REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITEYAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie des procédés
Spécialité : hygiène et sécurité industrielle

Prise de décision en risques industriels à base de concept flou pour l'amélioration des performances de sécurité d'une installation gazière

---

Présenté par :

MEZAAD Abdrraouf

BOUKARTA Abdenour

Proposé et Dirigé par :

Pr . HAFAIFA Ahmed

Promotion 2019

REMERCÎMENT

En premier lieu nous tenant à remercie Dieu, notre créateur, qui nous donnant la force à complet

Ce travail.

Nous tiennent à remercient vivement **Pr : Ahmed HAFAIFA** notre professeur consultant et à l'ensemble des enseignant du « HSI » qui contribué à ma formation.

Ainsi nous adressent notre sincère salutation et notre remerciement à tous ce qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos familles : nos parents, nos sœurs, nos frères et tous nos proches et amis, qui nous ont accompagnés, aidés,

soutenus et encouragés tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

A

Tous ceux qui m'ont encouragé et

Soutenu……

ملخص :

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد المخاطر وتقييمها وتنفيذ طرق الوقاية المناسبة والتحكم في فعالية الأجهزة الموضوعة لضمان وتخطيط تنظيم الموارد المادية والبشرية اللازمة لعلاج الحادث.
لهذا، يعتمد صنع القرار عمومًا على بيانات حول حالة تشغيل العمليات الصناعية في العالم، وهي غير دقيقة،تقريبية، غير مؤكدة، في سياق معقد، وفقًا لتعليقات الخبرات في نهج إدارة المخاطر.
في هذه الدراسة نقترح استخدام المنطق الضبابي لاتخاذ القرارات لتوليد درجة الأمان من عوامل السلامة، لتحديد الأداء العام للأمان لمنشأة الغاز.

الكلمات المفتاحية: اتخاذ القرار ، المخاطر ، السياسات الأمنية ، المنطق الغامض ، تحليل المخاطر.

Résumé :

L’objectif de ce travail de fine d’étude Master est d'identifier et évaluer le risque, mettre en œuvre les méthodes de prévention appropriées et de contrôler l’efficacité des dispositifs mis en place pour assurer et prévoir d'organiser les moyens matériels et humains nécessaires au traitement de l’accident. Pour cela, la prise de décision s’effectue en général à partir de données sur l’état du monde de fonctionnement de processus industriel, qui sont imprécises, approximatives, incertaines, dans un contexte complexe, selon, les retours d’expériences dans une démarche de gestion des risques.

Dans ce travail du projet de fine d’étude Master, nous proposons l'utilisation de la logique floue pour la prise de décision permet de générer le score de sécurité des facteurs de sûreté, pour déterminer les performances globales en matière de sécurité d’une installation gazière.

Mots clés: Prise de décision, risques, politiques de sécurité, logique floue, analyse

Summary:

The objective of this Master study is to identify and evaluate the risk, implement the appropriate prevention methods and control the effectiveness of the devices put in place to ensure and plan to organize the material resources and human necessary to the treatment of the accident.

Forthis, decision-making is generally based on data on the state of the world of operation of industrial processes, which are imprecise, approximate, uncertain, in a complex context, according to, feedback from experiences in a survey risk management.

In this work of the Master Study Fine Project, we propose the use of fuzzy logic for decision making to generate the safety factor safety score, to determine the overall safety performance of a gas installation.

Key words: Decision making, risks, security policies, fuzzy logic, risk analysis.

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Bibliographie:……..A

Liste des tableaux :……B

Liste des figures :……C

Liste abréviation :……D

Introduction générale :……E

Conclusion générale :……F

Chapitre I : Approches et techniques de prise de décision

I.1. Introduction……**01**

I.2.Les théories de la décision……**01**

I.3.Définition des notions pour la prise de décision……**02**

I.4. Processus de décision……**02**

I.4.1.Les quatre phases du processus de prise de décision en entreprise……**03**

I.5. Approfondissement de la notion de décision……**05**

I.5.1. Qu'est ce qu'une décision ?.....**05**

I.5.2. Quels sont les différents types de décision ? ……**06**

I.5.3.Qu'est-ce que le processus de décision ? ……**07**

I.5.4.Quels sont les facteurs qui influencent la prise de décision ?.....**08**

I.6.Caractéristiques des différents types de décision……**08**

I.6.1.Le processus interne de prise de décision suit en général différentes étapes..**09**

I.7. Modélisation conceptuelle du processus de prise de décision ……**10**

I.7.1. Comment modéliser le processus de prise de décision en entreprise ? .**10**

I.7.2. Les quatre types d'environnement décisionnel ……**11**

I.7.3. Prises de décisions humaines versus automatisées : ……**13**

Sommaire

I.7.4.La décision est une prise de risque …..……**14**

I.8.CONCLUSION……..……..**15**

Chapitre II : la logique floue

II.1.Introduction.……..……**16**

II.2.Création et historique ……**16**

II.3.Intérêt d'utilisation de la logique floue…… **17**

II.4.Modélisation à base de la logique floue ……**18**

II.4.1.Les ensembles flous ……**18**

II.4.2.Variable linguistique……**19**

II.4.3.Fonction d'appartenance……..**20**

II.4.4 Opérateurs en logique floue ……..**23**

II.4.5. Structure générale d'un système d'inférence flou……..……...**26**

II.5. Système flou ……**28**

II.5.1. Base de connaissances ……..**29**

II.5.2. La fuzzification……..**30**

II.5.3.Inférence floue……..……**31**

II.5.3.1.les Type d'inférences floues……..**32**

II.5.3.2.Les étapes du raisonnement flou et inférence flou……**32**

II.5.4. La defuzzification……..**34**

II.6. Analyse et évaluation des données à base de concept flou……...**35**

II.6.1. Modèles mathématiques pour les données expérimentales floues……**35**

II.6.1.1. Les systèmes d'information floue……**36**

II.6.1.2. Les variables aléatoires floues……..**37**

II.6.1.3. Les ensembles flous aléatoires……**38**

II.6.2. Traitement des données statistiques floues ……..**42**

II.6.2.1. Traitement statistique des données floues unidimensionnelles…….……**42**

Sommaire

II.7.Avantages et inconvénients de la commande par logique floue……**45**

II.8.CONCLUSION……**47**

Chapitre III : Approche de prise de décision basée sur la logique floue

III.1 Introduction ……**48**

III.2. Type des installations gazières……**48**

III.2.1. Turbine liée……**48**

III.2.2 Turbine libre ……**49**

III.2.3 Turbines à échangeurs de chaleur……**50**

III.2.4 Compression refroidie et détente réchauffée……**51**

III.2.4.1 La compression refroidie……**51**

III.2.4.2 La détente réchauffée…… ……**51**

III.2.5 Turbines à Cycles fermés……**53**

III.3 Surveillances des installations gazières ……**53**

III.3.1 Définition ……**53**

III.3.2 Méthodes de surveillance ……**54**

III.3.2.1 Les méthodes de surveillance avec modèle ……**54**

III.3.2.2 Les méthodes de surveillance sans modèle ……**55**

III.4 Vue fonctionnelle des installations gazière ……**58**

III.4.1 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz ……**58**

III.4.2 Caractéristiques de la turbine à gaz : Exemple turbine à gaz SGT-400 ……**59**

III.5 Vue dysfonctionnelle des installations gazière ……**60**

III.5.1 Système de protection de la turbine à gaz …… ……**60**

III.6 Prise de décision en risques floue ……**62**

III.7 Conclusion ……**62**

Sommaire

Chapitre IV :Étude de cas par l'application de la logique floue dans la gestion des risques industriels

IV.1.Introduction……..**64**

IV.2. Qu'est-ce qu'un risque industriel ?.....**64**

IV.3. Concepts et définitions……**67**

IV.3.1.Notion de sécurités :…….. ……..……..**67**

IV.3.2.Notion de danger :…….. …..**67**

IV.3.4.Notion de risque :…… ….**67**

IV.4. Processus de la gestion des risques :…… ……**68**

IV.5.Analyse des risques ……..……..**69**

IV.5.1. Définition……...**69**

IV.5.2.Etapes d'une analyse des risques……..**70**

IV.6. PRÉSENTATION DU PROCESSUS :…….. ……...**70**

IV.7 PRÉSENTATION DE LA GRILLE DE CRITICITÉ :…… ……**71**

IV.7.1 Échelle de gravité :…….. ……...**72**

IV.7.2 Échelle de fréquence ……..……**73**

IV.7.3 Échelle de criticité ……...**73**

IV.8 ÉVALUATION FLOUE DE LA CRITICITÉ DES SCÉNARIOS RETENUS …….**74**

IV.8.1 Établissement des échelles floues ……**74**

IV.8.1.1 Échelle de gravité……**74**

IV.8.1.2 Échelle de fréquence……...**74**

IV.8.1.3 Échelle de criticité……..**75**

IV.8.2 Établissement des règles floues :…… …..**75**

IV.8.3 Fuzzification des données de scénarios……**75**

IV.8.4 Résultats et discussion……..**75**

IV.9 Conclusion……...**76**

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques propres à chacun des types de décision……**10**

Tableau I.2 : Décisions humaines versus décisions automatisées (sans modélisation) ……**14**

Tableau IV.1 : Les trois principales définitions de danger, risque et accident ou dommage……**66**

Tableau IV.2 : Échelle de gravité……...**72**

Tableau IV.3 : Échelle de fréquence…….....**73**

Tableau IV.4 : Échelle de criticité……..**73**

Tableau IV.5 : Comparaison des résultats de l'évaluation de la criticité des scénarios……**76**

Liste des figures

Chapitre I:

Figure I.1 : les phases du processus de prise de décision en entreprise……**03**

Figure I.2 : Différents types de décision……..**07**

Figure I.3 : Modélisation de la décision……..**11**

Chapitre II:

Figure II.1 : exemple d'un variable linguistique avec trois termes linguistique……..**19**

Figure II.2 : Fonction caractéristique……**20**

Figure II.3 : Fonction d'appartenance ……**20**

Figure II.4 : Fonction d'appartenance, variable et terme linguistique……**20**

Figure II.5 : Type de représentation des sous-ensembles floue……..**20**

Figure II.6 : Fonctions d'appartenance linéaires par morceaux……**22**

Figure II.7 : fonction d'appartenance singleton……..**23**

Figure II.8 : Fuzzification……**24**

Figure II.9 : intersection des ensembles flous A et B……..**25**

Figure II.10 : union des ensemble flou A et B.....**26**

Figure II.11 : complément de l'ensemble flou A……**26**

Figure II.12 : Représentation interne d'un système flou……....**29**

Figure II.13 : Système flou……**29**

Figure II.14 : Module d'inférence d'un système flou……**31**

Figure II.15 : Exemple de fuzzification……**33**

Figure II.16 : Méthode d'inférence de type Mamdani…… ……..……**35**

Liste des figures

Figure II.17 : (a) Moyenne des maximums, (b) Centre de gravité……**38**

Chapitre III :

Figure III.1 : Schéma de la Turbine liée……..**48**

Figure III.2 : Monocorps, prise avant et arbres concentriques……..**49**

Figure III.3 : Monocorps, prise avant et arbres parallèles……..**50**

Figure .III.4: Double corps, prise directe arrière et arbres concentriques……**50**

Figure III.5 : Schéma d'une turbine avec récupérateur (échangeur de chaleur)……**51**

Figure III.6 : Turbine double corps à détente réchauffée……...**52**

Figure III.7 : Turbine double corps à compression refroidie……**52**

Figure III.8 : Turbine a compression refroidie et détente réchauffée……**52**

Figure III.9 : Turbine à cycle ferme……..**53**

Figure III.10 : La variation de pression et température dans une turbine à gaz…….**59**

Figure III.11 : Structure hiérarchique de l'évaluation des risques……...**63**

Chapitre IV :

Figure IV.1: Relation entre les notions de danger et de risque……**67**

Figure IV.2 : Démarche de la gestion des risques……..**69**

Figure IV.3 : Schéma du processus d'extraction des gaz légers……..**70**

Figure IV.4 : Architecture du four rebouilleur H-101……..**71**

Figure IV.5 : Matrice de criticité utilisée par l'entreprise SH DP HRM [SON08]…….**72**

Figure IV.6 : Fonction d'appartenance générées pour : (a) la fréquence, (b) la gravité et (c) la criticité……..**75**

[A] Arbre

[CC] Chambre de combustion

[CR] Compresseur

[PM] Prise de mouvement

[R] Réducteur

[TG] Turbine générateur

[TP] Turbine de puissance

[BP, HP] basse, Haute pression

[Ech] échangeur de chaleur

[sc] source chaude

[SF] source froide

[TU] turbine

Introduction générale :

Dans une société de plus en plus sensible aux notions de sécurité et de développement durable, les entreprises ont le souci d'éviter les dangers pouvant induire incendies, explosions et autres accidents sources de dommages pour les personnes, les biens et l'environnement. La prévention de ces dommages requière une maîtrise des risques inhérents à l'activité de l'entreprise.

Un risque n'étant pas la résultante d'une cause unique mais de l'interaction de plusieurs situations. De ce fait, un processus décisionnel global en matière de gestion de risques s'impose, Ce processus, qu'est itératif, a pour objectif d'identifier, évaluer, neutraliser et manager les événements non souhaités qui peuvent être générés par le système ou par son environnement.

Le présent rapport porte plus particulièrement sur le recours à la logique floue et à la théorie des ensembles flous, appliquées à la gestion des risques pour la première en 1965 par le mathématicien Lotfi A. Zadeh. Contrairement à la théorie des probabilités, la théorie de la logique floue accepte de façon explicite l'incertitude entourant la certitude; elle peut également intégrer facilement l'information décrite en termes linguistiques. Les modèles de logique floue sont plus commodes pour intégrer différentes opinions d'expert et ils sont mieux adaptés aux cas renfermant des données insuffisantes et imprécises. Ils fournissent un cadre dans lequel l'apport des experts et les données d'expérience peuvent évaluer conjointement l'incertitude et identifier les problèmes importants. À partir d'approximations et de conclusions tirées de connaissances et de données ambiguës, les modèles de logique floue peuvent servir à modéliser les risques qui ne sont pas très bien compris. Certains risques opérationnels et émergents évoluent rapidement. Les gestionnaires de risques ne possèdent peut-être pas suffisamment de connaissances ou de données pour effectuer une évaluation exhaustive à l'aide de modèles fondés sur la théorie des probabilités. Les modèles de logique floue peuvent permettre d'évaluer l'exposition d'une entreprise à ces risques.

Chapitre I

Approches et techniques de prise de décision

I.1.INTRODUCTION

Dans son approche plus moderne, la prise de décision apparaît plutôt comme « un processusd'engagement progressif, connecté à d'autres, marqué par l'existence reconnue de plusieurschemins pour parvenir au même et unique but » (Lucien Sfez). Les évolutions du concept dedécision est révélatrice d'un certain nombre d'évolutions dans la manière d'appréhender leprocessus de la prise de décision : La décision n'est plus un acte unique et constant fondé surla recherche du profit mais repose sur un ensemble successif de décisions de moindre portée.

La décision n'est plus fondée sur la recherche d'un seul objectif mais intègre un nombre plusimportant de variables. La décision intervient dans un contexte plus aléatoire dans le sens oula manière d'atteindre l'objectif poursuivi peut passer par différents types d'actions. Cesévolutions sont compréhensibles car elles ne font que souligner les mutations du systèmeproductif : l'environnement de l'entreprise est devenu plus complexe, plus incertain aussi et laprise de décision ne repose plus sur un seul individu mais peut être partagée entre un nombreélevé d'acteurs agissant au sein de l'entreprise. Cette multiplication du nombre de décideursreflète par ailleurs la diversité des décisions qui doivent être prises dans une entreprise.

I.2.LES THEORIES DE LA DECISION :

C'est avec la volonté d'effectuer la jonction entre la théorie des choix (rationalité individuelle) et la théorie des organisations (but organisationnel), qu'Herbert Alexander Simon, prix Nobel d'économie fonde ses développements théoriques. Jusqu'à lors, la gestion s'était préoccupée de savoir « comment produire » une fois que les décisions concernant la qualité et la quantité des biens ou services à produire avaient été prises. Maintenant, elle s'interroge sur la façon dont il faut « organiser le système de prise de décisions entre plusieurs niveaux et plusieurs niveaux et plusieurs centres ».[1]

I.3.Définition des notions pour la prise de décision :

Une décision est une résolution que l'on prend concernant quelque chose. On entend par prise de décisions le processus qui consiste à faire un choix parmi plusieurs alternatives.

La prise de décisions peut apparaitre dans n'importe quel contexte de la vie quotidienne, aussi bien au niveau professionnel que sentimental ou familier, etc. Le processus, en son essence, permet de résoudre les divers défis que l'on doit surpasser.[2]

Lorsqu'il s'agit de prendre une décision, plusieurs facteurs sont mis en échec. L'idéal, c'est de faire appel à sa capacité de raisonnement pour être sur la bonne voie. Cette voie est jugée mener à une nouvelle étape ou, du moins, permettre de résoudre un conflit réel ou potentiel.

Toute prise de décision doit inclure une grande connaissance du problème. En l'analysant et en le comprenant, il est alors possible de trouver une solution. Bien entendu, face à des questions simples (par exemple, décider si l'on boit de l'eau ou du jus au repas), la prise de décisions a lieu pratiquement toute seule et sans aucun raisonnement complexe ou profond.

En revanche, face à des décisions plus transcendantales pour la vie, le processus doit être réfléchi et soigné. Lorsqu'un jeune doit choisir quelles études poursuivre après le lycée, il doit prendre une décision raisonnée, étant donné que ce choix donnera lieu à d'importantes conséquences.

Dans le cadre des entreprises et des affaires, la prise de décisions est une partie très importante du management et de la gestion. Chaque décision transcendante pour une compagnie implique de grandes recherches et études, ainsi que la collaboration entre des équipes multidisciplinaires.[2]

I.4. Processus de décision :

(Processus cognitif complexe consistant en un choix d'action parmiplusieurs alternatives. Le choix final résulte de ce processus, et ce choixpeut être une opinion ou une action. On peut différencier différentsmodes de décision aboutissant à ce choix.)[3]

I.4.1.Les quatre phases du processus de prise de décision en entreprise :

Le décideur n'est pas toujours celui que l'on s'imagine. Voyons maintenant pour chacun des ***4*** stades du processus décisionnel les moyens de détourner la décision. Rappelons qu'une décision n'est effective qu'au moment où elle est mise en action.[4]

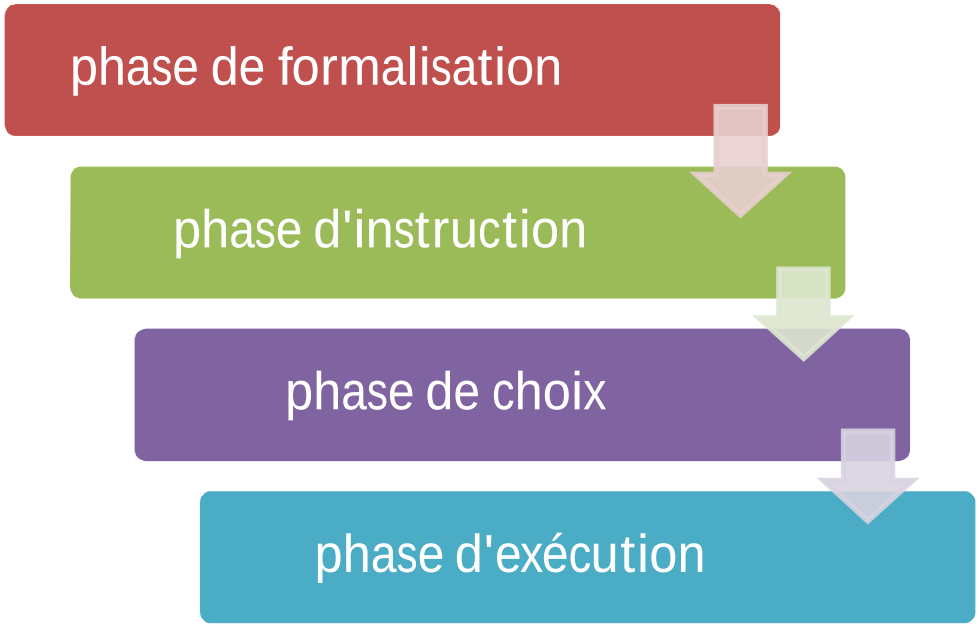


Figure I.1. Les phases du processus de prise de décision en entreprise.

a. Phase de formalisation du désir ou prise en compte de l'alerte :

-Prise de conscience de la situation.

-Un événement nécessite une réaction ou une opportunité mérite que l'on s'y attarde.

- Lors **de la phase 1**, le décideur peut être influencé par des proches qui orientent la présentation du problème à résoudre, soit en termes d'importance soit en termes de conséquence ou d'impact.

b. Phase d'instruction :

-Collecte d'informations.

-Analyse des situations antérieures.

-Etude des bonnes pratiques et des solutions recouvrées pour des similaires.

-Collecte d'avis.

-Appel à expert.

- Durant **les phases 2**, les experts, conseils et consultants appelés en rescousse pour la phase d'instruction ont de multiples moyens à leur disposition pour infléchir le raisonnement du décideur dans le sens précis qui convient le mieux à leurs intérêts. Le décideur est à l'écoute, à eux de présenter des éléments pour orienter le choix sans avoir l'air d'y toucher.

c. Phase de choix :

-Les différentes alternatives sont analysées.

-Les contraintes et conditions d'application ont été correctement précisées.

-Le plan d'exécution est évalué.

-Les risques d'échec sont calculés.

-Les facteurs de succès sont identifiés.

-La solution est choisie, elle est théoriquement viable.

- Au cours **de la phase 3**, c'est là où le décideur est le plus fragile. Selon sa personnalité, il se laissera plus ou moins influencer dans le choix de la solution, surtout si il demande de l'aide à un conseil qui possède déjà un fort pouvoir d'influence.

d. Phase d'exécution :

-Passage à l'action.

-Désignation des acteurs concernés.

-liste précise des actions à engager, des objectifs à suivre, de la métrique et des indicateurs de performance.

-Définition des responsabilités.

- Enfin en **phase 4**, les exécutants ont quasi toute latitude pour intervenir à leur tour, en arrondissant les angles ou en traînant les pieds le cas échéant.[4]

I.5. Approfondissement de la notion de décision :

I.5.1. Qu'est ce qu'une décision ?

On peut définir la décision comme étant un «acte par lequel un ou des décideurs opèrent un choix entre plusieurs options permettant d'apporter une solution satisfaisante à un problème donné ». Cette notion de décision a évolué dans le temps au fur et à mesure que ce sont transformés et complexifiés les procédures de prise de décision.

Au sens classique du terme on assimile la décision à l'acte par lequel un individu (disposant du pouvoir de décider) prend les mesures favorisant la création et la répartition des richesses dans une entreprise en s'appuyant sur un ensemble d'informations à sa disposition sur le marché. Dans son approche plus moderne, la prise de décision apparaît plutôt comme « un processus d'engagement progressif, connecté à d'autres, marqué par l'existence reconnue de plusieurs chemins pour parvenir au même et unique but » (L.Sfez).

Les évolutions du concept de décision est révélatrice d'un certain nombre d'évolutions dans la manière d'appréhender le processus de la prise de décision :

La décision n'est plus un acte unique et constant fondé sur la recherche du profit mais repose sur un ensemble successif de décisions de moindre portée. La décision n'est plus fondée sur la recherche d'un seul objectif mais intègre un nombre plus important de variables. La décision intervient dans un contexte plus aléatoire dans le sens ou la manière d'atteindre l'objectif poursuivi peut passer par différents types d'actions.[5]

I.5.2.Quels sont les différents types de décision ?

Igor Ansoff (1918 - 2002) a proposé un classement des décisions en trois catégories : stratégique, tactique et opérationnelle.

- **Les décisions stratégiques :** Les décisions stratégiques engagent l'entreprise sur une longue période puisqu'elles conditionnent la manière dont l'entreprise va se positionner sur un marché de manière à retirer le maximum de profit des ressources qu'elle mobilise. On cherche alors à répondre à la question essentielle de l'entreprise qui est « quoi produire ?» et son corollaire qui est « quels moyens mettre en oeuvre de manière efficace pour produire ? ».En définitive, il s'agit de définir la manière dont l'entreprise va s'insérer dans son environnement.
- **Les décisions administratives ou tactiques :** Les décisions administratives doivent alors permettre de définir comment les ressources de l'entreprise doivent être utilisées pour parvenir à réaliser les objectifs définis dans le cadre des décisions stratégiques. Il s'agit alors d'organiser la collecte et l'affectation des ressources matérielles, humaines, financières et technologiques au sein de l'entreprise.
- **Les décisions opérationnelles :** Ces décisions s'appliquent dans le cadre de la gestion courante de l'entreprise et concerne l'utilisation optimale des ressources allouée dans le cadre du processus productif de l'entreprise (gestion des stocks, gestion de la production…).

