

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen

Faculté des Sciences

Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en informatique

Option : Système d'Information et des Connaissances

Thème

Evaluation du risque d'accident vasculaire cérébral à l'aide de la logique floue

Réalisé par :

- M^{lle} BENCHERIF Farah Nezha

Présenté le 24 /06/2014 devant le jury composé de :

- *Mr CHOUITI Sidi Mohammed : Président du jury*
- *Mme BERRAMDANE Djamila : Encadreuse*
- *Mr BENMOUNA Youcef : Examineur*
- *Mr BELABDE Amine : Examineur*

Année universitaire : 2013-2014

Remerciements

Je tiens à exprimer mes remerciements et ma vive gratitude :

✚ A Mme Berramdane Djamila, qui m'a permis grâce à son encadrement de mener à terme ce projet.

✚ Au membre du jury, Mr Chouiti, Mr Benmouna, ainsi que Mr Belabed d'avoir consentis à examiner et valoriser ce travail et l'enrichir par leurs remarques et critiques.

✚ Enfin, à ma famille et plus spécialement mes parents et mes frangines pour leur soutien et leurs encouragements.

M^{lle} BENCHERIF Farah Nezha

Dédicace

A

*Tous ceux qui m'ont encouragé et
soutenu.....*

Table des matières

Table des figures	2
Liste des tableaux	3
Liste des abréviations.....	4
Introduction Générale	5
Chapitre 1 : Etat de la littérature sur les AVC	6
Introduction	7
I. Définition	7
II. Classification	8
II.1. Les AVC ischémiques	9
II.2. Les AVC hémorragiques	9
III. Les facteurs de risques	9
III.1. Les facteurs de risque moyens	10
III.2. Les facteurs de risque de risques mineurs ou discutés.....	10
VI. Prédiction des AVC	10
V. Conclusion	11
Chapitre 2 : La logique floue	12
Introduction	13
I. Définition	13
II. principes de la logique floue	14
II.1. Les sous ensembles flous	15
II.2. Les Fonctions d'appartenance	15
II.3. Les variables floues.....	17
II.4. Les variables linguistiques.....	18
II.5. Les opérateurs flous	19
II.6. Les règle d'inférence	20
III. Fonctionnement d'un système flou	20
III.1. La fuzzification	21
III.2. Le moteur d'inférence	21
III.2. La Défuzzification	21
III.2.1. Défuzzification par la moyenne des maximas	22
III.2.2. Défuzzification par le centre de gravité	23
VI. Etat de la littérature dans le domaine biomédical	23
V. Conclusion	26
Chapitre 3 : Mise en œuvre	27
Introduction	28
I. La capitalisation des connaissances	28
II. Methodologie de conception.....	29
III. Recensement des variables	31
IV. Fuzzification des variables.....	32
V. Règles d'inférences	32
V.1. Définition des règles	33
V.2. Algorithme d'inférences floues.....	34
VI. Agrégation de résultats et defuzzification des variables	34
VII. Présentation du prototype	36
VIII. Evaluation du prototype	38
IX. Conclusion	39
Conclusion Générale	39
Bibliographie	41
Webographie	42
Annexe	43

Table des figures

Figure II.1 : Représentation graphique d'un ensemble classique et d'un ensemble flou	15
Figure II.2 : Comparaison entre la formalisation en logique booléenne et en logique floue.....	16
Figure II.3 : Représentation de l'activité journalière d'un individu à l'aide de la logique classique	18
Figure II.4 : Représentation de l'activité journalière d'un individu à l'aide de la logique floue.....	19
Figure II.5 : Schéma représentatif du fonctionnement d'un système flou	21
Figure II.6 : Défuzzification par le centre de gravité	23
Figure II.7 : Vue d'ensemble du système d'inférence.....	24
Figure III.1 : illustration de la méthodologie de modélisation de notre système	29
Figure III.2 : Schéma explicatif du processus d'Agrégation des résultats	35
Figure III.3 : Interface d'accueil.....	36
Figure III.4 : Espace d'évaluation	36
Figure III.5 : Fuzzification des inputs et des outputs	37
Figure III.6 : Résultat obtenus par la méthode COG.....	37

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les facteurs de risques d'AVC	10
Tableau II.1 : Une approche intuitive de l'organisation du temps.....	14
Tableau II.2 : les opérateurs logiques	20
Tableau II.3 : Opérateurs flous utilisés dans la mise au point d'un système d'aide à la décision pour accompagner les anesthésistes	25
Tableau II.4 : Evaluation du système flou obtenu par comparaison aux décisions de l'expert prise pour chaque patient.....	31
Tableau III.1 : Pression artérielle : Norme OMS chez l'adulte > 18 ans	32
Tableau III.2 : classification IMC : Norme OMS chez l'adulte	33
Tableau III.3 : Table de vérité pour le couple (PA, AF).....	33
Tableau III.4 : Matrice d'inférence pour le couple (PA, IMC).....	33
Tableau III.5 : Matrice d'inférence pour le couple (AF, IMC).....	33
Tableau III.6 : Evaluation du prototype.....	38

Liste des abréviations

AIC	:Accident Ischémique Constitué.
AIT	:Accident Ischémique Transitoire.
AVC	:Accident Vasculaire Cérébrale
COG	:Centre Of Gravity.
HTA	:Hyper Tension Artérielle.
HRP	:Heart Pulse Rate.
MM	:Moyenne of Maximas
OMS	:Organisation Mondiale de la Santé.
PA	:Pression Artérielle.
PAD :	:Pression Artérielle Diastolique.
PAS :	:Systolic Arterial Pressure.
Sannc :	:Société algérienne de neurologie et neurophysiologie clinique.
SIF :	:Système à Inférence Flou
AIC :	:Accident Ischémique Constitué.

Introduction Générale

L'aide à la décision requiert en premier le passage par une phase d'analyse de données brutes relatives à un domaine précis (mathématique , économie , médecine ,.....) Afin d'en extraire des connaissances exploitables, ce processus est souvent interactif (l'utilisateur-analyste-Neurologue-le cas échant, y joue un rôle central) et itératif.

Dans la perspective de conception d'un système d'évaluation du risque d'attaque cérébrale à partir d'une base de données médicale, nous présentons une méthode basée sur la logique floue, notre objectif consiste d'abord à proposer une démarche qui soit le plus proche possible de la réalité et qui prend en compte l'incertitude et l'imprécision des données , ensuite de simuler le raisonnement de l'expert humain qui restera notre référence tout au long du travail.

Notre but est de faire une évaluation rapide et intuitive pour un patient afin de connaître sa prédisposition à être victime de ce mal, en faisant une simple lecture de synthèse de ses paramètres globaux.

Ainsi, ce mémoire se décline en trois chapitres :

Le chapitre I : Dans ce premier chapitre on pose la problématique à savoir l'accroissement du taux d'attaques cérébrales dans le monde, ainsi que le choix des critères retenus pour la prédiction du risque.

Le chapitre II : Dans ce deuxième chapitre on présentera le contexte théorique d'étude retenu dans notre thème, qui est la logique floue, et qu'on proposera comme solution à la réalisation de ce projet.

Le chapitre III : Enfin dans ce chapitre nous exploiterons les concepts vus au chapitre 2 pour décrire notre système, on présentera par la suite les choix de conception et de réalisation et on discutera enfin les résultats obtenus.

On terminera ce mémoire par une conclusion générale qui résume les principales observations concernant l'évolution du travail, à cet effet on expliquera comment les travaux réalisés dans ce projet pourraient être améliorés, en donnant la perspective de nouvelles approches de recherche.

Chapitre 1 :

Etat de la littérature sur les AVC

- Introduction
- Définition
- Classification
- Facteurs de risques
- Prédiction des AVC
- Conclusion

Introduction :

Selon la dernière étude publiée par l'organisation mondiale de la santé (OMS) des dix principales causes de décès dans le monde en 2011, l'accident vasculaire cérébral (AVC) tient la deuxième position après les maladies cardio-vasculaires, et la première cause de handicap invalidant, c'est aussi la deuxième cause de démence et origine majeure de dépression dans le monde. [Web1].

En Algérie l'estimation avancée par la Société algérienne de neurologie et neurophysiologie clinique (Sannc) le nombre d'atteint s'élève à plus de 200.000 décès par an, soit quatre à cinq fois plus que le nombre des victimes des accidents de la circulation et 30 000 nouveaux handicapés à vie [Web2].

Ces données montrent bien que la courbe des AVC est ascendante en Algérie, à l'instar des autres pays du monde, il est donc impératif de réfléchir sur une politique de prévention pour la prise en charge des personnes à risques moyens et élevés.

Ce travail s'inscrit donc dans le cadre de la prévention des AVC en vue d'une prise en charge précoce et adaptée des patients à risque, car souvent les professionnels de la santé ne parent qu'aux plus urgents et le plus souvent trop tard, c'est pourquoi, face à cet état des lieux, la prévention ne s'impose plus comme un choix mais comme une nécessité.

I. Définition :

Un accident vasculaire cérébral (AVC), anciennement appelé accident cérébraux-vasculaire (ACV) et parfois appelé attaque cérébrale, est un déficit neurologique soudain d'origine vasculaire causée par un infarctus¹ ou une hémorragie au niveau du cerveau.

L'apoplexie ou **attaque d'apoplexie** est un terme anciennement employé, plus général. C'est en fait l'effet visible de l'accident vasculaire cérébral incluant une

¹ Un **infarctus** est défini par la mort brutale et massive de cellules (nécrose irréversible d'une partie d'un organe), en rapport avec un manque d'oxygène.

perte de connaissance, avec arrêt partiel ou complet des fonctions cérébrales, ou une attaque provoquant la perte de conscience ou la mort soudaine du patient (apoplexie foudroyante). Dans certains ouvrages médicaux, l'appellation **ictus apoplectique** peut être employée.

