

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

BOU/2820

THESE

PRESENTEE POUR OBTENIR LE DIPLOME
DE MAGISTER : EN ELECTRONIQUE

OPTION : MICRO-ELECTRONIQUE

PAR: BOUHARATI SADDEK

SUJET:

DETECTION AUTOMATIQUE PAR LOGIQUE FLOU
DES BACTERIES COLIFORMES

Soutenue le : 11 Novembre 1995

Devant la commission d'examen:

Président: Mr. S. Abdellatif

Professeur Univ. de Constantine

Rapporteur: Mr. K. Benmahamed

M. de Conf. Univ. de Sétif

Examineurs: Mrs. K. Belarbi

M. de Conf. Univ. de Constantine

N. Boucenna

M. de Conf. Univ. de Sétif

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

BOU/2820

THESE

PRESENTEE POUR OBTENIR LE DIPLOME
DE MAGISTER : EN ELECTRONIQUE

OPTION : MICRO-ELECTRONIQUE

PAR: BOUHARATI SADDEK

SUJET:

DETECTION AUTOMATIQUE PAR LOGIQUE FLOU
DES BACTERIES COLIFORMES

Soutenu le : 11 Novembre 1995

Devant la commission d'examen:

Président: Mr. S. Abdellatif
Rapporteur: Mr. K. Benmahamed
Examineurs: Mrs. K. Belarbi
N. Boucenna

Professeur Univ. de Constantine
M. de Conf. Univ. de Sétif
M. de Conf. Univ. de Constantine
M. de Conf. Univ. de Sétif

RESUME

La détection bactérienne dans l'eau potable est d'une importance capitale et présente un intérêt particulier.

Les méthodes d'analyses classiques sont souvent lentes et peu fiables.

Nous avons proposé dans cette étude une méthode nouvelle s'appuyant sur une autre technique récente basée sur les principes de la logique floue.

Cette technique répond d'une façon immédiate par la confirmation ou l'infirmité de la contamination du milieu avec une approche quantitative.

Cela est devenu possible grâce à un algorithme flou approprié.

Ce travail a été effectué sous la direction de M' . BENMOHAMED Kheir de l'Institut d'électronique de l'Université de Sétif. Je lui dois une reconnaissance particulière et un remerciement sincère.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à M' . HARZALLAH Daoud du département de microbiologie de l'Université de Sétif, pour l'aide qu'il m'a apporté et qui a rendu possible la réalisation de la partie micro-biologique.

J'exprime mes vives reconnaissances à tout ceux qui m'ont porté leur aide dans la réalisation de ce travail.

En fin, je remercie les membres de jury qui ont répondu favorablement et qui ont accepté de juger ce travail.

SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION	1
APPLICATIONS DE LA LOGIQUE FLOUE	4
• Application au diagnostic médicale.....	6
• Application a un processus de purification d'eau	6
CHAPITRE I	
I- INTRODUCTION A LA THEORIE DE LA LOGIQUE FLOUE	7
I-1 : DEFINITION.....	8
I-2 : PRINCIPES DE BASE.....	8
I-3 : VARIABLES LINGUISTIQUES.....	10
I-4 : PRESENTATION DES ETATS FLOUS.....	11
I-4-a : Etats flous.....	11
I-5 : CONCEPTS DE BASE.....	13
I-5-a : Généralités.....	13
I-5-b : Support d'un ensemble flou.....	14
I-5-c : Ensemble flou vide.....	15
I-5-d : Hauteur d'un ensemble.....	15
I-5-e : Cardinalité scalaire.....	15
I-6 : OPERATION SUR LES ENSEMBLES FLOUS	15
I-6-a : Complementation floue.....	15
I-6-b : Union floue.....	17
I-6-c : Intersection floue.....	17
I-6-d : Inclusion floue.....	17

I-6-e : Produit de deux ensembles flous.....	19
I-7 : DEDUCTIONS FLOUES.....	19
I-7-a : Règles de déductions.....	20
I-8 : CONCLUSION.....	21

CHAPITRE II

OBJET DE COMMANDE	22
II-1 : UTILITE DU CHOIX.....	23
II-2 : DEFINITION.....	24
II-3 : METHODES DE DETECTION BACTERIENNE.....	24
II-3-a : Appareils de détection.....	25
* Le Stratometre.....	25
* Le Bactometre.....	26
* Le E.Colimetre.....	26
II-3-b : Méthode de Wilkin.....	27
II-4 : CONCLUSION.....	30

CHAPITRE III

ETUDE EXPERIMENTALE	32
III-1 : PROCEDE D'ANALYSE CLASSIQUE.....	33
III-2 : PRISE DU POTENTIEL D'ELECTRODE.....	34
III-3 : INTERPRETATION.....	40
III-4 : CONCLUSION.....	41

CHAPITRE IV

APPLICATION DE LA DETECTION FLOUE	42
IV-1 : INTRODUCTION.....	43
IV-2 : CONCEPTION DU CONTROLEUR	43

IV-3 : SCHEMATIQUE DE PRINCIPE DU CONTROLEUR.....	44
IV-4 : MISE EN FORME FLOUE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX	45
IV-4-a : Base de connaissance	45
* Base des donnees.....	45
<i>A - Choix des variables linguistiques.....</i>	45
<i>B - Choix de l'ensemble des valeurs linguistiques.....</i>	46
<i>C - Choix de l'univers de discours</i>	46
* Base des regles	46
<i>A - Présentation des règles syntaxiques pour la répartition de</i> <i>l'univers de discours</i>	47
<i>B - Choix des fonctions caractéristiques</i>	47
IV-5 : STRATEGIE DE FUZZIFICATION.....	48
IV-6 : PRISE DE DECISION (INFERENCE).....	48
IV-7 : QUANTIFICATION DE L'UNIVERS DE DISCOURS.....	53
IV-7-a : Déscretisation et normalisation de l'univers de discours.....	53
IV-7-b : Définitions numériques des ensembles flous primaires	53
IV-8 : DEFUZZIFICATION.....	62
IV-9 : PRINCIPE DE L'ALGORITHME FLOU.....	62
IV-10: ORGANIGRAMME.....	64
IV-11: ALGORITHME FLOU POUR LA DETECTION BACTERIENNE.....	65
IV-12: CONCLUSION.....	68
<i>CONCLUSION GENERALE.....</i>	69
<i>BIBLIOGRAPHIE.....</i>	70

University of California

La stratégie du contrôle flou, est basée sur un ensemble de règles et de décisions d'application . Cette méthodologie est nécessaire lorsque les processus sont très complexes à analyser par des techniques quantitatives conventionnelles et lorsque les données de départ sont jugées incertaines ou imprécises. Un tel contrôleur, peut-être vu comme un pas de rapprochement entre le contrôle mathématique précis et la prise de décision humaine.

Le problème est résumé par le principe d'incompatibilité de ZADEH: « A mesure que la complexité d'un système s'accroît, notre aptitude à formuler des affirmations précises, mais significatives sur son comportement diminue jusqu'à un seuil au-delà duquel la précision et le sens deviennent deux caractéristiques mutuellement exclusives». [3].

L'un des objectifs de l'utilisation de la logique floue est donc le développement d'une méthodologie pour la formulation et la résolution des problèmes de l'environnement réel et qui sont très complexes par les méthodes classiques.

Le contrôle à logique floue est exprimé par des implications floues de la forme (si...alors) qui inclue des variables floues ou variables linguistiques. Ce qui permet de faire approche à un contrôleur intelligent.

Cela nécessite un algorithme approprié permettant la conversion de la stratégie du contrôle linguistique basé sur la connaissance experte, en une stratégie de contrôle automatique.

Nôtre travail s'inscrit dans le cadre de l'application de la logique floue, et cela en vue de la recherche des bactéries coliformes (bactéries indicatrices de contamination), leur identification dans un milieu considéré et donc la confirmation ou l'infirmité de la contamination du milieu.

- Le premier chapitre de notre travail a été consacré à la théorie générale des ensembles flous.
- Le deuxième chapitre traite l'objet de commande et sa définition où nous avons procédé à une prise d'échantillon d'eau potable, sur lequel nous avons appliqué les méthodes classiques d'analyse pour la recherche des bactéries coliformes, c'est à dire l'inoculation dans un milieu de culture et des conditions physico-chimiques appropriées.
- Le troisième chapitre concerne l'étude expérimentale, où nous avons procédé à la prise de potentiel d'électrode de chaque groupe d'échantillon et dont les valeurs correspondent à des taux de présence déterminés en coliformes.
- Et en fin, un quatrième chapitre porte sur l'application du contrôle flou à la base des données expérimentales concernant la détection bactérienne.

REPRODUCTION DE LA PHOTOGRAPHIE

Les premiers travaux de LOTFI A.ZADEH, (1968,1972), [1], [2], détaillés en (1973) et MAMDANI E.H. (1975), [4], [5], constituent les bases de la théorie du flou et les principales réalisations de la logique floue dans le domaine de la commande. SUGENO M. (1985) [6], donne des applications industrielles à base de commande floue.

Les premiers travaux Français sur la logique floue sont apparus à la fin des années 70, avec WILLAEYS D. et MALVACHE N cités par SANCHEZ E. (1989), [7].

Au Danemark, la compagnie SMIDTH F.L., a utilisé pour la première fois un système de commande automatique à logique floue dans un four à ciment qui est opérationnel en routine depuis 1979. (HOLMBLAD L.P., OSTERGAARD I.J., 1982), [8].

Depuis lors, les applications sont diversifiées à travers toutes les industries. C'est au Japon que le plus grand nombre d'applications dans ce domaine a été observé notamment le trafic routier (Toshiba), train, T.V., (Sony), caméra (Sanyo, Canon), avions et fusées spatiales (NASA) etc...[3]. Trois grands projets en matière de recherche et développement sur le flou, principalement celui de l'Université de Hosei de Tokyo, lancé par le ministère Japonais du commerce international et de l'industrie et concrétisé par le Laboratory for International Fuzzy engineering research en vue de développer l'ordinateur flou. (YAMKAWA T., 1987, 1988)., [9], [10], [11].

Dans ce cadre on se limite à citer quelques exemples d'applications liées à la biotechnologie où s'inscrit notre thème.

- **APPLICATION AU DIAGNOSTIQUE MEDICAL:**

Le principe consiste à répertorier les maladies avec leurs caractérisations biochimiques. Toute variation de quelque paramètre qu'il soit par rapport à l'état normal, est exprimée non pas par un nombre, mais par une variable floue.

L'utilisation des mesures combinées après collecte, conduit au diagnostic, tout en tenant compte des interférences des symptômes des maladies différentes (SANCHEZ E. et BARTOLIN R. 1989), [12].

- **PROCESSUS DE PURIFICATION D'EAU:**

Dans ce processus, l'eau de rivière troublée, arrive dans un réservoir où des produits chimiques de précipitations sont rajoutés. Le problème principal, est la détermination instantanée de la quantité des additifs chimiques en relation avec l'état de l'eau des rivières et cela pour maintenir la turbidité de l'eau sous un certain seuil.

Ce processus est donc caractérisé par l'absence d'un modèle physique et de grands changements de turbidité de l'eau de la rivière. La régulation floue a été conçue par Fuji Electric Co. Ltd. et réalisé par un micro-ordinateur (YOGISHITO O. et al., 1985), [13].

~~CHATELAIN~~ L.

INTRODUCTION A LA THEORIE DU FLOU

I-1 : DEFINITION:

Le mot logique associé au mot flou est choquant. La logique au sens commun du terme, est une conception des mécanismes de la pensée humaine qui ne devrait jamais être floue, toujours rigoureuse et formelle. Mais les mathématiciens se sont aperçus qu'il n'y avait pas, en réalité une logique unique, mais autant de logique qu'on veut, tout étant dépendant de l'axiomatique choisie. (KAUFFMAN A. 1973), [14].

La logique floue est caractérisée par des principes formels du raisonnement approximatif. Les modes du raisonnement imprécis, trouvent donc leurs modèles dans cette logique. Ces modèles rendent l'esprit humain capable de prendre des décisions rationnelles dans un environnement imprécis et incertain grâce à sa possibilité de déduire une réponse approximative d'une question basée sur un ensemble de données inexactes ou incomplètes.

La logique floue traite ces problèmes de la manière suivante:

En premier lieu, le sens d'une proposition imprécise est présentée sous la forme d'une contrainte élastique sur une variable linguistique et en second lieu la réponse est déduite à partir de l'élargissement de ces contraintes élastiques sur la variable. (ZADEH L. 1988), [15].

I-2 : PRINCIPES DE BASES:

La logique floue peut-être considérée comme une extension à la logique classique, à la différence que ses objectifs et ses applications sont différentes. Ainsi le fait que la logique floue traite les modes approximatifs au lieu des

modes précis du raisonnement, implique en général, des chaînes de raisonnement moins longues et la rigueur ne joue pas un rôle important, comme c'est le cas dans les systèmes classiques.

Les principales propriétés qui la différencient de la logique classique sont :

a) En logique bivalente, une proposition est soit vraie soit fausse. En logique floue les valeurs de vérité sont des éléments des sous-ensembles flous sur l'intervalle unité.

Ainsi une valeur vérité floue est une caractérisation imprécise d'une valeur vérité numérique.

b) Les prédicats en logique binaire, sont obligatoirement précis dans le sens où la notation d'un prédicat doit-être un sous-ensemble non flou. En logique floue, les prédicats peuvent-être non flous comme mortel, ou plus généralement flous comme malade.

c) La logique binaire permet d'utiliser uniquement deux quantificateurs, tout ou rien, par contre la logique floue permet en plus, d'utiliser d'autres quantificateurs comme "la plupart", "plusieurs", "peu", "fréquemment", etc.. De tels quantificateurs peuvent-être interprétés par des nombres flous qui donne une caractérisation imprécise de la cardinalité d'un ou de plusieurs ensembles flous ou non flous.

d) La logique floue fournit une méthode pour présenter le sens des modificateurs-prédicats flous ou non flous, par exemple, "pas", "très", "doucement", "beaucoup", "plus ou moins" etc.. Ceci permet à un système de communiquer à travers des variables linguistiques c.à.d. les variables dont les valeurs sont des mots ou phrases exprimées en langage naturel, par exemple "âge" est une variable linguistique dont

les valeurs sont supposées être "jeune", "vieux", "enfant", "adulte" etc... [15].

Une branche importante de la logique floue dite "logique dispositionnelle" est apparue. Cette logique comme son nom l'indique traite des dispositions (propositions qui sont généralement vraies mais pas toujours).

Une disposition peut-être vue comme une proposition qualifiée par le quantificateur "généralement" qui est implicite plutôt qu'explicite dans la proposition. (REMY C., 1986), [16].

I-3 : VARIABLES LINGUISTIQUES:

Une variable linguistique est un terme du langage naturel, tel que "grand", "d'accord", "souvent", etc... généralisant la notion de variable numérique, et utilisé pour représenter un ensemble flou dans un problème donné. [16]

Cette variable est caractérisée par un quintuple $[x, \mu(x), A, G, M]$ dans lequel:

x : Nom de la variable.

