RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Dr Yahia Farés de Médéa

Faculté de Science et de La Technologie

Département de Génie Electrique et Informatique



Mémoire

Pour l'Obtention du Diplôme de :

Master en Electrotechnique

Option : Réseaux Electriques

Thème :

Analyse des Gaz Dissous dans l'Huile de Transformateur en utilisant la Technique de l'Intelligence Artificielle

Proposé et dirigé Par :

Dr. ABDI Sif-Eddine

Préparé et réalisé par :

Mr. ARIB Hakim

Mr. BENRAMOUL Mouàad

Promotion : 2012-2013

Remerciements

Au terme de ce travail, nous voudrons adresser nos vifs remerciements à tout nos professeurs de l'institut de science et de la technologie qui ont contribué à notre formation.

Nous formulons notre profonde gratitude à licence tout puissant, qui nous à donné l'énergie nécessaire pour la réalisation de ce modeste projet.

Nous rendons un hommage particulier à

Mr ABDI SIF EDDINE notre promoteurs d'avoir dirigé ce travail.

Nous exprimons nos sincères remerciements

A Monsieur le Président du jury et Mrs les membres du jury qui nous ont honorés en ayant accepté d'évaluer le présent projet de fin d'études.

Nos remerciement à toutes les personnes qui nous aidé de prés ou de loin.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents. Qu'Allah les garde.

Mes frères et mes sœurs.

Toute ma famille.

Tous ceux Qui m'ont aidé de loin ou de prés

Durant mes études.

Tous mes amis et tout mes Collègues de la promotion 2013

A mon encadreur Mr Abdi Sif-Eddine.

Tous les professeurs…..

Hakim

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents. Qu'Allah les garde.

Mon frère, ma sœur et ma nièce Sirine .

Toute ma famille.

Tous ceux Qui m'ont aidé de loin ou de prés Durant mes études.

Tous mes amis et tout mes Collègues de la promotion 2013

Tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à ma formation depuis mon premier cycle d'étude jusqu'à maintenant.....

A mon encadreur Mr Abdi Sif-Eddine

Mouàad

Introduction générale…….01

Chapitre I

I-1.Introduction :…….03

I-2. Historique :……03

I-3. Liquide isolant :…….04

I-4.Méthodes non traditionnelles de surveillance et diagnostic d'une isolation de transformateurs ……05

I-4-1. Essai en service des décharges partielles (DP)……...06

I-4-2. Logiciels et systèmes intelligents et experts pour le diagnostic…….06

I-5. Méthodes de diagnostic traditionnelles (Analyse d'huile)…….07

I-5-1. Diagnostic avec analyse de gaz dissous (*Dissolved Gas Analyis DGA*)…….07

I-5-1-1.Formation de gaz dissous dans l'huile lors de défaut ……07

I-5-1-2.Procédure d'analyse des gaz dissous dans l'huile (chromatographie)……09

a)Echantillonnage de l'huile…….09

b) Extraction des gaz dissous de l'huile……10

c)analyse des gaz extraits de l'huile (DGA)……..……...11

I-5-3 Méthodes d'interprétation ……..11

a)Méthodes de gaz Principaux……..…… ;……...…...11

--*Méthode* CSUS ……..……..12

-- *Méthode d'(*ECRA)……...…….13

b)Methode de ratios……...……15

--Méthode de Rogers……..…….……11

--Methode CEI……..……..17

--Méthode de doernenburg ……18

c) Triangle de Duval ……..18

d) Méthode TDCG…….…….20

I-6.Conclusion……..……20

Chapitre II

II.1 Introduction…….21

II.2 Historique……21

II.3 Structure Générale d'un système flou……22

II.3.1 Base de connaissances……..22

II.3-2 Univers de discours……...22

II.4 Procédure de raisonnement flou……23

II.4-1 Conception d'un système flou……23

II.4-2 Fuzzification……24

II-4-2-1. Les différentes formes des fonctions d'appartenance……26

II.4.3 Inférences floues……...28

II.4.3.1 Opérateurs de la logique floue……..29

II.4.3.2 Méthodes d'inférences floues…….30

II.4.4. Defuzzification ……....33

II.5 Conclusion……..35

Chapitre III

III-1.Introduction……31

III-2.Interprétation en utilisé les méthode traditionnelles……37

III-2-1.Méthode Rogers……...37

III-2-2.Méthode CEI……39

III-2-3.Méthode ECRA……...41

III-2-4.Discutions des résultats……43

III-3.Interprétation par l'application du logique flou……...……44

III-3-1.Méthode CEI……45

a)Codes flous de la CEI……45

b) Fonctions d'appartenance……..46

c)Résultat et discussion…….47

III-3-2.Méthode ECRA……50

a)Fonction d'appartenance……..50

b) Règles d'inférences……51

a)Résultats et discussions……52

III-3-3.Discussion des résultat…….54

III-4.Conclusion……55

Conclusion générale……56

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tab. I.1 historique des méthodes de diagnostic par analyse de gaz 04
Tab. I.2 Normes utilisées par SONELGAZ pour l'analyse de la BORAK22 07
Tab I.3 Formation de gaz dans les défauts 08
Tab I.4 Solubilité des gaz dans l'huile de transformateur 09
Tab I.6: Les gaz dégagés pour chaque type de défaut……12
Tab. I.10 Guide de la méthode de CSUS 13
Tab.I.9 Les défauts correspondent aux 13 modèles conçus par ECRA..... 15
Tab I.5 Code pour les rations de Rogers 16
Tab I.6 Interprétation de Rogers..... 16
Tab.I.7 Code pour méthode IEC/IEEE Recommandation 17
Tab. **I-8** Interprétation de la CEI /IEEE Recommandation 599 17

Chapitre II :

Tab. II.1 Exemple d'un tableau d'inférence 30

Chapitre III :

Tabl III-1 : Les échantillons utilisés d'huile……..37
Tabl III-2: rapporte de gaz d'après rogers……..38
Tabl III-3 : La représentation des codes et les défauts correspondent d'après Rogers…….39
Tabl III-4 : Rapports de gaz d'après le CEI……..40
Tabl III-5 : Le représentation des code et les défauts correspondent d'après le CEI…….41
Tabl III-6 : Modèle et défauts correspondent d'après ECRA……....42
Tabl III-7 : comparaison entre les méthodes……..……....42
Tabl III-8 : Le code de la méthode CEI……..…43

Tabl III-9 : Description de l'ensemble floue……..….46
Tabl III-10 : résultat de simulation de la logique floue avec CEI……..48

TablIII-11 : Comparaison entre la résultat donné par le CEI traditionnelle et la logique floue.

……50

Table III-12 : Règle d'inférence selon la méthode ECRA……51

Tab III-13.. : Les intervalles de fonctions d'appartenance de sorties……...51
Tabl III-14 : résultat de simulation de la logique floue avec ECRA…….52

Tab III-15 : Comparaison entre les résultat données par ECRA traditionnelle et la logique floue.……..…54

Liste des figures

Chapitre 1 :

Fig I-1 : Echantillonnage de l'huile par seringue…….....10

Fig. I.4. L'extraction sous vide…….11

Fig I.9. Les 13 modèles des échantillons donnés par la méthode ECRA ……...…….14

Fig I-3 : Diagramme De Doernenburg ……... ……18

Fig I-3 : triangle du Duval …… …….…….17

Fig I-4 : Exemple d'application de méthode de Duval…….……17

Chapitre2

Fig .II.1 : Schéma général d'un système flou **…….**……..…….23

Fig .II.2 : Degré d'appartenance à l'ensemble moyen de la variable linguistique hydrogène.24

Fig .II.3 : Degré d'appartenance aux ensembles considérés en logique booléenne……..….25

Fig .II.3 : Exemple de fonction d'appartenance de H_2%.....27

Fig .II.4 : Sous ensembles flous de Sugeno……...…….28

Figure II.5 Fonctions d'appartenance de forme trapézoïdale …….....29

Figure II.6: Méthode d'inférence Somme-produit ……...……..……32

F**ig. II.7**: Défuzzification par centre de gravité……...….34

Chapitre III :

Fig.III.1. Exemple comparatif entre code 1 binaire IEC et le code1 floue pour le rapport $r_3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$……...46

Fig III.2. : La fonction d'appartenance de l'hydrogène……..……50

Introduction Générale

Dans le développement (conception, optimisation) et dans l'utilisation (surveillance, sûreté de fonctionnement) d'un produit, l'outil numérique de modélisation, de simulation et de caractérisation est devenu incontournable. Ceci est principalement pour des raisons de coût et de temps, pour améliorer la fiabilité des systèmes par la mise en place de procédures de surveillance et, par conséquent, de maintenance conditionnelle efficace. Les méthodes dites techniques de l'intelligence artificielle sont actuellement les plus utilisées vues leur robustesse devant les problèmes complexes

La surveillance en ligne des transformateurs n'échappe pas à cette évolution. Au cours des dernières années, cette surveillance s'est développée et a permis de repérer les défaillances possibles avant qu'elles n'aient des conséquences graves. Dans ce cadre, la simulation des données d'un tel appareil, permettra une bonne mise en oeuvre d'un système et une bonne prévention de son comportement dans une situation quelconque, ceci aidera à prendre une décision en un temps court. Cependant, ces méthodes dépendent des données utilisées et elles reposent parfois sur la connaissance cumulée par les experts à partir de différents essais.

L'huile d'isolation, comme elle est très importante dans un transformateur, est le siège de différents types de défauts, qui peuvent devenir mortels pour l'appareil. Des gaz peuvent ainsi se former et se dissolver dans l'huile. L'analyse quantitative et qualitative de ces gaz (Dissolved Gas Analysis DGA) permettent d'obtenir des informations utiles au sujet des la nature de la contrainte, son intensité, et le type de matériaux affecté. Cependant, ce n'est pas une tâche facile parce que la concentration en gaz dépend également de plusieurs variables du transformateur comme l'histoire de chargement, type de construction, volume d'huile, etc...

Habituellement la méthode de diagnostic par DGA est exécutée seulement par des experts aux différents laboratoires d'électrotechnique, où une grande quantité de la connaissance sur la relation entre les composants chimiques qui existent dans l'huile, et le type de défauts latents dans l'appareillage de puissance a été accumulée. Ce domaine a connu un intérêt croissant au cours des dernières années.

A partir de ce qui précède, des chercheurs ont commencé à développer des systèmes de diagnostic des isolations électriques, en utilisant l'intelligence artificielle (réseaux de neurones RN, logique floue, neuro_flou, algorithmes génétiques …), une grande partie de ces méthodes de diagnostic se basent sur la composition chimique de l'huile.

Nous présentons dans cette étude les méthodes de diagnostic de l'huile de transformateurs se basant sur la méthode d'analyse des gaz dissous (DGA). Pour conserver et améliorer l'expérience des analystes, nous avons appliqué un technique d'intelligence artificielle qui est la logique floue La connaissance utilisée est seulement la quantité des gaz dissous dans l'huile de l'appareil en question. Trois critères d'interprétation ont été employés, le critère donné par le Comité d'Electricité et de la Recherche Appliquée ECRA, le critère recommandé par le Comité d'Electrotechnique Internationale CEI (recommandation 599), et celui donné par Rogers au Central Electrique de la Grande Bretagne(CEGB).

Nous avons divisé ce travail en trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre présente les différentes méthodes de diagnostic des huiles de transformateurs, et nous avons mis l'accent sur la méthode des gaz dissous où nous avons présenté les méthodes les plus utilisées pour l'interprétation de la présence de ces gaz.

- ✓ Le deuxième chapitre donne une idée générale sur la logique floue, ainsi que les différentes méthodes de conception d'un système flou.

- ✓ Le troisième chapitre présente l'application de la logique floue au diagnostic par DGA. Nous avons combiné la méthode de som-prod avec celle du centre de gravité pour simuler les mêmes échantillons utilisés dans l'application des RN. Les résultats obtenus et leurs discussions sont ainsi

Chapitre I :
Les Méthodes d'Analyse des Gaz Dissous dans l'Huile

I-1.Introduction :

Les huiles diélectriques sont classées selon leur origine en huiles minérales, huiles végétales et huiles de synthèses. Les huiles minérales sont des produits naturels obtenues directement par raffinage de bruts pétroliers, elles sont les plus répandues en industrie d'isolation électrique en raison de leur coût de revient réduit. Ces huiles utilisées comme imprégnant d'isolation solide ou comme produits de remplissage de matériels électriques, ont notamment deux fonctions principales : l'isolation électrique et le transfert thermique.

Les huiles isolantes se dégradent considérablement au cours de leur utilisation dans l'appareillage électrique, de haute tension en particulier. Cette dégradation est due surtout aux différents phénomènes engendrés principalement, par les contraintes électriques et thermiques. L'huile doit être retirée de l'utilisation lorsque la teneur des composés issus des contraintes thermiques(oxydation) ou électrique (ionisation, décharges partielles) est importante, et met en danger le fonctionnement des appareillages de haute tension.

Dans le but diagnostiquer les huiles de transformateurs électriques pour éviter les dommages qui pourraient gâcher le travail , des méthodes pour détecter la gravité des gaz résultant de la décomposition de certains composants organiques de l'huile , vont être examiner dans ce chapitre.

I-2. Historique :

Les isolants électriques étaient à l'origine des produits naturels non imprégnés qui, en contact direct avec l'air, s'oxydaient rapidement. Il n'était guère possible, ni évident, d'utiliser des liquides, bien qu'en 1854 **[Sil-00]**, on eût plongé des enroulements dans l'essence de térébenthine augmentant leur tenue diélectrique, leur durée de fonctionnement et montrant que l'on peut soustraire l'isolation solide à l'oxydation directe. Il a fallu attendre jusqu'à1891**[Sil-00]**, pour que l'huile de pétrole soit utilisée à titre expérimental dans l'isolation de transformateurs triphasés.

Peu a peu les paramètres électriques se précisèrent sous l'influence de diverses contraintes d'emploi. On a alors assisté à une floraison de liquides nouveaux qui ont posé le problème de choix et de définition de critère de sélection, et devant la multiplication des réseaux de distribution d'énergie électrique et l'accroissement des puissances installées, les transformateurs dans l'air deviennent énormes. Pour réduire leur volume, l'emploi de l'huile minérale se généralise dès 1905 et en plus qu'elle a des nombreuses variantes dans sa

composition, elle possède de remarquables propriétés. **[Sil-00, D 2 450].**

La possibilité de créer des molécules adaptées, par exemple de permittivité plus grande que celle des huiles minérales révéla avec l'apparition des Askarels els à la fin des années 1920.

Les Askarels, suspectés dès 1966, puis interdits dans certains pays en 1972 (en Algérie à partir dès 1985) sont peu à peu remplacés par d'autres liquides, notamment par les huiles minérales utilisées dans les transformateurs **[D-2 450, Bou-01]**

Le tableau (I.1) résume l'historique des méthodes de diagnostic et de protection se basant sur l'analyse des gaz dissous dans l'huile des transformateurs.**[Abd-02]**

Période	**Méthode appliquée**
Fin des années 20	Développement du relais Buchloz
Au milieu des années 50	Analyse des gaz dans les relais Buchloz
Fin des années 50	Analyse des gaz dans l'huile, détermination des gaz dissous, détermination du type de défaut à partir du volume absolu du gaz
Début des années 70	Détermination du type de défaut à partir des rapports de concentrations des gaz
Au milieu des années 70	Mise en œuvre des codes de défauts à partir des rapports des gaz : méthane/hydrogène, éthane/méthane, éthylène/éthane et éthylène/acétylène.
Au milieu des années 80	Contrôle périodique des transformateurs par le biais de mesures de concentration des gaz

Tab I.1 : Historique des méthodes de diagnostic par analyse de gaz **[Abd-02]**

I- 3. Liquide isolant :

En général, les liquides isolants sont associés à des isolants solides. Ils sont utilisés comme imprégnant d'isolations solides ou comme produits de remplissage de matériels électriques très divers : transformateurs (de puissance, de distribution, de mesure …) réactance, condensateurs, câble, traversées, disjoncteurs, changeurs de prise, etc.

Leur rôle principal est d'éliminer l'air et les autres gaz de façon à améliorer la tenue diélectrique de l'isolation (la rigidité diélectrique des liquides est nettement supérieure à celle des gaz).

Leur fonction électrique essentielle est d'éliminer les décharges partielles susceptibles de se produire dans les poches gazeuses, en remplissant les interstices entre solides isolants et conducteurs ainsi que les cavités au sein des solides eux- mêmes. Ces décharges très agressives et destructrices pour les isolants solides, peuvent se déclencher à des tensions très

basses. **[D 2 470].**

Dans certains cas, notamment dans les transformateurs et quelques câbles de puissance, le liquide isolant est avant tout un fluide de transfert thermique qui sert à évacuer les calories produites au cœur de l'appareil**.**

Les liquides sont également utilisés pour leur pouvoir extincteur d'arcs électriques, en raison de leur pouvoir lubrifiant pour le matériel renfermant des pièces en mouvement, et dans certains cas, pour améliorer la résistance au feu.**[D 2471].**

Bien que les liquides isolants aient été employés comme imprégnant depuis la fin du siècle dernier, les recherches sur le claquage de ces matériaux, ont pendant longtemps été peu développé. Cela est du, d'une part, au nombre très restreint de travaux sur le sujet (les domaines d'application des liquides étant bien plus limités que ceux des gaz), d'autre part, la méconnaissance des mécanismes de base sur la conduction dans l'état liquide. Aussi, les connaissances sur le sujet demeurant très fragmentaires, souvent contradictoires et largement empiriques jusqu'en 1950, alors que, pour les gaz et les solides ordonnés, des théories bien vérifiées par l'expérience avaient été établies.

Une approche plus systématique s'est développée par la suite, dans le souci :

-D'effectuer un contrôle strict visant à préciser le rôle d'agents étrangers aux liquides (particules, gaz dissous, etc) qui affectent manifestement leur rigidité.

-De développer des techniques de mesures variées : visualisation ultrarapide des phénomènes, créneaux de tension de temps de montée ultracourts facilitant l'interprétation, mesures de courant transitoire, analyse spectroscopique.

