

Bellevue

11/75

UNIVERSITÉ D'ALGER

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

1ex

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
DÉPARTEMENT ÉLECTRICITÉ
المكنية

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

ESSAIS DE RIGIDITE

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
DIELECTRIQUE DES

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

HUILES ISOLANTES

PROPOSE PAR

ETUDIE PAR

BARDZIC M.

BOURAOUI ALI

BENAIDA AZEDINE

- 1975 -

**ESSAIS DE RIGIDITE
DIELECTRIQUE DES
HUILES ISOLANTES**

PROPOSE PAR

BOBARDZIC M.

ETUDIE PAR

BOURAOU ALI
BENAI DA AZEDINE

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي جَعَلَ مِنَ
النَّارِ سِرًّا وَالَّذِي
جَعَلَ مِنَ الْحَدِيدِ
سَلًا وَهُوَ الْغَلِيظُ
الْقَوِيُّ الْعَلِيمُ

فَاذْكُرُونَهُ أَتَقْرَبُونَ

الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
جَعَلَ مِنَ النَّارِ سِرًّا
وَالَّذِي جَعَلَ مِنَ
الْحَدِيدِ سَلًا وَهُوَ
الْقَوِيُّ الْعَلِيمُ

وَيَسْأَلُونَكَ عَنِ

الرُّوحِ قُلِ الرُّوحُ

مِنْ أَمْرِ رَبِّي

وَمَا أُوتِيتُمْ مِنْ

الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا

قال صلى الله عليه وسلم

أَفْضَلُ النَّاسِ
الْمُؤْمِنِ الْعَالِمِ

الَّذِي إِذَا أَحْبَبَ إِلَيْهِ نَفَعَ
وَإِنْ أَسْغَىٰ عَنْهُ أَعَىٰ نَفْسَهُ

حديث شريف

﴿

/-0- REMERCIEMENTS -0-/

QU'IL NOUS SOIT PERMIS DE REMERCIER :

*Mr. Muharem DOBARDZIC pour avoir dirigé
cette thèse et pour tous ses conseils.

*Mr. SAAL et Mr. STRIAPAN pour la traduc-
tion de documents en allemand et en russe.

*Mr. SELLALI A. et Mr. CHAOUCH M. de la
SONELGAZ, anisi que tout le personnel sous
leur direction, qui nous ont permis de
faire nos expériences.

*Tous nos professeurs qui ont contribué
à notre formation.

*Tous ceux qui ont participé de loin com-
me de près à l'élaboration de cette étude.

Azedine BENAIDA

Ali BOURAOUI

TABLE DES MATIERES

pages

INTRODUCTION.....1

CHAPITRE I

RAPPEL SUR LA TENSION DE PERFORATION DES

DIELECTRIQUES LIQUIDES

Généralités.....3

1-Mécanisme de perforation et tension de claquage....3

2-Influence des divers facteurs sur la tension de
claquage et phénomènes apparaissant au cours du
claquage.....5

CHAPITRE II

CARACTERISTIQUES DES HUILES ISOLANTES

Généralités.....8

1-Propriétés physiques.....10

2-Propriétés chimiques.....11

3-Propriétés électriques.....13

a/constante diélectrique.....13

b/facteur de pertes.....13

c/rigidité diélectrique.....16

4-Mesures pratiques pour la conservation de l'huile
en service.....32

CHAPITRE III

EQUIPEMENT DU LABORATOIRE POUR LES

RECHERCHES EXPERIMENTALES

Généralités.....35

1-Dispositif pour essais de la rigidité diélectrique
des huiles isolantes du laboratoire de l'ENPA.....36

2-Autres accessoires.....43

CHAPITRE IV

ETUDE D'UN LABORATOIRE POUR LES ESSAIS DE
LA RIGIDITE DIELECTRIQUE SOUS TENSION DE 50Hz

Généralités.....46
1-Instructions détaillées et basées sur les normes...46
2-Accessoires pour le nettoyage et le rinçage.....49

CHAPITRE V

ESSAIS DE RIGIDITE DIELECTRIQUE SOUS 50Hz

Généralités.....51
1-Mesure de la rigidité diélectrique.....51
2-Caractéristique : $U = f(\theta)$55
3-Caractéristique : $U = f(e)$58
CONCLUSIONS.....60
BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Les huiles isolantes connaissent une utilisation très importante dans la technique des HAUTES-TENSIONS. Cette importance est due au fait que, dans les huiles isolantes, en tant que liquides, les distances intermoléculaires sont faibles, et alors elles présentent des rigidités diélectriques plus élevées que les gaz, donc elles assurent un très bon isolement.

De plus leur fluidité suffisante, permettant une bonne circulation dans les canaux de refroidissement, assure un bon refroidissement des appareils électriques.

Parmi les diélectriques liquides, les huiles minérales sont actuellement les plus utilisées. Elles présentent une inaltérabilité assez bonne, afin que leurs propriétés, dans les conditions d'utilisation normale, se conservent assez longtemps en service.

Les huiles sont caractérisées d'une façon générale, par leurs propriétés physiques, chimiques et électriques. Nos recherches se sont limitées à l'étude de quelques caractéristiques électriques, en particulier l'étude de la tension de claquage en fonction de l'état de l'huile. Cette tension de claquage dépend de:

- * Plusieurs facteurs caractérisant la composition chimique des huiles, que nous ne pouvons pas étudier ici.
- * La pureté de l'huile (contenu d'eau, de gaz et de particules solides).
- * La répartition du champ électrique entre les électrodes de mesures.

C'est donc un domaine où la normalisation est particulièrement nécessaire. Les normes des différents pays et les Recommandations de la Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I.) définissent les conditions et

les méthodes de mesures de la tension de claquage des huiles isolantes.

Jusqu'à présent, un laboratoire d'essai de rigidité diélectrique des huiles isolantes était inexistant au sein de l'Ecole Nationale Polytechnique d'ALGER, malgré l'existence d'un équipement important.

Notre étude consiste à créer à partir de l'équipement existant, un laboratoire d'essai de rigidité diélectrique des isolants liquides, qui servira de salle de travaux pratiques de Haute-Tension pour les étudiants.

Nous espérons que ce laboratoire, à part une orientation didactique au sein de l'Ecole Nationale Polytechnique, pourra servir pour les essais des isolants liquides des différentes Sociétés Nationales, en particulier la SNIC, la SONATRACH et même des utilisateurs comme la SONEGAS.

// CHAPITRE I //

RAPPEL SUR LA TENSION DE PERFORATION DES

DIELECTRIQUES LIQUIDES

- GENERALITES

1- MECANISME DE PERFORATION ET TENSION DE CLAQUAGE.

2- INFLUENCE DES DIVERS FACTEURS SUR LA TENSION

DE CLAQUAGE ET PHENOMENES APPARAISSANT AU

COURS DU CLAQUAGE.