$\mu(x)$: Ensemble des valeurs linguistiques de "x".

A : Sous ensemble de définition des nombres représentant les valeurs linguistiques.

G : Règles syntaxiques pour la génération des noms des valeurs de "x".

M : Règles sémantiques pour l'association avec chaque valeur sa signification.

Par exemple: Si la vitesse est interprétée par une variable linguistique, alors l'ensemble qui définit le terme vitesse.

$\mu(\text{vitesse})$: est caractérisé par un ensemble flou dans un domaine (univers de discours) $A = [0, 100]$.

On peut interpréter "lente" : vitesse en dessous de 50 Km/h.

"moyenne": vitesse près de 60 Km/h.

"rapide" : vitesse, au-dessus de 70 Km/h.

Ces termes peuvent-être caractérisés par des ensembles flous, dont les fonctions caractéristiques sont présentées sur la (fig I-1).

I-4: REPRESENTATION DES ETATS FLOUS

• ETATS FLOUS:

Ces états ne sont pas définis par les valeurs $[0, 1]$ attribuées à chaque élément de l'ensemble universel, mais par un degré d'appartenance dont les valeurs sont comprises entre $[0, 1]$. Ceci signifie une généralisation du concept classique et représenté par une fonction dite, fonction d'appartenance.

Le degré d'appartenance, ne représente pas une probabilité, mais une mesure de compatibilité d'un objet avec un concept représenté par un état flou.

L'état flou exprime donc une possibilité limitée.

Exemple:

X est âgé de 4 ans \longrightarrow Age (X) = 4

X est entre 2 et 6 ans \longrightarrow Age (X) = $[2, 6]$

La valeur de l'âge de "X" est donnée par l'information entre 2 et 6 (Fig.I-2).

Une fonction d'appartenance est exprimée par des degrés d'appartenance (Fig.I-3).

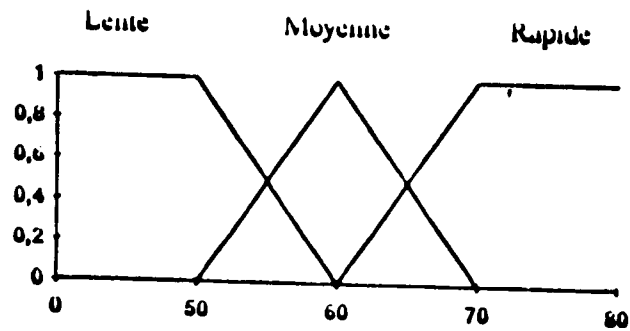
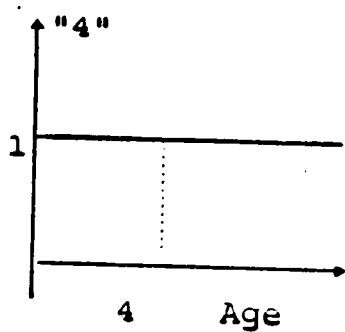
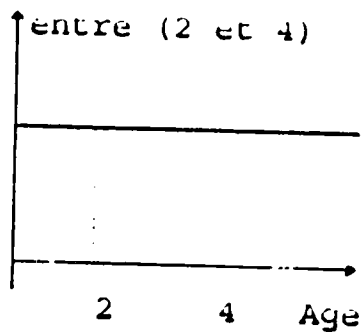


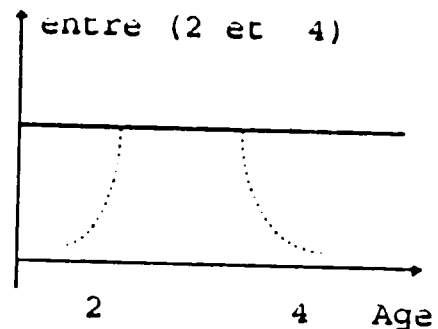
Figure I-1: Représentation des variables linguistiques



(Fig.I-2.a)



(Fig.I-2.b)

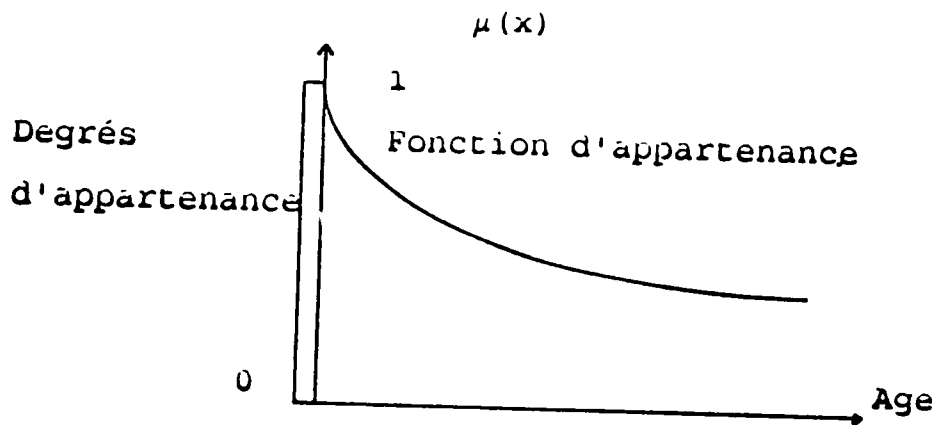


(Fig.I-2.c)

(Fig.I-2.a): Représentation classique de l'âge de $X = 4$

(Fig.I-2.b): Représentation classique de l'âge de $X = [2, 6]$

(Fig.I-2.c): Représentation floue de l'âge de $X = [2, 6]$



(Fig.I-3): Représentation floue de l'âge de "X".

Il est évident que la précision d'une fonction d'appartenance est limitée, quoiqu' il représente des degrés exprimés en termes numériques précis. Ceci ne peut-être considéré comme un paradoxe, car ces degrés peuvent-être étendus à des valeurs floues.

Une représentation de ce type est dite "Ultra-floue" ou floue du 2°ordre et ces degrés d'appartenance deviennent eux-mêmes des sous-ensembles floue.

Les degrés d'appartenance dans un ensemble flou sont représentés de la manière suivante:

Soit l'ensemble universel " μ ",

$$\mu = \{ a_1, a_2, a_3, \dots, a_n \} \quad \text{ou} \quad \mu = \sum_{i=1}^n a_i \dots \dots (I-1)$$

Un sous-ensemble flou "A" de " μ " est exprimé par :

$$A = \{ \mu_1 a_1, \mu_2 a_2, \mu_3 a_3, \dots, \mu_n a_n \} \quad \text{ou} \quad A = \sum_{i=1}^n \mu_i / a_i \dots \dots (I-2)$$

Avec somme qui signifie union et un symbole de séparation (/)

I-5: CONCEPTS DE BASE:

I-5-a: GENERALITES:

Pour illustrer les concepts spécifiques à l'ensemble flou qui est considéré comme une généralisation de l'ensemble universel.

Considérons les degrés d'appartenance des éléments d'un ensemble universel "X" dans deux ensembles flous différents:

$$X = \{ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, \}$$

Et les ensembles flous qui forment la nuit et le jour sont exprimés par : (Tab.I-1), (Fig.I-4):

Hor. (matin.)	nuit	jour
2	1	0
3	1	0
4	0.8	0.2
5	0.2	0.8
6	0	1
7	0	1
8	0	1

(Tab.I-1): Ensemble flou représentant la nuit et le jour

Soit l'ensemble universel défini par $[1, 0]$, la fonction d'appartenance $\mu_A : X \longrightarrow [0, 1] \dots \dots \dots (I-3)$ avec 0 et 1 inclus.

I-5-b: SUPPORT D'UN ENSEMBLE FLOU :

Le support d'un ensemble flou "A", dans un ensemble vulgaire "X", est l'ensemble ordinaire qui contient tous les éléments dont les degrés dans "A" sont nuls.

$$\text{Supp } \mu = \{ x \in X, \mu_A(x) > 0 \} \dots \dots \dots (I-4)$$

Exemple: $\text{Supp (nuit)} = \{ 2, 3, 4, 5 \}$

I-5-c: ENSEMBLE FLOU VIDE:

Un ensemble flou vide, est un ensemble dont le support est vide.

I-5-d: HAUTEUR D'UN ENSEMBLE:

La hauteur d'un ensemble flou, est le degré d'appartenance le plus élevé.

I-5-e: CARDINALITE SCALAIRE:

La cardinalité scalaire d'un ensemble flou " μ ", est la somme des degrés d'appartenance de tous les éléments de " μ " :

$$|\mu| = \sum_{x \in X} \mu_{\mu}(x) \dots \dots \dots (I-5)$$

I-6: OPERATIONS SUR LES ENSEMBLES FLOUS:

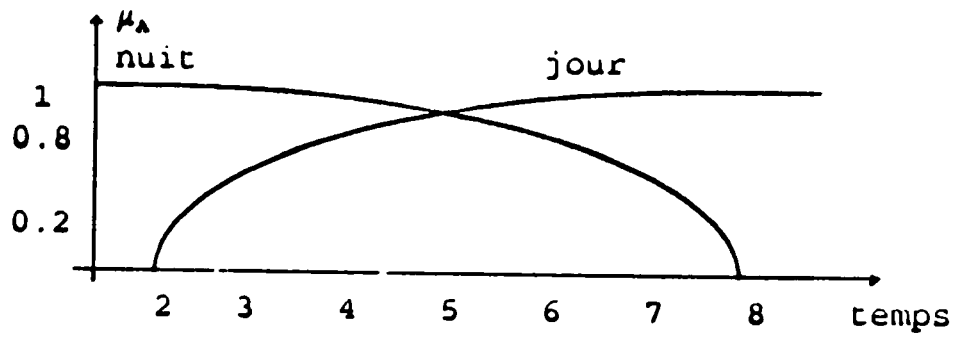
Les propriétés classiques de commutativité, associativité, distributivité, lois de Morgan etc... s'appliquent aussi bien aux opérations sur les ensembles flous, que sur les ensembles classiques.

I-6-a: COMPLEMENTATION FLOUE:

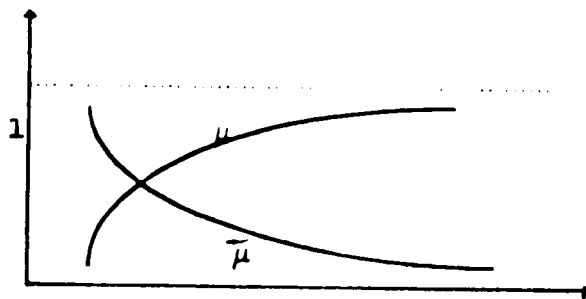
La valeur complémentaire floue est interprétée comme étant le degré d'appartenance de l'élément " x " dans l'ensemble floue représentant la négation du concept représenté par l'ensemble " μ ". (Fig.I-5)

Le complément de l'ensemble flou " μ " dans l'ensemble universel " x " est noté par " $\bar{\mu}$ " et définit par:

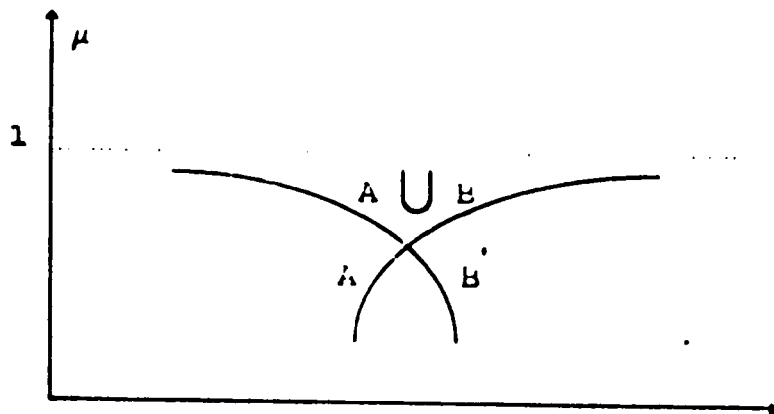
$$\mu_{\bar{\mu}}(x) = 1 - \mu_{\mu}(x) \dots \dots \dots (I-6)$$



(Fig.I-4): Fonction et degrés d'appartenance (nuit et jour)



(Fig.I-5): Représentation d'une fonction complémentaire floue



(Fig.I-6) Représentation de l'union floue de deux fonctions d'appartenance "A" et "B".

I-6-b: UNION FLOUE:

L'union de deux ensembles flous "A" et "B" est spécifiée par une fonction de la forme : (Fig.I-6).

$$G : [0 , 1],$$

$$x \in [0 , 1] \longrightarrow [0 , 1] \quad x \in X \dots \dots \dots (I-7)$$

Le résultat de cette union est un ensemble flou sous forme :

$A \cup B$ tel que:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max. [\mu_A(x) , \mu_B(x)] \dots \dots \dots (I-8)$$

Exemple: nuit \cup jour = (1/2 + 1/3 + 0.8/4 + 0.8/5 + 1/6 + 1/7 + 1/8)

I-6-c: INTERSECTION FLOUE:

Comme l'union, l'intersection floue est spécifiée par la fonction suivante: (Fig.I-7).

$$i : [0 , 1], \quad x \in [0 , 1] \longrightarrow [0 , 1] \dots \dots \dots (I-9)$$

L'intersection de deux ensembles flous "A" et "B" est un ensemble flou tel que:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min. [\mu_A(x) , \mu_B(x)] \dots \dots \dots (I-10)$$

I-6-d: INCLUSION FLOUE :

L'inclusion de deux ensembles flous est spécifiée par la fonction suivante : (Fig.I-8)

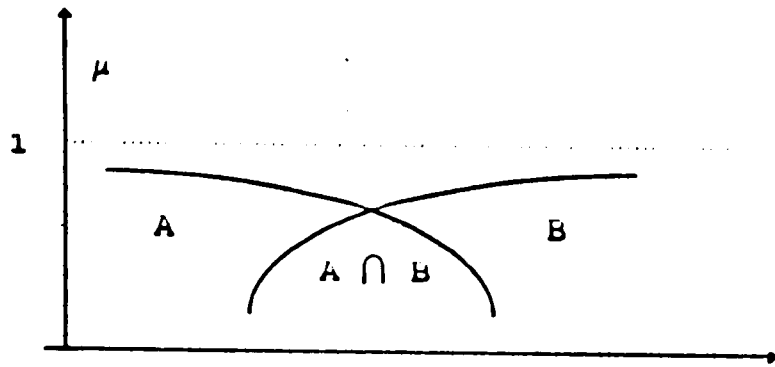
$$C : [0 , 1], \quad x \in [0 , 1] \longrightarrow [0 , 1] \dots \dots \dots (I-11)$$

L'inclusion de deux ensembles flous "A" et "B" est un ensemble flou tel que :

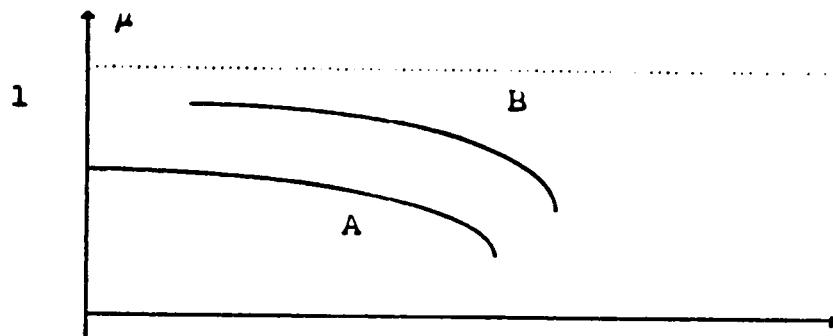
$$\mu_{A \subset B}(x) = \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \dots \dots \dots (I-12)$$

Si $x \in A \longrightarrow x \in B$

Exemple : nuit \cap jour = 0.2/6 + 0.2/4



(Fig.I-7) Représentation de l'intersection floue de deux fonctions d'appartenance "A" et "B".