- Depuis une dizaine d'années, des progrès importants ont été accomplis sur la compréhension des mécanismes de conduction électronique dans les huiles et le mécanisme de streamer s'est développé de façon systématique. **[D 2 450].**

I-4. Méthodes non traditionnelles de surveillance et diagnostic d'une isolation de transformateurs :

D'une manière générale, le terme 'surveillance' (monitoring) décrit une mesure de paramètres de base. Le terme 'diagnostic' indique l'addition d'une analyse sophistiquée, telle qu'un système intelligent capable de fournir une évaluation de l'état de l'équipement et des actions suggérées. Il y a une variété d'outils disponibles pour évaluer l'état des transformateurs et qui peuvent être classés en deux catégories : traditionnelles et non-traditionnelles. **[Mok-04].**

Il y a eu, ces dernières années, plusieurs développements nouveaux dans les techniques d'essais et de surveillance qui trouvent une utilisation croissante dans le diagnostic des transformateurs.

I-4-1. Essai en service des décharges partielles (DP) :

Les deux méthodes les plus utilisées pour la détection des décharges partielles sont : la détection des signaux acoustiques et la mesure des signaux électriques produits par les décharges partielles. Les impulsions des décharges partielles produisent des ondes de contraintes mécaniques qui se propagent à travers l'huile environnante (dans la gamme de 100 à 300 kHz). Pour détecter ces ondes, des détecteurs d'émission acoustique sont montés sur les parois du réservoir du transformateur ou dans l'huile à l'intérieur du même réservoir.

Les méthodes acoustiques de détection des DP sont limitées par l'atténuation du signal et les mesures électriques sont limitées par des problèmes d'interférence électromagnétique.

Les décharges partielles peuvent être détectées indirectement en utilisant des techniques chimiques telles que la mesure des produits de dégradation produits par les DP. Les limites acceptables de la charge des décharges partielles pour des nouveaux transformateurs est de 100 à 500 pC, elle dépend de la tension appliquée et de la taille de transformateur.

I-4-2. Logiciels et systèmes intelligents et experts pour le diagnostic :

Les logiciels pour diagnostic, qui donnent des indications plus précises des problèmes des huiles de transformateur que l'analyse conventionnelle, font l'objet d'études de beaucoup de chercheurs et utilisateurs.

L'utilisation d'un logiciel peut améliorer la fiabilité et la répétitivité de l'analyse des essais. Elle peut également servir à extraire l'information qui n'est pas fournie directement par les bases de données. Beaucoup de recherches ont été faites par logiciel pour le diagnostic des huiles de transformateur et corréler les données avec l'état de l'isolation du transformateur.

L'avance actuelle des techniques d'intelligence artificielle (IA) a permis à des ingénieurs et à des chercheurs de développer des logiciels puissants et souples d'IA pour diagnostiquer des défauts de transformateurs. L'utilisation d'un système expert offre la possibilité de réduire la main d'œuvre et les frais pour évaluer l'état du transformateur ; cependant, ce but n'a pas été encore totalement réalisé. **[Mok-04].**

I-5. Méthodes de diagnostic traditionnelles (Analyse d'huile) :

L'huile d'isolation souffre de la détériorat fion qui peut devenir mortelle pour l'appareil. En outre, la décharge dans l'huile cause des dommages sérieux aux autres matériaux isolants.

Pour cette raison, l'analyse d'huile isolante d'appareillage de puissance HT est devenue une tache importante. Cette analyse, en apparence si simple, requiert beaucoup de savoir faire et un grand nombre d'opérations.

S'il est constaté que l'huile est suffisamment dégradée à mettre en danger le transformateur, une "dialyse" doit être effectuée 1. Selon les besoins, l'huile est alors dégazée, filtrée et déshydratée. **[Mok-2002,Kam-97]**

I-5-1. Diagnostic Utilisant Des Tests Electriques Et Physico-chimiques :

Les essais et les normes utilisés par la SONELGAZ sont donnés dans le tableau I-2

Type d'essai	**Norme**
Couleur	ISO 2049
Viscosité cinématique	ISO 3104
Acidité totale	CEI 60296
Rigidité diélectrique	CEI 60156
Pertes diélectriques	CEI 60 250
Teneur en eau	CEI 60814
Point éclair	ISO 2592
Densité	ISO3675
Massa volumique	ISO 3675

Tab. I-2 : Normes utilisées par SONELGAZ pour l'analyse de la BORAK22

Ces tests sont très importants pour déterminer l'état de vieillissement de l'isolation et d'analyser son degré de contamination **[Mok-04,Bou-01,Mok2-02].**

I-5-2. Diagnostic avec analyse de gaz dissous (*Dissolved Gas Analyis DGA*) :

I-5-2-1.Formation de gaz dissous dans l'huile lors de défaut :

L'apparition de défauts d'origine thermique conduit à la dégradation de l'huile. Chaque type de défaut "fait cuire" l'huile ou le papier d'une manière différente, produisant des quantités relatives de gaz dissous qui caractérisent le défaut. Les quantités sont plus ou moins importantes en fonction de l'intensité de la contrainte. La nature des gaz formés, leurs proportions relatives, permettent d'obtenir des renseignements sur la nature de la contrainte, son intensité et le type de matériaux affectés.[**Duk-93,Kam-97,Kie-99]**

Défauts	**Gaz détectés**	**Gaz principaux**
Arcs électriques	Formation de quantités importantes d'hydrogène et d'acétylène, avec de petites quantités de méthane et d'éthylène. Il peut y avoir également formation de CO et CO_2 s'il y a de la cellulose à l'endroit du défaut.	Acétylène
Décharges partielles	Les décharges de faible énergie produisent de l'hydrogène et du méthane, avec de petites quantités d'éthane et d'éthylène. Des quantités comparables de CO et CO_2 peuvent provenir de décharges dans la cellulose	Hydrogène
Surchauffe ment de l'huile	Les gaz produits sont l'éthylène et le méthane, avec des petites quantités d'hydrogène et d'éthane. Des traces d'acétylène peuvent être produites si le surchauffement est sévère ou si un contact électrique intervient dans le défaut.	Ethylène
Surchauffe ment de la Cellulose	Formation de grandes quantités de CO et CO_2. si le défaut à lieu dans une structure imprégnée. Du méthane et de l'éthylène sont également formés.	Monoxyde de carbone (CO)

Tableau I-3- Formation de gaz après un défaut

Les solubilités des gaz après défaut dans l'huile minérale de transformateurs, aussi bien que leur dépendance de la température sont des facteurs importants pris en considération dans l'analyse des gaz. La solubilité est proportionnelle à la pression externe des gaz entre 20°C et 100°C, elle varie linéairement avec la température, et elle est également affectée par la viscosité de l'huile. En effet, elle est plus grande pour les huiles à faible viscosité que pour les huiles à forte viscosité.

Le tableau I.4 énumère les solubilités jusqu'à saturation pour quelque gaz.[**D2 470,Duk-93,Dig-04]**

Gaz	Solubilité
Hydrogène	**7%**
Nitrogène	**8.6%**
Carbone monoxyde	**9%**
Oxygène	**16**
Méthane	**30%**
Carbone dioxyde	**120%**
Ethane	**280%**
Ethylène	**280%**
Acétylène	**400%**

Tab I.4: Solubilité des gaz dans l'huile de transformateur **[Dig-04]**

Entre le gaz le moins soluble (hydrogène) et le plus soluble (Acétylène), la majorité des gaz qui sont indicatifs de défauts sont également solubles dans l'huile.

L'analyse des gaz dissous dans l'huile des transformateurs (DGA), n'est pas une tâche facile parce que la concentration en gaz dépend également de plusieurs variables du transformateur comme l'histoire de chargement, type de construction, volume d'huile, etc...

Les différentes conditions de fonctionnement et les particularités structurales des transformateurs influent sur les données de chromatographie des défauts, ceci pousse les chercheurs à appliquer plusieurs méthodes de DGA pour obtenir un diagnostic fiable**.[Duk-93, Gua-01].1**

I-5-2-2.Procédure d'analyse des gaz dissous dans l'huile (chromatographie) :

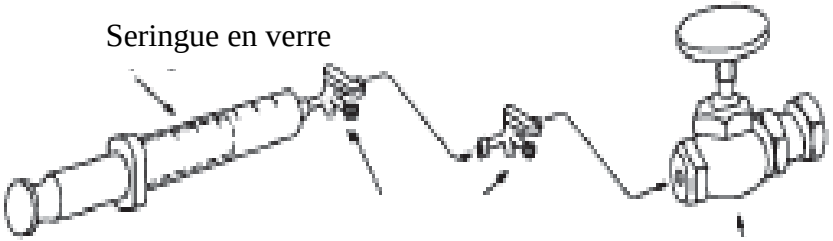
La procédure d'analyse des gaz dissous comporte trois phases successives : l'échantillonnage de l'huile, l'extraction des gaz et leur analyse.

a)Echantillonnage de l'huile :

Il faut prélever et transporter l'échantillon de telle manière que les gaz dissous dans l'huile ne subissent aucune modification, ou bien seulement des modifications que l'on sache évaluer. Dans ce but, il est recommandé d'utiliser des récipients opaques en verre ou en métal, étanche au vide. Mieux encore, la méthode de prélèvement par seringue convient quel que soit le mode de transport des échantillons.

La sélection des points de prélèvement des échantillons doit faire l'objet d'un soin particulier. Normalement, l'échantillon sera prélevé en un point où il est représentatif de l'ensemble du

matériel et en dehors des points où des modifications de composition, peuvent exister, par exemple des échantillons d'huile sont habituellement pris au fond du réservoir, de la soupape de vidange. Cependant, il sera parfois nécessaire et pour des buts spéciaux de prélever délibérément des échantillons là où il n'est pas évident qu'il soient représentatifs, par exemple quand on essaie de localiser un défaut (au dessus des radiateurs ou du relais de gaz.)
Il convient de prélever des échantillons lorsque le matériel est en fonctionnement normal, cela est important pour déterminer la vitesse de formation des gaz.



FigI-1 : Echantillonnage de l'huile par seringue

b)Extraction des gaz dissous de l'huile :

L'extraction des gaz dissous de l'huile à analyser est Le système entier est d'abord évacué pour créer le vide, puis la valve (b) est fermée et l'échantillon d'huile est introduit à travers un septum; des volumes entre 0.25 et 5 ml sont généralement employés. La valve (a) est alors fermée et le niveau de mercure est élevé de 1 à 2 pour apporter les gaz extraits de nouveau à la pression atmosphérique. D'autres techniques sont également employées, et toutes donnent des résultats assez ressemblable. Il est possible que l'on ne puisse pas atteindre les sensibilités et fidélités exigées pour l'analyse des hydrocarbures pendant les essais en usine, en utilisant moins de 5 ml d'huile.

Des volumes d'huiles plus importants (10ml) exigeraient un temps plus grands pour extraire les gaz dissous et conduiraient à des chromatogrammes inacceptables, à moins de concentrer les gaz extraits.**[Duv-89,Abd-98]**

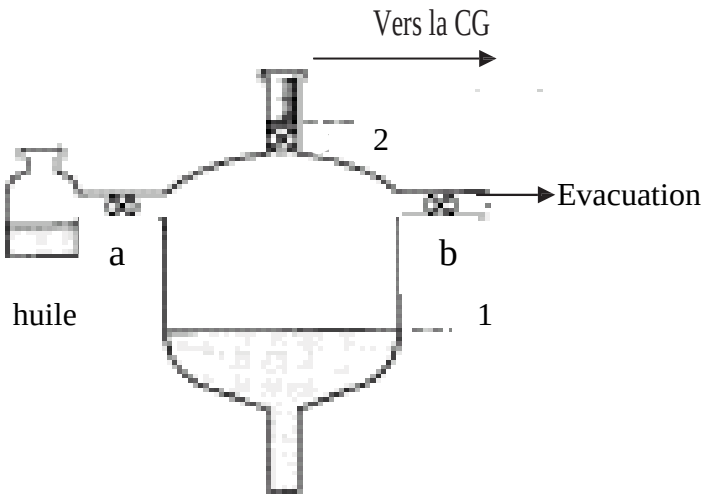


Fig. I.4. L'extraction sous vide

c)analyse des gaz extraits de l'huile (dga) :

Plusieurs méthodes d'analyse des gaz sont proposées. Cependant, la chromatographie en phase gazeuse (CG) fournit un moyen plus efficace d'analyser ces gaz et d'en déterminer les compositions et les concentrations avec une bonne précision. Elle nécessite un appareillage plus élaboré et ne peut donc être utilisée que dans un laboratoire, mais elle fournit une analyse qualitative et quantitative complètes des gaz. **[Duv-89,Abd-98].**

I-5-3 Méthodes d'interprétation :

La DGA pour l'huile isolante de transformateur est une technique de diagnostic bien connue dans l'industrie et plusieurs critères ont été établis. Les critères les plus communs utilisés sont ceux de Doernenburg, de Rogers et de Rogers modifié, CEI et CSUS et ECRA. Le procédé de détection de défaut implique fondamentalement un processus d'association de données et d'identification de critère en se basant sur l'expérience et les capacités d'annaliste pour un diagnostic fiable. Cependant, l'expérience de terrain a prouvé que ces critères peuvent mener à un diagnostic de défaut différent.

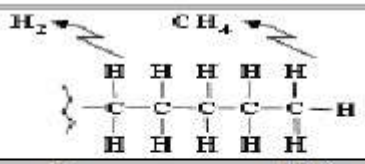
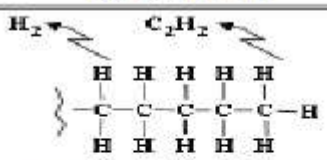
Par conséquent, la recherche d'une méthode fiable pour la détection de défauts naissants dans des transformateurs de puissance employant le DGA est toujours une matière d'intérêt et est plus un art qu'une science **[Gua-01]**

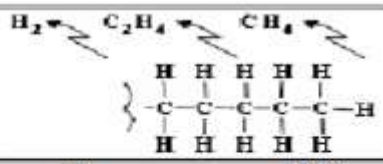
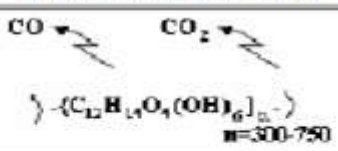
a) Méthodes de gaz Principaux :

Cette méthode est basée sur la concentration de chaque gaz et sur le raisonnement des experts pour caractériser les défauts.

Spécifiquement, l'arc ou la décharge électrique avec grande ou faible énergie, produit une

grande quantité d'hydrogène et d'acétylène (rapport = 2:1) avec des quantités beaucoup plus petites de méthane et d'éthylène. Couronne ou décharge partielle d'une grande ou faible énergie produit des quantités d'hydrogène et de méthane, approximativement dans un rapport de (8:1); et le surchauffement ou le défaut à hautes températures produit des grandes quantités d'éthylène. Le monoxyde et dioxyde de carbone sont dominants, si le défaut dû aux points chauds dans l'isolation du papier implique la cellulose.

Effet couronne dans l'huile	
	
H_2	88%
Co_2	1
Co	1
CH_4	6
C_2H_6	1
C_2H_4	0.1
C_2H_2	0.2
Arc dans l'huile	
	
H_2	39%
Co_2	2
Co	4
CH_4	0.1
C_2H_4	0.2
C_2H_2	10

Echauffement dans l'huile	
	
H_2	16%
Co_2	Trace
Co	Trace
CH_4	16
C_2H_6	6
C_2H_4	41
C_2H_2	trace
Echauffement de cellulose	
	
H_2	9%
Co_2	25
Co	50
CH_4	8
C_2H_4	4
C_2H_2	0.3

Tab I.6: Les gaz dégagés pour chaque type de défaut

--***Méthode*** **CSUS :** ***California State University Sacramento***

Développée à l'Université de Sacramento de la Californie en coopération avec la société pacifique de Gaz et Electricité, cette méthode indique les niveaux normaux et anormaux des différents gaz.

L'analyse de gaz principale avec la méthode CSUS essaye d'identifier les anomalies suivantes:

***** Surchauffement local et surchauffement grave

* Décharge en arc (ARC)

* Décharge partielle (couronne)

* Etincellement

Gaz	Normal <	Non normal >	interprétation
Hydrogène	150ppm	1000ppm	Décharge partielle (couronne); décharge par 2arc (Arc)
Méthane	25	80	Etincellement
Ethane	10	35	Surchauffe locale
Ethylène	20	150	Surchauffe grave
Acétylène	15	70	Décharge par Arc
Monoxyde de carbone	500	1000	Surchauffe grave à la cellulose
Dioxyde de carbone	10000	15000	Surchauffe grave à la cellulose

Table. I.10 : Guide de la méthode CSUS

--*Méthode d'(*ECRA) :

Cette méthode de diagnostique a été développée par le Comité d'Electricité et de la Recherche Appliquée, ce groupe de chercheur a conçu 13 modèles différents. (Fig. I-9) Cette méthode est basée sur la quantité en ppm (partie par million) des composants des gaz les plus importants dans l'huile isolante dans l'appareillage électrique, c.-à-d. H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, et C_2H_2. **[Kam-97]**

