

Université du 8 mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin D'études
Pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Maintenance Industrielle

Présenté par : BOURENEB TAWFIQ

=====

***Nouvelle approche de la durabilité des
produits manufacturés par l'intégration de la
logique floue***

=====

Sous la Direction de :

Dr. KHETTABI RIAD

Année universitaire 2011/2012

Université du 8 mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin D'études
Pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Maintenance Industrielle

Présenté par : BOURENEB TAWFIQ

=====

***Nouvelle approche de la durabilité des
produits manufacturés par l'intégration de la
logique floue***

=====

Sous la Direction de :

Dr. KHETTABI RIAD

Année universitaire 2011/2012

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, en premier lieu, nous remercions

Allah tout puissant qui

*Nous a donné la force et la volonté pour réaliser
ce travail.*

*Je remercie particulièrement mon encadreur Monsieur le
Docteur RIAD KHETTARI pour m'avoir guidé tout au
long de ce travail et les membres de jury qui feront
l'honneur d'évaluer mon travail.*

*En fin je remercie tous les membres du département de
mécanique, tous mais famille, mais amies et tous les
membres qui participent dans ce travail.*

Résumé :

Le concept de durabilité intègre généralement trois aspects principaux (économiques, environnementaux et sociaux). La durabilité en milieu industriel est devenue un sujet d'actualité qui intéresse tant les industriels que les institutions gouvernementales. Il est donc nécessaire de savoir quel est le matériau, le procédé de fabrication, la politique de maintenance et les conditions opératoires les plus durables. En se servant de la logique floue, un programme a été développé pour prédire la durabilité des procédés manufacturiers. Un nouveau modèle est proposé est pour but d'augmenter la productivité, réduire la puissance, améliorer la maintenance et réduire les impacts néfastes du procédé sur l'environnement et sur la santé des opérateurs. Les résultats montrent que dans un même environnement industriel le choix des conditions opératoires influence considérablement la durabilité.

Mots clés :

- énergie
- environnement
- procédé (puissance)
- durabilité
- matériaux
- maintenance

Tables des matières

Remerciements.

Résumé et mots clés.

	Introduction générale.....	1
	Chapitre I : introduction	
I.	Introduction.....	3
II	Développement durable	7
II.1.	Principes du développement durable : les trois piliers du développement durable (Théorie).....	7
II.1.1.	Viabilité environnementale.....	7
II.1.2.	Viabilité économique.....	8
II.1.3.	Viabilité sociale.....	9
III.	Logique floue.....	10
III.1.	Bref historique.....	11
III.1.1.	Histoire de logique floue.....	11
III.1.2.	Logique floue aujourd'hui.....	11
III.1.3.	Théorie des ensembles flous.....	12
III.2.	Les opérations sur les ensembles flous.....	15
IV.	Principes de la logique floue.....	16
IV.1.	Variables floues.....	17
IV.2.	Le modèle flou.....	18
V.	Application de la logique floue.....	19
V.1.	Premières applications.....	19
V.2.	Intérêt et utilisation de la logique floue pour le contrôle.....	19
V.2.1.	Intérêt.....	19
V.3.	Utilisation pour le contrôle.....	20
	Chapitre II :	
I.	L'approche	22
II.	Évaluation des indicateurs de durabilité.....	24
1.	La puissance (énergie ou force).....	25
2.	Maintenance.....	26
3.	Matériau.....	26
4.	Environnement (Toxicité).....	27
III.	Définition des fonctions d'appartenance et les règles.....	29
IV.	Application.....	32
	Conclusion	

LISTE DES FIGURES :

Chapitre I		
Figure II.1.	Représentation schématique du développement durable avec les trios principaux.....	10
Figure III.1.3.	Différentes formes de représentation d'une valeur floue.....	13
Figure III.1.3.a.	fonctions d'appartenance lorsque l'univers est discret.....	14
Figure III.1.3.b.	fonctions d'appartenance lorsque l'univers est continu.....	14
Figure VI.1.	les trois variables « petit », « moyen » et « grand ».....	17
Figure VI.2.	Schéma synoptique du modèle floue.....	18
Chapitre II		
Figure 1.	L'approche proposée pour définir la viabilité du procédé d'usinage.....	23
Figure 2.	Exemple de définitions de fonctions d'appartenance pour les indicateurs de puissance et de la toxicité.....	30
Figure 3.	Définition des règles.....	31
Figure 4.a.	Durabilité processus de forage	34
Figure 4.b.	Durabilité processus de fraisage.....	35

LISTE DES TABLEAU

Chapitre I		
Tableau 1	Tableau des figures.....	16
Chapitre II		
Tableau 1	Tableau de procédé d'usinage (perçage et fraisage).....	32

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction général

La durabilité est devenue l'un des indicateurs les plus importants dans la performance des procédés de l'industrie moderne. Pour être durable il faut être compétitif à tous les niveaux (économie, social, environnement et l'écologie).

Habituellement, la performance des industries manufacturières est déterminée par la productivité, la qualité des pièces et le coût de fabrication. Si il est possible d'introduire les aspects sociale, recyclabilité et environnement, le procédé devient plus avantageux et durable [1] [2] [3]. Les émissions d'aérosols liquides avoir un impact sur le matériau ou pièce, sur l'outillage et sur la santé des opérateurs et l'environnement industriel. [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15].

L'usinage à sec ou semi à sec (MQL) à grande vitesse peut être considéré comme procédés durables parce qu'ils respectent l'environnement et aussi améliore la productivité, la recyclabilité et prolonge la durée de vie de la machine-outil. [16] ont recommandé une MWF (Metal Working Fluid) durable pour le procédé MQL pour minimiser les impacts sur l'environnement et la santé de MWF sur le cycle de vie d'outil et améliorer les performances de fabrication [17].

Ont bâti une approche systématique dans les modèles déterministes et stochastiques pour évaluer l'indice de durabilité. Un autre modèle a été proposé pour le PSI en particulier pour les aciers à moules par [18] basé sur la durée de vie de l'outil, la consommation d'énergie, le coût de l'opération et l'émission acoustique.

Par [19] indiquent que les industries manufacturières ont la responsabilité pour le développement d'une production durable. Toutefois, ils présentent certaines approches utilisées pour réduire l'impact de la conception et la

fabrication sur l'environnement. En conséquence, «la conception du produit durable» implique la réduction des impacts environnementaux tout au long du cycle de vie des produits en gardant le marché en bonne position. Pour identifier la durabilité d'un procédé, la logique floue peut être utilisée pour prendre une décision en fonction des situations différentes. Peu de travaux ont utilisé le concept de logique floue pour aider à l'évaluation de la durabilité dans différents domaines [20] [21] [22] [23]. Lors de l'usinage, de nombreux paramètres peuvent influencer sur le procédé. Quatre indicateurs principaux sont proposés pour caractériser la durabilité: matérielle, la puissance, l'émission d'aérosols et de coût de maintenance.

Dans la présente étude, un nouveau modèle de développement durable dans le domaine industriel est proposé et appliqué à certain procédés. Le modèle développée par [18] a été conçu spécialement pour l'acier moule et n'intègre pas l'émission de particules métalliques. La méthode est donc utile pour augmenter la productivité, de la recyclabilité ainsi que la réduction des effets néfastes du procédé d'usinage sur l'environnement et opérateurs.

CHAPITRE -I-

I. Introduction

La durabilité est un nouveau concept qui gagne du terrain dans tous les domaines. De nouvelles technologies sont jugées durables par ce qu'elles se poursuivent de façon efficace, qu'elles assurent un taux élevé de couverture, qu'elles s'intègrent au sein des services de santé existants, qu'elles reflètent une forte accommodation communautaire et ce, tout en utilisant les ressources mobilisées par la communauté et le gouvernement [24].

La durabilité doit avoir une grande importance dans un domaine où l'activité humaine, l'industrialisation, l'urbanisation, l'agriculture, la pêche et l'aquaculture, la foresterie et la sylviculture ainsi que l'extraction pétrolière et minière ont d'importantes répercussions sur l'environnement de la planète et sur la qualité de vie de ses populations. La gestion et l'utilisation des ressources naturelles au plan national, régional et mondial est de mener une action de grande envergure pour réduire les quantités de déchets et la pollution d'origine anthropique. Il faudra pour cela abandonner et, si possible, éliminer totalement les modes de production et de consommation non durables. Dans cette optique, la durabilité industrielle suscite un intérêt croissant car elle s'affirme de plus en plus comme un outil indispensable pour parvenir à une telle réduction de l'impact environnemental et améliorer la qualité de vie [25].

La durabilité du produit fait référence à sa capacité pour respecter les objectifs du développement durable. La biotechnologie et ces applications offrent aux industries des outils en leur permettant d'améliorer la durabilité des produits et facilitant ainsi la réalisation des objectifs du développement durable [26].

L'augmentation du nombre de procédés industriels à base de ressources renouvelables plutôt que de dérivés du pétrole pourrait mener à une diminution importante de la pollution atmosphérique et s'orienter vers un monde durable. Il est possible de remplacer les ressources non renouvelables, comme le pétrole,

par des matières végétales brutes ou d'autres matières premières issues de la biomasse pour produire des combustibles liquides plus écologiques [27].

La durabilité est la qualité de ce qui est durable. Le terme durabilité (Ou soutenabilité) est utilisé depuis les années 1990 pour désigner la configuration de la société humaine qui lui permette d'assurer sa pérennité. Cette organisation humaine repose sur le maintien d'un environnement vivable, sur le développement économique à l'échelle planétaire et, selon certains points de vue, sur une organisation sociale équitable. La période de transition vers la durabilité se fait par le développement durable [28].

La durabilité est devenue l'un des plus importants indicateurs de performance des processus de l'industrie moderne. Pour être durable, il doit être compétitif dans tous les niveaux (économie, social, environnement et l'écologie). Habituellement, la performance des industries manufacturières est déterminée par la productivité, le temps de cycle, la précision, la qualité des pièces et les coûts de fabrication. S'il est possible d'introduire l'aspect sociale, la recyclabilité et les aspects environnementaux, le procédé va devenir plus avantageux et durable [29].

