introduction :**

Le terme « comportement » [1] désigne les actions d'un être vivant. Il a été introduit en psychologie française en 1908 par Henri Piéron. On l'utilise notamment en éthologie (humaine et animale) ou en psychologie scientifique. Il peut aussi être pris comme équivalent de conduite dans l'approche psychanalytique. Il était même défini par (Gallo A. in Bloch 1994 p. 154) comme étant une réalité appréhendable sous la forme d'unités d'observation, les actes, dont la fréquence et les enchaînements sont susceptibles de se modifier ; il traduit en action l'image de la situation telle qu'elle est élaborée, avec ses outils propres, par l'être que l'on étudie : le comportement exprime une forme de représentation et de construction d'un monde particulier (Umwelt).

La modélisation du comportement humain est un sujet qui n'a eu de cesse de susciter l'intérêt des chercheurs tout domaine confondu. Ce fût logiquement dès l'Antiquité un des premiers champs d'investigation de la philosophie qui a très tôt essayé de décortiquer les mécanismes à la base du comportement et plus généralement de la pensée. À la fin du XIXème siècle, la psychologie a continué dans les traces initiées par les philosophes en essayant cette fois-ci de construire des modèles médicaux et rationnels autour du comportement. C'est réellement avec l'apparition de l'informatique que l'on a vu là une voie pour utiliser ces modèles afin de répliquer avec plus ou moins de succès le raisonnement humain dans les machines.

Alors, si l'on s'intéresse au comportement humain, il est nécessaire de s'intéresser au fonctionnement des différentes facultés qui constituent ensemble l'esprit humain, sans oublier leur relation avec le corps : des émotions, de la personnalité, en plus du niveau culturel de la personne, c'est ce qui est décrit dans ce chapitre.

### **1.1 La personnalité :**

Notre personnalité influence une grande partie de nos comportements. La personnalité est souvent vue comme l'ensemble des comportements qui constituent l'individualité d'une personne.

#### **1.1.1 Définition :**

Bien qu'il n'existe pas une formule de définition exacte pour le mot « personnalité » [2] et [3], on peut le définir en général et le décrire comme étant l'ensemble des caractéristiques et traits comportementaux, expressifs, sentimentaux, et idéologiques de l'Individu. Cet aspect de « personnalité » se trouve en fait forgé chez chacun de nous, sous l'influence de l'environnement, qui bâtit notre personnalité en l'infectant par des Données et Facteurs d'hérédité, de culture, de religion, d'appartenance à un groupe spécifié, d'expériences vécues, de traditions, de niveau de formation, de l'entourage familial et ainsi de suite... Tous des caractères soit acquis ou innés, qui interagissent entre eux pour donner comme résultat final ou « Output » ce qu'on désigne par « personnalité humaine », dont il est nécessaire de souligner, qu'elle est propre à chaque Individu, en différant largement ou étroitement, plus ou moins, pour les frères et sœurs issus des mêmes parents, ou encore pour le cas des jumeaux, qui ne se ressemblent qu'au visage, mais point en terme de personnalité.

### **1.1.2 Historique :**

Voici, selon [4], quelques points intéressants relatifs à l'intérêt porté à la personnalité à travers l'histoire:

- Déjà dans l'Antiquité, Hyppocrate (460-377 av J.-C.) identifie des humeurs dans le corps humain (flegme, bile noire, sanguin) associés à des comportements.
- Galien (123-199) identifie treize grands types de conduite (soma et psyché sont très associés).
- Après l'Antiquité, peu d'évolution jusqu'au XX siècle en regard de l'intérêt porté à la personnalité.
- Approches pseudo-scientifiques XVI siècle à nos jours (astrologie, phrénologie avec Gall) se sont quand même intéressés à divers aspects de la personnalité. Sans avoir pu vraiment confirmer d'hypothèses, ces approches ont sans doute permis de susciter l'intérêt pour la mesure de la personnalité.
- Approche psychanalytique (Freud 1856-1939) relance l'intérêt pour la personnalité et permet le développement de méthodes projectives (Hermann Rorschach, 1921).
- Opposition aux théories psychanalytiques : naissance du behaviorisme (Pavlov, Watson, Skinner).
- Eysenck conteste la validité des méthodes projectives.
- 1920-1960: La personnalité est vue comme un ensemble de facteurs ou traits relativement stables: Cattell, Eysenck.
- Années 60: approche humaniste avec Carl Rogers.
- Utilisation de plus en plus fréquente des tests de personnalité après la deuxième guerre mondiale (sélection de personnel, diagnostic des troubles psychiques, etc.).
- Les méthodes auto-descriptives (questionnaires d'auto-évaluation) contestées par Mischel (1968).
- L'approche behavioriste est assimilée par le cognitivisme (Huteau, 1985).
- Modèle des 5 grands facteurs "Big Five" (Costa et McCrae, 1985) très en vogue encore jusqu'aux nos jours.
- Conception interactionniste de la personnalité (Magnusson, 1990).

### **1.1.3 Outils d'évaluation de la personnalité :**

Evaluer la personnalité est aujourd'hui devenu une étape importante dans la prise en charge des patients [4]. Il n'est cependant pas facile de définir ce qu'est la personnalité, alors de nombreuses approches théoriques ont été proposées, mais principalement, il existe trois grandes méthodes d'évaluation:

- Méthodes projectives : elles sont basées sur l'approche psychanalytique qui est fondée par Sigmund Freud (1856-1939), médecin neurologue autrichien. Dans cette approche, la personnalité doit être examinée globalement car elle est la résultante de forces dynamiques en interaction. L'inconscient et la sexualité ont un rôle important comme déterminant des comportements.

Parmi ses tests il y en a le Rorschach, le TAT (Thematic Apperception Test), le Picture Frustration de Roenzweig, le test du village d'Arthus, etc.

Ces méthodes requièrent un matériel ambigu, peu défini afin de permettre au sujet une production de réponses non stéréotypées, en plus les réponses du patient devront être

interprétées par un spécialiste pour en dégager le sens. Ce qui rend l'automatisation de ces tests une tâche difficile.

- Les questionnaires auto-évaluatifs : qui sont basées sur l'approche différentielle qui est centrée sur les déterminants individuels des comportements et qui suppose l'existence de grands types ou traits qui caractérisent la personnalité de chacun. Ainsi, l'analyse factorielle a largement influencé le développement des divers tests (facteurs=traits), parmi ses tests, on trouve Holland, Myers-Briggs, le 16 PF et le modèle des cinq grands facteurs "big five" que nous allons utiliser dans nos travaux.
- Observation du comportement par un expert.

### 1.1.4 Evaluation de la personnalité avec "BIG FIVE" :

En psychologie, les *Big Five* sont cinq traits centraux de la personnalité empiriquement mis en évidence par la recherche [1], [5]. Ils constituent non une théorie mais un repère pour la description et l'étude théorique de la personnalité. Les experts proposent des dimensions qui tiennent compte des caractéristiques basiques émotionnelles et d'autres en rapport avec la sociabilité, la vitalité, l'équilibre, la méticulosité, le contrôle, la souplesse, l'ouverture? Ainsi, on peut avoir une image plus complète de la personne. De notre côté, on trouve cette approche importante, mais la partie fondamentale du tempérament se trouve diluée et perd de son importance. Pour cela, on insiste sur les attributs du tempérament.

L'inventaire IPIP-NEO (ou OCEAN) a été conçu pour rendre opérationnelle la théorie des "Big Five" ou modèle à cinq facteurs. Cette théorie, qui fait l'objet d'un large consensus dans les milieux de la recherche en psychologie, met en évidence la présence de cinq dimensions exhaustives qui résument la sphère de la personnalité. En repérant la position d'un sujet sur chacune des cinq dimensions, le psychologue peut appréhender la personnalité au travers des relations aux autres, de l'expérience, des émotions, et évaluer l'attitude et les motivations. Dans un deuxième temps, il peut affiner sa première analyse avec les résultats apportés par trente facettes rattachées par structure factorielle aux cinq dimensions principales (six facettes par domaine). Les qualités psychométriques de l'inventaire (structure factorielle, validité concourante) et des échelles sont satisfaisantes. L'IPIP-NEO dispose de normes récentes (adapté en 1998). De plus, il bénéficie d'un important corpus de recherches de référence et d'une abondante littérature.

Chacun des cinq domaines explorés comporte six facettes, donc un total de trente facettes représentées dans le tableau suivant [6] :

<i>Névrosisme</i>	<i>Extraversion</i>	<i>Ouverture</i>	<i>Conscience</i>	<i>Agréabilité</i>
1. Anxiété	1. Chaleur	1. Aux rêveries	1. Confiance	1. Compétences
2. Colère/Hostilité	2. Grégarité	2. A l'esthétique	2. Droiture	2. Ordre
3. Dépression	3. Assertivité	3. Au sentiment	3. Altruisme	3. Sens du devoir
4. Timidité sociale	4. Activité	4. Aux actions	4. Compliance	4. Autodiscipline
5. Impulsivité	5. Recherche de sensations	5. Aux idées	5. Modestie	5. Recherche de réussite

## Chapitre 1 : La simulation du comportement d'un patient

6. Vulnérabilité	6. Emotion positive	6. Aux valeurs	6. Sensibilité	6. Délibération
------------------	---------------------	----------------	----------------	-----------------

Tableau 1.1 : Détail des trente composants des cinq facteurs du modèle « Big-Five ».

L'explication de chaque facette est comme suit [7] :

• **Névrosisme : Identifie les individus enclins à des douleurs psychologiques**

- Anxiété : Tendance à éprouver de la timidité, des craintes et de l'inquiétude.
- Colère-Hostilité : Tendance à ressentir de la colère et des émotions du même ordre que la frustration et l'amertume.
- Dépression : Tendance à éprouver des sentiments de culpabilité, de tristesse, d'impuissance et de solitude.
- Timidité sociale : Tendance à éprouver des émotions de honte et d'embarras.
- Impulsivité : Incapacité à maîtriser ses désirs et ses besoins.
- Vulnérabilité : Vulnérabilité au stress.

• **Extraversion : Tendance à la sociabilité, à être d'un naturel actif, confiant et optimiste**

- Chaleur : Intérêt et attitude amicale envers les autres.
- Grégarité : Préférence pour la compagnie des autres.
- Assertivité : Tendance à se montrer dominant, énergique et ambitieux socialement.
- Activité : Rythme rapide, vigueur et énergie.
- Recherche de sensations : Besoin impérieux d'animation et de stimulation.
- Emotions positives : Tendance à éprouver des émotions positives, telles que la joie, le bonheur.

• **Ouverture : Curiosité envers son univers interne et externe**

- Ouverture aux rêveries : Imagination vive et active, tendance à se créer un monde intérieur intéressant.
- Ouverture à l'esthétique : Appréciation de l'art et de la beauté.
- Ouverture aux sentiments : Réceptivité de leurs sentiments et de leurs émotions propres.
- Ouverture aux actions : Volonté affichée d'essayer des activités différentes et nouvelles.
- Ouverture aux idées : Curiosité intellectuelle.
- Ouverture aux valeurs : Capacité à remettre en question ses propres valeurs, ainsi que celles des figures d'autorité.

• **Agréabilité : Tendance à être agréable, sympathique et disposé à aider les autres**

- Confiance : Croyance en l'honnêteté et aux bonnes intentions des autres.
- Droiture : Tendance à la sincérité et à la franchise.
- Altruisme : Préoccupation active du bien-être des autres.
- Compliance : Tendance à se soumettre aux autres lors de conflits interpersonnels.
- Modestie : Tendance à l'humilité et à l'effacement.
- Sensibilité : Attitudes de sympathie et de préoccupation pour les autres.

• **Conscience : Degré d'organisation, d'obstination, de contrôle et de motivation dans un but précis**

- Compétence : Croyance en sa propre efficacité.
- Ordre : Organisation personnelle et soin.

## Chapitre 1 : La simulation du comportement d'un patient

- Sens du devoir : Adhésion stricte à ses principes éthiques.
- Recherche de réussite : Besoin d'accomplissement personnel dans le travail.
- Autodiscipline : Capacité à entreprendre et à terminer des tâches malgré les distractions.
- Délibération : Tendance à bien réfléchir avant d'agir.

<i>Traits</i>	<i>Description</i>
<i>Névrosisme</i>	Tendance à rester serein, à avoir confiance en soi, à avoir de l'assurance, et prêt à faire face aux conflits sans trop d'anxiété. Les niveaux bas d'anxiété indiquent la stabilité émotionnelle tandis que les niveaux élevés augmentent la probabilité d'éprouver des émotions négatives. Les personnes avec un niveau élevé d'anxiété sont réactivées et plus facilement troublées par des stimuli dans leur environnement.
<i>Extraversion</i>	Lié au degré de sociabilité d'un individu. Les individus extravertis ont par exemple tendance à être plus actifs physiquement et verbalement tandis que les individus introvertis sont plus indépendants, réservés.
<i>Ouverture</i>	Degré auquel un individu est curieux, original, ouvert aux autres, à l'imagination. Les personnes ouvertes sont réceptives aux changements de l'environnement alors que les personnes peu ouvertes sont plus conventionnelles, conservatrices.
<i>Conscience</i>	Degré auquel un individu est fiable, responsable, méticuleux, minutieux, organisé, persévérant.
<i>Agréabilité</i>	Degré auquel un individu est bienveillant, courtois, flexible, confiant, accommodant ou conciliant, facile à vivre, altruiste, coopératif. Les personnes agréables ont également une vue optimiste des événements.

Tableau 1.2. [8] Description des traits de la personnalité utilisés par le modèle à « cinq facteurs »

### 1.2 Prise en compte de l'émotion :

Les émotions [8] sont des réactions complexes qui engagent à la fois le corps et l'esprit. Ces réactions incluent un état mental subjectif, tel que la colère, l'anxiété ou l'amour, une impulsion à agir, tel que fuir ou attaquer, que cela soit exprimé ouvertement ou non, et de profond changement dans le corps, tel qu'une augmentation du rythme cardiaque ou de la pression sanguine. Certains de ces changements corporels préparent à des actions d'adaptations soutenues. D'autres - tels que les postures, les gestes et les expressions faciales - communiquent aux autres ce que nous ressentons ou ce que nous voulons que les autres croient que nous ressentons. L'émotion exprime un drame de la vie personnelle, associé au sort des personnes, des valeurs et des idées qui leur tiennent à cœur ainsi qu'avec leurs

croyances envers elles-mêmes et envers le monde où elles vivent. Elle est déclenchée par une évaluation de la signification personnelle du sens de ce qui se produit dans la situation. La trame dramatique varie d'une émotion à l'autre, chaque émotion ayant sa propre histoire.

### **1.3 Rôle de la culture :**

La culture [9] en tant qu'ensemble fournit aux membres de toute société un guide indispensable pour toutes les circonstances de la vie. Il leur serait impossible, aussi bien qu'à la société elle-même, de remplir efficacement leur fonction sans cette culture. Le fait que la plupart des membres d'une société ont l'habitude de réagir à une situation donnée d'une façon donnée, permet à quiconque de prévoir leur comportement, sinon avec une certitude absolue, du moins avec une forte probabilité. Cette prévisibilité est une condition préalable à toute vie sociale organisée. Si l'individu est sur le point de faire quelque chose pour autrui, il doit être assuré qu'il sera payé de retour. La présence de modèles culturels avec leur arrière-plan d'approbation sociale, et la possibilité qui en résulte d'exercer une pression sociale sur ceux qui n'y adhèrent pas, lui fournit cette assurance. En outre, à la suite d'une longue expérience et, dans une large mesure, par l'emploi de la méthode des essais et erreurs, les modèles culturels d'une société ont généralement fini par s'ajuster étroitement les uns aux autres. L'individu peut obtenir de bons résultats s'il y adhère, de médiocres et même de négatifs s'il ne le fait pas. D'ailleurs, tout est organisé en fonction des modèles culturels locaux, et il n'y a guère place pour ce qui s'en distingue.

### **Conclusion :**

Nous avons évoqué dans ce chapitre les principaux travaux et modèles à la base de la psychologie comportementale. Au niveau de la modélisation du comportement, et plus spécifiquement de l'étude des caractères propres à chaque individu, la théorie des traits et plus spécifiquement celles des *Big Five* est la plus plébiscitée et la mieux adaptée à une utilisation informatique car elle quantifie précisément un nombre de caractéristiques prédéfinies qui détermine les orientations comportementales de l'individu. Enfin, nous avons indiqué des axes d'étude intéressants pour ce qui concerne le comportement des individus. Nous montrerons dans ce qui suit l'utilisation de ce que nous avons mentionné dans cette partie dans notre modélisation du comportement d'un patient dialysé et plus précisément de son coopération avec son médecin lors d'une consultation.

*Chapite2 :*

*Introduction à l'apprentissage  
automatique*

### **Introduction :**

Dans le chapitre précédent, nous avons parlé des plus importants facteurs qui influencent le comportement humain et qui sont la personnalité et les émotions, comme nous avons évoqué les différents outils et méthodes de leur évaluation, sans oublier le fait que nous avons choisi l'inventaire IPIP-NEO qui se base sur le modèle « Big-five » pour nos travaux puisqu'il est bien adapté à la modélisation informatique, mais tout cela rentre dans le cadre de la modélisation psychologique sans avoir l'opportunité de mentionner la manière dont une machine peut acquérir et imiter ce genre de connaissances.

Donc, dans cette partie de ce mémoire, nous allons citer l'un des domaines de l'intelligence artificielle, qui arrive à mettre fin à ces soucis, et qui est bel et bien « l'Apprentissage automatique » et plus particulièrement l'Apprentissage supervisé et ses différents algorithmes.

### **2.1 Définition de l'apprentissage :**

Littéralement, [10] l'apprentissage est l'acquisition de savoir-faire, c'est-à-dire le processus d'acquisition de pratiques, de connaissances, compétences, d'attitudes ou de valeurs culturelles, par l'observation, l'imitation, l'essai, la répétition, la présentation. Il s'oppose, tout en le complétant, à l'enseignement dont le but est surtout l'acquisition de savoirs ou de connaissances au moyen d'études, d'exercices et de contrôles des connaissances.

Selon [10], L'apprentissage automatique (*machine learning* en anglais), un des champs d'étude de l'intelligence artificielle, est la discipline scientifique concernée par le développement, l'analyse et l'implémentation de méthodes automatisables qui permettent à une machine (au sens large) d'évoluer grâce à un processus d'apprentissage, et ainsi de remplir des tâches qu'il est difficile ou impossible de remplir par des moyens algorithmiques plus classiques.

### **2.2 Types d'apprentissage automatique :**

Comme nous l'avons cité dans (2.1), l'apprentissage automatique consiste à extraire et d'exploiter automatiquement l'information présente dans un jeu de données que ça soit pour [11] la généralisation, l'approximation, la confirmation d'hypothèse (trouver un modèle expliquant les données) et même pour la compression d'informations. On peut constater qu'il couvre un vaste champ d'objectifs ce qui indique l'existence de plusieurs types de l'apprentissage automatique. Ces derniers peuvent être utilisés seuls comme ils peuvent être combinés dans le même système. Selon [10] et [12] ces types peuvent se résumer en :

### 2.2.1 Apprentissage supervisé :

Si les classes sont prédéterminées et les exemples connus [4], le système apprend à classer selon un modèle de classement. Un expert doit préalablement étiqueter des exemples. Le processus se passe en deux phases. Lors de la première phase dite d'apprentissage, il s'agit de déterminer un modèle des données étiquetées. La seconde phase (en ligne, dite de *test*) consiste à prédire l'étiquette d'une nouvelle donnée, connaissant le modèle préalablement appris. Parfois il est préférable d'associer une donnée non pas à une classe unique, mais une probabilité d'appartenance à chacune des classes prédéterminées (on parle alors d'apprentissage supervisé probabiliste). A partir d'un ensemble d'observation  $\{x_1, \dots, x_n\} \in X$  et de mesures  $\{y_i\} \in Y$ , on cherche à estimer les dépendances entre les ensembles  $X$  et  $Y$ . Parmi ses algorithmes : la méthode du plus proche voisin, réseaux de neurones, arbres de décision, Séparateurs à Vastes Marges, ... etc.

### 2.2.2 Apprentissage non-supervisé :

Quand le système ne dispose que d'exemples [13], mais non d'étiquettes, et que le nombre de classes et leur nature n'ont pas été prédéterminés, on parle d'apprentissage non supervisé ou clustering. Aucun expert n'est requis. L'algorithme doit découvrir par lui-même la structure plus ou moins cachée des données. Il s'agit de diviser un groupe hétérogène de données, en sous-groupes de manière à ce que les données considérées comme les plus similaires soient associées au sein d'un groupe homogène et qu'au contraire les données considérées comme différentes se retrouvent dans d'autres groupes distincts, l'objectif étant de permettre une extraction de connaissance organisée à partir de ces données.

Exemples de méthodes : Classification hiérarchique, Carte de Kohonen, K-means, Extractions de règles...etc.

### 2.2.3 Apprentissage semi-supervisé :

C'est une classe de techniques qui utilise un ensemble de données étiquetées et non-étiquetées [13]. Il se situe ainsi entre l'apprentissage supervisé qui n'utilise que des données étiquetées et l'apprentissage non-supervisé qui n'utilise que des données non-étiquetées. Il a été démontré que l'utilisation de données non-étiquetées, en combinaison avec des données étiquetées, permet d'améliorer significativement la qualité de l'apprentissage. Un autre intérêt provient du fait que l'étiquetage de données nécessite l'intervention d'un utilisateur humain. Lorsque les jeux de données deviennent très grands, cette opération peut s'avérer fastidieuse. Dans ce cas, l'apprentissage semi-supervisé, qui ne nécessite que quelques étiquettes, revêt un intérêt pratique évident. Un exemple d'apprentissage semi-supervisé est le co-apprentissage, dans lequel deux classificateurs apprennent un ensemble de données, mais en utilisant chacun un ensemble de caractéristiques différentes, idéalement indépendantes. Si les données sont des individus à classer en hommes et femmes, l'un pourra utiliser la taille et l'autre la pilosité par exemple. Comme méthodes, nous avons méthodes bayésiennes, Séparateur à Vastes Marges, ... etc.