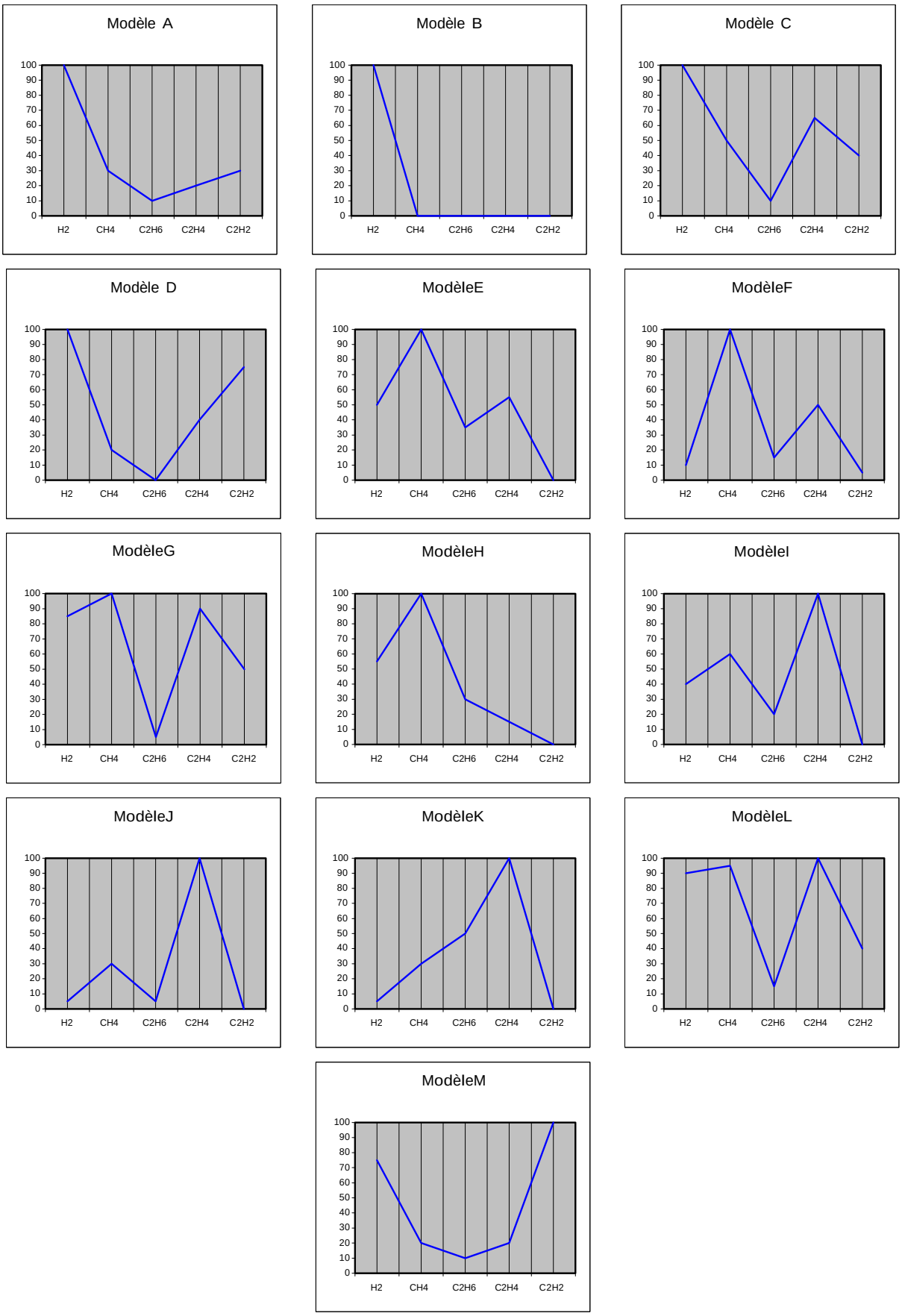


Figure I.9. Les 13 modèles des échantillons donnés par la méthode ECRA **[Kam-97]**

Pour un transformateur donné, le gaz dominant est pris pendant que 100 % est la quantité de tous autres gaz sont alors exprimés par rapport à la valeur dominante. Le tableau I.9 montre les défauts correspondants aux 13 modèles : **[Kam-97]**

Type	**Modèle**	**Description**
H_2 dominant	**A**	Décharge partielle ou décharge par arc
	B	
	C	
	D	
CH_4 dominant	**E**	Surchauffe ment produit par un mauvais contact (OH)
	F	
	G	Surchauffe ment produit par de mauvais contact. Par fois décharge partielle a haute énergie PD où décharge par arc
	H	Surchauffe ment produit par mauvais contact (OH)
C_2H_4 dominant	**I**	Surchauffe ment produit par e mauvais contact (Une grande température) (OH)
	J	
	K	
	L	
C_2H_2 dominant	**M**	Décharge par ARC

Tab I.9 : Les défaut correspondent aux 13 modèle conçus par ECRA **[Kam-97]**

Nous signalons ici que les concentrations dans les modèles E, F et H sont pas les mêmes, malgré que ces modèles indiquent le même type de défauts

b) Methodes de ratios :

Les interprétations étaient concentrées sur les composants spécifiques de gaz pour la détermination de décharges dans l'huile. Cette approche simpliste était raffinée par un certain nombre de chercheurs qui ont étudié les rapports de certains gaz pour établir une technique de diagnostic plus complète

Les méthodes de ratios, sont plus employées que la méthode de gaz principaux, ces méthodes sont basées sur l'examen de rapport du gaz en paires plutôt que valeurs absolues.

Typiquement, trois ou quatre ratios sont employés pour une bonne exactitude du diagnostic, *ratios de Roger*; *ratios de Doerenburg* , *et ratios de CEI*, mais la table de ratios de *CEI* a été acceptée comme norme d'industrie**. [Gua-01-Sye-00]**

-- Méthode de Rogers :

La centrale électrique de la Grande Bretagne (CEGB) avait employé une méthode développée par *Rogers* dans lequel quatre rapports de gaz sont employés (CH4/H2 ; C2H6/CH4 ; C2H4/C2H6 ; C2H2/C2H4) pour produire des codes basés sur des gammes des rapports comme montré dans le tableau I.5. La combinaison de codes produite, peut être liée à une interprétation du diagnostice comme montrée dans le Tableau I.6. **[Dig-04,Aha-00]**

CH4/CH2	≤ 0.1	5
	>0.1<1	0
	≥1 < 3	1
	≥3	2
C2H6/CH4	<1	0
	≥1	1
C2H4/C2H6	<1	0
	≥1<3	1
	≥3	2
C2H2/C2H4	<0.5	0
	≥0.5<3	1
	≥3	2

Tableau I.5 : Code pour les ratios de Rogers**[Dig-04]**

Code				Interprétation
0	0	0	0	Normale
5	0	0	0	Décharge partielle d'une faible énergie
1ou 2	0	0	0	Surchauffement < 150°C
1ou 2	1	0	0	Surchauffement 150-200°C
0	1	0	0	Surchauffement 200-300°C
0	0	1	0	Surchauffement au conducteur
1	0	1	0	Circulation de courant dans les enroulements
1	0	2	0	Circulation de courant dans le noyau et le réservoir
0	0	0	1	Etincellement
0	0	1,2	1,2	Décharge par arc
0	0	2	2	Etincellement puissant
5	0	0	1,2	Décharge partielle d'une grande énergie

Tableau I.6 Interprétation De Rogers**[Dig-04**

-- Méthode CEI (CEI 60599) : Comité électrotechnique internationale :

Le critère CEI a été employé pour plusieurs décennies et une expérience considérable est accumulée dans le monde entier pour diagnostiquer les gaz dissous dans les transformateurs et les interpréter

Cette technique donne le diagnostic de défaut provenu de la méthode de Rogers, sauf que le rapport C_2H_6/CH_4 a été abandonné puisqu'il indique seulement une gamme de défaut thermique limitée.

La première version de la méthode de la CEI (le CEI 60599-1978) est basée sur le code simple tandis que la deuxième (la CEI 60599 -1999) utilise les gammes révisées de rapports. Dans cette édition, l'évaluation des gaz dissous pour des limites de « normalité », est exigée avant d'être interprétée en utilisant des rapports. L'autre amélioration de la deuxième version est l'utilisation de la représentation graphique en 3D des gammes des rapports des gaz.**[CEI-98].**

Rapport/Codes	**Code 0**	**Code 1**	**Code2**
$r_1 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	**< 0.1**	**0.1-3**	**>3**
$r_2 = \frac{CH_4}{H_2}$	**0.1-1**	**<0.1**	**>1**
$r_3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	**<1**	**1-3**	**>3**

Table. I-7. : Code Pour Méthode CEI/IEEE recommandation**[CEI-98].**

	Les intervalles pour les codes	**Les rapports des gaz caractéristiques de défauts**		
		$\frac{C2H2}{C2H4}$	$\frac{CH4}{H2}$	$\frac{C2H4}{C2H6}$
<0.1		0	1	0
0.1-1		1	0	0
1-3		1	2	1
>3		2	2	2
N°	**Type de défaut**			
1	Pas de défaut	0	0	0
2	DP avec faible énergie	0	1	0
3	DP avec grande énergie	1	1	0
4	Décharge électrique avec faible énergie	1 ou 2	0	1 ou 2
5	Décharge électrique avec grande énergie	1	0	2
6	Surchauffement avec température < 150°	0	0	1
7	Surchauffement avec température 150°<T< 300°	0	2	0
8	Surchauffement avec température 300°<T< 700°	0	2	1
9	Surchauffement avec température T> 700°	0	2	2

Tab I-8 : Interprétation De La CEI/IEEE Recommandation 559

--Méthode de doernenburg :

Les quatre ratios utilisés dans cette méthode sont : (CH_4/H_2 ; C_2H_2/C_2H_4 ; C_2H_2/CH_4 ; C_2H_6/C_2H_2). Puis deux rapports d'entres eux seront tracés sur un graphe d'axes logarithmiques .

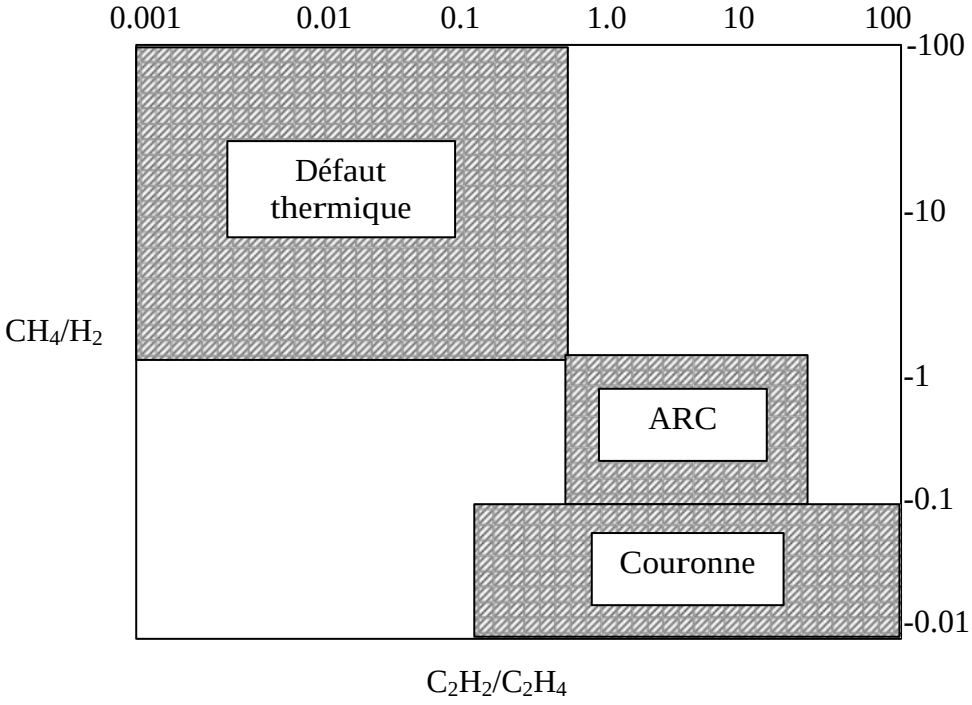


Fig I-3 : Diagramme De Doernenburg [Dig-04,Gua-01]

L'analyse des gaz par *Doernenburg* essaye d'identifier les anomalies suivants :

*Défaut thermique

*Décharge partielle

*Décharge par arc

L'utilisation de cette méthode conduit à plusieurs cas de non identification de défaut, ce qui rend cette méthode peu utilisée.

En outre, les tables de ratios n'offrent pas une transition claire du niveau de gaz dans des cas de frontière.

c) Triangle de Duval :

Un point faible des techniques de ratios est qu'elles ne couvrent pas toutes les gammes des données et négligent souvent les données qui sont des rapports en dehors des seuils

déterminées dans les tables. Duval a développé une représentation triangulaire pour dépasser ce problème.

De nombreux laboratoires utilisent cette méthode, elle consiste au calcul de pourcentages de concentrations en (ppm) des trois gaz (CH_4, C_2H_4 et C_2H_2) par rapport au total(CH_4+C_2H_4+C_2H_2).

Ces pourcentages (CH_4%, C_2H_4% et C_2H_2%) seront tracées dans un triangle divisé en régions indiquant le types de défaut .

a) Décharge par arc d'une grande énergie
b) Décharge par arc d'une faible énergie
c) Décharge partielle
d) Echauffement T < 200°C
e) Echauffement 200°C< T < 400°C
f) Echauffement T > 400°C

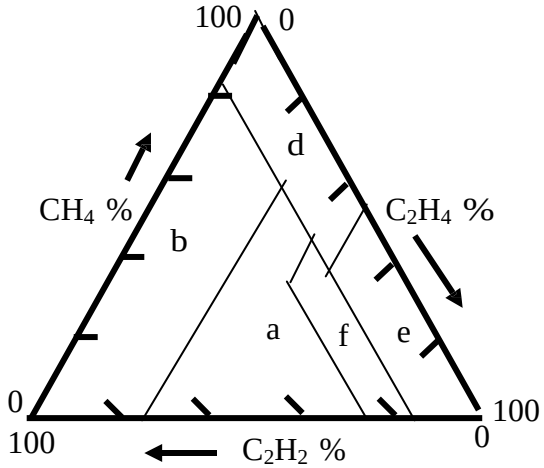


Fig I-3 : Triangle du Duval [Duv-89,Duv-02]

Par exemple : supposons qu'une analyse des gaz dissous dans l'huile d'un transformateur nous a donné les quantités suivantes :
CH_4 = 45 ppm , C_2H_4 = 90 , C_2H_2 = 15 ppm

Par l'utilisation du triangle du Duval
T= CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 = 150
Le pourcentage du concentration de chaque gaz par rapport au total est
CH_4: 100*CH_4/T = 100*45/150 = 30%
C_2H_4: 100*C_2H_4/T = 100*90/150 = 60%
C_2H_2: 100*C_2H_2/T = 100*15/150 = 10%

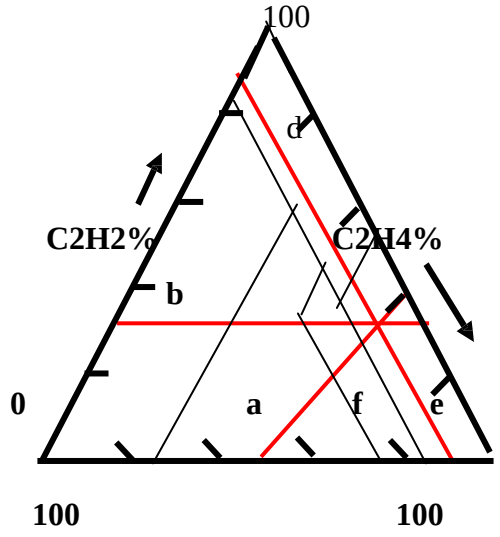


Fig I-4 : Exemple d'application de méthode de Duval

Le point d'intersection est dans la zone (e), ce qui correspond au défaut *Echauffement 200°C< T < 400°C.*

Un point faible dans ces méthodes (méthodes de gaz principaux et celles de ratios), c'est que aucune d'elles ne peut diagnostiquer la participation de cellulose dans les défauts d'où la méthode suivante **[Sam-00].**

d) Méthode TDCG :

Tous les gaz combustibles servent d'excellent indicateur de la détérioration d'isolation, la TDCG est définie comme la somme *Ctot* de concentrations de tous les gaz combustibles dans l'analyse de huile. C'est la somme des concentrations en partie par million (ppm), de l'hydrogène, du méthane, de l'éthane, de l'éthylène, de l'acétylène, et de l'oxyde et monoxyde de carbone dissous dans l'huile Le diagnostic est alors basé sur les gaz dissous prédominants et leurs proportions relatives à la totalité de gaz combustibles dissous (TDCG), et des ratios des taux de génération (ppm/jours)**.**

Par exemple, si le niveau absolu de TDCG est plus de 720 ppm et contient environ 63% d'éthylène, il y a alors une indication d'huile surchauffée. La surveillance étroite est conseillée si le taux de génération TDCG excède 10 ppm/jours.

I-5.Conclusion :

L'intérêt des informations que peut apporter l'analyse des gaz dissous dans l'huile des transformateurs est aujourd'hui parfaitement reconnu Il est alors possible en fonction des résultats d'analyse de gaz dissous dans l'huile, de diagnostiquer les types d'accidents ou de défauts qui ont lieu dans le transformateur et cela, si l'analyse a été effectuée à temps ou régulièrement, avant qu'une lésion grave ou irréversible ne se produise.

Dans le cas ou l'huile minérale a beaucoup dégradé, elle peut être retraitée, soit sur place, soit après arrêt et transport de l'appareil. Le traitement consiste généralement en un dégazage (pour éliminer les gaz et l'eau) et une filtration (élimination des particules solides), accompagnée éventuellement d'un passage sur terre absorbante (pour diminuer sa conductivité).

L'évaluation du comportement d'un appareil à l'huile isolante et la décision au sujet des actions à entreprendre devant les différents cas de défauts, sont toujours dans le champ des experts.

Chapitre II :
La Logique Floue

II.1 Introduction :

L'une des caractéristiques d'un expert humain, en traitant une question, est son jugement avec des données imprécises, inachevées et incertaines. Etudier un tel problème par des méthodes classiques exige la connaissance des différents paramètres qui peuvent influer sur celui-ci. Cette étude est souvent entachée d'erreurs et d'imprécisions qui accompagnent toute modélisation de processus. **[Sye-00]** Il est possible de résoudre ce problème en utilisant des méthodes dites robustes et la logique floue en est une. Son idée est de capturer l'imprécision de la pensée humaine et de l'exprimer avec des outils mathématiques appropriés. **[God-96]** La théorie des ensembles flous a donné naissance à un traitement original de l'incertitude, fondé sur l'idée d'ordre, et qui permet de formaliser le traitement de l'ignorance partielle et de l'inconsistance dans les systèmes d'informations. Son intérêt réside dans sa capacité de traiter l'imprécis, l'incertain et le vague. Elle est issue de la capacité de l'homme à décider et agir de façon pertinente malgré le flou des connaissances disponibles. Elle est appliquée dans les systèmes de réglage ainsi que dans les systèmes expert; dans les systèmes de décision et pour la reconnaissance de formes etc..**[Rob-97, Bel-01]**

Dans ce chapitres nous allons présenter la base historique et les éléments de bases de la logique floue, et nous allons terminer avec les propriétés des ensembles flous.

II.2 Historique :

Les racines de la logique floue se trouvent dans le principe d'incertitude d'Heisenberg **[God-96]**. Dans les années 20, les physiciens ont introduit la troisième valeur ½ dans le système logique bivalent [1,2], pourquoi ½ ? Parce que c'est la valeur de vérité de tous les paradoxes. La logique classique interdit tous les paradoxes par ses axiomes.

Au début des années 30, le logicien polonais Jean Lukasiewiez **[God-96]** développe le système logique avec trois valeurs puis l'a étendu à tous les nombres rationnels entre 0 et 1.