Généralement, ni l'industrie environnementale, ni la tentation réglementaire ni la fiscalité écologique, ni le marché sont considérés isolément et sans perspective d'ensemble. L'approche " end of pipe" ⁽¹⁾ou « en fin de processus » de la durabilité, ses la stratégie et entretenir le rêve d'un développement industriel durable [30].

L'approche "end of pipe", est cloisonnée et sectorielle, incohérente, pernicieuse et inéquitable. Elle déplace une pollution, en reporte l'échéance et

⁽¹⁾ L'expression "end of pipe" ou « en fin de processus » témoigne de la logique du génie sanitaire: on raisonne de façon linéaire, en fonction de l'offre. Dans le domaine des déchets, paradoxalement, c'est l'attention renouvelée à la fin de chaîne qui suscite une inversion des schémas.

entrave les solutions locales. Elle ne fait pas de la durabilité ni d'un projet séduisant. Elle exige un coût de plus en plus prohibitif et des milliers de réglementations complexes pour protéger la population et la nature contre un empoisonnement accéléré [30].

L'évaluation d'une technologie donnée selon ces paramètres et ces propriétés peut être réalisée par l'utilisation d'un modèle représentatif ou par d'autres moyens de sélection. La logique floue est actuellement largement utilisée dans l'industrie moderne. La théorie de la logique floue a été, au départ, comme une technique opérationnelle utilisée parmi les autres techniques de contrôle avancé. Elle a été très appréciée de plus en plus en gagnant du terrain discrètement dans les automatismes de contrôle industriel. Cependant la logique floue ne remplace pas nécessairement certains systèmes de régulation conventionnels mais elle peut être complémentaire [31].

Les connaissances dont nous disposons sur une situation quelconque sont généralement imparfaites, soit parce que nous avons un doute de leur validité, elles sont alors incertaines, soit parce que nous éprouvons une difficulté à les exprimer clairement, elles sont alors imprécises.

Ces deux types d'imperfections dans les connaissances sont souvent intimement mêlés, mais n'ont cependant pas présenté la même importance dans les préoccupations scientifiques [32].

La logique floue apparaît comme une logique graduelle qui se veut être très proche de notre perception de nuancée du monde. Tandis que, la mesure de possibilité remplacera avec justesse la mesure de probabilité lorsque les informations disponibles sont en faible nombre et/ou de mauvaise qualité ; ceci est notamment le cas dans les panels d'évaluation sensorielle où un petit nombre de sujets joue le rôle de capteurs (le plus souvent imprécis). Formellement, la théorie du flou définit une interface entre le qualitatif/symbolique et le

quantitatif/numérique. Pratiquement, elle offre une approche élégante à la résolution de problèmes multidimensionnels et complexes, caractérisés par une forte interactivité des parties, faisant intervenir l'homme à la fois comme capteur et comme décideur/actionneur [33].

Dans ce travail de recherche un modèle de l'industrie durable doit être développé afin de donner un sens plus large et représentatif à la durabilité en industrie moderne. La théorie de la logique floue sera exploitée afin de proposer un outil de développement plus pratique et fiable [33].

II. Développement durable

Le **développement durable** (ou développement soutenable, traduit du mot anglais Sustainable development) est une nouvelle conception de l'intérêt public, appliqué à la croissance et reconsidéré à l'échelle mondiale afin de prendre en compte les aspects écologiques et culturels généraux de la planète [28].

Il s'agit, selon la définition proposée en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement dans le Rapport Brundtland de :

« Un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir» [28].

II.1. Principes du développement durable "les trois piliers du développement durable "

L'objectif du développement durable est de définir des schémas viables qui concilient les trois aspects **économique, social, et environnemental** des activités humaines (**figure II.1**)

Il est généralement convenu que la viabilité environnementale doit se bâtir sur la viabilité économique et sociale à long terme.

II.1.1. Viabilité environnementale

Un environnement sain est le fondement sur lequel reposent une économie et une société saines. Le rôle essentiel que jouent les écosystèmes pour servir de support à notre société équivaut à un impératif environnemental qui doit être respecté dans toute décision concernant le

sol, les ressources et l'économie. Notre priorité doit être de maintenir les systèmes naturels pour notre propre génération et pour les suivantes. Pour cela on est amené à :

- Préserver les services de survie ;
- Sauvegarder la diversité biologique au niveau des gènes, des espèces et des écosystèmes ;
- Essayer de prévoir et d'empêcher les impacts environnementaux nuisibles

Comptabiliser selon la méthode du coût total ;

- Admettre notre responsabilité à l'égard de la protection de l'environnement mondial ;
- Respecter la valeur intrinsèque de la nature.

II.1.2. Viabilité économique

Notre capacité à préserver un environnement de qualité dépend de notre aptitude à encourager une économie qui serait à la fois forte et viable. Une telle économie serait plus efficace et tirerait de plus grands avantages, pour la société, d'une exploitation réduite des ressources environnementales ou le développement de ressources renouvelables. En outre, une économie viable peut fournir les moyens nécessaires à une amélioration de la protection et de la conservation de l'environnement, tout en offrant des modèles de société différents pour remplacer l'actuelle exploitation injustifiée des richesses naturelles. La viabilité économique passe par l'accomplissement des points suivants :

- Chercher à définir ce qu'est le développement économique ;
- Encourager le développement économique diversifié ;
- Encourager le développement économique efficace ;
- S'assurer que toutes les ressources renouvelables sont utilisées d'une manière qui soit viable à long terme ;

- Veiller à ne pas épuiser les ressources non renouvelables et à ce qu'il en reste assez pour les générations futures ;
- Maintenir l'activité économique dans les limites de la capacité des écosystèmes
- Stimuler une activité économique qui soit écologique. ;
- Encourager une modification des attitudes et des comportements.

II.1.3. Viabilité sociale

La protection et la bonification de l'environnement sont inextricablement liées à la promotion de la justice sociale et de l'équité. La justice sociale exige le respect des préoccupations de l'individu et de la collectivité dans le cadre d'un équilibre entre les besoins environnementaux et économiques.

Ses principaux objectifs sont les suivants :

- Elle vise une distribution équitable des avantages et des coûts issus de l'utilisation des ressources et des décisions qui les concernent ;
- Elle n'oublie pas les générations futures ;
- Elle fait la promotion d'une bonne qualité de vie ;
- La justice sociale requiert une participation publique beaucoup plus considérable dans les décisions sur l'environnement et sur l'utilisation des sols et des ressources connexes.

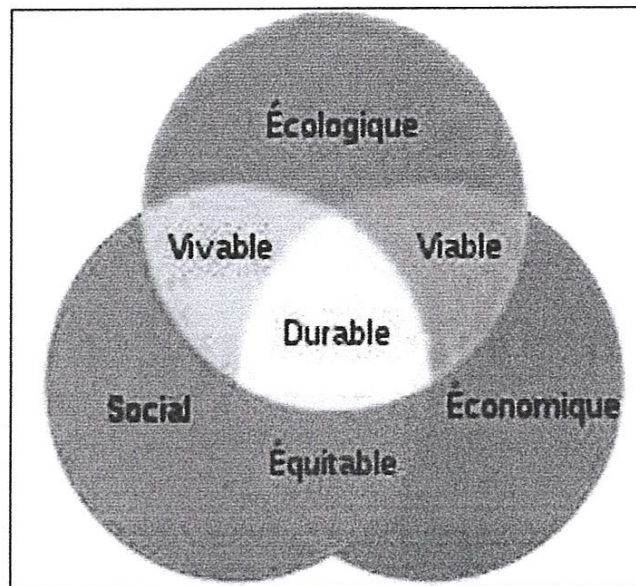


Fig. II.1 : Représentation schématique du développement durable avec les trois principaux [28]

III. Logique floue

Née en 1965, la logique floue consiste à accorder aux affirmations décrivant la réalité, un certain degré de vérité rappelant la façon de raisonner des ordinateurs à celle des humains. Le raisonnement sera donc basé sur des données approximatives pour extraire des solutions précises [33].

Le concept de la logique floue est la généralisation de la logique classique, qui tient compte uniquement de deux événements distincts. En effet, cette théorie considère un certain degré d'appartenance à une classe admettant des situations intermédiaires entre le «vrais » et le « faux » [33].

Le principe du réglage par la logique floue s'approche de la démarche humaine dans le sens que les variables traitées ne sont pas des variables logiques (au sens de la logique binaire par exemple) mais des variables linguistiques, proches du langage humain de tous les jours. De plus, ces variables linguistiques sont traitées à l'aide de règles qui font référence à une certaine connaissance du

comportement du système à régler. Sur la base de ce principe, différentes réalisations ont vu le jour et, actuellement, on trouve deux types d'approche pour le réglage par logique floue. Dans l'une de ces approches, les règles sont appliquées aux variables à l'aide d'une approche numérique par le biais d'un microprocesseur spécialisé ou non ou d'un ordinateur [34][34bis].

III.1. Bref historique

III.1.1. Histoire de logique floue

Les quelques points de repères historiques suivants permettent de situer dans le temps le développement de la logique floue et ses applications au réglage:

1965 Le Prof. L. A. Zadeh de l'Université de Berkeley (Californie) pose les bases théoriques de la logique floue.

1973 L. A. Zadeh propose d'appliquer la logique floue aux problèmes de réglage.

1974 Première application du réglage par la logique floue appliquée à une turbine à vapeur. Suivie en 1980 par une application sur un four à ciment et en 1983 sur un épurateur d'eau.

1985 Premiers produits industriels (Japon) utilisant le principe de la logique floue appliqué à des problèmes de réglage et de commande. Développement de processeurs dédiés à des applications de réglage par la logique floue [37].

III.1.2. Logique floue aujourd'hui

La logique floue, dans la plupart des applications actuelles, permet de prendre en compte toutes sortes de connaissances qualitatives de concepteurs et d'opérateurs dans l'automatisation des systèmes.