### 2.2.4 Apprentissage par renforcement :

L'apprentissage par renforcement fait référence à une classe de problèmes d'apprentissage automatique [13], dont le but est d'apprendre, à partir d'expériences, ce qu'il convient de faire en différentes situations, de façon à optimiser une récompense numérique au cours du temps.

Un paradigme classique pour présenter les problèmes d'apprentissage par renforcement consiste à considérer un agent autonome, plongé au sein d'un environnement, et qui doit prendre des décisions en fonction de son état courant. En retour, l'environnement procure à l'agent une récompense, qui peut être positive ou négative.

L'agent cherche, au travers d'expériences itérées, un comportement décisionnel (appelé *stratégie* ou *politique*, et qui est une fonction associant à l'état courant l'action à exécuter) optimal, en ce sens qu'il maximise la somme des récompenses au cours du temps.

### **2.3 Quelques algorithmes d'apprentissage supervisé :**

Comme nous l'avons cité au paravent, l'apprentissage supervisé consiste à apprendre à classer selon un modèle de classement, et puisque notre base d'apprentissage comporte des éléments qui appartiennent à des groupes, c'est l'un des algorithmes de l'apprentissage supervisé qui nous convient le plus pour nos travaux. Alors voici selon [14] et [15] quelques algorithmes de ce type d'apprentissage :

#### **2.3.1 Les réseaux de neurones :**

Un réseau de neurones artificiels est un modèle de calcul dont la conception est très schématiquement inspirée du fonctionnement des neurones biologiques.

Les réseaux de neurones sont généralement optimisés par des méthodes d'apprentissage de type probabiliste, en particulier bayésien. Ils sont placés d'une part dans la famille des applications statistiques, qu'ils enrichissent avec un ensemble de paradigmes permettant de créer des classifications rapides, et d'autre part dans la famille des méthodes de l'intelligence artificielle auxquelles ils fournissent un mécanisme perceptif indépendant des idées propres de l'implémenter, et fournissant des informations d'entrée au raisonnement logique formel.

En modélisation des circuits biologiques, ils permettent de tester quelques hypothèses fonctionnelles issues de la neurophysiologie, ou encore les conséquences de ces hypothèses pour les comparer au réel.

Le résultat de l'apprentissage est un réseau constitué de cellules organisées selon une architecture, définies par une fonction d'activation et un très grand nombre de poids à valeurs réelles. D'outre, les réseaux traitent facilement les données réelles "préalablement normalisées" et les algorithmes sont robustes au bruit. Ce sont, par conséquent, des outils bien adaptés pour le traitement de données complexes éventuellement bruitées comme la reconnaissance de formes (son, images sur une rétine, etc.). Encore le réseau étant construit, le calcul d'une sortie à partir d'un vecteur d'entrée est un calcul très rapide et en combinaison avec d'autres méthodes : pour des problèmes contenant un grand nombre d'attributs pour les entrées, il peut être très difficile de construire un réseau de neurones. On peut, dans ce cas, utiliser les arbres de décision pour sélectionner les variables pertinentes, puis générer un réseau de neurones en se restreignant à ces entrées.

Sauf que l'échantillon nécessaire à l'apprentissage doit être suffisamment grand et représentatif des sorties attendues pour certains types du réseau et le manque de lisibilité des modèles créés est un frein à l'utilisation des réseaux de neurones [16].

Nous avons opté pour cet algorithme pour nos travaux, nous allons le présenter en détail dans la section suivante.

### 2.3.2 Les arbres de décision :

Un arbre de décision est un outil d'aide à la décision qui représente la situation plus ou moins complexe à laquelle on doit faire face sous la forme graphique d'un arbre de façon à faire apparaître l'extrémité de chaque branche les différents résultats possibles en fonction des décisions prises à chaque étape.

Les algorithmes peuvent traiter les valeurs manquantes (descriptions contenant des champs non renseignés) pour l'apprentissage, mais aussi pour la classification, en plus, un arbre de décision est facile à interpréter et est la représentation graphique d'un ensemble de règles. Si la taille de l'arbre est importante, il est difficile d'appréhender l'arbre dans sa globalité. Cependant, les outils actuels permettent une navigation aisée dans l'arbre (parcourir une branche, développer un nœud, élaguer une branche) et, le plus important, est certainement de pouvoir expliquer comment est classé un exemple par l'arbre, ce qui peut être fait en montrant le chemin de la racine à la feuille pour l'exemple courant et l'algorithme peut prendre en compte tous les types d'attributs et les valeurs manquantes. Il est robuste au bruit.

Par contre, les performances tendent à se dégrader lorsque le nombre de classes devient trop important et l'algorithme n'est pas incrémental, c'est-à-dire, que si les données évoluent avec le temps, il est nécessaire de relancer une phase d'apprentissage sur l'échantillon complet (anciens exemples et nouveaux exemples).

### 2.3.3 Les $K$ proches voisins plus :

La méthode des  $k$  plus proches voisins est une méthode d'apprentissage supervisé. En abrégé  $k$ -NN ou  $KNN$ , de l'anglais  $k$ -Nearest Neighbors.

Dans ce cadre, on dispose d'une base de données d'apprentissage constituée de  $N$  couples « entrée-sortie ». Pour estimer la sortie associée à une nouvelle entrée  $x$ , la méthode des  $k$  plus proches voisins consiste à prendre en compte (de façon identique) les  $k$  échantillons d'apprentissage dont l'entrée est la plus proche de la nouvelle entrée  $x$ , selon une distance à définir. Par exemple, dans un problème de classification, on retiendra la classe la plus représentée parmi les  $k$  sorties associées aux  $k$  entrées les plus proches de la nouvelle entrée  $x$ .

L'introduction de nouvelles données permet d'améliorer la qualité de la méthode sans nécessiter la reconstruction d'un modèle. C'est une différence majeure avec des méthodes telles que les arbres de décision et les réseaux de neurones et bien que la méthode ne produise pas de règle explicite, la classe attribuée à un exemple peut être expliquée en exhibant les plus proches voisins qui ont amené à ce choix. Aussi la méthode peut s'appliquer dès qu'il est possible de définir une distance sur les champs. Or, il est possible de définir des distances sur des champs complexes, tels que des informations géographiques, des textes, des images ou du son. C'est parfois un critère de choix de la méthode PPV car les autres méthodes traitent difficilement les données complexes. On peut noter, également, que la méthode est robuste face au bruit.

En outre, pour que la notion de proximité soit pertinente, il faut que les exemples couvrent bien l'espace et soient suffisamment proches les uns des autres. Si le nombre d'attributs pertinents est faible relativement au nombre total d'attributs, la méthode donnera de mauvais

*Chapite3 :*

*Les réseaux de neurones*

### **Introduction :**

Un neurone formel est une représentation mathématique et informatique du neurone biologique. Ces derniers ont toujours été considérés comme le support physique de l'intelligence qui est à l'origine des miracles et des créations impressionnantes. Le neurone artificiel reproduit certaines caractéristiques biologiques, en particulier les dendrites, axone et synapses, au moyen de fonctions et de valeurs numériques, pour cela une étude établie sur les neurones biologiques permet de mieux utiliser les réseaux neuronaux artificiels.

Les neurones formels sont regroupés en réseaux de neurones. Grâce à des algorithmes d'apprentissage automatique, on peut régler un réseau de neurones pour lui faire accomplir des tâches qui relèvent de l'intelligence artificielle. Ces réseaux se composent en plusieurs catégories qui se diffèrent l'une de l'autre selon leurs modes d'apprentissage. Nous pouvons distinguer deux genres d'architectures [17], les réseaux bouclés et non bouclés.

Dans la fin de ce chapitre, nous allons détailler trois réseaux appartenant à la première catégorie (non récurrents), qui sont destinés à l'apprentissage supervisé. L'un d'eux est le réseau d'ordre supérieur [18], qui se compose des réseaux Square-MLP, HPU, Pi-sigma et le RPN que nous allons utiliser dans nous travaux puisque c'est le réseau le plus performant d'après [18] et [19].

### **3.1 Origine biologique :**

Le neurone biologique est à l'origine du neurone formel, pour mieux cerner et comprendre la manière d'utilisation des réseaux de neurones artificiels il faut tout d'abord étudier le fonctionnement de l'original.

#### **3.1.1 Définition d'un neurone biologique :**

Un neurone, ou cellule nerveuse, selon [20] et [21], est une cellule excitable constituant l'unité fonctionnelle de base du système nerveux. Le terme de « neurone » fut introduit dans le vocabulaire médical en 1881 par l'anatomiste allemand Heinrich Wilhelm Waldeyer. Les neurones assurent la transmission d'un signal bioélectrique appelé influx nerveux. Les neurones ont deux propriétés physiologiques : l'excitabilité, c'est-à-dire la capacité de répondre aux stimulations et de convertir celles-ci en impulsions nerveuses, et la conductivité, c'est-à-dire la capacité de transmettre les impulsions. Le nombre total de neurones du cerveau humain est estimé de 86 à 100 milliards.

c'est-à-dire de leur activation répétée ou non entre deux neurones, les connexions synaptiques vont donc se modifier. Ainsi, la synapse va faciliter ou non le passage des influx nerveux. Cette plasticité est à l'origine des mécanismes d'apprentissage.

### 3.2 Le neurone formel :

Comme nous l'avons indiqué auparavant, le neurone formel n'est qu'une modélisation mathématique du fonctionnement du neurone biologique. La figure suivante montre la ressemblance entre les deux.

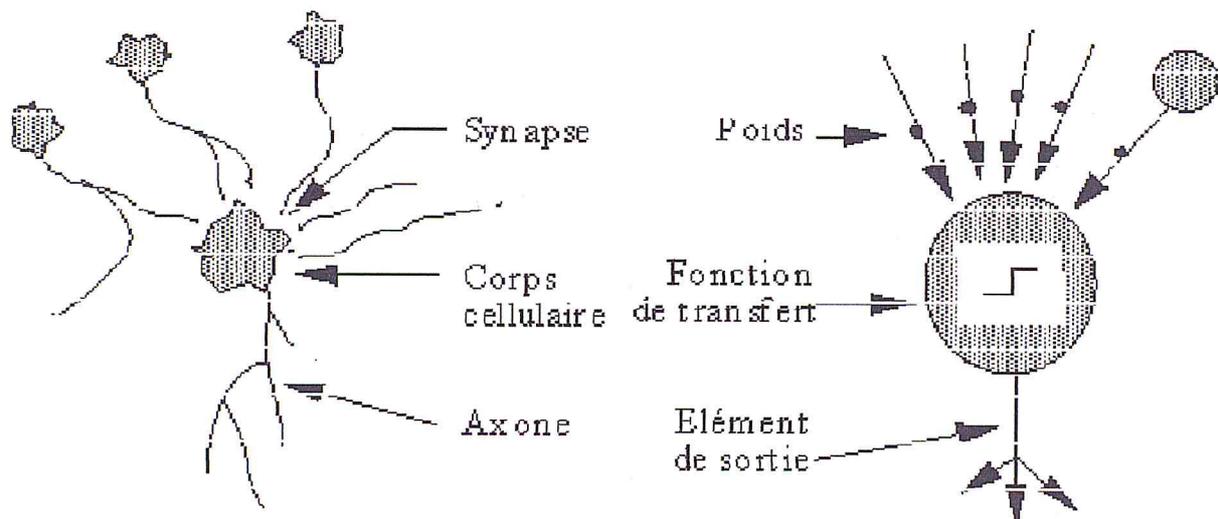


Figure3.2. La ressemblance entre le neurone biologique et le neurone formel.

#### 3.2.1 Définition :

Un "neurone formel" ou simplement "neurone" est une fonction algébrique non linéaire et bornée, dont la valeur dépend de paramètres appelés coefficients ou poids. Les variables de cette fonction sont habituellement appelées "entrées" du neurone, et la valeur de la fonction est appelée sa "sortie".

Un neurone est donc avant tout un opérateur mathématique, dont on peut calculer la valeur numérique par quelques lignes de logiciel [24].

Un réseau de neurones [21] formels est une combinaison de fonctions élémentaires appelées neurones formels, ou simplement neurones. Chacun des neurones formels réalise, une fonction non linéaire paramétrée de ses variables, qui, au sein du réseau, peuvent être soit les sorties d'autres neurones, soit des variables exogènes. De nombreuses variantes sont définies selon le choix de la cellule élémentaire, de l'architecture du réseau et de la dynamique du réseau.

### 3.2.2 Historique :

D'après [17] et [20], voici un bref historique concernant les réseaux de neurones artificiels :

Les premiers à proposer un modèle sont deux bio-physiciens de Chicago, McCulloch et Pitts, qui inventent en 1943 le premier neurone formel qui portera leurs noms (neurone de McCulloch-Pitts).

Quelques années plus tard, en 1949, Hebb propose une formulation du mécanisme d'apprentissage, sous la forme d'une règle de modification des connexions synaptiques (règle de Hebb). Cette règle, basée sur des données biologiques, modélise le fait que si des neurones, de part et d'autre d'une synapse, sont activés de façon synchrone et répétée, la force de la connexion synaptique va aller croissant.

Le premier réseau de neurones artificiels apparaît en 1958, grâce aux travaux de Rosenblatt qui conçoit le fameux Perceptron. Le Perceptron est inspiré du système visuel (en terme d'architecture neuro-biologique) et possède une couche de neurones d'entrée ("perceptive") ainsi qu'une couche de neurones de sortie ("décisionnelle"). Ce réseau parvient à apprendre à identifier des formes simples et à calculer certaines fonctions logiques. Il constitue donc le premier système artificiel présentant une faculté jusque là réservée aux êtres vivants : la capacité d'apprendre par l'expérience.

Malgré tout l'enthousiasme que soulève le travail de Rosenblatt dans le début des années 60, la fin de cette décennie sera marquée en 1969, par une critique violente du Perceptron par Minsky et Papert. Ils montrent dans un livre (Perceptrons) toutes les limites de ce modèle, et soulèvent particulièrement l'incapacité du Perceptron à résoudre les problèmes non linéairement séparables, tels que le célèbre problème du XOR (OU exclusif). Il s'en suivra alors, face à la déception, une période noire d'une quinzaine d'années dans le domaine des réseaux de neurones artificiels.

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

En parallèle des travaux de Hopfield, Werbos conçoit son algorithme de rétro-propagation de l'erreur, qui offre un mécanisme d'apprentissage pour les réseaux multicouches de type Perceptron (appelés MLP pour Multi-layer Perceptron), fournissant ainsi un moyen simple d'entraîner les neurones des couches cachées. Cet algorithme de "back-propagation" ne sera pourtant popularisé qu'en 1986 par Rumelhart.

### 3.2.3 Classification des réseaux de neurones :

L'étude du fonctionnement d'un neurone biologique nous a permis de comprendre qu'il a plusieurs rôles qui se différencient l'un de l'autre, et puisque ils sont la source d'inspiration des réseaux de neurones artificiels, ces derniers, eux aussi ont des architectures différentes selon les besoins du système.

Principalement, nous pouvons distinguer deux types de réseaux de neurones artificiels [17]. Des réseaux non bouclés appelés aussi réseaux « Feed-Forward » et des réseaux bouclés appelés « Feed-back ».

#### 3.2.3.1 Les réseaux Feed Forward :

Ce sont des réseaux dans lesquels l'information se propage de couche en couche sans retour en arrière possible, ils se distinguent en trois catégories qui sont destinés la majorité du temps à l'apprentissage supervisé, et qui sont : les perceptrons, les réseaux à fonction radiale et finalement les réseaux d'ordre supérieurs. Leurs architectures et fonctionnements seront détaillés dans la section suivante.

#### A- Les Perceptrons :

- **Le perceptron monocouche :** C'est historiquement le premier réseau de neurones, c'est le Perceptron de Rosenblatt. C'est un réseau simple, puisqu'il ne se compose que d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie. Il est calqué, à la base, sur le système visuel et de ce fait a été conçu dans un but premier de reconnaissance des formes. Cependant, il peut aussi être utilisé pour faire de la classification et pour résoudre des opérations logiques simples (telle "ET" ou "OU"). Sa principale limite est qu'il ne peut résoudre que des problèmes linéairement séparables. Il suit généralement un apprentissage supervisé selon la règle de correction de l'erreur (ou selon la règle de Hebb).

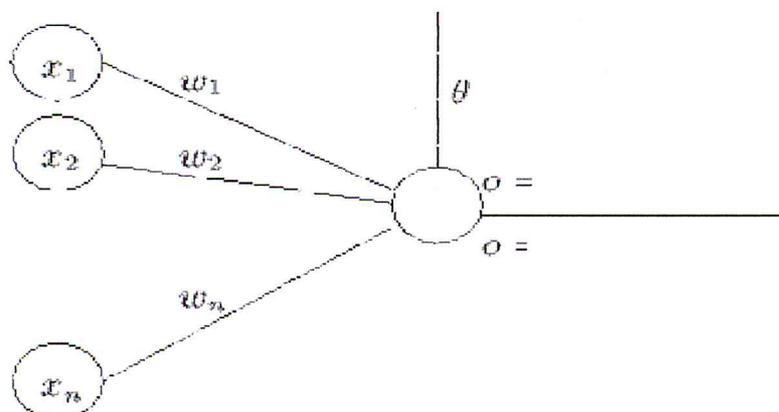


Figure 3.3. Représentation graphique d'un perceptron monocouche à seuil.

### A- Les cartes auto-organisatrices de Kohonen :

Ce sont des réseaux à apprentissage non-supervisé qui établissent une carte discrète, ordonnée topologiquement, en fonction de patterns d'entrée. Le réseau forme ainsi une sorte de treillis dont chaque nœud est un neurone associé à un vecteur de poids. La correspondance entre chaque vecteur de poids est calculée pour chaque entrée. Par la suite, le vecteur de poids ayant la meilleure corrélation, ainsi que certains de ses voisins, vont être modifiés afin d'augmenter encore cette corrélation.

### B- Les réseaux de Hopfield :

Les réseaux de Hopfield sont des réseaux récurrents et entièrement connectés. Dans ce type de réseau, chaque neurone est connecté à chaque autre neurone et il n'y a aucune différenciation entre les neurones d'entrée et de sortie. Ils fonctionnent comme une mémoire associative non-linéaire et sont capables de trouver un objet stocké en fonction de représentations partielles ou bruitées. L'application principale des réseaux de Hopfield est l'entrepôt de connaissances mais aussi la résolution de problèmes d'optimisation. Le mode d'apprentissage utilisé ici est le mode non-supervisé.

### C. Les ART :

Les réseaux ART "Adaptative Resonance Theorie" sont des réseaux à apprentissage par compétition. Le problème majeur qui se pose dans ce type de réseaux est le dilemme « stabilité/plasticité ». En effet, dans un apprentissage par compétition, rien ne garantit que les catégories formées aillent rester stables. La seule possibilité, pour assurer la stabilité, serait que le coefficient d'apprentissage tende vers zéro, mais le réseau perdrait alors sa plasticité. Les ART ont été conçus spécifiquement pour contourner ce problème. Dans ce genre de réseau, les vecteurs de poids ne seront adaptés que si l'entrée fournie est suffisamment proche, d'un prototype déjà connu par le réseau. On parlera alors de résonance. A l'inverse, si l'entrée s'éloigne trop des prototypes existants, une nouvelle catégorie va alors se créer, avec pour prototype, l'entrée qui a engendrée sa création. Il est à noter qu'il existe deux principaux types de réseaux ART : les ART-1 pour des entrées binaires et les ART-2 pour des entrées continues. Le mode d'apprentissage des ART peut être supervisé ou non.

### 3.2.4 Règles d'apprentissage :

Les règles d'apprentissage peuvent se résumer en :

#### 3.2.4.1 Règle de correction d'erreurs :

Cette règle s'inscrit dans le paradigme d'apprentissage supervisé, c'est -à-dire dans le cas où l'on fournit au réseau une entrée et la sortie correspondante. Si on considère y comme étant la sortie calculée par le réseau, et d la sortie désirée, le principe de cette règle est d'utiliser l'erreur (d-y), afin de modifier les connexions et de diminuer ainsi l'erreur globale du système.

Le réseau va donc s'adapter jusqu'à ce que y soit égal à d. Ce Principe est notamment utilisé dans le modèle du perceptron simple.

### **3.2.4.2 Apprentissage de Boltzmann :**

Les réseaux de Boltzmann sont des réseaux symétriques récurrents. Ils possèdent deux sous-groupes de cellules, le premier étant relié à l'environnement (cellules dites visibles) et le second ne l'étant pas (cellules dites cachées). Cette règle d'apprentissage est de type stochastique (qui relève partiellement du hasard) et elle consiste à ajuster les poids des connexions, de telle sorte que l'état des cellules visibles satisfasse une distribution probabiliste souhaitée.

### **3.2.4.3 Règles de Hebb :**

Comme je l'ai déjà dit dans l'historique, cette règle, basée sur des données biologiques, modélise le fait que si des neurones, de part et d'autre d'une synapse, sont activés de façon synchrone et répétée, la force de la connexion synaptique va aller croissant. Il est à noter ici que l'apprentissage est localisé, c'est-à-dire que la modification d'un poids synaptique  $w_{ij}$  ne dépend que de l'activation d'un neurone  $i$  et d'un autre neurone  $j$ .

### **3.2.4.4 Règle d'apprentissage par compétitions :**

La particularité de cette règle, c'est qu'ici l'apprentissage ne concerne qu'un seul neurone. Le principe de cet apprentissage est de regrouper les données en catégories. Les patrons similaires vont donc être rangés dans une même classe, en se basant sur les corrélations des données, et seront représentés par un seul neurone, on parle de « winner-take-all ». Dans un réseau à compétition simple, chaque neurone de sortie est connecté aux neurones de la couche d'entrée, aux autres cellules de la couche de sortie (connexions inhibitrices) et à elle-même (connexion excitatrice). La sortie va donc dépendre de la compétition entre les connexions inhibitrices et excitatrices.