Dès 1937 le philosophe Max Black **[God-96, Rob-97]** présente la première fonction d'appartenance d'un ensemble floue, le concept de la logique floue fut réellement introduit en 1965 par *Lofti Zadeh*, **[Rob-97]** un professeur d'électronique à l'université de Berkeley (USA). Il a publié son article dans lequel il a développé la théorie des ensembles flous et introduit le terme fuzzy dans la littérature technique. Les premières investigations de Zadeh étaient

l'utilisation de la logique floue pour représenter le langage naturel. Il a été le premier à formaliser les règles floues et à suggérer une approche «système-expert » au réglage automatique, où les règles de commande sont remplacées par des règles floues.

Sa "Fuzzy Set Theory" n'eut pas un succès immédiat. Elle fut développée surtout en Europe. Les premiers résultats en commande floue ont été publiés par Mamdani et Assilien en 1975**[God-96]**, ce qui a encouragé différentes activités en Angleterre, au Danemark et en France.

Après 1980, **[God-96-Rob-97]** sont freinés par la réticence à appréhender à un nouveau concept et par des difficultés de réalisation pratique, les recherches s'arrêtent en Europe, mais le Japon, poussé par une pénurie de programmeurs qui ont été à la recherche de méthodes pouvant réduire les coûts de développement des logiciels, ont relancé réellement la logique floue en 1990 avec le développement de produits et systèmes utilisant cette technique

Aujourd'hui, la logique floue est arrivée à maturité et est utilisée dans de nombreux produits "grand public" notamment au Japon. **[Rob-97]** Sa mise en oeuvre est maintenant facilitée par la disponibilité de microprocesseurs dédiés et d'outils puissants de développement. Elle suscite actuellement un intérêt général auprès des chercheurs et des industriels, et plus généralement auprès de tous ceux qui éprouvent le besoin de formaliser des méthodes empiriques, de généraliser des modes de raisonnement naturel, d'automatiser la prise de décision dans leur domaine, de construire des systèmes artificiels effectuant des taches habituellement prises en charge par les humains. **[Rob-97, God-96, Bel-01].**

II.3 Structure Générale d'un système flou :

Chaque système basé sur la logique floue est composé de quatre blocs principaux

- Base de connaissances (règles et paramètres des fonctions d'appartenance)
- Base de règles ou le moteur d'inférence (inférence des opérations sur les règles)
- Fuzzification (transformation des entrées précises en degrés d'appartenance)
- Defuzzification (transformation des résultats flous en sorties précises)

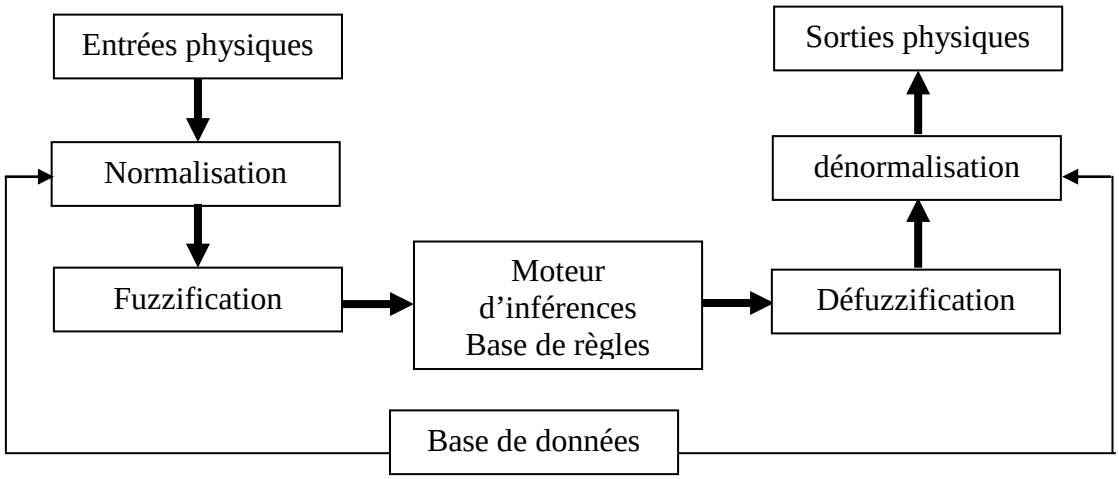


Fig.II.1 : Schéma général d'un système flou **[Zid-04]**

II.3.1 Base de connaissances :

Elle comprend une connaissance ou une expertise. Elle est composée de :

- Une base de données qui fournit les définitions des concepts nécessaires utilisées pour définir les règles du contrôle linguistique et la manipulation des données floues dans le régulateur. Ces concepts sont subjectivement définis et basés sur l'expérience et le jugement de l'expert.
- Une base de règles qui est l'ensemble d'expressions linguistiques basé sur la connaissance d'un expert ou bien la logique de fonctionnement du processus. Cette connaissance et d'habitude formulée sous forme de règles « SI-ALORS ». chacune de ces règles est composée d'une ou plusieurs permises reliées entre elles généralement par l'opérateur flou « ET » ou « OU » ; et une conclusion précède l'opérateur « ALORS ». l'ensemble des règles floues sont reliées entre elles généralement par l'opérateur flou « ». **[Bel-01]**

II.3-2 Univers de discours :

Un des premiers pas dans la conception d'une application floue est de définir l'ensemble de référence ou univers du discours pour chaque variable linguistique. Pour ces variables x on définit un ensemble i sur un univers de discours X par une fonction « degré d'appartenance »**[God-96, Bel-01]**

Par exemple : $\mu : X \rightarrow [0,100]$

$x \rightarrow \mu_i(x)$

l'univers de discours est l'ensemble des valeurs réelles que peut prendre la variable floue x et $\mu_i(x)$ est le degré d'appartenance de l'élément x à l'ensemble floue i.

Dans notre exemple la variable floue est la concentration de H_2 , l'univers de discours est l'ensemble d'intervalle [0 100%]. On a attribué a cette variable trois sous ensembles floues petite, moyenne, et grande.

$$\mu_{petite}(H_2\%) ; \ \mu_{moyen}(H_2\%); \mu_{grande}(H_2\%)$$

On peut définir par exemple la fonction d'appartenance μ_{moyen} (H_2) sur tout l'univers de discours :

$$\mu_{moyen}(H_2) = \begin{cases} \dfrac{H_2 - 40}{20} & H_2 \in [40\%,60\%] \\ \dfrac{-H_2 + 20}{40} & H_2 \in [60\%,80\%] \\ 0 & ailleur \end{cases}$$

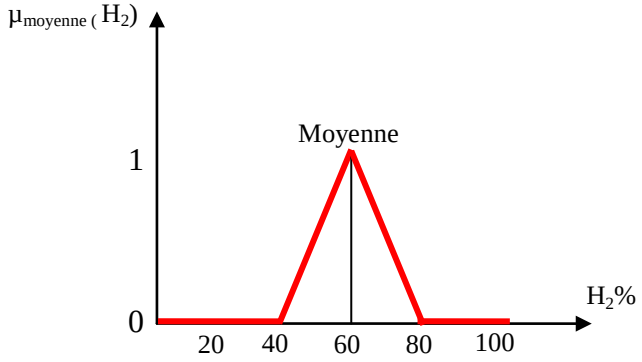


Fig.II.2 : Degré d'appartenance à l'ensemble moyen de la variable linguistique hydrogène

II.4 Procédure de raisonnement flou :

II.4-1 Conception d'un système flou :

La conception d'un système flou commence par le choix des variables linguistiques qui déterminent son état, puis des règles linguistiques qui établissent les relations d'inférence entre ces variables. En général, les règles sont proposées par un expert. On partitionne ensuite le domaine de chaque variable linguistique en un ensemble de fonctions d'appartenance, qui

expriment les valeurs de façon approximative : petit, moyen ; grand ; énorme par exemple.**[God-96]**

Les notions de valeurs « moyen » ou « faible » par exemple, sont relativement difficile a spécifier de manière précise. On peut fixer des seuils et considérer que l'on attribue tel ou tel qualitatif en fonction de la valeur de la variable par rapport à ces seuils.

On peut définir le degré d'appartenance de la variable A par exemple à l'ensemble «faible» comme le degré de vérité de la proposition « A est faible »
En logique booléenne, le degré d'appartenance μ ne peut prendre que deux valeurs (0 ou 1). La valeur A peut être :

$$Faible : \mu_{faible}(A) = 1 ; \mu_{moyen}(A) = 0 ; \mu_{élevé}(A) = 0$$
$$Moyen : \mu_{faible}(A) = 0 ; \mu_{moyen}(A) = 1 ; \mu_{élevé}(A) = 0$$
$$Elevé : \mu_{faible}(A) = 0 ; \mu_{moyen}(A) = 0 ; \mu_{élevé}(A) = 1$$

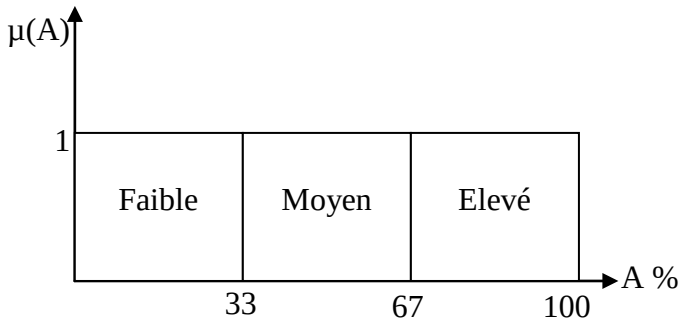


Fig.II.3 Degré d'appartenance aux ensembles considérés en logique booléenne

Il ne peut pas prendre deux quantitatifs à la fois : **[Buh-94, Bag-99, Rob-97]**
En logique floue, le degré d'appartenance devient une fonction qui peut prendre une valeur réelle comprise entre 0 et 1 inclus, c'est la fuzzification.

II.4-2 Fuzzification :

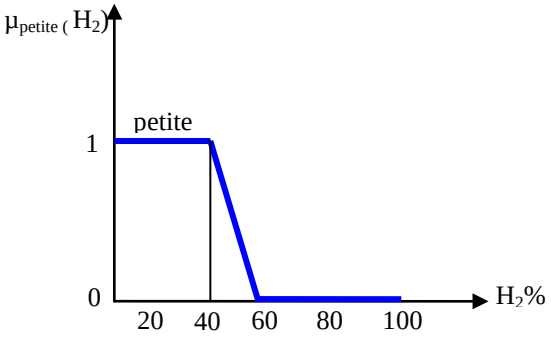
La fuzzification des variables d'entrée est une phase délicate du processus mis en oeuvre par la logique floue. Elle est souvent réalisée de manière itérative et requiert de l'expérience.
La fuzzification comprend

- Les mesures des variables d'entrées

- La conversion analogique digitale A/D (numérique/symbolique N/S) ainsi que le traitement des grandeurs mesurées
- L'attribution d'un ensemble de degrés d'appartenance à chaque valeur d'entrée.

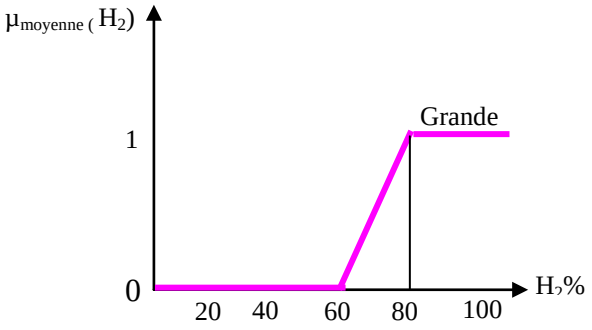
La fuzzification assure ainsi le passage des grandeurs physiques aux variables linguistiques (variables floues) qui peuvent être alors traitées par les inférences. Elle comprend essentiellement le choix de l'univers de discours de chaque variable et de ses ensembles flous. En pratiques, les valeurs des variables d'entrées sont en général obtenus à l'aide de divers capteurs, organes de mesures, ou grâce à l'avis de différents opérateurs qui sont le plus souvent de type analogique (Etant donné que l'implémentation du régulateur flou se fait presque toujours de manière digitale, il faut d'abord prévoir une conversion analogique/digitale). Lors de l'implantation de cette conversion, il faut introduire des facteurs d'adaptation qui tiennent compte du format choisi sur les grandeurs converties. Cette conversion est liée d'une part à une quantification des signaux, à cause de la longueur finie des grandeurs digitales, et d'autre part à un échantillonnage, à cause du fonctionnement discontinu de la conversion A/D et du traitement d'inférence.

L'attribution de degrés d'appartenance à chaque valeur d'entrée est un passage des grandeurs physiques aux variables linguistiques. Les variables linguistiques sont définies par leurs valeurs linguistiques. **[God-96]**



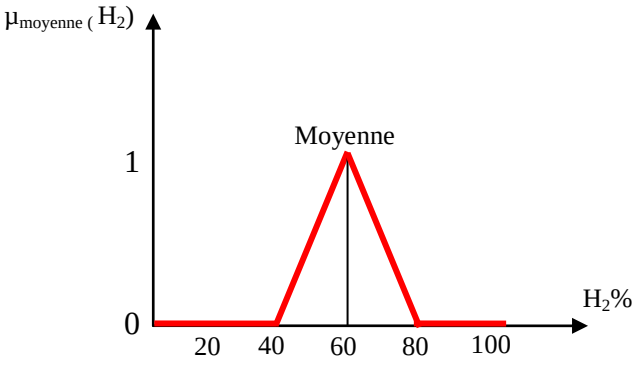
Prenant l'exemple d'une valeur A = concentration en H_2

La concentration est petite au dessous de 40%.
A 50 %, elle n'est "qu'à moitié" petite.
Il ne l'est plus du tout au delà de 60%.



La concentration est grande au dessus de 80%.
A 70 %, elle n'est "qu'à moitié" grande.
Il ne l'est plus du tout au dessous de 60 %.

La concentration est tout à fait moyenne à 60%
En dessous de 40%, elle n'est pas assez grande pour être moyenne



Au delà de 80%, elle ne l'est plus non plus.

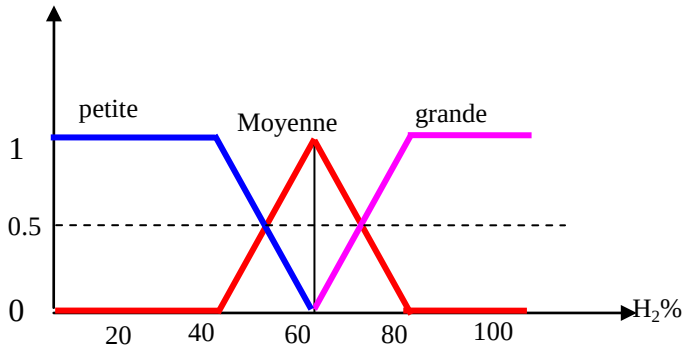


Fig.II.3 Exemple de fonction d'appartenance de H_2%

II-4-2-1. Les différentes formes des fonctions d'appartenance

Il n' y a pas de règles précises pour la définition de fonctions d'appartenance. On peut introduire pour une variable x trois, cinq ou sept valeurs linguistiques. Ce nombre dépend de la résolution du réglage désiré. **[God-96]** La désignation standard des ensembles flous est par exemple :

NG Négatif Grand

NM Négatif Moyen

NP Négatif Petit

EZ Environ Zéro (ou ZR Zéro)

PP Positif Petit

PM Positif Moyen

PG Positif Grand

Un nombre de valeurs linguistiques supérieur à sept n'apporte en général aucune amélioration au comportement dynamique du réglage. Par contre, un tel choix compliquerait la formulation

des règles d'inférences. Les fonctions d'appartenance peuvent être symétriques, régulièrement distribuées ou avoir une distribution non uniforme. Il est important d'éviter le vide (lacunes) ou grand chevauchement de deux ensembles voisins. Ceci provoque des zones de non-intervention du réglage (zones mortes), ce qui conduit à une instabilité du sortie. De même, il faut éviter un chevauchement trop important car il conduit à un aplatissement des caractéristiques de l'application. **[God-96]**

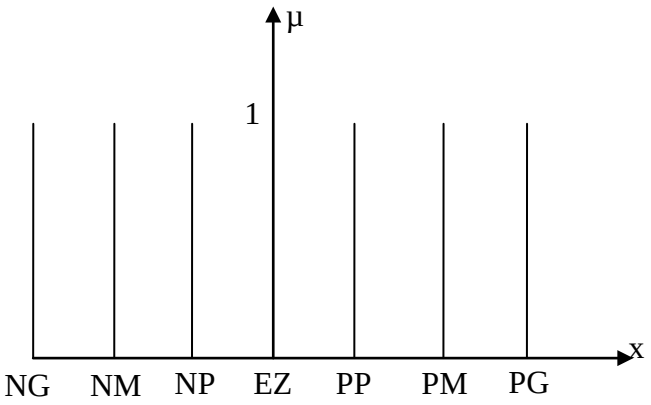


Fig.II.4 Sous ensembles flous de Sugeno

Il ne faut pas oublier qu'il est indispensable de créer les fonctions d'appartenance pour les variables de sortie. D'habitude, on les crée de la même manière que les fonction des entrées, c'est à dire en forme de triangle, de trapèze ou de cloche. Il est aussi possible de créer les sous-ensembles comme ceux de la de la figure II.4 qui désignent des valeurs précises. Ces sous ensembles sont connus dans la littérature comme les ensembles de Segeno**[God-96]**

On peut utiliser ce type de fonction où on a des sorties précises (qui prend des valeurs binaires) qu'on ne peut pas les mettre sous des ensembles flous.

Le choix correct des fonctions d'appartenance d'un ensemble de termes joue un rôle essentiel dans la réussite d'une application. En ce qui concerne l'univers de discours, on peut ramener les grandeurs d'entrées dans l'intervalle [-1 +1], on parle donc d'une normalisation de l'univers de discours. Ainsi, la normalisation d'un univers de discours nécessite une connaissance antérieure de l'espace d'entrées/sorties. **[Rob-97]**

Le plus souvent, on utilise pour les fonctions d'appartenances des formes trapézoïdales ou triangulaires. Ils s'agit des formes les plus simples, composées par morceaux de droites. Dans la plupart des cas, ces deux formes sont suffisantes pour délimiter des ensembles flous.