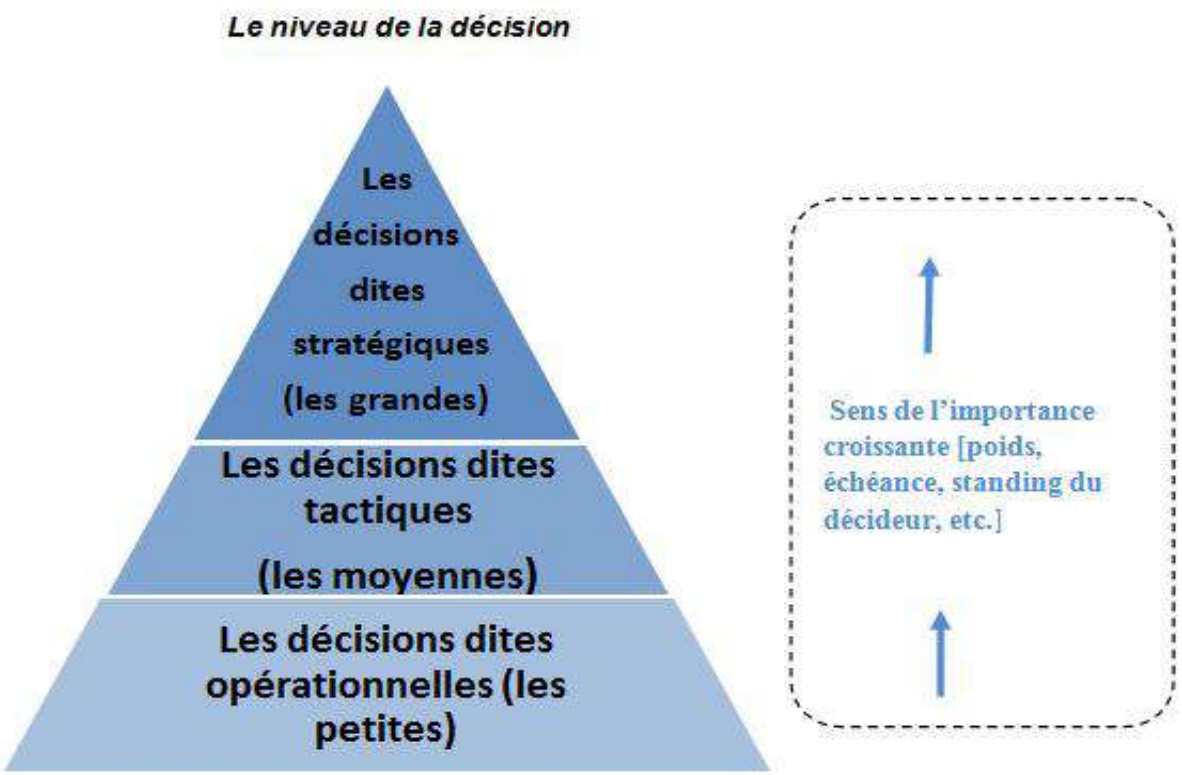


Figure I.2. Différents types de décision

I.5.3.Qu'est-ce que le processus de décision ?

Le processus de décision est un processus complexe dont l'étude peut être facilitée par la référence à des modèles théoriques. Le modèle de la rationalité limitée ou IMCC, proposé par Herbert Simon, comporte quatre phases : *intelligence, modélisation, choix et contrôle.*

- **L'intelligence :** le décideur identifie dans son environnement des situations pour lesquelles il va devoir prendre des décisions.
- **La modélisation** : le décideur recense les informations, les structures de façon à disposer de solutions envisageables.
- **Le choix :** à partir de l'évaluation de chaque solution, le décideur choisit la meilleure d'entre elles.

- **Le contrôle :** vientconfirmer le choix effectué ou le remettre en question**H. Simon remarque qu'en pratique de nombreux obstacles peuvent survenir lors d'une prise de décision. Ils viennent « limiter » la rationalité de la décision.**

I.5.4.Quels sont les facteurs qui influencent la prise de décision ?

Plusieurs éléments influencent, dans un contexte donné, la prise de décision:

- Les caractéristiques de l'entreprise (taille, propriété, localisation, climat social, culture, histoire…).
- L'évolution du marché (croissance, stagnation, déclin).
- Les logiques financières.
- Le contexte géopolitique…

Cependant, la personnalité et le style de direction du dirigeant est un facteur explicatif et déterminant du processus de décision dans les entreprises.[6]

Herbert Simon (1916-2001) :

Simon a élaboré la théorie de la décision et le concept de la rationalité limitée. Dans une situation donnée, les managers ne choisissent pas "la meilleure solution" mais la solution la plus satisfaisante compte tenu de leur degré d'information, de leur motivation et de leur capacité réelle d'action.[6]

I.6.Caractéristiques des différents types de décision

La classification par l’entreprise des différents de décisions (stratégique, tactique et opérationnelle) est importante car elle conditionne l’élaboration des processus internes de prise de décisions adaptés à leurs spécificités.

I.6.1.Le processus interne de prise de décision suit en général différentes étapes

- **Analyse de l'objectif :** cette première étape vise à définir de manière précise et formulable l'objet de la prise de décision future (sur quoi porte la prise de décision).
- **Collecte de l'information :** qui porte à la fois sur les facteurs externes (environnement concurrentiel de l'entreprise) et sur les facteurs internes (inventaire des ressources disponibles pouvant être utilisées dans le cadre de la décision prise).
- **Définition des options possibles :** l'analyse de l'information permet de définir un ensemble de décisions susceptibles de fournir une réponse au problème posé.
- **Comparaison et évaluation de ces options :** dans le processus de décision, il est nécessaire de pouvoir comparer les différentes options possibles ce qui nécessite de pouvoir en évaluer les coûts et les gains probables.
- **Choix d'une option :** la décision proprement dite consiste à choisir une option de manière rationnelle, c'est à dire en choisissant celle qui permet à l'entreprise d'optimiser l'utilisation de ses ressources.

Bien que la démarche soit identique pour l'ensemble des prises de décisions de l'entreprise, il est possible d'identifier certaines caractéristiques propres à chacun des types de décision.

Caractéristiques	Type de Décision		
	Stratégique	Administrative	Opérationnelle
Domaine de la Décision	Relations avec l'environnement	Gestion des ressources	Utilisation des ressources dans le processus de transformation
Horizon de temps	Moyen et long terme	Court terme	Très court terme

Effet de lé décision	durable	Bref	Très bref
Réversibilité de la Décision	nulle	Faible	Forte
Actions correctives	impossibles	difficiles	Faciles
Répétitivité des choix	nulle	Faible	Forte
Procédure de décision	Non programmable	Semi-programmable	Programmable
Niveau de la prise de décision	Direction générale	Directions fonctionnelles	Chefs de services, chefs d'atelier
Nature des Informations	Incertaines et exogènes	Presque complètes et endogènes	Complètes et endogènes

Tableau I.1. Caractéristiques propres à chacun des types de décision.

I.7. Modélisation conceptuelle du processus de prise de décision

I.7.1. Comment modéliser le processus de prise de décision en entreprise ?

Concevoir les outils d'aide à la décision

Avant de préciser comment les technologies améliorent le processus décisionnel dans l'entreprise, encore faut-il définir les caractéristiques dudit processus et le contexte de prise de décision. Il existe différentes façons de modéliser la décision en entreprise. Dans la suite de ce chapitre, on étudiera un modèle assez simple mais toutefois suffisamment pertinent pour bien éclairer la réflexion.[7]

I.7.2. Les quatre types d'environnement décisionnel

Ce modèle propose 4 types d'environnement : Simple, Compliqué, Complexe, Chaotique.

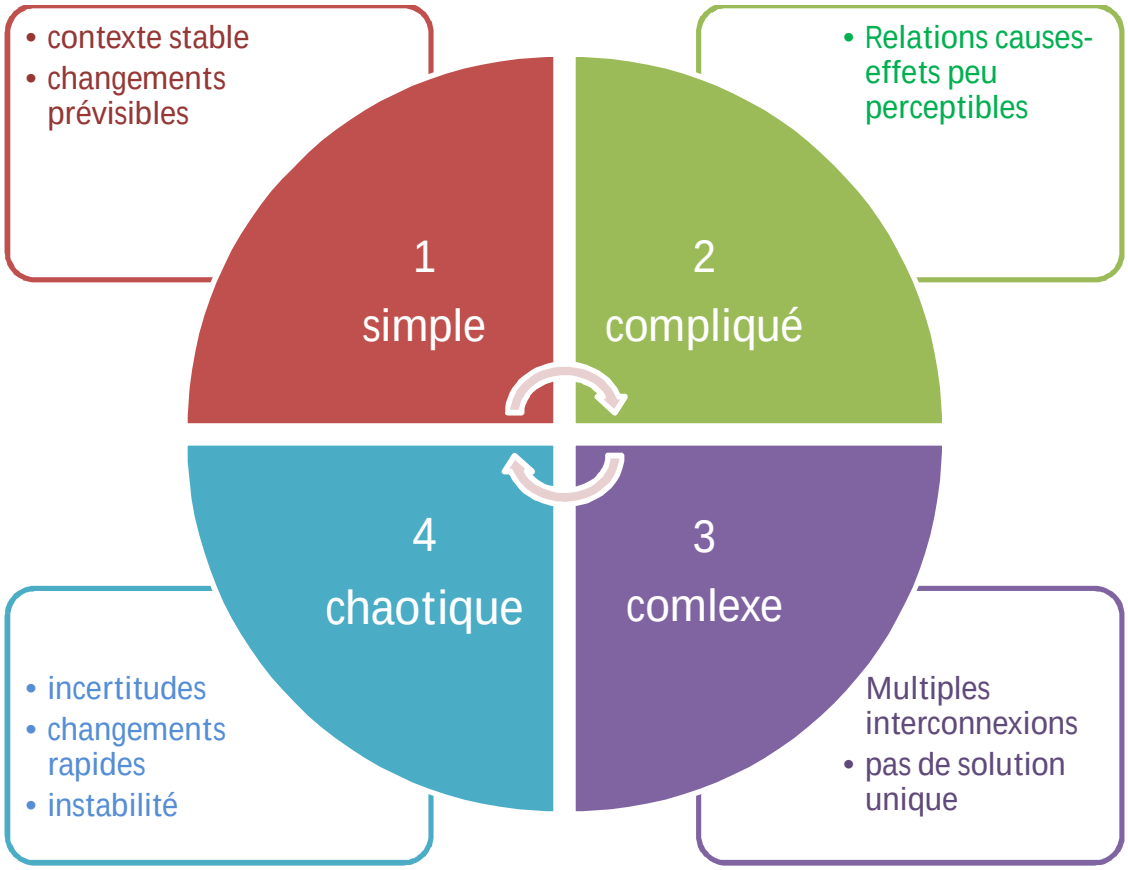


Figure I.3. Modélisation de la décision

1-Modèle simple :

Le modèle simple correspond à un contexte stable où les changements sont lents ou prévisibles. Les relations sont bien définies, les faits sont clairs, les décisions apportent les résultats attendus. C'est dans ce cadre-ci que l'on peut situer la typologie de l'homo économique.

La grande majorité des entreprises bâtissent encore leur système décisionnel en supposant évoluer en un contexte de cet ordre-ci.

Multiplication des systèmes de reportions empilés pour un meilleur contrôle, décisions concentrées en bien peu de mains et croyance excessive dans le pouvoir de "l'information décisive" en sont les caractéristiques les plus courantes.

Les slogans du type "Pour décider, il faut la bonne information" s'inscrivent dans ce modèle autant théorique qu'irréel**.**

2-Modèle compliqué :

Les liens sont un peu embrouillés, les relations de cause à effet ne sont pas évidentes au premier coup d'œil. L'objectif est de simplifier le modèle afin d'arriver au modèle simple. C'est un travail de spécialiste, et c'est là en fait la finalité des méthodes de management.

Les méthodes de management sont structurantes. Elles cherchent à réduire la complication afin d'aboutir à un modèle simple.

Le risque à craindre n'est autre que de chercher à trop structurer et de simplifier au delà du raisonnable, bref de délivrer un modèle "simpliste".

D'autre part, considérer le contexte comme compliqué lorsqu'il est plutôt complexe est vraisemblablement le principal défaut de ces méthodes radicales. La complexité ne se simplifie pas.

3-Modèle Complexe :

Les liaisons sont multiples, les interprétations tout autant. Aucune réponse claire n'émerge naturellement. De toute façon, il n'y a pas de réponse unique. Il est donc impossible de maintenir l'ensemble des décisions en un point unique. La prise de décision doit être répartie sur le terrain.

Pour cela, il n'existe guère d'autre solution que de jouer la carte de la coopération. Les organisations horizontales multipliant les points de traitement de l'information, capables de décider localement tout en facilitant la coopération, sont bien plus adaptées à ce type d'environnement. Les déclinaisons "2.0" type Web 2.0 ou BI centrée humain sont les outils pour bâtir le système décisionnel.

4-Modèle chaotique :

À l'incertitude s'ajoute la rapidité du changement. Peu de temps pour analyser les informations, impossibilité d'envisager tous les risques avant de prendre la décision. Les relations de cause à effet sont quasiment impossibles à identifier exhaustivement. L'environnement est instable, nous sommes dans un contexte chaotique.

C'est vraisemblablement là où la BI 3.0, proposant une analyse plus étendue des connaissances (web sémantique) et prédictive vient renforcer les outils coopératifs développés pour le stade précédent. L'objectif étant de se rapprocher du modèle complexe précédemment décrit.

Á titre d'aparté le lecteur intéressé pourra approfondir cette question en s'attardant quelque peu sur le thème de la psychologie du décideur et les biais cognitifs. Entre autres auteurs, Lucien Sfez avait en son temps apporté un éclairage plus précis sur ce thème.[7]

I.7.3. Prises de décisions humaines versus automatisées :

Les prises de décisions humaines comportent quelques inconvénients : règles métier appliquées floues, décisions parfois inconsistantes (en fonction du décideur, du moment et du lieu notamment, les décisions prises à partir de données d'entrée identiques seront pourtant différentes) et enfin ces décisions humaines sont souvent prises lentement. La logique de décision est souvent dans la tête des décideurs uniquement (pas de documentation). Elles sont, par contre, très faciles (voire parfois trop faciles) à modifier.

Les prises de décisions automatisées permettent d'améliorer certains points, qui deviennent même des avantages : les décisions sont toujours consistantes (elles sont identiques à partir de données d'entrées identiques, dans un environnement prédéfini) et elles peuvent être prises très rapidement (en quelques secondes).

Les prises de décisions automatisées ne sont toutefois pas exemptes d'inconvénients, surtout si elles n'ont pas été modélisées préalablement : elles ne correspondent pas forcément aux exigences (selon l'interprétation de ces exigences par les développeurs), elles manquent de visibilité (une fois qu'elles sont codées « en dur », voire cachées, dans les applications) et enfin elles sont plus difficiles à

modifier (il faut lancer un mini-projet informatique à chaque demande de changement du métier), ce qui constitue un frein à l'agilité de l'entreprise.
Le Tableau 3 compare les avantages et les inconvénients des décisions humaines et des décisions automatisées (sans modélisation préalable).[8]

Décisions humaines	Décisions automatisées
☒ Règles métier appliquées quelquefois floues,	☒ Ne correspondent pas forcément aux exigences,
☒ Parfois inconsistantes,	☑ Toujours consistantes,
☒ Prises lentement par moments,	☑ Prises très rapidement,
☒ Très rarement documentées,	☒ Manquent de visibilité,
☑ Faciles à modifier.	☒ Difficiles à modifier.

Tableau I.2 : Décisions humaines versus décisions automatisées (sans modélisation)

Nous verrons plus loin qu'une modélisation préalable et adéquate des prises de décisions opérationnelles limite grandement les inconvénients aussi bien des décisions humaines que des décisions automatisées, alors qu'elles sont pourtant différentes. En fait, la modélisation d'une prise de décision humaine est souvent le point de départ pour réussir son automatisation.

I.7.4.La décision est une prise de risque :

La prise de décision n'est pas une situation de tout repos. L'incertitude ambiante, caractéristique d'un environnement complexe et chaotique, limite la perception de signaux clairs et nets.

D'autre part, la rapidité du changement ne laisse que peu de temps aux délibérations et ne permet pas d'envisager toutes les éventualités. Il faut agir vite, les opportunités n'attendent pas. C'est en cela que la prise de décision est surtout une prise de risque.

Pour accélérer le processus décisionnel tout en préservant son déroulé, le décideur doit se focaliser sur les problèmes en traitant en priorité les dysfonctionnements les plus impactant. Ce qui veut dire :

- ✓ ***Gérer l'urgence :*** identifier les problèmes qui ont des conséquences réelles à risque pour limiter voire réduire l'environnement de crise.
- ✓ ***Répondre aux attentes :*** comprendre l'importance des problèmes vue par ceux qui les subissent pour diminuer les facteurs de stress.

Cela revient parfois à privilégier une solution temporaire imparfaite à une solution finale, tout en gardant à l'esprit qu'une fois la crise contenue un processus de prise de décision classique sera mis en place pour bâtir une solution optimale.[9]

I.8. CONCLUSION :

De nos jours, les petites et moyennes entreprises et industries constituent un maillon capital de toute économie de par leur faculté de création d'emploi et satisfaction des besoins non comblés par les grandes entreprises.

En consultant le répertoire de toutes les difficultés auxquelles sont assujetties cette frange d'entreprise, nous avons voulu restreindre notre champ d'étude sur les déterminants de la prise de décisions dans ces entités afin de proposer aux dirigeants des axes stratégiques pour une performance assurée.

La prise de décision est la clef de voûte du management et fondement de la performance de toute entreprise.

Mais force est de constater que dans les petites et moyennes entreprises et industries, cet outil aussi important que sensible se manipule avec de la légèreté et de façon très intuitive. C'est ce qui a fondé l'objet de la présente recherche qui se veut une étude exploratoire visant a étudier les éléments pris en considération dans la prise de décisions dans ces entreprises peu structurées.

Chapitre II

La logique floue

II.1. Introduction :

La théorie du flou (Fuzzy théory) est presque devenue une mode pendant les années 90. Beaucoup de chercheurs, dans différents domaines scientifiques, utilisant la théorie formulée par le professeur Lotfi Zadeh de l'université de Berkeley.[10] Elle a connu un intérêt important dans la communauté scientifique au cours des dernières années. L'une des raisons principales est l'énorme succès des équipements domestiques produits par l'industrie Japonaise, utilisant des régulateurs flous : ce marché atteignait 2 milliards de dollars en 1990.

Les méthodes de logique floue peuvent être utilisées pour concevoir des systèmes de diagnostic intelligents sur la base de connaissances exprimées dans un langage naturel. Il s'agit d'une approche calquée sur le raisonnement humain plutôt que sur des calculs rigides. En effet, le mode de raisonnement en logique floue est plus intuitif que la logique classique. Il permet aux concepteurs de mieux appréhender les phénomènes naturels, imprécis et difficilement modélisables en s'appuyant sur la définition de règles et de fonctions d'appartenance à des ensembles dits « ensembles flous ».

Un domaine d'application de la logique floue qui devient fréquent est celui du réglage et de la commande des régulations industrielles. Cette méthode permet d'obtenir une loi de commande souvent efficace, sans devoir faire appel à des développements théoriques importants. Elle présente l'intérêt de prendre en compte les expériences acquises par les utilisateurs et opérateurs du processus à commander. Les éléments de base de la logique floue sont:

- Les variables linguistiques
- Les fonctions d'appartenance
- Les déductions aux inférences : Prise de décision à partir d'une base de règles Si…Alors. [10]

II.2.Création et historique :

les années Trente, Max Back a initié le mouvement en travaillant sur une logique plurivalente appliquée aux ensembles.

Le terme d'ensemble flou apparaît pour la première fois en 1965 lorsque le professeur Lotfi Zadeh, de l'université de Berkeley aux USA, publie un article intitulé

« Ensembles flous » (Fuzzy Sets). Il a réalisé depuis de nombreuses avancées théoriques majeures dans le domaine et a été rapidement accompagné par de nombreux chercheurs développant des travaux théoriques.

Parallèlement, certains chercheurs se sont penchés sur la résolution par logique floue de problèmes réputés difficiles. Ainsi en 1975, le professeur Mamdani à Londres développe une stratégie pour le contrôle des procédés et présente les résultats très encourageants qu'il a obtenus sur la conduite d'un moteur à vapeur. En 1978, la société danoise F.L.Smidth réalise le contrôle d'un four à ciment. C'est là la première véritable application industrielle de la logique floue.

C'est au Japon, ou la recherche n'est pas seulement théorique mais également très applicative, que la logique floue connaît son véritable essor. A la fin des années 1980, c'est d'un véritable boum qu'il faut parler. Les produits grand public, machines à laver, appareils photographiques et autres caméscopes estampillés « Fuzzy Logic » ne se comptent plus. Dans l'industrie, le traitement des eaux, les grues portuaires, les métros, les systèmes de ventilation et de climatisation sont touchés. Enfin, des applications existent dans des domaines très différents tels que la finance ou le diagnostic médical.[11]

II.3.Intérêt d'utilisation de la logique floue :

La logique floue trouve ses origines dans un certain nombre de constatations :

- la connaissance que l'être humain aura à une situation quelconque est généralement imparfaite :
  - ✓ Elle peut être incertaine (il doute de sa validité).
  - ✓ Ou imprécise (il a du mal à l'exprimer clairement).
- L'être humain résout souvent des problèmes complexes à l'aide de données approximatives:

la précision des données est souvent intitulée ; par exemple pour choisir un appartement, il pourra prendre en compte la surface, la proximité de commerce, la distance du lieu de travail, le loyer…etc.

Dans l'industrie, les opérateurs résolvent souvent des problèmes complexes de manière Relativement simple et sans avoir besoin de modéliser le système. De

même, tout le monde sait qu'un modèle mathématique n'est pas nécessaire pour conduire une voiture et pourtant une voiture est un système très complexe.

- Plus la complexité d'un système augmente, moins il est possible de faire des affirmations précises sur son comportement.

De ces constatations viennent naturellement les déductions suivantes :

- ✓ Plutôt que de modéliser le système, il est souvent intéressant de modéliser le comportement d'un opérateur humain face au système ;
- ✓ Plutôt que par des valeurs numériques précises, le fonctionnement doit être décrit par des qualificatifs globaux traduisant l'état approximatif des variables.[12] ,[13]

II.4.Modélisation à base de la logique floue :

II.4.1.Les ensembles flous :

Dans la théorie des ensembles classiques, il n'y a que deux situations acceptables pour un élément, appartenir ou ne pas appartenir à un sous-ensemble. Le mérite de Zadeh a été de tenter de sortir de cette logique booléenne en introduisant la notion d'appartenance pondérée : permettre des graduations dans l'appartenance d'un élément à un sous-ensemble, c'est-à-dire d'autoriser un élément à appartenir plus moins fortement à ce sous-ensemble. Soit X un ensemble de référence et soit x un élément quelconque de X. Un sous-ensemble flou A de X est défini comme l'ensemble des couples :

$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\}$ ***Avec*** $\mu_A : X \rightarrow [0.1]$

Ainsi, un sous-ensemble flou A de X est caractérisé par une fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ qui associe, à chaque point x de X un réel dans l'intervalle [0,1];$\mu_A(x)$ représente le degré d'appartenance de X à A . On observe les trois cas possibles suivants :

$$\begin{cases} \mu_A(x) = 0 \\ 0 < \mu_A(x) < 1 \\ \mu_A(x) = 1 \end{cases}$$

Où,$\mu_A(x)$ = 0 si X n'appartient pas à A ; 0 < $\mu_A(x)$ > 1 si X appartient partiellement à A ; et $\mu_A(x)$ = 1 si x appartient entièrement à A. La fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ inclut ou exclut donc à ses extrémités tout élément X au sous-ensemble A. Entre les valeurs extrêmes, le degré d'appartenance varie à proportion de la proximité à l'ensemble.

II.4.2.Variable linguistique:

Une variable linguistique est une variable dont les valeurs associées sont linguistiques plutôt que numérique. La variable linguistique est caractérisée par un ensemble décrit par :[14] ,[15] {x, T(x), U, G, M}, ***avec :***

- ✓ x : nom de la variable de base.
- ✓ T(x) : ensembles des valeurs linguistiques que peut prendre x.
- ✓ U : l'univers du discours associé avec la variable de base.
- ✓ G : la règle syntaxique pour générer les valeurs linguistiques de x.
- ✓ M : la règle sémantique pour associer un sens à chaque valeur linguistique (ensemble flou dans U).

Exemple: Prenons comme exemple la variable linguistique température où :

- ❖ **Univers du discours U :** gamme de température de 0°C à 70°C.
- ❖ **Variable linguistique x :** la température.
- ❖ **Valeurs linguistique T(x) :** « Faible» « Moyenne » « Elevée ».
- ❖ **Règle syntaxique G :** Si 20 <T< 40 alors température moyenne.