Le terme «accident » est utilisé pour souligner l'aspect soudain voire brutal de l'apparition des symptômes, bien qu'il s'agisse en réalité d'une maladie, ses causes étant de nature interne [Web3]

L'OMS définit un AVC comme « le développement rapide de signes cliniques localisés (ou globaux comme dans les hémorragies sous-arachnoïdiennes) de déficit ou dysfonction cérébral durant plus de 24 heures ou conduisant à la mort, sans cause apparente autre qu'une origine vasculaire »

La manifestation de la maladie diffère d'un cas à un autre tant les symptômes sont nombreux et divers, en réalité cela dépend de la nature de l'AVC (ischémique ou hémorragique), ainsi que de l'endroit et de l'étendue de la lésion cérébrale, néanmoins en règle générale ça se traduit par la perte de la motricité (ataxie), perte de la sensibilité, trouble du langage (aphasie), perte de la vue, perte de connaissance ,etc. de même ces symptômes peuvent être transitoires et disparaître au bout de quelques secondes (on parlera dans ce cas d'**AIT** : **A**ccident **I**schémique **T**ransitoire) ou au contraire persister plus longtemps (on parlera dans ce cas d'**AIC** : **A**ccident **I**schémique **C**onstitué).

Environ 80% des AVC sont ischémiques et seulement 20% hémorragiques, l'explication étant que le facteur âge augmente la probabilité de faire un AVC ischémique.

A ce jour on ne dispose pas encore d'un remède miracle pour soigner la maladie dont les conséquences peuvent être très lourdes et les soins très onéreux également, par ailleurs on ne comprend pas encore très bien le processus de récupération en cas de survie, donc en l'absence de moyens fiables la prévention reste le meilleur remède.

II. Classification :

Les AVC se scindent en deux catégories :

II.1 Les AVC ischémiques :

Sont les plus fréquents (80 à 85% des AVC dans la population de race blanche). Ils témoignent d'un infarctus cérébral qui relève de trois mécanismes :

- Maladie des petites artères ou lacunes
- Athérosclérose : sténose², thrombose³ ou embolie⁴ à partir d'une plaque d'athérome⁵.
- Embolie d'origine cardiaque.
- plus rarement d'une thrombose veineuse cérébrale (0.5 à 1% des AVC), d'une embolie paradoxale ou d'une dissection.

II.2 Les AVC hémorragiques :

Cette catégorie regroupent les hémorragies primitivement intracérébrales (environ 15% des AVC) et les hémorragies cérébro-méningées (environ 5% des AVC). Ils résultent de la rupture d'une malformation vasculaire ou d'une petite artère, favorisés par l'hypertension artérielle ou un traitement antithrombotique. Dans ce mémoire on se limitera à ce type d'AVC.

III. Les facteurs de risques :

Nous pouvons organiser les facteurs de risque en trois catégories (voir le tableau I.1), des facteurs majeurs, des facteurs moyens et enfin de facteurs mineurs ou discutés.

III.1 Les facteurs de risques majeurs :

Il s'agit d'indicateur de risque accru d'attaque cérébrale ; on trouve dans cette catégorie des sujets souffrants de maladies cardio-vasculaires, d'addiction à l'alcool, de dépression ou tout simplement avancés dans l'âge.

² La **Sténose** se traduit par un le rétrécissement d'une structure (vaisseau ou canal)

³ La **thrombose** consiste en la formation d'un thrombus (un caillot) obturant un vaisseau sanguin.

⁴ L'**embolie** est due à l'obstruction d'une artère périphérique ou pulmonaire.

⁵ L'**athérome** ou **athérosclérose** correspond à un remaniement de la paroi des artères de gros et moyen calibre par accumulation segmentaire de différents éléments

III.2 Les facteurs de risques moyens :

Le diabète, le tabagisme, la prise de certaines hormones œstroprogestatives, et les complications précoces (pulmonaire, urinaire thromboembolique veineuse), et le grand âge augmenteraient sensiblement le risque d'accident vasculaire cérébral, par ailleurs les personnes ayant des antécédents familiaux sont plus particulièrement exposées à ce risque.

III.3 Les facteurs mineurs ou discutés :

L'accident vasculaire cérébral peut être lié à d'autres facteurs moins graves que ceux des deux premières catégories mais qui nécessitent une investigation médicale approfondie afin d'évaluer correctement le risque de la survenue de ce dernier, les plus importants sont l'hypercholestérolémie, et l'obésité.

<i>Facteurs majeurs</i>	<i>Facteurs moyens</i>	<i>Facteurs mineurs</i>
<ul style="list-style-type: none"> - HTA - Fibrillation auriculaire ⁶ - Arythmie cardiaque - Alcoolisme chronique sévère - Vieillesse (rigidité vasculaire) - Etat dépressif 	<ul style="list-style-type: none"> - Diabète - Hyperhomocystéinémie⁷ - Tabagisme - Œstroprogestatifs - Infections - Antécédents familiaux 	<ul style="list-style-type: none"> - Hypercholestérolémie - Migraine avec aura - Obésité

Table I.1 : Les facteurs de risques d'AVC

IV. Prédiction des accidents vasculaires cérébraux :

Bien qu'ils existent plusieurs techniques d'évaluation du risque d'AVC, nous citons à titre d'exemple le Score d'Allen, de Siriraj [1], ou encore le score de

⁶ **Fibrillation auriculaire** ou **atriale** est un le type les plus fréquent des troubles du rythme cardiaque.

⁷ **L'Hyperhomocystéinémie** est l'augmentation dans le plasma, de l'homocystéine qui est à l'origine d'une augmentation du nombre des facteurs de risque d'AVC ;

CHADS2 [web4] 30% des AVC ischémiques et 10 à 15 % des AVC hémorragiques, restent encore inexpliqués et imprédictibles [Web5].

Ces scores sont calculés à partir des données suivantes :

- L'âge.
- Le sexe.
- Les antécédents d'HTA.
- L'antécédent d'AIT /AVC.
- Les pathologies cardiaques
- Certains paramètres hématologiques : hémoglobine, hématoците⁸, globules blancs
- Les données de la biochimie sanguine : la glycémie, urémie, créatininémie⁹, cholestérolémie totale et uricémie¹⁰.
- Le comportement à risque : tabagisme et alcoolisme.

V. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons défini la maladie ainsi que sa prévalence dans le monde et plus particulièrement en Algérie, nous avons aussi parlé de ses causes, de ses conséquences ainsi que des moyens mis en place pour prévenir la survenue de ce drame invalidant dont le processus de récupération reste encore incompris et difficile.

Dans le prochain chapitre nous allons nous intéresser à la logique floue afin d'intégrer ses mécanismes dans notre futur système d'assistance aux médecins, comme la logique floue gère très bien ces imperfections, notre choix s'est naturellement portée sur celle-ci.

⁸ L'hématocrite représente le pourcentage relatif du volume des globules rouges circulant dans le sang par rapport au volume total du sang.

⁹ La créatinine est un produit de dégradation du phosphate de créatine dans le muscle.

¹⁰ L'uricémie est la présence normale d'acide urique dans le sang circulant.

Chapitre 2 :

La logique floue

- Introduction
- Définition
- Principes de la logique floue
- Etat de la littérature
- Conclusion

Introduction :

Les connaissances sur lesquelles se base le raisonnement humain sont presque toujours entachées d'une quantité d'incertitudes et d'imprécisions, cette caractéristique est en réalité inhérente à l'homme et au monde puisqu'aucun de nos sens, ni de nos instruments de mesures, ne nous permet de décrire avec justesse et certitude ce que nous percevons du monde extérieure.

En systémique l'être humain est considéré comme un système à part entière, dont le raisonnement gère très bien les données imparfaites, et ce malgré la complexité et la diversité des situations rencontrées, ces performances ont retenues l'intérêt de certains chercheurs en théorie des systèmes dans les années 60, dont le fondateur de la logique floue, Lotfi Zadeh¹¹.

Notre objectif consiste à concevoir un système d'aide au diagnostique qui prend en charge ces imperfections sans modifier ni occulter la réalité sur les choses, les personnes et les pensées environnantes, en essayant de se rapprocher le plus possible des raisonnements que nous faisons tous les jours et qui vont des tâches les plus anodines aux décisions les plus conséquentes.

I. Définition :

La logique floue est une extension de la logique booléenne formalisée par Lofti Zadeh en 1965, c'est une généralisation de la théorie des ensembles classiques, qui par son aspect numérique s'oppose aux principes de la logique modale.

Elle a l'avantage d'introduire la notion de degré de confiance dans la vérification d'une condition, permettant ainsi à une condition d'être dans un état autre que vrai ou faux, la logique floue confère une flexibilité appréciable, rendant mieux compte de la réalité. Elle permet en outre d'exprimer les règles en langage naturel.

Afin de mieux comprendre son intérêt on prend un exemple de raisonnement simple que nous faisons tous les jours, à savoir la gestion de temps.

¹¹ **Lotfi Askar Zadeh** est un scientifique Iranien, né le 4 fev. 1921 en Azerbaïdjan, connu pour ses travaux en informatique et en automatique.

En effet, dans la vie de tous les jours, nous déterminons l'importance des situations à partir de nos principes et de nos valeurs, des buts que nous nous sommes assignés en établissant notre mission et ce de façon naturelle et plus ou moins logique.

Dans le quadrant ci-dessous (Tableau II.1) on classe les activités selon deux critères : l'urgence et l'importance. Le terme importance part de nos choix intrinsèques, l'urgence quant à elle, provient de notre environnement.

	Urgente	Non urgente
Importante	Activités I: Projets arrivés à échéance, problèmes urgents, Analyses médicales...	Activités II: Formation complémentaire, entretenir les relations sociales, payer ses factures, s'informer ...
Non importante	Activités III: Interruption, courrier, rapport quelconques, activité répétitive	Activités IV: Appels téléphoniques sans importances, Futilité, distraction ...

Tableau II.1 : Une approche intuitive de l'organisation du temps.