(a) (b) (c)

Figure II.5:a) Fonctions d'appartenance de forme trapézoïdale ; **b)** Fonctions d'appartenance de forme triangulaire; **c)** Fonctions d'appartenance de forme de cloche **[Rob-97]**

II.4.3 Inférences floues

Les inférences lient les grandeurs mesurées et les variables de sortie par des règles linguistiques. Ces règles sont combinées en utilisant les connections ***et*** et ***ou*.**

Les règles d'inférences peuvent être décrites de plusieurs façons. Linguistiquement, on écrit les règles de façon explicite comme dans l'exemple suivant :

- *Si (l' hydrogène augmente) avec (l'augmentation de l'acétylène) ALORS on a une décharge par Arc.*

Symboliquement, il s'agit au fait d'une description linguistique où l'on remplace la désignation des ensembles flous par des abréviations. Dans ce cas nous allons considérer par exemple un système flou avec n règles linguistiques

Si $x = A_1$ *et* $y = B_1$ *alors* $z = C_1$

Si $x = A_2$ *et* $y = B_2$ *alors* $z = C_2$

Si $x = A_n$ *et* $y = B_n$ *alors* $z = C_n$

ou x, y et z sont des variables linguistiques qui représentent les variables d'état du processus et la variable A_i, B_i et C_i (i=1,n) sont les sous ensembles flous définis dans les ensembles de références pour x, y , z respectivement. **[God-96]**

On peut former une matrice d'inférence qui rassemble toutes les règles d'inférences sous forme de tableau (Tab.II.1). Dans le cas d'un tableau à deux dimensions, les deux entrées du tableau représentent les ensembles flous des variables d'entrées. L'intersection d'une colonne et d'une ligne donne l'ensemble flou de la variable de sortie définie par la règle. Il y a autant de cases que de règles

x	y				
	NG	NP	Z	PP	PG
NG	NG		PG		
NP		NG	PP		
Z			Z		
PP			PG	PG	
PG			NG		PG

Tab. II.1 Exemple d'un tableau d'inférence

NG Négatif Grand

NP Négatif Petit

Z Zéro

PP Positif Petit

PG Positif Grand

Dans un espace d'entrées/sorties, le cardinal d'un ensemble de termes détermine le nombre maximum de règles de l'application par logique floue qu'on peut construire. Dans le cas d'un système à deux entrées et une seule sortie, si les cardinaux de ses entrées sont respectivement n et m, alors le nombre de règles maximum est n x m. **[God-96, Rob-97]**

II.4.3.1 Opérateurs de la logique floue :

Puisque les fonctions caractéristiques des ensembles flous sont graduelles, l'extension de certains opérateurs définis sur les ensembles de la logique classique aux cas des ensembles flous pose certaines difficultés. Donc, il n'est pas possible d'appliquer directement la logique booléenne qui manipule des ensembles à fonctions caractéristiques binaires (0 ou 1). Pour pallier à ce problème, sont introduites quelques définitions d'outils nécessaires au traitement des ensembles flous.**[Rob-97].**

Il existe plusieurs lois de composition, mais la plus couramment utilisés est la suivante :

• Quand des conditions sont liées par une **logique "ou"**, on considère le degré d'appartenance **maximum** parmi les conditions d'entrée.

• Quand des conditions sont liées par une **logique "et**", on considère le degré d'appartenance **minimum** parmi les conditions d'entrée.

Alors les opérateurs flous « OU » , « ET » et « ALORS » appliqués aux deux ensembles flous sont définis à l'aide de leurs fonctions d'appartenance de la manière suivante : **[Ahm-04]**

- Opérateur ET : il est réalisé par plusieurs méthodes. On se limite à celle du produit des deux degrés d'appartenance $\mu(x_1)$ et $\mu(x_2)$ des deux ensembles flous en question soit :

$$\mu(x_1, x_2) = \mu(x_1).\ \mu(x_2)\ldots\ldots(II\text{-}1)$$

- Opérateur OU : La réalisation de cet opérateur se fait par exemple par la formation de la moyenne arithmétique des deux degrés d'appartenance $\mu_{1i}(x_1)$ et $\mu_{2j}(x_2)$ des deux ensembles flous i et j de x_1 et x_2 respectivement, c'est-à-dire :

$$\mu(x_1, x_2) = [\mu(x_1)+ \mu(x_2)]/2\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(III\text{-}2)$$

- Opérateur ALORS : Elle permet d'évaluer le degré de vérité des propositions floues, elle est réalisée par plusieurs méthodes telles que le produit des deux fonctions

- d'appartenance $\mu_{1i}(x_1)$, et $\mu_{2j}(x_2)$ des deux ensembles flous i et j de x_1 et x_2 respectivement, c'est-à-dire :

$$\mu(x_1, x_2) = \mu(x_1).\ \mu(x_2)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots..(III\text{-}3)$$

Les opérations **minimum** et **maximum** présentent l'avantage de la simplicité lors du calcul, par contre, elles privilégient l'une des deux variables. Les opérations de produit et valeurs moyenne sont plus complexes à calculer mais elles produisent un résultat qui tient compte des valeurs des deux variables.

II.4.3.2 Méthodes d'inférences floues :

Il existe plusieurs possibilités pour réaliser les opérateurs qui s'appliquent aux fonctions d'appartenances. On introduit la notion de méthode d'inférence, qui dépend des relations utilisées pour réaliser les différents opérateurs dans une inférence, permettant ainsi un

traitement numérique de cette dernière. On cite les trois méthodes d'inférences les plus usuelles : Max-Min, Max-Produit et Somme Produit et on se limite à définir cette dernière qui est la plus utilisée.**[God-96]**

-Méthode de somme produit :

La méthode d'inférence somme-produit réalise, au niveau de la condition, l'opérateur « ou » par la formation de la somme, plus précisément par la valeur moyenne, tandis que l'opérateur « ET » est réalisé par la formation du produit.

La conclusion de chaque règle, précédée par « ALORS », liant le facteur d'appartenance de la condition avec la fonction d'appartenance de la variable de sortie par l'opérateur « ET », est réalisée par la formation du produit. L'opérateur « ou » qui lie les différentes règles est réalisé de nouveau par la formation de la moyenne arithmétique. Pour mieux comprendre on va traiter l'exemple suivant **[Buh-94, Ahm-04,Bag-99].**

Soit les deux entrées x et y: x=0.44, y=-0.67

Si x est positif grand (PG) et y et environ zéro (EZ) alors z est EZ

Si x est EZ ou y et négatif grand (NG) alors z est NG

Avec les valeurs d'appartenance μ_{PG} (x=0.44)=0.67, μ_{EZ} (y=-0.67)=0.2

μ_{EZ} (x=0.44)=0.33, μ_{NG} (y=-0.67)=0.67

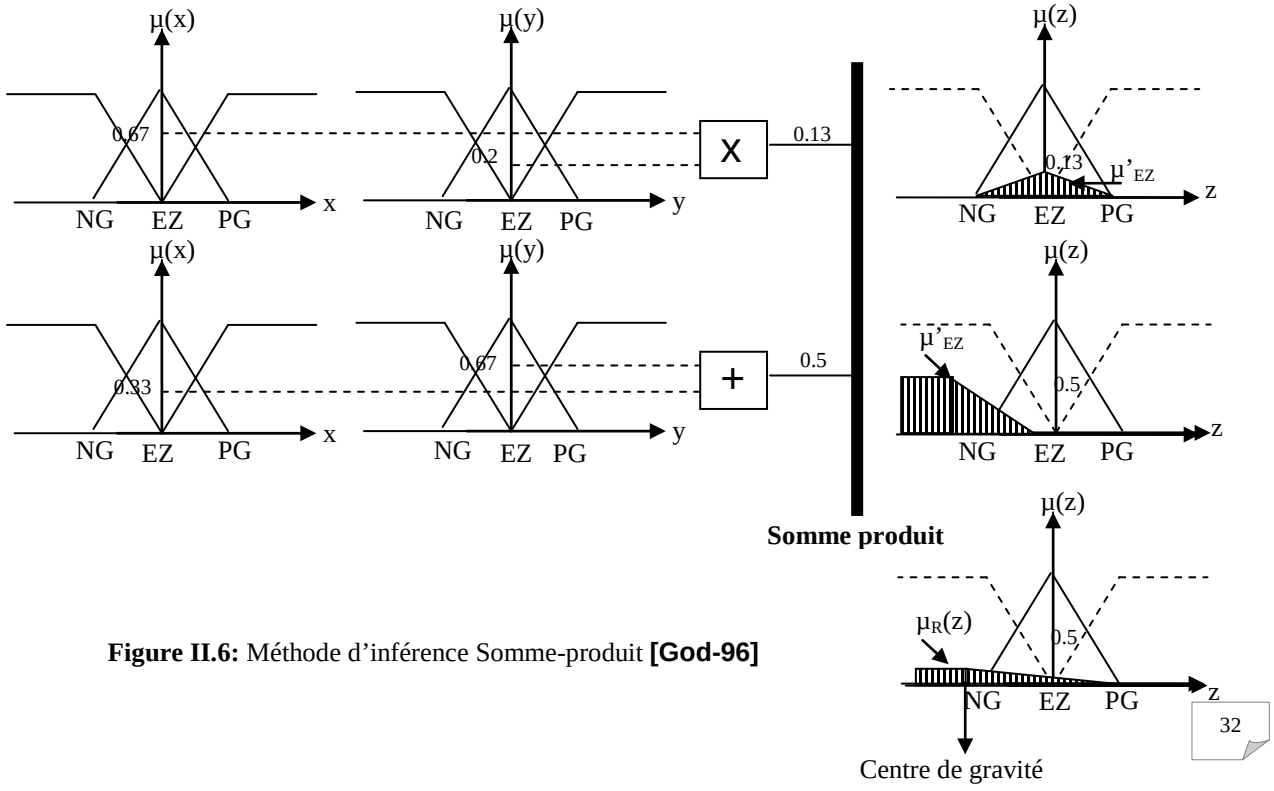


Figure II.6: Méthode d'inférence Somme-produit **[God-96]**

La méthode d'inférence max-min :

L'implication floue et l'opérateur ET sont réalisés par la fonction minimum et l'opérateur logique OU est réalisé par la fonction maximum. Elle présente l'inconvénient de nécessiter un temps de calcul trop élevé qui la rend inutilisable pour les applications en temps réel.
Cette méthode est également dite "implication de Mamdani". La fonction d'appartenance résultante correspond au maximum des deux fonctions d'appartenance partielles puisque les règles sont liées par l'opérateur OU.

2.4.6.4.2. La méthode d'inférence max-prod :

La seule différence avec la méthode précédente est la réalisation de l'implication floue, le produit est utilisé. Les opérateurs logiques ET et OU sont toujours réalisés respectivement par les fonctions minimum et maximum. La méthode max-prod est également dite implication de Larsen
La première règles d''inférence se réalise par le produit de deux fonctions d'appartenance $\mu(x)$ et $\mu(y)$, ce produit nous donne 0.13. Tandis que la deuxième règles sera réalisée par la moyenne arithmétique des deux fonctions d'appartenance $\mu(x)$ et $\mu(y)$ ce qui nous donne 0.5.
La fonction d'appartenance résultante $\mu_R(z)$ s'obtient par la formation de la valeur moyenne de den fonctions d'appartenance de sorties partielles

II.4.4. Defuzzification :

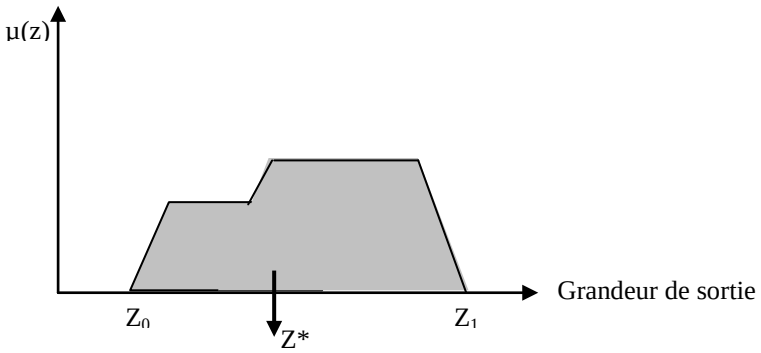
Comme on l'a vu, les méthodes d'inférences fournissent une fonction d'appartenance résultante $\mu(z)$ pour la variable de sortie z. Il s'agit donc d'une information floue, il convient de la transformer en une grandeur précise.
La transformation d'une information floue en une information déterminée est la défuzzification (concrétisation). Pendant cette étape se fait la déduction de la grandeur de sortie numérique à partir de l'inférence floue. Il s'agit de calculer à partir des degrés d'appartenance à tous les ensembles flous des variables d'entrées et des ensembles flous de la variable de sortie, une valeur numérique de la variable de sortie en utilisant un ensemble de règles. Parmi les stratégies de défuzzification, nous citons la méthode de centre de gravité, la méthode de valeur maximale et la méthode de moyenne pondérée. **[Buh-94]**
Technique du maximum est la plus simple, elle consiste à ne considérer, pour chaque sortie, que la règle présentant le maximum de validité, c-à-d que la valeur de sortie est définie par la valeur maximale des variables floues de sortie.

Cette méthode est simple à appliquer mais, étant basée sur l'opérateur **maximum**, elle privilégie une seule règle parmi celles présentes, et ignore les règles secondaires qui peuvent néanmoins être importantes pour le fonctionnement et la stabilité du système. Elle est peu employée.**[God-96, Buh-94]**

Technique de la moyenne pondérée est plus évoluée. Elle considère, comme valeur de sortie, la moyenne des valeurs préconisées par chaque règle, pondérées par leurs degrés respectifs de validité. **[God-96]**

Technique du centre de gravité est plus performante : il s'agit de calculer le centre de gravité de la fonction d'appartenance de la variable de sortie.

Le calcul du centre de gravité permet bien d'obtenir une seule valeur pour la grandeur de sortie. Son calcul est cependant relativement complexe puisqu'il nécessite le calcul d'une intégrale, ou dans le cas simple de fonctions d'appartenance en raies, d'une somme pondérée.**[Buh-94]**



F**ig. II.7**: Défuzzification par centre de gravité

L'abscisse de centre de gravité Z* peut être déterminé à l'aide de la relation générale:

$$z^* = \frac{\int_{Z_0}^{Z_1} z\mu(z)dz}{\int_{Z_0}^{Z_1} \mu(z)dz}$$

L'intégrale au dénominateur donne la surface, tandis que l'intégrale au numérateur correspond au moment de la surface.**[Bel-01]**

Dans le cas d'un univers de discours discret, cette méthode donne :

$$z^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu(z_i).z_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu(z_i)}$$

Avec :

n : nombre des niveaux de quantification.

Z_i : la valeur de la sortie pour le niveau i. **[Zid-04]**

II.5 Conclusion

Sans grand risque de se tromper on peut affirmer que la logique floue va prendre de plus en plus de place dans plusieurs applications. Cette affirmation est motivée par le fait que ce principe ne nécessite pas de modèle du système à étudier et qu'il utilise les connaissances de l'opérateur (expert).

La logique floue s'avère donc plus efficace que les méthodes traditionnelles dans les cas suivants :

* Pour les systèmes complexes dans lesquels la modélisation est difficile, voire impossible,
* Pour les systèmes contrôlés par des experts humains,
* Pour les systèmes ayant de nombreuses entrées/sorties continues ou discontinues et des réponses non linéaires,
* Quand l'observation humaine est à l'origine d'entrées ou de règles de contrôle du système,
* Dans tous les domaines où un "flou" persiste, notamment dans le domaine de l'économie, des sciences naturelles et des sciences humaines **[Rob-97]**

par contre, elle présente quelques inconvenent :

*Possibilité d'apparition de règles d'inférence contradictoires.

*Précision en générale peu élevée

*Approche artisanale et non systématique (il est souvent difficile d'implanter les connaissances de l'opérateur) **[Rob-97]**

Chapitre III :

Application de la Logique Floue au diagnostic par analyse des Gaz Dissous

III-1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons discuter à deux parties :

La première concerne les résultats d'interprétation des gaz dissous dans les huiles de transformateurs. Cette interprétation est basée sur les méthodes traditionnelles, telles que la méthode de Rogers, la méthode CEI et la méthode ECRA qui utilisent les quantités des gaz dissous pour le diagnostic du type de défaut .

La deuxième partie consiste à utilise la logique floue en se basent sur les méthodes (CEI et ECRA), en développent un programme pour le diagnostique du défaut, et enfin faire une comparaison entre ces méthodes.

La base de données utilisé est d'un ensemble de quantité de gaz mesuré sur 40 échantillons d'huile de transformateur BORAK 22 utilisé par SONELGAZ.(Tableau III-1).

Echantillon	**H_2**	**CH_4**	**C_2H_6**	**C_2H_4**	**C_2H_2**
1	4.05	22.0	18.99	100.00	7.59
2	81.22	18.5	1.50	24.88	100.00
3	100.00	17.9	7.08	22.17	36.79
4	8.75	52.7	11.62	100.00	1.95
5	13.20	51.0	14.39	100.00	4.77
6	1.15	47.0	19.70	100.00	0.43
7	19.05	58.8	13.43	100.00	2.11
8	24.32	34.7	9.98	100.00	1.46
9	11.03	29.7	11.59	100.00	1.29
10	91.10	26.9	4.08	44.20	100.00
11	15.35	36.7	13.95	100.00	2.33
12	13.36	32.0	14.92	100.00	2.00
13	100.00	7.45	5.92	1.22	0.00
14	100.00	32.4	7.97	14.93	17.04
15	100.00	81.2	20.63	60.00	0.00
16	69	100	15.6	10.7	0
17	30.00	100.0	46.67	70.00	0.22
18	22.45	34.6	4.29	100.00	1.43
19	7.52	4.08	1.57	13.48	100
20	30.86	67.7	38.05	100	0.12
21	100	6.25	1.88	0.63	0.63
22	72.89	31.2	2.72	50.41	100.00
23	45.12	57.9	26.83	100	0
24	59.38	68.7	100.00	31.25	0.00
25	100.00	14.1	26.67	19.17	3.33
26	61.22	100.0	36.73	73.47	19.39
27	27.03	94.5	33.78	100.00	0.14
28	100.00	12.0	0.40	0.40	0.40
29	100	81.2	20.625	60	0
30	100	24	7	58.5	65.5

../..