## **3.3 Réseaux de neurones à apprentissage supervisé :**

### **3.3.1 Les réseaux à fonction radiale de base :**

#### **- Architecture :**

Les réseaux de neurones à fonction radiale de base sont des réseaux à deux couches selon [18] et [22], les entrées sont reliées aux neurones de la première couche, ces derniers comportent deux genres de paramètres : un vecteur prototype  $\mathbf{P}$  qui définit un point dans l'espace d'entrée et un coefficient d'étalement  $\sigma$  strictement positif. Une fonction de base non linéaire est réalisée sur cette couche, la plus courante est de la forme gaussienne (Equation) malgré que d'autres types de fonctions existent.

$$f_1(\mathbf{x}) = e^{-\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{p}\|^2}{2\sigma^2}}$$

Formule 3.1. Fonction réalisée par la première couche d'un réseau GRBF.

Le résultat obtenu par cette fonction est égal à 1 dans le cas où l'entrée  $\mathbf{x}$  prend la valeur de  $\mathbf{P}$ , sinon, il diminue pour converger vers le 0 à chaque fois où la valeur de  $\mathbf{x}$  s'éloigne de  $\mathbf{P}$ . Ce qui concerne la vitesse de décroissance, elle est réglée par  $\sigma$  : plus le coefficient est petit et plus la fonction sera concentrée autour du point  $\mathbf{P}$  et proche de 0 ailleurs.

Les neurones de la seconde couche quand à eux calculent la sortie du réseau en effectuant une combinaison linéaire des sorties de ceux de la première couche, et un biais est ajouté au total. La fonction qu'ils réalisent est la suivante :

$$f_2(\mathbf{x}) = \mathbf{x} \cdot \mathbf{w} + \mathbf{b}$$

Formule 3.2. Fonction réalisée par la seconde couche d'un réseau GRBF.

Où  $\mathbf{x}$  est un vecteur composé des sorties de tous les neurones de la première couche,  $\mathbf{w}$  est un vecteur de poids et  $\mathbf{b}$  est le biais.  $\mathbf{w}$  et  $\mathbf{b}$  sont ajustés lors de l'apprentissage. La figure suivante [18] constitue une représentation du réseau RBF.

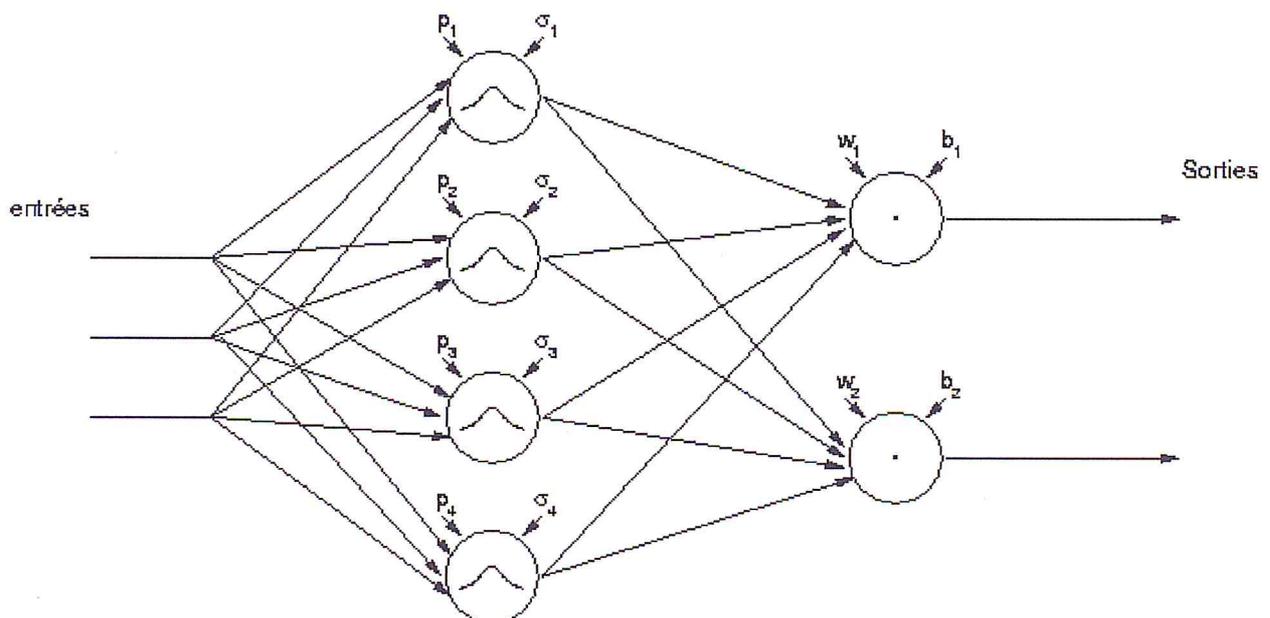


Figure3.5. Schéma général d'un réseau GRBF.

Une sortie d'un réseau RBF est représentée par l'équation suivante :

$$s_i(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^{N_g} w_{i,j} e^{-\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{p}_j\|^2}{2\sigma_j^2}} + b_i$$

Formule 3.3. Sortie d'un réseau GRBF.

Où  $i$  est le numéro de la sortie (c'est à dire le numéro du neurone de la seconde couche dont on calcule la sortie),  $N_g$  le nombre de neurones de la première couche,  $\mathbf{p}_j$  le vecteur prototype du neurone numéro  $j$  de la première couche,  $\sigma_j$  son coefficient d'étalement,  $w_{i,j}$ ,  $j = 1 \dots N_g$  les  $N_y$  poids du neurone de sortie  $i$ , et  $b_i$  son biais.

Deux problèmes peuvent être rencontrés au niveau de l'apprentissage d'un réseau RBF :

Le premier se constitue dans le choix du nombre de neurones, des prototypes et des coefficients d'étalement de la première couche. Le choix du nombre de neurones et de leurs prototypes correspondants dépend de la répartition des entrées (vecteurs  $\mathbf{x}_k$  de la base d'apprentissage). Plusieurs méthodes sont établies pour faire le choix du prototype, que ça soit par la répartition des prototypes uniformément ou aléatoirement dans l'espace d'entrée, ou bien par la sélection aléatoire de quelques vecteurs de la base d'apprentissage. Ces méthodes peuvent produire de mauvais résultats malgré leur simplicité, à cause de la répartition obtenue qui n'est pas toujours adaptée à la base. Pour palier à ce problème, on peut utiliser un algorithme de clustering statistique, tel que les k-means, afin de mieux les répartir dans l'espace d'entrée. Outre, le choix des coefficients d'étalement primordial. S'ils sont trop faibles, on verra apparaître des pics autour des points définis par les prototypes, et au contraire s'ils sont trop grands la fonction pourra difficilement prendre des valeurs différentes près de deux prototypes différents. Pour une solution optimale, il est préférable de choisir une valeur qui soit de l'ordre de grandeur du carré de la distance entre deux prototypes voisins.

Le second demeure dans la détermination des poids et biais de la seconde couche.

#### - Apprentissage :

L'Apprentissage d'un réseau RBF se fait au niveau de la deuxième couche et consiste à déterminer les poids  $w_i$  et biais  $b_i$  qui minimisent la fonction de performance du réseau à l'aide de l'erreur quadratique qui est comme suit :

$$\epsilon = \frac{1}{N_n} \sum_{k=1}^{N_n} \sum_{i=1}^{N_s} (s_i(\mathbf{x}_k) - y_{k,i})^2 = \frac{1}{N_n} \sum_{k=1}^{N_n} \sum_{i=1}^{N_s} (\mathbf{z}_k \cdot \mathbf{w}_i + b_i - y_{k,i})^2$$

Formule 3.4. Expression de la performance en fonction des sorties de la première couche.

Tel que :

$$z_{k,j} = c - \frac{\|x_k - p_j\|^2}{2\sigma_j^2}$$

Formule 3.5. Expression de la sortie de la première couche du réseau GRBF.

Où  $k$  est le numéro de l'exemple et  $j$  celui de la composante de  $z_k$  calculée, c'est-à-dire le numéro du neurone de la première couche dont on calcule la sortie. Et  $s_i(x_k)$  est la sortie du neurone  $i$  de la seconde couche,  $y_{k,i}$  est la  $i^{\text{me}}$  composante de  $Y_k$  (la sortie voulue pour l'exemple  $k$  sur le neurone  $i$  de la seconde couche) et  $N_s$  est le nombre de sorties. Un algorithme des moindres carrés peut être appliqué afin de trouver les paramètres  $w_i$  et  $b_i$  qui minimisent ce critère.

### - Remarque :

Le réseau RBF est un approximateur. Puisque, dans le cas où les vecteurs d'entrée sont répartis plus uniformément, ou lorsque le nombre de dimensions de l'espace d'entrée est important, le nombre de prototypes nécessaires augmente rapidement et les réseaux RBF perdent leur intérêt. Par contre, il peut être plus performant que les autres réseaux de neurones avec une complexité moindre, à condition de lui fournir un nombre suffisant de neurones, d'utiliser un algorithme d'apprentissage approprié, ainsi que les vecteurs des entrées doivent être regroupés par zones. Enfin un autre avantage des réseaux RBF est leur rapidité d'apprentissage, qui est plus grande que celle du perceptron.

### 3.3.2 Le perceptron multicouche :

Un perceptron linéaire à seuil est bien adapté pour des échantillons linéairement séparables. Cependant, dans la plupart des problèmes réels, cette condition n'est pas réalisée. Un perceptron linéaire à seuil est constitué d'un seul neurone. Avec la combinaison de plusieurs neurones le pouvoir de calcul était augmenté. La notion de perceptron multicouches (PMC) a ainsi été définie.

### - Architecture :

Le perceptron est organisé en plusieurs couches. La première couche est reliée aux entrées, puis ensuite chaque couche est reliée à la couche précédente. C'est la dernière couche qui produit les sorties du PMC. Les sorties des autres couches ne sont pas visibles à l'extérieur du réseau, et elles sont appelées pour cette raison couches cachées.

La sortie d'un perceptron multicouche est calculée comme suit :

$$y = f(x \cdot w + b)$$

Formule 3.6. Expression de la sortie d'un neurone de perceptron.

Tel que  $x$  est son vecteur d'entrées,  $w$  un vecteur de paramètres appelé poids synaptiques,  $b$  un biais, et  $f$  une fonction d'activation qui de préférence doit être strictement croissantes et bornées. Pour cette raison, les fonctions les plus utilisées sont la fonction linéaire, la tangente hyperbolique et la fonction sigmoïde standard.

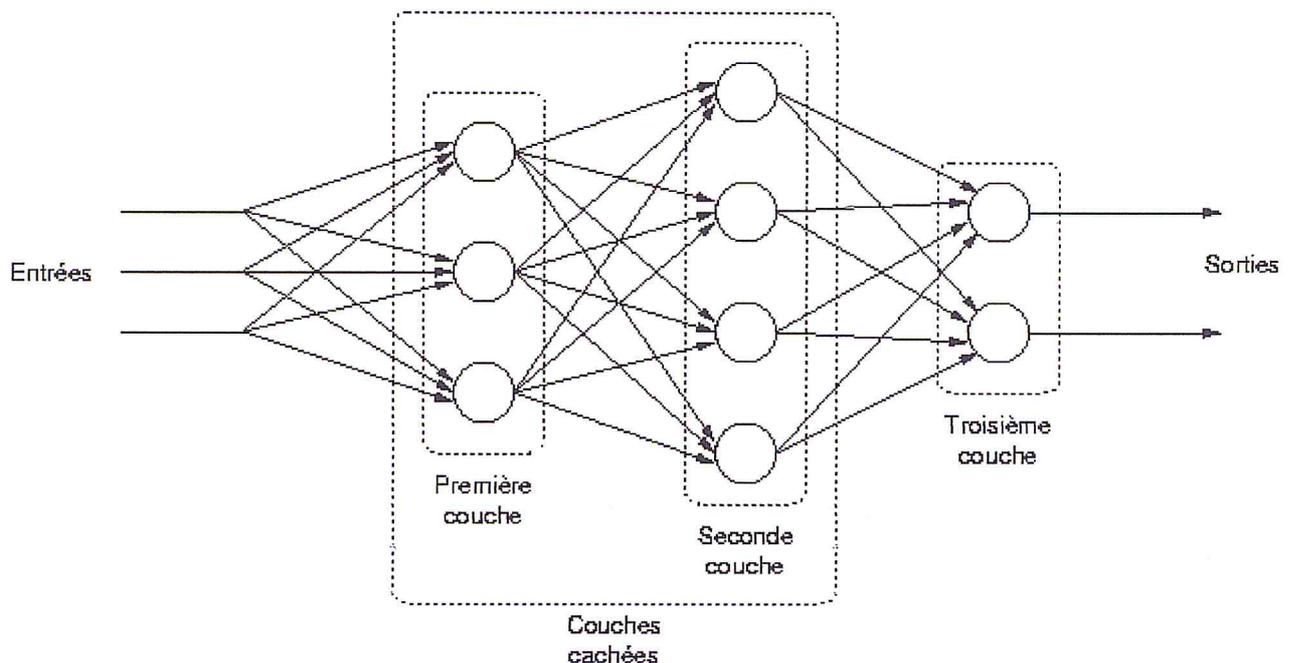


Figure3.6. Schéma d'un PMC.

**- Apprentissage :**

L'apprentissage se fait à l'aide de l'algorithme de rétropropagation du gradient qui se base sur la descente du gradient (*Annexe*).

Le principe de cet algorithme [23] est de minimiser une fonction d'erreur. Il s'agit ensuite de calculer la contribution à cette erreur de chacun des poids synaptiques. Pour un perceptron à une couche, cette évolution des poids s'exprime comme suit :

$$\delta w_{1,i} = -2\eta \sum_{k=1}^{N_a} e_{k,i} f'_1(w_{1,i} \cdot x_k) x_k$$

Formule 3.7. Évolution des poids durant une étape de l'apprentissage d'un perceptron à une couche.

Tel que :

$$\epsilon = \frac{1}{N_a} \sum_{k=1}^{N_a} \sum_{i=1}^{N_s} e_{i,k}^2$$

Formule 3.8. Performance du perceptron à une couche.

Et :

$$e_{i,k} = f_1(w_{1,i} \cdot x_k) - y_{i,k}$$

Formule 3.9. Erreur d'un perceptron à une couche.

Où  $i$  est le numéro de la sortie et  $k$  celui de l'exemple de la base d'apprentissage.

C'est cette étape qui est difficile. En effet, chacun des poids influe sur le neurone correspondant, mais, la modification pour ce neurone va influencer sur tous les neurones des couches suivantes.

**Remarques :**

Le choix du nombre de couches, et des neurones qui les composent est primordial pour un perceptron multicouches. A chaque fois où leur nombre est augmenté, les capacités du réseau s'améliorent et il devient de plus en plus performant, mais l'apprentissage devient plus long et le risque de sur-apprentissage augmente. Alors pour résoudre ce problème, le nombre des couches et des neurones est déterminé soit, expérimentalement, par le fait de commencer avec petit réseau et ajouter progressivement des neurones ou le contraire, soit par l'usage des algorithmes itératifs.

A la fin, nous pouvons conclure qu'un perceptron multicouche est capable d'approximer des fonctions de forme très différente. Contrairement au réseau RBF l'approximation faite n'est pas locale, mais globale, et donc il sera plus adapté lorsque les vecteurs d'entrée ont une répartition assez uniforme dans l'espace d'entrée. Par contre si la fonction à approximer présente des variations assez localisées dans l'espace, un perceptron multicouche risque d'être plus complexe qu'un réseau RBF avec les mêmes performances.

3.3.3 Les réseaux d'ordres supérieurs :

D'après [18] les réseaux d'odores supérieures peuvent se résumé en :

- Le réseau SQUARE-MLP :

Le réseau SQUARE-MLP (Square Unit Augmented, Radially Extended, MultiLayer Perceptron) a comme entrées le vecteur  $(x_1, x_2, \dots, x_n, x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2)$  qui est l'union des éléments du vecteur d'entrée original  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  avec leurs carrés. Ensuite, ce vecteur sera associé à un perceptron multicouche.

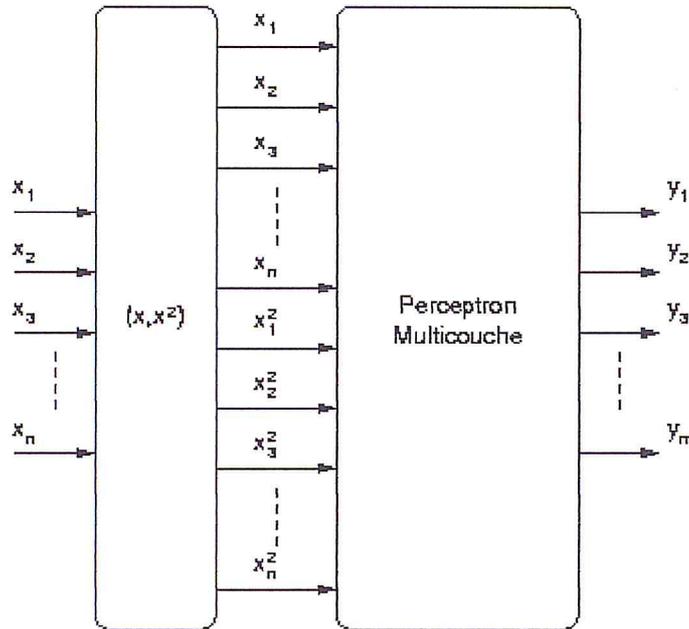


Figure3. 7. Principe du réseau Square-MLP.

Le réseau SQUARE-MLP peut réaliser une plus grande variété d'approximations avec un petit nombre de neurones et une complexité moindre comparant à d'autres réseaux de neurones. Puisque son nouveau vecteur d'entrées est de dimension deux fois plus grande que celle de son premier vecteur ce qui veut dire que le perceptron possède deux fois plus de poids par neurone que s'il était utilisé seul.

- Le réseau HPU :

Malgré que réseau SQUARE-MLP représente une bonne amélioration d'un perceptron multicouche, il n'arrive toujours pas à résoudre le problème du choix du nombre de couches et de neurones.

Le réseau HPU (Higher-order Processing Unit) [18] résout ce problème. Ce dernier utilise le même principe que le SQUARE-MLP, mais en calculant toutes les corrélations d'ordre supérieur entre les entrées, jusqu'à un certain ordre. La sortie du réseau est de la forme:

$$y = f(\omega_0 + \sum_j \omega_j x_j + \sum_{j,k} \omega_{j,k} x_j x_k + \sum_{j,k,i} \omega_{j,k,i} x_j x_k x_i + \dots)$$

Formule 3.10. Sortie d'un réseau HPU

Où  $f$  est la fonction d'activation, linéaire ou de forme sigmoïde. Dans le cas d'un réseau d'ordre supérieur une fonction d'activation linéaire suffira sans avoir besoin de recourir aux fonctions sigmoïdes ou tangentes hyperbolique, puisque elle est polynomiale et permet d'approximer de nombreuses fonctions. L'ordre du réseau est le degré du terme de plus haut degré.

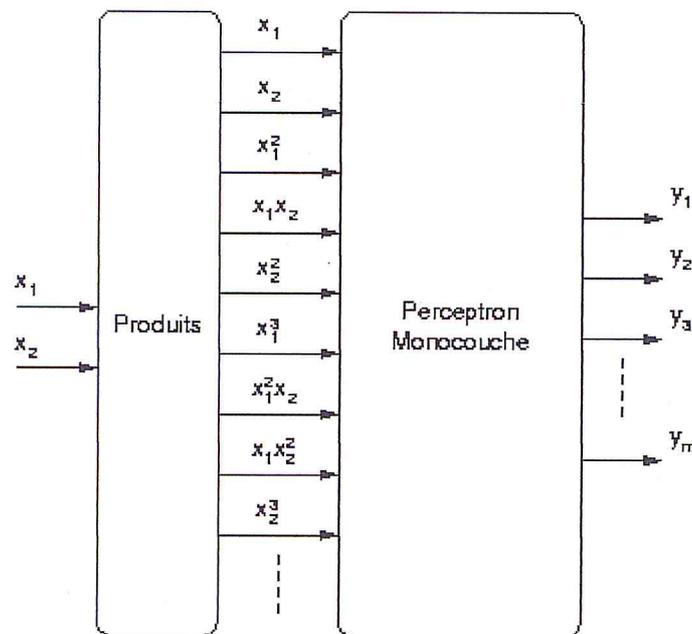


Figure3. 8. Mise en œuvre d'un réseau HPU.

En effet l'équation précédente correspond à la sortie d'un perceptron monocouche auquel on fournit en entrée tous les produits possibles entre les entrées jusqu'à l'ordre du réseau HPU. Comme pour le SQUARE-MLP, il est donc possible d'utiliser les algorithmes existants pour le perceptron, et d'ajouter simplement un module qui calcule ces produits avant de les fournir au réseau de neurones. Si la fonction  $f$  est linéaire les poids peuvent être déterminés plus simplement avec des moindres carrés.