Elle suscite en France un intérêt médiatique depuis le début des années 90.

Les nombreuses applications dans l'électroménager et l'électronique grand public réalisées notamment au Japon en ont été l'élément déclenchant.

Machines à laver sans réglage, caméscopes anti-bougé et de nombreuses autres innovations ont fait connaître le terme « logique floue » à un large public.

Dans l'automobile les transmissions automatiques, les contrôles d'injection et d'anti cliquetis, l'air conditionné sont réalisés sur des véhicules de série grâce à la logique floue.

Dans le domaine des processus de production, continue et par lots, et dans les automatismes (qui nous intéressent essentiellement ici) les applications se sont également multipliées. La logique floue s'y développe car il s'agit d'une approche essentiellement pragmatique, efficace et générique. On dit parfois qu'elle permet de systématiser ce qui est du domaine de l'empirisme, et donc difficile à maîtriser. La théorie des ensembles flous fournit une méthode pertinente et facilement réalisable dans des applications temps réel ; elle permet de transcrire et rendre dynamiques les connaissances des concepteurs ou des opérateurs [31a].

III.1.3. Théorie des ensembles flous

La théorie des ensembles flous a été introduite par Zadeh en 1965, il a introduit premièrement le concept flou à la place des valeurs précises et binaires pour décrire les phénomènes se produisant autours.

Ce concept est très connu et utilisé dans plusieurs domaines de recherche. L'idée de la logique floue est de " capturer " l'imprécision de la pensée humaine et de l'exprimer avec des outils mathématiques appropriés [37].

La logique floue, dont les variables peuvent prendre n'importe quelles valeurs entre 0 et 1, permet de tenir compte de cette réalité [37].

Les limites ne varient pas soudainement, mais progressivement. La représentation de ce type de valeur peut être sous plusieurs formes comme indiqué dans la (figure.III.1.3).

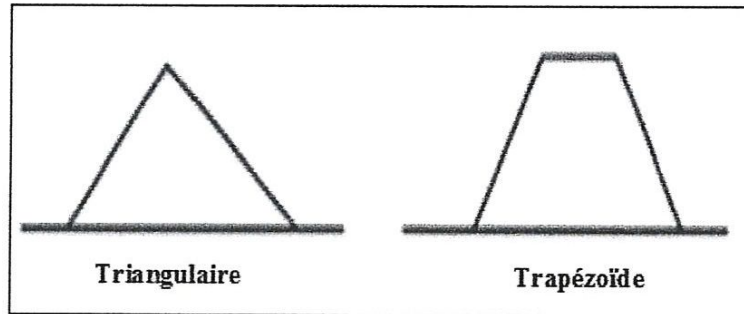


Fig.III.1.3 : Différentes formes de représentation d'une valeur floue

Contrairement à la logique binaire où la fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ caractérisant l'appartenance d'un élément x , de l'univers de discours X à un ensemble classique A prend uniquement les valeurs 0 et 1, un ensemble flou est considéré comme une généralisation du concept d'ensemble classique. Dans la théorie des ensembles flous, les valeurs de la fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ sont comprises dans l'intervalle $[0,1]$:

$$\begin{aligned} \mu_A(x) : \quad X &\rightarrow [0, 1] \\ &X \rightarrow \mu_A(x) \end{aligned}$$

Un ensemble flou A est défini par un ensemble de paires ordonnées $(\mu_A(x), x) : A = \{(\mu_A(x), x) / x \in X\}$

Lorsque l'univers X est discret, l'ensemble flou A est noté :

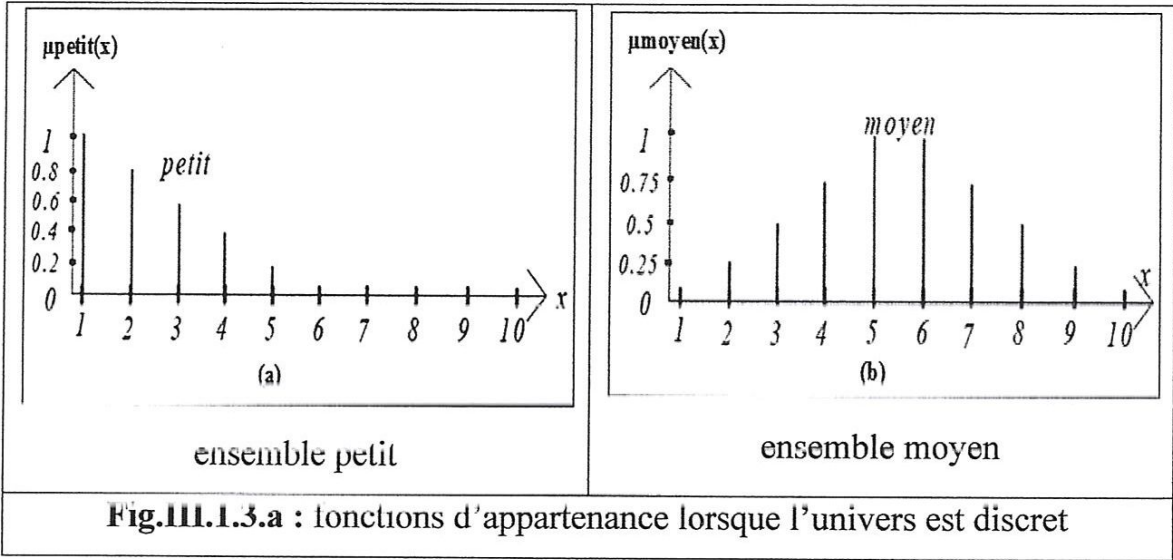
$A = \sum_i \mu_A(x_i) / x_i$ (le symbole ' / ' ne fait pas référence à la division mais est utilisé pour séparer la fonction d'appartenance avec l'élément qui lui est associé).

Soit par exemple l'univers X défini par : $X = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$

La (figure III.1.3.a), montre les ensembles flous petits (a) et moyen (b) dont les paires ordonnées sont :

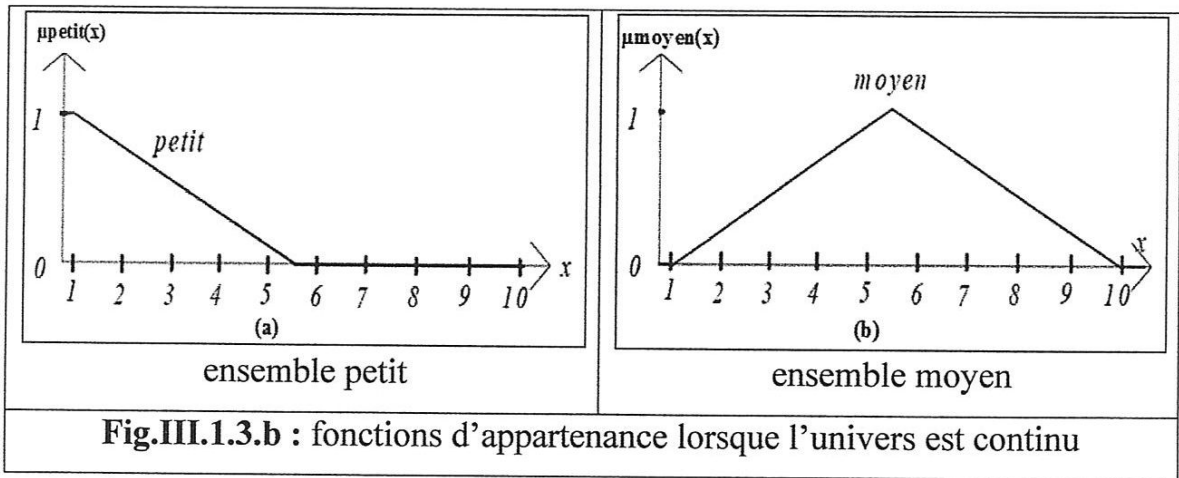
$$\text{Petit} = 1/1 + 0.8/2 + 0.6/3 + 0.4/4 + 0.2/5 + 0/6 + 0/7 + 0/8 + 0/9 + 0/10$$

$$\text{Moyen} = 0/1 + 0.25/2 + 0.5/3 + 0.75/4 + 1/5 + 1/6 + 0.75/7 + 0.5/8 + 0.25/9 + 0/10$$



De façon analogue, si X est continu : $A = \int X \mu_A(x) / x$

La (figure III.1.3.b), montre à nouveau les sous-ensembles flous petit (a) et moyen (b) définis avec des triangles. D'autres fonctions peuvent être utilisées comme les fonctions gaussienne, en cloche et les sigmoïdes.



III.2. Les opérations sur les ensembles flous

Les opérations les plus importantes dans la théorie des ensembles classiques sont l'union, l'intersection et la complémentation. Ces opérations sont également définies en logique floue grâce aux fonctions d'appartenance (**tableau 1**). Les formulations utilisées pour l'intersection et l'union sont respectivement des normes triangulaires (T-norme) et des conormes (S-norme).

Soient A et B deux sous-ensembles flous ayant respectivement μ_A et μ_B comme fonction d'appartenance [36].