(Fig.I-8): Représentation de l'inclusion floue de deux fonctions d'appartenance "A" et "B".

I-6-e: PRODUIT DE DEUX ENSEMBLES FLOUS :

Le produit de deux ensembles flous "A" et "B" est un ensemble flou exprime par:

$$A.B = \int_x \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) , \quad x \in X \dots\dots\dots(I-13)$$

ainsi la concentration et la dilations sont définit par:

$$CON (A) = A^2 = \int_x \mu_A(x)^2 / x , \quad x \in X \dots\dots\dots(I-14)$$

$$DIL (A) = A^{0.5} = \int_x \mu_A(x)^{0,5} / x , \quad x \in X \dots\dots\dots(I-15)$$

Exemple : U = (1 , 2 , 3 10)

$$A = (0.2/2 + 0.4/3 + 1/6)$$

$$B = (0.6/3 + 0.8/4 + 0.2/6)$$

$$CON (A) = (0.04/2 + 0.16/3 + 1/6)$$

$$CON (B) = (0.36/3 + 0.64/4 + 0.04/6)$$

$$DIL (A) = (0.45/2 + 0.64/3 + 1/6)$$

I-7: DEDUCTIONS FLOUES :

Une proposition "P" en langage naturel ou artificiel, peut-être vue comme une collection des contraintes élastiques. La présentation du sens d'une proposition, est le procédé par lequel les contraintes et les variables dans cette proposition deviennent explicites.

$$P \longrightarrow X \text{ est } A$$

La forme canonique de "P" signifie que la distribution des possibilités de "X" est égale à "A":

$$\prod_x = A \dots\dots\dots(I-16)$$

Soit la proposition : $P \Delta X$ est petit

Δ : = par définition

X : taille (x)

A : petit

Taille (x) est petit

Grand : joue le rôle de contrainte dans la forme, où la possibilité est exprimée par :

Poss. [Taille (x) = μ] = $\mu_{\text{petit}}(x)$

μ_{petit} : fonction d'appartenance de petit.

$\mu_{\text{petit}}(x)$: degré d'appartenance de " μ " dans petit.

I-7-a: REGLES DE DEDUCTION :

Le principe d'implication stipule que la proposition:
(X est A), peut donner lieu à la déduction d'une autre proposition moins spécifique qui est :

(X est B).

Exemple :

La proposition (X est nuit) où (nuit) est un prédicat flou, peut conduire à la déduction suivante: (X est pas jour)
Car (nuit) est incluse dans (pas jour) .

D'autres règles de déduction sont à noter en logique floue qui opèrent sur les ensembles A, B, C, avec leurs variables respectifs x, y.

• Règle conjonctive:

X est A

X est B

X est AB.....(I-17)

• **Produit Cartésien :**

$$\begin{array}{l} X \text{ est } A \\ Y \text{ est } B \\ \hline (X,Y) \text{ est } A.B \dots\dots\dots (I-18) \end{array}$$

• **Règle de composition :**

$$\begin{array}{l} X \text{ est } A \\ (X,Y) \text{ est } R \\ \hline Y \text{ est } A \circ R \dots\dots\dots (I-19) \end{array}$$

Où \circ : est la composition de la relation A avec la relation R.

I-8: CONCLUSION

Nous avons présenté dans cette partie les notions de base de la théorie des sous-ensembles flous qui constituent les fondements de la théorie de la logique floue. Nous nous sommes limités aux définitions générales pour la compréhension de cette logique, qui sera traité ultérieurement.

II-1: UTILITE DU CHOIX:

Les coliformes sont des micro-organismes les plus étudiés; ils sont les plus abondants et les plus recherchés pour le contrôle bactériologique des eaux de consommation, de rivières et d'eaux de mer.

Les méthodes de colimétrie actuelles nécessitent un délai excessif dans la plupart des cas (jusqu'à 48h).

En raison de l'augmentation du nombre des analyses découlant de l'intensification du contrôle sanitaire sur les lieux de production, il devient nécessaire de disposer d'une méthodologie adaptée, permettant des interventions rapides (MAZIERES J. et al), (1980), [17]. Ces méthodes d'investigation en matière de salubrité sont fournies après incubation avec des réactions biochimiques caractéristiques. Le dénombrement se fait à l'aide des tables classiques en usage dites du nombre le plus probable (N.P.P.).

D'autres méthodes de détection sont utilisées pour répondre à des tests rapides et précis. (HARRIS C.M. et KELL D.B., 1985), [18].

II-2: DEFINITION:

Les coliformes sont définies selon l'O.M.S. en 1985 par: Organismes coliformes (coliformes totaux) concernent toutes les bactéries:

- En bâtonnets
- Asporulées
- A gram négatif

En général, les coliformes regroupent un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des Entérobactériaceae, caractérisées par la fermentation du lactose et la production du gaz. Capable de se développer en présence des sels biliaires ou autres agents à action de surface et présentent les mêmes propriétés inhibitrices de la croissance.

La fermentation du lactose est faite à 35 ou 37°C en produisant du gaz et de l'aldéhyde et vivent entre -1°C et 37°C. Les micro-organismes qui possèdent les mêmes propriétés à une température de 44°C ou 44,5°C. Sont dites des coliformes fécaux ou coliformes thermotolérants, et vivent entre 0,5°C et 44,5°C. A l'heure actuelle, il est généralement admis que seule la présence du gaz est prise en considération lorsqu'il s'agit de détecter les coliformes. (COLLINS C.H. et LYNE M.P., 1985), [19].

Les coliformes totaux sont les hôtes habituels de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud, présent en grand nombre dans les selles (10^7 - 10^9 germe/g de selle) (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1989), [20].

Les normes européennes ne tolèrent ni coliformes totaux, ni coliformes fécaux par 100 ml. d'échantillon (OGER C. et al., 1981), [21].

II-3: METHODES DE DETECTION BACTERIENNE:

Les méthodes sont standardisées en France sous: AFNOR NF90-413, 1985a, et NFT90-414, 1985b [22]. [23].

Les méthodes de détection sont nombreuses, on se limite à citer quelques unes. Celles, basées sur l'utilisation des radio-isotopes, les méthodes sérologiques et

II-1: UTILITE DU CHOIX:

Les coliformes sont des micro-organismes les plus étudiés; ils sont les plus abondants et les plus recherchés pour le contrôle bactériologique des eaux de consommation, de rivières et d'eaux de mer.

Les méthodes de colimétrie actuelles nécessitent un délai excessif dans la plupart des cas (jusqu'à 48h).

En raison de l'augmentation du nombre des analyses découlant de l'intensification du contrôle sanitaire sur les lieux de production, il devient nécessaire de disposer d'une méthodologie adaptée, permettant des interventions rapides (MAZIERES J. et al), (1980), [17]. Ces méthodes d'investigation en matière de salubrité sont fournies après incubation avec des réactions biochimiques caractéristiques. Le dénombrement se fait à l'aide des tables classiques en usage dites du nombre le plus probable (N.P.P.).

D'autres méthodes de détection sont utilisées pour répondre à des tests rapides et précis. (HARRIS C.M. et KELL D.B., 1985), [18].

II-2: DEFINITION:

Les coliformes sont définies selon l'O.M.S. en 1985 par: Organismes coliformes (coliformes totaux) concernant toutes les bactéries:

- En bâtonnets
- Asporulées
- A gram négatif

En général, les coliformes regroupent un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des Entérobactériaceae, caractérisées par la fermentation du lactose et la production du gaz. Capable de se développer en présence des sels biliaires ou autres agents à action de surface et présentent les mêmes propriétés inhibitrices de la croissance.

La fermentation du lactose est faite à 35 ou 37°C en produisant du gaz et de l'aldéhyde et vivent entre -1°C et 37°C. Les micro-organismes qui possèdent les mêmes propriétés à une température de 44°C ou 44,5°C. Sont dites des coliformes fécaux ou coliformes thermotolérants, et vivent entre 0,5°C et 44,5°C. A l'heure actuelle, il est généralement admis que seule la présence du gaz est prise en considération lorsqu'il s'agit de détecter les coliformes. (COLLINS C.H. et LYNE M.P., 1985), [19].

Les coliformes totaux sont les hôtes habituels de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud, présent en grand nombre dans les selles (10^7 - 10^9 germe/g de selle) (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1989), [20].

Les normes européennes ne tolèrent ni coliformes totaux, ni coliformes fécaux par 100 ml. d'échantillon (OGER C. et al., 1981), [21].

II-3: METHODES DE DETECTION BACTERIENNE:

Les méthodes sont standardisées en France sous: AFNOR NF90-413, 1985a, et NFT90-414, 1985b [22]. [23].

Les méthodes de détection sont nombreuses, on se limite à citer quelques unes. Celles, basées sur l'utilisation des radio-isotopes, les méthodes sérologiques et

électrochimiques, notamment celles qui utilisent les enzymes, la chromatographie, la chimiluminisance et la conductométrie.

- La méthode d'enzymes (TTRINEI A.P. et HANOUNE N., 1980), (BONNEFOY J., 1985), [24], [25] est très complexe car elle nécessite un milieu de culture adéquat à 41°C pendant 12h, avec une culture bactérienne à travers l'analyse de glutamate-décarboxylase qui réduit l'acide glutamique et libère le CO₂ résultant du métabolisme aérobie des bactéries. La dépendance avec le nombre de bactéries est négligeable.
- la méthode conductométrique a été développée en 1973 par UR et BRWON [26]. Elle consiste à faire insérer dans un montage en pont, une solution (milieu de culture) d'Echerichia-Coli sur l'une des branches du pont, et sur l'autre un milieu stérile. Le déséquilibre du pont (variation d'impédance) dû au métabolisme d'incubation, permet de relever des courbes de variation qui seront comparées aux valeurs standards de comptage et détermine ainsi la présence des bactéries dans le milieu.

II-3-a: APPAREILS DE DETECTION

* LE STRATOMETRE:

Réalisé en 1974 par (UR et BROWN) [27] où la variation d'impédance du milieu de culture est de 4% entre la phase initiale et la phase stationnaire. L'inconvénient c'est que lors de l'incubation, la variation de la température engendre une variation d'impédance de l'ordre de 1°C / 1,6% ohm. Les mesures sont faites entre le milieu stérile (comme référence) et le milieu de culture. La sensibilité est de 10⁴ bactéries/ml.

▪ Le BACTOMETRE:

Realisé par (HADLEY et SENYK) en 1975 [28] et utilisé dans les applications médicales pour la détection des micro-organismes au niveau des urines, par (ZAFARY et MARTIN) en 1977 [29]. Le degré de contamination est atteint à 10^5 germes/ml. avec un temps de réponse de 2 à 4h.

En 1980 (MARTIN et SELBY) [30] ont utilisé le bactomètre pour la détection de la contamination alimentaire en utilisant un milieu de culture spécifique de tryptone, lactose et autres additifs. La réponse (variation d'impédance) est en relation avec des bactéries à gram-négatif. Les résultats obtenus sont comparés au graphique étalon pour pouvoir relever des points caractéristiques et représentatifs.

SILVERMAN et MUNOZ en 1979 [31] ont utilisé la méthode conductométrique dans la détection automatique des coliformes dans les eaux usées, en utilisant un milieu sélectionné. Les taux relevés sont de l'ordre de 10^6 - 10^7 germe/ml.

En général, toutes les applications de la conductométrie sont loin de satisfaire les exigences requises.

▪ Le E.COLIMETRE:

Appareil performant pour la détection des bactéries coliformes, dont le principe est basé sur la méthode de WILKIN. Cet appareil est développé au sein de l'institut des recherches hydrologiques (I.R.H.) et de l'environnement (S.A.) en France en 1980 (CLAUDE B. et al., 1987), [32]. Néanmoins, ses résultats confirment sa nature semi-quantitative, car en comparaison avec les méthodes classiques d'analyse on relève une erreur de 50% en terme quantitatif.

Dans notre thème nous allons utiliser le potentiel d'oxydoréduction du milieu de culture des bactéries coliformes, basées sur la méthode de Wilkin.

Nous allons nous intéresser principalement à la méthode de WILKIN vu sa simplicité et son efficacité.

II-3-b: METHODE DE WILKIN:

Cette méthode a été élaborée par WILKIN et BOYLIN (1976) et WILKIN et al. (1974-1978), [33], [34], [35].

Le principe de cette méthode est simple, car il consiste à relever des potentiels d'électrodes du milieu de culture de l'*Escherichia-coli* et cela en utilisant une électrode de platine par rapport à celui de référence prise en chlorure de mercure ou argent. Le potentiel relevé en phase finale, le logarithme de comptage bactérien est proportionnel au potentiel relevé. Cette méthode est aussi utilisée avec membrane de filtration (Wilkin and al. 1980), [36].

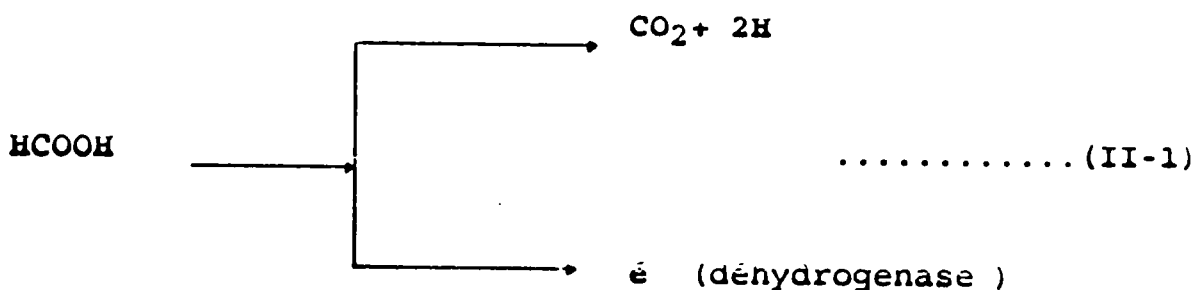
La méthode de potentiel est d'une simplicité extrême car elle consiste à relever le potentiel d'oxydoréduction en milieu de culture bactérien (pour les bactéries thermotolérants à 44°C et pour les autres bactéries à 36°C). Ensuite ces valeurs sont comparées aux taux préétablis

Une autre méthode est aussi à noter, celle de (Junter et al. 1980), [37], qui ont utilisé un milieu de culture très réduit (sels minéraux + glucose) limitant ainsi le processus du métabolisme bactérien et après quoi ils prélevèrent le potentiel d'oxydoréduction.