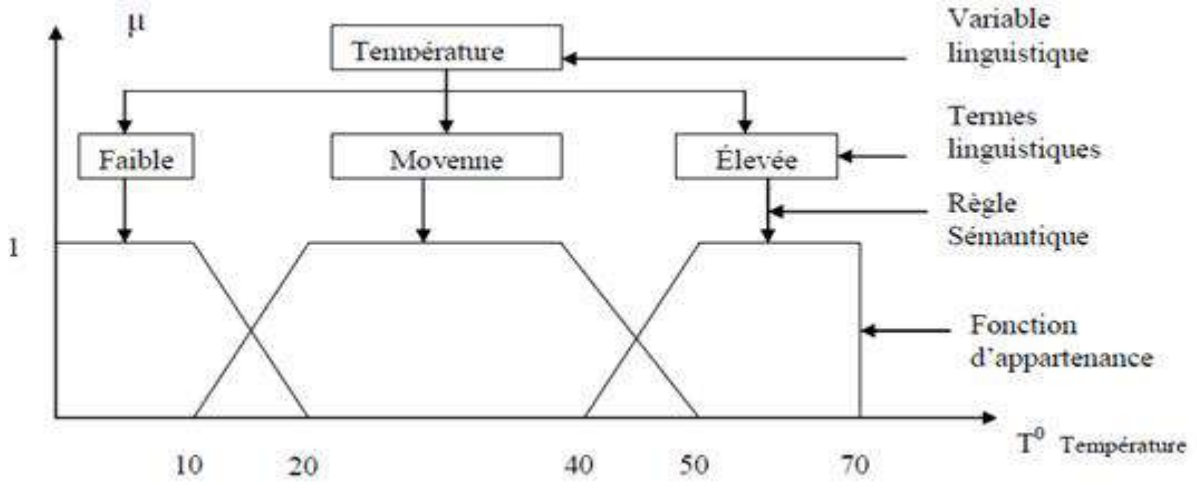


Figure II.1. exemple d'un variable linguistique avec trois termes linguistique

La température ambiante (variable de base) peut être définie avec un ensemble de termes

T(x)= {Faible, Moyenne, Elevée}, le terme Faible représente une valeur linguistique.

II.4.3.Fonction d'appartenance:

Un ensemble flou est défini par sa « fonction d'appartenance », qui correspond à la notion de « fonction caractéristique » en logique classique. Supposons que nous voulions définir l'ensemble des personnes de « taille moyenne ». En logique classique, nous conviendrons par exemple que les personnes de taille moyenne sont celles dont la taille est comprise entre 1,60 m et 1,80 m. la fonction caractéristique de l'ensemble **(Figure II.2)** donne « 0 » pour les tailles hors de l'intervalle [1,60 m ; 1,80m] et « 1 » dans cet intervalle. L'ensemble flou des personnes de « taille moyenne » sera défini par une « fonction d'appartenance » qui diffère d'une fonction caractéristique par le fait qu'elle peut prendre n'importe quelle valeur dans l'intervalle [0,1]. A chaque taille possible correspondra un « degré d'appartenance » à l'ensemble flou des « tailles moyennes » **(Figure II.3)**, comprises entre 0 et 1.[16]

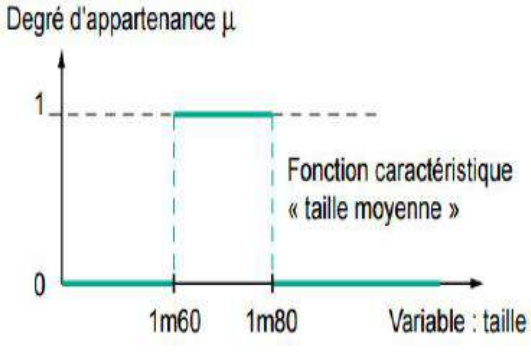


Figure II.2. Fonction caractéristique.

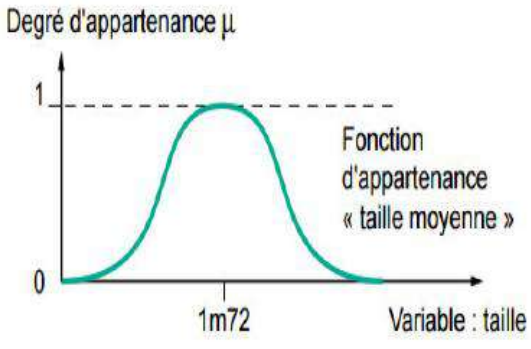


Figure II.3. Fonction d'appartenance

Plusieurs ensembles flous peuvent être définis sur la même variable, par exemple les ensembles « taille petite », « taille moyenne » et « taille grande», notions explicitées chacune par une fonction d'appartenance **(Figure II.4).**

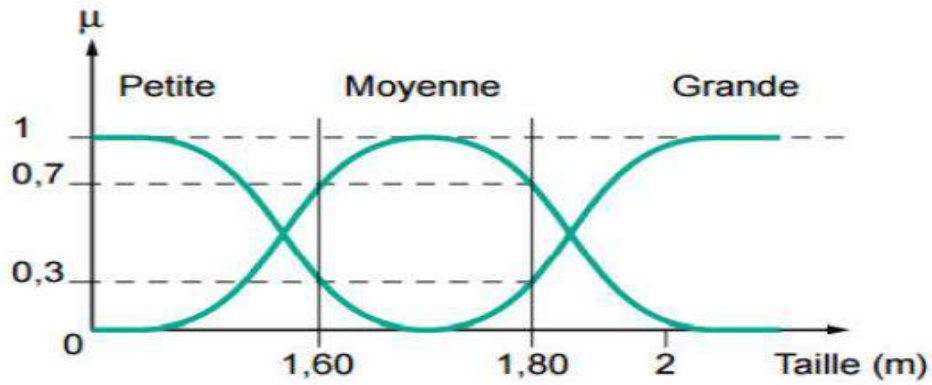


Figure II.4. Fonction d'appartenance, variable et terme linguistique.

Cet exemple montre la gradualité que permet d'introduire la logique floue. Une personne de1, 80 m'appartient à l'ensemble « taille grande » avec un degré 0,3 et à l'ensemble « taille moyenne » avec un degré de 0,7. En logique classique, le passage de moyen à grand serait brusque. Une personne de 1,80 m serait par exemple de taille moyenne alors qu'une personne de 1,81 m serait grande, ce qui choque l'intuition. La variable (par exemple : taille) ainsi que les termes (par exemple : moyenne, grande) définis par les fonctions d'appartenance portent respectivement les noms de variables linguistiques et de termes linguistiques.

Comme cela sera vu plus loin, variables et termes linguistiques peuvent être utilisés directement dans des règles.

Les fonctions d'appartenance peuvent théoriquement prendre n'importe quelle forme.

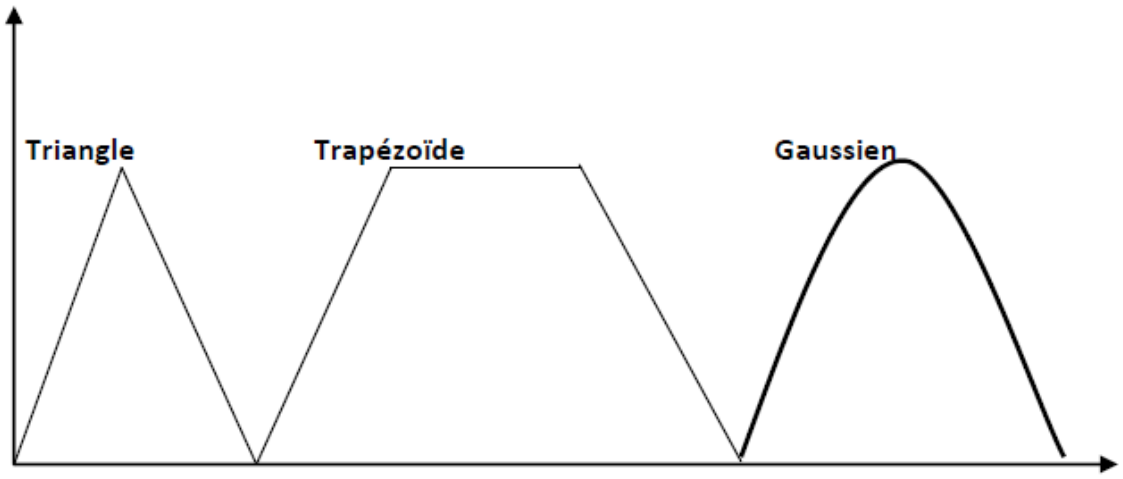


Figure II.5. Type de représentation des sous-ensembles floue.

Toutefois, elles sont souvent définies par des segments de droites, et dites « linéaires par morceaux ». **(Figure. II.6)**

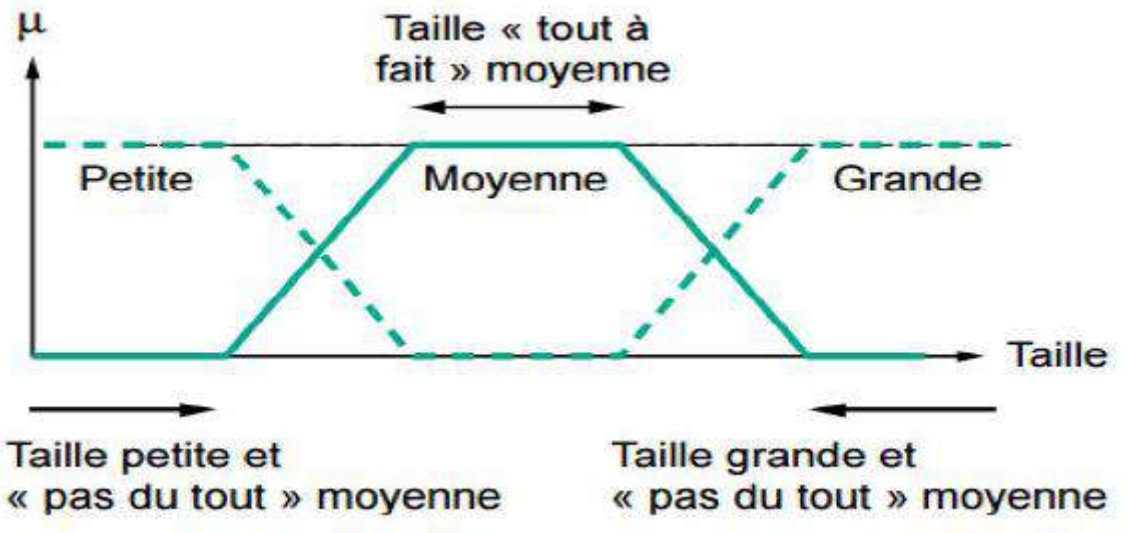


Figure II.6. Fonctions d'appartenance linéaires par morceaux.

Les fonctions d'appartenance « linéaires par morceaux » sont très utilisés car :

- Elles sont simples,
- Elles comportent des points permettant de définir les zones ou la notion est vraie, les zones où elle est fausse, ce qui simplifie le recueil d'expertise.

Ce sont des fonctions d'appartenance de ce type qui seront utilisées dans la suite de ce document.

Dans certains cas, les fonctions d'appartenance peuvent être égales à 1 pour une seule valeur de la variable et égales à 0 ailleurs, et prennent alors le nom de « fonctions d'appartenance singletons ». Un singleton flou **(Figure II.7.)** défini sur une variable réelle est la traduction dans le domaine flou d'une valeur particulière.[16]

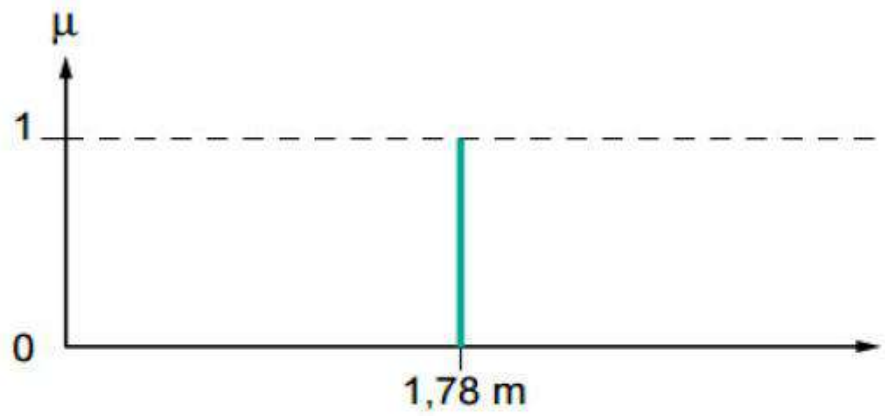


Figure II.7.fonction d'appartenance singleton.

II.4.4 Opérateurs en logique floue :

Comme dans le cas des ensembles « classiques », les opérations logiques d'union (OU), d'intersection (ET) et de complémentarité (NON) peuvent être appliquées aux ensembles flous.

A. Opérateur logique ET :

L'opérateur logique ET classique est défini de la manière suivante : A ET B est VRAI si et seulement si A est VRAI et B est VRAI. Cette loi est aussi notée AB que l'on nommera conjonction.

On définit l'opérateur ET flou comme l'intersection de deux ensembles flous A et B, respectivement étant le plus petit ensemble flou contenant A et B. Selon l'approche Zadeh, l'intersection de deux ensembles flous A et B de même référentiel U est définie par l'équation suivante :

$$\forall(x,y) \in X * Y: \mu_{A\cap B}(x,y) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}$$

La **Figure II.8** illustre l'opérateur ET entre les ensembles flous A et B. On a donc l'opérateur minimum {min).

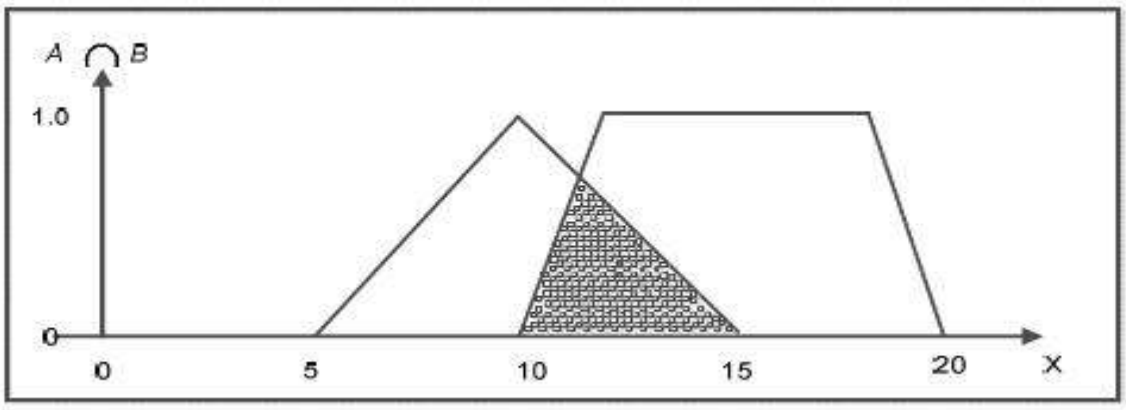


figure II.8 intersection des ensembles flous A et B

Exemple :

« Température Basse « est vraie à 0,7

« Pression Faible » est vraie à 0,5

« Température Basse ET Pression Faible » est donc vraie à 0,5 = MIN (0,7 ; 0,5)

Remarque : L'opérateur ET de la logique classique est bien respecté :

0 ET1 donne 0.

B. Opérateur logique OU :

L'opérateur logique OU classique est défini de la manière suivante : A OU B est VRAI si et seulement si A est VRAI ou B est VRAI, (si A est vrai et que B est vrai aussi, alors A OU B est vrai).

Cette loi est aussi notée A+B que l'on nommera disjonction inclusive.

On définit l'opérateur OU flou comme l'union de deux ensembles flous A et B, respectivement étant le plus grand ensemble flou contenu dans A et dans B d'autre part.

Selon l'approche Zadeh, l'union de deux ensembles flous A et B de même référentiel U est définie par l'équation suivante :

$$\forall(x,y)X,Y: \mu_{A\cup B}(x,y) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(y)\}$$

On parle d'opérateur maximum {max). Cette opération est représentée à la **Figure II.9** suivante :

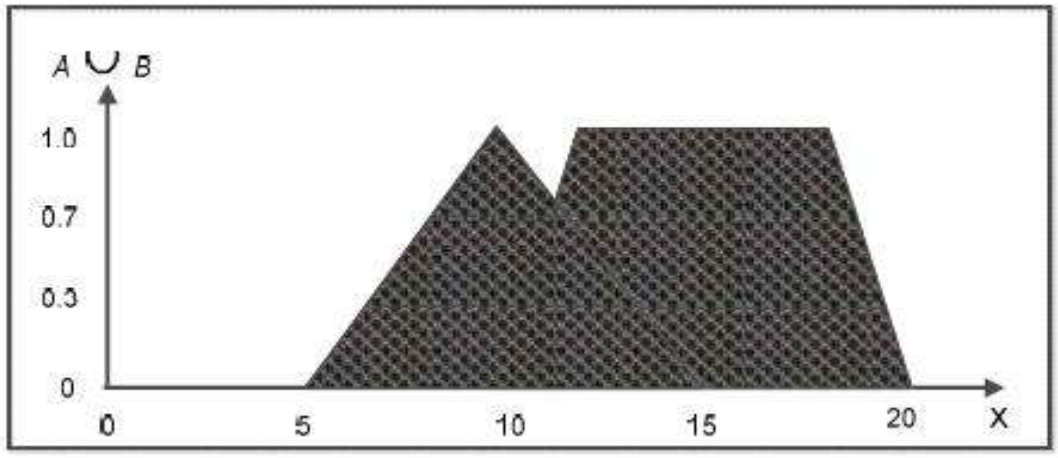


figure II.9.union des ensemble flou A et B.

Exemple :

« Température Basse » est vraie à 0,7

« Pression Faible » est vraie à 0,5

« Température Basse Ou Pression Faible » est donc vraie à 0,7.

Remarque : L'opérateur Ou de la logique classique est bien respecté :

0 OU 1 donne 1.

C. Opérateur logique NON :

L'opérateur logique NON est défini de la manière suivante : le contraire de A est VRAI si et seulement si A est FAUX. Le contraire de A est noté A que l'on nomme la négation ou le complément. Selon l'approche Zadeh, le complément d'un ensemble flou A est défini par l'équation suivante :

$$\boldsymbol{\mu_A(x) = 1 - \mu_A(x)}$$

La **Figure II.10** montre l'opérateur NON de l'ensemble flou A.

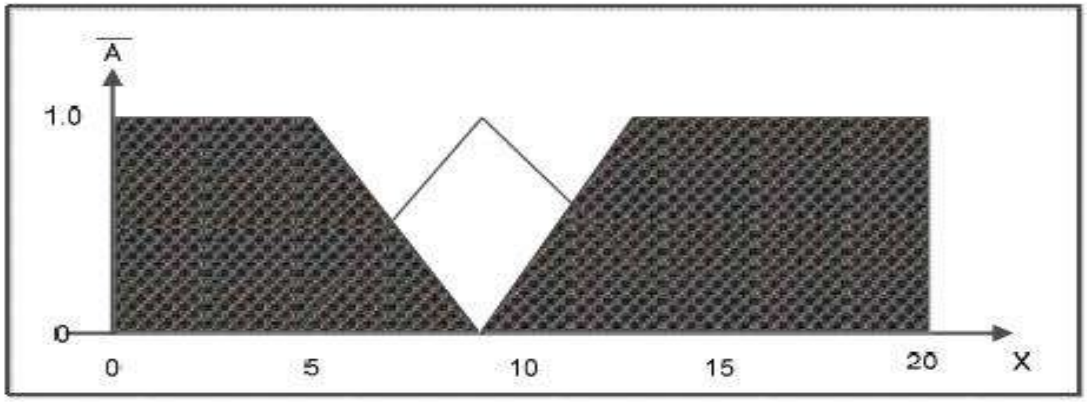


figure II.10 complément de l'ensemble flou A.

Exemple :

« Température Basse » est vraie à 0,7

« NON Température Basse », que l'on utilisera généralement sous la forme « Température

NON Basse », est donc vrai à 0,3.

Remarque : L'opérateur négation de la logique classique est bien respecté: NON(0) donne bien 1 et NON(1) donne bien 0.[17]

II.4.5. Structure générale d'un système d'inférence flou:

Un système d'inférence floue FIS (Fuzzy Inference System) est formé de cinq blocs fonctionnels comme indiqué sur la **figure II.11.** [18] ;[19]

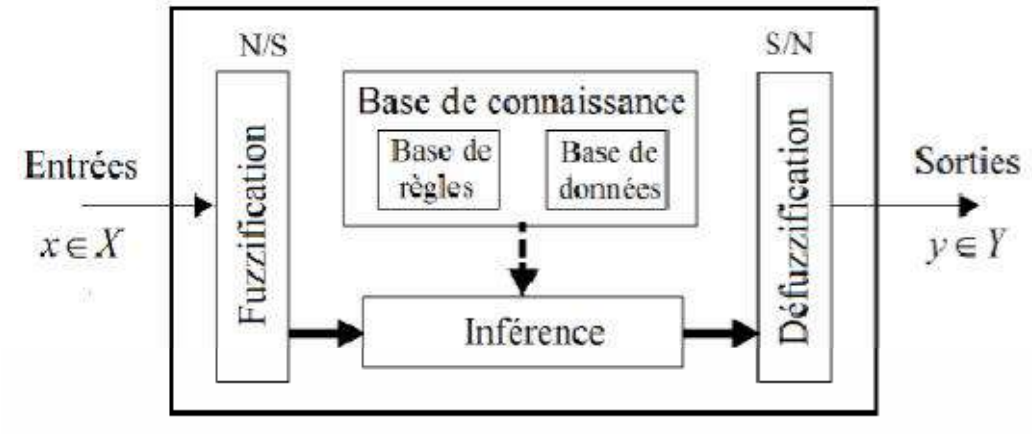


Figure. II.11: Représentation interne d'un système flou.

Le premier bloc est l'étage de fuzzification qui transforme les valeurs numériques en degrés d'appartenance aux différents ensembles flous de la partition. Le second bloc est le moteur d'inférence constitué de l'ensemble des règles et la base de données. En sortie, l'étage de défuzzification permet si nécessaire, d'inférer une valeur nette, utilisable en commande par exemple, à partir du résultat de l'agrégation des règles.

Les systèmes flous basés sur des règles du type « Si…Alors » ont des antécédents et des conséquents qui sont spécifiés de manière symbolique. Dans le cadre de la modélisation et la commande de systèmes, l'exploitation d'une telle connaissance nécessite en général la mise en place d'interfaces numérique/symbolique (N/S) et symbolique/numérique (S/N). Ces dernières sont en effet des passerelles indispensables à l'établissement d'un lien entre l'ensemble de règles (base de règles) qui interfacent le système flou et le procédé, sur lequel seules des mesures et des actions numériques sont envisageables. De manière classique, le fonctionnement interne des systèmes flous repose sur une structure, représentée sur la **figure II.11,** qui inclut:

- Une base de règles contenant un nombre de règles Si… Alors de la stratégie de commande de l'expert; et une base de données qui regroupe l'ensemble des définitions utilisées dans la commande floue (univers de discours, partitions floues, choix des opérateurs...).

- Une unité de décision (Inférence) qui transforme les opérations d'interférences en règles à partir d'une base de connaissance (fournie par l'expert) et du sous-ensemble flou correspondant à la fuzzification du vecteur de mesure. En général, plusieurs valeurs de variables floues, convenablement défini par des fonctions d'appartenance, sont liées entre elles par des règles, afin de tirer des conclusions. On parle alors de déductions floues. Dans ce contexte, on peut distinguer deux genres de règles d'inférences:

  - Inférence avec plusieurs règles.
  - Inférence avec une seule règle.

Dans le cas d'une inférence avec plusieurs règles, celles-ci s'expriment sous la forme générale:

Si condition 1, Alors opération 1, OU

Si condition 2, Alors opération 2, OU

Si condition 3, Alors opération 3, OU

……

Si condition **m**, Alors opération **m**,

Les conditions peuvent dépendre d'une ou de plusieurs variables.

Dans le deuxième cas, les variables sont liées entre elles par des opérateurs flous Et et OU. A chaque variable sont attribuée des fonctions d'appartenance, tenant compte des ensembles flous formés par ces variables.

- Une interface de fuzzification qui transforme les entrées crisp en degrés de vérification des valeurs linguistiques.

- Finalement, une interface de défuzzification, avec éventuellement un post-traitement d'information qui transforme les résultats flous d'inférence en une sortie crisp.

II.5. Système flou :

Un système flou peut être regardé comme un système expert particulièrement simple, fonctionnant à partir d'une représentation des connaissances basée sur ses ensembles flous.

Un système flou est composé de 4 blocs principaux :[20] ,[21]

- ✓ . Base de connaissances floues.
- ✓ . Interface de fuzzification.
- ✓ . Mécanisme d'inférence flou.
- ✓ . Interface de défuzzification.