I/RAPPEL SUR LA TENSION DE PERFORATION DES DIELECTRIQUES LIQUIDES :

Dans ce chapitre, on rappellera brièvement le mécanisme de perforation des liquides isolants et leur tension de claquage. Par la suite ils seront analysés les divers facteurs qui favorisent et influencent le mécanisme de perforation et les phénomènes apparaissant au cours du claquage.

1-Mécanisme de perforation et tension de claquage :

Le mécanisme de perforation des diélectriques liquides s'explique pour les trois cas particuliers suivants susceptibles d'apparaître :

- lorsque les liquides sont purs et ionisés par les rayons cosmiques et soumis à un champ électrique.
- lorsqu'ils sont purs et non ionisés ou très peu ionisés mais soumis à un champ électrique.
- et le cas général, ils sont impurs, initialement ionisés et soumis à un champ électrique. C'est le cas le plus courant.

Dans le premier cas, les liquides, en général, sont ionisés par les rayons cosmiques : c'est ce qu'on appelle l'ionisation initiale. Par conséquent, il y a dans le liquide la présence de particules polarisées libres. Soumises à un champ électrique, ces particules sont accélérées par les forces du champ et se déplacent dans sa direction. Au cours de ce déplacement elles rencontrent

des atomes ou des molécules du liquide. Si le choc est suffisamment fort, l'atome se dissocie en deux ions, qui peuvent reprendre le même rôle que les précédents, c'est à-dire, qu'à leur tour, ils vont être accélérés et bombarderont d'autres atomes et molécules. Ainsi on obtient un phénomène d'avalanche, qui, dans le cas d'une forte intensité du champ et une puissance d'alimentation suffisante, peut conduire à la formation d'une étincelle qui, dans le cas favorable, peut conduire à la formation d'un arc électrique.

Dans le second cas, lorsque les liquides non ionisés ou très peu ionisés sont soumis à une valeur de la tension à laquelle correspond une intensité de champ suffisamment forte, les forces électriques dues à ce champ arracheront les électrons à des atomes ou des molécules du liquide. Ceci provoque un déplacement des ions vers l'électrode opposée. Dans ce cas aussi il y a donc un passage d'un courant électrique. Si l'intensité du champ augmente encore jusqu'à une certaine valeur critique, il s'établira entre les deux électrodes un courant tellement fort, pouvant conduire à la formation d'une étincelle ou d'un arc.

Dans le cas général, qui correspond à un liquide impur, le mécanisme de perforation s'explique par l'augmentation de l'intensité du champ aux endroits où se trouvent les différentes particules chargées : bulles d'air et de gaz brûlés, particules solides en suspension et de l'eau.

L'influence d'une quantité minime de matières étrangères dans les liquides isolants peut donc jouer un rôle décisif sur le mécanisme de perforation : l'étincelle entre les deux électrodes aura lieu par suite de la formation d'un pont de particules conductrices (gouttes d'eau et fibres humides) ou de bulles de gaz perforé. C'est pour cette raison que la présence des particules étrangères dans les liquides isolants diminue sensiblement leur rigidité diélectrique et qu'on procède à leur déshydratation et à leur filtration, permettant ainsi l'élimination de ces particules.

2-Influence des divers facteurs sur la tension de claquage et phénomène apparaissant au cours du claquage :

Dans le traitement des liquides isolants on rencontre deux sortes de particules : l'eau et la cellulose. La présence des gouttelettes d'eau dans un champ électrique a pour conséquence la déformation de celles-ci dans le sens du champ ce qui conduit à la diminution de l'épaisseur effective du diélectrique.

La présence des particules de cellulose conduit à la formation de ponts stables dans la direction du champ et ces ponts se maintiennent même après la disparition de la tension.

Les particules étrangères, dans les liquides isolants, sont surtout gênantes dans le cas des champs non homogènes (système d'électrodes à pointes), Dans ce cas il se produit un mouvement du liquide appelé vent électrique.

CE vent a pour conséquence le déplacement des particules d'une électrode à l'autre donc la formation de nouveaux ponts et entraîne une diminution de la rigidité diélectrique. Effectivement, les forces du champ dirigent toujours les particules aux endroits où l'intensité est la plus grande (dans le cas du système d'électrodes à pointes, ces endroits sont bien des électrodes).

Le déplacement des particules varie en fonction de la variation de l'intensité di champ par rapport au temps. Dans le cas de la tension continue (champ non variable) les particules se dirigent dans le sens du champ jusqu'à l'électrode opposée, se chargent d'une quantité d'électricité de polarité correspondant à celle de l'électrode et par la suite, elles se dirigent (toujours dans le sens du champ) dans la direction opposée et ce cycle se répète. Si cette particule est humide, il se formera un pont conducteur court-circuitant une partie du liquide, correspondant à la longueur des particules.

Dans le cas du champ périodiquement variable, les particules n'arrivent pas à suivre le parcours total entre les électrodes à cause de la variation de la polarité des forces du champ. Elles restent en général toujours dans la zone où le champ est le plus fort, c'est-à-dire dans la zone de claquage.

La probabilité de claquage dépend de la distance disruptive; elle est plus grande quand cette distance est petite.

Dans le cas de distances disruptives grandes,

la formation d'un pont constitué par les particules conductrices est peu probable. Il apparaît seulement des ponts partiels, qui déforment un peu le champ et conduisent à un claquage à des valeurs faibles de la tension. Durant le claquage, les ponts conducteurs sont détruits, la résistance de la distance disruptive augmente de nouveau, et la tension sera supportée à nouveau.

// CHAPITRE II //

CARACTERISTIQUES DES HUILES ISOLANTES

- GENERALITES

1- PROPRIETES PHYSIQUES

2- PROPRIETES CHIMIQUES

3- PROPRIETES ELECTRIQUES

a/ constante diélectrique

b/ facteur de pertes

c/ rigidité diélectrique

4- MESURES PRATIQUES POUR LA CONSERVATION
DE L'HUILE EN SERVICE

II/CARACTERISTIQUES DES HUILES ISOLANTES :

Parmi les isolants liquides, les plus utilisés dans la Technique des Hautes-Tensions, (transformateurs et appareils électriques) sont :

a/les huiles minérales légères obtenues par distillation fractionnée du pétrole.

b/les carbures d'hydrogène chlorés qui sont des produits synthétiques et connus sous l'appellation commerciale de PYRALÈNES.

Ces deux types d'isolants liquides constituent l'isolement de base des transformateurs de haute tension. Les huiles minérales légères sont en utilisation depuis longtemps, tandis que les pyralènes sont des isolants de nouvelle date. Par rapport aux huiles minérales, les pyralènes ont un avantage - ils sont incombustibles et remplacent l'huile toutes les fois où le danger d'incendie peut survenir à la suite d'une avarie du transformateur et peut avoir des conséquences particulièrement graves, (industries textiles, du bois, du papier, centres urbains, ateliers, etc ...).