L'inconvénient du HPU réside dans le nombre de poids nécessaire. Celui-ci évolue de manière exponentielle avec le nombre d'entrées  $N_e$  et l'ordre du réseau HPU  $O_r$ . En effet, on peut montrer que ce nombre de poids est égal à :

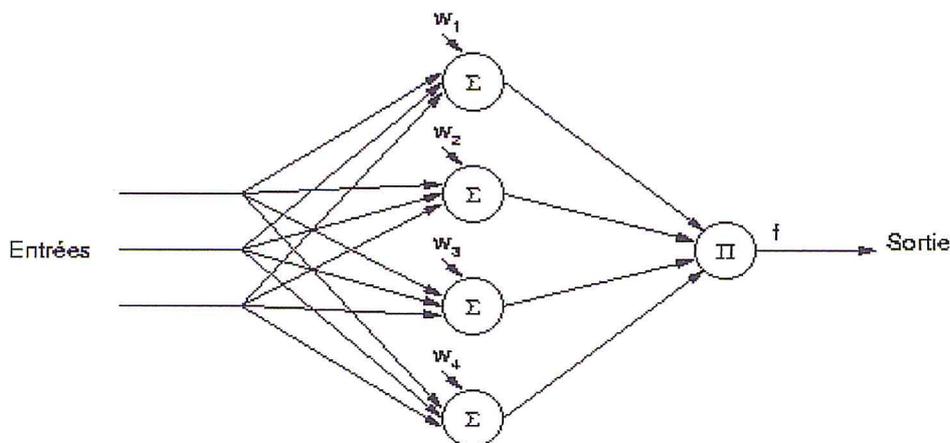


Figure3. 9. Architecture d'un réseau Pi-Sigma.

L'apprentissage d'un réseau Pi-Sigma peut se faire avec un algorithme de descente de gradient, mais celui-ci nécessite quelques modifications, à cause du produit réalisé par le neurone de la seconde couche. Différents algorithmes sont étudiés en détail dans, et seul le principe de l'un d'entre eux sera évoqué ici. Nous appellerons  $(x_k, y_k)$  les éléments de la base d'apprentissage,  $e_k$  les erreurs correspondantes et  $\epsilon$  la performance (une erreur quadratique moyenne). Comme pour le PMC nous considérons que le biais est un poids supplémentaire associé à une entrée à 1, et donc celui-ci n'apparaît plus dans les formules suivantes. Si l'on applique l'algorithme de descente du gradient à ce réseau, on obtient pour les mises à jour des poids :

$$\delta w_i = -\eta \sum_{k=0}^{N_s} e_k d_f \prod_{j \neq i} (x_k \cdot w_j) x_k$$

o

$$d_f = f' \left( \prod_{j=1}^{O_r} (x_k \cdot w_j) \right)$$

Formule 3.14. Itération d'une descente de gradient pour un réseau pi-sigma.

Si l'on applique directement l'algorithme de descente du gradient au réseau Pi-Sigma, c'est à dire si l'on ajoute les  $\delta w_i$  à tous les poids à chaque itération, on constate que l'algorithme ne converge que pour des faibles valeurs de  $\eta$ . Au delà l'algorithme est très instable. Donc deux autres approches sont proposées. Dans la première, dite aléatoire, à chaque itération un seul des  $O_r$  neurones, sélectionné aléatoirement, est mis à jour et les poids des autres neurones ne sont pas modifiés. Dans la seconde approche, dite asynchrone, la mise à jour des poids se fait successivement sur chaque neurone pour chaque exemple. C'est à dire que pour chaque exemple de la base d'apprentissage on calcule  $\delta w_1$ , puis la nouvelle valeur de  $w_1$ , puis  $\delta w_2$ , puis la nouvelle valeur de  $w_2$  etc... L'itération se termine lorsque tous les exemples ont été

parcourus. Ces deux approches permettent de converger plus rapidement qu'en appliquant strictement l'algorithme de descente du gradient avec un  $\eta$  faible.

#### - Le réseau RPN :

Le réseau Pi-Sigma permet d'approximer un grand nombre de fonctions, en utilisant des corrélations d'ordre élevé entre les entrées avec un nombre réduit de poids. Cependant ce réseau n'est pas un approximateur universel, c'est à dire que certaines fonctions ne pourront pas être approximées par le réseau, quel que soit le nombre de neurones choisis. Le réseau RPN (Ridge Polynomial Network) est un autre réseau basé sur le Pi-Sigma, qui lui est approximateur universel.

Le principe d'un réseau RPN est de calculer la somme des sorties de plusieurs réseaux Pi-Sigma. Chaque réseau Pi-Sigma ne possède pas de fonction d'activation (c'est à dire que  $f(x) = x$  dans les formules précédentes) et la fonction d'activation est placée après la somme. Dans la figure suivante chaque  $PSN_i$  représente un réseau Pi-Sigma d'ordre  $i$  avec une fonction d'activation linéaire.

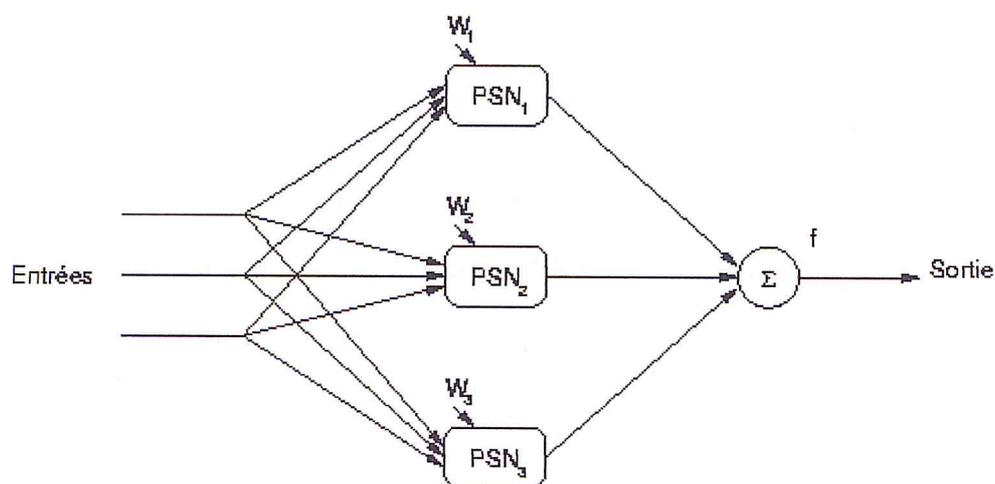


Figure3.10. Architecture d'un réseau RPN.

Un réseau RPN d'ordre  $O_r$  est composé de  $O_r$  réseaux Pi-Sigma, d'ordres respectifs  $1, 2, 3, \dots, O_r$ . La sortie d'un réseau RPN est donnée par :

### 3.4 Mise en œuvre d'un réseau RPN :

Cette section a pour but de présenter les étapes de réalisation de notre réseau RPN utilisée lors des expériences effectuées pour extraire le comportement d'un patient.

Et comme nous l'avions mentionné au paravent, la sortie d'un réseau RPN est la somme de plusieurs réseaux Pi-sigma qui le composent, tel que chaque réseau Pi-sigma ne comporte pas une fonction d'activation (i.e. il la possède mais elle est linéaire). Par contre, le réseau RPN possède bel et bien une fonction d'activation. Et les poids doivent bien être corrigés avec un algorithme de correction d'erreurs.

#### 3.4.1 L'ordre du réseau :

Le nombre des réseaux Pi-sigma qui composent le réseau RPN, représente l'ordre de ce dernier. Le choix de l'ordre est primordial dans un réseau d'ordre supérieur, c'est le même cas que la détermination de nombre de couches et de neurones pour un perceptron multicouches. Mais le problème est comme suit : si nous choisissons un ordre trop petit alors notre apprentissage risque de ne pas être performant, sinon on risque de tomber dans le problème de sur-apprentissage.

Pour palier à ce problème, il soufi de choisir l'ordre par itération, nous commençons par un ordre égal à un, nous construisons notre réseau et l'apprentissage sera appliqué. Si c'est bon, on s'arrête, sinon l'ordre sera incrémenté et ainsi de suite, on s'arrête lorsque la précision voulu est atteinte ou bien l'ordre dépasse le 10.

#### 3.4.2 La fonction d'activation:

La sortie du réseau est calculée par l'application d'une fonction d'activation sur la somme des sorties des réseaux Pi-sigma.

En principe, toute fonction choisie croissante et impaire peut être utilisée, mais le plus souvent on fait appel à des fonctions ramenant le résultat à l'intérieur de bornes prédéfinies. Plusieurs fonctions répondant à cet impératif peuvent être envisagées. Dans notre cas, nous avons utilisé la fonction sigmoïde puisque nous avons choisis une sortie du réseau qui doit appartenir à l'intervalle  $[0,1]$ . Cette fonction est représentée comme suit :

$$f(A) = \frac{1}{1 + e^{-A}}$$

Formule 3.16. La fonction sigmoïde.

#### 3.4.3 Règle d'apprentissage:

L'algorithme utilisé pour l'apprentissage, est la descente du gradient mentionné dans le troisième chapitre et définit dans l'annexe C.

*Chapitre 4 :*

*Architecture et conception du  
système*

### Introduction :

Nous avons consacré les parties précédentes de ce mémoire à la définition des différents facteurs qui peuvent influencer le comportement humain, et aux réseaux de neurones avec lesquels nous parviendront à extraire un modèle (prédire la coopération d'un patient).

Dans ce chapitre nous nous concentreront sur la description du fonctionnement de notre système, et cela se fait à l'aide des modèles graphiques. D'ailleurs les diagrammes sont avérés très utiles lorsqu'on veut montrer les relations ou liens entre différents concepts ou variables, de façon plus claire et immédiate qu'on ne peut le faire avec du texte. Le fait d'établir une relation entre de nouvelles informations et celles déjà assimilées est l'un des plus importants processus cognitifs d'apprentissage. Dessiner des diagrammes stimule par conséquent la réflexion sur une situation donnée.

Dans notre cas, ça sera avec une architecture qui représente les différents modules de notre système et l'interaction entre eux, en plus d'une conception UML et plus précisément un diagramme de cas d'utilisation et un diagramme de classes.

### 4.1 Architecture :

Cette figure représente le fonctionnement global de notre système, (plus précisément la prédiction de la coopération d'un patient souffrant d'une insuffisance rénale), et de son découpage en trois modules, nous allons les détailler dans la suite.

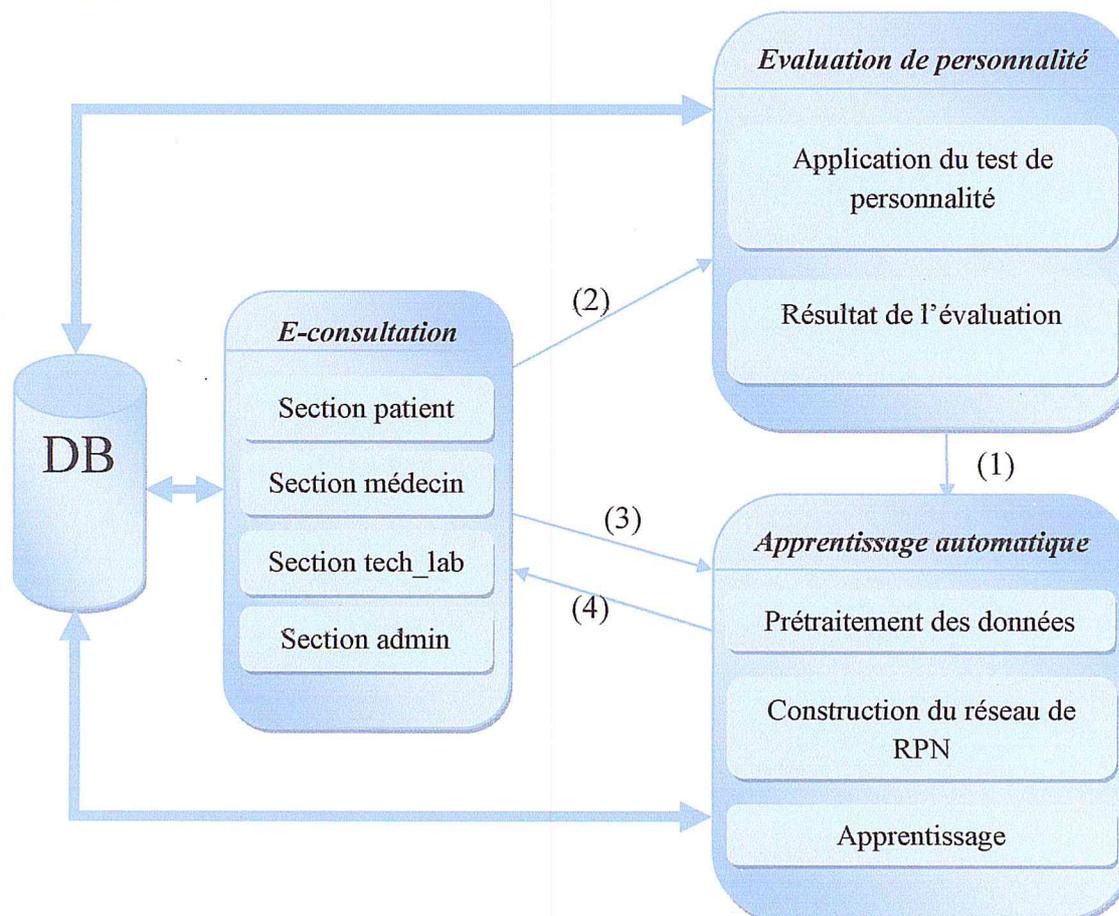


Figure 4.1. Architecture globale du système de la prédiction de la coopération d'un patient.

Voici l'interprétation des flux existant entre les modules :

<i>indice</i>	<i>Description</i>
(1)	Fournir les paramètres des patients de l'échantillon d'apprentissage avec leur personnalité en cinq modèles, et la personnalité (en cinq modèles) pour un nouveau patient.
(2), (3)	Fournir les données d'un nouveau patient.
(4)	Fournir la classe d'un nouveau patient.

Tableau 4.1. Description des flux existants entre les modules du système.

Nous pouvons constater que notre système se décompose principalement en deux sous-systèmes, le premier représente la partie de la réalisation de l'apprentissage, et le second concerne la manière dont on applique le résultat de l'apprentissage réalisé sur un nouveau patient pour connaître le taux de sa coopération et comment une e-consultation se déroule.

### 4.1.1 Première partie : Apprentissage :

#### 4.1.1.1 préparations de l'échantillon :

Pour que l'apprentissage soit réalisé, il faut tout d'abord préparer un échantillon de patients faisant déjà la dialyse. Pour cela, il faut le choix des patients, la récupération de leurs données qui se représentent en : sexe, âge, situation social, soutien familiale et qui représenteront les paramètres du réseau de neurone, et en fin l'attribution à chacun d'entre eux une classe correspondante dont le détail se trouve dans le tableau (5.2), et cela sera à l'aide d'un spécialiste qui le supervise (que ça soit par un médecin ou un psychologue). Tout cela se fait dans le but de faire apprendre à notre système de prédire le comportement d'un patient.

Ce que nous avons expliqué est représenté par le schéma suivant :

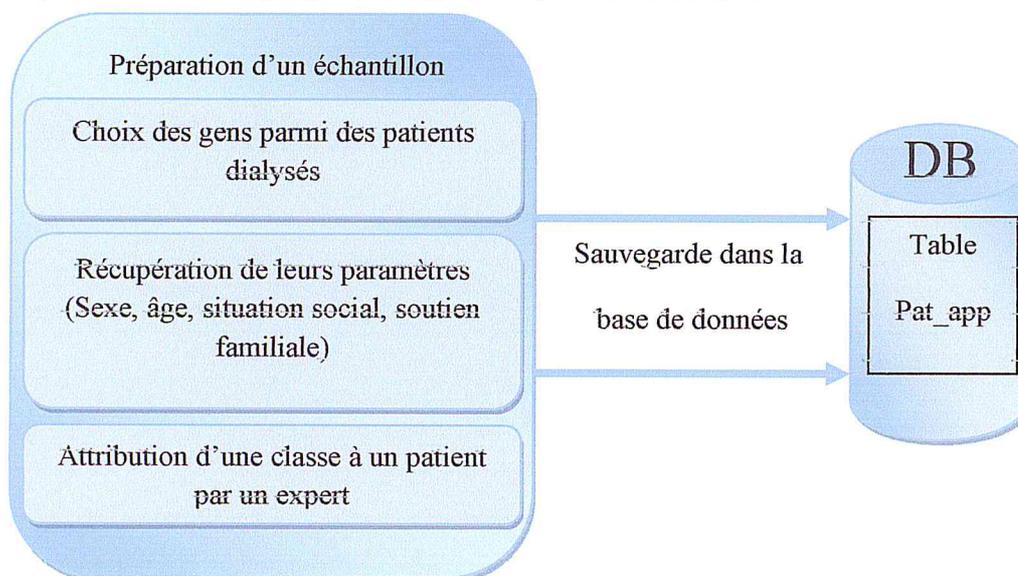


Figure 5.2. Architecture de la préparation de l'échantillon.

<i>Paramètre</i>	<i>Valeurs</i>
Sexe	Féminin ou masculin.
Age	Age réelle.
Situation social	Pauvre, moyen ou riche.
Soutien familiale	Bas, moyen ou élevé.
Classe	Coopère totalement, coopère moins, pas de coopération.

Tableau 4.2. Description des valeurs pouvant être prise par les paramètres d'un patient.

Et tel que la table Pat\_app est une table dans notre base de données dans laquelle le stock des valeurs des paramètres mentionnés précédemment aura lieu.

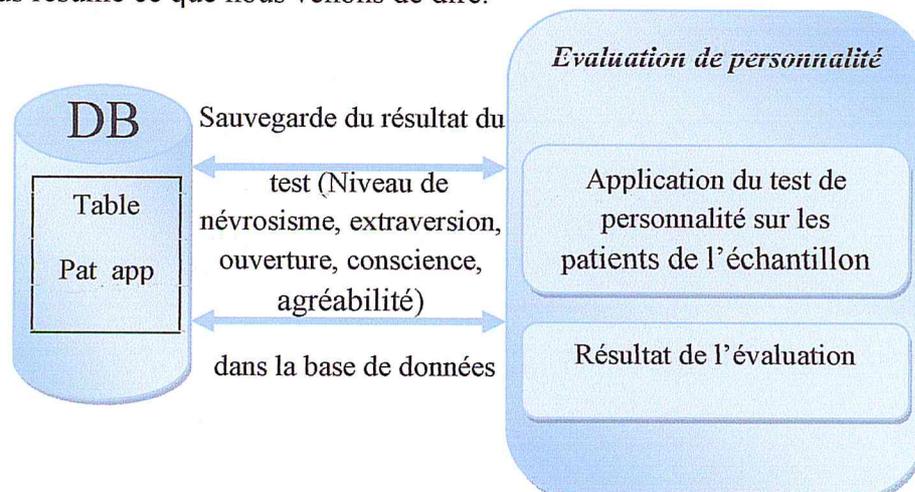
### 4.1.1.2 Evaluation de la personnalité d'un patient :

Maintenant, après avoir préparé l'échantillon de patients, il va falloir appliquer le test de personnalité IPIP-NEO (un inventaire de 120 questions se basant sur le modèle « Big-five » (voir chapitre 1), pour plus d'information sur le questionnaire voir l'annexe A) sur ces patients, le résultat sera représenté par cinq facteurs, comme l'indique le tableau suivant :

<i>Paramètre</i>	<i>Valeurs</i>
Névrosisme	Bas, moyen ou élevé.
Extraversion	Bas, moyen ou élevé.
Ouverture	Bas, moyen ou élevé.
Conscience	Bas, moyen ou élevé.
Agréabilité	Bas, moyen ou élevé.

Tableau 4.3. Description des valeurs pouvant être prise le résultat du test de personnalité.

Les cinq modèles retournés par le test de personnalité sont considérés comme paramètres d'un patient, car comme l'indique le titre de ce mémoire « E-consultation en prenant en compte la personnalité et les émotions d'un patient dialysé » la personnalité d'un patient est un facteur très important lors de la prédiction de sa coopération. Le schéma suivant nous résume ce que nous venons de dire.

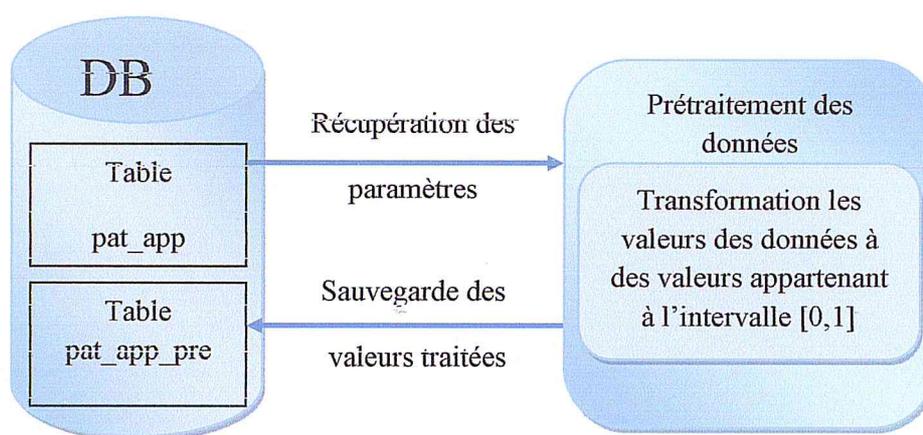


*Figure 4.3. Architecture de l'évaluation de la personnalité.*

### 4.1.1.3 Réalisation de l'apprentissage :

Cette section est la dernière étape de la première partie, elle décrit la manière de la réalisation de l'apprentissage, i.e. l'application d'un algorithme d'apprentissage supervisé sur les données récoltées à partir de l'échantillon. Et puisque notre choix est tombé sur les réseaux de neurones et particulièrement le réseau d'ordre supérieure RPN (détaillé au niveau du chapitre 3), alors on doit le construire, et transformer les valeurs des paramètres des patient à l'intervalle [0, 1] (nous l'avons expliqué dans le chapitre 4).

Voici l'architecture représentant le traitement des données :



*Figure 4.4. Architecture de prétraitement des données des patients.*

Où : la table pat\_app\_pre est la table qui contient les valeurs transformées des paramètres des patients de l'échantillon issus de la table pat\_app.