L'intersection de A et B est un ensemble flou $A \cap B$ dont la fonction d'appartenance est définie selon les auteurs [JAG.95] :

ZADEH:	$\mu_{A \cap B} = \min (\mu_A , \mu_B)$
LUKASIEWICZ:	$\mu_{A \cap B} = \max [0, \mu_A + \mu_B - 1]$
Probabilité :	$\mu_{A \cap B} = \mu_A \mu_B$

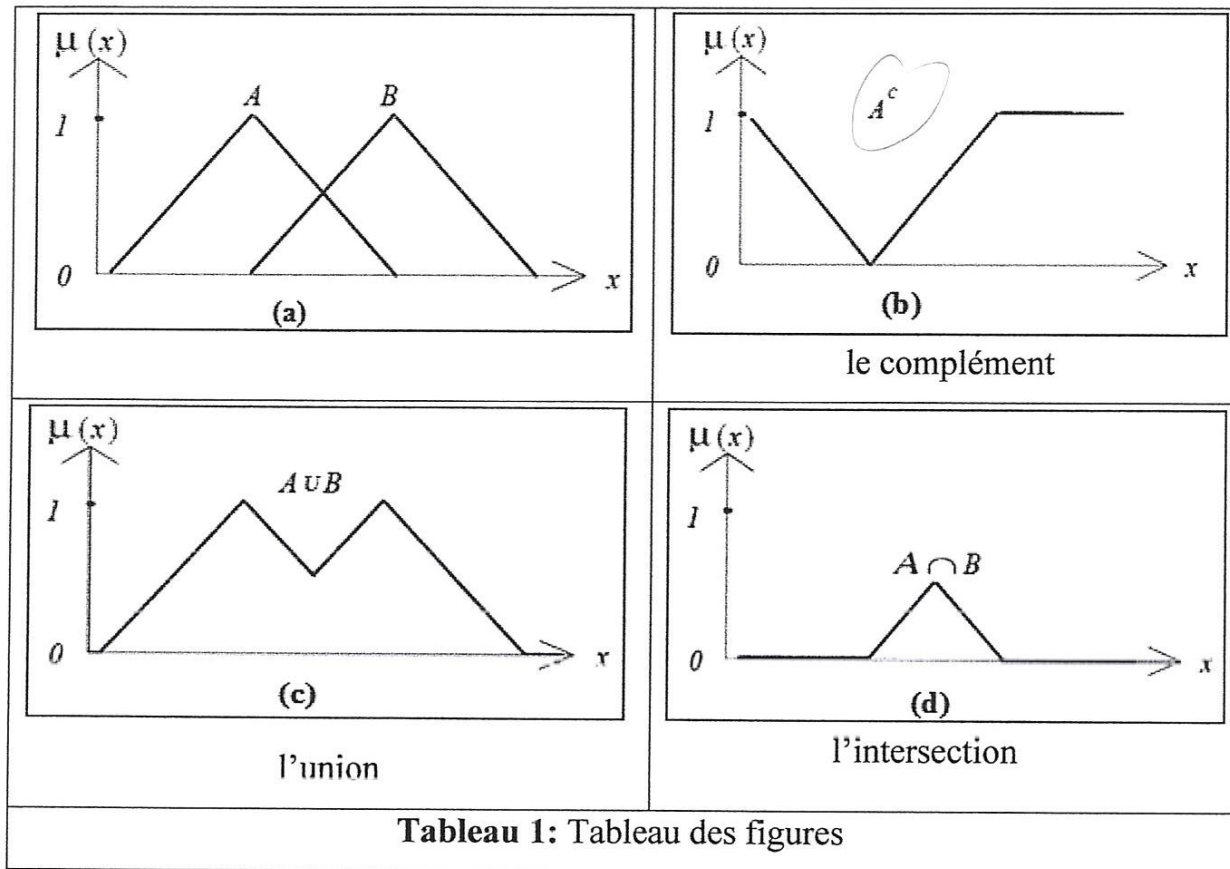
L'union de A et B est un ensemble flou $A \cup B$ tel que :

ZADEH:	$\mu_{A \cup B} = \max (\mu_A, \mu_B)$
LUKASIEWICZ:	$\mu_{A \cup B} = \min [1, \mu_A + \mu_B]$
Probabilité :	$\mu_{A \cup B} = \mu_A + \mu_B - \mu_A \mu_B$

Le complément d'un ensemble flou A est un ensemble flou A^c dont la fonction d'appartenance μ_{A^c} vérifie :

ZADEH:	$\mu_{A^c} = 1 - \mu_A$	$\lambda = 1$
SUGENO:	$\mu_{A^c} = \frac{1 - \mu_A}{1 + \lambda \times \mu_A}$	$\lambda > 1$

Handwritten mark: a stylized symbol resembling a lambda or a similar character.



IV. Principes de la logique floue

La logique floue est une branche des mathématiques et, à ce titre, toute une série de notions fondamentales sont développées. Ces notions permettent de justifier et de démontrer certains principes de base. Dans ce qui suit on ne retiendra que les éléments indispensables à la compréhension du principe du réglage par la logique floue. [34][34bis] Ces éléments sont :

- les variables floues
- les règles d'inférences

IV.1. Variables floues

Contrairement aux variables binaires qui sont définies par les deux états « vrai » ou « faux »,

Les variables floues présentent toute une gradation entre la valeur « vrai » et la valeur « faux ». L'exemple qui suit permet de mieux saisir la distinction qui existe entre les variables binaires et les variables floues :

Si l'on désire classer un groupe d'individu par leur taille en définissant la catégorie des petits par une taille en dessous de 160 cm, la catégorie des moyens par une taille comprise entre 160 cm et 180 cm et la catégorie des grand par une taille supérieure à 180 cm, la logique binaire donne la représentation de la (**figure IV.1**) pour les trois variables « petit », « moyen » et « grand ».

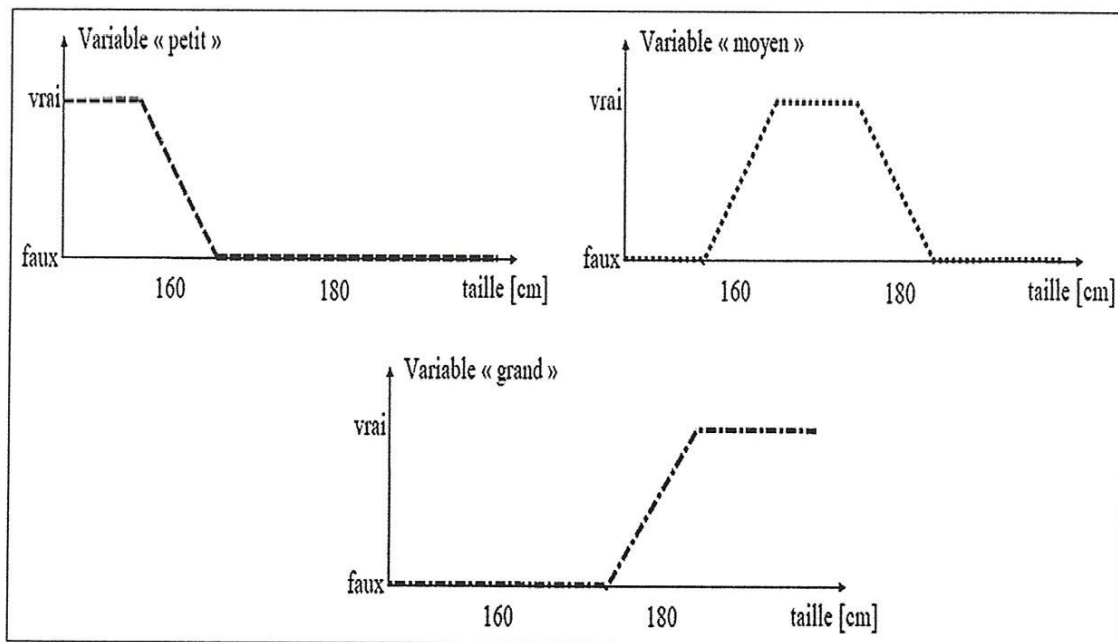


Fig.IV.1 : les trois variables « petit », « moyen » et « grand » [34][34bis]

IV.2. Le modèle flou [13]

En général, tout système physique modélisable (linéaire ou non linéaire) peut se décomposer en trois éléments inter-liés :

- **INPUT** (variable d'entrée),
- **MODELE** (formulation mathématique),
- **OUTPUT** (variable de sortie).

En cas d'une non linéarité ou en l'absence d'un modèle mathématique décrivant un système physique, la logique floue peut être une alternative d'un tel système, à la condition qu'on doit disposer des informations de base sur notre système (par exemple : données expérimentales).

Le modèle flou peut être décrit par le schéma synoptique suivant (figure IV.2).

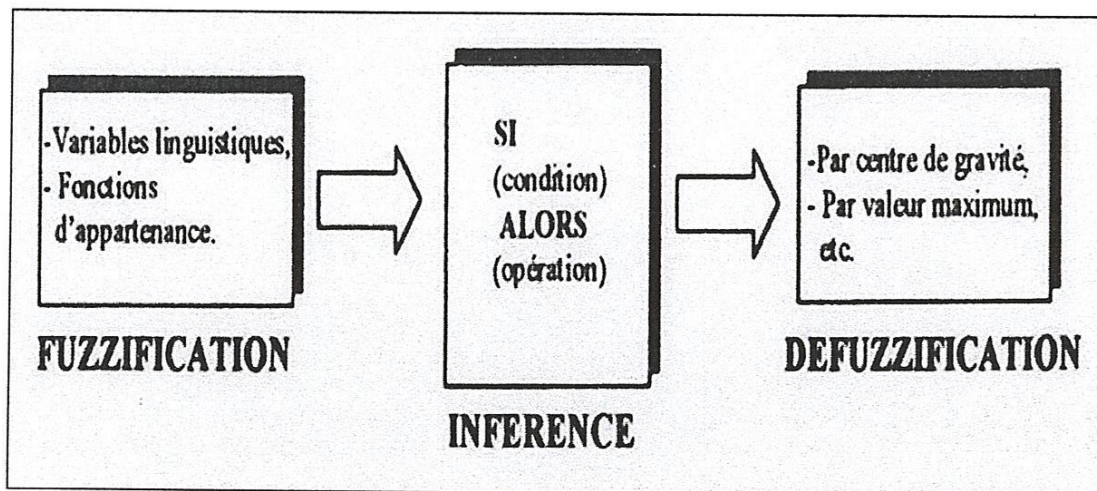


Fig. IV.2 : Schéma synoptique du modèle flou [35]

Fuzzification : c'est la définition des variables linguistiques et leurs fonctions d'appartenance

Inférences : c'est l'établissement des règles d'inférence sous la forme : **SI ... ALORS**

Déffuzzification : c'est la détermination de la variable de sortie par le calcul sur centre de gravité, ou par la valeur maximale ...etc.