En outre les pyralènes ont sur les huiles minérales d'autres avantages: ils ont une constante diélectrique de l'ordre de grandeur de celle des isolants solides à base de papier, ce qui permet d'éviter les distorsions du champ électrique, et aussi une très bonne stabilité

à la chaleur.

Les huiles ont des pertes diélectriques faibles et un coefficient d'impulsion élevé.

Le tableau ci-dessous groupe les caractéristiques principales des deux types d'isolants liquides :

Caractéristiques	Huile minérale	Pyralène
densité.....g/cm ³ à 20°C	0,89	1,56
à 100°C	0,84	1,48
chaleur spécifique...cal/g	0,40	0,28
coefficient de dilatation par degré entre 20 et 100°C	0,0007	0,0007
point d'inflammabilité (vapeurs).....) °C	165	*
viscosité...centistokes à 20°C	35	20
à 100°C	3,5	1,5
conductibilité calorifique cal/cm ² /°C/cm	0,0003	0,00035
constante diélectrique à 20°C	2,2	4,3
rigidité diélectrique...V	60.000	60.000
éclateur U.T.E sphères : 12,5 cm écartement : 5mm		

* éclair à 165°C non suivi de combustion

Les huiles minérales restent encore valables malgré l'utilisation dans un avenir proche des produits synthétiques tels que les askarels (pyralène). La connaissance des propriétés essentielles de ces huiles, c'est-à-dire les propriétés physiques, chimiques, électriques, mécaniques et thermiques, est donc primordiale pour leur emploi et leurs applications. En effet, la durée de vie

d'une machine électrique en général, et sa fiabilité, dépendent essentiellement de la qualité du diélectrique employé et de sa judicieuse mise en oeuvre.

En ce qui concerne les huiles isolantes, seules les propriétés physiques, chimiques, et électriques, seront développées.

1-Propriétés physiques :

L'ensemble des propriétés physiques permettent de définir le domaine de l'emploi de l'huile isolante. On citera les propriétés retenues pour la plupart par l'U.T.E.. Il s'agit essentiellement de la densité, du coefficient de conductivité thermique et la viscosité.

a/la couleur : les huiles minérales sont en général faiblement colorées en jaune.

b/la densité : la densité des huiles à 20°C est située entre 0,85 et 0,92 kg/dm³ (U.T.E. C27-101). Elle varie suivant la nature de l'huile. Parfois on fixe les limites de la densité dans le but d'amener une décantation rapide de l'eau, venue accidentellement en contact avec l'huile.

c/le coefficient de dilatation thermique : il varie entre 0,7 et 0,8 (U.T.E. C27-101), suivant la densité de l'huile.

d/la chaleur spécifique : c'est la chaleur qu'il faut fournir à un gramme d'huile pour élever sa température de 1°C. Elle varie entre 0,4 et 0,5 cal/g/°C.

e/le coefficient de conductivité thermique : il représente la capacité de l'huile à conduire la chaleur. Ce coefficient varie entre 0,0003 et 0,0004 .

f/la viscosité : la viscosité d'un liquide est la propriété de ce liquide résultant de la résistance qu'oppose ses molécules à une force tendant à les déplacer par glissement dans son sein . L'huile doit-être suffisamment fluide pour amener par convection une bonne évacuation de la chaleur dégagée dans les appareils électriques. La viscosité doit-être inférieure à 16,6 centistokes à 50°C (U.T.E. C27-101).

2-Propriétés chimiques :

Les propriétés chimiques sont aussi liées directement à l'emploi de l'huile isolante. Le point éclair et le point de feu sont considérés comme des propriétés importantes vu les conséquences qu'elles peuvent engendrer (incendie, explosion).

a/le point éclair : le point éclair d'un liquide est la température minimale (en vase clos) à laquelle il faut le porter pour que les vapeurs émises s'allument spontanément en présence d'une flamme dans les conditions normales de température et de pression. Généralement elle est supérieure à 146°C (U.T.E. C27-101)

b/le point de feu : c'est la température minimale à laquelle l'huile soumise à une petite flamme présentée à sa surface dans des conditions définies, s'allume et continue à brûler pendant un temps déterminé. Selon

l'U.T.E. C27-101 le point de feu d'une huile isolante doit-être supérieur ou égal à 165°C.

c/la teneur en cendres : elle est extrêmement faible pour les huiles bien raffinées (0,001%). C'est le pourcentage en masse de résidus résultant de la calcination du produit dans les conditions de l'essai.

d/les pertes par volatilité : elles sont en général identiques pour les huiles de même viscosité . C'est une caractéristique peu importante et non retenue par l'U.T.E..

e/l'acidité et l'alcalinité : l'acidité exprime le pourcentage des acides dissous dans l'huile (H_2SO_4 , acide oléique). La valeur limite fixée par U.T.E. C27-101 est de 0,228% indice acide.

L'alcalinité permet de déceler la présence de savons et aussi une épuration suffisante de l'huile.

f/la teneur en soufre : l'huile ne doit pas renfermer des produits sulfurés susceptibles de corroder à chaud une lame de cuivre poli.

g/le point de congélation : il indique la température à laquelle une huile préalablement congelée se met à couler librement. Elle est inférieure ou égale à -20°C.

h/la stabilité chimique : les caractéristiques chimiques principales ne suffisent pas pour établir la qualité d'une huile. Cette dernière s'évaluera par des propriétés particulières qu'on groupe sous le terme d'oxydabilité. Plus une huile est vieille plus sa stabilité chimique diminue.

3-Propriétés électriques :

La permittivité relative, le facteur de pertes, la rigidité diélectrique sont considérés . comme les caractéristiques électriques essentielles. Ces caractéristiques sont très utiles à connaître dans l'application des huiles isolantes. Par la suite nous donnerons quelques renseignements sur ces caractéristiques.

a/constante diélectrique ou permittivité relative :

elle est définie comme étant le rapport de la capacité d'un condensateur ayant pour diélectrique le liquide isolant(huile), à la capacité du même condensateur ayant le vide pour diélectrique : $\epsilon = C/C_v$. Elle est comprise entre 2 et 2,2 pour toutes les huiles minérales. On a cherché à utiliser des huiles fortement aromatiques de permittivité atteignant 3,5 à 4, mais du fait de leur stabilité chimique faible, elles ne convenaient pas. La constante diélectrique décroît avec la fréquence (cf. fig. 3.1). La constante diélectrique n'est influencée par aucun paramètre que ce soit physique ou chimique : donc elle caractérise une huile isolante.

b/facteur de pertes $\text{tg} \delta$: lorsqu'on soumet, à un champ électrique alternatif, un isolant, celui-ci est le siège de pertes désignées par pertes diélectriques. Le facteur de pertes varie avec la température, la fréquence, la tension et les impuretés(eau, fibres, etc...). Les figures 3.2 a,b,c, illustrent ces variations.