Il est décrit dans la figure suivante :

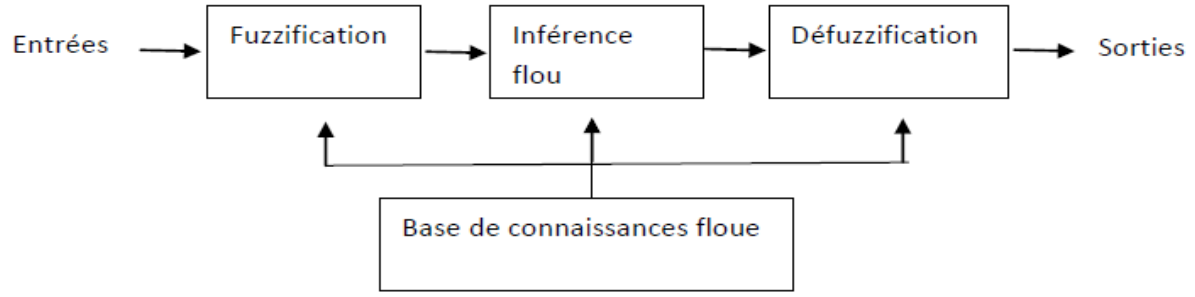


Figure II.12.Système flou.

II.5.1. Base de connaissances :

La base de connaissances comprend les connaissances de l'expert humain pour le système. Ainsi le domaine de variation des variables d'E/S. Elle est donc constituée de : Comme le montre la **figure II.11** :

Base de données: Regroupe dans ce bloc, l'ensemble des définitions utilisées dans les règles floues.

.Base des règles floues : La connaissance de l'expert est généralement exprimée par des règles et donc une collection de règles de la forme « SI-ALORS ».

Les règles d'inférence floue forment le noyau des systèmes flous. Elles expriment un lien entre des propositions floues élémentaires ou des conjonctions de propositions élémentaires sous la forme. (R **:** Si proposition antécédente Alors proposition conséquente.)



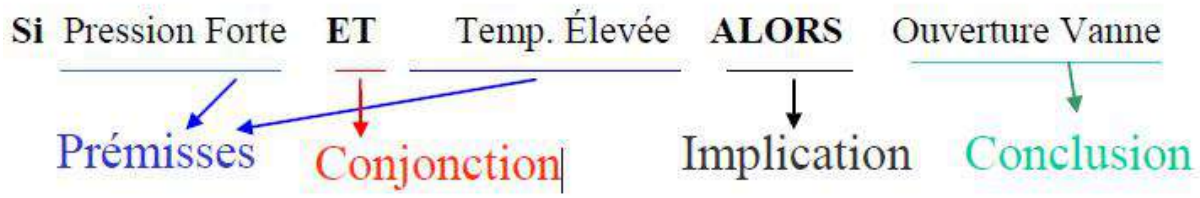
Figure II.13 Module d'inférence d'un système flou.

Les systèmes à logique floue utilisent une expertise exprimée sous forme d'une base de règles du type: Si….Alors…

Si (x est A) Alors (y est B)

- ✓ La variable floue x appartient à la classe floue A avec un degré de validité $\mu(x_0)$.
- ✓ La variable floue y appartient à la classe floue B à un degré qui dépend du degré de validité $\mu(x_0)$ de la prémisse.

Exemple



Le niveau de précision avec lequel peut être représenté un système donné par un modèle flou est associé avec la granularité du traitement de l'information, qui dépend entre autres, du nombre de termes linguistiques ainsi que de la forme particulière et du degré de chevauchement des fonctions d'appartenance utilisées dans le modèle.[22]

II.5.2. La fuzzification:

La fuzzification est l'étape de passage du domaine numérique au domaine symbolique (flou). Cette étape est nécessaire dès lors que nous voulons manipuler à l'aide de la théorie des ensembles flous des grandeurs physiques mesurables (précises ou imprécises). Suivant l'application, la fuzzification peut se faire de différentes manières. Cela peut consister à transformer les données numériques en valeurs linguistiques afin de donner un avis subjectif sur l'état du système observé. Il est nécessaire de transformer les variables non floues provenant du monde extérieur en sous-ensembles flous. Pour se faire, on utilise un opérateur dit de fuzzification qui associe à une mesure une fonction d'appartenance particulière. Les systèmes à

logique floue traitent de variables d'entrées floues et fournissent des résultats sur des variables de sorties elles-mêmes floues. Pour fuzzifier, il faut donner : [22]

- L'univers du discours (Plage de variations possibles de l'entrée considérée).
- Une partition en classe floue de cet univers (nombre des ensembles floues).
- Les fonctions d'appartenances de chacune de ces classes.

Exemple:

Si la valeur courante de la variable « entrée » est de 2, le degré d'appartenance à la fonction d'appartenance « entrée faible » est égal à 0,4 qui est le résultat de la fuzzification. La fuzzification des variables est une phase délicate du processus mis en œuvre par la logique floue. Elle est souvent réalisée de manière itérative et requiert de l'expérience.

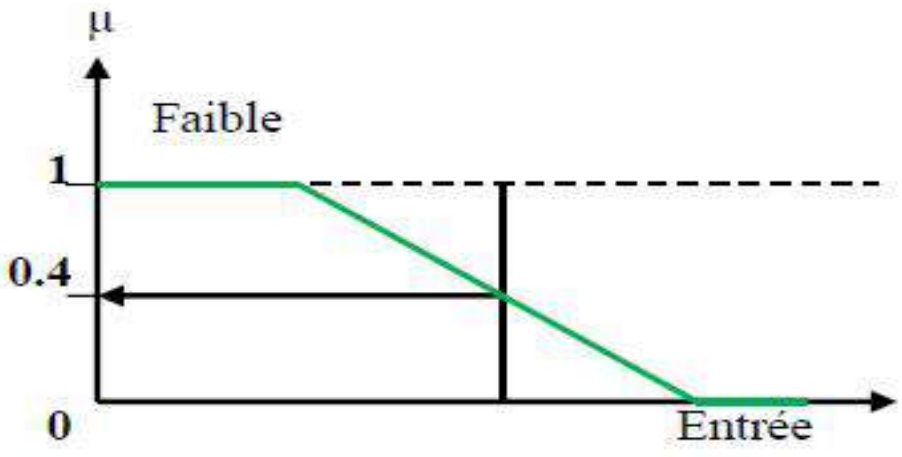


Figure. II.14 : Exemple de fuzzification.

II.5.3.Inférence floue :

Il est mentionné que les inférences floues sont basées sur l'implication floue de type ***modus ponens*** généralisé. Les inférences lient les grandeurs mesurées et les variables de sorties par des règles linguistiques. Ces règles sont combinées en utilisant les connections et et ou. Supposons que le système flou a deux entrées x, y et une sortie z et que l'on a défini n règles linguistiques comme suit :

Si x=A1 et y=B_1 alors z=C_1

Si x=A2 et y=B_2 alors z=C_2

……

Si x=An et y=B_n alors z=C_n

II.5.3.1.les Type d'inférences floues :

Il y a plusieurs sortes d'inférences floues parmi lesquels :

1. Max-prod méthode : Cette méthode utilise la représentation standard pour les sous-ensembles d'entrée et de sortie. Le poids d'activation d'une règle est utilisé pour multiplier la fonction d'appartenance du sous-ensemble de sortie imposée par cette règle.

2. Min-max méthode : Elle utilise les mêmes descriptions pour les sous-ensembles de sortie que pour les sous-ensembles d'entrée à la condition de chaque règle **Ri** est attribué un poids d'activation **Wi,** qui dépend de la condition elle même et des valeurs d'entrée.

3. Méthode de Tsukamoto : Les fonctions d'appartenances des sortie doivent être monotone et non décroissantes.

4. Méthode de Takagi et sugeno : Chaque fonction d'appartenance de la sortie est une combinaison linéaire de valeurs d'entrée.

5. Méthode somme –prod : Par opposition aux méthodes d'inférence précédentes, la méthode d'inférence somme-prod réalise, au niveau de la condition, l'opérateur OU par la formation de la somme, plus précisément par la valeur moyenne, tandis que l'opérateur ET est réalisé par la formation du produit.

II.5.3.2.Les étapes du raisonnement flou et inférence flou:

Les étapes du raisonnement flou réalisé par un SIF (Système d'Inférence Flou) sont :

- **1)** Projeter les variables d'entrée sur les fonctions d'appartenance dans la partie antécédente pour obtenir les valeurs d'appartenances de chaque valeur linguistique (fuzzification).
- **2)** Combiner (à travers un opérateur spécifique Max ou Min) les valeurs d'appartenance dans la partie antécédente pour obtenir la pondération de chaque règle.

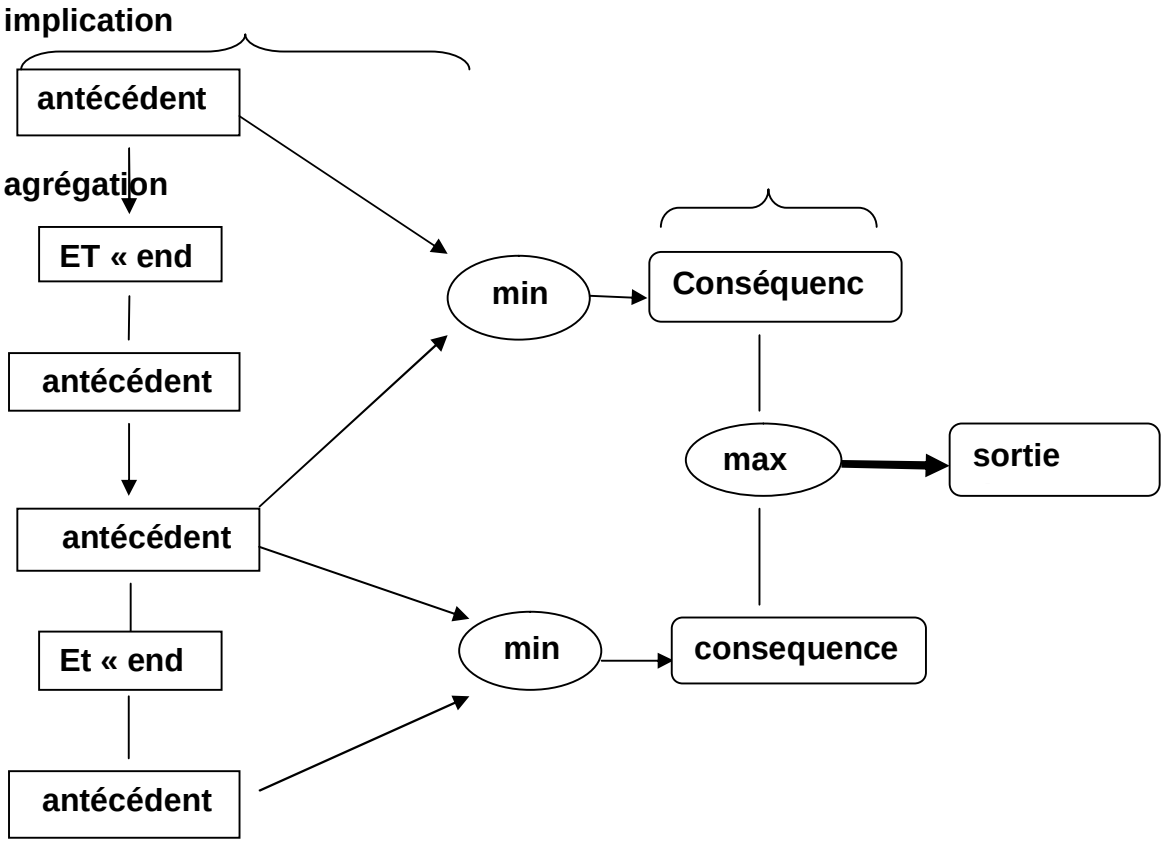


Figure II.15 Méthode d'inférence de type Mamdani

Puisque les inférences comportent les opérateurs flous comme l'opérateur 'ET' et 'OU' liant les variables et les règles floues, d'autre part et à cause de l'empiétement des fonctions d'appartenance, deux règles ou plus peuvent être actives en même temps. Donc il faut prévoir une méthode efficace permettant de réaliser les opérations floues dans une inférence, ce qui permet un traitement numérique de cette dernière, on parle de méthode ou mécanisme d'inférence. Les mécanismes d'inférence les plus utilisés sont :

- Le mécanisme **MIN-MAX.**
- Le mécanisme **MAX-PROD.**
- Le mécanisme **SOMME-PROD.**

Exemple: Nous allons considérer un système flou avec "n" règles linguistiques.

$$\begin{cases} si\ x\ est\ A_1\ ET\ y\ est\ B_1\ Alors\ z\ est\ C_1 \\ si\ x\ est\ A_2\ ET\ y\ est\ B_2\ Alors\ z\ est\ C_2 \\ si\ x\ est\ A_n\ ET\ y\ est\ B_n Alors\ z\ est\ C_n \end{cases}$$

Où x, y et z sont des variables linguistiques qui représentent les variables d'état du processus et Ai, Bi et Ci (i=1,…. n) sont les ensembles flous définis dans les ensembles de référence pour x, y, z respectivement. Au sens mathématique, l'activation d'une règle est l'application de T-normes pour obtenir le poids d'activation (ou degré d'accomplissement) de chaque règle. Alors le poids w_i obtenue de la i^{eme} règle du système précédent est :

$$w_i = \mu_{Ai}(x) \ ET \ \mu_{Bi}(y).$$

- **3)** Générer le conséquent qualifié de chaque règle.
- **4)** Faire une moyenne pondérée des conséquents qualifiés pour obtenir une sortie crisp (non floue).

II.5.4. La defuzzification:

L'opération inverse qui permet de passer d'une représentation sous forme de variable linguistique à une variable numérique applicable physiquement s'appelle la défuzzification. Il existe plusieurs méthodes permettant d'obtenir une valeur précise à partir d'un ensemble flou en entrée. On cite comme exemples la moyenne des maxima et le centre de gravité[18],[19] .La défuzzification appelée aussi combinaison des règles est nécessaire lorsque plusieurs règles d'inférence sont validées, car on se retrouve dans ce cas avec plusieurs ensembles flous de sortie, il faut donc appliquer une technique pour trouver une valeur de sortie.[22]

- **Méthode du centre de gravite (COG):**

En commande floue, la défuzzification COG est la plus utilisée. La valeur déffuséfiée est donnée dans le cas continue par :

$$y_0 = \frac{\int_{y_1}^{y_2} y\,\mu(y)\,dy}{\int_{y_1}^{y_2} \mu(y)\,dy}$$

Et dans le cas discret par :

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_i \ y_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu_i}$$

Avec n : niveau de discrétisation

$$y_i : i^{eme}\ sortie.$$

$$\mu_i : valeur\ d'appartenance\ de\ la\ i^{eme}\ \ sortie.$$

- **Méthode moyenne des maximums (MM):**

C'est la moyenne des valeurs de sorties les plus vraisemblables. La défuzzification MM est plutôt utilisée lorsqu'il s'agit de discriminer une valeur de sortie (Ex: reconnaissance de formes). Dans le cas discret la valeur déffuséfiée est donnée par :

$$y_0 = \sum_{i=1}^{L} \frac{r_i}{l}$$

l : n^{bre} de valeurs quantifiées r_i où l'appartenance est max.

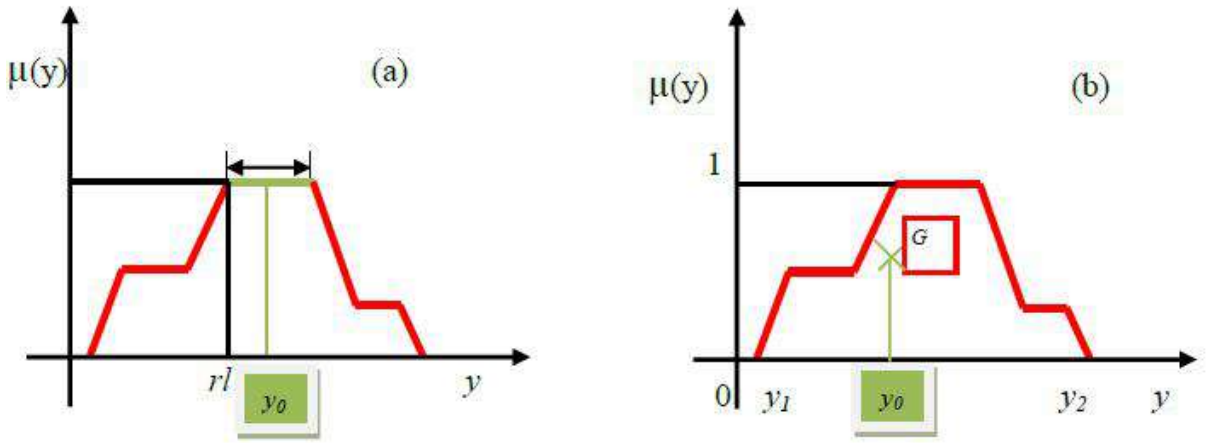


Figure. II.16 : (a) Moyenne des maximums, (b) Centre de gravité

II.6. Analyse et évaluation des données à base de concept flou :

II.6.1. Modèles mathématiques pour les données expérimentales floues

Soit une expérience aléatoire dont le résultat ne peut être prévue. On suppose que ce résultat est pourtant bien défini dans le sens où il appartient à un ensemble Ω bien précis de résultats possibles. Ω est appelé ensemble fondamental associé à l'expérience.

A l'issue d'une épreuve, on peut se demander si le résultat obtenu possède, ou non, une certaine propriété, elle aussi bien définie, correspondant à un événement aléatoire. A tout événement, on peut associer une partie de Ω telle que, si le résultat de l'épreuve est un élément de cette partie, alors nous dirons que l'événement est réalisé et réciproquement. Cette association établit une identification entre chaque événement et le sous-ensemble de Ω constitué des résultats qui possèdent la propriété caractérisant l'événement.

Soit A la classe des événements associés à une épreuve. On définit sur A des opérations logiques correspondant aux opérations d'union, d'intersection et de complémentation définies sur la classe des parties de Ω qui représentent ces événements.[23]

II.6.1.1. Les systèmes d'information floue :

Considérons une expérience aléatoire modélisée par un espace probabilisé (Ω, A, P), et soit

X : Ω→ une variable aléatoire réelle associée à l'espace (Ω , A, P). [23]

Définition 6.1.

– On appelle information floue un sous-ensemble flou $\tilde{x}$ de $\mathbb{R}$ de fonction d'appartenance $\mu_{\tilde{x}}: \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$ mesurable au sens de Borel (c'est-à-dire mesurable par rapport aux espaces $(\mathbb{R}, \mathfrak{B}_{\mathbb{R}})$ et $([0, 1], \mathfrak{B}[0,1])$, où $\mathfrak{B}[0,1]$ est la $\boldsymbol{\delta}$-algèbre des boréliens de [0, 1]), et telle que $supp(\tilde{x}) \subset X(\Omega)$

Définition 6.2.

– On appelle probabilité de l'information floue $\tilde{x}$ de X induite par P, la valeur de l'intégrale de Lebesgue-Stieltjes : $P(\tilde{x}) = \int_{\mathbb{R}} \mu_{\tilde{x}}(x) dp(x)$.

Définition 6.3.

– On appelle système d'information floue un ensemble fini ℵ = { $\tilde{x}_1 \dots . \tilde{x}_r$} dans lequel $\tilde{x}\ j$ est une information floue de X, j = 1,..., r et tel que ℵ est une partition floue finie de $\mathbb{R}$ (c'est-à-dire telle que $\sum_{j=1}^{r} \mu_{\tilde{x}_j}(x)$ = 1 pour tout $x \epsilon \mathbb{R}$.

II.6.1.2. Les variables aléatoires floues :

Les variables aléatoires floues généralisent les variables aléatoires réelles, et modélisent les situations dans lesquelles l'imprécision floue apparaît soit à la perception, soit à l'observation, soit dans la transmission des valeurs d'une variable aléatoire réelle (que l'on appelle alors l'originale de la variable aléatoire floue).

Soit $\mathcal{F}_N(\mathbb{R})$ la classe des quantités floues, et soit $\mathcal{F}_C(\mathbb{R})$ classe des nombres flous.

Définition 6.4.

– Soit (Ω, A,P) un espace probabilisé. On appelle variable aléatoire floue une application X : Ω → $\mathcal{F}_C(\mathbb{R})$ telle que, pour tout α ∈ [0, 1], les applications $inf X_\alpha$: Ω → $\mathbb{R}$ et sup X_α: Ω → $\mathbb{R}$ sont des variables aléatoires réelles où :

$infX_\alpha(\omega)$ = inf $(x(\omega))_\alpha$ et $supX_\alpha(\omega)$= sup $(x(\omega))_\alpha$ pour tout ω ∈ Ω (l'ensemble $(X(\omega))_\alpha$étant l'α-coupe du nombre flou X (ω) pour α ∈ (0, 1] et $(x(\omega))_0$ étant la fermeture de $supp\big(X(\omega)\big)$.

En effet, soit ε(Ω, A,P) la classe des variables aléatoires associées à l'espace probabilisé (Ω, A,P), et soit $X_0 \in \varepsilon$ (Ω, A,P) la variable originale. Si on peut évaluer le degré de possibilité $orig_x$(X) que chaque variable X ∈ ε(Ω, A,P) soit la variable originale de X , on peut construire la distribution de possibilité $orig_X$: ε(Ω, A,P) → [0, 1] telle que $orig_X$ (X) = $inf_{\omega \epsilon \mathbb{R}}\{\mu x_{(\omega)}\big(X(\omega)\big)\}$pour toute variable X ∈ ε(Ω, A,P).

Par ailleurs, si θ (X) est une caractéristique ou un paramètre réel d'une variable aléatoire réelle X, ou de sa loi de probabilité, on peut l'étendre par le principe d'extension de Zadeh pour définir la caractéristique floue ou le paramètre flou de la variable aléatoire floue X par θ (X) : $\mathbb{R}$ → [0, 1] tel que, pour tout t ∈ $\mathbb{R}$:

Θ (X) (t) = $\boldsymbol{sup_{x\epsilon\varepsilon(\Omega,A,P),\theta(x)=t} inf_{\omega\epsilon\Omega}\{\mu_{X(\omega)}(X(\omega))\}}$.

Il existe deux approches possibles du modèle pour les échantillons flous. Dans la première, les échantillons flous de X sont interprétés comme la réalisation d'une famille de variables aléatoires floues indépendantes et de même distribution que X (c'est-à dire, la réalisation d'un vecteur aléatoire flou, ou échantillon flou au hasard de X). Dans la deuxième approche, les échantillons flous représentent une perception floue d'une réalisation d'un échantillon pris au hasard de la variable aléatoire originale X_0. La première approche a été utilisée pour formaliser quelques propositions du calcul des probabilités pour les variables aléatoires floues, et la deuxième pour le développement d'études statistiques.

Une troisième approche, décrite ci-après, a été conçue pour modéliser les cas dans lesquels l'imprécision floue apparaît lors de la définition des valeurs de la variable aléatoire, c'est-à-dire les cas représentés par le schéma de la **figure II.17**.

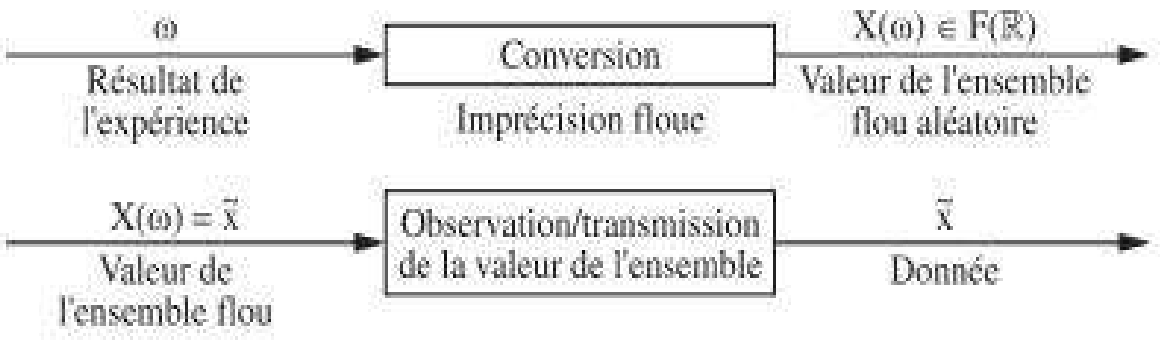


Figure II.17. Détails d'une expérience aléatoire avec une imprécision floue dans la conversion des résultats d'une expérience

II.6.1.3. Les ensembles flous aléatoires :

Les ensembles flous aléatoires modélisent les situations dans lesquelles l'imprécision floue apparaît dans l'unification des résultats des épreuves, et pour les quelle, on est intéressé par certaines caractéristiques (ou propriétés) des résultats des épreuves qui ne sont pas bien définies et qui sont des sous-ensembles flous de $\mathbb{R}\ ou\ de \mathbb{R}^k$.

Soit $\mathcal{F}(\mathbb{R}^k)$la classe des sous-ensembles flous normalisés $\tilde{v}$ de $\mathbb{R}^k$ de fonction d'appartenance $\mu_{\tilde{v}}$: $\mathbb{R}^k \rightarrow$ [0, 1] semi-continue supérieurement, et tels que l'enveloppe fermée convexe de $supp(\tilde{V})$ soit compacte.

Définition 6.5.