Intuitivement, il semble donc que les variables d'entrée à l'instar de cet exemple sont appréciées par le cerveau de manière approximative, correspondant ainsi au degré de vérification d'une condition de la logique floue.

II. Principes de la logique floue :

Afin d'expliquer les principes qui régissent ce flou "théorique", nous allons concevoir au fil de cette section un système d'inférence concret dont l'objectif est de décider s'il l'exposition d'un individu au risque d'accident vasculaire cérébrale est forte, moyenne ou faible.

II.1 Les sous ensembles flous :

La logique floue repose sur la théorie des ensembles flous, qui est une généralisation de la théorie des ensembles classiques comme il est représenté sur figure II.1 .Par abus de langage, suivant les us de la littérature, nous utiliserons indifféremment les termes sous-ensembles flous et ensembles flous. Les ensembles classiques sont également appelées ensemble nets, par opposition à flous, et de même la logique classique est également appelée logique booléenne ou binaire [2].

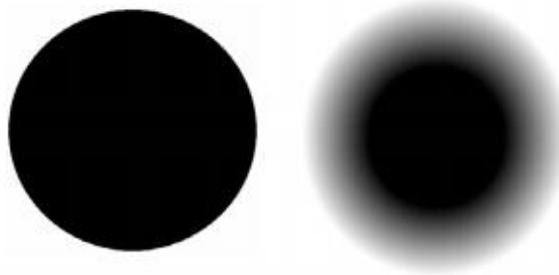


Figure II .1 : Représentation graphique d'un ensemble classique et d'un ensemble flou

II.2 La fonction d'appartenance :

Soit X un ensemble, un sous-ensemble A de X est caractérisé par une fonction d'appartenance $f^a : \mathcal{X} \rightarrow [0,1]$, cette fonction d'appartenance est l'équivalent de la fonction caractéristique d'un ensemble classique.

Le choix de la fonction d'appartenance est fait de façon arbitraire au fil des tests on choisit si c'est la forme sigmoïde, hyperbolique, tangente, exponentielle, gaussienne, triangulaire ou autres, qui convient le mieux à notre problème.

Dans notre exemple d'évaluation de risque d'AVC, il nous faudra redéfinir des fonctions d'appartenance pour chaque sous-ensemble flou de chacune de nos trois variables :

- **Imput1** : Données biochimiques sanguine (glycémie, urémie, ...)
- **Sous ensemble** : { Bonnes – mauvaises - Très mauvaise }
- **Imput2** : Comportement à risque (Tabagisme – sédentarité -alcoolisme)

- **Sous ensemble** : { Fréquent, occasionnel, rare }
- **Imput3** : Anomalies cardiologiques (HTA, essoufflement, tachycardies ...)
- **Sous-ensemble** : { Existante – inexistante –épisodique }
- **Imput4** : Données divers (âges, sexe, antécédent)
- **Sous-ensemble** : { Elevé –Très élevé - modéré – bas }
- **Output** : Risque de survenue d’attaque cérébrale
- **Sous-ensemble** : {important – modéré – faible }

Dans ce même exemple, L’HTA constitue un risque minime en dessous de 12.7 et élevée au-dessus de cette valeur. On souhaite caractériser le risque d’AVC en répondant par exemple à la question « L’HTA est-elle élevée ? ».

En logique booléenne, la réponse à cette question s’énonce de la manière suivante (voir la figure II.2.) :

- Le risque est élevé à 100 % au-dessus de 20.10 et à 0 % en dessous.

En logique floue, la réponse à cette question est plus nuancée, elle s’énonce de la manière suivante (voir la figure II.2) :

- L’HTA est normale en dessous de 13.7. On peut donc dire qu’en dessous de ce chiffre, Le risque est bas avec un taux de confiance de 0 %.
- L’HTA est élevée au-dessus de 20.10, le risque est grand avec un taux de confiance de 100 % au-dessus de ces chiffres.
- Aux stades intermédiaires, on considère que le risque est moyen à 50 % de confiance à 16.9 et à 25 % de confiance à 15.3.

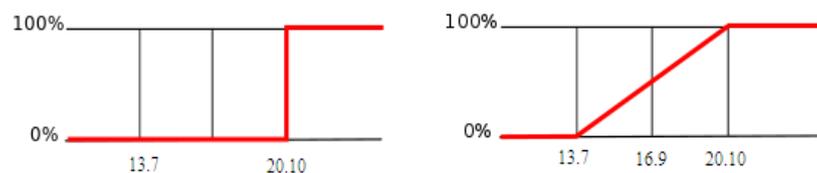


Figure II.2 : Comparaison entre la formalisation en logique booléenne (à gauche) et en logique floue (à droite)

Soit X un ensemble, A un sous-ensemble flou de X et μ_A la fonction d'appartenance le caractérisant.

- **La hauteur** : La hauteur de A notée $h(A)$, correspond à la borne supérieure de l'ensemble d'arrivée de sa fonction d'appartenance

$$h(A) = \text{Sup} \{ \mu_A(x) | x \in X \}$$

- **La normalité** : A est dit normaliser, si et seulement si la hauteur $h(A)$ est égale à 1. En pratique, il est extrêmement rare de travailler sur des ensembles flous non normalisés.

- **Le support** : Le support de A est l'ensemble des éléments de X appartenant au moins un peu à A . Autrement dit, c'est l'ensemble

$$\text{sup}(A) = \{ x \in X | \mu_A(x) > 0 \}$$

- **Le noyau** : le noyau de A c'est l'ensemble des éléments de X appartenant totalement à A , autrement dit c'est l'ensemble des noyaux :

$$\text{sup}(A) = \{ x \in X | \mu_A(x) = 1 \}$$

Par construction $\text{Noy}(A) \subseteq \text{sup}(A)$.

- **Une α -coupe** : C'est un sous-ensemble classique des éléments ayant un degré d'appartenance supérieure ou égale à α :

$$\alpha - \text{coupe}(A) = \{ x \in X | \mu_A(x) \geq \alpha \}$$

Remarquons que si A était un ensemble classique, nous aurions simplement $\text{sup}(A) = \text{Noy}(A)$ et $h(A) = 1$ (ou $h(A) = 0$ si $A = \emptyset$). Donc on retrouve bien de retrouver les propriétés usuelles des ensembles classiques.

II.3 Les variables floues :

A l'inverse de la logique classique où les variables binaires sont définies par deux états « vrai » ou « faux », Les variables floues supportent toute une gradation entre ces deux possibilités, l'exemple qui suit permet de mieux comprendre la différence entre les variables binaires et les variables floues :

Si l'on désire classer un groupe de personne suivant leur activité physique journalière en définissant la catégorie des sédentaires avec en moyenne 30 mn de marche, la catégorie de actifs avec en moyenne 75 mn de marche et enfin la catégorie des dynamiques avec plus de 75 mn de marche par jour.

La logique binaire donne la représentation de la figure II. 3 pour les trois variables « sédentaire », « actif » et « dynamique ».

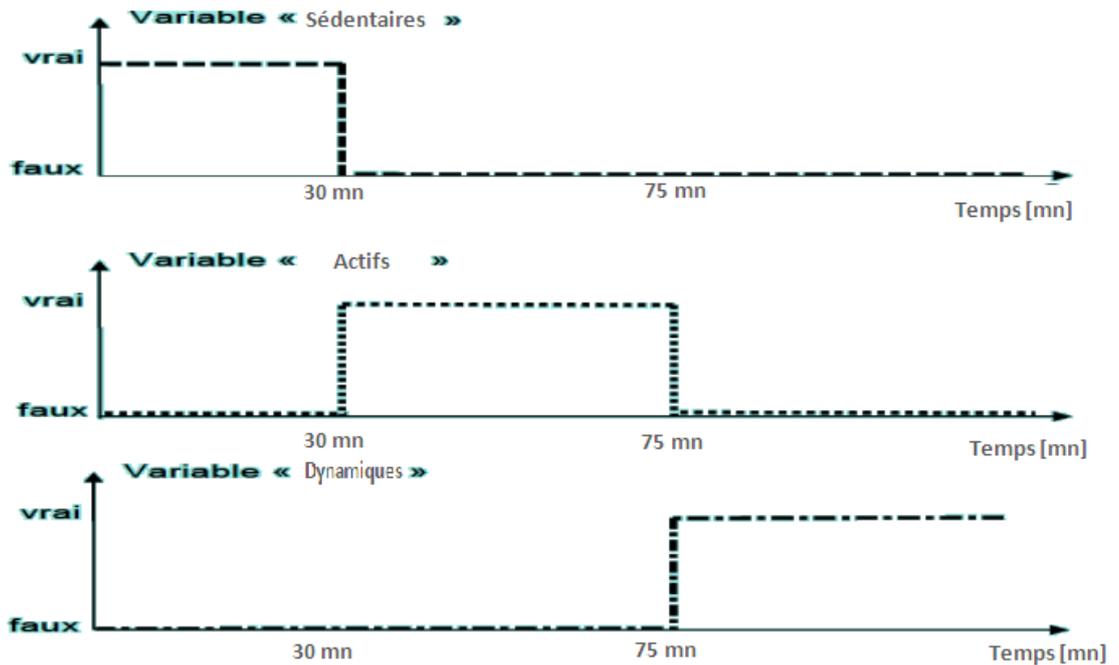


Figure II.3 : Représentation de l'activité journalière d'un individu à l'aide de la logique classique

De prime abord nous relevons deux failles :

- On représente l'état de la variable à l'aide de son degré de vérité, en associant la valeur 1 (100%) à l'état « vrai » et la valeur nulle (0%) à l'état « faux ».
- On constate que cette façon de faire, est très éloignée de ce qu'on fait

L'être humain lorsqu'il résout ce genre de problème ne fait pas naturellement une distinction franche entre les variables en termes clairs. Il utilise des expressions du genre « je suis plutôt actif » pour qualifier une activité quotidienne légèrement inférieure à 75 mn, et « plutôt dynamique » pour une activité légèrement supérieure à cette valeur. En conclusion, la logique binaire malgré sa simplicité, elle reste assez éloignée de la logique utilisée naturellement par l'être humain.