V. Application de la logique floue

V.1. Premières applications

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.Smith réalise le contrôle d'un four à ciment. C'est là la première véritable application industrielle de la logique floue [31a].

V.2. Intérêt et utilisation de la logique floue pour le contrôle

V.2.1. Intérêt

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

- La connaissance que l'être humain a d'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 inutile ;

par exemple pour choisir un appartement, il pourra prendre en compte la surface, la proximité de commerces, la distance du lieu de travail, le loyer, sans pour autant avoir besoin d'une valeur très précise de chacune de ces données.

- Dans l'industrie ou les techniques, 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 [31a].

V.3. Utilisation pour le contrôle

La logique floue est bien connue des automaticiens pour ses applications dans le contrôle-commande de procédés, appelé alors couramment « Contrôle flou ».

Tout comme un contrôleur (ou correcteur) classique, le contrôleur flou s'insère dans la boucle de régulation et calcule la commande à appliquer au procédé suivant une ou plusieurs consignes et une ou plusieurs mesures effectuées sur celui-ci.

Les bases de règles floues sont intéressantes en commande car elles permettent :

- De prendre en compte une expertise existante de nature qualitative,
- De prendre en compte des variables que l'on sait difficilement intégrer dans la boucle,
- D'améliorer le fonctionnement de contrôleurs classiques, par :
 - Autoréglage hors ligne ou en ligne des gains de ces contrôleurs,
 - Modification de leur sortie (feed forward) en fonction d'événements qui ne peuvent pas être pris en compte par une technique classique.

La plupart des réalisations de logique floue font appel à une connaissance spécialisée préalable du domaine d'application. Afin d'être accessible au lecteur, l'exemple qui suit est basé sur une application fictive. Il est destiné à illustrer la démarche de création d'une base de règles floues [33].

CHAPITRE -II-

I. L'approche

La durabilité d'un procédé manufacturier doit être évaluée en utilisant des facteurs mesurables qui peuvent être appelés des indicateurs de durabilité. Dans cet objectif, le procédé peut être considéré comme durable si la puissance, le matériau, la maintenance et la toxicité sont minimisés au niveau d'entrée / sortie.

La puissance, le matériel, le coût et les émissions dangereuses sont définis comme les indicateurs de procédé. Ces quatre indicateurs ne sont pas indépendants :

1. Énergie (force ou puissance)
2. Matériau (moins de matière enlevée + taux d'enlèvement de la matière élevé et productivité élevée)
3. Toxicité et environnement (suppression des substances toxiques, minimiser les émissions dangereuses)
4. Maintenance (Durée de vie la machine-outil élevée, coût de maintenance bas, niveau de fiabilité (rendement) élevé, niveau de sécurité élevé, type de maintenance, facteur humain, adaptabilité des machines de production)

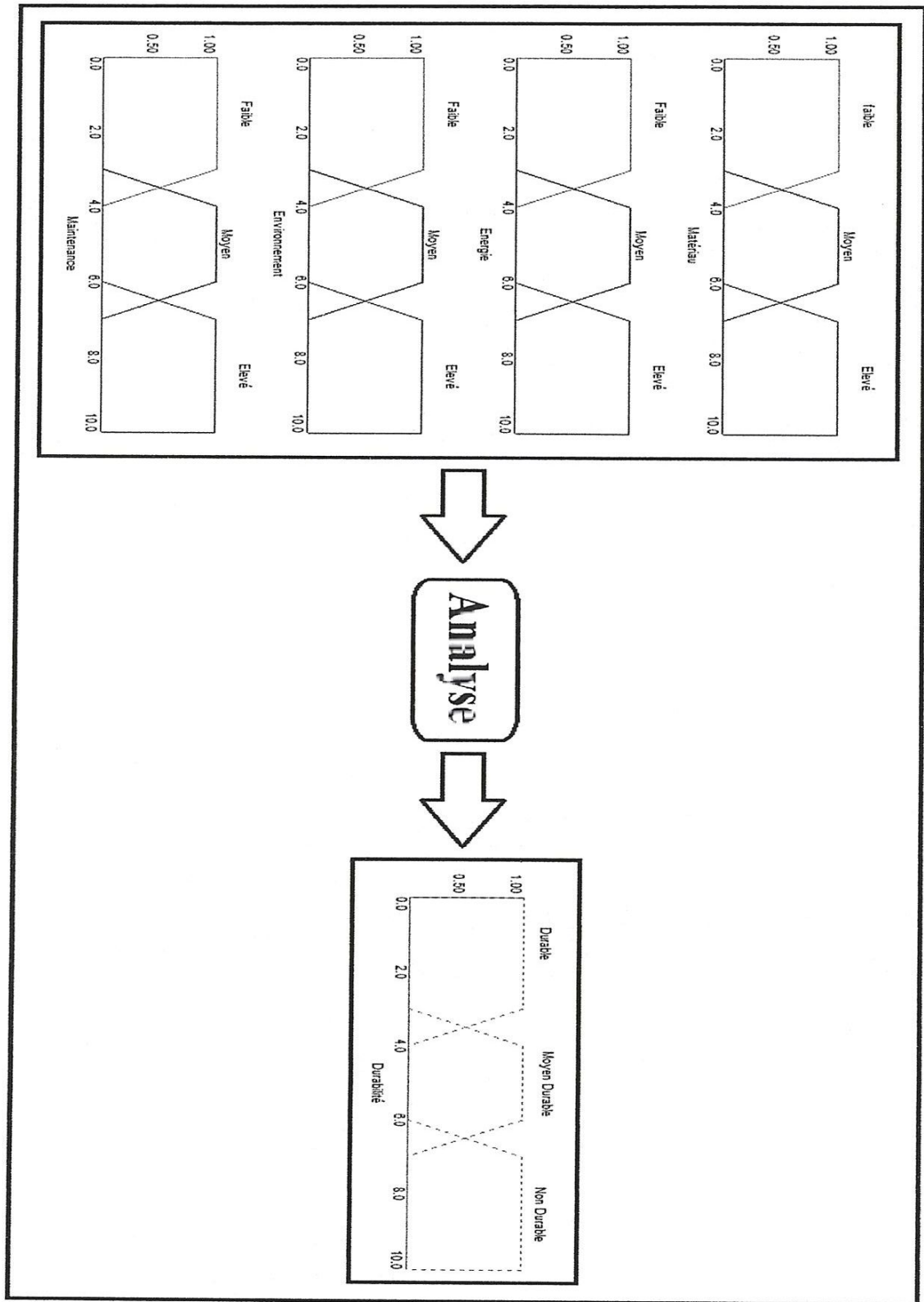


Figure 1 : L'approche proposée pour définir la viabilité des procédé d'usage (voir la version en ligne pour les couleurs) analyse



Pour la conception et la fabrication d'une pièce donnée, les trois premiers facteurs (1, 2 et 3) peuvent être clairement définis. Toutefois, les paramètres de coupe et de la méthode de lubrification sont pas toujours évident d'être choisi. Il est intéressant de définir les indicateurs de procédé (le matériau, l'énergie, l'environnement, la maintenance) en fonction des conditions de coupe (paramètres de coupe et le mode de lubrification).

L'approche proposée est définie comme suit:

Étape 1 Calculer ou estimer les énergies (les forces). ?

Étape 2 Pour les paramètres choisis estimer la puissance, le matériau.

Étape3 Pour les paramètres choisis de toxicité (suppression des substances toxique, minimiser les émissions de particules).

Étape 4 Estimer le niveau de la fiabilité en se basant sur : Durée de vie la machine-outil, coût de maintenance, niveau de sécurité élevé, type de maintenance, facteur humain, adaptabilité des machines de production.

Étape 5 Définissez trois niveaux de la durabilité: non-durable (NS); tranquillement durable (QS) et durable (S).

Étape 6 Pour les paramètres choisis, le programme de logique floue est utilisée pour prendre une décision (Figure 1).

II. Évaluation des indicateurs de durabilité

L'indicateur de puissance d'émission différente, le matériel, la maintenance et les aérosols peuvent être estimées comme suivant:

1- La puissance (énergie ou force)

La puissance de procédé d'usinage peuvent être évalués à partir des puissances partielles:

- P_{MR} : la puissance nécessaire pour l'enlèvement de matière (entrée)
[KW]
- P_L : la puissance nécessaire pour le système de lubrification (entrée)
[KW]
- P_{PP} : la puissance nécessaire pour le recyclage du lubrifiant (sortie)
[KW]
- P_{CR} : la puissance nécessaire pour la décontamination des pièces (sortie)
[KW]

Le pouvoir total du processus, sera calculée comme suit:

$$P_{Total} = P_{MR} + P_L + P_{LR} + P_{CR}$$

Pour un ensemble de procédé, matériau et outil donnés, il est possible d'estimer la puissance totale P_{Total} si les conditions de coupe sont bien définis.

Dans le cas de l'usinage à sec P_{Total} devenir :

$$P_{Total} = P_{MR}$$

2- Maintenance

L'indicateur de maintenance est très important lors de la décision de durabilité d'une industrie parce qu'il cherche à maximiser la fiabilité et durée de vie du système. Certain paramètres sont définis comme suit :

- TBF espace de temps entre deux pannes successive
- MTBF (moyenne de temps de bon fonctionnement) soit le plus élevé possible et la durée de vie d'une machine soit le plus élevé possible avec une recyclabilité assuré (machine éternelle).
- TTR et MTTR (temps technique de réparation) = la somme des TTR/n nombre de réparation ou le nombre de pannes.
- Le rendement R_s
- Rapport de maintenance : λ/μ
- Le taux de défaillance : $\lambda = 1/MTTR$

Le taux de réparation μ indicateur de rapidité des interventions (fiabilité de maintenance corrective)

- La fonction de fiabilité $R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\lambda t}$

L'indicateur de maintenance considéré dans notre modèle de durabilité doit être minimisé pour le souci de la conformité des autres indicateurs. Pour cette raison l'indicateur de maintenance doit être l'inverse de la fiabilité.