– Soit (Ω, A,P) un espace probabilisé. On appelle ensemble flou aléatoire une application X : Ω → $\mathcal{F}(\mathbb{R}^k$)telle que pour tout α ∈ [0, 1], l'α-coupe X_α: Ω→ $\mathcal{P}(\mathbb{R}^k)$ où X_α(ω) = $(X(\omega))_\alpha$ pour tout ω ∈ Ω , est un ensemble aléatoire compact (c'est-à-dire une application mesurable de (Ω, A) dans (K,($\mathbb{R}^k$), $\mathcal{B}\ d_H$ ($\mathbb{R}^k$) , où K($\mathbb{R}^k$) est la classe des parties de $\mathbb{R}^k$ compactes et non vides, et $\mathcal{B}_{d_H}(\mathbb{R}^k)$ est la σ-algèbre de Borel engendrée par la topologie induite sur K($\mathbb{R}^k$) par la distance de Hausdorff d_h:

$$d_H(A,B) = \max\{sup_{a\epsilon A}\ inf_{b\epsilon B}\|a-b\|, sup_{b\epsilon B} inf_{a\epsilon A}\|a-b\|$$

‖. ‖ étant la norme euclidienne sur ($\mathbb{R}^k$)

Définition 6.6.

– Soit X : Ω → $\mathcal{F}(\mathbb{R}^k)$ un ensemble flou aléatoire associé à l'espace probabilisé (Ω,A,P). On appelle espérance floue de X sur (Ω,A,P) l'unique élément $\tilde{E}$(X) de$\mathcal{F}$ ($\mathbb{R}^k$) (souvent appartenant à$F_C(\mathbb{R}^k)$), tel que ($\widetilde{E}$ $(X))_\alpha$= E(X_α) pour tout α ∈ [0, 1], où E(X_α) représente l'intégrale de Aumann de l'ensemble aléatoireX_α sur (Ω,A,P), c'est-à-dire :

E(X_α) = $\{\left(\int_\Omega X(\omega)dp(\omega)\ \middle|X\right)$: Ω , →$\mathbb{R}^k$, X ∈ L^1 (Ω, A, P), X ∈ X_αp.s.[P] }

(c'est-à-dire que E(X_α) est l'ensemble des intégrales sur (Ω, A,P) des variables aléatoires de (Ω, A) dans ($\mathbb{R}^k, \mathcal{B}_{\mathbb{R}_k}$) d'intégrales finies, et telles que l'ensemble ω ∈ Ω |X(ω) ∈ (X_α(ω)contienne un sous-ensemble de A ayant une probabilité égale à 1). En général $\tilde{E}$(X) ne sera pas une valeur prise par X . Une condition suffisante à l'existence de $\tilde{E}$(X) est que la fonction $\|X_0\|$: Ω → ℝ telle que$\|X_0\|$ (ω) = $sup_{X\in X_0(\omega)}\|x\|$ pour tout ω ∈ Ω soit une variable aléatoire réelle d'espérance finie.

Si X est un ensemble flou aléatoire avec des valeurs$\widetilde{V_1}$,..., $\widetilde{V_r}$ appartenant à $\mathcal{F}_c(\mathbb{R}^k)$, et C_j = {ω ∈ Ω |X (ω) = $\tilde{V}_j$, j = 1,...,r, on a :

$\tilde{E}$(X) =(P (C_1) ⊙ $\widetilde{V_1}$) ⊕⋯⊕ (P (C_r)⊕ $\widetilde{V_r}$) .

où ⊙ représente le produit d'un ensemble flou par un réel, défini par le principe d'extension de Zadeh, et ⊕ représente la somme d'ensembles flous définie d'après le même principe. Si X (Ω) ⊂$\mathcal{F}_c$ (ℝ), on peut conclure que :

$(\widetilde{E}\ (X))_\alpha$ = [E($inf X_\alpha$), E($sup X_\alpha$)]

= $\int_\Omega$ inf $X_\alpha\ (\omega) dp(\omega), \int_\Omega\ X_\alpha\ (\omega) dp(\omega)]$. [23]

Définition 6.7.

– Soit X : Ω → $\mathcal{F}_c(\mathbb{R}^k)$ un ensemble flou aléatoire associé à l'espace probabilisé (Ω, A, P), et on suppose que $\widetilde{E}$ (X) existe. On appelle variance de X sur (Ω, A, P) la valeur réelle de l'intégrale :

VAR (X)= k $\int_\Omega\ \int_{[0,1]} \int_{S^{K-1}} (S_{X_{(\omega)}}(\alpha. u) - S_{\tilde{E}_{(X)}}(\alpha, u)^2 dv(u) d\alpha\ dp(\omega)$.

où S^{K-1} est la sphère unité à(k − 1)dimensions, v est la mesure de Lebesgue sur S^{K-1} et $S_{\tilde{V}}$(α, .) est la fonction support de$\tilde{V}_\alpha$, c'est-à-dire :

$S_{\tilde{V}}(\alpha, u)$ = $sup_{x \epsilon \tilde{v}_\alpha}$ < u, x >Pour tout u ∈ S^{K-1},

<. , . >Étant le produit intérieur dans $\mathbb{R}^k$

Définition 6.8.

– Soit X **:** Ω → $\mathcal{F}_c$(ℝ) un ensemble flou aléatoire associé à l'espace probabilisé (Ω, A,P), et on suppose que $\widetilde{E}$ (X) existe. On appelle S-dispersion quadratique moyenne centrale de X sur (Ω, A,P) la valeur réelle de l'intégrale :

$$\triangle_s^2\ (\boldsymbol{x}) = \int_{\boldsymbol{\Omega}}\ \int_{[\mathbf{0},\mathbf{1}]} \int_{[\mathbf{0},\mathbf{1}]} (\boldsymbol{f}_{\boldsymbol{X}_{(\omega)}}(\boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{t}) - \boldsymbol{f}_{\widetilde{\boldsymbol{E}}_{(\boldsymbol{X})}}(\boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{t})^2\ \boldsymbol{dSt}\ \boldsymbol{d\alpha}\ \boldsymbol{dp}(\boldsymbol{\omega}).$$

où S est une mesure sur l'espace mesurable ([0, 1],$\mathcal{B}_{[0,1]}$) telle que dS(t) = g(t)dt avec g(t) = $\bar{g}$(t) + $\sum_{i=1}^{T} K_i\ \delta(t - t_i). \bar{g}$ étant une fonction mesurable au sens de Lebesgue, δ étant la distribution de Dirac (c'est-à-dire, δ(t − t_i) = 1 si t =t_i, = 0 sinon) :

g(t) ≥ 0 pour tout t ∈ [0, 1], $\int_{[0.1]} g(t) dt$ = 1,

g(0) > 0, g(1) > 0 et t_1= 0, t_T= 1 si T > 1,

et : $f_{\tilde{V}}$(α, t) = t sup $\tilde{V}_\alpha$+ (1 − t) inf $\tilde{V}_\alpha$pour tout t,α ∈ [0, 1],$\tilde{V}$∈ $\mathcal{F}_c(\mathbb{R})$.

Définition 6.9.

– Soit X : Ω → $\mathcal{F}_c(\mathbb{R}^k)$ un ensemble flou aléatoire associé à l'espace probabilisé (Ω, A,P), et on suppose que $\widetilde{E}$ (X) existe. On appelle variance généralisée de X sur (Ω, A,P) la valeur réelle de l'intégrale :

$$varX = \int_\Omega \int_{[0.1]} \int_{S^{K-1}} [S_{X_{(\omega)}}(\alpha, u) - S_{\tilde{E}_{(x)}}(\alpha, u).\left(S_{X_{(\omega)}}(\beta, v) - S_{\tilde{E}_{(X)}}(\beta, v)\right] dk(\alpha, u, \beta, v) dp(\omega).$$

K étant un noyau symétrique et défini positif

Définition 6.10.

– Soit X : Ω →$\mathcal{F}_c(\mathbb{R})$ un ensemble flou aléatoire associé à l'espace probabilisé (Ω, A,P), on suppose que $\widetilde{E}$ (X) existe et que X_0 (Ω) ⊂ (0, +∞). Soit aussi φ : (0, +∞) → $\mathbb{R}$ une fonction convexe (strictement) et monotone, appartenant à C^1et telle que φ (u) + φ (1/u) ≥ 0 pour tout u ∈ (0, +∞) et f (1) = 0. On définit le φ -index d'inégalité flou de X sur par l'élément de$\mathcal{F}_c(\mathbb{R})$: $\tilde{I}_\varphi(X) = \tilde{E}[\varphi(X \oslash \tilde{E}(X).$

où ⊘ représente l'opération quotient d'ensembles flous définie selon le principe d'extension de Zadeh et $\varphi(X \oslash \tilde{E}(X))$est l'image de X ⊘ $\tilde{E}(X)$induite par φ suivant le même principe.

Définition 6.11.

– Soit X : Ω→$\mathcal{F}_c(\mathbb{R})$ un ensemble flou aléatoire et φ: (0, +∞) →$\mathbb{R}$ une fonction satisfaisant les conditions de la définition 6.9. On définit le φ-index d'inégalité réel de X sur par la valeur réelle Ω : $I_\varphi(x) = F\left(\tilde{I}_\varphi(x)\right)$.

$$F(\tilde{V}) = \int_{[0.1]} \frac{sup\tilde{V}_\alpha + inf\tilde{V}_\alpha}{2} d\alpha.$$

C'est-à-dire :

$$I_{\varphi}(X) = \frac{1}{2}\int_{[0.1]}\int_{\Omega} [\varphi(\frac{infX_{\alpha}(\omega)}{E(supX_{\alpha})}) + \varphi\left(\frac{\text{supX}_{\alpha}(\omega)}{\text{E(infX}_{\alpha})}\right) \text{dp}(\omega)\text{d}\alpha$$

II.6.2. Traitement des données statistiques floues :

Dans cette section, on rappelle quelques travaux sur le traitement des données floues dans des perspectives descriptives et des perspectives différentielles.[23]

II.6.2.1. Traitement statistique des données floues unidimensionnelles :

Dans ce paragraphe, le traitement porte sur un ensemble de méthodes dont le but essentiel est d'utiliser la réalisation d'un échantillon composé de données floues, soit pour estimer un paramètre réel inconnu de la loi de probabilité d'une variable réelle unidimensionnelle (ou pour estimer un paramètre flou ou réel inconnu de la « loi de probabilité » d'une variable aléatoire floue ou d'un ensemble flou aléatoire), soit pour confronter une loi de probabilité théorique ou les valeurs de certaines caractéristiques de cette loi avec les données empiriques de l'échantillon.[23]

Théorème 6.1

– Soit X une variable aléatoire réelle associée à un espace probabilisé, et soit $(\mathbb{R}.\mathfrak{B}_{\mathbb{R}}.\text{P}_{\theta})$l'espace probabilisé induit par X, θ étant un paramètre réel inconnu dont la valeur appartient à l'espace Θ. On suppose que la famille de lois de probabilités {P_{θ} , θ ∈ Θ } est dominée soit par la mesure de cardinalité, soit par la mesure de Lebesgue λ. Faisons les hypothèses de régularité suivantes sur la loi Pθ :

– Θ est un intervalle réel dont les bornes sont différentes ;

– l'ensemble X(Ω) = {x ∈ $\mathbb{R}$|f_{θ} (x) > 0} est indépendant de θ ∈Θ, où f_{θ} est la densité de probabilité de P_{θ} par rapport à λ ;

– P_{θ} est dérivable au moins deux fois en θ sous l'intégrale de Lebesgue-Stieltjes.

Faisons aussi les hypothèses de régularité suivantes sur l'échantillon flou ($\bar{x}_1$,..., $\bar{x}_n$) de X (où $\bar{x}_i$est une information floue pour tout i ∈ {1,...,n}) :

– λ($\bar{x}_1$,..., $\bar{x}_n$) =$\int_{\mathbb{R}^*} \mu_{(\bar{x}_1,\bar{x}_n)}\,(x_1, \dots x_n)d\lambda(x_1) \dots d\lambda(x_n)$, et la fonction d'inexactitude :

$$\mathfrak{V}(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n, \theta) = -\int_{\mathbb{R}^*} \mu_{|(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n)|}\,(x_1 \dots . . x_n) \dots \dots . logL_\theta(x_1 \dots . . x_n) d\lambda(x_1) dy(x_n)$$

$$\mu_{|(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n)|} = \left(\frac{\mu_{\overline{(x}_1 \dots . \bar{x})_n}(x_1 \dots x_n)}{\int_{\mathbb{R}^n} \mu_{(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)}\,(x_1 \dots x_n) d\lambda(x_1) \dots d\lambda(x_n)}\right)$$

Prennent des valeurs finies pour tout θ ∈ Θ ;

– la fonction produit ($\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n$) (.) log L(· ; θ) est régulière dans le sens suivant :

$\frac{\partial}{\partial\theta}\mathfrak{V}(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n, \theta) = -\int_{(x(\Omega))^n} \mu_{(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)}(x_1 \dots x_n) . \frac{\partial}{\partial\theta} logL(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n, \theta) d\lambda(x_1) \dots d\lambda(x_n)$.

et

$$\frac{\partial^2}{\partial\theta^2}\mathfrak{V}(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n, \theta) = -\int_{(x(\Omega))^n} \mu_{(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)}(x_1 \dots x_n) . \frac{\partial^2}{\partial\theta^2} logL(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n, \theta) d\lambda(x_1) \dots d\lambda(x_n)$$

S'il existe un estimateur efficace T ($x_1 \dots x_n$) de θ pour un échantillon aléatoire $x_1 \dots x_n$de X, l'équation d'inexactitude : $\frac{\partial}{\partial\theta}\mathfrak{V}(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n, \theta)$= 0(2)

a une solution minimisant l'inexactitude $\mathfrak{V}(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n, \theta)$ dans Θ.

D'autre part, si T ($x_1 \dots x_n$) est un estimateur sans biais de la fonction h(θ) et h est biunivoque sur 1, l'équation d'inexactitude a une solution unique minimisant l'inexactitude $\mathfrak{V}(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n, \theta)$= et prenant la valeur $\theta^*(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n)$= ∈ Θ telle que :

h($\theta^*(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n \bar{x}_n)$)= $\int_{\mathbb{R}^n} \mu_{|(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n)|}\,(x_1 \dots x_n)$ T($x_1 \dots x_n$) dλ(x_1)….$d\lambda(x_n)$.

Théorème 6.2.

– Soit X une variable aléatoire réelle associée à un espace probabilisé et soit ($\mathbb{R}, \mathfrak{B}_\mathbb{R}, \mathbb{R}$) l'espace probabilisé induit par X, θ étant un paramètre réel inconnu dont la valeur appartient à l'espace Θ. Soit δ ∈ (0, 1) et n ∈ℕ. Supposons que T_n^1: $\mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ et T_n^2: $\mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ soient deux fonctions continues et croissantes en chaque composante réelle, telles que $T_n^1(x_1 \dots x_n) \leq T_n^1(x_1 \dots x_n)$ pour tout $(x_1 \dots x_n) \in \mathbb{R}^n$, et aussi telles que $p_\theta T_n^1(x_1 \dots x_n) \leq \theta \geq 1 - \delta_1$et $p_\theta T_n^2(x_1 \dots x_n) \geq \theta \geq 1 - \delta_2 ou\ \delta_1, \delta_2 \in$ (0, 1) et $\delta_1 + \delta_2$= δ.

Si$(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n)$ est un échantillon flou à partir de X, l'intervalle flou $I_n(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n)$ tel que pour α ∈ [0, 1] l'α-coupe $(I_n(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n))_\alpha$ est :

(I) $[T_n^1 (\inf (\bar{x}_1)_\alpha \dots . \inf (\bar{x}_n)_\alpha); T_n^2 (\sup (\bar{x}_1)_\alpha \dots . \sup(\bar{x}_n)_\alpha)] si\ T_n^1 (\inf (\bar{x}_1)_\alpha \dots . \inf (\bar{x}_n)_\alpha) > -\infty\ et\ T_n^2 \sup (\bar{x}_1)_\alpha \dots . \sup(\bar{x}_n)_\alpha] < +\infty$.

(II) $[T_n^1 (\inf (\bar{x}_1)_\alpha \dots . \inf(\bar{x}_n)_\alpha, +\infty)\ si\ T_n^1 (\inf (\bar{x}_1)_\alpha \dots . \inf (\bar{x}_n)_\alpha) > -\infty\ et\ (\sup (\bar{x}_1)_\alpha \dots . \sup(\bar{x}_n)_\alpha)] = +\infty$,

(III) $(-\infty, T_n^2 (\sup (\bar{x}_1)_\alpha \dots . \sup(\bar{x}_n)_\alpha)\ siT_n^1 (\inf (\bar{x}_1)_\alpha \dots . \inf(\bar{x}_n)_\alpha) = -\infty et\ T_n^2 (\sup (\bar{x}_1)_\alpha \dots . \sup(\bar{x}_n)_\alpha) < +\infty$,

(IV) (iv) (−∞, +∞) sinon, est un intervalle flou de confiance 1 − δ pour le paramètre floue θ (x)

Théorème 6.3.

– Soit X : Ω→ $\mathcal{F}_c(\mathbb{R})$un ensemble flou aléatoire simple associé à un espace probabilisé (Ω, A,P) (c'est-à-dire que X (Ω) = { $\bar{x}_1^*, \bar{x}_2^*$,..., r } est un ensemble fini). Soit $X_1 \dots X_n$ des ensembles flous aléatoires indépendants à partir de X et supposons que P ({ω ∈ |X (ω) = $\bar{x}_l^*$}) = P_l où P_l∈ (0, 1), l = l, . . . , r,$\sum_{l=1}^r P_l$ = 1. Soit S une mesure qui satisfait les conditions de la **définition 6.8.** Soit $\delta_s^2(X_1 \dots X_n)$ l'estimateur analogique de $\triangle_s^2 (X)$(c'est-à-dire que $\delta_s^2(X_1 \dots X_n)$ est la S-dispersion quadratique moyenne centrale pour l'échantillon flou au hasard $(X_1 \dots X_n)$).

Pour tester l'hypothèse nulle H_0: $\triangle_s^2$ (X) = δ_0 contre l'hypothèse alternative

H_1: $\triangle_s^2$ (X) =δ_0, le test avec la région d'acceptation :

$$A_\gamma = \{\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n \parallel |\delta_s^2 (\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n) - \delta_0| \leq 2\alpha \sqrt{\frac{\delta^2(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n)}{n}}\}$$

où $\delta_s^2 (\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n)$est la variance classique de la variable aléatoire réelle qui prend les valeurs $[\mathcal{F}_{\bar{x}_i^*}(\alpha, t) - \sum_{j=l}^r q_j(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n)\mathcal{F}_{\bar{x}_j^*}(\alpha, t)]^2$avec des probabilités respectives $q_l(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n)$= fréquence relative de $\bar{x}_1^*$dans la réalisation de l'échantillon flou $(\bar{x}_1 \dots . \bar{x}_n)$ avec l= 1,...,r, et pour γ ∈ (0, 1) la valeur $z_\gamma$est le quantile d'ordre 1 − γ /2 de la loi de Laplace-Gauss centrée et réduite, c'est-à-dire la valeur dans la table de cette loi telle que $\phi(z_\gamma)$ =(z_γ) = 1 − γ /2,ϕ étant la fonction de répartition de cette loi) est un test de niveau de signification à peu près γ .

Théorème 6.4.

– Si X et Y sont deux ensembles flous aléatoires associés à l'espace probabilisé (Ω, A,P), et S est une mesure qui satisfait les conditions de la définition 6.8 avec une fonction g telle que g(t) = g(1 − t) pour tout t ∈ [0, 1], la fonction φ(a, b) est minimale en l'unique $(a^*, b^*) \in \mathbb{R}^2$ tel que :

$\varphi(a^*, b^*) = \min\{\varphi(a_1, b_1), \varphi(a_2, b_2)\}$.

où :

$$\boldsymbol{a^* = \frac{[E(w_s(x,y) - E(V_s(X))E(V_s(Y))]}{[E([D_s(X,0)]^2) - [E(V_s(X)]^2]}, b^2 = E(V_s(Y) - a^* E(V_s(X),}$$

si $E\left(W_s'(X,Y)\right) \geq E(V_s(X))E(V_s(Y)), ou\ E(W_s(X,Y)) > E(V_s(X))E(V_s(Y)) > E(W_s'(X,Y),$

$$a^* = \frac{[E(w_s'(X,Y) - E(V_s(X))E(V_s(Y))]}{[E([D_s(X,0)]^2) - [E(V_s(X))]^2]}, b^2 = E(V_s(Y) - a^* E(V_s(X)$$

si$E(V_S(X))E(V_s(Y)) \geq E(W_s(X,Y)), ou\ E(W_s(X,Y)) > E(V_s(X))E(V_s(Y)) > E\left(W_s'(X,Y)\right)$.

Avec : $V_s(\tilde{A}) = \int_{[0.1]} \int_{[0.1]} F_{\tilde{A}}(\alpha, t) dS(t) d\alpha.$

$W_s(\tilde{A}, \tilde{B}) = \int_{[0.1]} \int_{[0.1]} F_{\tilde{A}}(\alpha, t) F_{\tilde{B}}(\alpha t\, dS(t) d\alpha$ **Et**

$$W_s'(\tilde{A}, \tilde{B}) = \int_{[0.1]} \int_{[0.1]} F_{\tilde{A}}(\alpha, 1-t) F_{\tilde{B}}(\alpha, t) dS(t) d\alpha. \text{ [23]}$$

II.7.Avantages et inconvénients de la commande par logique floue :

La commande par logique floue réunit un certain nombre d'avantages et de dés inconvénients.[24]

- **Les avantages essentiels sont :**

• La non-nécessité d'une modélisation (cependant, il peut être utile de disposer d'un modèle convenable).

• La possibilité d'implanter des connaissances (linguistiques) de l'opérateur de processus.

• La maîtrise du procédé avec un comportement complexe (fortement non-Linéaire et difficile à modéliser).

• L'obtention fréquente de meilleures prestations dynamiques (régulateur non-linéaire);

• Deux solutions sont possibles: solution par logiciels (par microprocesseur, DSP et PC) ou solution matérielle (par fuzzy processeurs).[24]

➢ Les inconvénients de la commande par logique floue sont :

• Le manque de directives précises pour la conception d'un réglage (choix des grandeurs à mesurer, détermination de la fuzzification, des inférences et de la défuzzification).

• L'approche artisanale et non systématique (implantation des connaissances des opérateurs souvent difficile).

• L'impossibilité de la démonstration de la stabilité du circuit de réglage en toute généralité (en l'absence d'un modèle valable).

• La possibilité d'apparition de cycles limites à cause de fonctionnement non-linéaire.

• La cohérence des inférences non garantie a priori (apparition de règles d'inférence contradictoires possible).

En tout cas, on peut confirmer que le réglage par logique floue présente une solution valable par rapport aux réglages conventionnels. Cela est confirmé non seulement par un fort développement dans beaucoup de domaines d'application, mais aussi par des travaux de recherche sur le plan théorique. Ainsi, il est possible de combler quelques lacunes actuelles, comme le manque de directives pour la conception et l'impossibilité de la démonstration de la stabilité en l'absence d'un modèle valable.[24]

II.8. CONCLUSION

La logique floue est utilisable pour résoudre tous les problèmes dans lesquels on dispose de connaissances imprécises, vagues, soumises à des incertitudes de nature non probabiliste. C'est en particulier le cas lorsqu'un être humain apparaît dans le système à traiter, comme c'est le cas pour l'opérateur qualifié spécialiste d'une machine dont on veut automatiser le fonctionnement, ou pour le conducteur d'une voiture dont on souhaite régler la climatisation automatiquement pour optimiser son confort. C'est encore plus spécifiquement le cas quand on a des informations sensorielles (relatives au goût, au toucher, à l'odeur, etc.) à traiter, très difficiles à décrire et à exploiter.

Si la commande de processus reste un domaine de prédilection de la logique floue, l'intelligence artificielle est un domaine particulièrement adapté à l'utilisation des sous-ensembles flous et de la théorie des possibilités. Dans ce domaine, ils ont d'abord été utilisés pour la construction de systèmes experts, puis dans des méthodes de raisonnement à partir de cas et de raisonnement par analogie. Ils sont également depuis longtemps utilisés dans des méthodes de classification ou de regroupement, ainsi que dans la construction de prototypes de classes et dans l'apprentissage à partir d'exemples à l'aide d'arbres de décision. Dans toutes ces méthodes, la similarité ou la ressemblance entre des objets ou des situations sont des concepts clés, pour lesquels il s'avère intéressant d'utiliser des définitions plus souples que les classiques distances.

L'aide à la décision est aussi riche d'utilisations de méthodes utilisant des concepts de la théorie des ensembles flous. De nombreuses méthodes d'agrégation de données et de fusion d'informations en sont par exemple issues.