• PRINCIPE :

Le métabolisme de l'Echerichia-Coli a fait l'objet de plusieurs études par de nombreux auteurs, où le milieu de culture le plus simple utilisé est à base de glucose (DOMACH et al., 1984; ATAAI et SCHULER, 1985), [38], [39].

Le glucose ou le lactose sont à la base des milieux de culture utilisés souvent pour les bactéries coliformes contenant des carbohydrates qui constituent les éléments majeurs dans les dégradations intermédiaires. Le dioxyde de carbone, l'hydrogène et l'acide formique ou l'acetyl-coenzyme formes par déshydrogènes et par oxydation, donne le CO₂ et H₂ et cela à travers l'hydrogène formique.



Et l'équation d'oxydoreduction resultante est:



Lorsque l'électrode de platine est introduite dans ce milieu elle détermine à l'équilibre des concentrations (hydrogène réduit H₂ et oxydé H⁺) le potentiel et obéit donc à la loi de NERNEST.

$$V = V_0 + \frac{RT}{ZF} \text{Log} \frac{[H^+]}{[H]} \dots \dots \dots (II-3)$$

- V : Potentiel d'électrode
- V₀: potentiel normal d'oxydoreduction
- R : constante des gaz parfaits
- T : température absolue
- Z : la valence
- F : la constante de Faraday
- (H₊) & (H) : l'activite (concentrations)

Le potentiel d'électrode prélevé dans le milieu de culture contenant des bactéries coliformes donne une allure typique. Au-delà de quelques centaines de millivolt, le potentiel reste constant (Fig.II-1) et correspond au nombre constant de bactéries existant dans le milieu. C'est le principe général de la méthode de WILKIN.

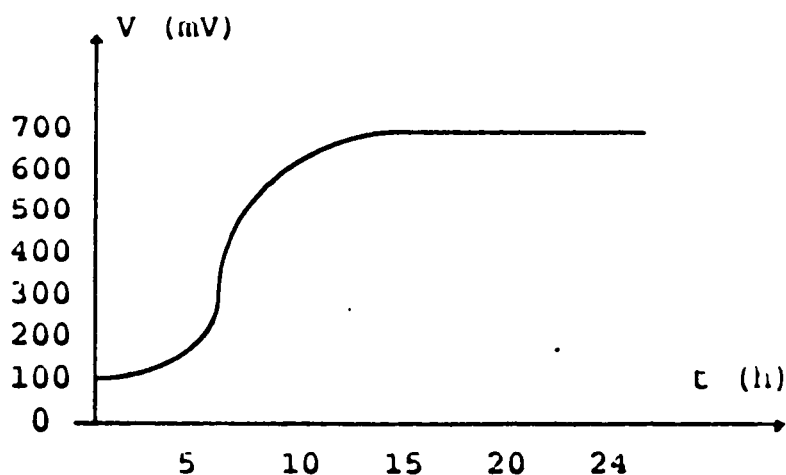


Fig.II-1: Représentation de la variation du potentiel d'électrode utilisant la méthode de WILKIN.

Nous pouvons constater que cette méthode a des insuffisances pour deux raisons:

1°) L'existence d'autres bactéries dans le milieu, qui peuvent générer l'hydrogène des carbohydrates et donc un processus similaire à celui des bactéries coliformes notamment (e.g. aerobacter, clostridium, serratia, lactic-bacteria, citrobacter, etc...).

2°) L'activité microbienne peut donner lieu à d'autres éléments chimiques électro-actifs, et qui peuvent en plus de l'hydrogène, modifier le potentiel redox.

cette courbe expérimentale n'est donc pas parfaite et quelque soit la méthode d'amélioration des mesures utilisée elle ne peut donner une spécification à 100%, et se limite souvent à répondre à la contamination par la non-quantification, mais seulement par la confirmation (test positif) ou l'infirmité, test négatif.

II-4: CONCLUSION:

A travers ce chapitre, nous avons traité des généralités sur les micro-organismes à détecter, à savoir l'Echerichia-coli.

En premier lieu, nous avons abordé des définitions générales des bactéries coliformes et l'utilité de leur détection.

En second lieu, nous avons essayé d'étudier les techniques d'analyses classiques et relever leurs inconvénients.

En dernier lieu, nous avons repertorié les appareils de détection existants tout en traitant leurs principes, leurs avantages et leurs inconvénients.

On a pu remarquer à la fois l'insuffisance et la possibilité d'amélioration de ces techniques d'analyse en proposant une méthode radicalement différente et qui présente à notre point de vue une performance meilleure.

Nous avons détaillé les principes de la méthode de Wilkin qui est à la base de notre conception utilisant le potentiel électrochimique.

CHAPITRE 3

ETUDE EXPERIMENTALE

III-1: PROCEDE D'ANALYSE CLASSIQUE:

A partir d'un échantillon d'eau brut, nous avons procédé a sa dilution (10%, 1%, 0,1%, 0,01%) en séries de 5 groupes (A, B, C, D, E.). L'incubation de chaque échantillon est faite en milieu de culture L.T.B. à 35°C.

L'inoculation en milieu fournit, après incubation des réactions biochimiques (fermentation du lactose) caractérisées par le dégagement du gaz, à partir duquel on obtient la confirmation ou la négation de la présence des bactéries coliformes. (Tab.III-1).

Se\ T°C	A	B	C	D	E
10%	-	-	+	-	+
01%	-	-	+	-	+
0.1%	-	-	-	+	-
0.01%	-	-	-	+	+

Tab.III-1: Résultats d'analyse obtenus par les méthodes classiques.

Avec:

(+) Test positif (présence de coliformes)

(-) Test négatif (absence de coliformes).

Le dénombrement établi à l'aide des tables en usage (le nombre le plus probable) donne un taux de présence de $1,2.10^5$ bactéries/ 100 ml.

Le potentiel de l'ensemble des échantillons (les quatre groupes) à tests positifs et à tests négatifs, donnent des valeurs de potentiel séparées. (Tab.III-3), (Tab.III-4), (Tab.III-5), (Tab.III-6).

Ces variations du potentiel en fonction de la température, sont présentées par les: (Fig.III-1), (Fig.III-2), (Fig.III-3), (Fig.III-4).

Tests\T°C	25	30	32	37	38	39	40	43	44
Positif	765	767	768	763	749	752	753	747	750
Négatif	960	950	925	882	875	864	862	861	856

(Tab.III-3): les tests positifs et négatifs en milieu à 10%

Tests\T°C	25	30	32	34	37	38	40	43	44
Positif	775	779	780	775	762	759	758	753	750
Négatif	888	850	855	852	856	853	851	842	837

(Tab.III-4): les tests positifs et négatifs en milieu à 01%

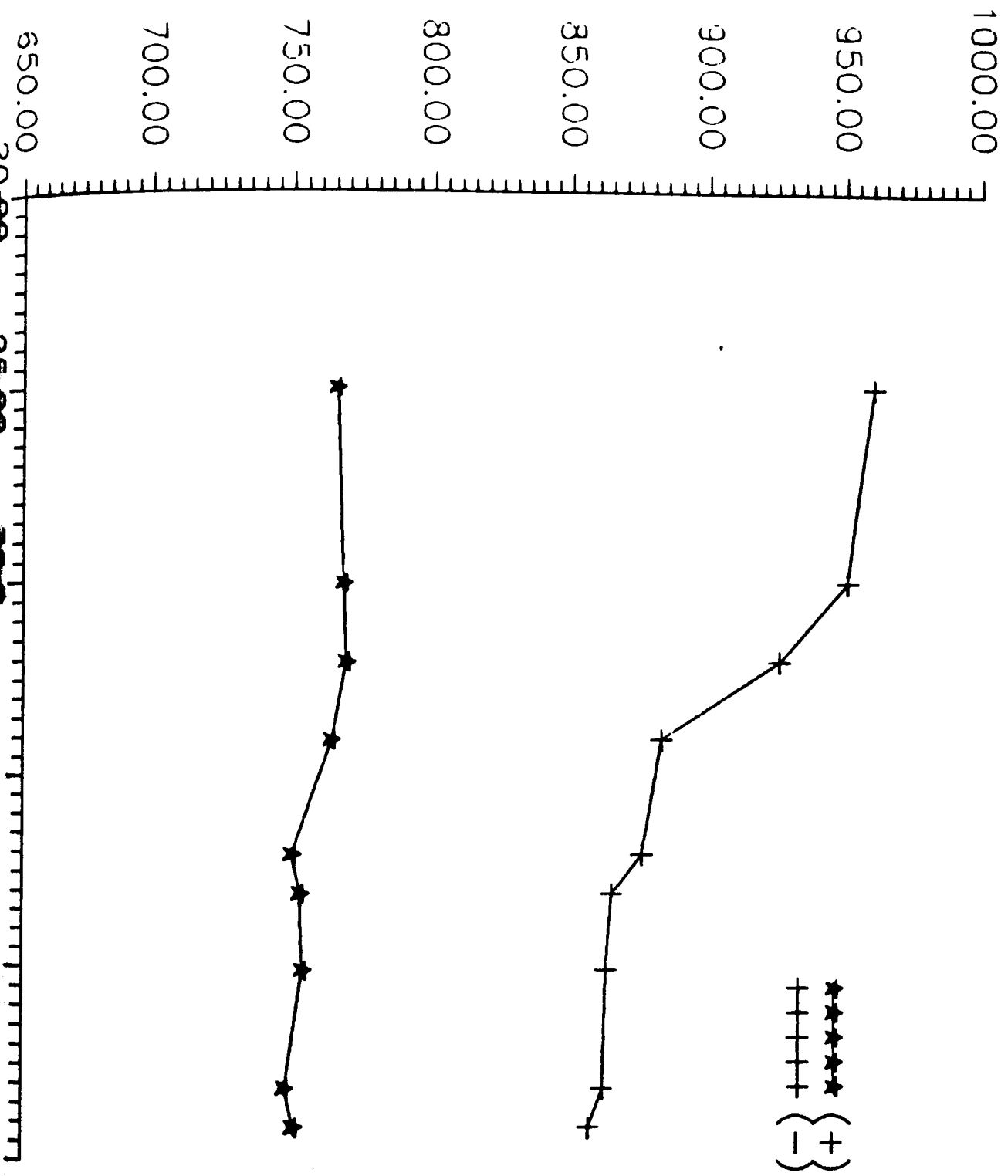
Tests\T°C	25	30	32	34	37	38	40	43	44
Positif	835	826	822	833	813	809	805	811	808
Négatif	816	863	860	853	843	843	835	827	819

(Tab.III-5): les tests positifs et négatifs en milieu à 0.1%

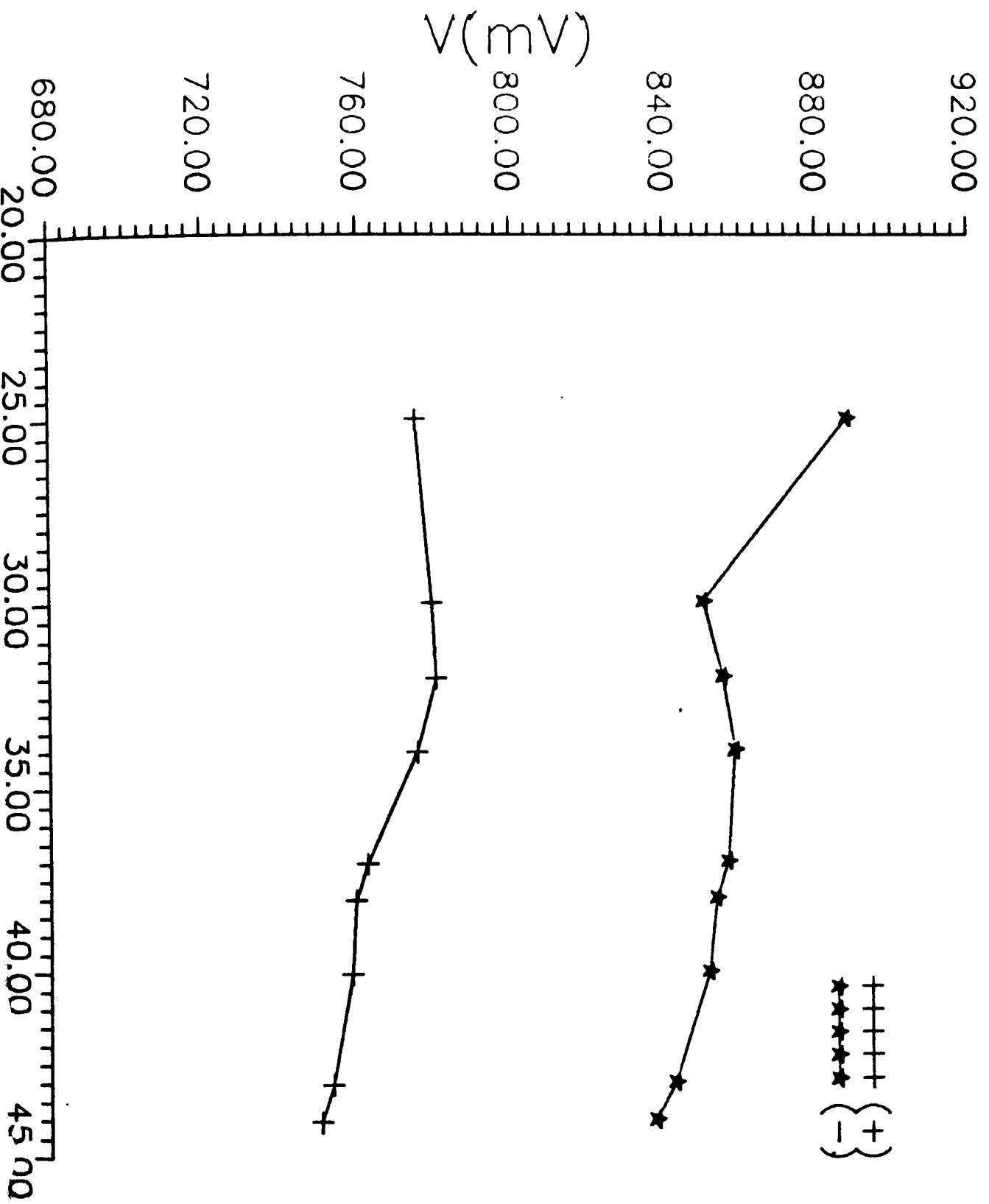
Tests\T°C	25	30	32	34	37	38	40	43	44
Positif	770	764	765	766	765	766	766	742	728
Négatif	848	848	852	848	834	826	826	819	814