3- Matériau

L'indicateur de la matière sera évaluée à partir de:

- M_{rr} : le taux d'enlèvement de matière (de sortie) [cm³/min]
- C_{fr} : le taux d'écoulement de fluide de coupe (entrée) [cm³/min].

Puis l'indicateur de procédé matériel peut être estimée en fonction de ce qui suit: le taux d'enlèvement de matière devrait être plus haut possible et le fluide de coupe débit doit être aussi faible que possible. Pour ces règles, l'indicateur de matériau peut être proposé en tant que:

$$M_{\text{procédé}} = \frac{1 + C_{\text{fr}}}{M_{\text{rr}}}$$

Dans le cas de l'usinage à sec $M_{\text{procédé}}$ devient: $M_{\text{procédé}} = \frac{1}{M_{\text{rr}}}$

La recyclabilité peut être intégrée comme facile à recycler ou recyclables. Il est possible d'intégrer l'échelle de recyclabilité de 0 à 10; la valeur de 0 pour être très facile à recycler et 10 pour très difficile recycler. Le 0 est alloué pour les procédés à sec et les 10 est alloué pour l'usinage lubrifié. Des opérations de décontamination seront nécessaires avant le recyclage durant les procédés lubrifiés. En outre, l'indicateur du matériau implique l'indice de recyclabilité. Cependant, l'utilisation de l'indicateur du matériau est considérée comme moyen d'évaluer la productivité et la recyclabilité.

4- Environnement (Toxicité)

Dans le domaine de l'hygiène du travail, les méthodes classiques d'évaluation de la toxicité sont reliées à la caractérisation de la concentration massique et la Composition chimique des particules dispersées dans l'air [41]. Dans domaine de l'usinage de l'indicateur de toxicité peuvent être évalués directement à partir des émissions d'aérosols en utilisant soit un appareil de mesure ou l'indice de poussière souvent appelé Dust Unit (D_u). Dans domaine

de l'usinage, il est essentiel d'identifier ce que chaque opération peut produire d'aérosols. Par conséquent, il est utile dans l'estimation du facteur d'émission d'aérosols à utiliser que le D_u . Le coefficient (D_u) représente la masse d'aérosols générées lors du procédé divisé par la masse du copeau. Le D_u comprend aérosols liquides et solides générés lors de l'usinage qui peuvent être nocifs à la fois à la santé des opérateurs et de l'environnement [4] [5] [8][10][11][12][14] [15] [41]. En utilisant l'équation suivante, il sera possible de prédire l'indicateur d'émissions d'aérosols [42] [43] [44].

$$D_u = A \times \frac{\beta_{max} - \beta}{\beta_c} \times R_a \times \eta_s \cdot \left(\frac{V_o}{V}\right)^\delta \exp\left(\frac{-E_A}{E}\right)$$

Où A est le facteur de proportionnalité; V est la vitesse de coupe, V_o est la vitesse de coupe critique à laquelle l'émission d'aérosols toxiques est maximale; R_a est la rugosité de la coupe face de coupe de l'outil, η_s est la densité de la segmentation du copeau, β est un coefficient de segmentation définie par [46]. β_{max} et β_c sont respectivement la valeur maximale et la valeur critique; δ est un paramètre du matériau introduit pour caractériser la capacité du matériau à produire des copeaux fragiles ou ductiles. E_A est l'état d'énergie de la particule (énergie d'activation de particules par unité de surface par w/mm2 unité de temps) et E est l'énergie de coupe par coupe unité de surface et par unité de temps (w/mm2). L'énergie E pour la coupe orthogonale peut être calculée par l'équation suivante:

$$E = \tan \varphi (1 - C_h \sin \alpha) v \frac{F_{sh}}{bf}$$

Où φ est l'angle de cisaillement, la est F_{sh} une force de cisaillement, C_h le taux de compression à puce, α l'angle d'inclinaison d'outil, la section de puce bf .

Selon les résultats expérimentaux, il est utile d'utiliser directement la valeur de Du multiplié par 104. Il a été constaté que le matériau fragile est très faible et par conséquent, la toxicité doit être aussi faible [42] [43] [44].

Dans le cas de la fonte grise, le maximum était à $Du 0,02 \times 10^{-4}$ pendant le tournage orthogonal. Par la suite, il peut être représenté seulement 0,02 dans l'échelle de toxicité dans le programme de logique floue. Si de nombreux processus sont comparés, le fraisage peut être considéré comme le processus qui produit plus de poussière que tournage et le perçage par [42] [43] [44] [45].

III. Définition des fonctions d'appartenance et les règles

La forme trapézoïdale des ensembles flous est utilisée et trois niveaux sont proposés pour chaque indicateur (faible, moyen et élevé). L'échelle 10 est proposée afin d'avoir une uniformité de la quantification des indicateurs différents. Les valeurs réelles des indicateurs doivent être transformées à l'échelle proposée.

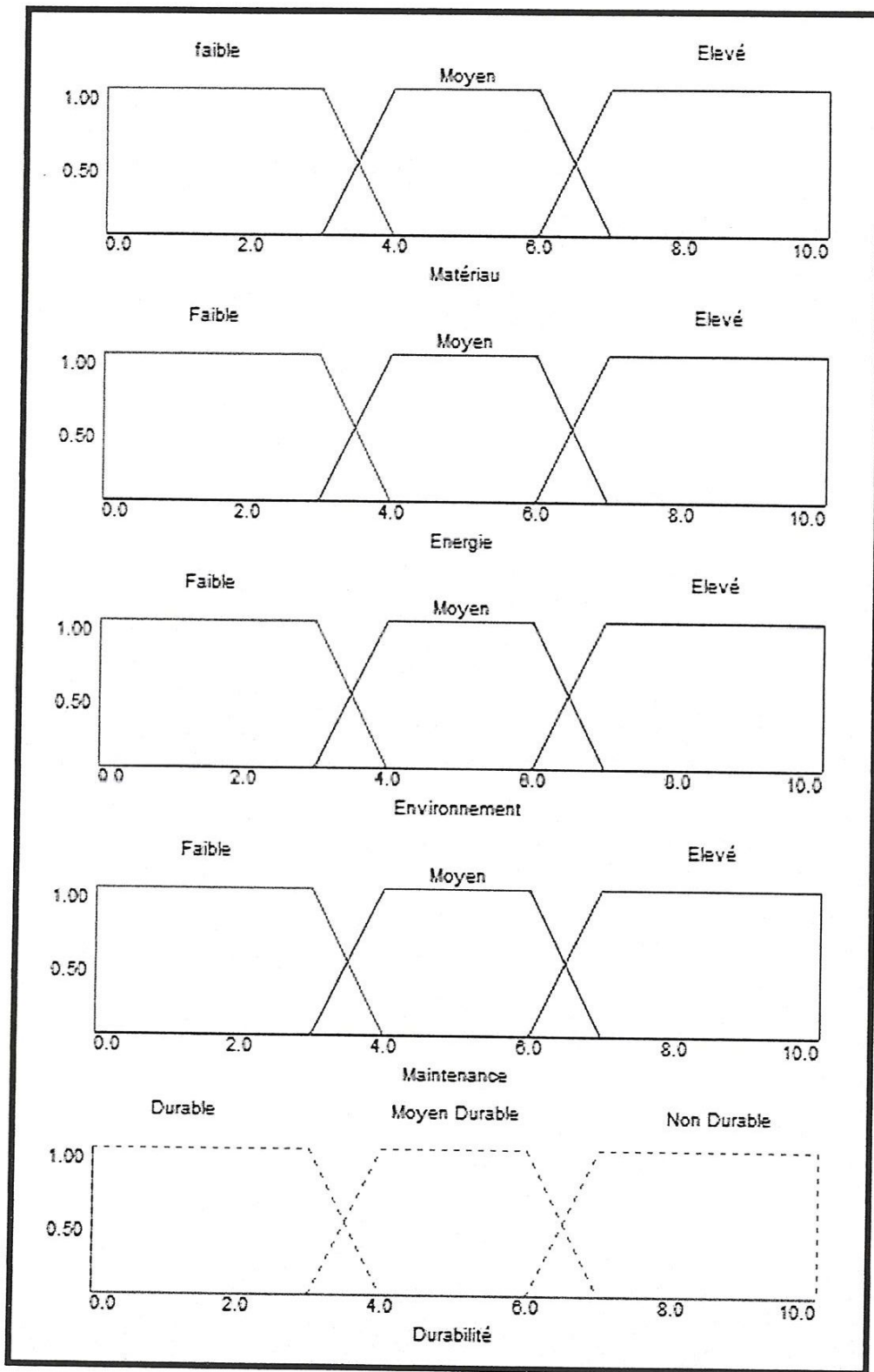


Figure 2 : Exemple de définitions de fonctions d'appartenance pour les indicateurs de matériau, puissance, toxicité et maintenance (voir la version en ligne pour les couleurs)

α

	Matériau	Énergie	Environnement	Maintenance	Durabilité
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					
.					

IV. Application

Dans le cadre de ce projet des données expérimentales tirées de la littérature ont été utilisées afin de valider le programme développé [46] .

Certains paramètres tel que force, force et émission de particule peuvent être soit mesurés directement par des instruments ou estimés par des méthodes de calcul (analytique ou numérique). Une méthode d'optimisation est peut être développée afin de prédire la durabilité d'un système de production. Deux procédés d'usinage (perçage et fraisage) ont été testés pour comparer la durabilité. Des outils en carbure ont été également utilisés pour les deux procédés. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 1** suivant.

	Fraisage	Perçage
Emissivité (Du)- environnement-	8.19	4.3
Puissance(KW)	0.24	0.27

Tableau 1 : Tableau de procédé d'usinage (perçage et fraisage)

L'usinage à sec a été choisi pour les deux procédés afin de les mettre dans des conditions similaires et de respecter au maximum l'environnement.