En logique floue, les variables ne sont plus binaires mais présentent une multitude de valeurs possibles entre le « vrai » et le « Faux » (Figure II.4).

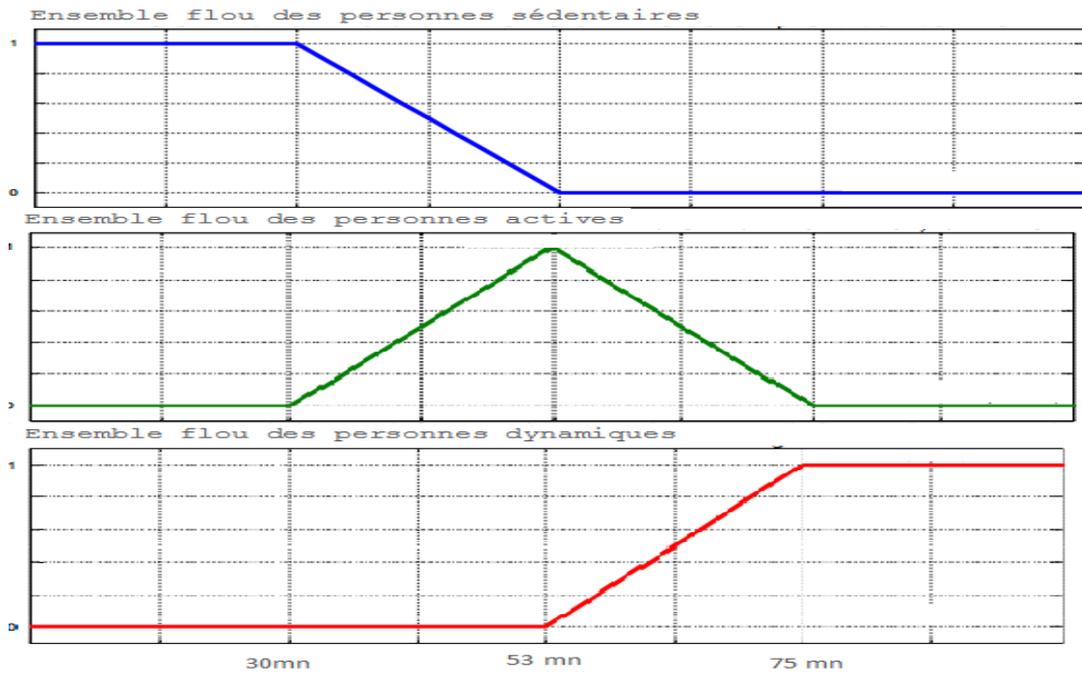


Figure II.4 : Représentation de l'activité journalière d'un individu à l'aide de la logique floue

II.4 Les variables linguistiques :

Les variables linguistiques sont fortement liées au concept de fonction d'appartenance vu précédemment qui permet d'établir le lien entre elles et la logique floue.

Dans un système flou, les variables linguistiques sont représentées par un triplet (V, X, T_v) , où V est une variable, X est la plage des valeurs de la variable et T_v un ensemble fini ou infini de sous ensembles flous.

Exemple :

V : Comportement à risques (Tabagisme – sédentarité – alcoolisme...).

X : [1,30] jours.

T_v : Rare –fréquent- chronique.

II.5 Les opérateurs flous :

Appliquer les opérateurs de la théorie des ensembles classique sur la logique floue nécessite certaines modifications afin de les adapter aux fonctions d'appartenances propres à celle-ci et dont les valeurs varient entre l'intervalle 0 et 1, comme nous pouvons le voir sur le tableau II.3

Dénomination	Intersection ET : $\mu_{A \cap B}(x)$	Réunion OU : $\mu_{A \cup B}(x)$	Complément NON : $\mu_{\bar{A}}(x)$
Opérateurs de Zadeh MIN/MAX	$\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\max(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$1 - \mu_A(x)$
Probabiliste PROD/PROBOR	$\mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$1 - \mu_A(x)$

Tableau II. 2 : Les opérateurs logiques

Les propriétés de commutativité, distributivité et associativité sont les mêmes pour les opérateurs de la logique classique à deux exception près.

- **Le tiers exclus contredit** : en logique floue $A \cup \bar{A} \neq X$, c.à.d. $\mu_{A \cup \bar{A}} \neq 1$.
- **L'ubiquité** : en logique floue un élément peut appartenir à A et à \bar{A} au même temps, cela donne $A \cap \bar{A} \neq \emptyset$, autrement dit $\mu_{A \cap \bar{A}} \neq 0$, notons que ces éléments correspondent à l'ensemble à sup(A)-Noy(A).

II.6 Les règles d'inférence :

On appelle règles d'inférence, l'ensemble des différentes règles reliant les variables floues d'entrée d'un système aux variables floues de sortie de ce système. Ces règles sont représentées sous la forme :

Si condition 1 et/ou condition 2 (et/ou...) **alors** action sur les sorties.

Exemple :

SI la tension artérielle est très élevée ou il y a des antécédents familiaux d'AVC **alors** le risque est majeur

SI la tension artérielle est bonne et pas de comportements à risque **alors** le risque est mineur

SI la tension artérielle est moyennement élevée et pas d'antécédents familiaux ou tabagisme **alors** le risque est moyen.

Ces règles résument en fait l'expérience de l'expert, le médecin dans notre cas, de ce fait elles ne sont pas immuables.

La combinaison de ces différentes règles se fait à l'aide de l'opérateur **ou**. Ce choix s'inspire de du langage courant ainsi une énumération est comprise dans le sens :

{ Si... alors... **ou**
 Si... alors...**ou**
 ...

Bien que l'opérateur ou ne soit pas explicitement mentionné.

III. Le fonctionnement d'un système flou :

Un système flou doit pouvoir calculer des paramètres de sorties en fonction d'un ensemble de règles formulés en langage naturel. Pour que les entrées, les règles d'inférences et les sorties soient cohérentes nous décomposons ce système en trois parties (Figure II.5), chacune réalise une fonction bien spécifique.

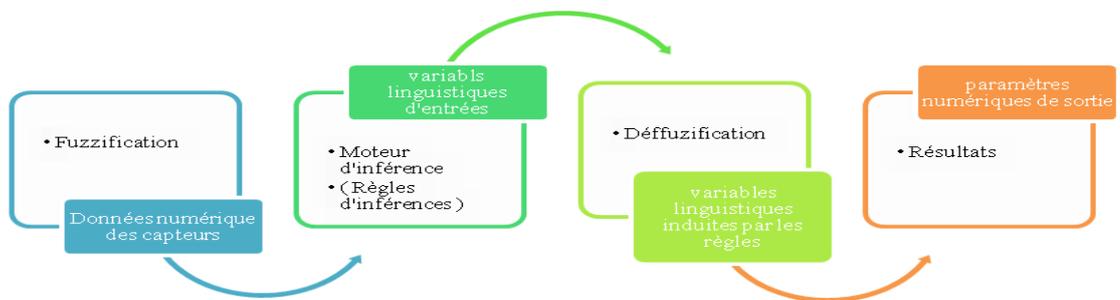


Figure II.5 : Schéma représentatif du fonctionnement d'un système flou

III.1 La Fuzzification (la quantification floue):

Cette partie consiste à traduire les données numériques quantitatives provenant d'un capteur, en variables linguistiques qualitatives grâce à une fonction d'appartenance créée par le concepteur de ce système.

Exemple : Une donnée provenant d'un capteur pourrait être : tension artérielle = 13.8, après *Fuzzification* on aurait donc tension = 55% moyenne ,42 % Bonne.

III.2 Le moteur d'inférence :

La seconde partie est le moteur d'inférence qui se chargera d'appliquer chacune des règles d'inférences. Ces règles d'inférences représentant les connaissances que l'on a du système dû à l'expertise humaine. Chaque règle génèrera une commande de sortie [Web6].

III.3 La Défuzzification :

C'est l'étape qui permet de fusionner les différentes commandes générés par le moteur d'inférence pour lui donner qu'une seule commande de sortie et de transformer cette variable linguistique qualitative de sortie en donnée numérique quantitative , ce qui revient donc à trouver la meilleure valeur quantitative en fonction des fonctions d'appartenances des variables linguistiques.

C'est au concepteur de choisir parmi les sept méthodes de Défuzzification possibles [3] laquelle appliquée à son système flou, dans ce qui suit, nous allons présenter les deux principales , à savoir la méthode : la méthode moyenne des maxima (MM), et la méthode du centre de gravité (COG).

III.3.1 La Défuzzification par la moyenne des maxima (MM) :

La méthode de la moyenne des maxima revient à prendre l'abscisse correspondant à la moyenne des abscisses ayant pour ordonnée la valeur maximale des fonctions d'appartenance [Web6].