31	24.17	79.5	21.93	100.00	0.28
32	30.30	12.1	9.09	100.00	18.18
33	15.17	39.0	14.71	100.00	3.41
34	15.73	100.0	14.71	82.69	0.20
35	19.10	100.0	33.16	66.58	0.13
36	29.34	82.6	24.45	100.00	0.49
37	100.00	8.15	5.23	3.08	0.00
38	0.00	100.0	52.07	89.17	0.00
39	25.00	76.2	19.66	100.00	0.85
40	100.00	5.94	2.17	3.00	0.00

Tableau III-1 : Les échantillons utilisés d'huile

III-2.Interprétation en utilisant les méthodes traditionnelles :

III-2-1.Méthode Rogers :

Les quatre rapports utilisés par Rogers sont calculés et donnés par le tableau suivant :

Echantillon	$\frac{CH4}{H2}$	$\frac{C2H6}{CH4}$	$\frac{C2H4}{C2H6}$	$\frac{C2H2}{C2H4}$
1	5,44	0,86	5,26593	0,0759
2	0,229	0,08	16,5867	4,019293
3	0,179	0,4	3,13136	1,65945
4	6,033	0,22	8,60585	0,0195
5	3,868	0,28	6,94927	0,0477
6	40,9	0,42	5,07614	0,0043
7	3,09	0,23	7,44602	0,0211
8	1,428	0,29	10,02	0,0146
9	2,694	0,39	8,62813	0,0129
10	0,296	0,15	10,8333	2,262443
11	2,393	0,38	7,16846	0,0233
12	2,4	0,47	6,70241	0,02
13	0,075	0,79	0,20608	0
14	0,325	0,25	1,87327	1,141326
15	0,813	0,25	2,90839	0
16	1,449	0.156	0.683	0
17	3,333	0,47	1,49989	0,003143
18	1,545	0,12	23,31	0,0143
19	0,543	0,38	8,58599	7,418398
20	2,195	0,56	2,62812	0,0012
21	0,063	0,3	0,33511	1
22	0,429	0,09	18,5331	1,983733
23	1,284	0,46	3,72717	0
24	1,158	1,45	0,3125	0
25	0,142	1,88	0,71879	0,173709
26	1,633	0,37	2,00027	0,263917
27	3,499	0,36	2,96033	0,0014

../..

28	0,12	0,03	1	1
29	0,813	0,25	2,90909	0
30	0,24	0,29	8,35714	1,119658
31	3,293	0,28	4,55996	0,0028
32	0,4	0,75	11,0011	0,1818
33	2,572	0,38	6,7981	0,0341
34	6,357	0,15	5,62135	0,002419
35	5,236	0,33	2,00784	0,001953
36	2,817	0,3	4,08998	0,0049
37	0,082	0,64	0,58891	0
38	434000	0,52	1,7125	0
39	3,051	0,26	5,08647	0,0085
40	0,059	0,37	1,38249	0

Tableau III-2: rapport de gaz d'après rogers.

Les codes correspondants à ces rapports ainsi que les types de défauts correspondants d'après Rogers sont donnés par le tableau suivant :

Echantillon	**Code 1**	**Code 2**	**Code 3**	**Code 4**	**Type de défaut**
1	2	0	2	0	Echauffement
2	0	0	2	2	étincellement puissant
3	0	0	2	1	décharge par ARC
4	2	0	2	0	Echauffement
5	2	0	2	0	Echauffement
6	1	0	2	0	circulation du courant dans le noyau et le réservoir
7	2	0	2	0	Echauffement
8	1	0	2	0	circulation du courant dans le noyau et le réservoir
9	1	0	2	0	circulation du courant dans le noyau et le réservoir
10	0	0	2	1	décharge par ARC
11	1	0	2	0	circulation du courant dans le noyau et le réservoir
12	1	0	2	0	circulation du courant dans le noyau et le réservoir
13	5	0	0	0	décharge partielle d'une faible énergie
14	0	0	1	1	décharge par ARC
15	0	0	1	0	surchauffement au conducteur
16	1	0	0	0	surchauffement <150°C
17	2	0	1	0	Echauffement
18	1	0	2	0	circulation du courant dans le noyau et le réservoir
19	0	0	2	2	décharge par ARC
20	2	0	1	0	Echauffement
21	5	0	0	1	décharge partielle d'une grande énergie
22	0	0	2	1	décharge par ARC
23	1	0	2	0	circulation du courant dans le noyau et le réservoir

../..

24	1	1	0	0	surchauffement 150-200°c
25	0	1	0	0	surchauffement 200-300°c
26	1	0	1	0	circulation du courant dans les enroulements
27	2	0	1	0	Echauffement
28	0	0	1	1	décharge par ARC
29	0	0	1	0	surchauffement au conducteur
30	0	0	2	1	décharge par ARC
31	2	0	2	0	Echauffement
32	0	0	2	0	décharge par ARC
33	1	0	2	0	circulation du courant dans le noyau et le réservoir
34	2	0	2	0	Echauffement
35	2	0	1	0	Echauffement
36	1	0	2	0	Echauffement
37	5	0	0	0	décharge partielle d'une faible énergie
38	2	0	1	0	Echauffement
39	2	0	2	0	Echauffement
40	5	0	1	0	Echauffement

Tableau III-3 : La représentation des codes et les défauts correspondents d'après Rogers.

D'après le tableau III-3, on voit clairement que 19 échenillions des 40 étudie des défauts sont présentent des défauts d'échauffement, soit 47.5%.

L'effet de la température est considéré comme le facteur le plus important qui agit sur la dégradation de l'isolation électrique, et particulièrement sur les huiles minérales isolants

III-2-2.Méthode CEI :

Les trois rapports (CH_4/H_2, C_2H_4/C_2H_6, C_2H_2/C_2H_4) utilisés par le méthode CEI sont calculés et donnés par le tableau suivant :

Echantillon	$\frac{C2H2}{C2H4}$	$\frac{CH4}{H2}$	$\frac{C2H4}{C2H6}$
1	0,0759	5,4395	5,2659294
2	4,019292	0,2288	16,586667
3	1,659449	0,1792	3,1313559
4	0,0195	6,0331	8,605852
5	0,0477	3,8682	6,9492703
6	0,0043	40,904	5,0761421
7	0,0211	3,0898	7,4460164
8	0,0146	1,4276	10,02004
9	0,0129	2,6936	8,6281277
10	2,262443	0,2963	10,833333
11	0,0233	2,3935	7,1684588

../..

12	0,02	2,4004	6,7024129
13	0	0,0745	0,2060811
14	1,141326	0,3246	1,8732748
15	0	0,8125	2,9083858
16	0	1,4493	0.68
17	0,003142	3,3333	1,4998929
18	0,0143	1,5452	23,310023
19	7,418397	0,5426	8,5859873
20	0,0012	2,1954	2,6281209
21	1	0,0625	0,3351064
22	1,983733	0,4291	18,533088
23	0	1,2839	3,7271711
24	0	1,1578	0,3125
25	0,173708	0,1417	0,7187852
26	0,263917	1,6335	2,0002723
27	0,0014	3,4994	2,9603316
28	1	0,12	1
29	0	0,8125	2,9090909
30	1,119658	0,24	8,3571429
31	0,0028	3,2925	4,5599635
32	0,1818	0,4	11,0011
33	0,0341	2,5715	6,7980965
34	0,002418	6,3573	5,621346
35	0,001952	5,2356	2,0078408
36	0,0049	2,8166	4,0899796
37	0	0,0815	0,5889101
38	0	434000	1,7125024
39	0,0085	3,0512	5,08647
40	0	0,0594	1,3824885

Tableau III-4 : Rapports de gaz d'après le CEI

Les codes correspondants à ces rapports ainsi que les types de défauts correspondants d'après CEI sont donnés par le tableau suivant :

Echantillon	**Code 0**	**Code 1**	**Code 2**	**Type de défaut**
1	0	2	2	sur t>700°C
2	2	0	2	Décharge électrique avec faible énergie
3	1	0	2	Décharge électrique avec faible énergie
4	0	2	2	sur t>700°C
5	0	2	2	sur t>700°C
6	0	2	2	sur t>700°C

../..

7	0	2	2	sur t>700°C
8	0	2	2	sur t>700°C
9	0	2	2	sur t>700°C
10	1	0	2	Décharge électrique avec grande énergie
11	0	2	2	sur t>700°C
12	0	2	2	sur t>700°C
13	0	1	0	DP avec faible énergie
14	1	0	1	Décharge électrique avec faible énergie
15	0	0	1	sur t<150°C
16	0	2	0	sur 150<T<300°C
17	0	2	1	sur300<T<700°C
18	0	2	2	sur t<700°C
19	2	0	2	Décharge électrique avec faible énergie
20	0	2	2	sur T >700°C
21	1	1	0	DP avec grande énergie
22	1	0	2	Décharge électrique avec grande énergie
23	0	2	2	sur t>700°C
24	0	2	0	sur 150<T<300°C
25	1	0	0	PD
26	1	2	1	ARC
27	0	2	1	SUR 300<T<700°C
28	1	0	1	Décharge électrique avec faible énergie
29	0	0	1	sur t<150°C
30	1	0	2	Décharge électrique avec grande énergie
31	0	2	2	sur t>700°C
32	1	0	2	Décharge électrique avec grande énergie
33	0	2	2	sur t>700°C
34	0	2	2	sur t>700°C
35	0	2	1	SUR 300<T<700°C
36	0	2	2	sur t>700°C
37	0	1	0	DP avec faible énergie
38	0	2	1	SUR 300<T<700°C
39	0	2	2	sur t>700°C
40	0	1	1	PD

Tableau III-5 : La représentation des codes et les défauts correspondants d'après le CEI

D'après le tableau III-5, on voit que 62.5%des défaut sont du essentiellement à des effets de température (surchauffement), comme il a été appliqué dans la méthode de Rogers.

III-2-3.Méthode ECRA :

Les treize modèles de la méthode ECRA sont donnés par le tableau suivant :

../..

Echantillon	**H_2**	**CH_4**	**C_2H_6**	**C_2H_4**	**C_2H_2**	**Modèle**	**type de défaut**
1	4,05	22,03	19	100	7,59	J	Surchauffe ment (OH)
2	81,22	18,58	1,5	24,9	100	M	Décharge par ARC
3	100	17,92	7,08	22,2	36,8	G	Décharge partielle ou décharge par arc
4	8,75	52,79	11,6	100	1,95	J	(OH)
5	13,2	51,06	14,4	100	4,77	J	(OH)
6	1,15	47,04	19,7	100	0,43	J	(OH)
7	19,05	58,86	13,4	100	2,11	J	(OH)
8	24,32	34,72	9,98	100	1,46	J	(OH)
9	11,03	29,71	11,6	100	1,29	J	(OH)
10	91,1	26,99	4,08	44,2	100	M	Décharge par ARC
11	15,35	36,74	14	100	2,33	J	(OH)
12	13,36	32,07	14,9	100	2	J	(OH)
13	100	7,45	5,92	1,22	0	B	Décharge partielle ou décharge par arc
14	100	32,46	7,97	14,9	17	A	Décharge partielle ou décharge par arc
15	100	81,25	20,6	60	0	D	Décharge partielle ou décharge par arc
16	69	100	15.6	10.7	0	E	(OH)
17	30	100	46,7	70	0,22	F	(OH)
18	22,45	34,69	4,29	100	1,43	I	(OH)
19	7,52	4,08	1,57	13,5	100	M	Décharge par ARC
20	30,86	67,75	38,1	100	0,12	G	(OH)
21	100	6,25	1,88	0,63	0,63	B	Décharge partielle ou décharge par arc
22	72,89	31,28	2,72	50,4	100	D	Décharge par ARC
23	45,12	57,93	26,8	100	0	I	(OH)
24	59,38	68,75	100	31,3	0	G	(OH)
25	100	14,17	26,7	19,2	3,33	A	Décharge partielle ou décharge par arc
26	61,22	100	36,7	73,5	19,4	H	(OH)
27	27,03	94,59	33,8	100	0,14	E	(OH)
28	100	12	0,4	0,4	0,4	C	Décharge partielle ou décharge par arc
29	100	81,25	20,6	60	0	C	Décharge partielle ou décharge par arc
30	100	24	7	58,5	65,5	D	Décharge partielle ou décharge par arc
31	24,17	79,58	21,9	100	0,28	L	(OH)
32	30,3	12,12	9,09	100	18,2	K	(OH)
33	15,17	39,01	14,7	100	3,41	J	(OH)
34	15,73	100	14,7	82,7	0,2	F	(OH)
35	19,1	100	33,2	66,6	0,13	F	(OH)
36	29,34	82,64	24,5	100	0,49	L	(OH)
37	100	8,15	5,23	3,08	0	B	Décharge partielle ou décharge par arc

../..

38	0	100	52,1	89,2	0	G	(OH)
39	25	76,28	19,7	100	0,85	I	(OH)
40	100	5,94	2,17	3	0	D	Décharge partielle ou décharge par arc

Tableau III-6 : Modèles et défauts correspondants d'après ECRA.

Un nombre de 25 échantillons pour les représentes des défauts dus à des effets de température soit 45%

III-2-4.Discutions des résultats :

Le tableau III-7 présente une comparaison des résultats des défauts donnes par les trois méthodes.

	Type de défaut de ECRA	**Type de défaut de CEI**	**Type de défaut de Rogers**
1	(OH) surchauffement	surchauffement t>700°C	Echauffement
2	Décharge par ARC	Décharge électrique avec faible énergie (DE avec F energie).	etincellement puissant
3	D partielle ou arc	DE avec F energie	décharge par ARC
4	(OH)	surchauffement t>700°C	Echauffement
5	(OH)	surchauffement t>700°C	Echauffement
6	(OH)	surchauffement t>700°C	circulation du courant dans le N et le réservoir
7	(OH)	surchauffement t>700°C	Echauffement
8	(OH)	surchauffement t>700°C	circulation du courant dans le N et le réservoir
9	(OH)	surchauffement t>700°C	circulation du courant dans le N et le réservoir
10	Décharge par ARC	Décharge électrique avec grande énergie(DE avec G énergie).	décharge par ARC
11	(OH)	surchauffement t>700°C	circulation du courant dans le N et le réservoir
12	(OH)	surchauffement t>700°C	circulation du courant dans le N et le réservoir
13	D partielle ou arc	DP avec faible énergie	décharge partielle d'une faible énergie
14	D partielle ou arc	DE avec F energie	décharge par ARC
15	D partielle ou arc	surchauffement t<150°C	surchauffement au conducteur
16	(OH)	surchauffement 150<T<300°C	surchauffement <150°C
17	(OH)	surchauffement 300<T<700°C	Echauffement
18	(OH)	surchauffement t<700°C	circulation du courant dans le N et le réservoir
19	Décharge par ARC	DE avec F energie	décharge par ARC
20	(OH)	surchauffement T >700°C	Echauffement

../..

21	D partielle ou arc	DP avec grande énergie	décharge partielle d'une grande énergie
22	Décharge par ARC	DE avec G energie	décharge par ARC
23	(OH)	surchauffement t>700°C	circulation du courant dans le N et le réservoir
24	(OH)	surchauffement 150<T<300°C	surchauffement 150-200°c
25	D partielle ou arc	PD	surchauffement 200-300°c
26	(OH)	ARC	circulation du courant dans les enroulements
27	(OH)	surchauffement 300<T<700°C	Echauffement
28	D partielle ou arc	DE avec F energie	décharge par ARC
29	D partielle ou arc	surchauffement t<150°C	surchauffement au conducteur
30	D partielle ou arc	DE avec G energie	décharge par ARC
31	(OH)	surchauffement t>700°C	Echauffement
32	(OH)	DE avec G energie	décharge par ARC
33	(OH)	surchauffement t>700°C	circulation du courant dans le N et le réservoir
34	(OH)	surchauffement t>700°C	Echauffement
35	(OH)	surchauffement 300<T<700°C	Echauffement
36	(OH)	surchauffement t>700°C	Echauffement
37	D partielle ou arc	DE avec F energie	décharge partielle d'une faible énergie
38	(OH)	surchauffement 300<T<700°C	Echauffement
39	(OH)	sur t>700°C	Echauffement
40	D partielle ou arc	PD	Echauffement

Tableau III-7 : comparaison entre les méthodes

Les deux méthodes CEI et ECRA présentent une ressemblance du type de défaut de 36 échantillons, sont 90%.Entre CEI et Rogers , le nombre de défauts similaire est de 28 (70%) échantillons.que pour Rogers et ECRA, on a seulement 25 échantillon (62.5%). On peut dire que les méthodes CEI et ECRA sont les plus proches pour le diagnostique de défauts et le plus fiables.

III-3.Interprétation par l'application de la logique floue :

Un traitement de données par la logique floue type mamdani à été effectuée. Ce traitement est fait pour les bases de données de la méthode CEI et de la méthode ECRA.

III-3-1.Méthode CEI :

La méthode de la CEI est basée sur les trios rapports : $r_1=\frac{C2H2}{C2H4}$, $r_2=\frac{CH4}{H2}$, $r_3=\frac{C2H4}{C2H6}$

Indicateurs ont été choisis parce qu'ils montrent un degré élevé de corrélation en identifiant

divers défauts de transformateur utilisant des données du diagnostic par analyse de gaz dissous DGA.

Rapport/Codes	**Code 0**	**Code 1**	**Code2**
$r1 = \frac{C2H2}{C2H4}$	**< 0.1**	**0.1-3**	**>3**
$r2 = \frac{CH4}{H2}$	**0.1-1**	**<0.1**	**>1**
$r3 = \frac{C2H4}{\ }$	**<1**	**1-3**	**>3**

Tableau III-8 : Le code de la méthode CEI.

a)Codes flous de la CEI :

Trois rapports de gaz $\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$, $\frac{CH_4}{H_2}$, $\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$, peuvent être codés en tant que 0, 1 et 2 pour différentes gammes de rapports. Le Tableau III-8 est réarrangé pour donner un rapport clair entre la gamme de chaque rapport de gaz et son code correspondant CEI

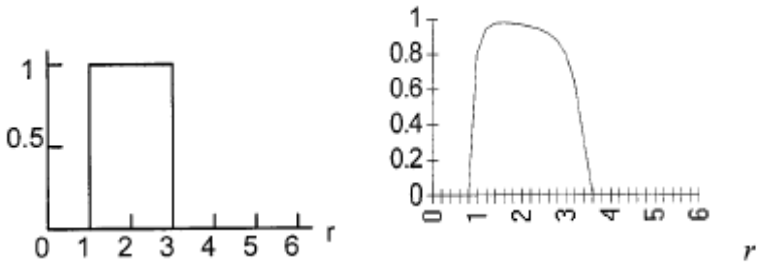


Fig.III.1. Exemple comparatif entre code 1 binaire IEC et le code1 floue pour le rapport $r_3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$ **[Yan-97]**

Les défauts de transformateur peuvent être identifiés par les codes de la CEI de trois rapports de gaz $r_1 = \frac{C_2H_2}{C_2H_4}$, $r_2 = \frac{CH_4}{H_2}$, $r_3 = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$. Comme exemple, un ensemble de concentration en gaz r_1 =0, r_2 =2 et r_3 =1 donne un diagnostic correspondant au défaut 8, c.-à-d. Au défaut thermique de température moyenne (300° -700°C.)