D'après la fig. 3.2.a, le facteur de pertes passe par un maximum quand la fréquence croît. On remarque alors que les pertes diélectriques sont assez importantes dans l'intervalle $[f_1, f_2]$ et surtout pour la fréquence f_0 pour laquelle le facteur de perte est maximum $\text{tg}\delta_0$.

En alternatif, les diélectriques liquides doivent être utilisés pour des fréquences extérieures à l'intervalle $[f_1, f_2]$ correspondant à des pertes minimales.

L'angle des pertes augmente quand la température croît.

Cependant, on remarque que les pertes restent sensiblement constantes jusqu'à une certaine température θ_c appelée température critique. Au-dessus de cette dernière les pertes augmentent très rapidement. Pour limiter les pertes, il est préférable que la température de l'huile doit être inférieure ou égale à la température critique. (cf. fig. 3.2.b)

Pour mettre en évidence l'influence de température sur le facteur de pertes, on donnera les deux valeurs expérimentales suivantes :

$$\text{à } 20^\circ\text{C} \quad \text{tg}\delta = 0,0008$$

$$\text{à } 100^\circ\text{C} \quad \text{tg}\delta = 0,033$$

La caractéristique facteur de pertes en fonction de la tension appliquée (fig. 3.2.c) présente un coude appelé seuil critique d'ionisation. Autrement dit, on aura une plage de tension correspondant à ce seuil pour laquelle l'huile commence à s'ioniser.

Pour les tensions en amont de la plage les pertes sont constantes; par contre elles augmentent avec la tension pour des tensions en aval de la plage.

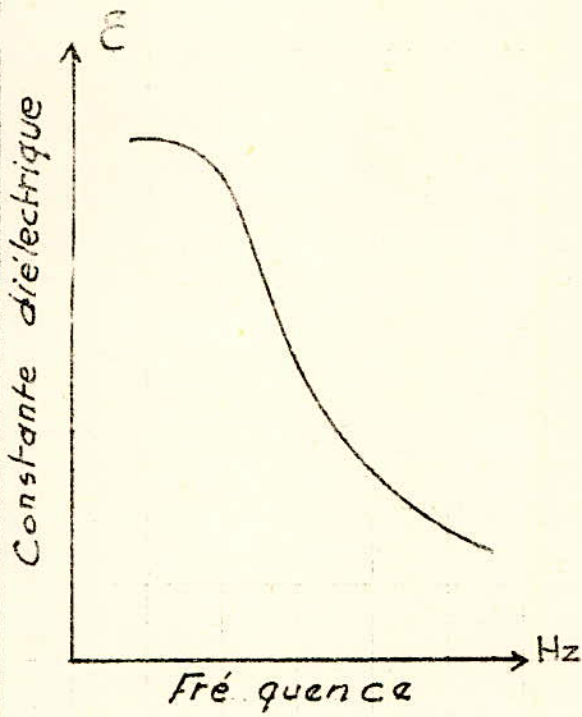


Fig. 3.1

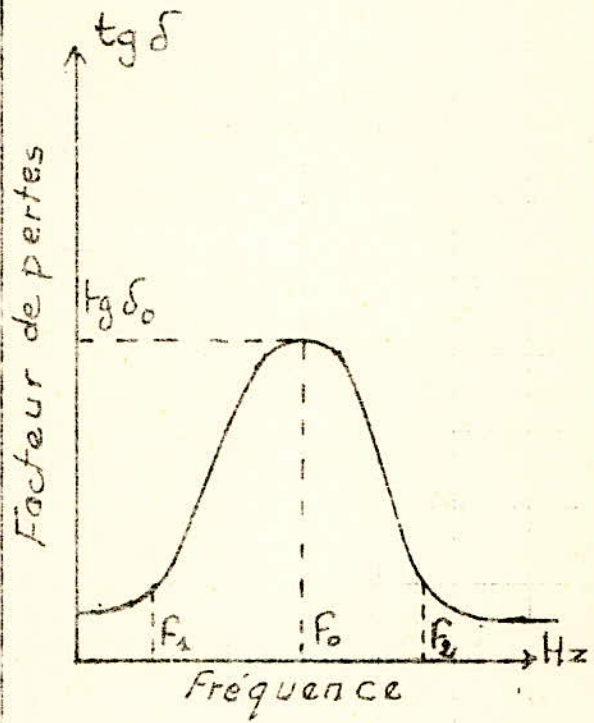


Fig. 3.2. a.

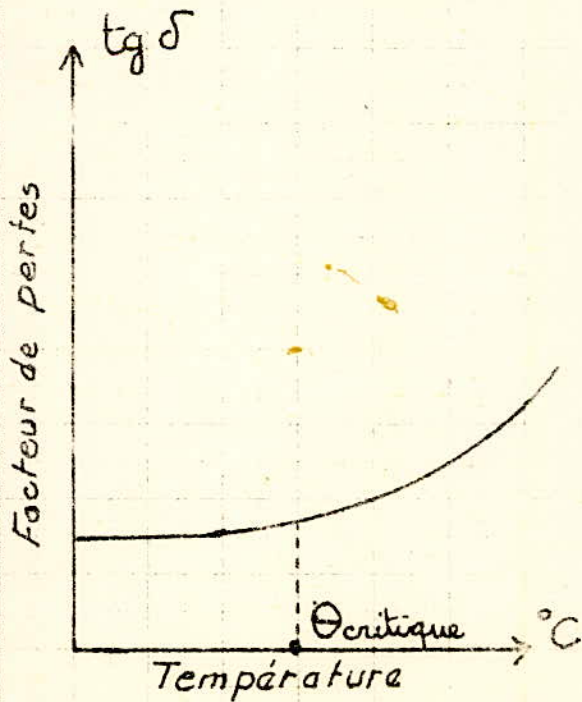


Fig. 3.2. b.

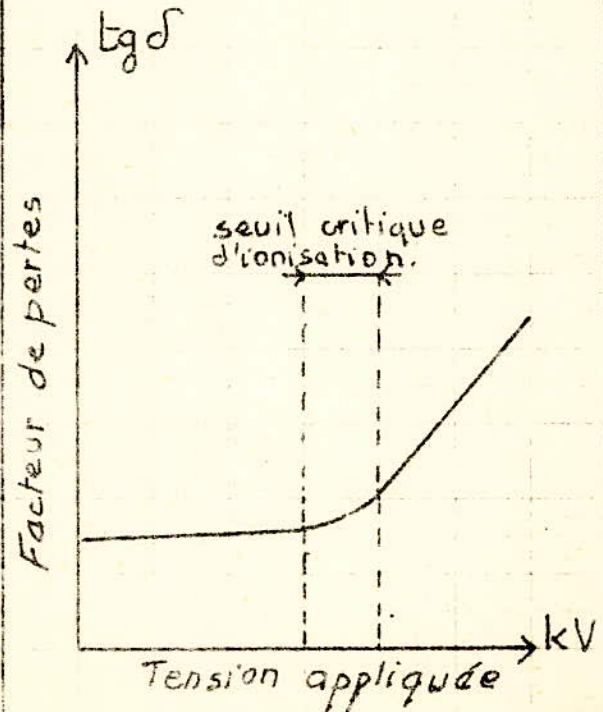


Fig. 3.2. c.

c/rigidité diélectrique :

C'est la valeur du gradient de potentiel (intensité du champ maximal) au-dessus duquel le diélectrique perd ses qualités d'isolant et se comporte comme un conducteur.