Mathématiquement la MM s'énonce comme suit :

$$Valeur = \frac{\int_S x dx}{\int_S dx} , \text{ avec } S = \{x, \mu(x) = \sup (\mu(x))\}$$

III.3.2 La Défuzzification par calcul du centre de gravité (COG) :

Cette méthode consiste à prendre l'abscisse correspondant au centre de gravité de la fonction d'appartenance. Formellement, on l'exprime par la formule suivante :

$$Valeur = \frac{\int_S \mu(x).x dx}{\int_S \mu(x).dx}, \text{ avec } S, \text{ le domaine de la fonction d'appartenance.}$$

Cette méthode donne des résultats bien meilleurs et est aussi largement utilisée dans les systèmes flous. Néanmoins, elle possède l'inconvénient d'être très coûteuse. En effet, pour appliquer cette méthode de Défuzzification, il faut calculer le centre de gravité de la surface (voir la figure II.6) sous la fonction d'appartenance et de prendre l'abscisse de ce centre de gravité. Pour cela, il faut décomposer la fonction d'appartenance en petits morceaux et intégrer sur chacun des morceaux comme dans l'exemple suivant :

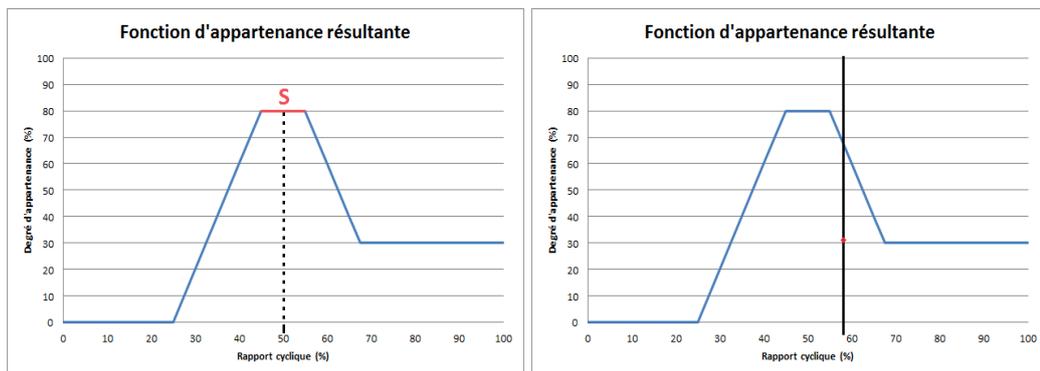


Figure II.6 : Défuzzification par le centre de gravité

$$\left\{ \begin{array}{ll} \mu(x) = (x - 25\%) \cdot 4 & x \in [25\% - 45\%] \\ \mu(x) = 80\% & x \in [45\% - 55\%] \\ \mu(x) = 80\% - (x - 55\%) \cdot 4 & x \in [55\% - 65.5\%] \\ \mu(x) = 30\% & x \in [67.5\% - 100\%] \end{array} \right.$$

$$COG = \frac{\int_{25\%}^{45\%} \mu(x).x dx + \int_{45\%}^{55\%} \mu(x).x dx + \int_{55\%}^{67.5} \mu(x).x dx + \int_{67.5\%}^{100\%} \mu(x).x dx}{\int_{25\%}^{45\%} \mu(x).dx + \int_{45\%}^{55\%} \mu(x).dx + \int_{55\%}^{67.5} \mu(x).dx + \int_{67.5\%}^{100\%} \mu(x).dx}$$

IV. Etat de la littérature :

Dans cette section nous exposerons un travail de recherche en biomédicale dont les auteurs [4] ont tenté de concevoir un système d'aide à la décision à l'aide de la logique floue pour assister les anesthésistes lors des interventions chirurgicales.

L'objectif est alors d'étudier le type d'inférence chez les anesthésistes (l'humains) lorsqu'on donne à ces derniers des variables objectives précises et certaines, issues d'instruments de mesure médicaux afin d'adapter le contenu du produit anesthésique administré au patient à un instant (t) toute les 5mn, de l'opération (schéma II.6).

Les valeurs d'entrées du système sont les suivantes :

Entrée 1 : PAS - la pression artérielle.

Entrée 2: HRP - le rythme cardiaque.

La sortie en réponse à ces deux critères est A_0

Sortie : A_0 Taux de produit anesthésique du gaz inhalé par le patient.

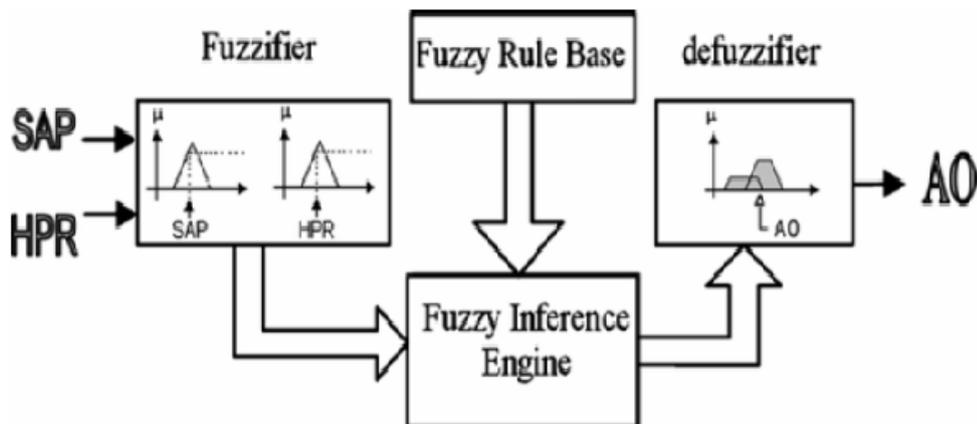


Figure II.7 : Vue d'ensemble du système d'inférence.

La validation de ce système est faite en comparant les résultats obtenus avec les décisions prises par l'expert humain, mais avant de faire une lecture des résultats voici le choix des opérateurs flous retenu par les connecteurs:

Opérateur	Nom
Et	Min
Ou	Max
Implication	Min
Agrégation	Max
Défuzzification	COG

Tableau II.3 : Opérateurs flous utilisés dans la mise au point d'un système d'aide à la décision pour accompagner les anesthésistes

										Total		
Patient 1	SAP (mmHg)		164	161	192	156	172	161	152	157	154	
	HPR (p/m)		65	96	99	80	72	81	73	78	73	
	AO	Anesthetist	2	2.5	4	3	3.5	2.5	2.5	2.5	2.5	25
		Fuzzy Logic	3.25	3.29	3.88	2.18	3.27	3.27	1.83	2.38	1.83	25.2
	Distance %											+1
Patient 2	SAP (mmHg)		149	184	139	182	163	158	158			
	HPR (p/m)		88	94	98	74	78	90	87			
	AO	Anesthetist	2	4	2	5	4	2	2			21
		Fuzzy Logic	1.85	3.27	2.61	3.27	3.27	2.61	2.52			19.4
	Distance %											-7.6
Patient 3	SAP (mmHg)		110	130	130	110	130	120	120			
	HPR (p/m)		90	70	70	68	72	75	76			
	AO	Anesthetist	2.5	2	2	2	2	1.5	1			12
		Fuzzy Logic	1.83	1.83	1.83	1.85	1.83	1.84	1.85			11.1
	Distance %											-7.5
Patient 4	SAP (mmHg)		150	110	115	110	110					
	HPR (p/m)		96	74	107	95	90					
	AO	Anesthetist	3	2	2	2	2					11
		Fuzzy Logic	2.18	1.83	3.26	2.00	1.83					11.1
	Distance %											+1

Tableau II.4 : Evaluation du système flou obtenu par comparaison aux décisions de l'expert prise pour chaque patient.

D'après les données du tableau II.4, on constate que la somme des doses des produits anesthésiants à la fin de l'opération, pour les quatre patients, est quasiment identique à celle de l'expert humain, ainsi si on prend à titre d'exemple le patient numéro trois on obtient en sortie $A_0 = 11.1$, contre 12 pour l'anesthésiste.

Il est à noter que la quantité d'anesthésiant administré à un instant (t) met un sérieux bémol aux performances générales du système, en effet, se contenter de comparer uniquement la somme n'est pas suffisant pour certifier la justesse des

résultats, puisqu'il y a le risque de dose létale , suivie d'autres presque nulles, aboutissant vers la fin à une prescription proche de celle de l'anesthésiste .

V. Conclusion :

Les systèmes flous sont à l'évidence meilleurs que les systèmes linéaires à partir du moment où ils génèrent des résultats assez proches du raisonnement humain, sous réserve d'avoir au préalable bien défini les trois parties qui structurent son fonctionnement ,à savoir : la modélisation des données d'entrées en variables linguistiques grâce à des fonctions d'appartenances, la définition d'une liste de règles d'inférences qui représentent les connaissances que l'on a du système et enfin, le choix de l'opérateur logique utilisé et le type de Défuzzification choisie .

Les performances des systèmes flous dépendent entièrement des choix du concepteur et des conseils de l'expert du domaine (le neurologue dans cette étude), ainsi ils peuvent être très performants ou paradoxalement complètement inutiles.

Dans le prochain chapitre, nous mettrons en pratique les concepts étudiés ci-avant, ensuite nous présenterons le système réalisé et tenterons d'évaluer et expliquer les résultats obtenus au cours de ce travail.

Chapitre III :

Mise en œuvre

- Introduction
- La capitalisation du savoir faire.
- Méthodologie de conception
- Recensement des variables linguistiques
- Fuzzification des variables du système
- Les règles d'inférences
- Agrégation et Défuzzification des variables
- Interface
- Conclusion

Introduction :

Le recours aux systèmes d'aide à la décision (SAD) en biomédicale est en augmentation continue. L'objectif de ces systèmes est divers, il va du diagnostique d'une maladie à la prédiction de sa survenue, et ce dans le but de permettre aux praticiens de faire des évaluations rapides dans les meilleures conditions et de les assister dans le processus décisionnel. La conception et la mise en œuvre de SAD se caractérise souvent par la manipulation d'informations imparfaites et imprécises, ce qui implique la nécessité d'y intégrer des mécanismes qui tiennent en compte le traitement des informations floues. Cela rend nécessaire la conception de système doté de caractéristiques flou d'où notre choix de modélisation et de réalisation.

Ce chapitre concerne la mise en œuvre du modèle flou, plutôt que de modéliser le système, on verra comment modéliser le comportement d'un opérateur humain face au système de même au lieu d'exploiter des valeurs numériques précises, le fonctionnement sera décrit par des qualificatifs globaux traduisant l'état approximatif des variables.

I. La capitalisation du savoir faire :

Sans expertise et savoir faire humain il est impossible d'envisager l'utilisation de règles floues car celles-ci n'apportent pas de solution quand personne ne sait comment fonctionne le système et /ou ne peut le piloter manuellement. C'est à cette condition qu'on peut, ou pas, transcrire ce savoir faire sous forme de règles floues en exploitant la logique floue.