Pour les deux autres paramètres, les conditions de coupe ont été choisies d'une façon à débiter la même quantité de matière pour les deux procédés. Donc, pour le paramètre de matériau il prend la valeur de deux pour les deux procédés. En utilisant les mêmes outils de carbure en usinant les alliages d'aluminium 6061-T6, la durée de vie doit être similaire. De plus, comme les expérimentations ont été réalisées dans le même atelier et dans les mêmes

conditions, on suppose que le niveau de maintenance soit le même. Admettant, un niveau de maintenance meilleur pour un niveau de défaillance minime qui peut prendre la valeur de 3. Ceci a été sélectionné dans le souci de se converger vers des procédés durable. Le but est de serrer les conditions afin de comparer deux procédés différents qui se présentent dans des conditions similaires. La compilation de programme donne les résultats présentés dans la **figure 4(a) et 4(b)**.

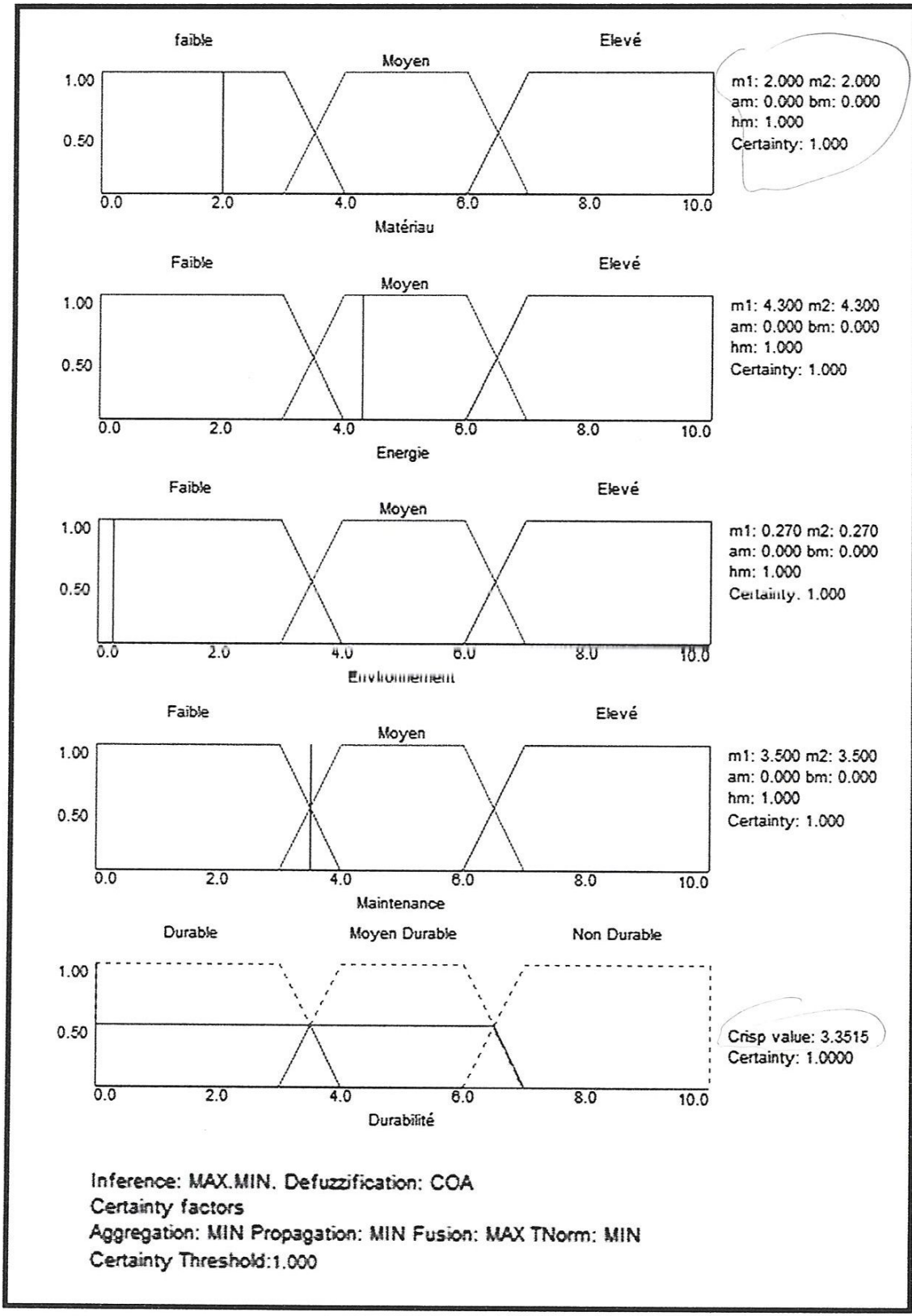


Figure 4-a : durabilité processus de forage *perforage*

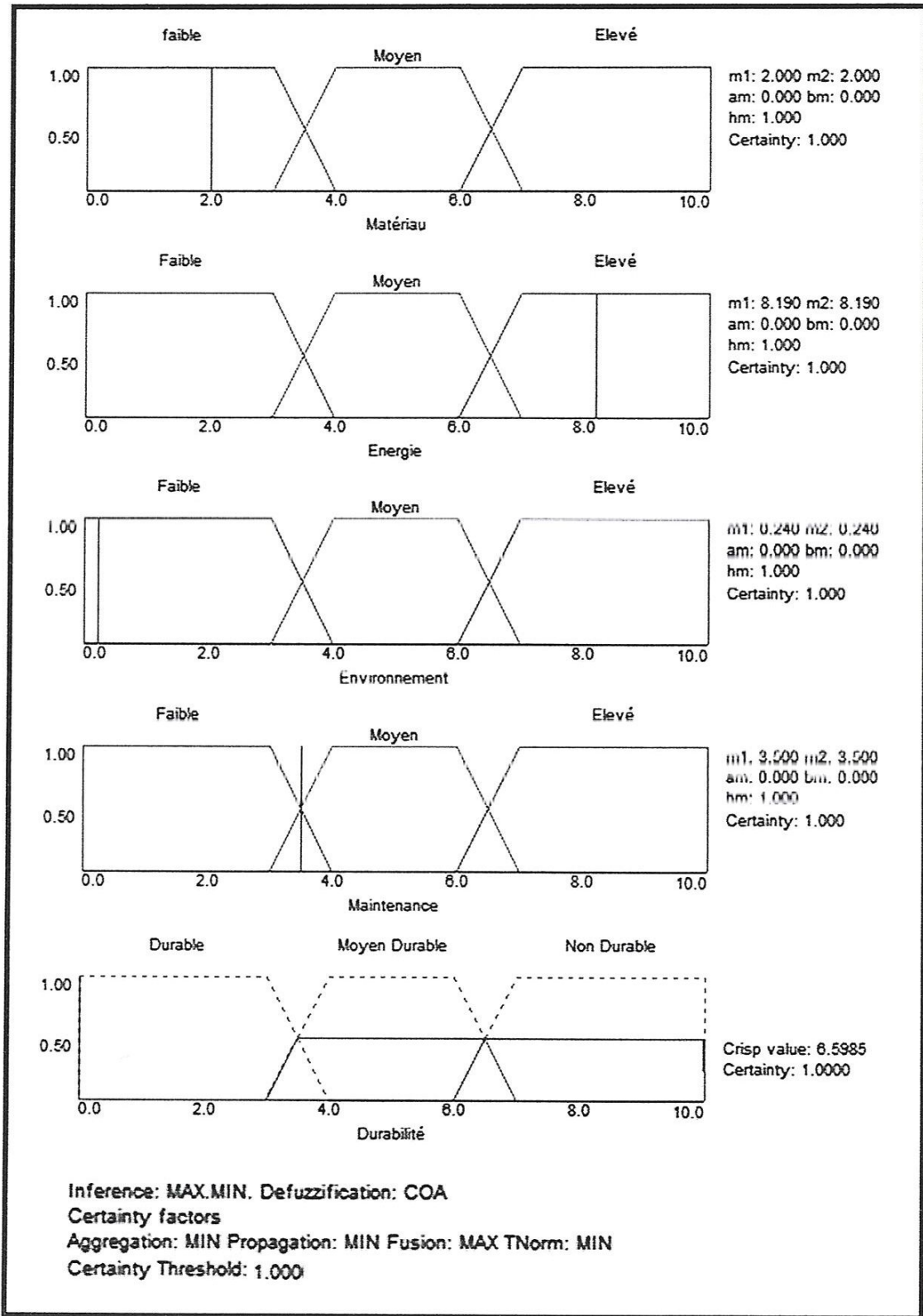


Figure 4-b : durabilité processus de fraisage

Conclusion :