Cela signifie que ce gradient provoque la perforation du diélectrique.

La rigidité diélectrique des huiles est une grandeur électrique dont la détermination expérimentale est définie par les normes. Malgré cela elle ne constitue pas un bon critère de qualité des huiles isolantes mais un essai conventionnel destiné à déceler l'état plus ou moins grand de pollution physique du liquide.

A la rigidité diélectrique des huiles isolantes correspond une valeur donnée de la tension appliquée entre les deux électrodes: c'est la tension de claquage des huiles.

La tension de claquage de l'huile dépend de divers facteurs : la forme du champ, la nature de la tension, du temps d'application de la tension, de la distance des électrodes et de leurs formes, de la température, de la pression, des impuretés (humidité, gaz, fibres, poussières, ...etc).

-1-Influence du champ :

Dans un champ faiblement homogène la tension de claquage est relativement grande et on peut observer un claquage par étincelles entre les deux électrodes sans décharges partielles (effluves, filets lumineux). Cependant, lorsque le champ est fortement non homogène, dans le cas de champs très

intenses, on aura des claquages partiels, se manifestant par effet couronne, puis par étincelle complète, pour une tension plus grande. Un claquage complet par étincelle a lieu, pour des champs non homogènes, seulement à une supérieure, immédiatement après le claquage.

De ce fait, dans l'étude des propriétés électriques d'une huile isolante, il est très important de déterminer la tension à laquelle apparaît la première et unique étincelle. Cette valeur correspond à la tension de claquage de l'isolement. En ce qui concerne les décharges partielles, il est important de déterminer non seulement la tension initiale (début de l'effet couronne peu intensif), mais aussi la tension à laquelle les décharges partielles deviennent très intensives.

Dans un champ relativement homogène, la tension de claquage dépend très fortement du temps de sollicitation. On constate ceci sur la courbe de la fig. 3.3, pour un temps inférieur à 0,001s. Dans l'intervalle 0,01s et 1mn, la tension de claquage devient presque indépendante du temps de sollicitation.

-2-Nature de la tension :

La rigidité diélectrique varie avec la nature de la tension. En effet, elle ne présente pas les mêmes valeurs suivant qu'on applique une tension continue, alternative ou impulsionnelle. Pour une température de 20°C, pour un temps d'application de 1mn, on obtient les valeurs expérimentales

suivantes :	-tension alternative (50Hz)	E=24kV/mm
	-tension continue	E=34kV/mm
	-tension impulsionnelle	34kV/mm

Variation de la Tension de Claquage
 en fonction du Temps de Sollicitation.
 pour un système d'électrodes: Sphère-plan.

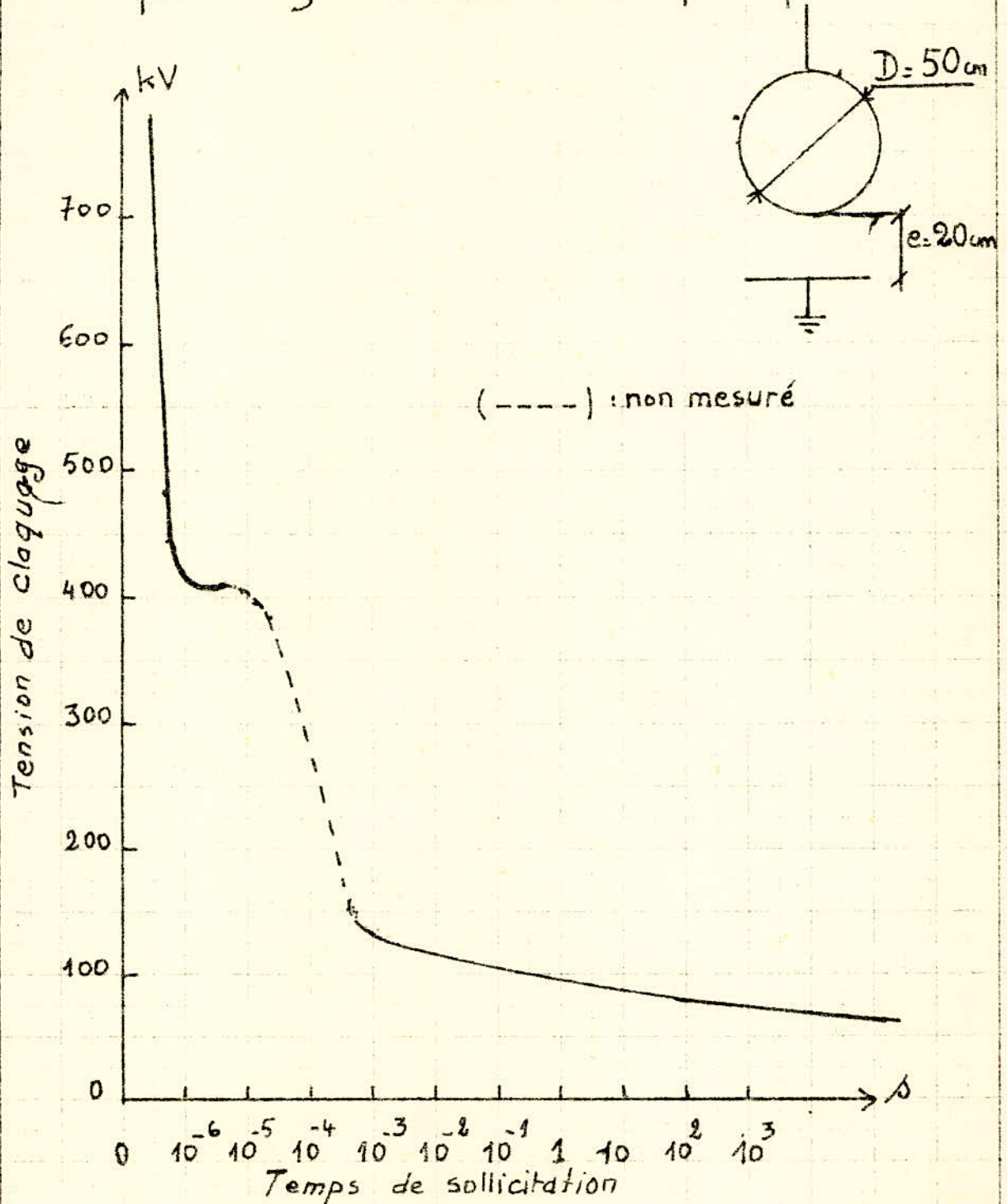


Fig. 3.3.