Le traitement des données ce fait comme suit :

<i>Valeurs d'un paramètre</i>	<i>Equivalent numérique</i>
Féminin, riche, élevé, Coopère totalement	1
Masculin, pauvre, Bas, pas de coopération	0
Moyen, coopère moins.	0.5

*Tableau 4.4. Description des valeurs pouvant être prise par les paramètres d'un patient.*

L'âge sera calculé selon la formule min-max [25]. Si on cherche à transformer une ancienne valeur numérique (**v\_anc**) à une nouvelle valeur (**v\_nouv**) dans un intervalle  $A=[\min\_A, \max\_A]$  alors la formule sera comme suit :

$$v\_nouv = (v\_anc - \min\_A) / (\max\_A - \min\_A).$$

*Formule 4.1. La formule de transformation min-max.*

Pour ce qui concerne l'âge :

$$\text{Age\_nouv} = (\text{Age\_anc} - \text{min\_age}) / (\text{max\_age} - \text{min\_age}).$$

Formule 4.2. Transformation de l'âge avec la méthode min-max.

Tel que Age\_nouv est l'âge à obtenir à partir de l'ancien âge Age\_anc et min\_age, max\_age sont le minimum et maximum de l'intervalle d'âge de notre échantillon.

Une fois le réseau construit et les données prétraitées, il nous reste plus qu'à faire apprendre notre réseau, alors voici l'architecture correspondante :

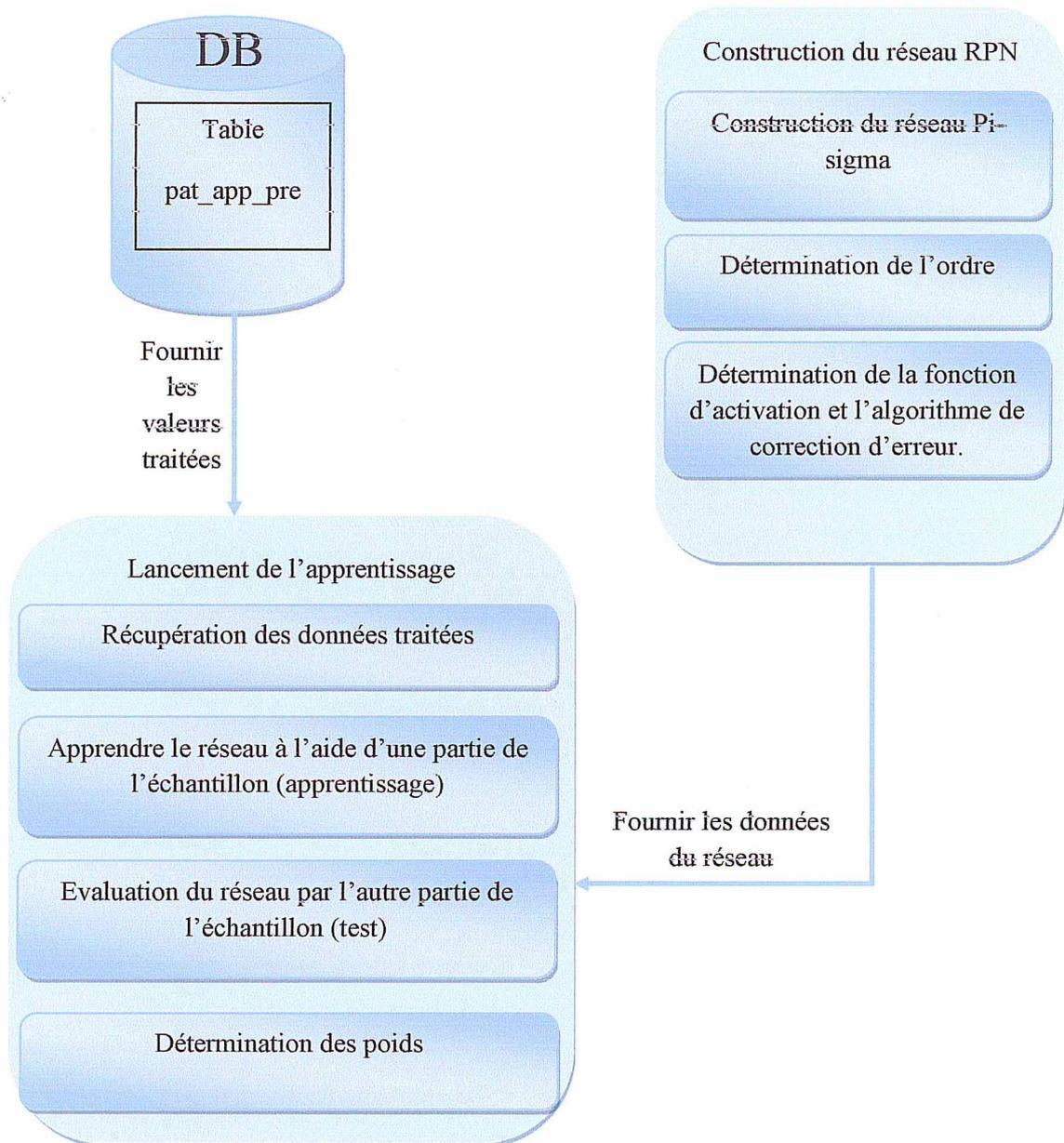


Figure 4.5. Architecture de la réalisation de l'apprentissage.

## Chapitre 4 : Architecture et conception du système

Nous avons belle et bien terminé les architectures de la première partie, maintenant nous allons résumer tout ce que nous avons cité en une illustration.

Pour réaliser l'apprentissage il faut bien déterminer un échantillon, supposons que ce dernier se compose de cinq patients dont les noms sont pat1, pat2, pat3, pat4, pat5. Après avoir récupéré leurs données et leur demander de bien vouloir passer le test IPIP-NEO, nous demandons l'avis du médecin ou psychologue superviseur de nous dire leurs niveaux de coopération. De cette manière nous avons récupéré tous les paramètres nécessaires pour l'apprentissage que nous allons stocker dans la table « pat\_app », voici le résultat :

patient	Sexe	Age	S.F	S.S	O	C	E	A	N	Classe
Pat1	F	80	E	M	M	E	E	M	E	Coopère moins
Pat2	M	50	E	R	E	E	E	M	M	Coopère à 100%
Pat3	M	18	M	P	B	M	B	M	M	Ne coopère pas
Pat4	F	35	B	P	M	E	M	E	M	Coopère moins
Pat5	M	30	M	R	E	M	M	E	B	Coopère à 100%

Tableau 4.5. Représentation de la table « pat\_app ».

Maintenant ma table doit être prétraitée, nous obtiendrons les résultats suivants qui seront stockés dans la table « pat\_app\_pre »:

patient	Sexe	Age	S.F	S.S	O	C	E	A	N	Classe
Pat1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	0.5	1	0.5
Pat2	0.5	0.5	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1
Pat3	0.5	0	0.5	0	0	0.5	1	0.5	0.5	0
Pat4	1	0.27	0	0	0.5	1	0.5	1	0.5	0.5
Pat5	0.5	0.19	0.5	0.5	1	0.5	0.5	1	1	1

Tableau 4.6. Représentation de la table « pat\_app\_pre ».

Ce qui concerne la construction du réseau, nous avons :

- L'ordre est égal à 10.
- La fonction d'activation est la fonction sigmoïde (voir chapitre 3).
- L'algorithme de correction d'erreur est la descente du gradient.

Maintenant, nous donnons les paramètres prétraités des trois premiers patients comme entrées pour le réseau et :

1. Faire apprendre le réseau.
2. Faire l'évaluation à l'aide des deux patients restants.
3. Si tout va bien, sauvegarde des poids calculés par le réseau, sinon modification du réseau.

Et de cette manière notre modèle est créé.

### 4.1.2 Deuxième partie : E-consultation :

#### 4.1.2.1 Administration du site :

Cela se résume en création des comptes des utilisateurs médecin et technicien de laboratoire d'analyse, en les attribuant des rôles, en plus de toutes les opérations CRUD sur tous les utilisateurs et même sur son compte. Mais son plus grand rôle, c'est de lancer l'apprentissage.

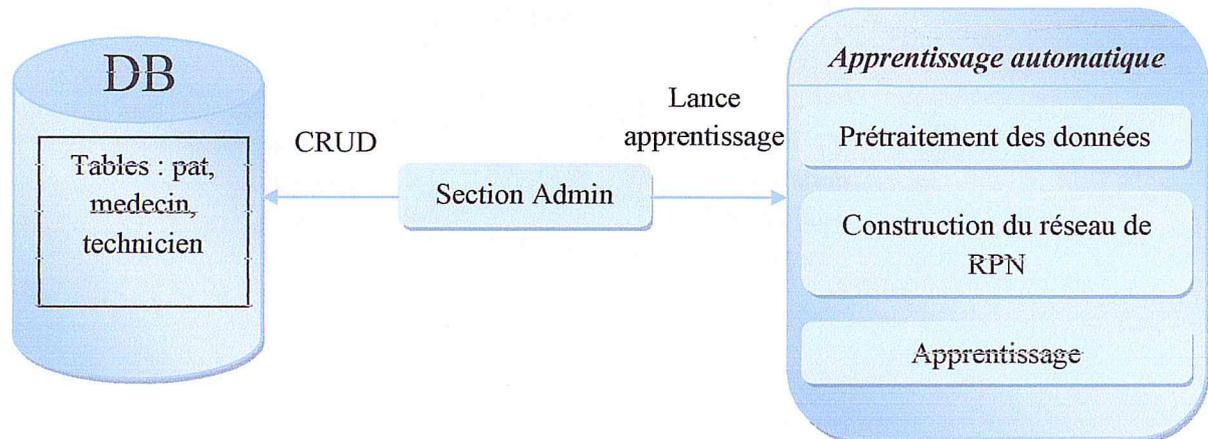


Figure 4.6. Architecture d'administration du site.

#### 4.1.2.2 Consultation :

La consultation se fait par le patient comme suit :

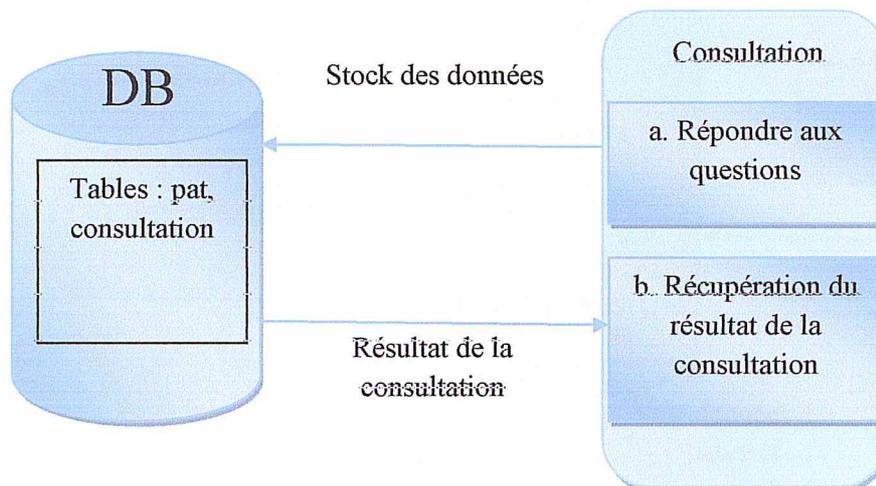


Figure 4.7. Architecture de la consultation.

#### 4.1.2.3 Gestion des analyses :

Dans le cas où un patient doit faire les analyses (car c'est conditionnel), l'architecture est comme suit :

situation social -> moyen, soutien familial -> élevé. Ces informations seront stockées dans la table pat\_hym.

- Par la suite, ces paramètres seront normalisés pour qu'ils deviennent : sexe -> 1, âge -> 0.22, situation social -> 0.5, soutien familial -> 1, névrosisme -> 0.5, extraversion -> 1, ouverture -> 1, conscience -> 1, agréabilité -> 0.5.
- Après, on calcule la classe à laquelle elle appartient, à partir des poids calculés auparavant (la première partie), pour qu'on obtienne un résultat qui converge vers le 1 dont l'interprétation est que cette patiente va coopérer avec son médecin.

De cette manière, nous en avons terminé avec cette deuxième partie et même l'architecture.

### 4.2 Conception du système :

UML (Unified Modeling Language) [26] est une méthode de modélisation orientée objet développée en réponse à l'appel à propositions lancé par l'OMG (Object Management Group) dans le but de définir la notation standard pour la modélisation des applications construites à l'aide d'objets. Elle est héritée de plusieurs autres méthodes telles qu'OMT (Object Modeling Technique) et OOSE (Object Oriented Software Engineering) et Booch. Les principaux auteurs de la notation UML sont Grady Booch, Ivar Jacobson et Jim Rumbaugh.

Elle est utilisée pour spécifier un logiciel et/ou pour concevoir un logiciel. Dans la spécification, le modèle décrit les classes et les cas d'utilisation vus de l'utilisateur final du logiciel. Le modèle produit par une conception orientée objet est en général une extension du modèle issu de la spécification. Il enrichit ce dernier de classes, dites techniques, qui n'intéressent pas l'utilisateur final du logiciel mais seulement ses concepteurs. Il comprend les modèles des classes, des états et d'interaction. UML est également utilisée dans les phases terminales du développement avec les modèles de réalisation et de déploiement.

UML est une méthode utilisant une représentation graphique. L'usage d'une représentation graphique est un complément excellent à celui de représentations textuelles. En effet, l'une comme l'autre sont ambiguës mais leur utilisation simultanée permet de diminuer les ambiguïtés de chacune d'elle. Un dessin permet bien souvent d'exprimer clairement ce qu'un texte exprime difficilement et un bon commentaire permet d'enrichir une figure.

Il est nécessaire de préciser qu'une méthode telle qu'UML ne suffit pas à produire un développement de logiciel de qualité à elle seule. En effet, UML, n'est qu'un formalisme, ou plutôt un ensemble de formalismes permettant d'appréhender un problème ou un domaine et de le modéliser, ni plus ni moins. Un formalisme n'est qu'un outil. Le succès du développement du logiciel dépend évidemment de la bonne utilisation d'une méthode comme UML mais il dépend surtout de la façon dont on utilise cette méthode à l'intérieur du cycle de développement du logiciel.

### 4.2.1 Diagrammes de cas d'utilisations :

Les cas d'utilisation (use cases) ont été formalisés par Ivar Jacobson. Ils décrivent sous forme d'actions et de réactions, le comportement d'un système du point de vue d'un utilisateur. Avant UML, ils n'étaient pas formalisés par les autres méthodes objet telles qu'OMT.

Les cas d'utilisation sont utiles lors de l'élaboration du cahier des charges ou du document de spécifications des besoins du logiciel.

Le modèle des cas d'utilisation comprend les acteurs, le système et les cas d'utilisation. L'ensemble des fonctionnalités du système est déterminé en examinant les besoins de chaque acteur, exprimés sous forme de famille d'interactions dans les cas d'utilisation.

Les acteurs se représentent sous forme de petits personnages qui déclenchent les cas. Ces derniers se représentent par des ellipses contenues dans un rectangle représentant le système.

#### a. Création de compte :

Ce diagramme représente la création d'un nouveau compte, que ce soit par une inscription pour un nouveau patient, ou bien par l'ajout d'un médecin ou bien technicien de laboratoire par l'administrateur.

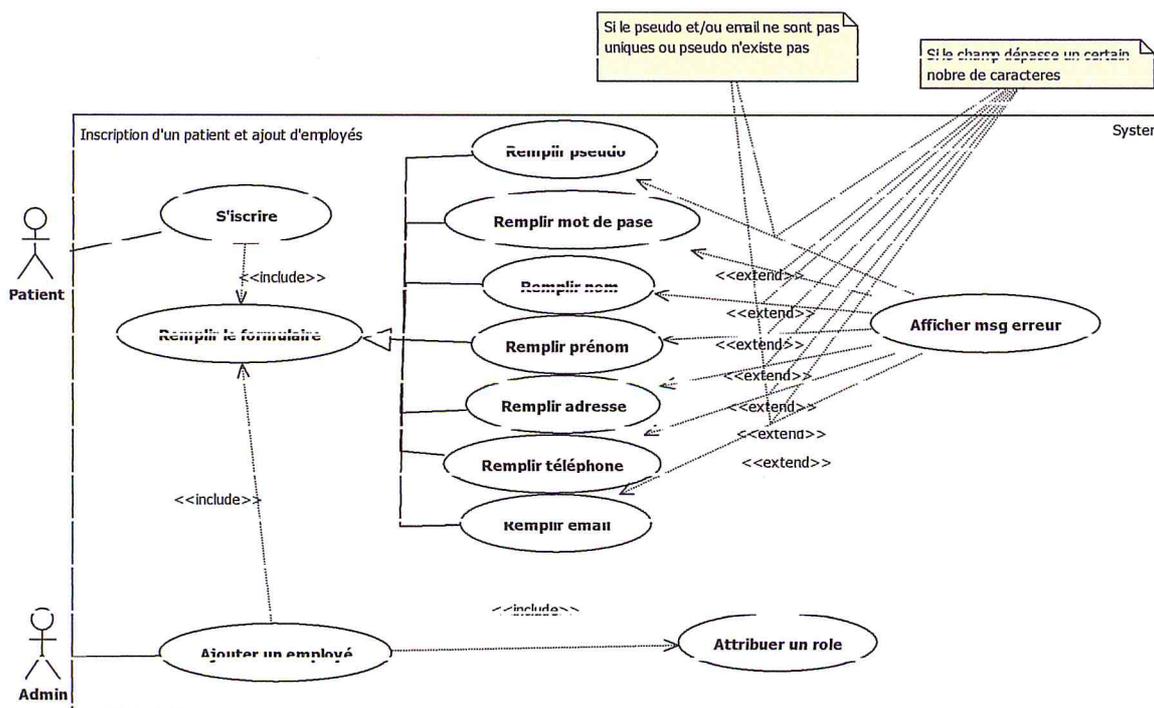


Figure 4.10. Diagramme de cas d'utilisation de création de compte.

b. Mise à jour des profils:

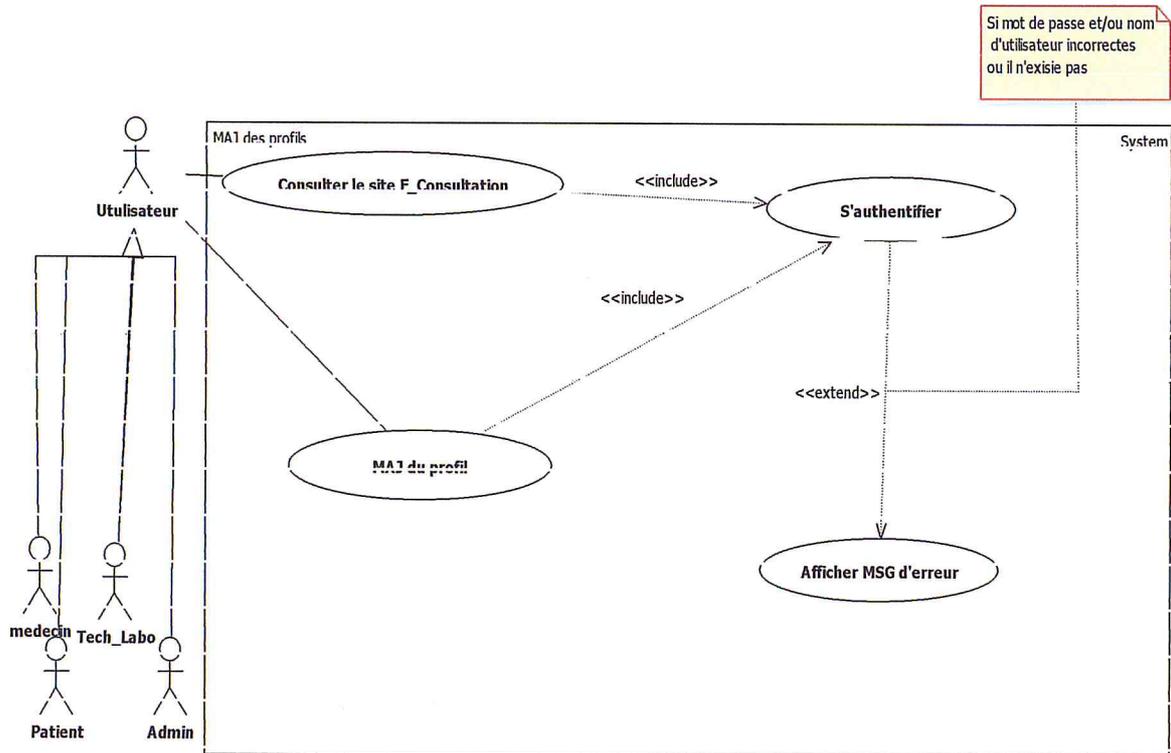


Figure 4.11. Diagramme de cas d'utilisation d'authentification.

c. Apprentissage :

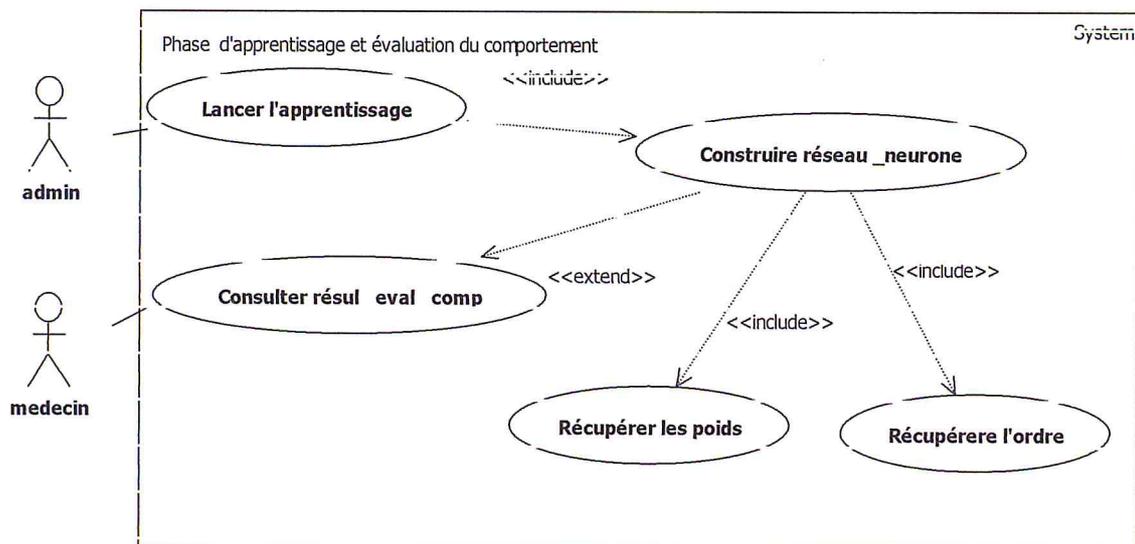


Figure 4.12. Diagramme de cas d'utilisation d'évaluation de comportement.