Chapitre III

Approche de prise de décision basée sur la logique floue

III.1 Introduction

Les modèles probabilistes sont très répandus en quantification et en évaluation des risques. Ils sont devenus la pierre angulaire de la prise de décisions éclairées en matière de risque dans de nombreux domaines. Toutefois, un modèle probabiliste bâti sur la théorie classique des ensembles peut difficilement décrire certains risques d'une manière significative et pratique. Le manque de données d'expérience, conjugué aux liens imbriqués de cause à effet et à l'imprécision des données, compliquent l'appréciation du degré d'exposition à certains types de risque à l'aide des seuls modèles probabilistes classiques. Parfois, même en recourant à un modèle de risque quantitatif crédible étalonné pour tenir compte des données d'expérience, la cause du risque et ses caractéristiques peuvent être compris de façon incomplète. D'autres modèles, notamment un modèle de logique floue et le modèle d'arbre de décision, tiennent compte explicitement des liens de cause à effet sous-jacents et en reconnaissent la complexité inconnue. Ces modèles plus nouveaux sont plus efficaces pour faire comprendre et évaluer certains risques, notamment le risque des installations gazières.

III.2. Type des installations gazières :

III.2.1. Turbine liée:

La machine la plus simple est la turbine liée appelée encore turbine fixe ou turbine solide. Elle ne comporte, outre la chambre de combustion, qu'un seul ensemble tournant, arbre sur lequel sont montés le compresseur et la turbine de détente ; le tout combine les fonctions de générateur de gaz (entraînement du compresseur) et de récepteur (prise de puissance). [25]

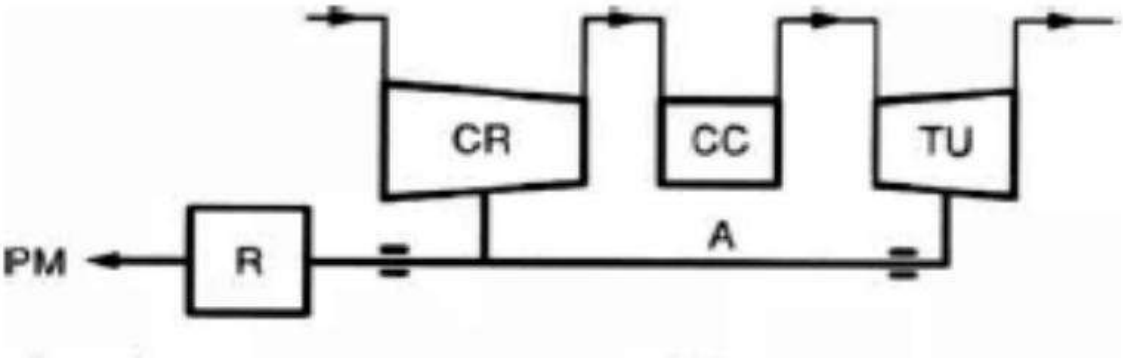


Figure III.1 Schéma de la Turbine liée

Bien souvent, un boîtier d'engrenages (multiplicateur ou réducteur) de vitesses vient compléter le turbomoteur afin de faciliter son accouplement à la machine entraînée. Selon la position du réducteur, on a affaire à un turbomoteur à prise de mouvement avant ou arrière. Sans réducteur, la turbine à gaz est dite à prise directe. [25]

III.2.2 Turbine libre:

Elle est constituée d'un générateur de gaz bien distinct du récepteur de puissance, pour les machines plus sophistiquées, généralement de plus forte puissance, le générateur de gaz peut être double corps, c'est-à-dire constitué de deux ensembles tournants, avec des vitesses de rotation distinctes : un corps basse pression et un corps haute pression. Ce dispositif, où les deux compresseurs fonctionnent en série, facilite la conduite de la machine lors des régimes transitoires rapides lorsque les taux de compression globaux sont élevés; on évite ainsi de rencontrer le phénomène de pompage. Le récepteur comprend l'organe de détente, appelé turbine de puissance, monté sur un arbre indépendant de celui du générateur de gaz et pourvu ou non d'un boitier d'engrenages (réducteur ou multiplicateur) de vitesses. La prise de mouvement peut être avant ou arrière. [25]

Différentes configurations de la turbine libre :

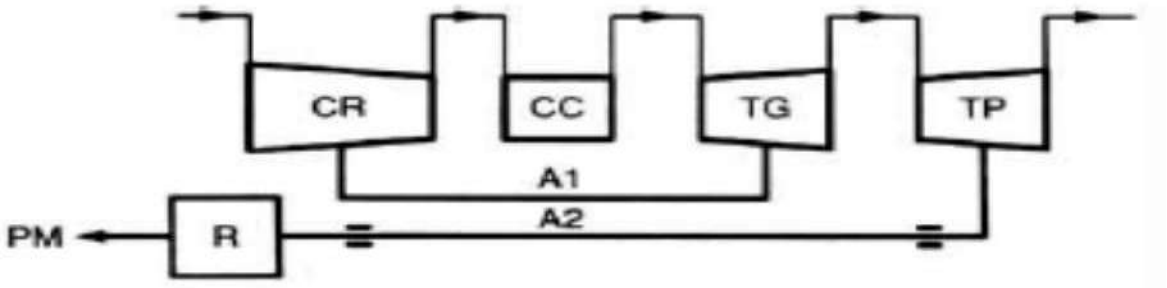


Figure III.2 : Monocorps, prise avant et arbres concentriques

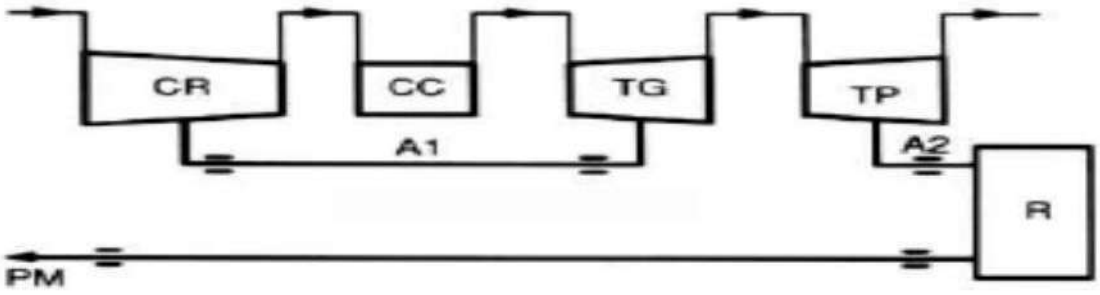


Figure III.3 : Monocorps, prise avant et arbres parallèles[25]

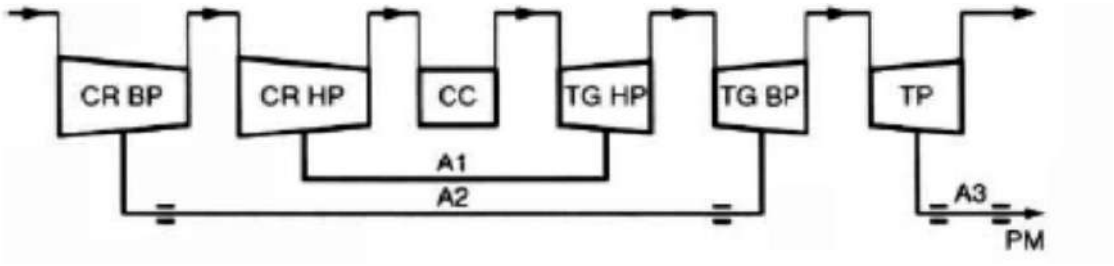


Figure .III.4: Double corps, prise directe arrière et arbres concentriques

***A** Arbre ; **CC** Chambre de combustion ;**CR** Compresseur ;**PM** Prise de mouvement ; **R** Réducteur ;**TG** Turbine générateur ;**TP** Turbine de puissance ;**BP, HP** basse, Haute pression

III.2.3 Turbines à échangeurs de chaleur:

Appelées aussi turbines à récupérateur, ces machines sont caractérisées par l'emploi d'un échangeur thermique qui récupère une partie de la chaleur perdue dans les gaz d'échappement de la turbine pour la transférer au fluide actif après la compression ; de ce fait, pour une même température à l'entrée de la turbine, l'apport de chaleur dû à la combustion est diminué, ce qui améliore le rendement thermique du moteur. Des gains de 20 à 30 % sont ainsi possibles mais au prix d'une sensible complication de la machine. [25]

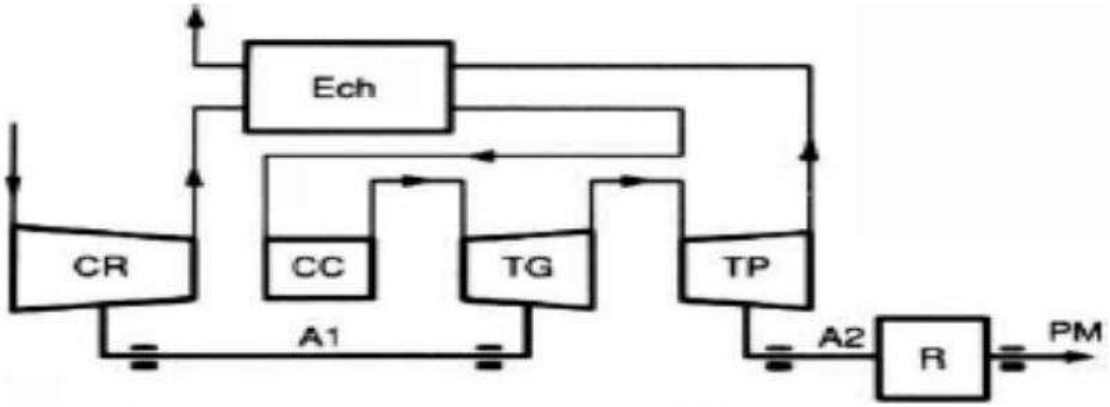


Figure III.5 : Schéma d'une turbine avec récupérateur (échangeur de chaleur)

III.2.4 Compression refroidie et détente réchauffée:

III.2.4.1 La compression refroidie:

Elle permet d'augmenter la puissance spécifique et le rendement thermique du moteur en se rapprochant d'une compression isotherme moins coûteuse en énergie qu'une compression adiabatique. [25]

Avec un échangeur thermique, on réalise un refroidissement de l'air entrant dans le compresseur par un fluide réfrigérant. Comme il est nécessaire de disposer d'un fluide réfrigérant en quantité suffisante, cette disposition ne se rencontre pratiquement que dans les installations industrielles. [25]

En aéronautique, on utilise parfois l'injection d'eau dans le compresseur ; ce procédé qui, par vaporisation de l'eau, prélève une certaine quantité de chaleur au fluide actif est à rattacher à la compression refroidie. [25]

III.2.4.2 La détente réchauffée:

Directement inspirée des turbines à vapeur dites à resurchauffe, elle permet aussi l'augmentation de la puissance spécifique et du rendement du moteur. Elle vise à effectuer une détente qui se rapproche de l'isotherme et qui produit donc plus de puissance qu'une détente adiabatique (plusieurs détentes élémentaires). [25]

Grâce au large excès d'air que laisse la combustion principale, il est possible de brûler dans une deuxième chambre de combustion une nouvelle quantité de carburant et de remonter ainsi le niveau de température du fluide actif avant de terminer sa détente. [25]

On peut aussi, notamment dans le cas de machines à cycles fermés, répéter l'opération par un deuxième apporte de chaleur au fluide actif et utiliser, pour

l'ensemble du réchauffage, des échangeurs thermiques situés entre deux détentes partielles. Ce procédé, souvent combiné à la compression refroidie, permet d'améliorer notablement les performances mais, encore une fois, au prix d'une sérieuse complication de la machine. [25]

Ainsi les figures suivantes représentent ces types de turbines :

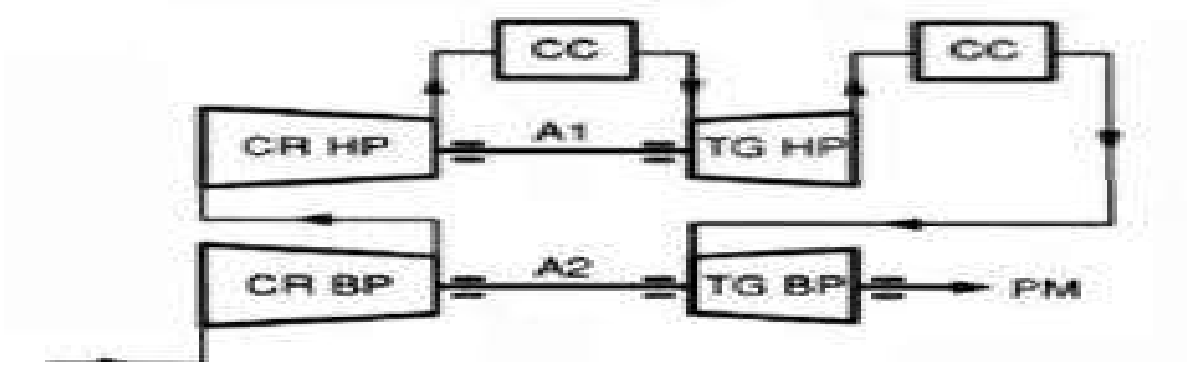


Figure III.6 Turbine double corps à détente réchauffée

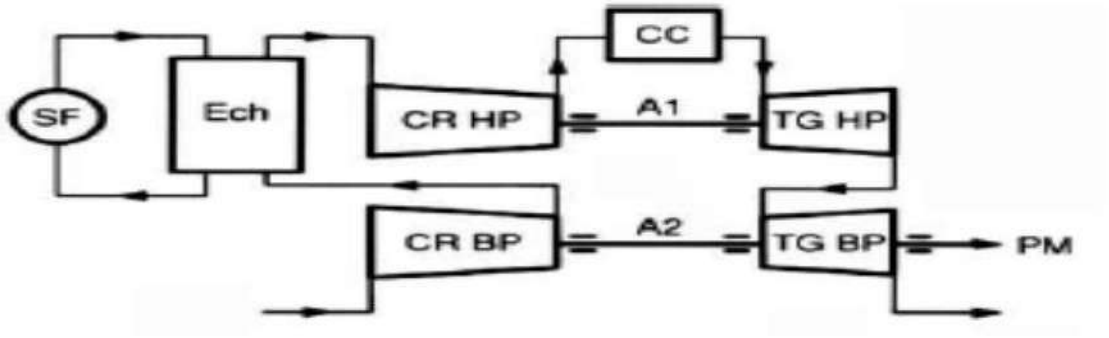


Figure III.7 Turbine double corps à compression refroidie

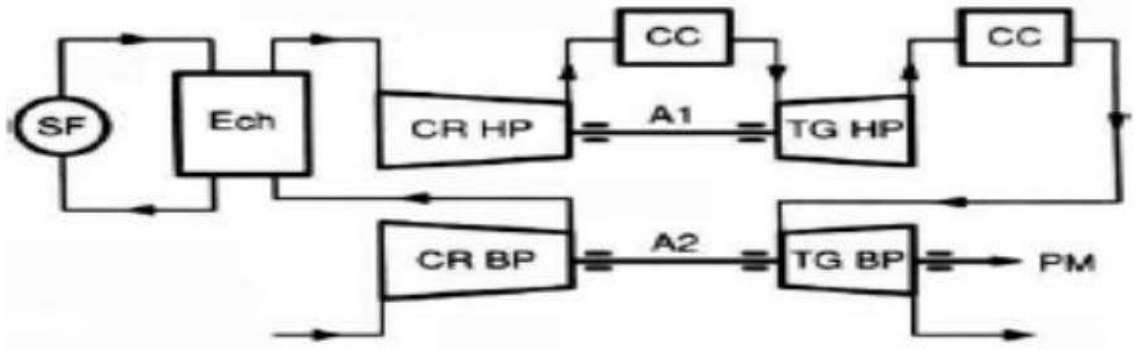


Figure III.8 Turbine a compression refroidie et détente réchauffée

III.2.5 Turbines à Cycles fermés:

Dans les machines à cycles ouverts, le fluide actif (air atmosphérique) est renouvelé en permanence. Au contraire, dans les installations à cycles fermés, ce sont les mêmes particules de fluide qui parcourent indéfiniment les différents organes de la machine. La chambre de combustion est alors remplacée par un échangeur thermique qui transfère la chaleur d'une source chaude au fluide actif. Il devient indispensable de refroidir le fluide, dans un autre échangeur (radiateur ou Pré-réfrigérant), qui joue le rôle de source froide, avant son retour à l'entrée du compresseur. [25]

Les dispositifs d'amélioration des cycles ouverts sont aussi applicables aux turbines à cycles fermés :

Récupérateur à la sortie turbine, compression refroidie et détente réchauffée.

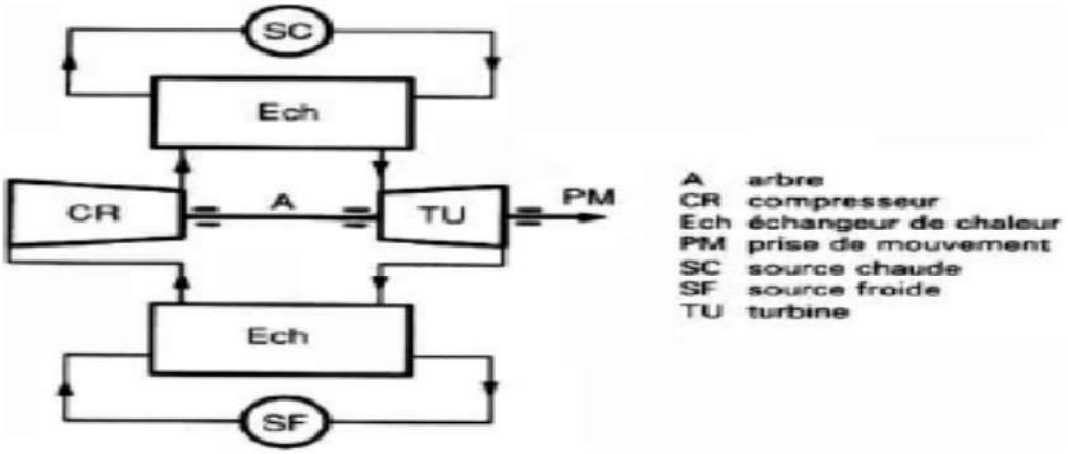


Figure III.9 Turbine à cycle ferme

III.3 Surveillances des installations gazières :

III.3.1 Définition :

La surveillance est un dispositif passif, informationnel qui analyse l'état du système et fournit des indicateurs. La surveillance consiste notamment à détecter et à classer les défaillances en observant l'évolution du système, puis à les diagnostiquer en localisant les éléments défaillants et en identifiant les causes premières.

La surveillance se compose donc de deux fonctions principales qui sont la détection et le diagnostic.

a. La détection :

Pour détecter les défaillances du système. Il faut être capable de placer les situations observables comme étant normales ou anormales.

b. Diagnostic industriel :

C'est l'identification de la (les) cause (s) probable (s) de la défaillance à l'aide d'un résonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test.

Une défaillance peut généralement être expliquée par plusieurs défauts qui conduisent à la même panne, ce qui complique l'opération inverse, en l'occurrence le diagnostic.

c. Localisation :

La localisation permet de déterminer le sous-ensemble fonctionnel défaillant. [26]

III.3.2 Méthodes de surveillance :

Les méthodologies de surveillance sont généralement divisées en deux groupes : Méthodologie de surveillance avec modèle et sans modèle.

III.3.2.1 Les méthodes de surveillance avec modèle :

Les méthodes de diagnostic à base de modèle connues aussi comme diagnostic à partir de principes premiers, sont appropriées quand l'information disponible sur le processus, permet d'utiliser les principes physiques de processus et leur compréhension. Ces méthodes comprennent des outils industriels comme l'arbre de défaillances (ADD), utilisé essentiellement pour le diagnostic. [30]

- **Les méthodes de diagnostic par la modélisation fonctionnelle et matérielle :**

Le principe de ces méthodes consiste à établir *a priori* et de la manière la plus complété possible, les liens entre les causes initiales des défaillances et leurs effets mesurables. Les méthodes les plus couramment rencontrées sont (AMDEC) et (ADD).[26]

- **Les méthodes de surveillance par modélisation physique :**

Les méthodes de surveillance avec modèle physique ont pour principe de comparer les mesures effectuées sur le système aux informations fournies par le modèle. Tout écart est alors synonyme d'une défaillance. Les outils de théorie de décision sont ensuite utilisés pour déterminer si cet écart est dû à des aléas normaux.[28]

III.3.2.2 Les méthodes de surveillance sans modèle :

Nombreuses sont les applications industrielles dont le modèle est difficile, voire impossible à obtenir, suite à une complexité accrue ou à de nombreuses reconfigurations intervenants durant le processus de production. Pour ce type d'applications industrielles, les seules méthodes de surveillance opérationnelles sont celles sans modèle. Deux solutions existent dans ce cas : surveillance avec des tests statistiques du traitement du signal et surveillance par intelligence artificielle.[27]

- **Surveillance par utilisation des outils statistiques de traitement de signal :**

Les outils statistiques de détection de défaillances consistent à supposer que les signaux fournis par les capteurs possèdent certaines propriétés statistiques. On effectue alors quelques tests qui permettent de vérifier si ces propriétés sont présentes dans un échantillon des signaux mesurés. Une grande variété de tests, applicables sur un échantillon de mesure. Parmi les plus importants, nous mentionnons : le test de franchissement de seuils, le test de moyenne et le test de variance.[27]

- **Surveillance par intelligence artificielle :**

L'intelligence artificielle est une discipline scientifique recherchant des méthodes de résolution de problèmes à forte complexité logique ou algorithmique. Son utilisation permet de pallier la complexité des systèmes à diagnostiquer. La classification des méthodes en l'absence de modèle du procédé est quelque peu réductrice.

On trouve dans la littérature des classifications trois méthodes principales :

Les méthodes à base de modèles comportementaux, méthodes de reconnaissance de forme et méthodes à base de modèles explicatifs.

Ces méthodes s'appuient largement sur les techniques de l'IA et font appel à des connaissances symboliques, familières ou du moins partageables par l'opérateur. L'IA peut se caractériser par sa capacité à traiter :

- Une grande quantité d'informations.
- Des données non homogènes (numérique/symbolique).
- Des données dépendantes du contexte.
- Des données incomplètes.

✓ **Les méthodes à base de modèles comportementaux :**

Habituellement, ces méthodes sont basées sur la simulation de comportement du fonctionnement du système, à partir d'une modélisation faite sur son comportement, le plus souvent une modélisation de bon fonctionnement qui, contrairement aux modèles numériques, n'est pas basée sur la physique du système, mais sur une considération en termes de mode de fonctionnement.[29]

✓ **Les méthodes à base de modèles explicatifs :**

Ce type regroupe les méthodes qui permettent de fournir une représentation de l'analyse causale des liens entre les défaillances, leurs causes et leurs effets observables.[29]

✓ **Les méthodes de reconnaissance de forme :**

L'approche de surveillance par reconnaissance des formes permet d'associer un ensemble de mesures (continues ou discrètes) effectuées sur le système à des états de fonctionnement connus. Cette fonction permet d'avoir une relation d'un espace caractéristique vers un espace de décision, de façon à minimiser le risque de mauvaise classification. Ces méthodes reposent sur l'utilisation des algorithmes de classification des formes et des mesures (continues ou discrètes).

Le fonctionnement d'un système de diagnostic par reconnaissance des formes se déroule en trois phases :

- Une phase d'analyse qui consiste à déterminer et à réduire l'espace de représentation des données et à définir l'espace de décision permettant de spécifier l'ensemble des classes possible ;
- Une phase de choix d'une méthode de décision permettant de définir une règle de décision qui a pour fonction de placer les nouvelles observations dans les différentes classes de l'ensemble d'apprentissage ;

- Une phase d'exploitation qui détermine, en appliquant la règle de décision, le mode de fonctionnement du système en fonction de chaque nouvelle observation recueillie sur le processus.

Parmi les techniques de reconnaissance des formes les plus importantes, nous pouvons citer la logique floue et les réseaux de neurone. Ces techniques ont l'avantage de ne pas se baser sur les connaissances *a priori* des états de fonctionnement, mais plutôt sur une phase d'apprentissage.[26]

a) Les réseaux de neurones artificiels :

Ils imitent la structure neuronale d'un cerveau humain ; ils sont formés par un réseau complexe de blocs arithmétiques simples. Ils peuvent facilement représenter les systèmes non linéaires multi-entrées/multi-sorties. Cette technique a largement été utilisée dans le domaine du diagnostic des machines mécaniques selon plusieurs démarches et techniques :

− Apprentissage à partir de signaux temporels ou fréquentiels issus de simulation ou d'expérimentation ;

− Faculté d'apprentissage à partir d'exemples représentatifs qui nous évite la difficulté de représenter des systèmes complexes, l'apprentissage est automatique ;

− Diagnostic en temps réel et autonome ;

− Mise à jour dynamique de la structure de réseau ;

− Filtrage des transitoires, des perturbations et de bruit ;

− Détection des défauts dès leur naissance ;

− Capacité de représenter n'importe quelle fonction, linéaire ou pas, simple ou complexe.

− Comportement moins mauvais en cas de faible quantité de données ;

− Simple à manier, beaucoup moins de travail personnel à fournir que dans d'autres méthodes;

− Dans les complexités des statistiques multi-variables, l'idée d'apprentissage est plus simple à comprendre.