Au-delà de l'automatisation, la logique floue permet une réelle capitalisation du savoir-faire du terrain, de plus l'utilisation de règles floues est envisageable, à plus forte raison lorsque des imperfections entachent la connaissance du système, lorsque celui-ci est très complexe et que sa modélisation est difficile ou lorsque la façon de l'aborder passe par une vue globale de certains de ses aspects. Il est toutefois bon de rappeler que les règles floues ne se substituent pas aux méthodes classiques d'automatique et encore moins au savoir faire humain mais les complètent.

II. Méthodologie de conception :

Suite à l'analyse fonctionnelle de l'existant nous avons pu établir le schéma méthodologique représenté dans la Figure III.1, dont nous détaillerons ci-après ses différentes parties.

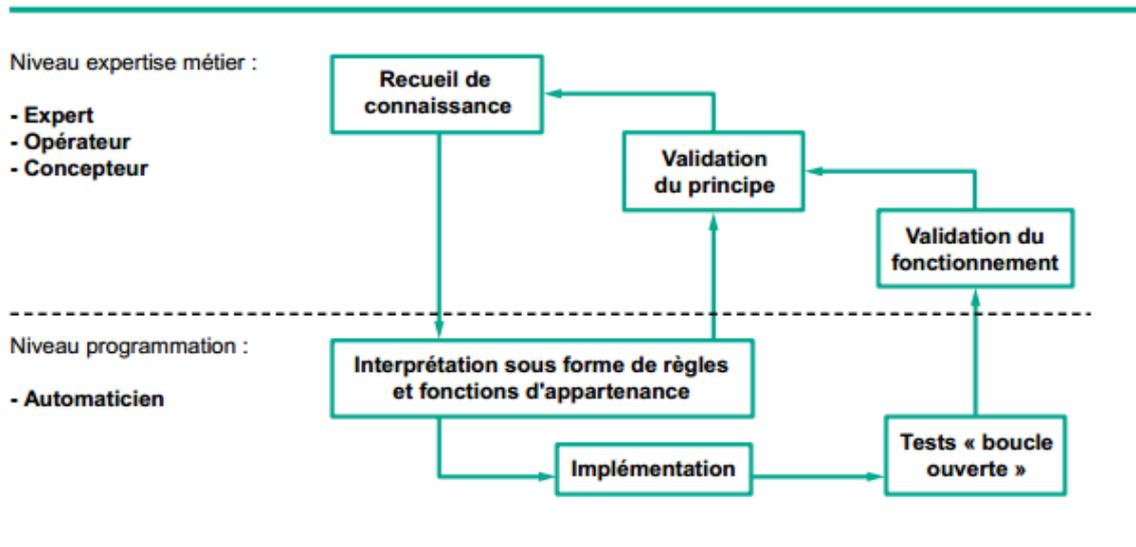


Figure III.1 : illustration de la méthodologie de modélisation de notre SIF

- **Choix des opérateurs :** Dans cette application, les bases de règles « de Mamdani » sont utilisées. Ce choix est souvent adapté sauf si l'expertise comprend des indéterminations. On a choisit également des fonctions d'appartenance « trapézoïdales », car elles sont plus faciles à implémenter, et simplifient le recueil d'expertise. Idem pour la fonction d'appartenance de sortie. Enfin, la Défuzzification est réalisée par le « centre de gravité » pour la régulation (on tient compte de toutes les règles actives); l'utilisation de la « moyenne des maxima » pour les problèmes de prise de décision, permet de trancher lorsque des règles sont « en conflit » et évite d'aboutir à une décision intermédiaire.
- **Méthodologie :** La conception d'une base de règles floues est un processus interactif. La plus grosse part de travail se trouve au niveau du recueil des connaissances. Un des intérêts de la logique floue est la possibilité de valider la base de règles auprès de ceux qui ont fourni l'expertise, avant de la tester sur un système réel. La figure III.1 illustre la démarche employée.
- **Recueil de connaissances :** cette partie peut être décomposée en trois étapes :

- **Lister les variables à prendre en compte** : en effet celles-ci deviendront les variables linguistiques de la base des règles.
 - **Lister les variables qualitatives** : Il s'agit de préciser quand elles sont vraies et fausses ; ces grandeurs deviendront les termes linguistiques de la base de règles.
 - **Exprimer comment ces concepts sont manipulés** : à ce stade on exprimer comment ces concepts sont manipulés : quels sont les cas à considérer, comment ils se caractérisent, comment agir dans chaque cas. La transcription sous forme de règles floues est alors directe. Il convient cependant d'écrire le moins de fonctions d'appartenance et de règles possible afin de limiter le nombre de paramètres qu'il faudra régler par la suite et conserver une bonne lisibilité de la base. On constate qu'il est plus facile d'ajouter des règles pour prendre en compte des situations nouvelles que d'en enlever. Validation de la base de connaissance
- **Validation de la base de connaissance** : Elle est conduite en plusieurs étapes :
- La 1^{ère} étape consiste en la présentation de la base de règles aux experts qui ont participé au recueil de connaissances et discussion : celle-ci permet d'identifier des points qui n'avaient pas été abordés, et de vérifier si les règles sont compréhensibles par tous ;
- La 2^{ème} étape est celle de la simulation « en boucle ouverte » : les experts comparent le comportement de la base de règles au comportement attendu d'après eux, sur des cas choisis à l'avance ;
- La 3^{ème} étape consiste à vérifier si le procédé peut être simulé on peut également faire des simulations en boucles fermées.
- **Mise au point** : Les bases de règles ainsi écrites donnent souvent satisfaction dès leur premier essai. Il arrive cependant que l'on ait besoin de modifier ou de mettre au point la base de règles. Les principes qui suivent permettent de se guider dans la recherche de la cause probable de l'écart constaté :
- si le comportement du correcteur en boucle fermée est contraire à ce qu'il devrait être, certaines règles sont probablement mal écrites ;
 - si l'on désire optimiser la performance, il est en général préférable de régler au mieux les fonctions d'appartenance.

- si le système n'est pas robuste, qu'il marche dans certains cas mais pas toujours, il est probable que tous les cas n'ont pas été pris en compte et qu'il faut ajouter des règles.

III. Recensement des variables :

Nous avons retenu trois variables d'entrée, PA (Pression Artérielle), AF (Antécédents Familiaux), IMC (Indice de masse corporelle), et une variable de sortie TR (Taux de Risque), chaque variable à sa propre gamme de variation (univers de discours) qu'on va décrire de suite :

PA (mmHg) : Elle est représentée par deux valeurs, la pression artérielle systolique¹² (PAS) et la pression artérielle diastolique¹³ (PAD); Le tableau III.1 donne la classification de l'OMS des normes chez la personne adulte.

La pression artérielle - PA		
Classification PA	PAS (mmHg)	PAD (mmHg)
Pression artérielle optimale	< 120	< 80
Pression artérielle normale	< 130	< 85
Pression artérielle normale haute	130 – 139	85 – 89
Degré 1 HTA légère	140 – 159	90 – 99
Degré 2 HTA modérée	160 – 179	100 – 109
Degré 3 HTA sévère	180	110

Tableau III.1 : Pression artérielle : Norme OMS chez l'adulte > 18 ans

Antécédents Familiaux: Selon une étude américaine publiée dans la revue "American Journal of Preventive Medicine" [Web7], l'antécédent familial d'AVC apparait comme un facteur de risque important dans la prédiction de la survenue d'un tel événement indépendant des autres facteurs de risque tels que le diabète, l'hyperpression artérielle, l'hypercholestérolémie, la sédentarité, le tabagisme chronique et l'abus d'alcool.

¹² La **PAS**, par opposition à la **PAD**, correspond à la pression artérielle mesurée lors de la phase de la systole, c'est-à-dire lors de la contraction du cœur. Correspond à la valeur supérieure de la **PA**.

¹³ La **PAD** Correspond à la tension artérielle mesurée lors de la phase de relâchement du cœur, ou diastole, elle indique la valeur inférieure de la **PA**.

Ainsi le risque augmentent si la fréquence d'attaque cérébrale des membres d'une même famille ayant un lien direct (parents, frères et sœurs), ou indirecte (parents, grands parents, oncle, tante), est élevée.

IMC : c'est le rapport du poids en kilogramme par la taille en mètre carré, il varie entre 18.5 et à 40 et se décline en six catégories comme on peut le voir sur le tableau III.2 :

IMC (kg.m ⁻²)	Catégorie
<18 .5	Maigreur
De 18.5 à 25	Corpulence normale
De 25 à 30	Surpoids
De 30 à 35	Obésité modérée
De 35 à 40	Obésité sévère
Plus de 40	Obésité morbide

Tableau III.2 : classification IMC : Norme OMS chez l'adulte

TR (%): **Pour** la sortie du système « Taux de Risque », nous avons jugé judicieux de la représenter sous forme de pourcentage.

IV. Fuzzification des variables :

Chaque univers est découpé en ensemble flous, qu'il est commode, pour avoir un élément central, de prendre en nombre impair.

Ainsi, pour l'entrée « PA », nous avons retenu trois ensembles flous « basse », « normale » et « élevée », de même on aura pour l'« IMC » trois ensembles flous à savoir : « corpulence normale/idéale », « surpoids » et « obésité » et enfin l' « AF », est représenté en trois ensembles également : « inexistant ou rare », « existant » et « répandu ».

Pour la sortie « TR », nous partitionnons l'univers de discours en 3 grands ensembles : Faible (inférieur ou égale à 45%), moyen (entre 45% et 60%) et enfin élevé (supérieur à 60%).

V. Les règles d'inférences :

V.1 Définition des règles :

Dans le cas qui nous occupe, les règles d'inférence qui s'expriment par des phrases du langage naturel, peuvent aussi s'exprimer sous forme de matrice d'inférence

facilement compréhensible et assez analogue aux tables de vérités qu'on emploie en logique booléenne, comme on peut le voir dans la table (III.3).