**d Evaluation de comportement :**

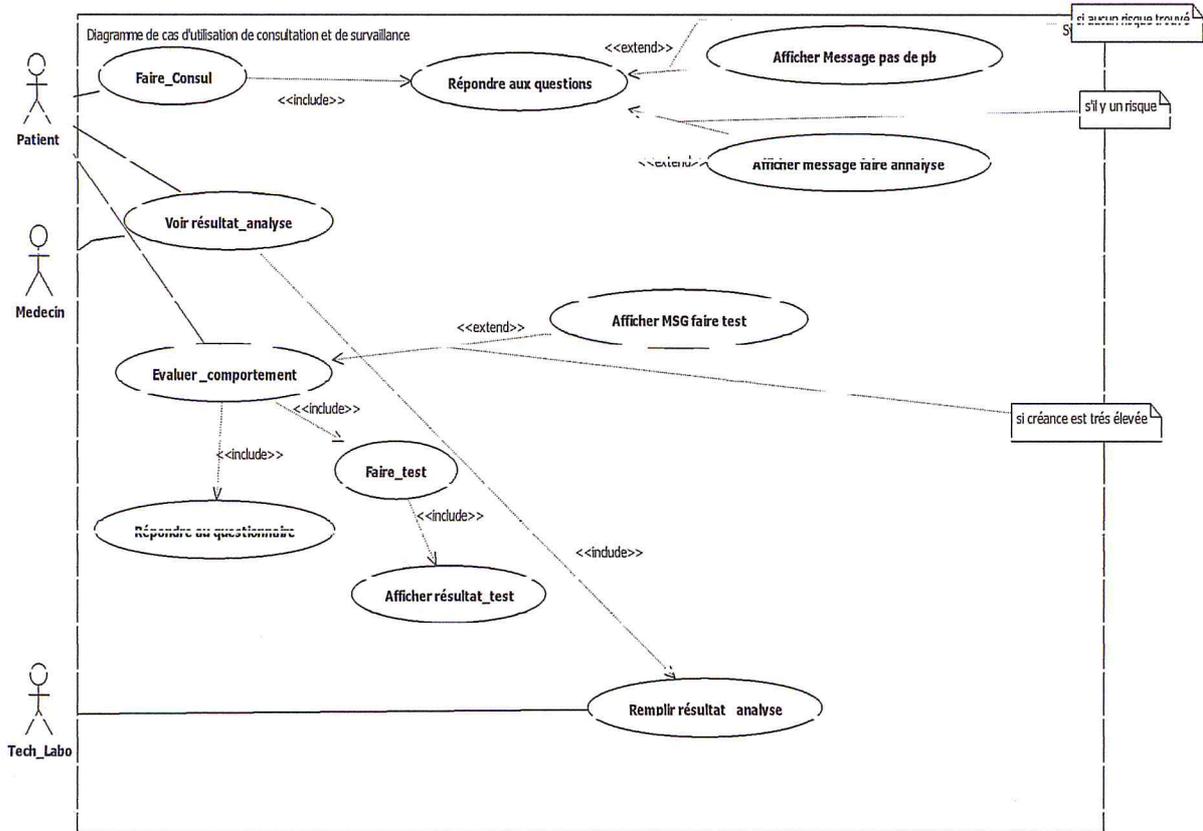


Figure 4.13. Diagramme de cas d'utilisation d'évaluation de comportement.

**4.2.2 Diagramme de classes :**

Le diagramme de classes constitue un élément très important de la modélisation : il permet de définir quelles seront les composantes du système final : il ne permet en revanche pas de définir le nombre et l'état des instances individuelles. Néanmoins, on constate souvent qu'un diagramme de classes proprement réalisé permet de structurer le travail de développement de manière très efficace; il permet aussi, dans le cas de travaux réalisés en groupe (ce qui est pratiquement toujours le cas dans les milieux industriels), de séparer les composantes de manière à pouvoir répartir le travail de développement entre les membres du groupe. Enfin, il permet de construire le système de manière correcte.

## Chapitre 4 : Architecture et conception du système

### Le dictionnaire des données :

Classe	Attributs	Code : type	Valeur	Méthodes
<b>Utilisateur</b>	Pseudo	#pseudo : varchar	Non nul	CRUD ()
	Mot de passe	+motpasse : varchar	Non nul	
	Nom	+nom : varchar	Non nul	
	Prénom	+prenom : varchar	Non nul	
	Adresse	+adresse : varchar	/	
	Téléphone	+téléphone : varchar	/	
	Email	+email : varchar	/	
<b>pat</b>	age	+âge : int	Non nul	CRUD ()
	sexe	+sexe : varchar	Non nul	
<b>tech_lab</b>	Poste	+poste_t : varchar	Non nul	CRUD()
<b>medecin</b>	Poste	+poste_m : varchar	Non nul	CRUD()
<b>pat_app</b>	Identifiant	#id_pat_app : int	Non nul	CRUD()
	Sexe	+sexe_pat_app : varchar	Non nul	
	Age	+age_pat_app : int	Non nul	
	Situation sociale	+ss_pat_app : varchar	Non nul	
	Soutien familial	+sf_pat_app : varchar	Non nul	
	Agréabilité	+ag_pat_app : varchar	Non nul	
	Extraversion	+ext_pat_app : varchar	Non nul	
	Conscience	+con_pat_app : varchar	Non nul	
	Ouverture	+ouc_pat_app : varchar	Non nul	
	nervosisme	+ner_pat_app : varchar	Non nul	
Classe	+clas_pat_app : varchar			

## Chapitre 4 : Architecture et conception du système

<b>pat_app_pre</b>	Identifiant du patient app	id_pat_app: float	Non nul	CRUD()
	Age	+age_pat_app_pre :float	Non nul	
	Sexe	+sexe_pat_app_pre : float	Non nul	
	Situation sociale	+ss_pat_app_pre : floai	Non nul	
	Soutien familial	+sf_pat_app_pre : float	Non nul	
	Extraversion	+ext_pat_app_pre : float	Non nul	
	Conscience	+con_pat_app_pre : float	Non nul	
	Agréabilité	+ag_pat_app_pre : float	Non nul	
	Ouverture	+ouc_pat_app_pre : float	Non nul	
	nervosisme	+ner_pat_app_pre : float	Non nul	
Classe	+clas_pat_app_pre : float	Non nul		
<b>pat_hym</b>	pseudo	+pseudo_p : varchar	Non nul	CRUD()
	Sexe	+sexe pat_hym:varchar	Non nul	
	Age	+age_pat_hym :int	Non nul	
	Situation sociale	+ss_pat_hym :varchar	Non nul	
	Soutien familial	+sf_pat_hym :varchar	Non nul	
	Agréabilité	+ag_pai_hym :varchar	Non nul	
	Extraversion	+ext_pat_hym :varchar	Non nul	
	Conscience	+con_pat_hym :varchar	Non nul	
	Ouverture	+ouv_pat_hym :varchar	Non nul	
	nevrosisme	+ner_pai_hym :varchar	Non nul	
<b>evaluation</b>	Identifiant	#id :varchar	Non nul	
	classe	+classe :varchar	Non nul	

## Chapitre 4 : Architecture et conception du système

<b>pat_hym_pre</b>	pseudo	#pseudo_p : varchar	Non nul	CRUD()
	Sexe	+sexe_pat_hym : float	Non nul	
	Age	+age_pat_hym : float	Non nul	
	Situation sociale	+ss_pat_hym : float	Non nul	
	Soutien familial	+sf_pat_hym : float	Non nul	
	Extraversion	+ext_pat_hym : float	Non nul	
	Ouverture	+ouv_pat_hym : float	Non nul	
	Agréabilité	+ag_pat_hym : float	Non nul	
	Conscience	+con_pat_hym : float	Non nul	
	nervosisme	+ner_pat_hym : float	Non nul	
<b>analyse</b>	identifiant	#id_a : int	Non nul	
	urée	+ur : float	Non nul	
	labstix	+lab : float	Non nul	
	créatininémie	+cre : float	Non nul	
	pseudo	+pseudo : varchar	Non nul	
<b>role</b>	Pseudo	#pseudo : varchar	Non nul	/
	Rôle	+role : varchar	Non nul	

Tableau 4.7. Dictionnaire de données.

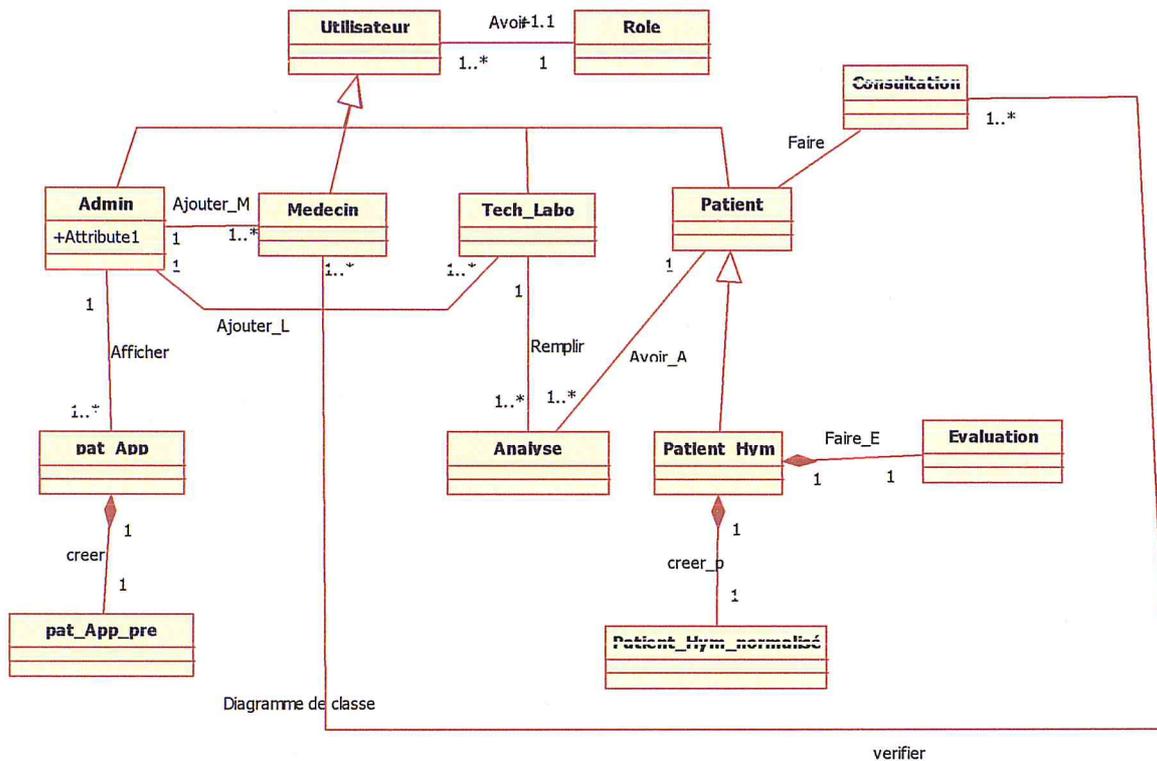


Figure 4.14. Diagramme de classe.

**Conclusion :**

Ce chapitre a comme objectif de mieux représenter le fonctionnement du système, et cela à l'aide d'une architecture qui se divise en deux parties, l'une pour expliquer la réalisation de l'apprentissage et l'autre pour représenter la manière dont on peut l'appliquer. En plus d'une conception. Qui nous introduit à l'implémentation.

### Introduction :

L'implémentation nous donne un ensemble des spécifications du futur système tel que attendu par l'utilisateur. C'est la mise en forme pratique de ces spécifications pour la réalisation de l'application.

Les aspects qui relèvent initialement de l'architecture et conception seront traduites dans la phase de réalisation afin d'aboutir à la production proprement dite du logiciel.

Nous avons opté pour l'architecture 3tiers comme solution, ce qui veut dire qu'on doit accéder à notre application à distance à partir des pages web. Cette dernière a été créée à l'aide du langage java et spécifiquement à l'aide de la Plate-forme J2EE (Java 2 Enterprise Edition), qui est une norme permettant à des sociétés tierces de développer leur propre serveur d'application, qui implémente totalement ou partiellement les spécifications de SUN. J2EE est caractérisée comme étant simple, orientée objet, interprétée, distribuée, robuste, sécurisée, portable, et multitâches. Aujourd'hui, Java et la plate-forme J2EE apportent une solution unique, fiable et efficace au développement et la mise en œuvre d'applications web et d'applications distribuées à base de technologies modernes, tout en leur permettant d'accéder à des systèmes hôtes existants.

### 5.1 Le modèle MVC :

L'architecture *Modèle/Vue/Contrôleur* (MVC) [27] est une façon d'organiser une interface graphique d'un programme. Elle consiste à distinguer trois entités distinctes qui sont, le *modèle*, la *vue* et le *contrôleur* ayant chacun un rôle précis dans l'interface.

L'organisation globale d'une interface graphique est souvent délicate. Bien que la façon MVC d'organiser une interface ne soit pas la solution miracle, elle fournit souvent une première approche qui peut ensuite être adaptée. Elle offre aussi un cadre pour structurer une application.

Dans l'architecture MVC, les rôles des trois entités sont les suivants.

- modèle : données (accès et mise à jour)
- vue : interface utilisateur (entrées et sorties)
- contrôleur : gestion des événements et synchronisation

### Rôle du modèle :

Le modèle contient les données manipulées par le programme. Il assure la gestion de ces données et garantit leur intégrité. Dans le cas typique d'une base de données, c'est le modèle qui la contient.

Le modèle offre des méthodes pour mettre à jour ces données (insertion suppression, changement de valeur). Il offre aussi des méthodes pour récupérer ses données. Dans le cas de données importantes, le modèle peut autoriser plusieurs vues partielles des données.

Figure 5.1. Architecture d'un modèle MVC.

### 5.2 Travail à réaliser :

Cette section est une représentation du travail réalisé :

#### 5.2.1 Authentification :

L'accès au site se fait par authentification pour un utilisateur (patient déjà inscrit, médecin et technicien de laboratoire ajoutés ou l'administrateur), sa page contient deux champs :

- nom s'utilisateur.
- mot de passe.

Si le nom d'utilisateur et/ou mot de passe sont incorrects, alors un message d'erreur sera affiché, sinon chaque utilisateur sera conduit vers son compte, selon son rôle.

La figure suivante représente la page d'erreur affichée après une fausse identification.



Figure 5.2. Affichage d'une page d'erreur après une fausse identification.

#### 5.2.2 Compte administrateur :

Il comporte quatre liens :

- Apprentissage : dans cette partie du site, l'administrateur pourra lancer l'apprentissage, ce qui veut dire afficher la table des poids du réseau RPN ainsi son ordre.

- Ajout employé : c'est ici qu'un administrateur pourra ajouter un nouvel employé, que ça soit un médecin ou un technicien de laboratoire, la page comporte un formulaire qui contient.
  - Un champ nom d'utilisateur.
  - Un champ mot de passe.
  - Un champ nom.
  - Un champ prénom.
  - Un champ adresse.
  - Un champ téléphone.
  - Un champ email
  - Un champ poste (soit médecin ou bien un technicien).

Les sept premiers champs seront enregistrés dans la table utilisateur, et le dernier aidera à définir le rôle.

- Modifier profil : c'est là, où il pourra modifier ses coordonnées, cette tâche est destinée à tous les utilisateurs sans exception.
- Consulter utilisateur : c'est là où est ce qu'il pourra voir la liste de tous les utilisateurs

### 5.2.3 Compte patient :

Un patient pourra modifier son profil de la même manière qu'un administrateur, et il peut faire une inscription comme le montre la figure suivante :

The screenshot shows a web application interface for patient registration. At the top, there is a blue navigation bar with the links 'Accueil', 'Login', and 'Inscription'. Below this is a large banner image of a modern glass building. Underneath the banner is a registration form titled 'Informations Patient'. The form contains the following fields:

- Nom d'utilisateur \*
- Mot de passe \*
- Confirmation de mot de passe \*
- Nom \*
- Prénom \*
- Adresse
- Numéro de téléphone
- Adresse email

At the bottom of the form is a 'Valider' button.

Figure 5.3. Affichage d'une page d'inscription.

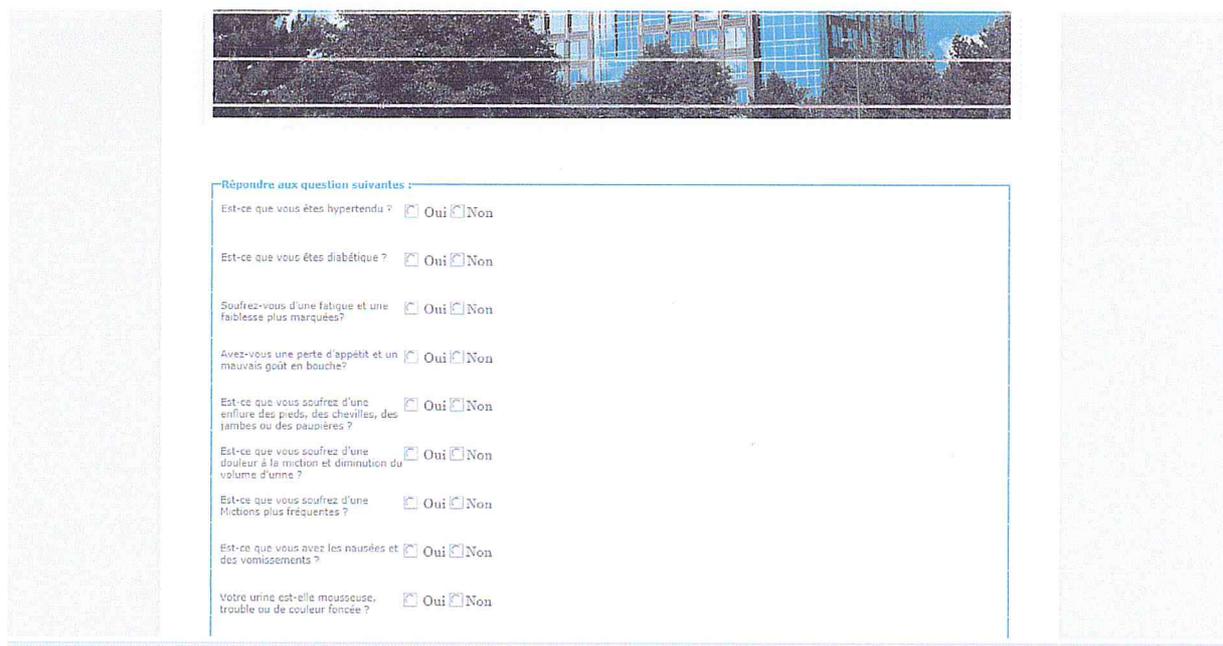
En plus de cela, il peut faire les tâches suivantes :

### - La consultation :

Le but de l'accès du patient au site, est de faire une consultation et de savoir s'il souffre d'un problème néphrologique. Pour cela, le malade doit répondre aux questions suivantes par un 'Oui' ou un 'Non' :

- Est-ce que vous êtes hypertendu ?
- Est-ce que vous êtes diabétique ?
- Souffrez-vous d'une fatigue et une faiblesse plus marquées?
- Avez-vous une perte d'appétit et un mauvais goût en bouche?
- Est-ce que vous souffrez d'une enflure des pieds, des chevilles, des jambes ou des paupières ?
- Est-ce que vous souffrez d'une douleur à la miction et diminution du volume d'urine ?
- Est-ce que vous souffrez d'une Mictions plus fréquentes ?
- Est-ce que vous avez les nausées et des vomissements ?
- Votre urine est-elle mousseuse, trouble ou de couleur foncée ?
- Avez-vous perdu votre poids pour une raison inexplicable ?
- Avez-vous des douleurs dans le milieu, le bas du dos ou sur les côtés du bassin ?
- Avez-vous des contractions involontaires des muscles et crampes ?
- Avez-vous des démangeaisons persistantes ?

La figure suivante explique tout cela :



The figure shows a screenshot of a web-based consultation form. At the top, there is a horizontal banner image of a modern building with large glass windows. Below the banner, the form is titled "Répondre aux question suivantes :". It contains eight questions, each followed by two radio buttons labeled "Oui" and "Non". The questions are:

- Est-ce que vous êtes hypertendu ?
- Est-ce que vous êtes diabétique ?
- Souffrez-vous d'une fatigue et une faiblesse plus marquées?
- Avez-vous une perte d'appétit et un mauvais goût en bouche?
- Est-ce que vous souffrez d'une enflure des pieds, des chevilles, des jambes ou des paupières ?
- Est-ce que vous souffrez d'une douleur à la miction et diminution du volume d'urine ?
- Est-ce que vous souffrez d'une Mictions plus fréquentes ?
- Est-ce que vous avez les nausées et des vomissements ?
- Votre urine est-elle mousseuse, trouble ou de couleur foncée ?