(Tab.III-6): les tests positifs et négatifs en milieu à 0.01%

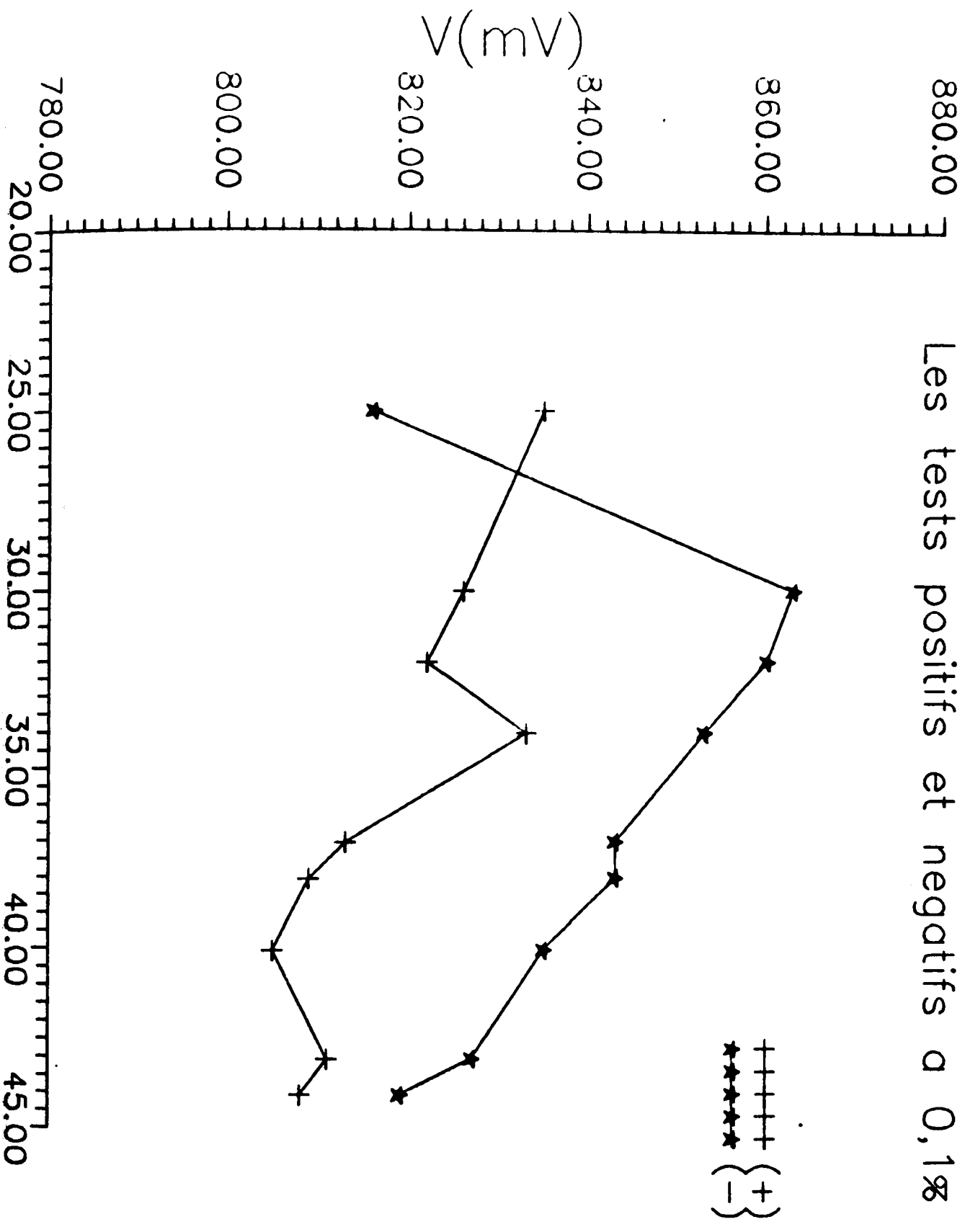
Les tests positifs et négatifs a 10%



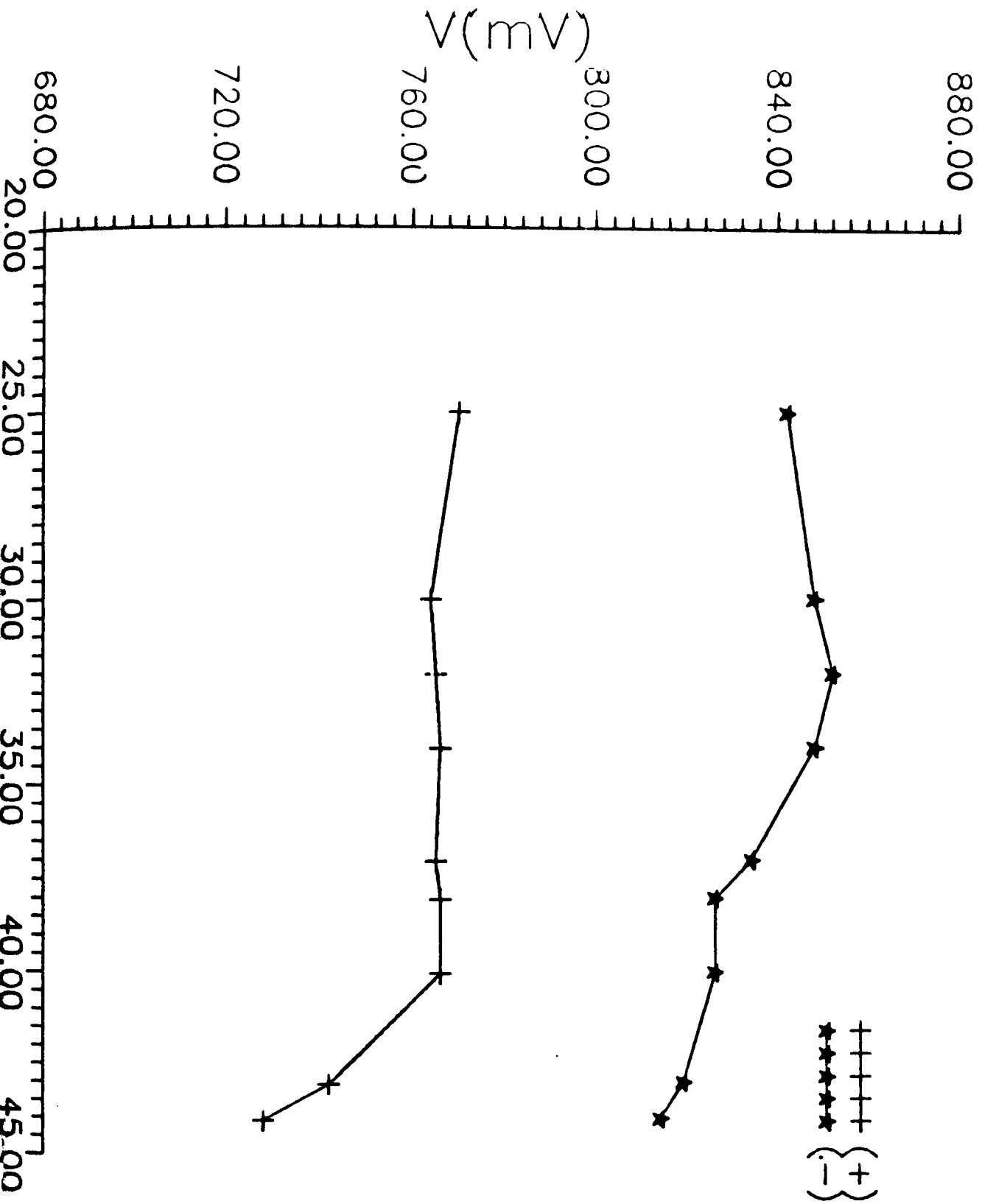
Les tests positifs et négatifs a 1%



Les tests positifs et négatifs a 0,1%



Les tests positifs et négatifs a 0.01%



Les courbes de variation du potentiel électrochimique en fonction de la température, sont alors prélevées pour être étudiées séparément pour chaque échantillon à concentration donné.

Le calcul de la moyenne de l'ensemble des valeurs du potentiel à tests positifs et négatifs et à une température moyenne de 35°C, on obtient les valeurs suivantes:

776 mV pour les tests positifs

851 mV pour les tests négatifs

III-3: INTERPRETATION:

Dans un échantillon d'eau potable, la présence de différents types de bactéries est évidente, quoique leurs taux varie d'un milieu à un autre. Parmi ces germes on note la présence des coliformes. Chaque type de bactérie lors de son incubation, donne lieu à des réactions électrochimiques types. Le potentiel prélevé correspond donc à la contribution de l'ensemble des réactions produites au niveau de l'échantillon. Il est difficile de séparer l'effet apporté par chaque type, néanmoins on constate:

1) Dans les milieux où on enregistre une absence de coliformes le potentiel électrochimique est le plus élevé. Cela s'explique par :

a) la présence d'autres bactéries qui, lors de leur activité génèrent certains éléments électro-actifs avec un potentiel redox élevé.

b) La présence des bactéries dont le métabolisme est similaire à celui des coliformes arrivent à maintenir le potentiel résultant aux niveaux enregistrés.

2) Dans les milieux où on enregistre une présence des coliformes le potentiel électrochimique est considérablement modifié et cela grâce au métabolisme important de ces bactéries.

III-4: CONCLUSION

A ce niveau nous avons procédé à des analyses qui concerne les niveaux de potentiel électrochimique à des températures différentes, car l'incubation de ces bactéries est fonction de la température. Le choix de la plage des températures est pris dans un domaine ambiant (température de l'eau potable).

Nous avons pu constater la lenteur des analyses suivant ce mode opératoire. Ainsi nous avons vu la nécessité d'utiliser un raisonnement flou qui opère sur le domaine de la température et le potentiel. Une synthèse sera établie et cela par une affectation des niveaux de potentiel en terme flou aux domaines considérés qui fera l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE 4 :

APPLICATION A LA DETECTION FLOUE

IV-3: SCHEMATIQUE DE PRINCIPE DU CONTROLEUR

Un contrôleur à logique floue se compose de quatre éléments de base (fig.IV-1).

- Module de base de connaissance (Knowledge base).
- Module de fuzzification.
- Module de prise de décision (inférence).
- Module de défuzzification.

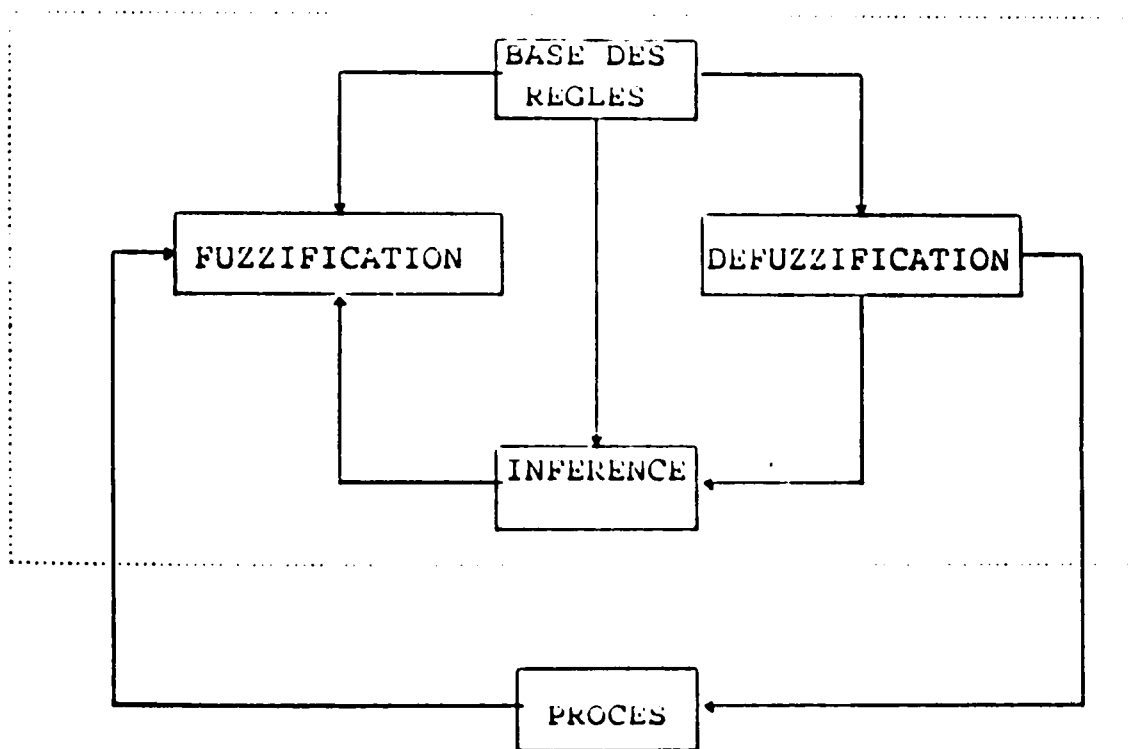


Fig.IV-1: Configuration de base d'un contrôleur à logique floue [40]

Le bloc de fuzzification permet de déterminer les degrés d'appartenance des valeurs numériques des variables d'entrées aux prédicats flous utilisés dans la partie "SI" des règles.

Le bloc d'inférence permet de déterminer la valeur de vérité de chaque règle floue de la base. Cela s'effectue à l'aide de l'opérateur (min) ou le produit mathématique entre les degrés d'appartenance générés par le bloc de fuzzification.

Le bloc de defuzzification transforme le sous-ensemble flou de sortie en une valeur numérique généralement à l'aide de la méthode du centre de gravité.

IV-4: MISE EN FORME FLOUE DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

IV-4-a : BASE DE CONNAISSANCE:

Cet élément est composé de deux modules:

- * Base de données.
- * Base des règles.

• BASE DE DONNEES:

L'information incertaine présentée sous forme floue doit-être quantifiée pour son traitement numérique. Elle comprend la partition floue des espaces d'entrée et de sortie. Elle comprend aussi les définitions fonctionnelles des différentes fonctions caractéristiques des valeurs linguistiques.

A) CHOIX DES VARIABLES LINGUISTIQUES:

En se référant aux graphes (Fig.III-1), (Fig.III-2), (Fig.III-3), (Fig.III-4), nous avons choisi les variables linguistiques suivantes:

- La température du milieu de culture de l'Echérichia-Coli présenté par " X_1 ".
- Le niveau de potentiel électrique enregistré à chaque température présenté par " X_2 ".

B) CHOIX DE L'ENSEMBLE DES VALEURS LINGUISTIQUES:

Les valeurs linguistiques utilisées pour chaque variable sont définies par:

Température = { froide, tiède, chaude }.

Potentiel = { bas, moyen, élevé }.

Ces valeurs peuvent-être écrites sous forme d'ensembles appelés ensembles des termes.

$$W(X_1) = \{ \text{froide, tiède, chaude} \}.$$
$$W(X_2) = \{ \text{bas, moyen, élevé} \}.$$

C) CHOIX DE L'UNIVERS DE DISCOURS :

Cet univers dépend en premier lieu des caractéristiques d'évolution de chaque ensemble (température et potentiel).

L'univers de la variable linguistique "X₁" est fonction de la température.

"X₁" est situé sur une plage de [20°C a 50°C].

L'univers de la variable linguistique "X₂" est fonction du potentiel électrique.

"X₂" est situé sur une plage de [600 mV a 1000 mV].