Dans le diagnostic utilisant les codes de la CEI, la logique conventionnelle ET et OU est employée. Par exemple, le huitième défaut est représenté par :

$f(8)$ [$code_{ZERO}(r_1)$ ET $code_{DEUX}(r_2)$ ET $code_{UN}(r_3)$]

Où $Code_{ZERO}(r_1)$ $Code_{DEUX}(r_2)$ et $Code_{UN}(r_3)$ sont les valeurs de codes des rapports r_1, r_2 et r_3 respectivement.Il n' y a pas de valeurs intermédiaires, ils sont soit UN (vrai) ou ZERO (faux) tableau V-3, et par conséquent, le défaut F (8) sera soit UN (vrai) ou ZERO (faux) au moyen d'opérations de logique.

Dans la méthode développée de diagnostic flou, les codes de la CEI 0, 1 et 2 sont reconstruits comme des ensembles flous ZERO, UN et DEUX. Chaque rapport de gaz peut être représenté comme vecteur flou [$\mu_{ZERO}(r)$, $\mu_{UN}(r)$, $\mu_{DEUX}(r)$,]

Où $\mu_{ZERO}(r)$, $\mu_{UN}(r)$, et $\mu_{DEUX}(r)$ sont les fonctions d'appartenance de codes flous (zéro, un, deux) respectivement. **[Sen-00, Yan-97].**

b) Fonctions d'appartenance [Yan-97]

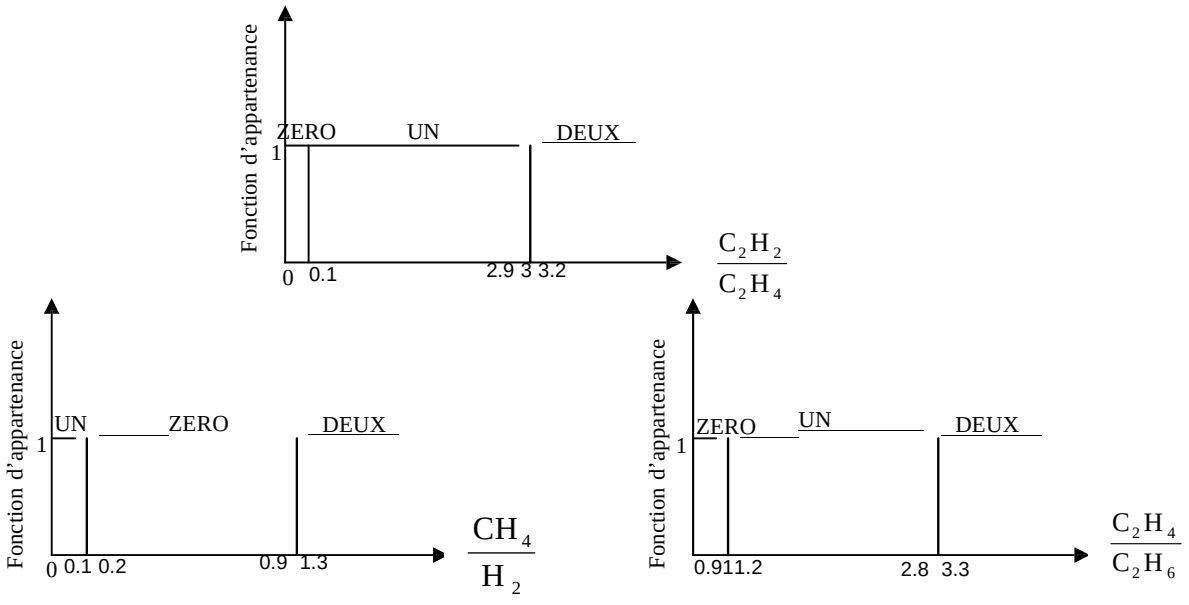
- Les fonctions d'appartenance réalisées pour les entrées sont montrées dans la figureIII-2

Dans la méthode développée de diagnostic flou, les codes de la CEI 0, 1 et 2 sont reconstruits comme des ensembles flous ZERO, UN et DEUX. Chaque rapport de gaz peut être représenté comme vecteur flou [$\mu_{ZERO}(r)$, $\mu_{UN}(r)$, $\mu_{DEUX}(r)$,]

Où $\mu_{ZERO}(r)$, $\mu_{UN}(r)$, et $\mu_{DEUX}(r)$ sont les fonctions d'appartenance de codes flous (zéro, un, deux) respectivement. **[Sen-00, Yan-97].**

b) Fonctions d'appartenance [Yan-97]

- Les fonctions d'appartenance réalisées pour les entrées sont montrées dans la figureIII-2



c)Résultat et discussion :

Chaque défaut correspond a une combinaison de codes bien déterminée

Nous allons utiliser la méthode de somme produit pour construire chaque règle, et la méthode de centre de gravité pour avoir la sortie.

	Type	**Classification**
	1	Pas de défaut
Couronne	**2**	Décharge partielle avec faible énergie
	3	Décharge partielle avec grand énergie
Défaut thermique	**4**	Décharge électrique avec faible énergie
	5	Décharge électrique avec faible énergie
	6	Surchauffement avec température **T<150°C**
	7	Surchauffement avec température **150°<T<300°C**
ARC	**8**	Surchauffement avec température **300<T<700°C**
	9	Surchauffement avec température **T>700°C**

Tableau III-9 : Description de l'ensemble floue**[Sye-00].**

Le résultat de diagnostic en utilisant la logique floue avec la méthode CEI sont donnés par le tableau suivant :

	H_2	**CH_4**	**C_2H_6**	**C_2H_4**	**C_2H_2**	**Le défaut**	**Interprétation de défauts**	
1	4,05	22,03	18,99	100	7,59	9	surchauffement>700°C	Bon
2	81,22	18,58	1,5	24,88	100	4	Décharge électrique avec faible énergie	Bon
3	100	17,92	7,08	22,17	36,79	4	Décharge électrique avec faible énergie	Bon
4	8,75	52,79	11,62	100	1,95	9	surchauffement>700°C	Bon
5	13,2	51,06	14,39	100	4,77	9	surchauffement>700°C	Bon
6	1,15	47,04	19,7	100	0,43	9	surchauffement>700°C	Bon
7	19,05	58,86	13,43	100	2,11	9	surchauffement>700°C	Bon
8	24,32	34,72	9,98	100	1,46	9	surchauffement>700°C	Bon
9	11,03	29,71	11,59	100	1,29	9	surchauffement>700°C	Bon
10	91,1	26,99	4,08	44,2	100	4.5	Décharge électrique avec grand énergie	pas Bon
11	15,35	36,74	13,95	100	2,33	9	surchauffement>700°C	Bon
12	13,36	32,07	14,92	100	2	9	surchauffement>700°C	Bon
13	100	7,45	5,92	1,22	0	2	DP avec faible énergie	Bon

../..

14	100	32,46	7,97	14,93	17,04	4	Décharge électrique avec faible énergie	Bon
15	100	81,25	20,63	60	0	6	Surchauffement avec température < 150°	Bon
16	69	100	15.6	10.7	0	7	surchauffement avec 150<T<300°C	Bon
17	30	100	46,67	70	0,22	7.7	Surchauffement avec température 300°<T< 700°	pas Bon
18	22,45	34,69	4,29	100	1,43	9	surchauffement>700°C	Bon
19	7,52	4,08	1,57	13,48	100	4	Décharge électrique avec faible énergie	Bon
20	30,86	67,75	38,05	100	0,12	8	Surchauffement avec température 300°<T< 700°	Bon
21	100	6,25	1,88	0,63	0,63	3	DP avec grande énergie	Bon
22	72,89	31,28	2,72	50,41	100	4.5	décharge électrique avec faible énergie	pas Bon
23	45,12	57,93	26,83	100	0	8.47	surchauffement avec température 300<t<700°c	pas Bon
24	59,38	68,75	100	31,25	0	7	Surchauffement avec température 150°<T< 300°	Bon
25	100	14,17	26,67	19,17	3,33	4	Décharge électrique avec faible énergie	Bon
26	61,22	100	36,73	73,47	19,39	10	Surchauffement avec température T>700°C	pas Bon
27	27,03	94,59	33,78	100	0,14	8	Surchauffement avec température 300°<T< 700°	Bon
28	100	12	0,4	0,4	0,4	4	Décharge électrique avec faible énergie	Bon
29	100	81,25	20,63	60	0	6	Surchauffement avec température < 150°	Bon
30	100	24	7	58,5	65,5	4.5	décharge électrique avec faible énergie	pas Bon
31	24,17	79,58	21,93	100	0,28	9	Surchauffement avec température T> 700°	Bon
32	30,3	12,12	9,09	100	18,18	4.5	décharge électrique avec faible énergie	pas Bon
33	15,17	39,01	14,71	100	3,41	9	Surchauffement avec température T> 700°	Bon
34	15,73	100	14,71	82,69	0,2	9	Surchauffement avec température T> 700°	Bon
35	19,1	100	33,16	66,58	0,13	8	Surchauffement avec température 300°<T< 700°	Bon
36	29,34	82,64	24,45	100	0,49	8.7	Surchauffement avec température 300°<T< 700°	pas Bon
37	100	8,15	5,23	3,08	0	2	DP avec faible énergie	Bon
38	0	100	52,07	89,17	0	8	Surchauffement avec température 300°<T< 700°	Bon
39	25	76,28	19,66	100	0,85	9	Surchauffement avec température T> 700°	Bon
40	100	5,94	2,17	3	0	2	DP avec faible énergie	Bon

Tableau III-10 : résultats de simulation de la logique floue avec CEI

D'après le tableau III-10, on voit que 65 % des défauts (26 parmi 40 échantillons) sont dus essentiellement à des effets de température (Surchauffement),ce qui est en accord avec ce qui a été trouvé avec la méthode CEI traditionnelle (62.5%).

La comparaison entre les résultats données par la méthode CEI traditionnelle, et les donnés par la logique floue en utilisant méthode CEI est présente dans la tableau-III-11

Echantillon	**Types des défauts CEI traditionnelle**	**Interprétations des défauts de la logique floue**
1	sur t>700°C	surchauffement>700°C
2	Décharge électrique avec faible énergie	Décharge électrique avec faible énergie
3	Décharge électrique avec faible énergie	Décharge électrique avec faible énergie
4	sur t>700°C	surchauffement>700°C
5	sur t>700°C	surchauffement>700°C
6	sur t>700°C	surchauffement>700°C
7	sur t>700°C	surchauffement>700°C
8	sur t>700°C	surchauffement>700°C
9	sur t>700°C	surchauffement>700°C
10	Décharge électrique avec grande énergie	Décharge électrique avec grand énergie
11	sur t>700°C	surchauffement>700°C
12	sur t>700°C	surchauffement>700°C
13	DP avec faible énergie	DP avec faible énergie
14	Décharge électrique avec faible énergie	Décharge électrique avec faible énergie
15	sur t<150°C	Surchauffement avec température < 150°
16	sur 150<T<300°C	surchauffement avec 150<T<300°C
17	sur300<T<700°C	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
18	sur t<700°C	surchauffement>700°C
19	Décharge électrique avec faible énergie	Décharge électrique avec faible énergie
20	sur T >700°C	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
21	DP avec grande énergie	DP avec grande énergie
22	Décharge électrique avec grande énergie	décharge électrique avec faible énergie
23	sur t>700°C	surchauffement avec température 300<t<700°c
24	sur 150<T<300°C	Surchauffement avec température 150°<T< 300°
25	PD	Décharge électrique avec faible énergie
26	ARC	Surchauffement avec température T>700°C
27	SUR 300<T<700°C	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
28	Décharge électrique avec faible énergie	Décharge électrique avec faible énergie
29	sur t<150°C	Surchauffement avec température < 150°

../..

30	Décharge électrique avec grande énergie	décharge électrique avec faible énergie
31	sur t>700°C	Surchauffement avec température T> 700°
32	Décharge électrique avec grande énergie	décharge électrique avec faible énergie
33	sur t>700°C	Surchauffement avec température T> 700°
34	sur t>700°C	Surchauffement avec température T> 700°
35	SUR 300<T<700°C	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
36	sur t>700°C	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
37	DP avec faible énergie	DP avec faible énergie
38	SUR 300<T<700°C	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
39	sur t>700°C	Surchauffement avec température T> 700°
40	PD	DP avec faible énergie

Tableau III-11: Comparaison entre les résultats donnés par le CEI traditionnelle et la logique floue.

on remarque que la logique floue donne un diagnostique correcte de 34 échantillons, sont 85% de fiabilité.

III-3-2.Méthode ECRA :

Un traitement des données par la logique floue type Mamdani a été effectué .

a)Fonction d'appartenance :

La base de données est représentée comme suit :

Le vecteur d'entrées [H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2] (gaz principaux dissous dans l'huiles) et le vecteur de sortie présenté comme = [mod1,…, mod13] (les défauts correspondants) $\mu(H_2)$ est la fonction d'appartenance de H_2 à l'ensemble flou P, M, G indiquent respectivement que la concentration de H_2 dans l'huile est petite, moyenne, grande.

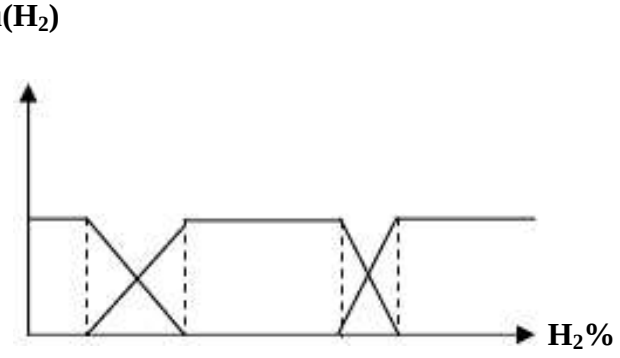


Fig III.2. : La fonction d'appartenance de l'hydrogène

b) Règles d'inférences :

../..

Treize (13) règles d'inférences sont élaborées, la méthode utilisée pour les entrées des règles est la méthode somme-produit et la méthode du centre de gravité pour les sorties.

Sortie		**$\mu(C_2H_2)$**	**P**			**M**			**G**		
		$\mu(C_2H_4)$	**P**	**M**	**G**	**P**	**M**	**G**	**P**	**M**	**G**
$\mu(C_2H_6)$	**$\mu(CH_4)$**	**$\mu(H_2)$**									
P	**P**	**P**			**J**						
		M									
		G	**A B**		**D**				**M**		
	M	**P**									
		M			**I**						
		G			**C**						
	G	**P**									
		M	**H E**								
		G		**F L**				**G**			
M	**P**	**P**			**K**						
		M									
		G									
	M	**L**									
		M									
		G									
	G	**L**									
		M									
		G									

Tableau III-12 : Règle d'inférence selon la méthode ECRA

Par exemple : SI H_2 est grand**(G)** ET CH_4 est petit**(P)** ET C_2H_6 est petit**(P)** ET C_2H_4 est petit**(P)** ET C_2H_2 est grand**(G)** ALORS on a le modèle M qui indique le défaut décharge par arc.

Modèle	**intervalle**
A	**[-0.00.3 ; 0.076]**
B	**[0.08 ; 0.16]**
C	**[0.16 ; 0.24]**
D	**[0.24 ; 0.32]**
E	**[0.32 ; 40]**
F	**[0.4 ; 0.48]**
G	**[0.48 ;.56]**
H	**[0.56 ; 0.64]**
I	**[0.63 ;0.71]**
J	**[0.72 ;0.8]**
K	**[0.8 ;0.88]**
L	**[0.88 ;0.96]**
M	**[0.88 ;0.96]**

Tab III-13.. : Les intervalles de fonctions d'appartenance de sorties

a)Résultats et discussions :

Quarante (40) échantillons ont été simulés par le programme, et les résultats obtenus sont montrés dans le tableau suivant.

	H_2	**CH_4**	**C_2H_6**	**C_2H_4**	**C_2H_2**	**sortie**	**type de défaut**
1	4,05	22,03	18,99	100	7,59	0,76	OH
2	81,22	18,58	1,5	24,88	100	0,91	Décharge par arc
3	100	17,92	7,08	22,17	36,79	0,12	Arc ou décharge partielle
4	8,75	52,79	11,62	100	1,95	0,5	OH
5	13,2	51,06	14,39	100	4,77	0,5	OH
6	1,15	47,04	19,7	100	0,43	0,5	OH
7	19,05	58,86	13,43	100	2,11	0,5	OH
8	24,32	34,72	9,98	100	1,46	0,76	OH
9	11,03	29,71	11,59	100	1,29	0,76	OH
10	91,1	26,99	4,08	44,2	100	0,34	OH
11	15,35	36,74	13,95	100	2,33	0,76	OH
12	13,36	32,07	14,92	100	2	0,76	OH
13	100	7,45	5,92	1,22	0	0,12	Arc ou décharge partielle
14	100	32,46	7,97	14,93	17,04	0,12	Arc ou décharge partielle
15	100	81,25	20,63	60	0	0,5	OH
16	69	100	15.6	10.7	0	0,5	OH
17	30	100	46,67	70	0,22	0,5	OH
18	22,45	34,69	4,29	100	1,43	0,76	OH
19	7,52	4,08	1,57	13,48	100	0,5	OH
20	30,86	67,75	38,05	100	0,12	0,5	OH
21	100	6,25	1,88	0,63	0,63	0,12	Arc ou décharge partielle
22	72,89	31,28	2,72	50,41	100	0,28	Arc ou décharge partielle
23	45,12	57,93	26,83	100	0	0,68	OH
24	59,38	68,75	100	31,25	0	0,5	OH
25	100	14,17	26,67	19,17	3,33	0,12	Arc ou décharge partielle
26	61,22	100	36,73	73,47	19,39	0,5	OH
27	27,03	94,59	33,78	100	0,14	0,5	OH
28	100	12	0,4	0,4	0,4	0,12	Arc ou décharge partielle
29	100	81,25	20,63	60	0	0,5	OH
30	100	24	7	58,5	65,5	0,28	Arc ou décharge partielle
31	24,17	79,58	21,93	100	0,28	0,5	OH
32	30,3	12,12	9,09	100	18,18	0,76	OH
33	15,17	39,01	14,71	100	3,41	0,76	OH
34	15,73	100	14,71	82,69	0,2	0,5	OH
35	19,1	100	33,16	66,58	0,13	0,5	OH
36	29,34	82,64	24,45	100	0,49	0,5	OH
37	100	8,15	5,23	3,08	0	0,12	Arc ou décharge partielle
38	0	100	52,07	89,17	0	0,5	OH
39	25	76,28	19,66	100	0,85	0,5	OH

../..