Figure 5.4. Le déroulement d'une consultation.

## Chapitre 5 : Implémentation

Après avoir répondu aux questions, le résultat s'affichera. Si au moins cinq réponses sont positives, alors une suggestion des analyses sanguines et urinaires sera affichée. Dans le cas contraire, le patient ne risque pas d'avoir une maladie néphrologique, il devrait plutôt voir un médecin généraliste.

### - Le résultat d'analyse :

Le patient doit d'abord faire les analyses sanguines et urinaires suggérées, le technicien de laboratoire s'en chargera d'enregistrer ses résultats dans la base de données pour qu'un patient puisse les voir.

Après que tout cela soit fait, un patient puisse y accéder à ses résultats via le site, au niveau de la rubrique 'Résultat d'analyse'. Une liste des analyses sera affichée, le patient choisira ses analyses selon la date dans laquelle les analyses ont eu lieu, et le résultat s'affichera comme suit :

- Taux de créatininémie.
- Taux d'urée.
- Résultat de labstix qui peut prendre les valeurs suivantes :
  - Absence du sang et de protéine dans les urines.
  - Absence du sang, présence de protéine dans les urines.
  - Présence du sang, absence de protéine dans les urines.
  - Présence du sang, présence de protéine dans les urines.

Tel que :

**Créatininémie** : est la présence de la créatinine (est une substance constituée d'azote qui provient de la dégradation de la créatine, un des constituants du tissu musculaire. Elle est produite par les muscles) dans le sang, elle est mesurée en micromoles par litre.

**Urée** : est un déchet azoté qui provient de la dégradation des protéines par le foie. Filtrée par les reins, l'urée est ensuite éliminée dans les urines.

**Labstix** : c'est des analyses pour savoir l'existence du sang et de protéine dans l'urine (un rein qui fonctionne bien n'est pas sensé jeter ces deux là avec les déchets).

En plus de cela, la valeur de la créance, qui est calculée dans le but de savoir si le patient souffre d'une insuffisance rénale ou pas, sera affiché avec les autres résultats.

Tel que :

$$\text{La créance} = \frac{(140 - \text{age}) * \text{poid}}{7.2 * \text{créatininémie}}$$

Formule 5.1. Calcul de la créance.

Avec le résultat d'analyse et la créance un message sera affiché, et peut être comme suit :

- « Vous ne risquez aucun problème néphrologique ». si et seulement si la créatininémie et l'urée ne sont pas élevés, et absence du sang et de protéine dans les urines.
- « Vous devez suivre un régime, et consultez votre médecin néphrologue pour plus de conseils », et cela dans le cas où le taux de la créatininémie et l'urée commence à être élevé.
- « vous devez consulter un médecin néphrologue le plus tôt possible », et cela dans le cas où la créance est entre 10 et 20.

Le troisième cas sera accompagné d'un message de suggestion de faire le test de personnalité.

### **- Le évaluation de la personnalité :**

Dans le cas où un patient souffre d'une insuffisance rénale, il doit passer le test de personnalité. Alors, il doit répondre au questionnaire IPIP-NEO (annexe A) et remplir un formulaire qui comporte lui aussi des questions :

- Sexe (choix entre féminin, masculin).
- Age (écrire son âge).
- Quel est le niveau situation sociale (choix entre bas, moyen, élevé).
- Dans le cas d'une hospitalisation est-ce que vous avez quelqu'un dans la famille pour vous entretenir (choix entre oui, peut être, non).

Le résultat sera enregistré dans base de données (table pat\_hym) comme nous l'avions décrit dans le chapitre précédant, et seulement le résultat du test IPIP-NEO sera affiché.

13.	je ressens mes émotions avec intensité.					
		--	-	=	+	++
14.	j'aime aider les autres.					
		--	-	=	+	++
15.	je tiens mes promesses.					
		--	-	=	+	++
16.	j'éprouve des difficultés à entrer en contact avec les autres.					
		--	-	=	+	++
17.	je suis toujours occupé(e) à faire quelque chose.					
		--	-	=	+	++
18.	je préfère le changement à la routine.					
		--	-	=	+	++
19.	j'aime bien les échanges musclés.					
		--	-	=	+	++
20.	je travaille en général avec acharnement.					
		--	-	=	+	++
21.	il m'arrive de me lâcher dans des bringués.					
		--	-	=	+	++
22.	j'aime les situations excitantes.					
		--	-	=	+	++
23.	j'aime les lectures qui questionnent ou qui interpellent.					
		--	-	=	+	++
24.	je pense parfois que je suis meilleur(e) que les autres.					
		--	-	=	+	++

*Figure 5.5. Test de personnalité.*

### 5.2.4 Compte technicien de laboratoire :

Le technicien de laboratoire peut réaliser deux tâches seulement :

- Modifier son profil (qui se déroule comme n'importe quel autre utilisateur).
- Remplir le résultat d'analyse d'un patient (le patient sera choisi par son pseudo) de la même manière que nous l'avons cité dans la section patient. En plus de cela la date des analyses sera demandée. Pour que tout cela sera enregistré à la fin dans la base de données (table analyse).

### 5.2.5 Compte médecin :

Un médecin peut réaliser les tâches suivantes :

- Modifier son profil (comme n'importe quel autre utilisateur).
- Voir la liste des patients.
- Voir le comportement d'un patient.
- Voir les résultats de la consultation, d'analyses et du test de personnalité d'un patient.

### **Conclusion :**

Nous avons, dans ce chapitre, détaillé la mise en œuvre d'une e-consultation que nous avons présentés au chapitre précédent. Cette application a pour objectif la réalisation de la prédiction de la coopération d'un patient au niveau d'un service de néphrologie.

Pour ce qui concerne ce travail, nous avons indiqué nos choix d'implémentation et pourquoi la technologie Java et le modèle MVC nous semblaient bien adaptées à nos besoins. Ainsi, nous avons présenté le déroulement d'une consultation et les informations présentées à l'utilisateur.

# *Conclusion générale*

## *Conclusion générale*

---

car elle permet de structurer les émotions, domaine aux influences très diverses (biologie, psychologie, cognition, . . .) et donc assez confus. De plus, elle vise à l'obtention d'un modèle des émotions orienté implémentation informatique. « . . ., nous aimerions établir les bases d'un modèle émotionnel réductible en temps polynomial. En d'autres mots, nous souhaiterions un ensemble d'émotions qui pourrait être utilisé dans un système d'Intelligence Artificielle (IA) qui pourrait, par exemple, être capable de raisonner sur les émotions. » C'est pour ces deux principales raisons pour lesquelles ce modèle reste aujourd'hui le plus utilisé dans l'Intelligence Artificielle.

- Agrandir l'échantillon, pour un apprentissage global et plus performant.
- L'utilisation d'un nouveau Framework MVC pour le développement de l'e-consultation comme : Struts ou bien Spring.

## Bibliographie :

- [1] : Stéphane Daviet : Etude du comportement humain grâce à la simulation multi-agents et aux méthodes de fouille de données temporelles, Thèse présentée devant l'Université de Nantes pour l'obtention du grade de Docteur soutenue le vendredi 13 mars 2009.
- [2] : JDM Magazine, 2010, <http://www.jeunesdumaroc.com/536-La-Personnalite-Humaines-4.html>. 2012.
- [3] : P. Lemaire, DEVELOPPEMENT DE LA PERSONNALITE. Cours présenté le (1999-2000). Psychologie de la personne âgée. Vieillesse et Personnalité.
- [4] : Jean Luc Bernaud dans son livre "méthodes d'évaluation de la personnalité"
- [5] : CTAH-Recherche. 2011, <http://ctah.eu/espaces.php?ref=667>. 2012.
- [6] : BCB Action. <http://www.bcbaction.com/inventaire-auto-evaluation.html>. 2012.
- [7] : Hogrefe, <http://www.unifr.ch/ztd/HTS/inftest/WEB-Informationssystem/fr/4fr001/52fdfab982a64e9b9fd0a5ec79336d34/hb.htm>. 2012.
- [8] : Thèse « Modèle d'interaction sociale pour des agents conversationnels animés Application à la rééducation de patients cérébro-lésés »
- [9] : Ralph LINTON : LE FONDEMENT CULTUREL DE LA PERSONNALITÉ, (1845).
- [10] : Wikipédia, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Apprentissage>. 2012.
- [11] : Cathérine Garbay : Apprentissage Automatique en Vision et Robotique, cour.
- [12] : Rachid Ladjadj, 2002, <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2002/Neurones/index.php?rubrique=Apprentissage>. 2012.
- [13] : <http://asi.insa-rouen.fr/enseignement/siteUV/dm/Cours/IntroDM.pdf> <http://asi.insa-rouen.fr/enseignement/siteUV/dm/Cours/IntroDM.pdf>. 2012.
- [14] : Olivier TEYTAUD : Apprentissage, Réseaux de Neurones et Applications, THESE pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE LYON 2 soutenu le 18 décembre 2001.
- [15] : « Clustering par fusion floue appliqué à la segmentation d'images IRM » Mémoire de Magistère soutenue par Zouaoui Hakima (2007-2008).
- [16] : « Les réseaux de neurones » livre par Gille Balmisse, Vuibert.

[18] : <http://www.becoz.org/these/memoirehtml/ch06s03.html>. 2012.

[19] : « The application of ridge polynomial neural network to multi-step ahead financial time series prediction » article par H. Tawfik, Springer-Verlag London Limited 2007.

[20] : [http://www.geocities.ws/himoury/Ing\\_Mem/Chapitre\\_1.htm](http://www.geocities.ws/himoury/Ing_Mem/Chapitre_1.htm) . 2012'.

[21]: Marc Lucea :Modélisation dynamique par réseaux de neurones et machines à vecteurs supports : contribution à la maîtrise des émissions polluantes de véhicules automobiles, These de DOCTORAT de l'université PARIS 6 soutenue 22 septembre 2006.

[22]: Bernard GOSSELIN : APPLICATION DE RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS A LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE DE CARACTERES MANUSCRITS, These de DOCTORAT de la Faculté Polytechnique de Mons soutenue le 1995-1996.

[23] : François Denis, <http://www.grappa.univ-lille3.fr/polys/apprentissage/sortie005.html>. 2012.

[24] : « LES RÉSEAUX DE NEURONES » par G. DREYFUS, article n°51 Mécanique Industrielle et Matériaux, (septembre 1998).

[25]: [http://www.lmgm.biotoul.fr/enseignements/M2Pro\\_Bioinfo/Pretraitement\\_des\\_donnees.pdf](http://www.lmgm.biotoul.fr/enseignements/M2Pro_Bioinfo/Pretraitement_des_donnees.pdf). 2012.

[26] : <http://www.math-info.univ-paris5.fr/~bouzy/Doc/UML-NotesCours.pdf> . 2012.

[27] : <http://www.liafa.jussieu.fr/~carton/Enseignement/InterfacesGraphiques/MasterInfo/Cours/Swing/mvc.html> . 2012.

# *Annexe A*

## Annexe A

Cette annexe fournit le questionnaire IPIP-NEO que nous avons utilisé dans nos travaux pour connaître la personnalité des patients.

--	pour pas d'accord du tout ou fortement en désaccord
-	pour plutôt pas d'accord ou modérément en désaccord
=	pour ni d'accord ni pas d'accord ou ni en accord ni en désaccord
+	pour plutôt d'accord ou moyennement en accord
++	pour tout à fait d'accord ou fortement en accord

1.	je m'inquiète facilement dès qu'un problème se présente.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
2.	je me fais facilement des amis.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
3.	j'ai une imagination vive.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
4.	j'ai tendance à faire confiance aux autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
5.	je mène généralement à bien les tâches que j'entreprends.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
6.	je me mets facilement en colère.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
7.	j'aime les grandes fêtes.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
8.	je crois en l'importance de l'art.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
9.	j'utilise parfois les autres pour arriver à mes fins.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
10.	j'aime bien faire du rangement.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
11.	je ressens souvent des coups de déprim.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++

12.	j'assume généralement mes responsabilités.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
13.	je ressens mes émotions avec intensité.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
14.	j'aime aider les autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
15.	je tiens mes promesses.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
16.	j'éprouve des difficultés à entrer en contact avec les autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
17.	je suis toujours occupé(e) à faire quelque chose.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
18.	je préfère le changement à la routine.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
19.	j'aime bien les échanges musclés.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
20.	je travaille en général avec acharnement.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
21.	il m'arrive de me lâcher dans des bringués.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
22.	j'aime les situations excitantes.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
23.	j'aime les lectures qui questionnent ou qui interpellent.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
24.	je pense parfois que je suis meilleur(e) que les autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
25.	je prépare toujours ce qu'il faut pour pouvoir me mettre à la tâche.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
26.	je panique facilement.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
27.	je suis d'un tempérament joyeux.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
28.	je vote plus volontiers pour un candidat de gauche.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++

29.	je sympathise avec les sans-abris.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
30.	je m'engage parfois sans trop réfléchir.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
31.	je redoute que le pire ne se produise.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
32.	je me sens à mon aise dans un groupe de personnes.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
33.	j'apprécie ceux qui font preuve d'imagination.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
34.	je crois que les autres ont à priori de bonnes intentions.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
35.	je fais le mieux possible ce que j'entreprends.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
36.	je m'irrite assez facilement.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
37.	j'ai tendance à discuter avec beaucoup de gens dans une réception.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
38.	je perçois de la beauté là où les autres ne la voient pas.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
39.	je force parfois un peu les choses pour m'ouvrir des portes.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
40.	j'oublie souvent de remettre les choses à leur place.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
41.	je déteste parfois le personnage que je suis.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
42.	j'éprouve le besoin de mener les autres vers un but.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
43.	je ressens les émotions des autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
44.	je me sens concerné(e) par les problèmes des autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
45.	je dis les choses telles qu'elles sont.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
46.	je crains d'attirer l'attention sur moi.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
47.	je suis toujours sur mes starting-blocks.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
48.	je préfère m'attacher aux choses que je connais.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++

49.	il m'est arrivé(e) d'hurler sur les gens.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
50.	je fais souvent plus que ce que l'on attend de moi.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
51.	j'abuse rarement des bonnes choses ou des situations.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
52.	je recherche les situations qui comportent un certain risque.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
53.	j'évite les discussions trop philosophiques.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
54.	je pense plutôt du bien de moi-même.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
55.	je réalise généralement les choses comme je les ai prévues.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
56.	il m'arrive de me sentir dépassé(e) par les évènements.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
57.	on me dit que j'ai beaucoup d'humour.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
58.	je crois que rien n'est totalement vrai ou faux.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
59.	je ressens de la sympathie pour ceux qui sont moins bien lotis que moi.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
60.	je prends parfois des décisions dans le feu de l'action.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
61.	j'ai peur de beaucoup de choses dans mon environnement.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
62.	j'évite le contact des autres quand ce n'est pas nécessaire.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
63.	j'aime bien rêvasser.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
64.	j'ai plutôt confiance dans ce que disent les gens.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
65.	je gère les situations avec souplesse.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
66.	il m'arrive de m'emporter.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
67.	je préfère souvent être seul(e).	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
68.	je n'aime pas beaucoup la poésie.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++

69.	je sais tirer avantage de ma relation avec les autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
70.	je laisse parfois du désordre derrière moi.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
71.	je me laisse souvent aller à la mélancolie.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
72.	je prends régulièrement le contrôle des situations.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
73.	on remarque rarement quand je suis ému(e).	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
74.	je suis assez indifférent aux sentiments de d'autres, disent certains.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
75.	je ne suis pas toujours la réglementation.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
76.	je ne me sens bien qu'avec mes amis.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
77.	je m'occupe beaucoup pendant mon temps libre.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
78.	je n'aime pas vraiment le changement.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
79.	il m'arrive d'insulter les gens dans certaines situations.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
80.	je ne travaille pas au-delà de ce qui est nécessaire.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
81.	je résiste assez facilement à la tentation.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
82.	j'éprouve un certain plaisir à me montrer téméraire.j'aime l'action.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
83.	j'ai quelques difficultés à intégrer les idées un peu abstraites.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
84.	j'ai une bonne opinion de moi-même.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
85.	il m'arrive de perdre un peu mon temps.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
86.	j'estime qu'il y a des choses que je ne sais pas faire.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
87.	j'aime la vie.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
88.	j'ai tendance à voter pour des candidats de droite.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++

89.	je me sens peu concerné(e) par les problèmes des autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
90.	j'ai tendance à me précipiter sur les choses à faire.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
91.	je stresse facilement quand une difficulté apparaît.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
92.	je me tiens souvent à distance des autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
93.	j'aime bien me perdre dans la pensée.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
94.	je me méfie souvent des autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
95.	je sais faire en sorte que les choses se fassent.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
96.	je ne m'énerve pas facilement.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
97.	j'évite la foule..	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
98.	je n'apprécie pas particulièrement aller au musée.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
99.	il m'arrive de faire barrage à ce que d'autres ont prévu de faire.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
100.	je laisse souvent trainer mes affaires.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
101.	je me sens généralement en accord avec moi-même.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
102.	j'attends généralement que les autres prennent les devants.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
103.	j'ai du mal à comprendre les comportements trop émotionnels.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
104.	je ne prends pas beaucoup de mon temps pour les autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
105.	je manque parfois à mes engagements.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
106.	je ne me sens pas gêné(e) face à des situations difficiles entre des personnes.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
107.	je privilégie les choses qui sont plus faciles à réaliser.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
108.	je suis attaché aux conventions.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++

109.	je sais rendre la monnaie de leur pièce aux autres.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
110.	je préfère faire les choses rapidement et avec le minimum d'effort.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
111.	je sais contrôler mes désirs.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
112.	j'ai parfois besoin de situations un peu endiablées.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
113.	je m'intéresse difficilement aux discussions trop théoriques.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
114.	je sais mettre en avant mes qualités.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
115.	j'ai parfois quelques difficultés à me mettre au travail.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
116.	je sais rester calme quand la pression monte.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
117.	je regarde souvent le bon côté des choses.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
118.	je crois que la justice devrait être plus dure quand elle condamne un crime.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
119.	j'essaie de ne pas trop penser à la misère humaine.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++
120.	je fais parfois les choses sans réfléchir.	<input type="radio"/>				
		--	-	=	+	++

# *Annexe B*

## Annexe B

Cette annexe montre comment le questionnaire d'IPIP-NEO sera calculé.

### Options de réponse

- 1: Très imprécis
- 2: Moyennement inexactes
- 3: Ni inexacte ni précis
- 4: Modérément précise
- 5: Très précis

Voici comment marquer des échelles IPIP:

Pour les P + articles, la réponse «très imprécise» est noté par la valeur de 1, «modérément inexactes" une valeur de 2, «Ni inexacte ni précis" un 3, «modérément précis" un 4, et «très précis» d'une valeur de 5.

Pour les P - articles, la réponse «très imprécise» est noté une valeur de 5, «modérément inexactes" une valeur de 4, «Ni inexacte ni précis" un 3, «modérément précis" un 2, et «très précis» d'une valeur de 1.

Une fois les numéros sont attribués pour l'ensemble des items de l'échelle, faites juste la somme de toutes les valeurs pour obtenir un score à l'échelle totale.

P+ = Paramètre positif.

P- = Paramètre négatif.

### **N1: ANXIÉTÉ (Alpha = .83)**

- P+    Inquiétude au sujet de choses.  
      Craindre le pire.  
      J'ai peur de beaucoup de choses.  
      Faites vous stressé facilement.  
      Laissez-vous emporter dans mes problèmes.
- P-    Ne suis pas facilement dérangé par les choses.  
      Suis détendu la plupart du temps.  
      Ne suis pas facilement perturbé par les événements.  
      Ne vous préoccupez pas des choses qui ont déjà eu lieu.  
      S'adapter facilement à de nouvelles situations.

### **N2: COLÈRE (.88)**

- P+    Se mettre en colère facilement.  
      S'irritent faciement.  
      S'énervent facilement.  
      Je suis souvent de

- mauvaise humeur.
- Perdre mon sang-froid.
- P- Rarement s'énerver.
- Rarement en colère.
- Ne suis pas facilement agacé.
- Garder mon calme.
- Se plaignent rarement.

### **N3: DEPRESSION (.88)**

- P+ Se sentent souvent bleu.
- Me déplaît.
- Je suis souvent dans les décharges.
- Avoir une piètre opinion de moi-même.
- Avoir des sautes d'humeur fréquentes.
- N'hésitez pas désespérée.
- L'impression que ma vie manque de sens.
- P- Sentent rarement bleu.
- Sentir à l'aise avec moi-même.
- Suis très content de moi.

### **N4: LA CONSCIENCE DE SOI (.80)**

- P+ Suis facilement intimidé.
- Crains que je vais faire la mauvaise chose.
- Du mal à d'autres approches.
- Peur d'attirer l'attention sur moi-même.
- Seulement sentir à l'aise avec des amis.
- Tébucher sur mes paroles.
- P- Ne suis pas gêné facilement.
- Suis à l'aise dans des situations inhabituelles.
- Ne suis pas gêné par des situations sociales difficiles.
- Suis capable de me défendre.

### **N5: LA DEMESURE (.77)**

- P+ Souvent trop manger.
- Je ne sais pas pourquoi je fais partie des choses que je fais.
- Faites des choses que je regretter plus tard.
- Allez crises de boulimie.
- Aiment manger.
- P- Rarement excès.
- Facilement résister aux tentations.
- Suis capable de contrôler mes envies.

Ne jamais dépenser plus que je peux me permettre.  
Ne jamais faire des folies.

### **N6: VULNÉRABILITÉ (0.82)**

- P+      Panique facilement.  
          Devenir dépassés par les événements.  
          Sentez-vous que je suis incapable de traiter avec les choses.  
          Vous ne pouvez pas me décider.  
          Se laisser submerger par les émotions.
- P-      Rester calme sous la pression.  
          Peut gérer des problèmes complexes.  
          Savoir comment faire face.  
          Facilement surmonter les échecs.  
          Suis calme, même dans des situations tendues.