-3-Influence du temps d'application et de la forme de la tension :

La durée d'application de la tension influe sur la valeur de la rigidité diélectrique.

La tension de claquage de l'huile techniquement pure, dépend de la vitesse d'accroissement de la tension.

Si la tension est augmentée très rapidement, la valeur de la tension de claquage est sensiblement plus élevée.

Si l'accroissement de la tension s'effectue par échelons, la valeur de la tension de claquage dépend alors du temps d'application de chaque échelon.

Plus l'huile est polluée, plus la tension de claquage dépend du temps d'application. Ceci est bien illustré par les courbes de la fig. 3.4.. En effet, on voit que, pour deux huiles de pollution différente donc rigidité différente (34kV et 22kV), la tension de claquage pour un même temps d'application, n'est pas la même pour les deux huiles bien que le système d'électrodes est identique (sphère-plan).

La variation de la tension de claquage avec le temps d'application est moins sensible pour un champ non homogène (système pointe-plan) que pour un champ relativement homogène (système sphère-plan). En se reportant toujours à la fig. 3.4 on remarque que, pour une même huile et pour des systèmes d'électrodes cités ci-dessus, la tension de claquage varie peu; elle est plus grande pour le système pointe-plan.

Variation de la Tension de Claquage en fonction du temps d'application de la Tension (pour différents systèmes d'électrodes et pour des huiles de qualité différente).

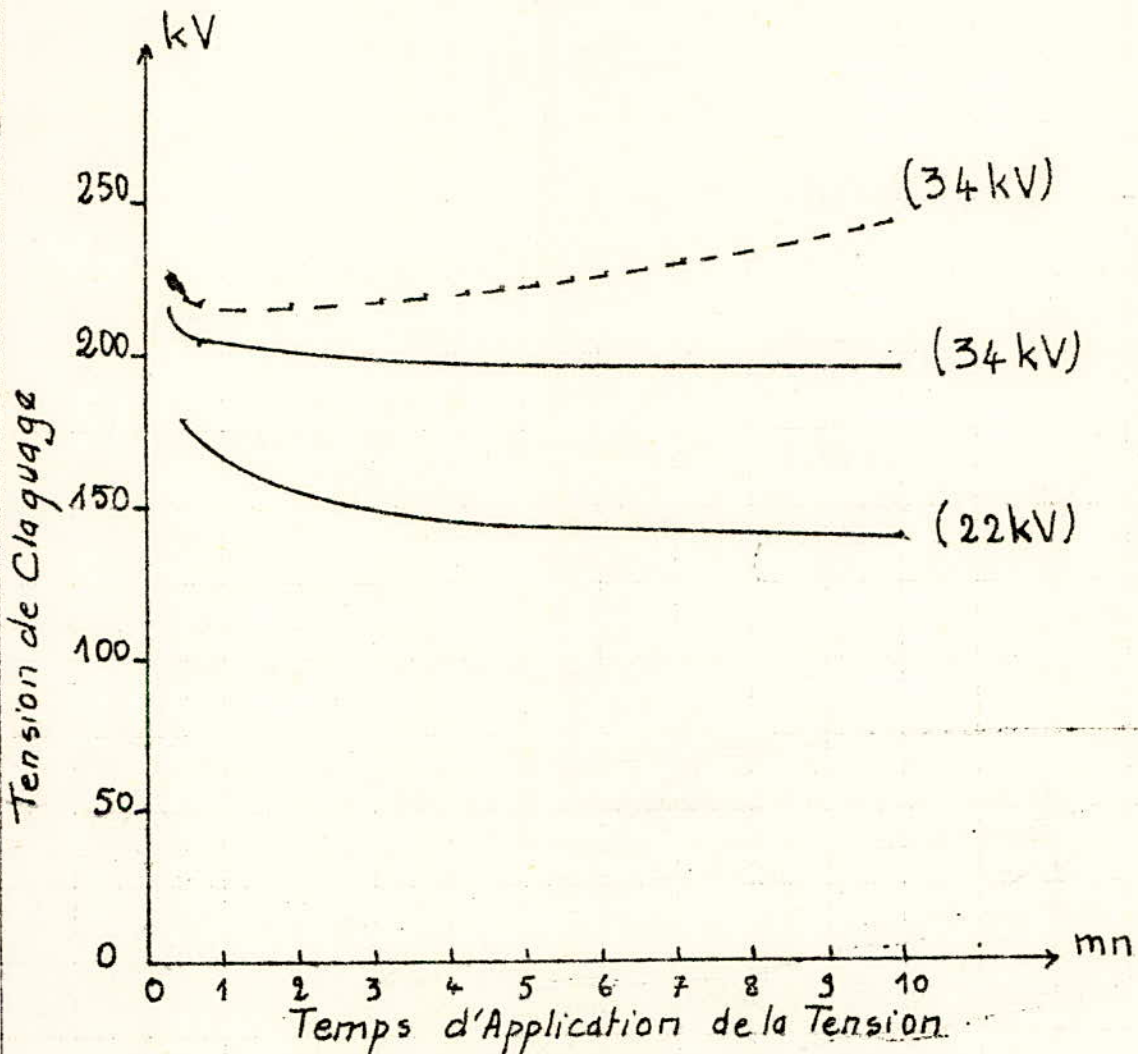
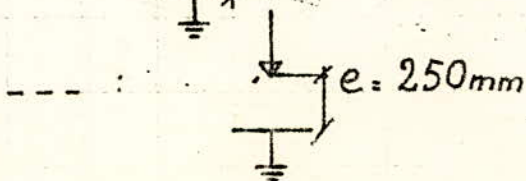
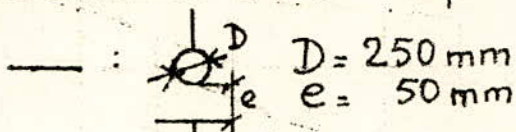


Fig. 3.4

- 22 kV et 34 kV représentent la qualité de l'huile



-4-Distance des électrodes et leurs formes :

La rigidité diélectrique varie en fonction de la distance entre les électrodes, c'est-à-dire avec l'épaisseur du diélectrique, et aussi avec la forme de celles-ci.

D'après les courbes représentées à la fig. 3.5, on voit que la tension de claquage varie avec la distance entre les électrodes quelque soit le système d'électrodes.

Ainsi on peut remarquer que l'allure de la caractéristique tension de claquage en fonction du rapport e/D est la même pour les deux systèmes d'électrodes (sphère-plan et sphère-pointe). Cependant, la tension de claquage varie plus avec le système sphère-plan; ceci prouve que la rigidité diélectrique est fonction de la forme des électrodes. De plus, on remarque qu'on obtient un bon isolement pour un rapport e/D faible. La tension de claquage devient constante quand le rapport e/D dépasse une certaine valeur.