• BASE DES REGLES:

Cette base est formée de l'ensemble des entrées/soties qui ont été choisi pour le contrôle du système, c'est à dire les variables linguistiques.

La base des règles est exprimée par des états flous de la forme conditionnelle "si - alors".

A) PRESENTATION DES REGLES SYNTAXIQUES POUR LA REPARTITION DE L'UNIVERS DE DISCOURS:

• Pour la variable " X_1 ":

Si " X_1 " est compris entre (20°C) et (30°C), on considère que la température est basse.

Si " X_1 " est compris entre (28°C et 38°C), on considère que la température est tiède .

Si " X_1 " est supérieur à (36°C), on considère que la température est chaude.

• Pour la variable " X_2 " :

Si " X_2 " est compris entre (600mV et 750mV), on considère que le potentiel est bas.

Si " X_2 " est compris entre (700mV et 850mV), on considère que le potentiel est moyen.

Si " X_2 " est supérieur à (800mV), on considère que le potentiel est élevé.

B) CHOIX DES FONCTIONS CARACTERISTIQUES:

Les fonctions caractéristiques sont choisies en formes triangulaires et trapezoidales pour leur simplicité en régime statique. La fonction Gaussienne est utilisée dans les partitions adaptatives, en identification et en contrôle dynamique. (Fig.IV-2).

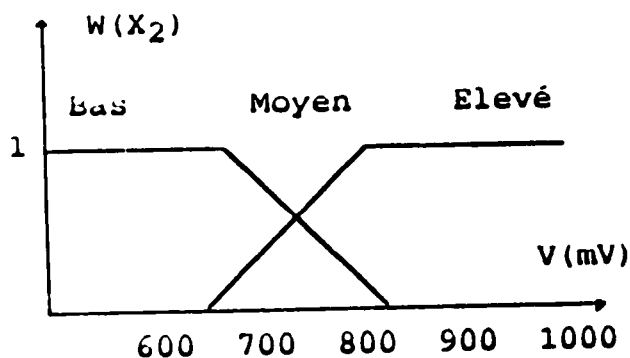
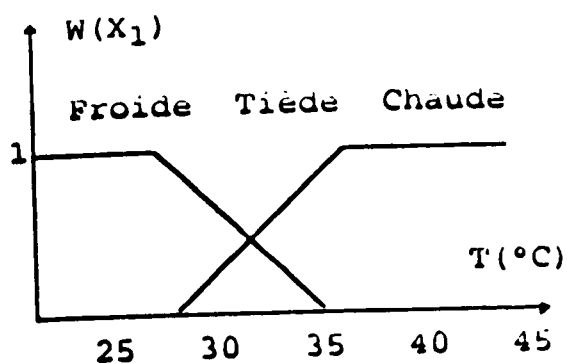
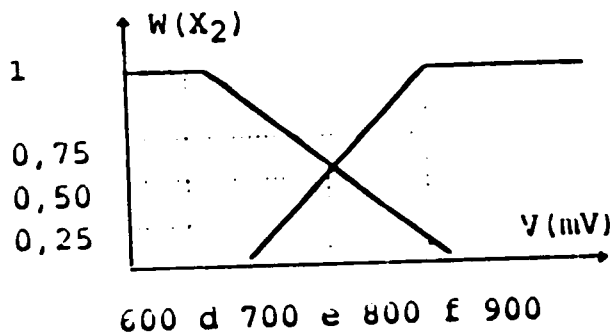
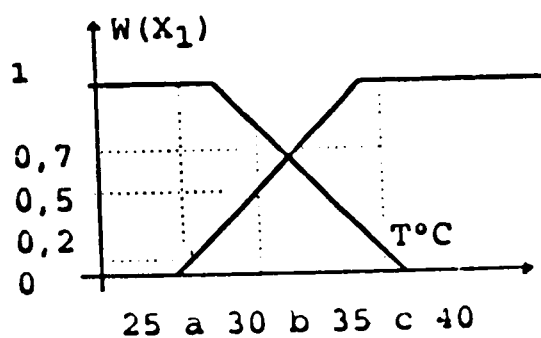


Fig.IV-2: Représentation des fonctions caractéristiques $W(X_1)$ et $W(X_2)$.



a: Froide
b: Tiède
c: Chaude

d: Bas
e: Moyen
f: Elevé

Fig.IV-3: Représentation graphique de fuzzification

R_1 : Si $A_{11}(X_1)$ et $A_{12}(X_2)$ et... $A_{1n}(X_n)$ alors $B_1(Y)$..(IV-2)

R_2 : Si $A_{21}(X_1)$ et $A_{22}(X_2)$ et... $A_{2n}(X_n)$ alors $B_2(Y)$..(IV-3)

.

.

R_m : Si $A_{m1}(X_1)$ et $A_{m2}(X_2)$ et... $A_{mn}(X_n)$ alors $B_m(Y)$..(IV-4)

Où : $A_{mn}(X_n)$ signifie que la variable (X_n) appartient à l'ensemble flou (A_{mn}) .

Nôtre système est un système à deux entrées " X_1 " et " X_2 ", et une sortie " Y ". Ce système obéit aux règles suivantes:

Si " X_1 " est A_{11} et " X_2 " est A_{12} , Alors " Y " est B_1(IV-5)

Si " X_1 " est A_{21} et " X_2 " est A_{22} , Alors " Y " est B_2(IV-6)

Etant donné les entrées particulières " X_1^0 " et X_2^0
L'information donnée pour chaque règle (en identifiant les ensembles flous avec leurs fonctions d'appartenance):

$$W_1 = \min \{ A_{11}(X_1^0) , A_{12}(X_2^0) \} \dots \dots \dots (IV-7)$$

$$W_2 = \min \{ A_{21}(X_1^0) , A_{22}(X_2^0) \} \dots \dots \dots (IV-8)$$

Où \min : est un opérateur d'implication de MAMDANI, qui peut-être remplacé par l'opérateur de multiplication de LARSEN dans certaines applications de la forme:

$$W_1 = \{ A_{11}(X_1^0) . A_{12}(X_2^0) \} \dots \dots \dots (IV-9)$$

$$W_2 = \{ A_{21}(X_1^0) . A_{22}(X_2^0) \} \dots \dots \dots (IV-10)$$

La transformation des données physique réels en termes flous doivent suivre les regles prédefinies. Dans notre application les termes « A_{11} », « A_{12} » représente la première variable qui est la température et les termes « A_{21} », « A_{22} » représente les deuxièmes variables qui est le potentiel électrochimique. La variable « W_1 » et « W_2 » représente le minimum des deux variables. Graphiquement ces fonctions peuvent- être représentées par la (Fig.IV-4).

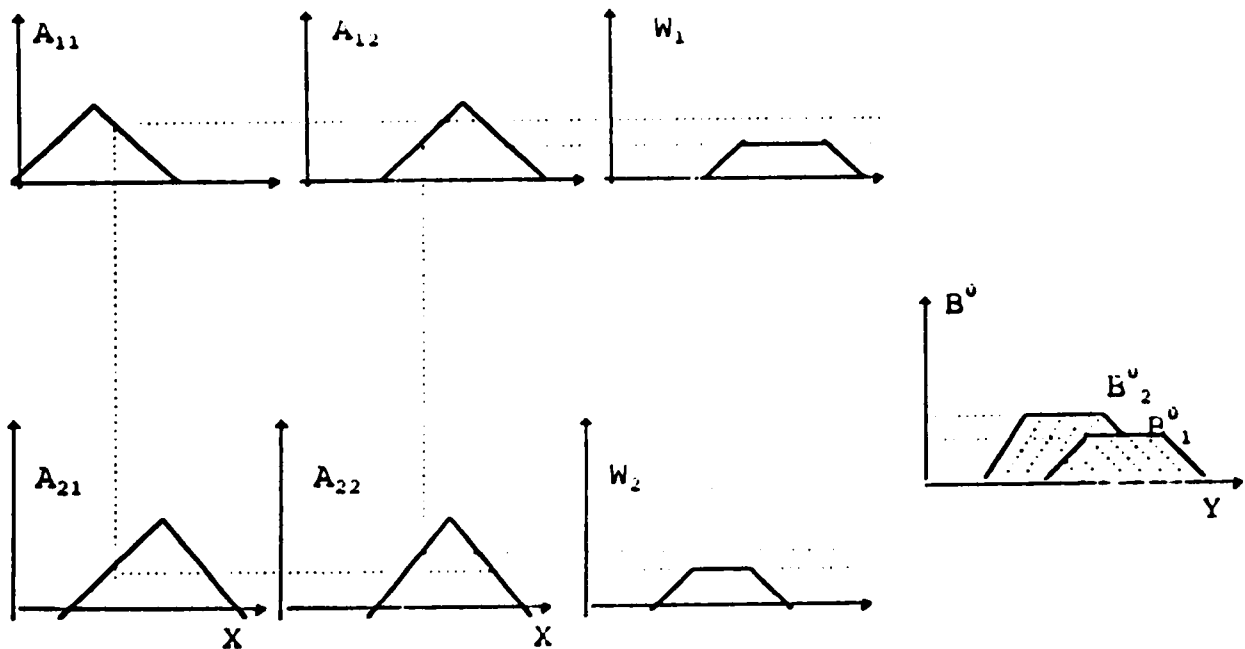


Fig.IV-4: Représentation graphique du raisonnement flou type MAMDAN.

IV-7 : QUANTIFICATION DE L'UNIVERS DE DISCOURS DE LA TEMPERATURE ET LE POTENTIEL

Les regles d'inférence sont élaborées à la base de l'évolution de l'état de la température et du potentiel électrochimique du métabolisme bactérien de chaque milieu à des niveaux de concentrations variées. Ces niveaux sont obtenus à partir des résultats expérimentaux à (10%, 01%, 0.1%, 0.01%).

Les prises de décision correspondantes à chaque état de ces paramètres sont représentées en Tab.(IV-1, IV-2, IV-3, IV-4).

IV-7-a: DISCRETISATION ET NORMALISATION DE L'UNIVERS DE DISCOURS:

La représentation de l'information incertaine est fréquemment traduite par une quantification qui discrétise l'univers de discours à un certain nombre de segments (niveaux de quantification).

Chaque segment est étiqueté en élément générique et forme un univers discret.

L'ensemble flou est alors défini en assignant les grades des valeurs caractéristiques pour chaque élément.

REGLES	X ₁	X ₂	INFERENCE
R ₁	Froide	Bas	PP
R ₂	Froide	Moyen	PG
R ₃	Froide	Elevé	NG
R ₄	Tiède	Bas	PP
R ₅	Tiède	Moyen	PP
R ₆	Tiède	Elevé	NG
R ₇	Chaude	Bas	PP
R ₈	Chaude	Moyen	PP
R ₉	Chaude	Elevé	NP

Tab.IV-1: Règles d'inférence dans le milieu concentré à 10%

REGLES	X ₁	X ₂	INFERENCE
R ₁	Froide	Bas	ZO
R ₂	Froide	Moyen	PP
R ₃	Froide	Elevé	NG
R ₄	Tiède	Bas	ZO
R ₅	Tiède	Moyen	PG
R ₆	Tiède	Elevé	NG
R ₇	Chaude	Bas	ZO
R ₈	Chaude	Moyen	PG
R ₉	Chaude	Elevé	NG

Tab.IV-2: Règles d'inférence dans le milieu concentré à 1%

REGLES	X ₁	X ₂	INFERENCE
R ₁	Froide	Bas	ZO
R ₂	Froide	Moyen	NP
R ₃	Froide	Elevé	PG
R ₄	Tiède	Bas	ZO
R ₅	Tiède	Moyen	PG
R ₆	Tiède	Elevé	NG
R ₇	Chaude	Bas	ZO
R ₈	Chaude	Moyen	PP
R ₉	Chaude	Elevé	NP

Tab.IV-3: Règles d'inférence dans le milieu concentré à 0.1%

REGLES	X ₁	X ₂	INFERENCE
R ₁	Froide	Bas	ZO
R ₂	Froide	Moyen	PG
R ₃	Froide	Elevé	NG
R ₄	Tiède	Bas	ZO
R ₅	Tiède	Moyen	PG
R ₆	Tiède	Elevé	NG
R ₇	Chaude	Bas	PP
R ₈	Chaude	Moyen	NP
R ₉	Chaude	Elevé	NP

Tab.IV-4: Règles d'inférence dans le milieu concentré à 0.01%

Avec:

ZO: Zéro

PP: Positif Petit

PG: Positif Grand

NP: Négatif Petit

NG: Négatif Grand.

IV-7-b: DEFINITION NUMERIQUES DES ENSEMBLES FLOUS PRIMAIRES

La sensibilité d'un contrôleur aux variables observées est liée au choix des niveaux de quantification.

Pour nôtre système ce choix est présenté comme suite:

PP, PG, ZO, NP, NG : Les valeurs des variables floues unimodales et qui sont représentées par des fonctions d'appartenance de formes triangulaires définies sur une plage de quantification et a des valeurs dans $[0,1]$ sous forme d'une matrice caractéristique: (Tab.IV-5, Fig.IV-5).

ENSEMBLES LINGUISTIQUES	NIVEAUX DE QUANTIFICATION												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
PG	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	1	0.3	0	0
PP	0	0	0	0	0	0	0.3	1	0.3	0	0	0	0
ZO	0	0	0	0	0	0.3	1	0.3	0	0	0	0	0
NP	0	0	0	0.3	1	0.3	0	0	0	0	0	0	0
NG	0	0.3	1	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab.IV-5: Matrice caractéristique de quantification.

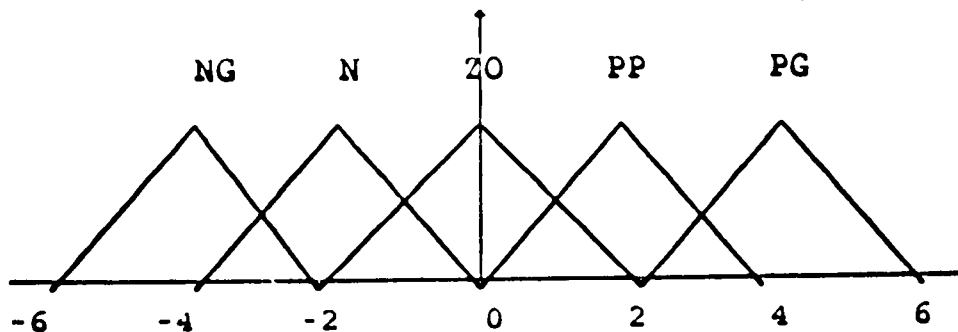


Fig.IV-5: Quantification graphique.