### **E1: RESPECT (.87)**

- P+      Se faire des amis facilement.  
          Réchauffer rapidement à d'autres.  
          Sentir à l'aise avec les gens.  
          Lui confortablement avec les autres  
          Encouragez les gens.
- P-      Suis très difficile à connaître.  
          Se sentent souvent mal à l'aise autour des autres.  
          Eviter les contacts avec les autres.  
          Ne suis pas vraiment intéressé par les autres.  
          Gardez les autres à distance

### **E2: GREGARITE (.79)**

- P+      Amour grands partis.  
          Parlez-en à un grand nombre de personnes différentes parties.  
          Profiter de faire partie d'un groupe.  
          Impliquez les autres dans ce que je fais.  
          Amour surprises-parties.
- P      Préfère être seul.  
          Voulez-vous être laissé seul.  
          Vous n'aimez pas les événements bondés.  
          Évitez les foules.  
          Cherchez calme.

### **E3: AFFIRMATION DE SOI (.84)**

- P+      Prendre en charge.  
          Essayez de diriger les autres.

- Peut parler d'autres à faire des choses.
- Chercher à influencer les autres.
- Prenez le contrôle des choses.
- P- Attendez que les autres de montrer la voie.
- Gardez à l'arrière-plan.
- Ont peu à dire.
- Ne pas attirer l'attention sur moi.
- Retenez mes opinions.

#### **E4: NIVEAU D'ACTIVITÉ (.71)**

- F+ Suis toujours occupé.
- Je suis toujours sur la route.
- Faire beaucoup de mon temps libre.
- Peut gérer plusieurs choses en même temps.
- Réagir rapidement.
- P- Comme d'y aller doucement.
- J'aime prendre mon temps.
- Comme un style de vie insouciant.
- Laissez les choses se déroulent à leur propre rythme.
- Réagir lentement.

#### **E5: EXCITATION recherche d'(.78)**

- P+ Amour excitation.
- Chercher l'aventure.
- Aiment l'action.
- Profitez de faire partie d'une foule bruyante.
- Profitez de l'insouciance.
- Loi sauvage et fou.
- Je suis prêt à tout essayer une fois.
- Cherchez danger.
- P- Would never go deltaplane ou saut à l'élastique.
- N'aiment pas la musique forte.

#### **E6: GAIETE (.81)**

- F+ Rayonner la joie.
- Ayez beaucoup de plaisir.
- Exprimer la joie enfantine.
- Rire mon chemin dans la vie.
- Aimez la vie.
- Regardez le bon côté des choses.
- Rire à haute voix.
- Amuser mes amis.
- P Ne suis pas facilement amusé.
- Rarement plaisanter.

### **O1: IMAGINATION (.83)**

- P+     Ont une imagination débordante.  
          Profitez de vols sauvages de la  
          fantaisie.  
          Amour à la rêverie.  
          Aiment se perdre dans ses pensées.  
          Faites-vous plaisir dans mes  
          fantasmes.  
          Passez du temps à réfléchir sur les  
          choses.
- P-     Rarement rêverie.  
          Vous n'avez pas une bonne  
          imagination.  
          Rarement se perdre dans ses  
          pensées.  
          Ont du mal à imaginer des choses.

### **O2: INTERETS ARTISTIQUES (.84)**

- P+     Croire en l'importance de l'art.  
          Comme la musique.  
          Voir la beauté dans les choses que d'autres ne  
          remarquent pas.  
          J'adore les fleurs.  
          Profitez de la beauté de la nature.
- P-     Vous n'aimez pas l'art.  
          Vous n'aimez pas la poésie.  
          Ne jouissent pas aller au musée d'art.  
          Vous n'aimez pas les concerts.  
          Ne pas plaisir à regarder des spectacles de  
          danse.

### **O3: L'émotivité (.81)**

- P+     Vivez intensément mes émotions.  
          Ressentir des émotions des autres.  
          Suis passionné de causes.  
          Profitez de l'examen de moi-même et ma  
          vie.  
          Essayez de me comprendre.
- P-     Rarement s'émouvoir.  
          Ne suis pas facilement affecté par mes  
          émotions.  
          Rarement remarque que mes réactions  
          émotionnelles.  
          Expérience très peu de hauts et bas  
          émotionnels.  
          Ne comprends pas les gens qui obtiennent  
          émotionnel.

### **O4: AVENTURE (.77)**

- P+     Préfèrent la variété à la routine.

- Comme à visiter de nouveaux endroits.  
 M'intéresse à beaucoup de choses.  
 Tout d'abord de nouvelles choses.  
 P- Préfèrent s'en tenir à des choses que je connais.  
 N'aiment pas les changements.  
 Vous n'aimez pas l'idée de changement.  
 Suis une créature de l'habitude.  
 N'aiment pas les aliments nouveaux.  
 Suis attaché à des moyens conventionnels.

### **O5: INTELLECT (.66)**

- P+ Comme pour résoudre des problèmes complexes.  
 Amour de lire des documents difficiles.  
 Ont un vocabulaire riche.  
 Peut gérer un grand nombre d'informations.  
 Profitez de penser à des choses.  
 P- Ne suis pas intéressé par des idées abstraites.  
 Évitez les discussions philosophiques.  
 La difficulté à comprendre des idées abstraites.  
 Ne suis pas intéressé par des discussions théoriques.  
 Évitez de matériel de lecture difficile.

### **O6: LIBÉRALISME (.86)**

- P+ Tendance à voter pour des candidats libéraux politiques.  
 Croyez qu'il n'y a pas de droit absolu et le mal.  
 Croyez que les criminels devraient recevoir de l'aide plutôt que la punition.  
 P- Croire en une vraie religion.  
 Tendance à voter pour les candidats conservateurs politiques.  
 Croire que l'argent va trop d'impôts pour soutenir les artistes.  
 Estiment que les lois devraient être strictement appliquées.  
 Croyez que nous dorloter les criminels trop.  
 Crois que nous devons sévir contre la criminalité.  
 Comme de se lever pendant l'hymne national.

### **A1: CONFIANCE (0.82)**

- P+ Confiance aux autres.  
Croire que les autres ont de bonnes intentions.  
Croyez ce que les gens disent.  
Croire que les gens sont fondamentalement morale.  
Croyez en la bonté humaine.  
Pense que tout ira bien.
- P- Les gens se méfient.  
Suspect motifs cachés dans d'autres.  
Me méfie des autres.  
Croire que les gens sont essentiellement mauvais.

## **A2: LA MORALE (.75)**

- F+ Ne jamais tricher sur mes impôts.  
S'en tenir aux règles.
- P- Utilisez flatterie pour aller de l'avant.  
Utilisez d'autres pour mes propres fins.  
Savoir comment contourner les règles.  
Tricher pour aller de l'avant.  
Mettre les gens sous pression.  
Faire semblant de se préoccuper des autres.  
Profitez des autres.  
Obstacle aux plans des autres.

## **A3: ALTRUISME (.77)**

- P+ Rendre les gens se sentent les bienvenus.  
Anticiper les besoins des autres.  
Amour pour aider les autres.  
Suis préoccupé par d'autres.  
Avoir un bon mot pour tout le monde.
- P Regardez vers le bas sur les autres.  
Suis indifférent aux sentiments des autres.  
Les gens se sentent mal à l'aise.  
Tourner le dos à d'autres.  
Prendent pas le temps pour les autres.

## **A4: COOPÉRATION (.73)**

- F+ Suis facile à satisfaire.  
Je ne supporte pas les confrontations.  
Je suis désolé de paraître arrogant.

- P- Ont la langue bien pendue.  
 Contradiction avec d'autres.  
 Aiment un bon combat.  
 Orier après les gens.  
 Insulter les gens.  
 Revenez à d'autres.  
 Rancunier.

#### **A5: MODESTIE (.77)**

- P+ N'aiment pas être le centre d'attention.  
 N'aiment pas parler de moi.  
 Me considère comme une personne moyenne.  
 Rarement toot mon propre klaxon.
- P- Croyez que je suis meilleur que les autres  
 Une haute opinion de moi-même.  
 Ont une haute opinion de moi-même.  
 Connaître les réponses à de nombreuses questions.  
 Se vanter de mes vertus.  
 Me faire le centre d'attention.

#### **A6: SYMPATHIE (.75)**

- P+ Sympathiser avec les sans-abri.  
 Ressentir de la sympathie pour ceux qui sont moins bien lotis que moi.  
 Valeur la coopération plutôt que la compétition.  
 Souffrent de douleurs des autres.
- P- Ne suis pas intéressé par les problèmes des autres.  
 Ont tendance à ne pas aimer les gens au cœur tendre.  
 Croire en un oeil pour un oeil.  
 Essayez de ne pas penser aux nécessiteux.  
 Crois que les gens doivent se débrouiller par eux-mêmes.  
 Je ne supporte pas les gens faibles.

#### **C1: L'AUTO-EFFICACITE (.78)**

- P+ Achever les tâches avec succès.  
 Exceller dans ce que je fais.  
 Gérer les tâches en douceur.  
 Suis sûr de mon terrain.  
 Venez avec de bonnes solutions.  
 Savoir comment faire avancer les choses.
- P- Méconnaître les situations.  
 Ne pas comprendre les choses.  
 Ont peu à y contribuer.  
 Vous ne trouvez pas les conséquences des choses.

## **C2: DISCIPLINE (0.82)**

- P+ Comme l'ordre.  
Comme pour tout ranger.  
Vous voulez que tout soit «juste».  
Aiment l'ordre et la régularité.  
Faire les choses selon un plan.
- P- Oublient souvent de remettre les choses à leur juste place.  
Laisser un désordre dans ma chambre.  
Laisse mes affaires autour.  
Ne suis pas dérangé par des gens malpropres.  
Ne suis pas gêné par le désordre.

## **C3: DUTIFULNESS (.71)**

- P+ Essayez de suivre les règles.  
Tenir mes promesses.  
Payer mes factures à temps.  
Dites la vérité.  
Écoutez ma conscience.
- P- Briser les règles.  
Briser mes promesses.  
Amener les autres à faire mes devoirs.  
Faire le contraire de ce qui est demandé.  
Déformer les faits.

## **C4: RÉALISATION-VISER (.76)**

- P+ Allez droit au but.  
Travaillez dur.  
Traduire les plans en actions.  
Plongez dans les tâches de tout mon coeur.  
Faire plus que ce qu'on attend de moi.  
Fixer des normes élevées pour moi-même et les autres.  
La qualité de la demande.
- P- Ne suis pas très motivé pour réussir.  
Ne travailler juste assez pour s'en sortir.  
Mettre peu de temps et d'efforts dans mon travail.

## **C5: AUTO-DISCIPLINE (.85)**

- P+ Obtenez corvées faites tout de suite.  
Suis toujours prêt.

- P- Début tâches tout de suite.  
Apprenez à travailler à la fois.  
Réaliser mes plans.  
Éprouvent des difficultés à se mettre au travail.  
Perdre mon temps.  
Besoin d'un coup de pouce pour démarrer.  
Ont de la difficulté à partir des tâches.  
Reporter les décisions.

### **C6: PRUDENCE (0.76)**

- P+ Éviter les erreurs.  
Choisir mes mots avec soin.  
S'en tenir à mon chemin choisi.
- P- Aller dans des choses sans réfléchir.  
Prendre des décisions irréfléchies.  
Comme pour agir sur un coup de tête.  
Précipiter les choses.  
Faire des choses folles.  
Agir sans réfléchir.  
Font souvent des plans de dernière minute.

**Une comparaison entre les 30 échelles de Facet au Costa et McCrae NEO Personality Inventory (NEO-PI-R) et le Correspondant Balances IPIP préliminaires de mesure constructions similaires**

NOMS ÉCHELLE		Nombre des articles		Moyenne article Inter corrélation		Coefficient Alpha		Corrélation
IPIP	NEO							
		IPIP	NEO	IPIP	NEO	IPIP	NEO	IPIP vs NEO
<b>Névrosisme</b>		<b>+</b>	<b>-</b>	<b>+</b>	<b>-</b>			
Anxiété	Anxiété (N1)	5+5=10	4+4=8	.32	.37	.83	.83	.75 [.90]
Colère	L'hostilité colère (N2)	5+5=10	5+3=8	.42	.34	.88	.80	.76 [.91]
Dépression	Dépression (N3)	7+3=10	6+2=8	.43	.41	.88	.85	.80 [.92]
Conscience	Self-Consciousness (N4)	6+4=10	5+3=8	.28	.26	.80	.74	.72 [.94]
Démesure	Impulsivité (N5)	5+5=10	4+4=8	.25	.24	.77	.72	.73 [.98]
Vulnérabilité	Vulnérabilité (N6)	5+5=10	3+5=8	.32	.35	.82	.79	.77 [.96]
<b>Extraversion</b>								
Respect	Chaleur (E1)	5+5=10	6+2=8	.41	.33	.87	.80	.76 [.91]
Grégarisme	Grégarité (E2)	5+5=10	4+4=8	.28	.34	.79	.80	.78 [.98]
Affirmation de soi	L'affirmation de soi (E3)	5+5=10	4+4=8	.34	.33	.84	.80	.81 [.99]
Niveau d'activité	Activité (E4)	5+5=10	5+3=8	.19	.25	.71	.72	.70 [.98]
Excitation-recherche	Excitation-Cherchant (E5)	8+2=10	6+2=8	.28	.19	.78	.64	.67 [.95]
Bonne humeur	Les émotions positives (E6)	8+2=10	4+4=8	.30	.36	.81	.81	.77 [.95]
<b>Ouverture à l'expérience</b>								
Imagination	Fantasy (O1)	6+4=10	3+5=8	.32	.35	.83	.82	.74 [.90]
Intérêts artistiques	Esthétique (O2)	5+5=10	5+3=8	.36	.40	.84	.84	.80 [.95]
Emotivité	Sentiments (O3)	5+5=10	5+3=8	.29	.28	.81	.75	.70 [.90]
Aventure	Actions (O4)	4+6=10	3+5=8	.24	.18	.77	.64	.71 [.99]
Intellect	Idées (O5)	5+5=10	5+3=8	.38	.38	.86	.82	.80 [.95]
Libéralisme	Values (O6)	3+7=10	3+5=8	.38	.30	.86	.78	.70 [.86]
<b>Agréabilité</b>								
Confiance	Trust (A1)	6+4=10	5+3=8	.32	.42	.82	.84	.79 [.95]
Moraliité	Droiture (A2)	2+8=10	3+5=8	.25	.26	.75	.74	.64 [.86]
Altruisme	L'altruisme (A3)	5+5=10	5+3=8	.25	.26	.77	.72	.67 [.90]
Coopération	Conformité (A4)	3+7=10	3+5=8	.22	.26	.73	.73	.71 [.97]
Modestie	Modestie (A5)	4+6=10	4+4=8	.25	.27	.77	.75	.72 [.95]
Sympathie	Offres d'esprit (A6)	4+6=10	6+2=8	.23	.17	.75	.61	.61 [.90]
<b>Conscience</b>								
L'auto-efficacité	Compétence (C1)	6+4=10	5+3=8	.27	.25	.78	.70	.66 [.89]
Discipline	Ordre (C2)	5+5=10	3+5=8	.33	.28	.82	.74	.77 [.99]
Dutifulness	Dutifulness (C3)	5+5=10	6+2=8	.20	.23	.71	.67	.60 [.87]
Réalisation-viser	S'efforcer réalisation (C4)	7+3=10	5+3=8	.27	.21	.78	.67	.70 [.97]

Autodiscipline	Self-Discipline (C5)	5+5=10	4+4=8	.36	.34	.85	.80	.76 [.92]
Prudence	Délibération (C6)	3+7=10	5+3=8	.24	.23	.76	.70	.69 [.95]
	<i>Signifier</i>	$\bar{5}+\bar{5}=10$	$\bar{4}+\bar{4}=\bar{8}$	.30	.29	.80	.75	.73 [.94]

# *Annexe C*

## Annexe C

### 1. Descente de gradient

L'algorithme d'optimisation le plus simple est la descente de gradient, dont le principe est de partir d'un point aléatoire puis de se déplacer dans la direction de la plus forte pente. En appliquant un certain nombre d'itérations, l'algorithme converge vers une solution qui est un minimum local de  $f$ .

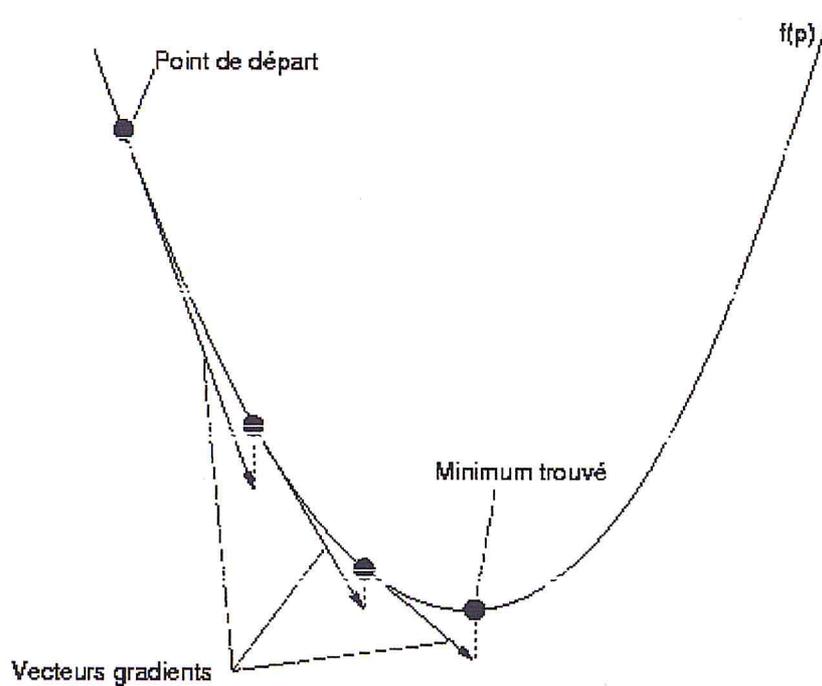


Figure A.1. Illustration du principe de la descente de gradient, dans le cas d'une fonction à une variable

On commence donc par choisir un vecteur  $P_0$  de manière aléatoire. Puis pour l'itération numéro  $i$  on calcule le gradient de  $f$  au point  $P_{i-1}$  :

$$g_i = \nabla f(P_{i-1})$$

Équation A.1. Calcul du gradient

Le nouveau vecteur de paramètres calculé est :

$$P_i = P_{i-1} - \eta g_i$$

Équation A.2. Nouveau vecteur paramètre

où  $\eta$  est une constante qui ajuste la vitesse de convergence de l'algorithme, déterminée empiriquement. Une fois le nouveau vecteur  $\mathbf{P}_i$  calculé on passe à l'itération suivante. Si  $\eta$  est trop grande, l'algorithme n'est pas stable et oscille autour d'une solution, et si  $\eta$  est trop petite, un très grand nombre d'itérations sera nécessaire pour converger vers la solution, et la probabilité de convergence vers une solution locale est plus grande. Plusieurs critères peuvent être définis pour arrêter l'algorithme : on peut limiter à un certain nombre d'itérations, ou arrêter lorsque  $f(\mathbf{P}_i)$  atteint un certain seuil minimal ou encore lorsque le vecteur évolue peu, c'est à dire quand la valeur suivante atteint un seuil minimal :

$$\frac{\|g_i\|}{\|\mathbf{P}_i\|}$$

### Équation A.3. Critère d'arrêt de la descente de gradient

Ce dernier critère peut présenter le défaut d'arrêter l'algorithme trop tôt si la fonction présente des plateaux. Le choix du meilleur critère ainsi que le seuil à fixer est généralement trouvé de manière empirique. Il est également possible de prendre une combinaison de ces différents critères.

Le choix du coefficient  $\eta$  peut être délicat dans certains cas. Par exemple si  $f$  possède par endroits de grands plateaux, il faudrait avoir un coefficient  $\eta$  grand pour pouvoir s'en affranchir avec peu d'itérations. Si en d'autres endroits  $f$  évolue au contraire très rapidement, il faut qu'il soit faible pour que l'algorithme soit stable. Une variante peut être utile dans ce cas, la descente de gradient adaptative.

Dans une descente de gradient adaptative, le coefficient  $\eta$  est également ajusté à chaque itération, suivant l'évolution de la valeur de  $f(\mathbf{P}_i)$ . Si  $f(\mathbf{P}_i)$  diminue, il est probable que l'on pourrait aller plus vite en augmentant légèrement  $\eta$ , et au contraire si  $f(\mathbf{P}_i)$  augmente, cela veut dire que le coefficient  $\eta$  est trop grand et qu'il faut le diminuer. Donc on décide d'augmenter  $\eta$  (de 10% par exemple) si  $f(\mathbf{P}_i)$  diminue, et de le réduire (en le divisant par 2 par exemple) si  $f(\mathbf{P}_i)$  augmente. Cette approche permet généralement de réduire le nombre d'itérations requis, et s'est révélée efficace avec tous les réseaux de neurones que nous avons testés.

La descente de gradient peut être appliquée de deux manières lorsque l'on évalue la fonction à l'aide d'une base d'exemples. La méthode que nous avons employé, et décrite ci-dessus, est celle du gradient total. Le vecteur  $\mathbf{E}_i$  est calculé avec tous les exemples de la base d'apprentissage à chaque itération, et le nouveau vecteur de paramètres est déterminé après avoir parcouru toute la base. Dans une autre méthode, dite du gradient stochastique, le vecteur  $\mathbf{E}_i$  est calculé avec chaque exemple, et le vecteur de paramètres est recalculé entre chaque exemple. Cette dernière méthode est particulièrement adaptée aux systèmes dits online, pour lesquels les exemples sont communiqués l'un après l'autre pendant l'optimisation,

alors que pour la méthode du gradient total il est nécessaire d'avoir la base complète avant de commencer la première itération.