La rigidité diélectrique varie avec la géométrie des électrodes, car c'est au voisinage de celles-ci que les décharges ont la plus grande probabilité de se produire.

En effet, si on prend un système d'électrodes (sphère-plan) et si on procède à des variations du diamètre donc de la surface, on aura une variation de la tension de claquage donc de la rigidité diélectrique. Ceci est illustré par la fig. 3.6 qui montre que la rigidité diélectrique diminue quand la surface des électrodes croît.

Variation de la Tension de Claquage
 en fonction du diamètre de la sphère
 du système d'électrodes.
 (mesures faites à 50Hz).

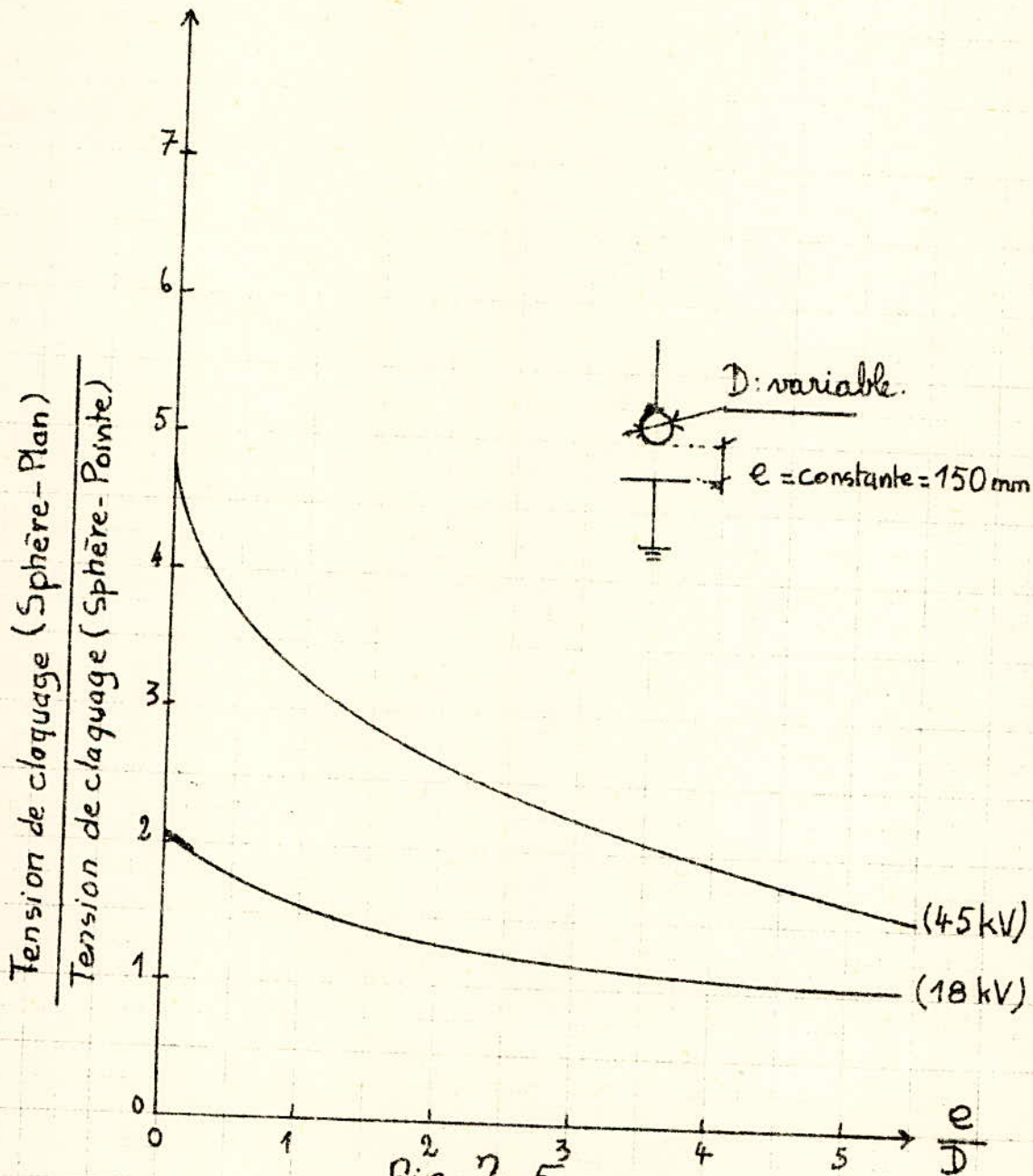


Fig. 3.5

45 kV et 28 kV représentent la qualité de l'huile

Variation de la Rigidité diélectrique
en fonction de la Surface des Electrodes
($\alpha = 50\text{Hz}$).

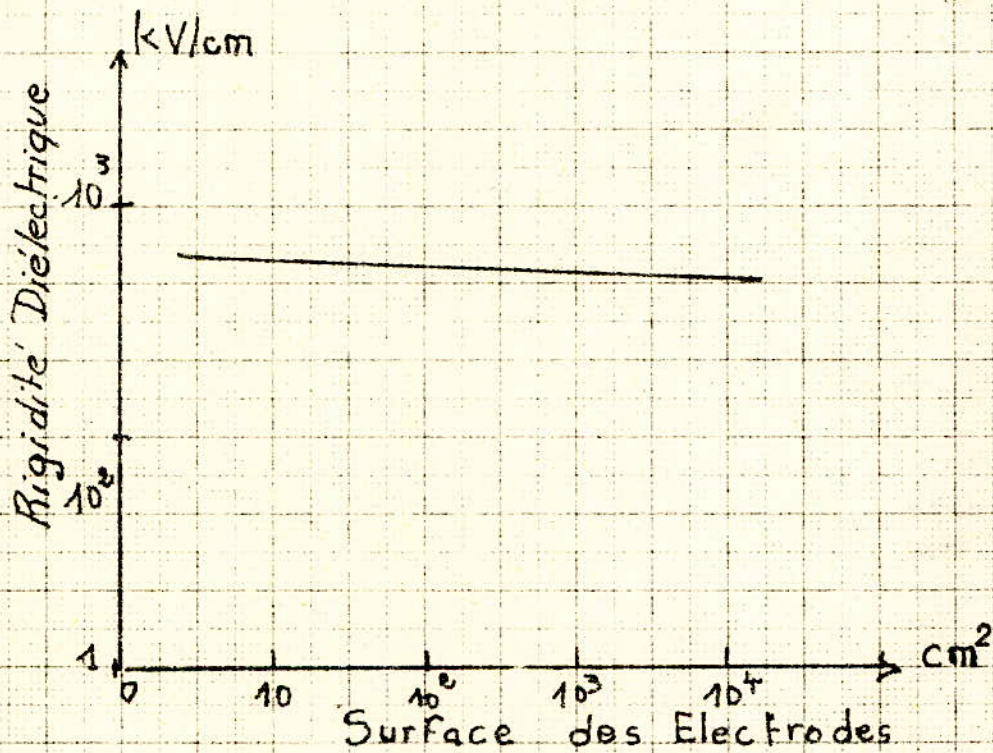


Fig. 3.6

-5-Température :