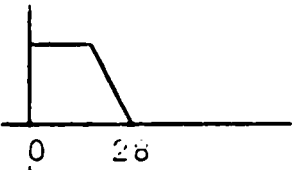
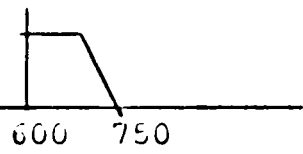
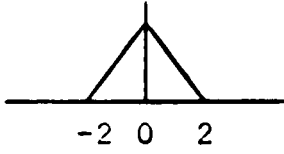
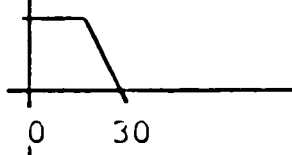
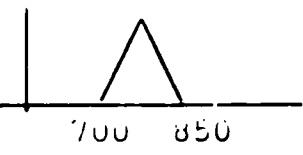
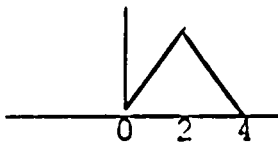
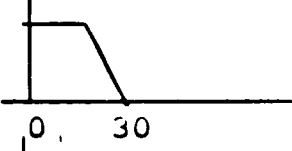
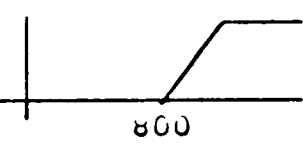
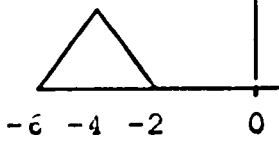
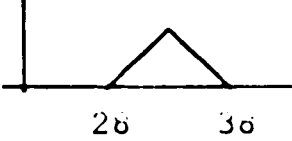
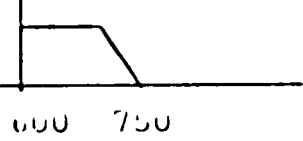
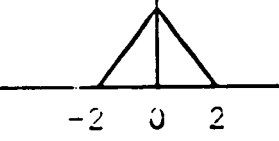
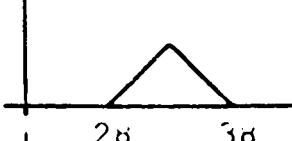
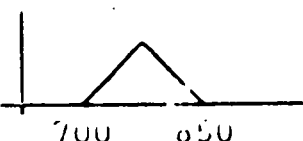
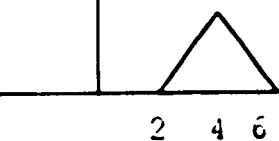
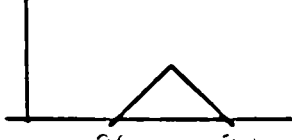
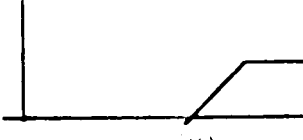
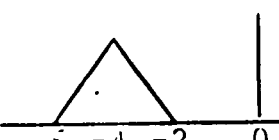
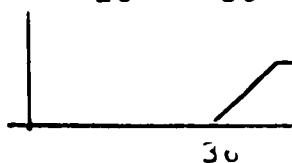
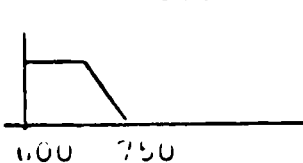
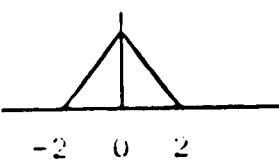
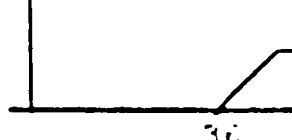
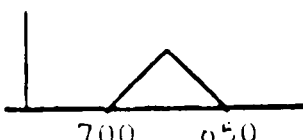
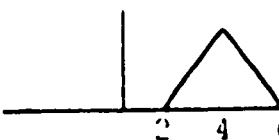
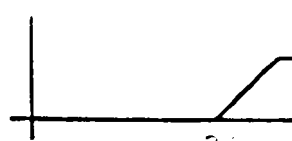
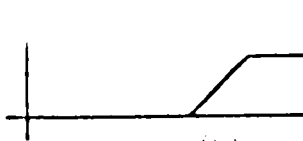
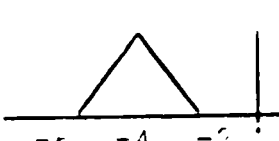
Ces niveaux de quantification sont attribués aux variables prédéfinies de température et de potentiel à chaque milieu de concentration déterminée.

La représentation graphique des règles d'inférence établies utilisant ces niveaux de quantification est représentée par les Figures IV-6, IV-7, IV-8, IV-9.

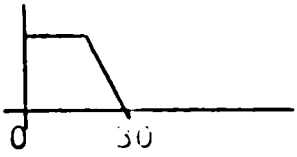
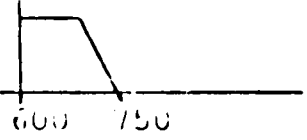
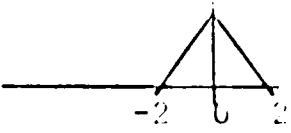
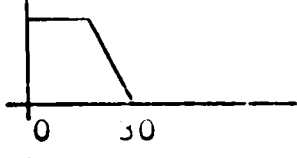
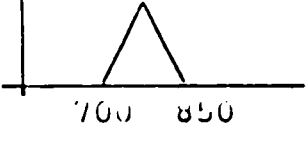
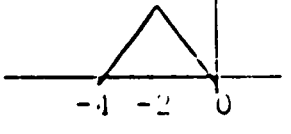
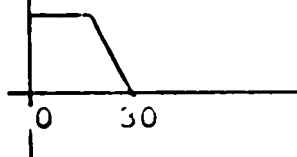
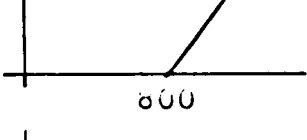
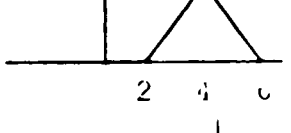
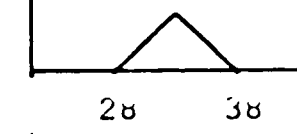
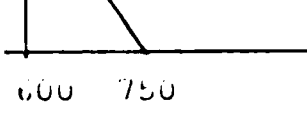
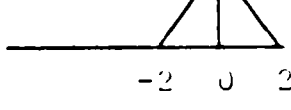
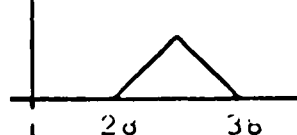
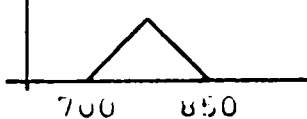
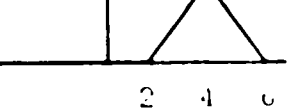
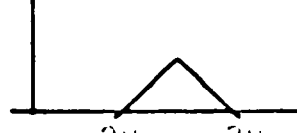
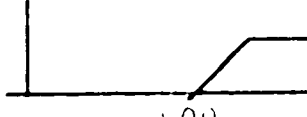
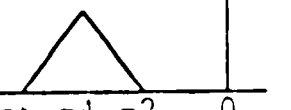

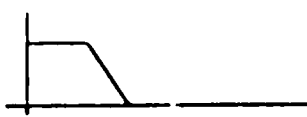
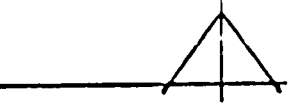
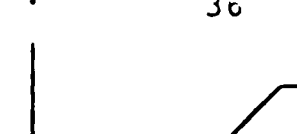


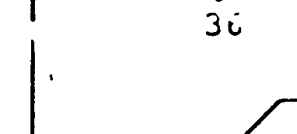
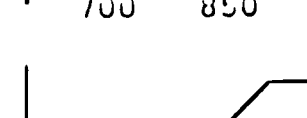

REGLES D'INFERENCE DANS UN MILIEU CONCENTRE A 10%

R	Température (X1)	Potentiel (X2)	Inférence
R ₁			
R ₂			
R ₃			
R ₄			
R ₅			
R ₆			
R ₇			
R ₈			
R ₉			

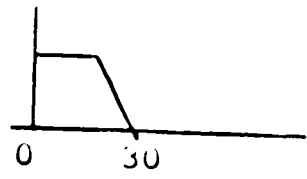
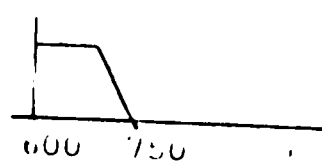
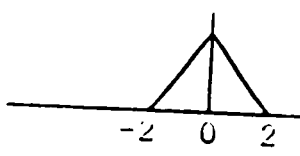
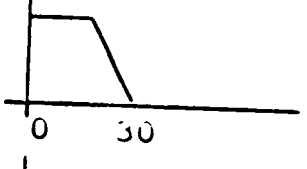
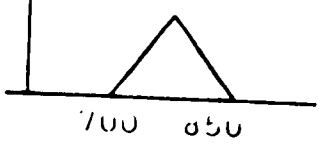
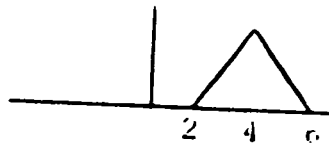
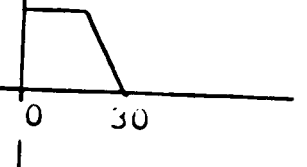
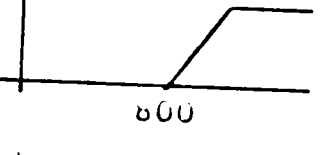
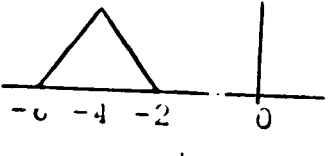
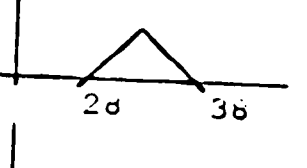
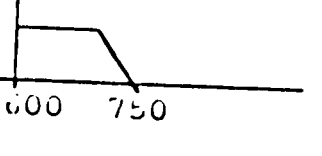
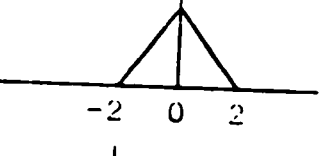
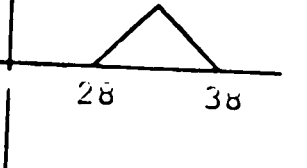
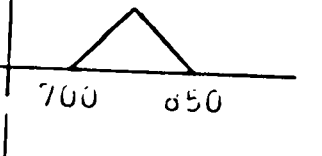
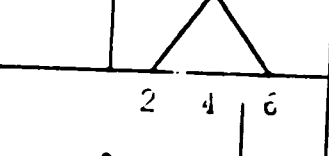
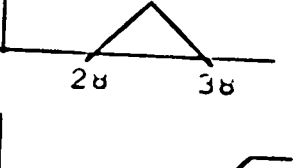
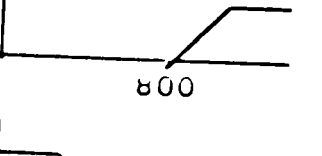
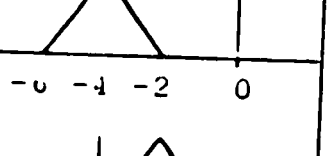
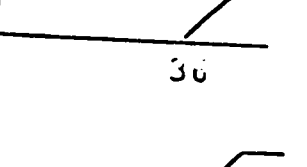
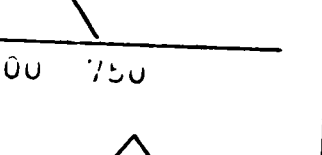
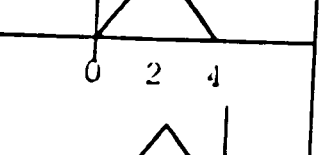
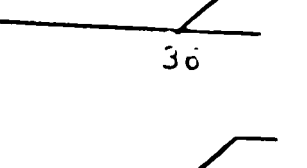
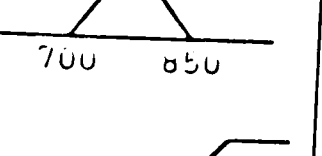
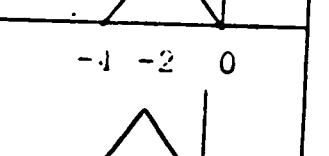
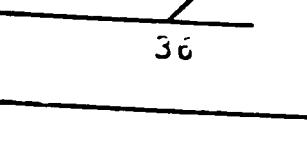
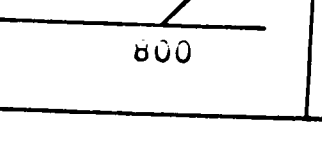
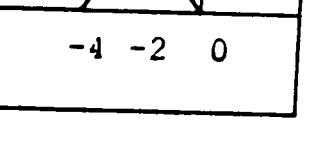
REGLES D'INFERENCE DANS UN MILIEU CONCENTRE A 01%

R	Température (X_1)	Potentiel (X_2)	Inférence
R_1			
R_2			
R_3			
R_4			
R_5			
R_6			
R_7			
R_8			
R_9			

REGLES D'INFERENCE DANS UN MILIEU CONCENTRE A 0.1%

R	Température (X_1)	Potentiel (X_2)	Inférence
R_1			
R_2			
R_3			
R_4			
R_5			
R_6			
R_7			
R_8			
R_9			

REGLES D'INFERENCE FAMILIEN MILIEU CONCENTRE A 0.01%

R	Temperature (X1)	Potentiel (X2)	Inférence
R ₁			
R ₂			
R ₃			
R ₄			
R ₅			
R ₆			
R ₇			
R ₈			
R ₉			

IV-8: DEFUZZIFICATION

La Défuzzification consiste à extraire de la sortie floue un point numérique représentant cet ensemble. L'agrégation de " Y^0_1 " et de " P^0_2 " se fera par " Y^* ".

$$"Y^*" (X) = \min [T^0_1(X) , P^0_2(X)] \dots \dots \dots (IV-17)$$

La sortie " Y^0 " (au vue de " X_1^0 " et de " X_2^0 ") sera déterminée en prenant la médiane, c'est ... dire la valeur qui divise l'aire sous " Y^* " en deux parties égales. (méthode dite de centre de gravité ~COA~).

$$Y^0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n Y_i} \dots \dots \dots (IV-18)$$

Y^0 : la sortie numérique

X_i : la sortie de la i^{ème} règle

Y_i : la valeur de vérité de la i^{ème} règle.

La défuzzification opère donc par une convention symbolique/numérique, action contraire à la fuzzification .

IV-9: PRINCIPE DE L'ALGORITHME FLOU

La combinaison de ces règles forme la table de décision du contrôleur flou formant ainsi une fonction floue qui peut-être définie par un algorithme.

L'algorithme du contrôleur à logique floue peut-être défini par une séquence d'instruction dont certaines peuvent contenir des étiquettes de sous ensembles flous.