Toutefois, il y a lieu de souligner:

− L'absence de méthode systématique permettant de définir la meilleure topologie du réseau et le nombre de neurones à placer dans la ou les couche(s) cachée(s) ;

− La connaissance acquise par un réseau de neurone est codée par les valeurs des poids qui sont inintelligibles pour l'utilisateur.

Elle présente par ailleurs des inconvénients très minimes par rapport à ces avantages.[26]

b) La logique floue :

Traduit la perception humaine des valeurs, elle ne se limite pas à des valeurs <vrai, faux> comme la logique traditionnelle. Elle offre une large fourchette de valeurs intermédiaires. Les systèmes flous sont capables de traiter des variables naturelles via des conditions floues <si-alors >. Les systèmes flous adaptatifs exploitent les facultés d'apprentissage des réseaux de neurones ou la robustesse des algorithmes génétique dans le domaine de l'optimisation des paramètres du système à étudier, afin de prendre en considération les connaissances à priori et l'expertise humain dans le domaine. Nous pouvons trouver dans la littérature plusieurs articles exploitant cette technique dans le domaine du diagnostic et de la surveillance des machines mécaniques, avec des objectifs variés :

− Détection d'un fonctionnement anormal et localisation de la défaillance.

− Evaluation des indices de performance.

− Construction de bases des données issues de l'expertise humain, et formulation sous forme de règles conditionnelles < si-alors >.

− Conception de système adaptatif pour le diagnostic.[26]

III.4 Vue fonctionnelle des installations gazière :

III.4.1 Principe de fonctionnement de la turbine à gaz :

Une turbine à gaz fonctionne de la façon suivante :

- Elle extrait de l'air du milieu environnant.
- Elle le comprime à une pression plus élevée.
- Elle augmente le niveau d'énergie de l'air comprimé en ajoutant et en brûlant le combustible dans une chambre de combustion.
- Elle achemine l'air à pression et à température élevées vers la section de la turbine, qui convertit l'énergie thermique en énergie mécanique pour faire tourner l'arbre ; ceci sert, d'un côté, à fournir l'énergie utile à la machine conduite, couplée avec la machine au moyen d'un accouplement et, de l'autre côté à fournir l'énergie nécessaire pour la compression de l'air, qui a lieu dans un compresseur relié directement à la section turbine.

- Elle décharge à l'atmosphère les gaz d'échappement à basse pression et température résultant de la transformation mentionnée ci-dessus. La figure, montre les variations de pression et de température dans les différentes sections de la machine correspondant aux phases de fonctionnement mentionnées ci-dessus.[31].

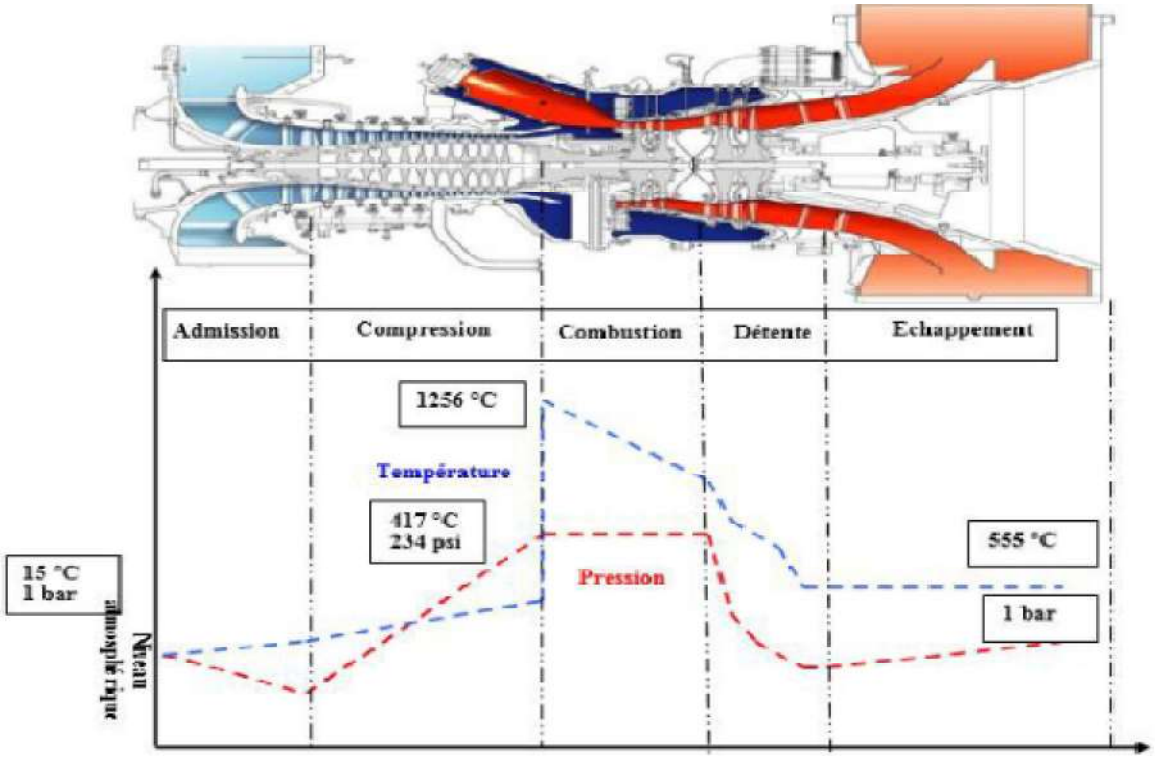


Figure III.10 La variation de pression et température dans une turbine à gaz

III.4.2 Caractéristiques de la turbine à gaz : Exemple turbine à gaz SGT-400 :

- **Vue d'ensemble :**

- Deux-arbre, industrielle.
- Transmission mécanique : 13.40 MW.
- Rendement de l'arbre : 36,2%.
- Le taux de chaleur : 9,943 kJ / kWh (7028 Btu / bhph).
- Pleine charge vitesse de la turbine de puissance :8000 -10 000 tr/min.
- Taux de compression du compresseur : 16,8: 1.

- Débit de gaz d'échappement : 39,4 kg / s (86,8 lb / s).
- La température d'échappement : 555 ° C (1031 ° F).
- Les émissions typiques : NOx: <15 ppmVet CO: <10 ppm de volume (corrigé15% O2 sec).
- La capacité des carburants de valeur à moyen calorifique (> 25 MJ / Nm3 Wobbe index).

➢ **Axial Compresseur :**

- Flux axiale conception du compresseur transsonique 11 Étages.
- Aube de guidage d'entrée variables ET stators.
- Rapport de pression: (ISO) 16,7: 1.
- Débit d'air: (ISO) 38,9 kg / s.
- Vitesse nominale: 14 100 tr / min.

➢ **Combustion :**

- 6 chambres inverses de tubulaires de combustion d'Écoulement.
- *Dry Low Emissions* (DLE) Combustion System.
- unique allumeur haute énergie Dans chaque chambre.
- Possibilité d'injection de vapeur verser Le Pouvoir augmentation.

➢ **Système de carburant :**

- Gaz naturel - liquide carburant - à double carburant.
- Combustibles Autres Capacité sur demande. [31].

III.5 Vue dysfonctionnelle des installations gazière :

III.5.1 Système de protection de la turbine à gaz :

➢ **Système de protection de survitesse :**

Lors d'un problème de survitesse un signal est émis par le contrôleur électrique pour arrêter le carburant. Au-delà d'une valeur limite, une sorte de freinage mécanique (arrêt de la machine) est déclenché automatiquement.

La masse de survitesse HP est assemblée dans l'arbre du réducteur des auxiliaires. La masse de survitesse BP est placée dans l'arbre de la turbine seconde étage.[32]

➢ **Système de protection de dépassement de température :**

Le système de protection de dépassement de température est l'un des systèmes de protection primaires de la turbine à gaz. Le système déclenche une alarme dés que ta température dépasse la limite fixée.[32]

- **Système de protection et de détection des vibrations :**

Le système est constitué de plusieurs détecteurs de vibrations. Il agit pour mettre la turbine soit en alarme soit en déclanchement. Les capteurs ou détecteurs de vibrations sont répartis stratégiquement en différents points de la turbine.[32]

- **Système de protection et de détection de flamme :**

Le système sert pour les trois fonctions principales suivantes :

- Lorsque la vanne de régulation qui contrôle l'arrivée du combustible pour l'allumage est en fonctionnement et que les circuits d'allumage sont sous tension dans la séquence de démarrage, la vanne d'arrêt de combustible se déclenche si la flamme n'est pas détectée dans le temps réglé du temporisateur d'allumage (généralement 60 secondes). Et les circuits d'allumage ne sont plus sous tension. Cela permet d'éviter un excès de concentration de combustible dans la turbine et dans le système d'échappement pour éviter tout risque d'explosion dans les conduites.
- Lorsque la flamme est établie et détectée au moment de l'allumage dans la séquence de démarrage, la détection de la flamme est utilisée pour commander d'autres phases de la séquence de démarrage pour la montée en régime de la turbine.
- S'il y a une disparition de flamme après que l'allumage ait été établi, la totalité du débit de combustible alimentant la chambre est immédiatement arrêtée pour empêcher le combustible non brûlé de pénétrer dans l'échappement.[32]

- **Dispositif d'anti-pompage :**

Le pompage est marqué par la rupture complète de l'écoulement continu à travers le compresseur et résulte en larges oscillations de débit avec le temps ce qui ferait des endommagements importants sur les organes mécaniques.

La protection contre le pompage est donc une nécessité. Deux modes de protection sont appliquées :

- Débit entrant réglable (variable) : En amont du compresseur axial est placé un étage d'aubes mobiles en rotation (variables) dites IGV, la fermeture de ces aubes permette de limiter le débit d'air admis et cela lors du démarrage, où la vitesse du rotor est encore faible, l'ouverture de ces aubes croit

progressivement avec l'accélération de la turbine, jusqu'à atteindre une ouverture complète correspondante au maximum de débit et vitesse de rotation.

- Vanne anti-pompage (VAP): Un piquage au niveau du 10e étage du compresseur vers l'atmosphère, sert à évacuer une partie de l'air admis à l'atmosphère afin d'éviter la pulsation du débit (retour de l'écoulement).[32]

III.6 Prise de décision en risques floue :

Une plateforme d'évaluation des risques et de prise de décisions construite à partir d'un système de logique floue peut garantir la cohérence aux fins de l'analyse des risques lorsque les données et les connaissances sont limitées. Elle permet de se concentrer sur le fondement de l'évaluation des risques, qui englobe la relation de cause à effet entre les principaux facteurs, de même que l'exposition à chaque risque individuel. Plutôt que de constituer un intrant direct de la probabilité et de la gravité éventuelle d'un événement de risque, elle encourage le raisonnement humain, à partir des faits et des connaissances jusqu'à la conclusion et ce, d'une manière cohérente et bien documentée. Le graphique qui suit montre un échantillon du processus d'évaluation des risques fondé sur le système de logique floue. Il s'agit d'une structure ascendante qui repose sur chaque risque individuel. L'exposition au risque est ensuite agrégée au niveau de l'unité opérationnelle et de la société afin de dépister les principaux risques.[33]

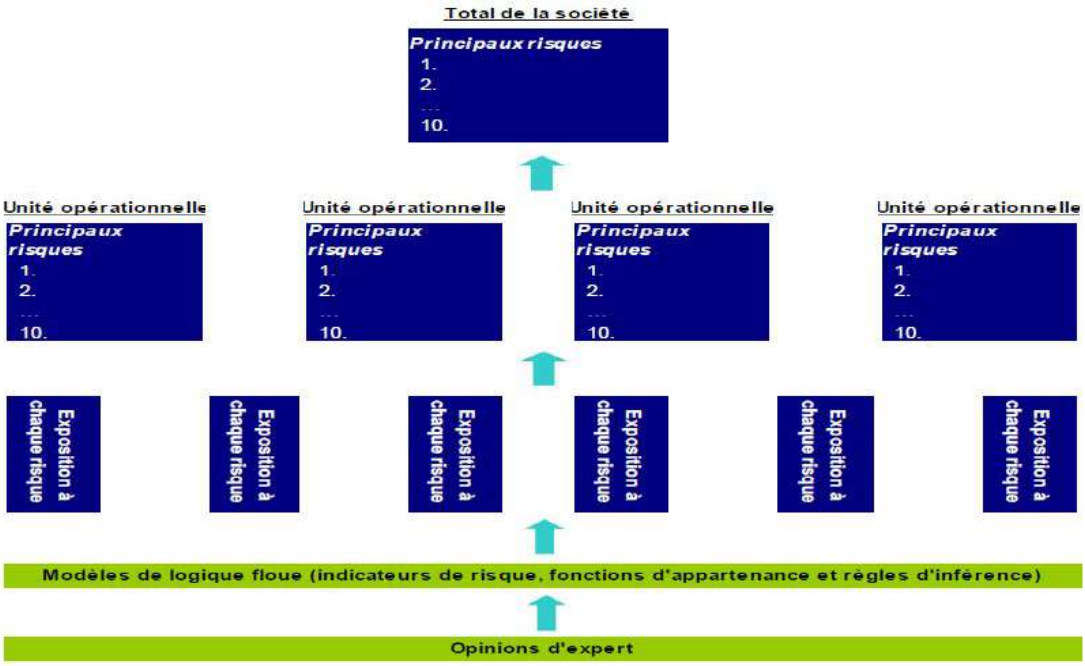


Figure III.11 Structure hiérarchique de l'évaluation des risques

III.7 Conclusion :

À titre de complément des modèles probabilistes, les modèles de logique floue peuvent être appliqués afin d'évaluer les risques pour lesquels les données sont insuffisantes et les connaissances sont incomplètes. La logique floue fournit un cadre en vertu duquel le raisonnement humain et les données imprécises peuvent contribuer à l'analyse des risques. La portée des applications possibles est vaste pour les systèmes de logique floue. Plusieurs risques sont hors contrôle, ne sont pas bien compris ou sont même inconnus, comme en fait foi la liste des risques émergents qui ne cesse de s'allonger.

À l'aide d'un système de logique floue convenable, il est possible d'analyser constamment plusieurs risques qui ne sont pas bien compris. L'exposition à chaque risque peut être évaluée et classifiée. Les principaux risques peuvent être identifiés et gérés. Les ressources peuvent être utilisées pour surveiller et atténuer ces principaux risques qui présentent une exposition élevée. Les règles d'inférence dans un modèle de logique floue peuvent aider non seulement à identifier la cause d'un certain risque, mais également à concevoir des plans d'atténuation efficients et efficaces.

Chapitre IV

Étude de cas par l'application de la logique floue dans la gestion des risques industriels

IV.1. INTRODUCTION

Manager les risques implique d'abord de définir le système auquel le management s'applique, d'identifier les acteurs impliqués : les parties intéressées, les décideurs. Celle-ci inclut l'identification des éléments qui sont à l'origine du danger et ceux qui peuvent en subir les conséquences, la détermination des scénarios potentiels qui conduisent à la réalisation d'un danger, l'estimation des grandeurs représentatives du risque : gravité des conséquences potentielles, probabilité associée.

Afin de démontrer l'intérêt de l'approche proposée dans précédent dans la résolution de ces problèmes, nous avons mené une étude de cas sur un système opérationnel au sein de la société SONATRACH.

Partant des données de cette grille, nous établirons les échelles floues ainsi que la base de règles floues. Les scénarios identifiés seront évalués moyennant un système d'inférence floue dont la sortie est une valeur de criticité.

Mais avant d'entamer cette thématique, nous commençons par présenter les définitions relativesaux notions-clés de danger, de risque, de sécurité, de gestion et d'acceptabilité du risque.

IV.2. Qu'est-ce qu'un risque industriel ?

Le risque industriel est défini comme un évènement accidentel se produisant sur un site industriel mettant en jeu des produits et/ou des procédés dangereux et entraînant des conséquences immédiates graves pour le personnel, les riverains, les biens et l'environnement. Afin d'en limiter la survenue et les conséquences, les établissements les plus dangereux sont soumis à une réglementation particulière (classement des installations) et à des contrôles réguliers. Néanmoins, ce n'est pas parce qu'un site n'est pas classé qu'il ne présente pas de danger. [34]

Ses principales manifestations sont :

- l'incendie dû à l'ignition de combustibles par une flamme ou un point chaud (risque d'intoxication, d'asphyxie et de brûlures),

- l’explosion due au mélange combustible /comburant (air) avec libération brutale de gaz (risque de décès, de brûlures, de traumatismes directs par l'onde de choc…),
- la pollution et la dispersion de substances toxiques, dans l'air, l'eau ou le sol, de produits dangereux avec une toxicité pour l’homme par inhalation, ingestion ou contact.

Ces différents phénomènes peuvent être associés.

Ces risques industriels sont qualifiés de « risques majeurs » quand ils sont caractérisés par une probabilité faible et une gravité importante. Cette notion de « risques majeurs » ne concerne que les risques environnementaux.

On peut les regrouper en deux catégories :

- **Risques naturels :** avalanches, feux de forêt, inondations, mouvements de terrain, cyclones, séismes, éruptions volcaniques…
- **Risques technologiques :** risques de nature industrielle, nucléaires, liés à la radioactivité, aux transports de matières dangereuses (par voie maritime, terrestre ou fluviale), aux exploitations minières et souterraines ou encore liés à la rupture de barrages. Ils sont engendrés par l’activité humaine. Ils pèsent sur l’environnement considéré dans son acception la plus large (pollution de l’air, environnement du travail, pollution des sols…) [34]

Le tableau ci-dessous synthétise les trois principales définitions de danger, risque et accident ou dommage et donne quelques exemples.**(Tab IV.1). [34]**

	DÉFINITIONS	EXEMPLES
Danger	Propriété intrinsèque des produits, des équipements, des procédés…pouvant entraîner un dommage.	- Substance volatile, inflammable, toxique, corrosive, explosive… - Système technique sous pression ou températures élevées. - Masse des charges (levage, déplacement...) - Micro-organisme à caractère infectieux.
Risque	Exposition d'une cible (salarié, entreprise, environnement y compris la population…) à un danger. Le risque est caractérisé par la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté (accident) et de la gravité de ses conséquences	- Un salarié manipulant un produit chimique volatil est exposé à un risque par inhalation. - Une installation utilisant ce produit chimique est exposée à un risque d'incendie. - Un cours d'eau proche de l'installation est exposé à un risque de pollution, et le village avoisinant peut subir les effets d'un nuage toxique dégagé par l'incendie.
Accident Dommage	Conséquences négatives d'un phénomène dangereux.	- L'inhalation de vapeurs de solvants peut entraîner une irritation des voies aériennes supérieures (bouche, nez, pharynx, larynx). - L'incendie peut provoquer des atteintes aux personnes, aux biens et à l'environnement.

TabuleIV.1. Les trois principales définitions de danger, risque et accident ou dommage

IV.3. Concepts et définitions

IV.3.1.Notion de sécurités :

La sécurité est l'absence de risque de dommage inacceptable**. (ISO/CEI Guide 2, 1986).**

IV.3.2.Notion de danger :

La notion de danger définit une propriété intrinsèque à une substance (ex : butane, chlore), à un système technique (ex : mise sous pression d'un gaz), à une disposition (ex : élévation d'une charge), à un organisme (ex : microbes), etc., de nature à entraîner un dommage sur un « élément vulnérable».

Sont ainsi rattachées à la notion de « danger » les notions d'inflammabilité ou d'explosivité, de toxicité, de caractère infectieux etc., inhérent à un produit et celle d'énergie disponible (pneumatique ou potentielle) qui caractérisent le danger. **(GT Méthodologie, 2003).**

IV.3.4.Notion de risque :

Le risque est considéré comme la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition aux effets d'un phénomène dangereux. C'est une espérance mathématique de pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence et dans une région donnée. (GT Méthodologie, 2003) [35]

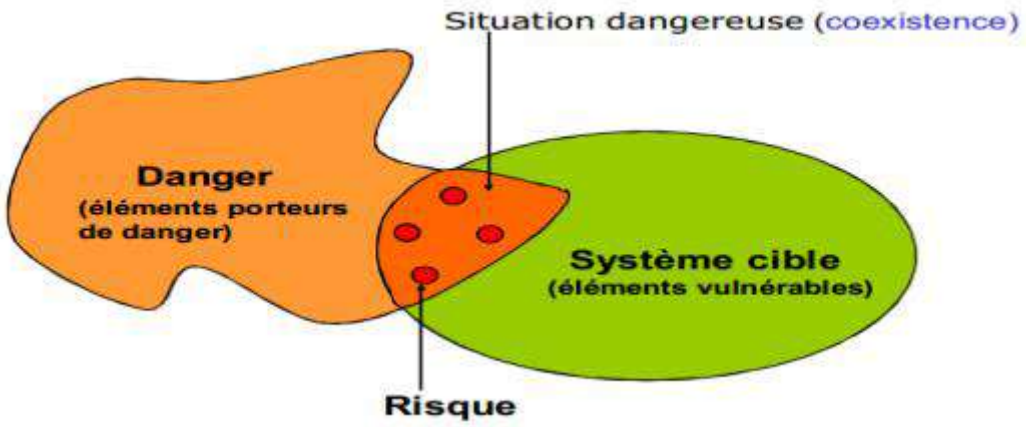


Figure IV.1: Relation entre les notions de danger et de risque.[35]

IV.4. Processus de la gestion des risques :

La démarche de management des risques s'appuie en général sur un processus continu et Itératif qui vise successivement.

Le processus de gestion des risques, tel que décrit dans la norme ISO/CEI 31010 :2009 (associée à la norme ISO 31000 décrivant le processus plus global de management du risque), comprend les étapes décrites dans le schéma ci-dessous, avec les définitions suivantes :

- **Communication et traitement :** elle concerne l'implication des parties prenantes internes et externes et doit être réalisée à toutes les étapes du processus de gestion des risques ;
- **Établissement du contexte :** il s'agit d'établir les contextes interne et externe dans lequel l'organisme cherche à atteindre les objectifs d'évaluation des risques ;
- **Identification du risque :** il s'agit d'identifier les sources de risque (causes internes et externes), les domaines d'impact, les événements, ainsi que leurs causes et conséquences potentielles ;
- **Analyse du risque :** il s'agit du processus permettant de déterminer, par des méthodes adaptées, les causes, les conséquences et les probabilités des risques identifiés en considérant les mesures efficaces de contrôle ;
- **Evaluation du risque :** il s'agit du processus de comparaison des résultats de l'analyse des risques en considérant des critères de risque (acceptabilité / tolérance des risques) en lien avec les objectifs définis lors de l'établissement du contexte ;
- **Traitement du risque :** il s'agit du processus destiné à réévaluer un risque en tenant compte des décisions prises afin de modifier la probabilité d'occurrence, les effets des risques ou les deux suivant les critères de tolérance définis ;
- **Contrôle et examen (surveillance et revue) :** il s'agit du processus de vérification de validité des différentes données considérées lors de l'établissement du contexte, de pertinence des évaluations menées et de performance des traitements entrepris.[36]

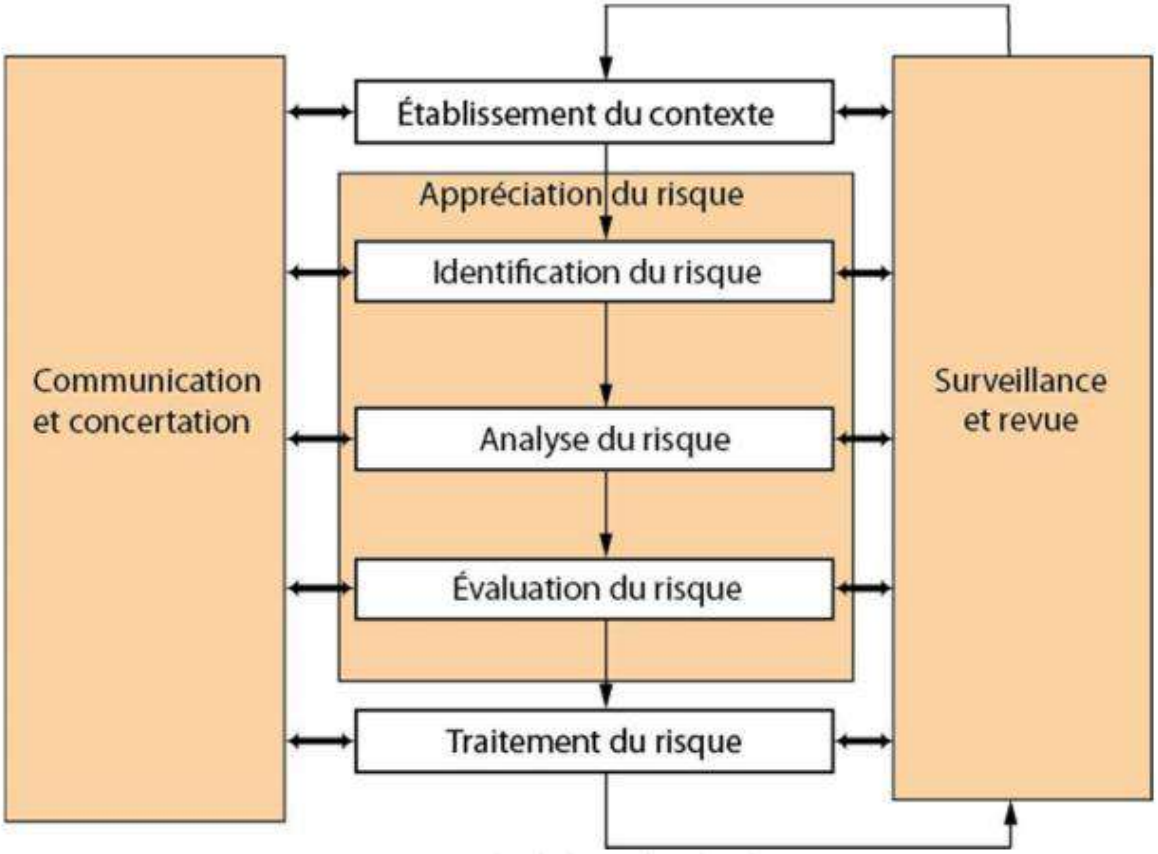


Figure IV.2 : Démarche de la gestion des risques.[36]

IV.5.Analyse des risques :

IV.5.1. Définition : L'analyse des risques consiste en une identification systématique et permanente et en une analyse de la présence de dangers et de facteurs de risque dans des processus de travail et des situations de travail concrètes dans une entreprise, sur un chantier ou dans une institution.