AF \ PA	Rares	Existants	Répondus
Faible	-	○	○
OPTIMALE	-	○	+
SEVERE	+	+	+

- : TR bas
○ : TR moyen
+ : TR élevé

Tableau III.3 : Matrice d'inférence pour le couple (PA, AF)

PA \ IMC	Normal	Surpoids	Obésité
Faible	-	-	○
OPTIMALE	-	-	○
SEVERE	+	+	+

- : TR bas
○ : TR moyen
+ : TR élevé

Tableau III.4 : Matrice d'inférence pour le couple (PA, IMC)

AF \ IMC	Normal	Surpoids	Obésité
Rares	-	○	○
Existants	○	+	+
Répondus	○	+	+

- : TR bas
○ : TR moyen
+ : TR élevé

Tableau III.5 : Matrice d'inférence pour le couple (AF, IMC)

Plusieurs valeurs de variables linguistiques sont liées entre elles par des règles et permettent de tirer des conclusions. Les conditions peuvent dépendre de plusieurs variables liées entre elles par des opérateurs OU / ET.

1. R1 : SI PA faible ou optimale et AF rare Alors Tr faible ;
2. R2 : SI PA faible et AF existants ou repandus aloes Tr moyen;
3. R3: SI PA optimale et AF existant ALORS Tr moyen;
4. R4: SI PA optimale et AF repandus ALORS Tr élevé;
5. R5: SI PA severe ALORS Tr élevé ;
6. R6: SI PA faible ou optimale et IMC normal ou surpoids ALORS Tr faible;
7. R7: SI PA faible ou optimale et IMC obésité ALORS Tr moyen;
8. R8: SI AF rare et IMC normal ALORS Tr faible;
9. R9: SI AF rare et IMC surpoids ou obesité ALORS Tr moyen ;
10. R 10: SI IMC normal et AF exsitants ou repandus ALORS Tr moyen ;
11. R11: Si AF existant ou répandus et IMC est surpoids ou obesité ALORS Tr élevé;

V.2 Algorithme d'inférence floue :

La fonction de Défuzzification assure le calcul des inférences floue en réalisant les étapes suivantes :

1. Lecture des valeurs numériques et des variables d'entrées.
2. Evaluation de chaque fonction d'appartenance (Fuzzification)
3. Evaluation de chaque règle.
4. Calcul des fonctions d'appartenances de sortie résultante
5. Calcul des valeurs numériques des variables de sortie (Défuzzification)

Les règles floues utilisées sont basées sur le type de règle « Mamdani », elles sont toutes activées en même temps et acceptent au maximum trois prédicats et une conclusion.

VI. Agrégation des résultats et Défuzzification des variables :

Les règles d'inférences relient logiquement la sortie aux entrées tout en décrivant plusieurs situations possibles (Figure III.2) mais pas forcément toutes, qu'il faut définir et rassembler.

En préambule définissons à titre d'exemple l'ensemble flou « bas » à 35%, il sera constitué de « bas » mais étêté à une hauteur de 35%

Les règles d'inférences affectent chacune une valeur (un ensemble flou tronqué) à la variable sortie qui en définitive prendra l'une ou l'autre de ces valeurs, selon Mamdani nous appliquons donc la règle du maximums.

L'ensemble flou de sortie est la réunion, ainsi en supposons que la sortie « TR » est « 35% bas » et « 10 moyen », le résultat sera donc la réunion de l'ensemble bas (0.35) et moyen (0.10), sur le schéma se traduit en gras par la fonction d'appartenance.

A l'issue de cette étape on donne une valeur numérique précise à TR et on défuzzifie la sortie, dans notre projet nous avons appliqué les deux méthodes les plus employées et le mieux documentées dans ce domaine, à savoir le centre de gravité (COG) et la moyenne des maxima (MM).

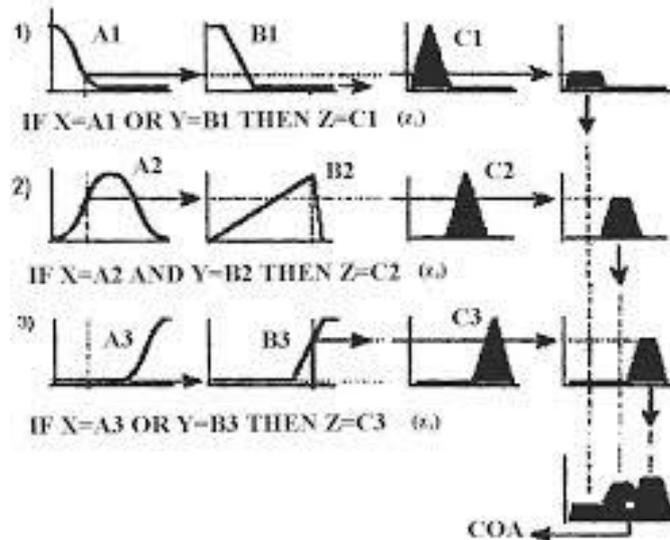
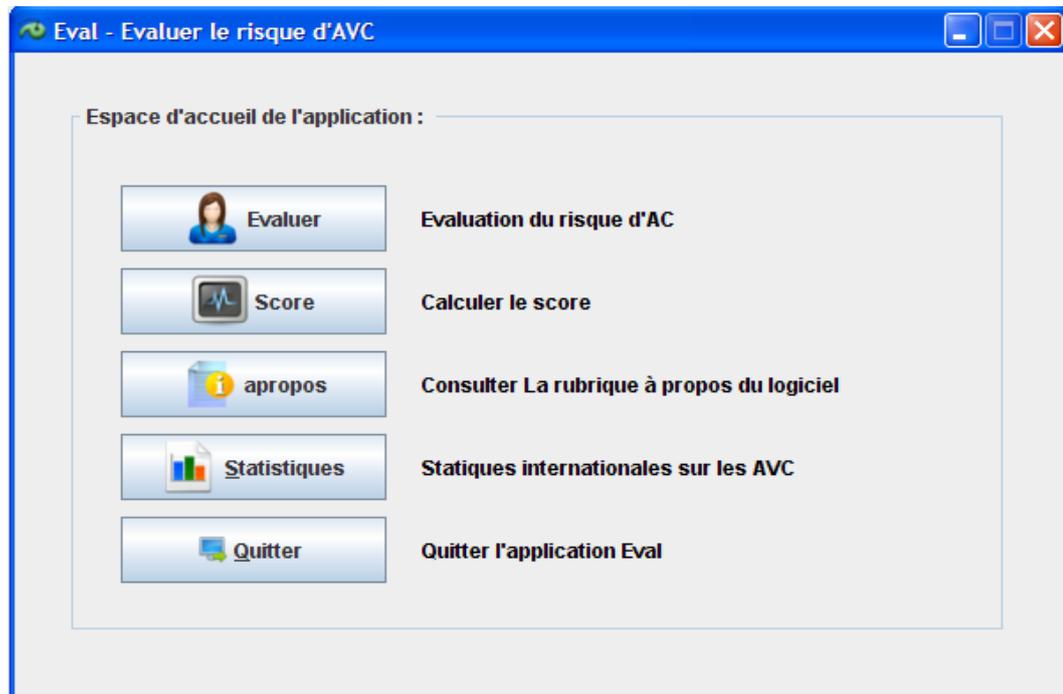


Figure III.2 : Schéma explicatif du processus d'Agrégation des résultats

VII. Présentation du prototype :**Figure III. 3 :** Interface d'accueil**Figure III.4 :** Espace d'évaluation

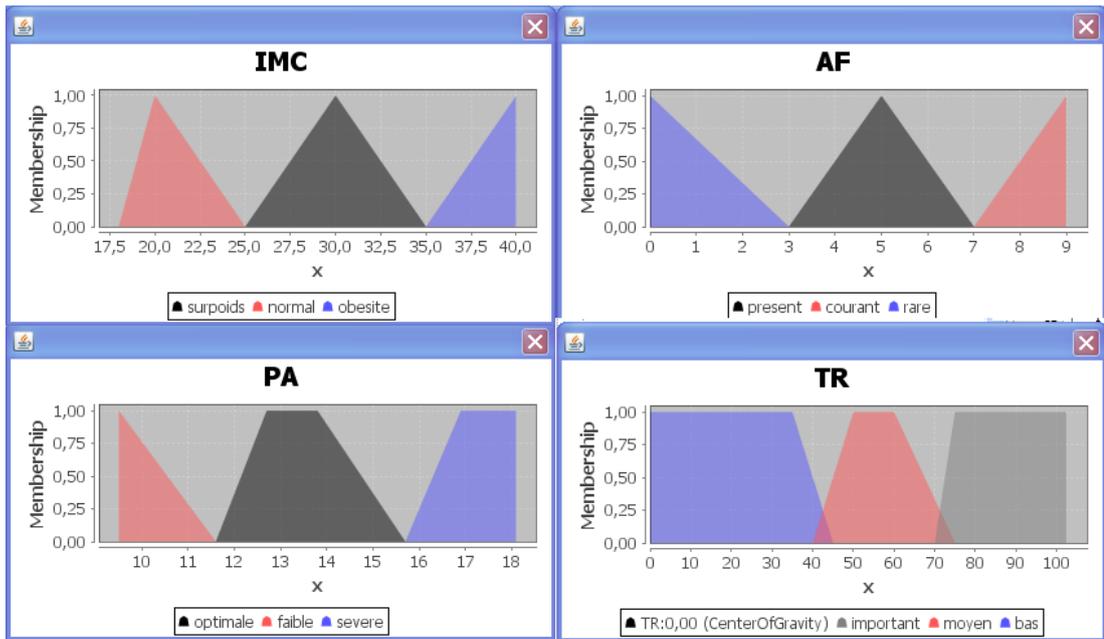


Figure III. 5 : Fuzzification des inputs et des outputs

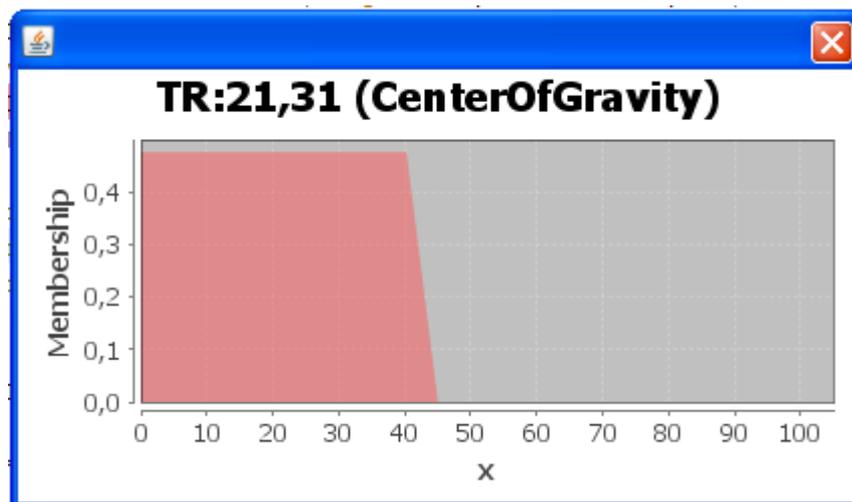


Figure III.6 : Résultat obtenus par la méthode COG.