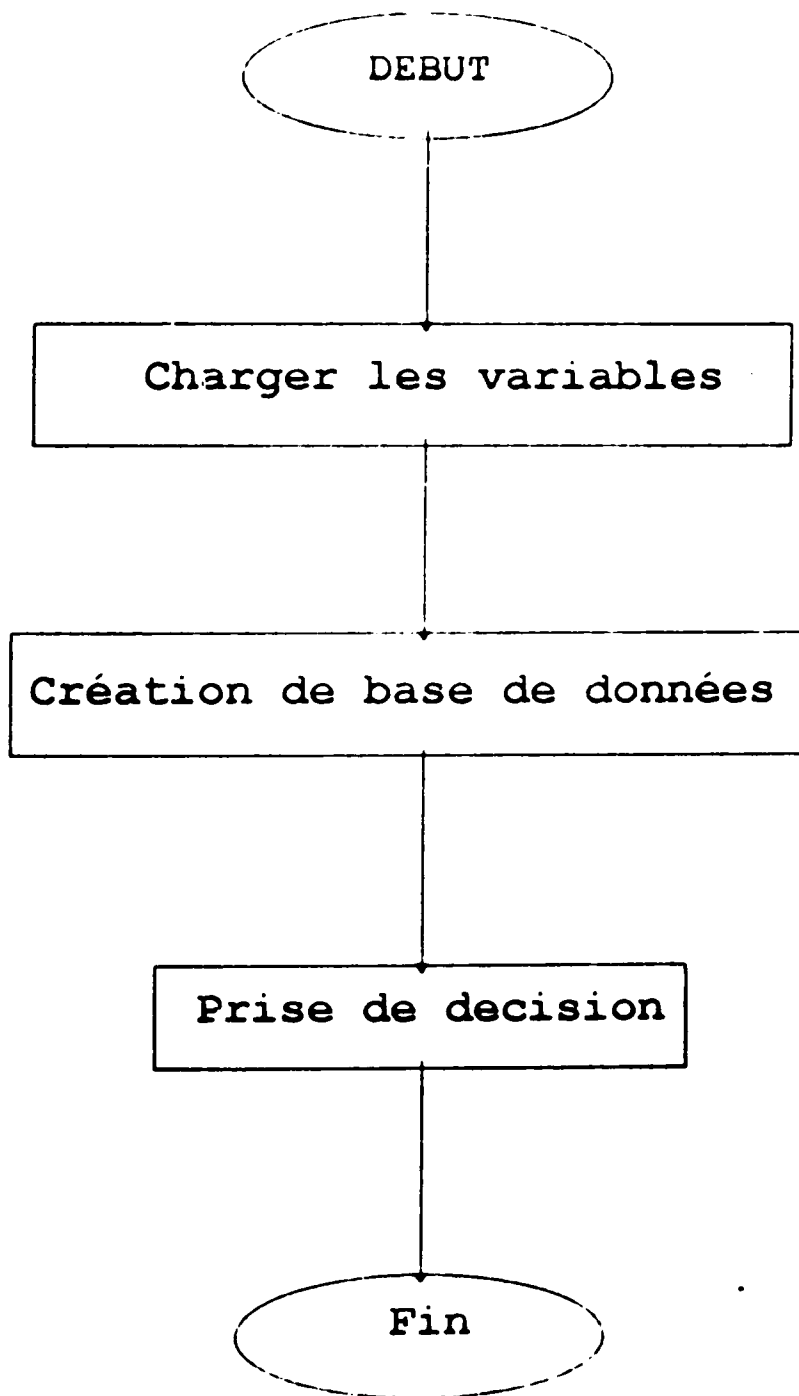
En permettant à un algorithme de convertir des instructions de ce type, il devient possible de donner une caractérisation algorithmique floue pour une grande variété de phénomènes complexes.

La sortie du contrôleur est calculée à partir de la fonction définie sur $[0, 1]$ pour chaque variable.

On constate qu'à chaque valeur de la température et du potentiel, un certain nombre de règles s'appliquent.

- L'intersection entre la valeur de la température avec les graphes de la première colonne donne des degrés d'appartenance quelconques.
- L'intersection entre la valeur du potentiel avec les graphes de la deuxième colonne donne d'autres degrés d'appartenance.
- L'entrée du système est exprimée par l'intersection des paires des valeurs obtenues entre la température et le potentiel.
- La décision prise par le contrôleur est faite à partir de la valeur « D » déterminée par la méthode du centre de gravité qui prend en considération les contributions de toutes les règles élaborées.

IV-10: ORGANIGRAMME



↓

Lecture des variables « Y_i » et « Y_j » correspondant
aux température et potentiel.

- $i = 1 \longrightarrow Y_i = 1$
 - $i = 2 \longrightarrow Y_i = 0.2 T - 5.6$
 - $i = 3 \longrightarrow Y_i = -0.5 T + 15$
 - $i = 4 \longrightarrow Y_i = 0.2 T - 5.6$
 - $i = 5 \longrightarrow Y_i = -0.2 T + 7.6$
 - $i = 6 \longrightarrow Y_i = 0.5 T - 18$
 - $i = 7 \longrightarrow Y_i = -0.2 T + 7.6$
 - $i = 8 \longrightarrow Y_i = 1$

 - $j = 1 \longrightarrow Y_j = 1$
 - $j = 2 \longrightarrow Y_j = 0.013 P - 0.03$
 - $j = 3 \longrightarrow Y_j = -0.013 P + 1$
 - $j = 4 \longrightarrow Y_j = 0.013 P - 0.03$
 - $j = 5 \longrightarrow Y_j = -0.02 P + 17$
 - $j = 6 \longrightarrow Y_j = 0.02 P - 16$
 - $j = 7 \longrightarrow Y_j = -0.02 P + 17$
 - $j = 8 \longrightarrow Y_j = 1$
- ↓

AFFECTATION DES RÈGLES D'INFERENCE A CHAQUE
CONCENTRATION

X_n (correspondant à la valeur minimale de Y_i & Y_j)

La réponse sera donnée en fonction des valeurs du potentiel à une température donnée. Ces valeurs sont comparées aux résultats des tests établies et adaptés aux règles définies.

Ces résultats sont stockés dans un fichier sous forme de base de données

PRISE DE DECISION

Le résultat final est déterminé par [D].

- * $D < -3$: Test très négatif,
(Absence totale des bactéries).
- * $-3 \leq D < -1$: Test peu négatif,
(Absence partielle des bactéries).
- * $-1 \leq D < 1$: Test nul.
- * $1 \leq D < 3$: Test peu positif,
(Présence partielle des bactéries).
- * $D \geq 3$: Test très positif,
(Grande présence des bactéries).

Au terme de cette étude, nous avons élaboré un programme en langage turbo-C. Le programme répond à la contamination de l'eau en terme symbolique par le degré de présence ou d'absence des bactéries de tout genre et par une quantification numérique instantanée.

IV-12: CONCLUSION:

Au niveau de ce chapitre, nous avons appliqué la théorie de la commande à logique floue sur la detection micro-biologique.

A chaque niveau d'application, nous avons essayé de donner un aperçu détaillé sur l'aspect theorique du contrôle flou. Cela nous a permis de remarquer l'aptitude de cette théorie à être utilisée d'une maniere appropriée à chaque utilisation.

Cela nous a permis aussi de relever l'importance et les possibilites qu'offre cette technique.

L'utilisation de la théorie du contrôle flou permet de conduire à l'identification de ces bactéries dans un milieu (echantillon d'eau) et donc confirmer ou minimiser leur presence.

En quantifiant les fonctions d'appartenance de notre systeme (temperature et potentiel) et en adaptant un algorithme flou à celui-ci, nous pouvons constater la capacité de répondre à des exigences aussi complexes soient-elles d'une façon efficace.

D'ici l'avantage de la théorie de la logique floue, parait évident.

CONCLUSION GENERALE:

Au terme de ce travail, nous avons essayé de contourner le sujet dans son ensemble. Ayant donné un aperçu global sur la théorie des sous-ensembles flous, cela nous a permis d'avoir un rappel bref sur leurs propriétés en vue de leur application au contrôle flou.

Le deuxième chapitre a été consacré à notre objet de commande à savoir la détection des bactéries coliformes. Au niveau de ce chapitre nous avons essayé de définir en terme de théorie générale ces micro-organismes et en seconde phase traiter les méthodes de détection existantes où des insuffisances ont été remarquées.

Un troisième chapitre traite le mode expérimental d'analyse suivant les techniques classiques. A ce niveau, et après avoir procédé à des expérimentations pratiques, nous avons procédé à des mesures de température et du potentiel, nous avons pu savoir l'utilité de notre travail.

Le but du dernier chapitre est d'appliquer la théorie de la commande à logique floue en vue de proposer une approche nouvelle dans ce domaine.

En appliquant cette théorie, nous avons pu constater l'importance et la simplicité de cette méthode qui à notre sens de raisonnement présente un intérêt particulier et ouvre des perspectives prometteuses dans ce champ de recherche.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Zadeh L.A., Fuzzy algorithms, information and control, Vol. 11, Pt. 3-4, (1966).
- (2) Zadeh L.A., A rationale for fuzzy control, J. dynamic systems, measurement and control, Vol. 94, serie G, PP. 3-4, (1972).
- (3) Zadeh L.A., Outline of a new approche to the analysis of systmes and decision processes »IEEE » trans. systems, Man, and cybernetics, Vol. SMC-3, PP. 28-44, (1973).
- (4) Mamdani E. H., Assilian S., An experiment in linguistic synthesis with a Fuzzy Logic controller, Int. J. Man-Machine studies, 7, 1-13, (1975).
- (5) Mamdani E. H., Applications of Fuzzy algorithmme for control of simple dynamic plant, proc. of I.E.E.E 121-12, 1585-1588, (1974).
- (6) Sugeno (editor), Industrial applications of Fuzzy control, North-Holland, Amsterdam, (1985).
- (7) Sanchez E., Applications industrielles de la comande floue au Japon, affect interfaces, (1989).
- (8) Holmblad L.P., Ostergaard I.J, Control of a ciment kiln by Fuzzy Logic, in Fuzzy applications and decision processes, (M.M. Gupto and E. Sanchez, Eds , North-Holland, 389-399, (1982).

- (9) Yamakawa T., A simple Fuzzy computer hardware system employing min & max operations, a challenge to 6th generation computer, proc of second I.F.S.A. congress, Tokyo, vol.2, 627-630, (1987).
- (10) Yamakawa T., Fuzzy microprocessors - how it works tutorials of the int. workshop on Fuzzy systems applications. Izuka & Fukuoka, Japan, 79-87, (1988).
- (11) Yamakawa T., Intrinsic Fuzzy electronic circuits for sixth generation computer, in Fuzzy computing. (Gupta M.M. and Yamakawa T., Eds.), (1988).
- (12) Sanchez E., Bartolin K., Fuzzy inference and medical diagnostic, . A case study. First annual meeting of the biomedical fuzzy systems association, 16-17, Kuroshiki, Japan, 1989.
- (13) Yogishito O., Iton O., Sugeno M., Application of Fuzzy reasoning to the water purification process in : industrial application of Fuzzy control (Sugeno M. Eds.) North-Holland, 19-39, (1985).
- (14) Kauffman A., Introduction à la théorie des sous-ensembles flous. Tome 1, Masson, Paris, (1973).
- (15) Zadeh L.A., Fuzzy logic, IEEE Spectrum, PP.83-84, (1988).
- (16) Remy C., Intelligence dévoilée ou logique floue? Micro-systemes, PP.93-105, (1986).

- (17) Mazieres J., Richard B. et Mazieres S., Une méthode de recherche rapide des coliformes fécaux dans les eaux de mer et les coquillages. Rev. Trav. Inst. des pêches maritimes, 44(3), 289-293, (1980).
- (18) Harris C.M. and Kell D.B., The estimation of microbial biomass. Biosensors 1, 17-64, (1985).
- (19) Collins C.H., and Lyne M.P., Microbiological methods 5th (Eds) London, (1985).
- (20) American public health association, Standard methods for the examination of water and wastewater 17th (Eds) Washington, D.C., (1985).
- (21) Oger C., Gavini F., Leclerc J.M. et Leclerc H., A propos des coliformes et de la flore bactérienne des eaux d'alimentation, Ann. Microbiol. Inst. Pasteur, 130, 183-189, (1981).
- (22) AFNOR, (1985a), Normes expérimentales. Recherche et dénombrement des coliformes et coliformes thermotolerants Norme NF T 90-413 October, (1985).
- (23) AFNOR, (1985b), Normes expérimentales. Recherche et dénombrement des coliformes et coliformes thermotolerants Norme NF T 90-414 October, (1985).
- (24) Trinel A.P. and Hanline N., Automation of water bacteriological analysis. Panning test of an experimental prototype. App. envir., Microbiol 39, 976-982, (1985).

- (25) Bonnefoy J., Les methodes de diagnostique rapide en microbiologie. Biofutur 36, 13-33, (1985).
- (26) Ur A. and Brown D., Detection of bacteriol growth, and antibiotic sensitivity by monitoring changes in electrical impedance. I.R.C.S. 8.
- (27) Ur A. and Brown D., (1974), Rapid detection of bacteriol activity using impedance measurement. Biomed. Engng. 18-20, 1974.
- (28) Hadley W.K. and Selby J., Early detection of microbiol metabolism and growth by measurement of electrical impedance in microbiology. (Edited by Schessinger D.), 12-21. American society of microbiology, Washington D.C, (1975).
- (29) Zafary Y. and Martin W.J., Comparaison of the bactometer microbiol monitoring system with conventional methods for detection of micro-organismes in urine specimen J. clin. Microbiol 9, 545-547, (1977).
- (30) Martins S.B. and Selby J., Evaluation of a rapid method for the quantitative estimation of coliforms in meat by impedimetric procedures. app. envir. Microbiol, 518-524, (1980).
- (31) Silverman M.M. and Mance E.F., Automated electrical impedance technique for rapid enumeration of fecal coliforms., app. envir., Microbiol, 521-526, (1979).
- (32) Claude B., Genevieve B., Yve R., François C., Marie-Jose J. and Jacque B., Biotechnol, Bioengng 27, 1027-1035, (1987).

- (33) Wilkins J.R. and Boykin E.H., Electrochemical method for early detection and monitoring of coliforms in water, J. Am. Wat. Wks. Ass. 68, 257-263, (1976).
- (34) Wilkins J.R., Stoner G.E. and Boykin E.H., Microbiol detection method based on sensing molecular hydrogen App. Microbiol. 27, 949-952, (1974).
- (35) Wilkins J.R., Grana D.C. and Fox S.S., Combined membrane filtration electrochemical microbiol detection unit. App. envir. Microbiol. 35, 214-215, (1978).
- (36) Wilkins J.R., Grana D.C. and Fox S.S., Combined membrane filtration electrochemical microbiol detection method. App. envir. Microbiol. 40, 852-853, (1980).
- (37) Junter G.J., Lemeland J.F. and Selegny E., Electrochemical detection and counting of Escherichia-Coli in the presence of a reproducible coenzyme, lipoic acid. App. envir. Microbiol. 39, 307-316, (1980).
- (38) Domach M.M. and al. Computer methods for glucose limited growth of a single cell of Escherichia-Coli. B/R.A. Biotechnol. Bioenging 26, 203-216, (1984).
- (39) Ataai M.M. and Schuler M.L., Simulation of the growth pattern of a single cell of Escherichia-Coli under anaerobic conditions. Biotechnol. Bioenging. 27, 1027-1035, (1985).
- [40] Lee C.C., Fuzzy logic in control System: Fuzzy logic controller (parts I and II), IEEE. Trans. syst., Man, Cybern., Vol.20, (Mars/Apr. 1990).