40	100	5,94	2,17	3	0	0,12	Arc ou décharge partielle

Tableau III-14 :résultat de simulation de la logique floue avec ECRA.

D'après le tableau III-14. 70 % des défauts (28 à 40 échantillons) sont dus essentiellement à des effets de température (Surchauffement).

La comparaison entre les résultats donnés par la méthode CEI traditionnelle .Et les résultats par la logique floue en utilisant la méthode ECRA est présenté dans le tableau-III-15

Echantillon	**Défaut ECRA logique floue**	**Type de défauts**
1	OH	(OH)
2	Décharge par arc	Décharge par ARC
3	Arc ou décharge partielle	Décharge partielle ou décharge par arc
4	OH	(OH)
5	OH	(OH)
6	OH	(OH)
7	OH	(OH)
8	OH	(OH)
9	OH	(OH)
10	OH	Décharge par ARC
11	OH	(OH)
12	OH	(OH)
13	Arc ou décharge partielle	Décharge partielle ou décharge par arc
14	Arc ou décharge partielle	Décharge partielle ou décharge par arc
15	OH	Décharge partielle ou décharge par arc
16	OH	(OH)
17	OH	(OH)
18	OH	(OH)
19	OH	Décharge par ARC
20	OH	(OH)
21	Arc ou décharge partielle	Décharge partielle ou décharge par arc
22	Arc ou décharge partielle	Décharge par ARC
23	OH	(OH)
24	OH	(OH)
25	Arc ou décharge partielle	Décharge partielle ou décharge par arc
26	OH	(OH)
27	OH	(OH)
28	Arc ou décharge partielle	Décharge partielle ou décharge par arc
29	OH	Décharge partielle ou décharge par

../..

		arc
30	Arc ou décharge partielle	Décharge partielle ou décharge par arc
31	OH	(OH)
32	OH	(OH)
33	OH	(OH)
34	OH	(OH)
35	OH	(OH)
36	OH	(OH)
37	Arc ou décharge partielle	Décharge partielle ou décharge par arc
38	OH	(OH)
39	OH	(OH)
40	Arc ou décharge partielle	Décharge partielle ou décharge par arc

Tableau III-15 : Comparaison entre les résultats donnés par ECRA traditionnelle et la logique floue.

On remarque que la logique floue donne un diagnostique correcte de 36 échantillons, sont 90% de fiabilité.

III-3-3.Discussion des résultats :

Le tableau III-16 présenté les résultats donnés par la logique floue pour les deux méthodes ECRA et CEI

Echantillons	**Défaut ECRA logique floue**	**Interprétation de défaut logique floue CEI**
1	OH	surchauffement>700°C
2	Décharge par arc	Décharge électrique avec faible énergie
3	Arc ou décharge partielle	Décharge électrique avec faible énergie
4	OH	surchauffement>700°C
5	OH	surchauffement>700°C
6	OH	surchauffement>700°C
7	OH	surchauffement>700°C
8	OH	surchauffement>700°C
9	OH	surchauffement>700°C
10	OH	Décharge électrique avec grand énergie
11	OH	surchauffement>700°C
12	OH	surchauffement>700°C
13	Arc ou décharge partielle	DP avec faible énergie
14	Arc ou décharge partielle	Décharge électrique avec faible énergie
15	OH	Surchauffement avec température < 150°
16	OH	surchauffement avec 150<T<300°C

../..

17	OH	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
18	OH	surchauffement>700°C
19	OH	Décharge électrique avec faible énergie
20	OH	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
21	Arc ou décharge partielle	DP avec grande énergie
22	Arc ou décharge partielle	décharge électrique avec faible énergie
23	OH	surchauffement avec température 300<t<700°c
24	OH	Surchauffement avec température 150°<T< 300°
25	Arc ou décharge partielle	Décharge électrique avec faible énergie
26	OH	Surchauffement avec température T>700°C
27	OH	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
28	Arc ou décharge partielle	Décharge électrique avec faible énergie
29	OH	Surchauffement avec température < 150°
30	Arc ou décharge partielle	décharge électrique avec faible énergie
31	OH	Surchauffement avec température T> 700°
32	OH	décharge électrique avec faible énergie
33	OH	Surchauffement avec température T> 700°
34	OH	Surchauffement avec température T> 700°
35	OH	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
36	OH	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
37	Arc ou décharge partielle	DP avec faible énergie
38	OH	Surchauffement avec température 300°<T< 700°
39	OH	Surchauffement avec température T> 700°
40	Arc ou décharge partielle	DP avec faible énergie

tableau III-16 : les résultat donnée par la logique floue pour les deux méthodes ECRA et CEI

D'après ce tableau, on remarque que les deux méthodes donnent le même résultat pour 25 échantillons, donc un taux de rassemblement pour 62.5% des échantillons

. **III-4.Conclusion :**

La méthode traditionnelles de diagnostique de défaut dans les transformateurs à partir de quantités de gaz dissous dans l'huiles, présente un outil intéressant pour ce diagnostic.

L'introduction de la logique floue dans le diagnostic a donné de bon résultat qui correspondent directement avec ceux donnés par les méthodes traditionnelles

Notes :

OH=échauffement ;ARC=décharge par arc ;PD=décharge partiel

Conclusion Générale

Les méthodes traditionnelles de diagnostic d'huile de transformateurs par analyse des gaz dissous présentent un moyen intéressent de diagnostic des defauts.ces méthodes sont essentiellement : la méthode CEI, la méthode de rogers, la méthode ECRA.....
Les techniques d'intelligence artificielle, tel que les réseaux de neurones (RN) et la logique floue peuvent apporter de bonnes solutions pour le diagnostic. Ces techniques mettent l'expérience des analystes dans un système intelligent pour les nouveaux ingénieurs analystes non expérimentés afin de prendre les bonnes décisions concernant l'état de l'huile et en un temps réduit.
Dans ce travail, les méthodes traditionnelles sont utilisées pour diagnostic des défauts dans le transformateur. En plus la logique floue est appliquée dans le diagnostic de l'huile de transformateurs en utilisant l'analyse de gaz dissous (DGA). Cette technique a été appliquée avec succès dans l'environnement MATLAB.

- L'utilisation des méthodes CEI et ECRA donne des résultats ressemblables pour la majorité des échantillons, et le défaut donnant est celui dû à l'augmentation de la température qui affecte considérablement l'état de l'isolation.

- La méthode de rogers donne des résultats moins fiables par rapport aux méthodes CEI et ECRA.

- L'utilisation de la logique floue en utilisant les critères CEI e ECRA nous a confirme l'effet important de la température sur la dégradation de l'isolation (62,5%pour CEI et 70% pour ECRA).

- Les résultats obtenus par la logique floue (CEI et ECRA), montrent l'excellent accord avec le diagnostic fait par les experts en utilisant les méthodes traditionnelles de la CEI et ECRA 85% de ressemblance pour la CEI, et 90%pour ECRA).

Nos perspectives :

L'utilisation d'autres critères d'interprétation des gaz dissous en particulier le triangle de Duval.
L'utilisation des autres techniques d'intelligence artificielle telle que les réseaux de neurones (RN) algorithmes génétiques, systèmes hybrides (neuro-flous ou neuro-génétiques) sont aussi inclus dans nos perspectives de recherche.

Références bibliographiques

[Abd-02] ; Abdi Sif Eddine, « *Influence du vieillissement thermique sur les propriétés de l'huile de transformateur*» , mémoire de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach - Alger, année 2002.

[Ahm-04]; Ahmed M Ibrahim, « *Fuzzy logic, for embedded systems application*»; -Elsevier Science, USA, 2004.

[Bag-99] ; L. Baghli, « *Contribution à la commande de la machine asynchrone, utilisation de la logique floue, des réseaux neurones et des algorithmes génétiques* », thèse de Doctorat, l'université Henri Poincaré, France 1999.

[Bel-01] ;K. Belarbi, *« Optimisation floue, neuronale et neuro-floue d'un système de pompage photovoltaïque entraîné par différentes machines »*, Mémoire de magistère, Université de Batna,2001.

[Bou-01] ; S. Bouazabia, « *Liquides diélectriques* », Ecole nationale polytechnique El-Harrach - Alger (ENP) &USTHB, *Alger, Algérie, Année 2001*.

[Buh-94] ; H. Buhler, « *Réglage par logique floue* », Presses Polytechniques Romandes, Lausane, Suisse 1994.

[Cha-00] ; B. Chalabi, S. Ouabdeslam, M. Lebid, T. Ahmed zaïd, O. Hadjadj-aoul et A. Boubakeur **«** *Analyse Des Gaz Dissous Dans Les Huiles Dielectriques*»**,** ; Ecole Nationale Polytechnique el-harrach - Alger, laboratoire d'analyse des Huiles, Dépt. Contrôle Mesures et Essais , Sonelgaz - Hamma – Alger, 2000.

[CEI-98] : « *Rapport technique type 2 »* ; CEI 61464-première édition-98.

[Dig.-04], Joseph B. Digiorgio **«**The *Dissolved Gas Analysis Of mineral Oil Insulating Fluids*» , NNT copyrighted material. Article IEEE2004.

[Duk-93]; James J. Dukarm **«***Transformer Oil Diagnosis using Fuzzy Logic and Neural Network*»; CCECE/CCCEI93; Article IEEE-93.

[Duk-98]; Dr. James J. Dukarm, *«Dissolved Gas Analysis Using Fuzzy Logic»*, Delta-X Research, Victoria BC Canada, October 198.

[Duv-89]; M. Duval, **«***Dissolved Gas Analysis: It Can Save Your Transformer »*, Hydro-Quebec (IREQ); 1989 IEEE.

[Duv-02]*;* Michel Duval, **«***A Review of Faults Detectable by Gas-in-Oil Analysis in Transformers»;* IREQ, Canada IEEE-2002.

[D2450] ;R.Tobazéon , **«**Préclaquage et claquage des liquides diélectriques»,*Technique de l'ingénieur, november1997.*

[D 2470] , [D2471] ; « *Techniques de l'ingénieur » volume D2.*

[God-96] ; Jelena Godjevac, *« Idées nettes sur la logique floue »*, Première édition Polytechniques et Universitaires, Romandes, Lausane, Suisse.1996.

[Gua-01] : J. L. Guardado, J. L. Naredo, *Member, IEEE,* P. Moreno, and C. R. Fuerte **«***A Comparative Study of Neural Network Efficiency in Power Transformers Diagnosis Using Dissolved Gas Analysis»*,, IEEE transactions on power delivery, vol. 16, no.4, October 2001 643 México.

[Hon-01]: Hong-Tzer Yang, Chiung-Chou Liao and Jeng-Hong Chou **«***Fuzzy Learning Vector Quantization Networks for Power Transformer condition Assessment»*, Dept. of Electrical Engineering, Chung Yuan Christian University Chung Li, Taiwan. Article IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 8 No. 1, February 2001.

[HU-03] ; W.P. Hu, X.G. Yin, Zhang and D.S. Chen Huazhong, **«***Fault diagnosis of transformer insulation based on compensated fuzzy neural network* **»**, 2003 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, University of Science and Technology, Wuhan 430074, China.

[Kam-97] : O. Vanegas, Y. Mizuno, K.Naito, **«***Diagnosis of oil-insulated Power Apparatus by using neural network»*, Nagoya Institute of technology, Nagoya, Japan And Aichu Electric co. Ltd, Japan 1997 IEEE.

[Kje-99] ; Kjell Sundkvist, *«Analyse des gaz dissous»*, Rapport technique de directeur produit huiles diélectriques, Nynas Naphthenics., 1999.

[Mok-04] ; Leila Mokhnache, *« Application de RN dans le diagnostique et la prédiction des isolations HT »*, Thèse Doctorat, , Ecole Nationale Polytechnique, Janvier 2004.

[Mok2-02]; L. Mokhnache, A. Boubakeur, N.Nait Said, *«Application Of Neural Networks In The Diagnosis Of Transformer Oil Used By Sonelgaz»*, 4ème CNHT Série B-Numéro special AJOT, pp. 51-54, Ghardaia, Algérie, Jan. 2002.

[Rob-97] ; Papanicola Robert, *« Contrôleur De Stores Intelligent A Logique Floue »*, Sciences Industrielles. Lycée Jacques Amyot , France,1997.

[Sam-00]; J**.** Samat, *«interpretation of DGA data and its use in the detection of* malfunctions», large power transformers GEC ALSTHOM St. OUEN ; France ;2000.

[Sen-00]; Q.Su, senior, C. Mi, Ll. L. Lai sensor, and P. Austin, *«A Fuzzy Dissolved Gas Analysis Method for the Diagnosis of Multiple Incipient* Faults in a Transformer», IEEE transactions on power systems, vol. 15, no. 2, May 2000.

[Sil-00] ; N da. Silva. AN de Souza, R.M.C Hossri, J.H.C Hossri, *«Intelligent System applied in Diagnosis of Transformer Oil»*, Université de Sao Paulo (UNESP), Mobil Transformer Oil Regeneration System, Brazil, .publication en conference N°473, IEE2000.

[Son-02] ; «Son Bin, Yu Ping, Luo Yunbai and Wen Xishan , *Study on the fault diagnosis of transformer based on the grey relational analysis*»; Article IEEE -2002.

[Sye-00]; Syed Mofizul Islam, Tony Wu and Gerard Ledwic, *« A Novel Fuzzy Logic Approach to Transformer Fault Diagnosis»*, Article IEEE Transactions an Dielectrics and ElecfricaI Insulation, April 2000.

[Sye-00]; Syed Mofizul Islam, Tony Wu and Gerard Ledwic, *«A Novel Fuzzy Logic Approach to Transformer Fault Diagnosis »*, Article IEEE Transactions and Dielectrics and ElecfricaI Insulation, April 2000.

[Sen-00]; *Q. Su* Senior, C. Mi, Ll. L. Lai sensor, and P. Austin, ***«****A Fuzzy Dissolved Gas Analysis Method for the Diagnosis of Multiple Incipient Faults in a Transformer****»****,* IEEE transactions on power systems, vol. 15, no. 2, may 2000

[Su-00]*; Q. Su Senior, MIE Aust and* ***«****A fuzzy logic tool for transformer fault diagnosis****»****,* IEEE, and CIGRE APl 1 and AP2 1 Monash University, Australia, 2000

[Sye-00]; *Syed Mofizul Islam; Tony Wu and Gerard Ledwic,* ***«****A Novel Fuzzy Logic Approach to Transformer Fault Diagnosis****»****,* Article IEEE Transactions an Dielectrics and ElecfricaI Insulation, April 2000.

[Tha-00] ; K F Thang, R K Aggarwal, D G Esp, A J McGrail, *«Statistical and neural network analysis of dissolved gases in power transformers»*, University of Bath, UK, The National Grid Company PLC, Conference Publication No. 473, IEE 2000.

[Yan-96] ; Yann-Chang Huang; Hong-Tzer Yang, Ching Lien Huang, *«Design of robust transformer fault diagnosis system using evolutionary fuzzy logic»;*: Article IEEE1996.

[Yan-97] ; Yann-Chang Huang; Hong-Tzer Yang, Ching Lien Huang, *«Developing a new transformer fault diagnosis system through evolutionary fuzzy logic»;* Article IEEE 97.

[Yan-00]; *R.*.Tu Yanming, *«DGA Based Insulation Diagnosis of Power Transformer via ANN»*, Proceedings of The 6th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials June 21-26,2000, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China.

[Yan-96]; Yann-Chang Huang; Hong-Tzer Yang, Ching Lien Huang, ***«****Design of robust transformer fault diagnosis system using evolutionary fuzzy logic****»*****,*** Article IEEE 96.

[Yan-97]; Yann-Chang Huang; Hong-Tzer Yang, Ching Lien Huang **, «***Developing a new transformer fault diagnosis system through evolutionary fuzzy logic****»****;*: Article IEEE 97.

[Zid-04] ; F. Zidani, *« Application d'un contrôleur flou dans une CV-OFR pour une machine asynchrone* », Thèse de doctorat, Université de Batna, 2004

Résumé :

Dans ce mémoire nous nous sommes intéressés au diagnostic des défauts dans les transformateurs de puissance, en se basant sur l'analyse des gaz dissous dans l'huile (DGA) en utilisant les méthodes CEI, Rogers et ECRA. En plus, la logique floue a été utilisée pour permettre un bon diagnostic de ces défauts en utilisant les techniques d'intelligence artificielle. Les résultats obtenus ont montré que la logique floue présente un outil très intéressant pour un bon diagnostic de l'état de l'isolation.

Mots clés : Diagnostic des huiles de transformateurs, logique floue.

Abstract:

In this memory we are interested in the diagnosis of faults in power transformers, based on the analysis of dissolved gases in oil (DGA) using the CEI, Rogers and ECRA methods. In addition, fuzzy logic has been used to enable a proper diagnosis of these defects using artificial intelligence techniques. The results showed that fuzzy logic is a very interesting tool for a proper diagnosis of the condition of the insulation.

Keywords: Diagnostics of transformer oils, fuzzy logic

ملخص:

في هذه المذكرة نحن مهتمون في تشخيص الأعطال في محولات الكهرباء، استنادا إلى تحليل الغازات المذابة في الزيت (DGA) باستخدام CEI، وأساليب Rogers وECRA. وبالإضافة إلى ذلك، تم استخدام المنطق الغامض لتمكين التشخيص السليم من هذه العيوب باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي. وأظهرت النتائج أن المنطق الغامض لديه أداة مثيرة للاهتمام للغاية لتشخيص السليم للحالة من العزل.

كلمات مفتاحيه: تشخيص زيوت المحولات، المنطق الغامض.