VIII. Evaluation du prototype :

L'évaluation de ce prototype se fait en calculant l'écart entre la moyenne des résultats obtenus (COG/MM) et l'avis de l'expert :

$$\text{Ecart} = (\text{COG} + \text{MM}) / 2 - \text{Eval_expert}$$

	PAS	IMC	AF	Evaluation %		Evaluation de l'expert	écart
				COG	MM		
1	10.6	24	1	21.22	20.81	22%	0.99
2	12.7	30	3	30.54	29.76	30%	0.15
3	14.7	21	5	32.01	31.80	35%	4.11
4	13.8	18	7	24.53	24	25%	0.73
5	14.7	31	2	45	44.02	45%	0.49
6	15.8	28	4	52.23	51.63	50%	1.93
7	14.7	23	3	41.25	40.5	42%	1.12
8	17.9	35	1	60.12	60	60%	0.06
9	16.8	29	8	67.01	66.22	65%	1.61
10	18.10	30	4	79.6	78	80%	1.47

Tableau III.6 : Evaluation du prototype

IX. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu que le concepteur, éclairé par les conseils de l'expert (le neurologue) ou bien par l'analyse statistique des données passées, est amené à faire un nombre de choix importants et décisifs en matière de fiabilité, plus particulièrement au moment de la définition de la matrice des décisions, rendant ainsi possible la mise en place de systèmes d'inférence dont les décisions sont flexibles non linéaires, et surtout plus proche du comportement de l'expert puisque les règles de la matrice des décisions sont exprimées en langage naturel ce qui permet de modéliser plus finement les connaissances du médecin dans la subtilité du jargon médical ou encore d'inclure ses connaissances au cœur du système décisionnel. Néanmoins, il faut garder à l'esprit qu'en logique floue, il est impossible de prédire les performances d'un système, en effet plus le réglage des paramètres est fin, plus performances seront meilleures, de même tout manque de précision risque de se répercuter gravement sur les performances et le rendre inutile.

Conclusion Générale

Au vu du nombre alarmant de personnes touchées de par le monde, par ce phénomène (AVC) , nous avons juger utile de mettre la technologie au service de la santé , afin d'évaluer le risque d'attaque cérébrale avant la survenue de celle-ci et d'agir en conséquence .

Dans cette optique, nous avons élaboré un système d'évaluation du risque d'AVC, en exploitant une méthode intuitive dite la logique floue.

On assiste actuellement à un intérêt certain pour ce type d'approche particulièrement lorsque on souhaite réaliser des systèmes complexes , difficilement modélisable et nécessitant une forte expertise humaine, à ce titre nous citons quelques secteurs d'activité où des réalisations notables ont vu le jour , comme en médecine (aide au diagnostique, guidage de systèmes chirurgicaux « laser chirurgie de l'œil par exemple »), en aéronautique (le contrôle aérien) , en urbanisation (la gestions des feux de circulations) ,ainsi que les services publics comme les assurances et finances (préventions des risques, aide à la décision) ,l'environnement (météo, etc.), la robotique (freins ABS, machines à laver, etc.) ,l'industrie , l'orientation professionnelle,... etc.

Pour notre système, les résultats obtenus ont été très prometteurs et montrent l'intérêt des modèles dit intelligents dans un domaine aussi délicat qu'est le secteur médical.

Les améliorations qu'on (se) propose dans l'avenir concerne en premier les données du système et son paramétrage, en effet plus on affine l'univers du discours, meilleures seront les performances du système, par ailleurs la prise en compte des autres facteurs cités dans le chapitre I, augmenteront également la précision des résultats. En second lieu on introduira pour le traitement de l'information les réseaux de neurone comme outil d'aide à la décision floue, afin de tirer profit des avantages des deux méthodes, rendant ainsi possible l'apprentissage grâce aux RNA et l'interprétation des résultats grâce à la base de règles.

Bibliographie

- [1] : MBETE TSASA Jean-Claude, prédiction des AVC : Score de Siriraj, score d'Allen et tomographie cérébrale, mémoire de doctorat en radiologie, mai 2005.
- [2] : Franck Dernoncourt, La logique floue entre raisonnement humain et intelligence artificielle, mémoire de master, Janvier 2011.
- [3]: Sivanandam; Sumathi; Deepa ,Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB ,livre électronique :page 97 , Printemps 2007 .
- [4] :Hamdi Melih , A Fuzzy Logic-Based Decision Support System on Anesthetic Depth Control for Helping Anesthetists in Surgeries, journal biomedical ,December 2007.

Webographie

[Web1]: <http://www.psychomedia.qc.ca/sante/2013-07-24/dix-principales-causes-de-deces-oms>

[Web2]: <http://www.djazairess.com/fr/liberte/96091>

[Web3]: http://fr.wikipedia.org/wiki/Accident_vasculaire_c%C3%A9r%C3%A9bral

[Web4]: <http://sante-medecine.commentcamarche.net/faq/5129-score-de-chads2-evaluation-du-risque-d-avc>

[Web5] : <http://www.fmp-usmba.ac.ma/umvf/UMVFmiroir/campus-numeriques/Medecine-vasculaire-angioweb/poly/133.pdf>

[Web6] : <http://www.ferdinandpiette.com/blog/2011/08/les-systemes-flous-le-fonctionnement/>

[Web7] : <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0749-3797/PIIS0749379711009093.pdf>

Annexe

```
public class DefuzzifierCenterOfGravity extends DefuzzifierContinuous {
    public DefuzzifierCenterOfGravity(Variable variable) {
        super(variable);
    }
    /** defuzzification */
    @Override
    public double defuzzify() {
        double x = min, sum = 0, weightedSum = 0;
        for (int i = 0; i < values.length; i++, x += stepSize) {
            sum += values[i];
            weightedSum += x * values[i];
        }
        if (sum <= 0) return Double.NaN;

        // Calcule du centre de gravité
        double cog = weightedSum / sum;
        return cog;
    }
}
```

```
public class DefuzzifierMeanMax extends DefuzzifierContinuous {

    public DefuzzifierMeanMax(Variable variable) {
        super(variable);    }

    @Override
    public double defuzzify() {
        double max = 0, maxX = 0;
        int count = 0;
        for( int i = 0; i < values.length; i++ ) {
            if( values[i] >= max ) max = values[i];
        }

        if( max <= 0 ) return Double.NaN;

        // Calculer la moyenne des maximas
        for( int i = 0; i < values.length; i++ ) {
            if( values[i] == max ) {
                maxX = min + stepSize * i;
                count++;
            }
        }
        return maxX / count;
    }
    @Override
    public String toStringFcl() {
        return "METHOD : MM;";
    }
}
```

Résumé :

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une stratégie de prévention-santé publique par le suivi et l'évaluation du risque, une approche d'intelligence artificielle basée sur la logique floue a été mise en œuvre ,dans ce cadre une application informatique d'aide au diagnostic baptisée « eRisk » : « evaluation of eRisk » a été réalisée et évaluée à partir de données préexistantes ainsi que l'avis expert du médecin , les résultats encourageants ainsi obtenus sont une ébauche vers la réalisation d'un logiciel expert fiable et concurrent .

Mots clés :

Intelligence artificielle, traitement de données et extraction des connaissances, logique floue, contrôle opérationnel.

Abstract:

Our project is to implement fuzzy control system which calculates the risk of stroke we have evaluated that approach on archived data and the view of expert, the results are a start towards achieving a system of medical diagnostic, and decision aids system to help doctor to make the best decision quickly.

Keywords:

Artificial intelligence, data processing and knowledge extraction, fuzzy logic, operational control.

ملخص:

تتلخص مهمتنا في انجاز نظام لتقييم خطر الاصابة بالسكتة الدماغية يعتمد على المنطق الضبابي و يستخدم هذا الاخير في تصميم وتحليل الأنظمة الخبيرة وتطبيقات الذكاء الاصطناعي بحيث يمثل طريقة سهلة لتوصيف وتمثيل الخبرة البشرية كما أنه يقدم الحلول العملية للمشاكل الواقعية ومعقولة ،وهي حلول بتكلفة فعالة و يدمج داخل ما يسمى وحدة استنتاج ضبابية تتكون من ثلاث وحدات أساسية للمعالجة تضم نظام الإدخال والإخراج و نظام لتزويد من قبل المستخدمين و اخيرا وحدة لمعالجة القاعدة المعطاة النتائج التي تم الحصول عليها مشجعة جدا ومحفزة لانجاز مشروع برنامج خبير موثوق بيه ومنافس

الكلمات المفتاحية :

الذكاء الاصطناعي، معالجة البيانات واستخراج المعارف , المنطق الضبابي ,تحكم عملياتي