L'analyse des risques occupe une place centrale dans le processus de gestion des risques. Cette étape sert à définir le système ou l'installation à étudier en recueillant toutes les informations et données nécessaires.

Dans ce volet, une description à trois niveaux, structurel, fonctionnel et temporel est indispensable afin de mener une analyse efficace et atteindre les objectifs voulus en matière de maîtrise des risques. Dans un premier temps, les principales sources de dangers et les scénarios d'accident doivent être recensés et identifiés. La complexité de certains systèmes étudiés requiert l'utilisation des outils d'analyse aidant à l'identification des dangers.

IV.5.2.Etapes d'une analyse des risques :

La gestion des risques constitue donc un processus itératif qui a pour objet de réduire les risques à un niveau jugé acceptable. Cette démarche est fondée sur l'analyse des risques qui consiste à :

- Identifier les sources de dangers c'est-à-dire les éléments susceptibles d'engendrer des dommages significatifs dans leur environnement ;
- Identifier de façon détaillée les différentes conditions dans lesquelles les dangers identifiés peuvent se matérialiser ;
- Caractériser les risques de façon quantitative, semi-quantitative ou qualitative selon plusieurs critères tels la gravité des conséquences et la probabilité d'occurrence.[37]

IV.6. PRÉSENTATION DU PROCESSUS :

L'installation prise en référence pour la présente étude étant un four rebouilleur du module MPP3 **(Module Process Plant 3)** au sein de la raffinerie d'hydrocarbures **SH DP HRM** du site industriel Hassi **R'Me**l situé ***au sud du pays à 550 km de la capitale***.

Dans une unité pétrolière, le rôle du four est d'apporter la chaleur nécessaire au réchauffement des fluides en les portant à des niveaux de température élevés. ***Le four rebouilleur H-101*** est destiné au réchauffement du condensât ; un mélange d'hydrocarbures liquides contenant des traces de gaz légers (gaz de vente) principalement composés d'éthane et de méthane.

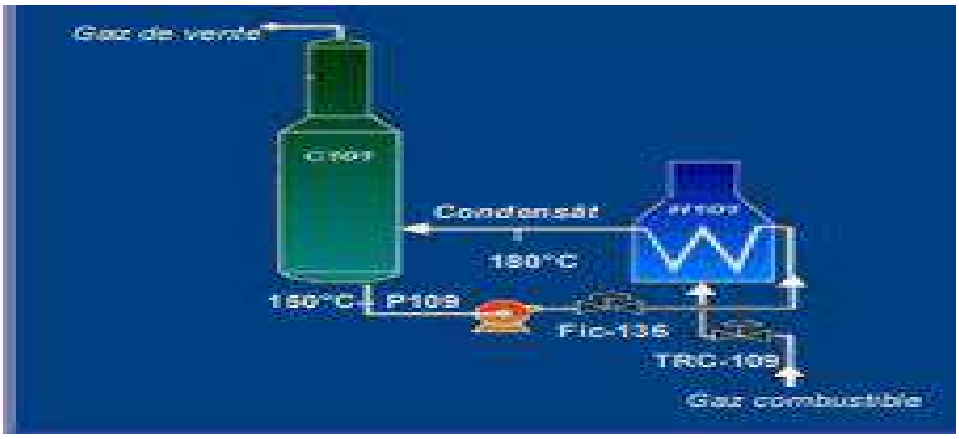


Fig. IV.3— Schéma du processus d'extraction des gaz légers.

Dans le module MPP3, le condensât du fond de la colonne C-101 passe, à travers les pompes, dans le four à 150°C. Le fluide sortant porté à 180°C est renvoyé à la colonne comme reflux chaud afin d'extraire les gaz de vente (**voir figure IV.3**).

Le four est composé :

- D'une zone de radiation (chambre de combustion) intérieurement garnie par un matériau réfractaire isolant. Dans cette chambre se trouvent des tubes exposés à la flamme et recevant par rayonnement la chaleur dégagée des produits en combustion ;
- D'une zone de convection (éventuellement garnie) installée à la sortie des fumées de la chambre de combustion et constituée d'un faisceau tubulaire placé perpendiculairement à la direction des fumées ;
- De deux cheminées ;
- D'accessoires : Portes d'accès, portes d'explosion, thermo-couples et diverses connexions nécessaires au fonctionnement du four. [38] ;[39]

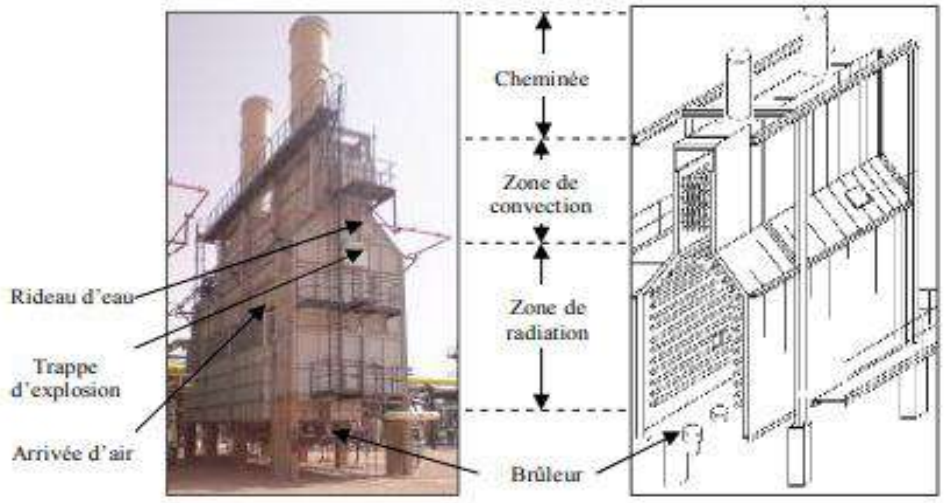


Fig. IV.4 — Architecture du four rebouilleur H-101

IV.7 PRÉSENTATION DE LA GRILLE DE CRITICITÉ :

L'entreprise SH DP HRM utilise pour l'évaluation de la criticité et de l'acceptabilité des risques, une approche qualitative utilisant la grille suivante :

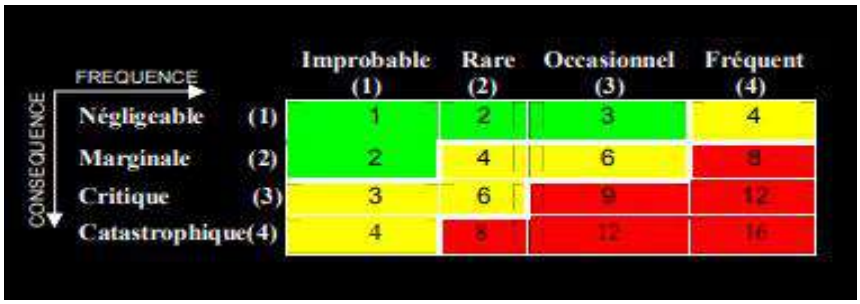


Fig. IV.5 — Matrice de criticité utilisée par l'entreprise SH DP HRM **[SON08].**

Les échelles de gravité, de fréquence et de criticité auxquelles nous nous référons dans la suite, se présentent de la manière suivante :

IV.7.1 Échelle de gravité :

La gravité est estimée sur la base des conséquences d'un scénario donné à partir d'une échelle ordinale à quatre niveaux (de 1 à 4).

Niv	Conséquence	Signification
1	Négligeable	Blessures superficielles Dégradation de la capacité de l'installation à moins de 10%
2	Marginale	Blessures mineures Dégradation de la capacité de l'installation à moins de 50%
3	Critique	Blessures graves Arrêt de l'unité
4	Catastrophique	Mort Arrêt de l'usine

Tableau. IV.2 — Échelle de gravité.

Le choix des conséquences à étudier est fonction de la méthodologie d'évaluation des risques adoptée par l'entreprise et des ressources qu'elle doit mettre en place pour affiner l'analyse **[CCP 01].** Ainsi, cette échelle de gravité prend en compte les conséquences sur :

- Les personnes : Blessure, Mort ;
- La performance (perte de production): Dégradation de la capacité de l'installation, arrêt de l'unité ou l'usine).

IV.7.2 Échelle de fréquence :

La probabilité d'occurrence est envisagée à travers quatre niveaux et évaluée sur la base d'une fréquence cotée en 10^{-n}/an.

Niv.	Désignation	Description qualitative
1	Improbable	Improbable de se produire au cours de la vie de l'installation
2	Rare	Peut se produire une fois au cours de la vie de l'installation
3	Occasionnel	Peut se produire plus d'une une fois au cours de la vie de l'installation
4	Fréquent	Peut se produire plusieurs fois au cours de la vie de l'installation

Tableau. IV.3 — Échelle de fréquence

Les classes de probabilité d'occurrence figurant sur l'échelle sont définies qualitativement et quantitativement, avec une désignation linguistique pour chaque classe et un classement ordinale numérique de 1 à 4.

IV.7.3 Échelle de criticité :

L'évaluation du risque est effectuée par le produit des niveaux de gravité par ceux de fréquence. Ainsi, à chaque case de la grille correspond un nombre caractérisant la criticité du risque, ce nombre varie ente 1 (risque minimum acceptable) et 16 (risque maximum acceptable).

Niv.	Conséquences	Signification	Score
1	Acceptable	Aucune mesure requise	1, 2, 3
2	Tolérable	Actions basées sur le principe ALARP	3,4, 6
3	Inacceptable	Réduction immédiate (mesures de prévention et/ou de protection	8, 9, 12, 16

Tableau. IV.4— Échelle de criticité.

Ce tableau montre que la criticité est cotée sur une échelle ordinale en trois niveaux qualitatifs :

Une zone de risques sérieux des nombres (3, 4 et 6) entre les deux zones extrêmes (zone verte des niveaux faibles et zone rouge des niveaux élevés) est prise en compte par la grille. Ainsi, la règle de passage du risque acceptable au risque non acceptable dépend de trois niveaux (vert, jaune et rouge).

Les critères d'acceptabilité du risque fixés par l'entreprise sont définis en fonction de sa gravité et de sa fréquence sachant que dans ce cas, la première prévaut sur la deuxième. La règle retenue pour la mise en place des dispositions ayant pour but d'éviter les incidents et accidents ou de limiter leurs conséquences est : plus les conséquences d'un accident sont graves, plus sa probabilité doit être rendue faible. Une manière de lire ces critères est la suivante :

- ✓ tout scénario dont les conséquences sont catastrophiques doit être improbable ;
- ✓ tout scénario dont les conséquences sont critiques doit être rare ;
- ✓ tout scénario dont les conséquences sont marginales ne doit pas être fréquent [38] ; [39]

IV.8 ÉVALUATION FLOUE DE LA CRITICITÉ DES SCÉNARIOS RETENUS :

IV.8.1 Établissement des échelles floues :

IV.8.1.1 Échelle de gravité :

L'échelle floue de gravité comprend quatre ensembles flous, à savoir, négligeables, marginaux, critiques et catastrophiques définis sur un espace de gravité de 1 à 4. La **figure (IV.6.a)** montre un exemple d'échelle qu'on peut proposer pour la mesure du paramètre gravité.

IV.8.1.2 Échelle de fréquence :

Comme le montre la **figure (IV.6. b),** la fréquence est représentée par quatre ensembles flous : improbable, rare, occasionnel et fréquent définis sur un espace de probabilités de valeurs entre 10-7/an et 1/an.

IV.8.1.3 Échelle de criticité : La criticité du risque comme variable unique de sortie est définie sur un univers de discours de valeurs entre 0 et 4. Trois ensembles flous sont compris dans l'échelle : acceptable, tolérable et inacceptable (figure (IV.6. c)).

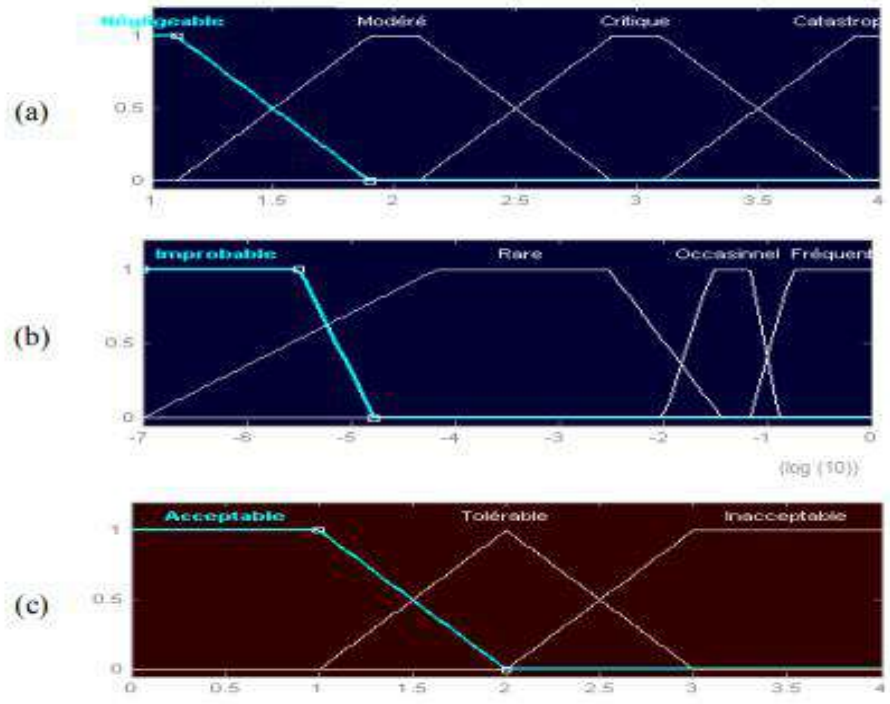


Fig. IV.6 — Fonction d'appartenance générées pour : **(a)** la fréquence, **(b)** la gravité et **(c)** la criticité.

IV.8.2 Établissement des règles floues :

Après avoir établi les échelles floues, les ensembles flous correspondants seront associés aux prémisses et aux conclusions des règles pour construire la base de règles floues.

IV.8.3 Fuzzification des données de scénarios :

Les données d'entrée (en terme de fréquence gravité de scénarios retenus) seront introduites au système d'inférence floue de Mamdani pour fuzzification où sera fait, de manière automatique, l'ensemble d'opérations d'inférence.

IV.8.4 Résultats et discussion :

Un récapitulatif de résultats de l'évaluation est représenté sur le **tableau IV.5**

Scénario	Entrées		Sortie (Indice de criticité)	
	F	G	MCC	MCF
1	6,60E-07	3.50	T (2)	2.46 (T-0.54, NA-0.46)
2	3,20E-06	3.50	T (2)	2.64 (T-0.36, NA-0.64)
3	1,00E-05	3.50	T (2)	2.64 (T-0.36, NA-0.64)
4	1,00E-04	3.50	NA (3)	2.64 (T-0.36, NA-0.64)

Tableau. IV.5 — Comparaison des résultats de l'évaluation de la criticité des scénarios.

La comparaison des résultats des deux approches d'évaluation de la criticité, i.e., la MCC et la MCF, est faite en posant l'indice flou, qui représente la valeur la plus proche de l'état réel, comme étant l'indice de référence.

IV.9 CONCLUSION

L'objet de ce chapitre était de montrer l'opportunité de l'approche proposée dans l'évaluation de la criticité et de l'acceptabilité des risques industriels, en permettant d'une part, une prise en compte des aspects imprécis et incertains des jugements d'experts et d'autre part, une meilleure caractérisation des situations de danger.

Une application à un système opérationnel a servi de support à l'illustration du système d'inférence floue. Les résultats de l'étude pratique valident la méthodologie que nous avons proposée et montrent son importance pour l'évaluation de la criticité et l'acceptabilité des risques liés au processus étudié en particulier et des risques industriels en général.

L'évaluation de la criticité des risques à base de règles floues comme alternative de la matrice conventionnelle de criticité présente plusieurs avantages. En effet, elle permet :

- ✓ d’éviter l’opération de multiplication des paramètres du risque dont la signification est fortement contestée pour des échelles ordinales, et de donner une structure plus flexible pour combiner ces paramètres;
- ✓ d’utiliser des variables linguistiques associées à des intervalles flous à la place de nombres uniques généralement incompatibles avec l’imprécision de la perception humaine ;
- ✓ d’utiliser des échelles floues continues, ce qui éliminera le problème d’interprétation des résultats el, comme étant l’indice de référence.

Conclusion général :

L'idée de développer une approche d'évaluation de la criticité dans le cadre de la théorie des ensembles flous est née de la nécessité de se rapprocher davantage des situations réelles de danger en tenant compte de l'expertise. Les modèles flous ont la capacité de caractériser le raisonnement humain et delà, ils sont aptes à formaliser la représentation des connaissances imparfaites.

La matrice de criticité floue proposée est basée sur un système d'inférence à base de règles floues.

Appliquée à l'évaluation de la criticité des risques, la matrice floue constitue un complément de la matrice conventionnelle qui sert de table de décision pour la première. La matrice floue est dotée d'une flexibilité qui lui permet de traiter un grand nombre d'incidents ou d'accidents. La fréquence d'entrée appliquée au système d'inférence est soit une donnée d'expertise, soit le résultat d'un modèle d'analyse des risques tels que l'arbre de défaillances et l'arbre d'événement. La gravité est une donnée d'expertise sur la base de l'historique du système et des systèmes similaires.

Les résultats de l'étude de criticité des risques inhérents à un système « four rebouilleur » montrent que le modèle flou développé offre la possibilité de préserver l'information figurant sur la grille (en terme d'échelles) mais avec l'opportunité de pouvoir manipuler et traiter les données incertaines et imprécises relatives au système, qu'elles soient qualitatives ou quantitatives.

Le modèle flou proposé présente un avantage très clair par rapport à la matrice conventionnelle, celui de permettre une prise de décision sur la base d'un indice de risque précis et par conséquent, de mener à bien une démarche de réduction des risques dans le cadre d'un investissement rationnel.

Chapitre I:

[1]- 2019/06/11 12:10am http://mazra.e-monsite.com/medias/files/prise-de decision.pdf

[2]- 2019/06/11 12:20am https://lesdefinitions.fr/prise-de-decisions

[3]- 2019/06/11 12:52am https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/prise-de-decision/

[4]- 31 janvier 2019 Par Alain Fernandez https://www.piloter.org/decision/processus-decision.htm

[5]- 2019/06/11 12:52am http://gfol1.res homini.com/download/la_prise_de_decision_ws5205500.pdf

[6]- http://sabbar.fr/management/les-decisions-et-le-processus-de-decision/

[7]- 18 juin 2018 Par Alain Fernandez https://www.piloter.org/decision/modelisation-decision.htm

[8]- https://www.theses.fr/2017SACLC072.pdf

[9]- https://www.e-marketing.fr/Thematique/academie-1078/fiche-outils-10154/La-prise-de-decision-a-risque-324682.htm

Chapitre II :

[10]- 2019/06/11 12:52am N TKOUTI - 2004/ http://thesis.univ-biskra.dz/1151/5/3emechapitre.pdf

[11]- MALLEM A. «Algorithme d'aide a la navigation d'un robot mobile », université Batna 2011.

[12]- P. Borne «Introduction à la logique floue», Edition technip, 1998.

[13]- BOUDJIT K. «Introduction à la logique floue et à la commande floue», université Blida.

[14]- Witold Pedrycz, Fernando Gomide. “An introduction to fuzzy sets : Analysis and Design”. Massachusetts, 1998.

[15]- R. BABUŠKA. “Fuzzy and neural control”. DISC Course Lecture Notes Control,

Engineering Laboratory, Faculty of Information Technology and Systems, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, 2001.

[16]- BOUDJIT K. «Introduction à la logique floue et à la commande floue», université Blida.

[17]- MALLEM A. «Algorithme d’aide a la navigation d’un robot mobile », université Batna 2011.

[18]- Witold Pedrycz, Fernando Gomide. “An introduction to fuzzy sets : Analysis and Design”. Massachusetts, 1998.

[19]-R. BABUŠKA. “Fuzzy and neural control”. DISC Course Lecture Notes Control,

Engineering Laboratory, Faculty of Information Technology and Systems, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, 2001.

[20] –BABA N., DJAMAI M., LAOUFI M. « planification de la trajectoire d’un robot mobile par la logique floue », université Bechar 2010.

[21]- GACOGNE et LOUIS «Eléments de logique floue », Edition Herms, Paris, 1997.

[22]- R. BABUŠKA. “Fuzzy Modeling for Control”. Kluwer Academic Publishers, Boston, vol. 8, pp. 7923-8154, 1998.

[23]- Maria Angeles Gil/ Statistique et Analyse des Donées. Logique Floue, principes, aide à la decision/ https://www.researchgate.net/publication/268515445_Statistique_et_Analyse_des_Donees_Logique_Floue_principes_aide_a_la_decision

[24]- Melle Faiza BOURAHLA/ LA LOGIQUE FLOUE/ http://produ.chez.com/faiza/index.htm

Chapitre III :

[25]- Mr BEDJOU Yacine_ Mr BELAID Mourad/ETUDE THERMODYNAMIQUE ET AMELIORATION DU RENDEMENT DE LA TURBINE A GAZ MS5002C PAR RECUPERATION DES GAZ D'ECHAPPEMENT

[26]- I.HARROUZ, K.YAHIA LAHSSENE; « Surveillance et diagnostic automatisé de la turbine à gaz MS 5002B par l'approche des réseaux de neurones artificiel », Mémoire master, encadré par : Dr. CH.RAHMOUNE, Ecole National Supérieur de Technologie, 2016.

[27]- S. BENAMMAR; « Diagnostic des défaillances dans les systèmes industriels », Mémoire Magister, encadré par : Pr. D. BENAZZOUZ, Université M'hamed Bougara-Boumerdes, 2010.

[28]- K. ATOUI, S.GUICHI ; « Surveillance et diagnostic du système de freinage de la

locomotive 30CDW Modélisation et simulation par réseaux de neurones », Mémoire master, 2011.

[29]- M. ACHBI ; « Commande tolérante aux défauts en utilisant les Réseaux de Neurones Artificiels et les Systèmes d'Inférence Floue », Mémoire magister, 2012.

[30]- T.KEMPOWSKY; « Surveillance de Procédés à base de Méthodes de Classification : Conception d'un Outil d'aide pour la Détection et le diagnostic des Défaillances », thèse doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2004.

[31]- BARIKI Mohammed BENAOUN belgacem / Etude Thermodynamique et Maintenance de la Turbine à gaz SGT400

[32]- MOSLI HASSENE BEN SEDDIK DJAMAL EDDINE BRAHIMI SMAIL/ Etude de turbine à gaz MS5002b

[33]- Kailan Shang Zakir Hossen/ Application de la logique floue à l'évaluation des risques et à la prise de décisions

Chapitre IV :

[34]- MAGNE L., VASSEUR D.« Risques industriels. Complexité, incertitude et décision : une approche interdisciplinaire ». Collection EDF R&D. Editions Tec & Doc, 2006, 462 p http://www.inrs.fr/demarche/risques-industriels/definition-risque-industriel.html

[35]- Mohamed Habib Mazouni « Pour une meilleure approche du management des risques de la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d'aide à la décision. Automatique / Robotique. » Institut National Polytechnique de Lorraine – INPL, 2008.

[36]- INERIS «Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs Étude de dangers d'une installation classée. » -DRA-15-148940-03446A EAT-DRA-76 -9, juillet 2015Ω

[37]- INERIS « Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle. » – DRA – 2006-P46055-CL47569 : Ω 7, Octobre 2006.

[38]- [SON 08] SONATRACH, Document SONATRACH DP HRM, 2008.

[39]- [CCP 01] Center for Chemical Process Safety, « Layer of Protection Analysis—Simplified Process Risk Assessment », American Institute of Chemical Engineers, New York, 2001.