En pensant aux générations futures, respectant santé et environnement tout en restant concurrentiel est sans doute un idéal qui mérite une attention particulière. Dans le cadre de ce travail, un modèle a été conçu pour évaluer la durabilité dans le domaine de fabrication en intégrant matériau, puissance (énergie), émissions d'aérosols (environnement+ santé) et maintenance. Ce modèle permet de développer une classification des procédés de fabrication et proposer une nouvelle norme. Il peut être également utilisé ou généralisé pour d'autres domaines industriels. La logique floue a été employée pour évaluer l'indice de durabilité afin de nous aider à faire une bonne décision. Il a été montré lors de l'usinage des alliages d'aluminium 6061-T6 dans des conditions similaires que le perçage est plus avantageux que le fraisage en termes de durabilité. Dans d'autres procédés de formage la méthode nécessitera quelques ajustements et elle doit être aussi fiable.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Marksberry, P.W.** (2004) 'An assessment of tool-life performance in NDM (near dry machining) for sustainable manufacturing of automotive steel components', Dissertation, Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Kentucky.
- [2] **Marksberry, P.W.** (2007) 'Micro-flood (MF) technology for sustainable manufacturing operations that are coolant less and occupationally friendly', *Journal of Cleaner Production*, Vol. 15, No. 10, pp.958–971, Center for Manufacturing, College of Engineering, University of Kentucky, Lexington.
- [3] **Marksberry, P.W. and Jawahir, I.S.** (2008) 'A comprehensive tool-wear/tool-life performance model in the evaluation of NDM (near dry machining) for sustainable manufacturing', *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 48, Nos. 7–8, pp.878–886
- [4] **Dhar, N.R. and Islam, M.W.** (2006) 'The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel', *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 171, No. 1, pp.93–99.
- [5] **Dhar, N.R. and Kamruzzaman, M. et al.** (2006) 'Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel', *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 172, No. 2, pp.299–304.
- [6] **Chen, D., Sarumi, M. and Al-Hassani, S.T.S.** (1998) 'Computational mean particle erosion model', *Wear*, Vol. 214, pp.64–73.
- [7] **Yue, Y., Gunter, K.L., Michalek, D.J. and Sutherland, J.W.** (2000b) 'Cutting fluid mist formation in turning via atomization, part 2: experimental validation', *IMECE Proc. of ASME: Manufacturing Engineering Division, ASME Bound, Volume – MED*, Vol. 11, pp.851–858
- [8] **Yue, Y. and Sun, J. et al.** (2004) 'Character and behaviour of mist generated by application of cutting fluid to a rotating cylindrical work piece, part 1: model development', *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, Vol. 126, No. 3, pp.417–425.
- [9] **Yue, Y., Gunter, K.L. Michalek, D.J. and Sutherland, J.W.** (2000a) 'Cutting fluid mist formation in turning via atomization, part 1: model development', *IMECE Proc. of ASME: Manufacturing Engineering Division, ASME Bound, Volume – MED*, Vol. 11, pp.843–850.

- [10] **Chen, Z. and Atmadi, A. et al.** (2000) 'Analysis of cutting fluid aerosol generation for environmentally responsible machining', *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Vol. 49, No. 1, pp.53–56.
- [11] **Chen, Z. and Liang, S.Y. et al.**, (2002) 'Predictive modeling of cutting fluid aerosol generation in cylindrical grinding', *NAMRC*, 21–24 May, Society of Manufacturing Engineers, West Lafayette, ID.
- [12] **Chen, Z. and Wong, K. et al.** (1999) 'Cutting fluid aerosol generation due to spin-off in turning operation: analysis for environmentally conscious machining' manufacturing science and engineering', *The ASME International Mechanical Engineering Congress and Exhibition*, 14–19 November.
- [13] **Atmadi, A. and Stephenson, D.A. et al.** (2001) 'Cutting fluid aerosol from splash in turning: Analysis for environmentally conscious machining', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 17, No. 4, pp.238–243.
- [14] **Rossmoore, H.W. and Rossmoore, I.A.** (1990) 'Effect of microbial growth products on biocide activity in metalworking fluids', *Symposium on Extra Cellular Microbial Products in Bio-Deterioration, International Bio-Deterioration*, 9–10 April, Vol. 27, No. 2, pp.145–156.
- [15] **Sondossi, M. and Rossmoore, H.W. et al.** (2001) 'Relative formaldehyde resistance among bacterial survivors of biocide-treated metalworking fluid', *International Bio-Deterioration and Biodegradation*, Vol. 48, Nos. 1–4, pp.286–300.
- [16] **Skerlos, S.J., Hayes, K.F., Clarens, A.F. and Zhao, F.** (2008) 'Current advances in sustainable metalworking fluids research', *Int. J. Sustainable Manufacturing*, Vol. 1, Nos. 1/2, pp.180–202.
- [17] **Jawahir, I.S. and Dillon, O.W.** (2007) 'Sustainable manufacturing processes: new challenges for developing predictive models and optimizations techniques', Keynote paper, *1st International Conference on Sustainable Manufacturing*, 17–18 October, Montreal.
- [18] **Zaghbani, I., Songmene, V., Kientzy, G. and Lehuy, H.** (2010) 'Evaluation of sustainability of mould steels based on machinability data', *Int. J. Machining and Machinability of Materials*, Vol. 7, Nos. 1/2, pp.58–81.

- [19] **Westkamper, E., Alting, L. and Arndt, G.** (2000) 'Life cycle management and assessment: approaches and visions towards sustainable manufacturing', *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Vol. 49, No. 2, pp.501–526.
- [20] **Prato, T.** (2007) 'Assessing ecosystem sustainability and management using fuzzy logic', *Journal of Ecological Economics*, Vol. 61, No. 1, pp.171–177.
- [21] **Azadi, H., Van den Berg, J., Shahvali, M. and Hosseininia, G.** (2009) 'Sustainable rangeland management using fuzzy logic: a case study in Southwest Iran', *Agriculture, Ecosystems and Environment Journal*, Vol. 133, Nos. 3–4, p.193–200.
- [22] **Gagliardia, F., Rosciab, M. and Lazaroïu, G.** (2007) 'Evaluation of sustainability of a city through fuzzy logic', *Journal of Energy*, Vol. 32, No. 5, pp.795–802.
- [23] **16-Prato, T.** (2005) 'A fuzzy logic approach for evaluating ecosystem sustainability', *J. Ecological Modelling*, Vol. 187, Nos. 2–3, pp.361–368
- [24] *GUIDE POUR L'ELABORATION D'UN PLAN DE DURABILITE DU TIDC (PROJETS DE 5ème ANNEE)*. Who/APOC, Septembre 2004
- [25] *Les biotechnologies au service de la durabilité industrielle*, OCDE 2001. (www.oecd.org/sti/biotechnology)
- [26] www.google.fr durabilité http://www.futura-sciences.com/fr/definition/durabilite_2075/
- [27] [www.biofondation ge.fr](http://www.biofondationge.fr) français
- [28] **Abdellah A.**, *Agronomie Durable Principes et Pratiques*. Rapport de Formation, Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) Avril 2009, nombre de page 33.
- [29] **Riad K., Imed Z., Abdel Hakim D., Jules K. ET Victor S.**, *A new sustainability model for machining processes*. Int. J. Business Continuity and Risk Management, Vol. 2, No. 3, 2011.
- [30] Stratégies du développement industriel durable L'écologie industrielle, une des clés de la durabilité. Février 2004, <http://www.apreis.org>
- [31a] **Life Cycle Management and Assessment: Approaches and Visions towards Sustainable Manufacturing** (keynote paper)

- [31] **Hawken, P., Amory B, Lovins L., Hunter Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution.** Little Brown & Company, 1999.
- [32] François **CHEVRIE ET GUELY**, *cahier technique Schneider*, CT191 éditions mars 1998
- [33] **Marie-Noëlle Marsault, Jean-Marie Apvrille, Jean-Claude Martin** *Contrôle commande de la ventilation expérimentation logique floue.* Septembre 2011 page 10-11
- [34] *A fuzzy logic approach for evaluating ecosystem sustainability Tony Prato.* Ecological Modeling (2005)
- [34 bis] **J. Décosterd (EICN), P. Marchal (CSEM) et J.-F. Perotto (CSEM)** séminaire « logique floue » EISI 1993
- [35] **Zalila.Z, Cuquemelle. J, Penet. C, Chikh.A, Lorentz. B, Deschamps. D, Assemat. C.**Révision, V2-12/2008
- [36] **Ridha .B, Abderrazek.A, Ammar. B,** *Application de la logique floue aux techniques d'accès multiples par répartition des codes CDMA*, Dix-septième Colloque GRETSI, Vannes, 13-17 septembre 1999
- [37] **GERALD.H, HE-ARC, BAPTISTE.S,** *PROCESSEURS FLOUS.* CH-2610 ST-IMIER, WWW.HE-ARC.CH . PAGE 3-4-5
- [38] **M.Drif et Chikh.M,** *Estimation de l'Irradiation Solaire par la Logique Floue.* Rev.Energ. Ren : Chemss 2000, pp.105-110
- [39] **Gilles FRAISSE,** *LA REGULATION THERMIQUE DES BATIMENTS TERTIAIRES : APPLICATION DE LA LOGIQUE FLOUE A LA REGULATION CENTRALE DU CHAUFFAGE EN REGIME INTERMITTENT,* Thèse- N° Ordre : 97 ISAL 0089 .année 1997 page 41-45
- [40] **Hafidha.A, Nachida.R,** *Intégration de la logique floue dans le raisonnement à base de cas : application dans le domaine du bâtiment,* 4^e Atelier sur les systèmes décisionnels ASD'09 Jijel, Algérie novembre 2009 (2009).
- [41] **Gensdarmes, F., Bau, S., Witschger, O., Dewalle, P., Vendel, J., Weulersse, J. and Decobert, G.** (2007) 'De Nouvelles Approches Pour La Métrologie Et La Caractérisation Des Nanoparticules Sous Forme D'aérosols', *Rapport Scientifique et Technique, IRSN*, pp.181-187, Fontenay-aux-Roses, France.

- [42] **Khettabi, R. and Songmene, V.** (2009) 'Particle emission during orthogonal and oblique cutting', *International Journal of Advances Machining and Forming Operations*, Vol. 1, No. 1, pp.1–9.
- [43] **Khettabi, R., Songmene, V. and Masounave J.** (2010a) 'Influence of machining processes on particles emission', *49th Annual Conference of Metallurgists of CIM*, Vancouver.
- [44] **Khettabi, R., Songmene, V., Masounave, J. and Zaghbani, I.** (2010c) 'Modeling of fine and ultrafine particle emission during orthogonal cutting', *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 19, No. 6, pp.776–789.
- [45] **24-Xie, J.Q., Bayoumi, A.E. and Zbib, H.M.** (1996) 'Study on shear banding in chip formation of orthogonal machining', *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 36, No. 7, pp.835–847.
- [46] **Riad Khettabi*, Imed Zaghbani, Abdelhakim Djebara, Jules Kouam and Victor Songmene. A new sustainability model for machining processes.** *Int. J. Business Continuity and Risk Management*, Vol. 2, No. 3, 2011 187