La tension de claquage dans l'huile , varie d'une façon complexe en fonction de la température. On observe un accroissement de la valeur de la rigidité diélectrique pour une augmentation de température supérieure à 0°C. l'allure de la courbe diffère d'un auteur à un autre .La cause est due aux procédés différents utilisés pour éliminer les impuretés contenues dans l'huile(humidité, gaz, poussières, particules solides, ...). Cela revient à dire que le degré de pureté de l'huile dépend du manipulateur et des moyens utilisés. Plus la température est élevée, plus l'humidité diminue, c'est-à-dire qu'une partie de l'eau se dissout dans l'huile ceci n'étant pas désavantageux et cela peut conduire à une augmentation de la tension de claquage.(cf. fg. 3.7).

Pour de hautes températures, l'eau s'évapore et entraîne avec elle une quantité d'huile sous forme de vapeurs, alors ceci influence la tension de claquage qui diminue de nouveau après un passage par un maximum. Quand on dépasse la température d'ébullition de l'huile, on n'observe plus une variation par échelon de la tension de claquage.

-6-Pression :

La tension de claquage en alternative, de l'huile techniquement pure, dépend de la pression. Si la pression augmente, la tension disruptive croît aussi bien dans un champ homogène que dans un champ non homogène.

Variation de la Tension de Claquage en fonction de la Température pour différents systèmes d'électrodes.

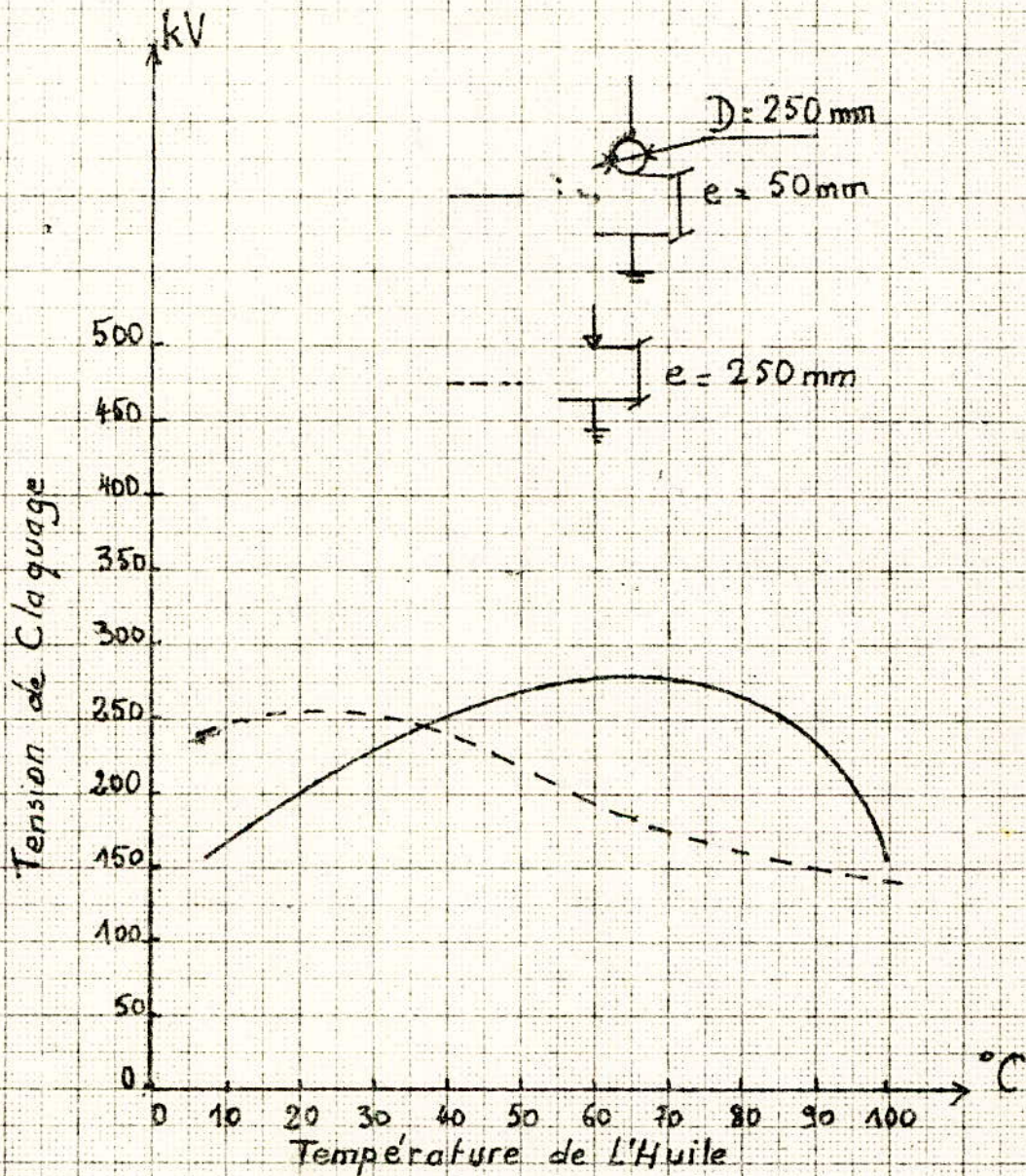


Fig. 3.7

- Temps d'Application de la Tension : 1 mn ?

Au début, l'augmentation de la tension est sensible et pour des valeurs plus grandes de la pression, elle devient faible et notamment, quand la distance entre électrodes est grande. Ceci est illustré par la figure 3.8.

La rigidité diélectrique est indépendante de la pression s'il s'agit d'une huile bien dégazée (fig. 3.9.a).

Par contre, pour une huile techniquement pure, la tension de claquage croît rapidement pour les faibles pressions; elle devient constante par la suite (fig. 3.9b).

-7- Impuretés :

L'humidité influe sur la valeur de la rigidité diélectrique. Pour une humidité minime, la tension de claquage est constante, parce que l'huile peut absorber une quantité bien déterminée d'eau. La quantité supplémentaire se dépose au fond de la cuve et n'a pas d'influence sur la rigidité diélectrique, l'huile étant dépourvue de fibres.

S'il y a présence de fibres dans l'huile, l'humidité agit d'une manière très défavorable; car les fibres sont hygroscopiques (absorbent l'humidité). Alors la permittivité du milieu devient plus grande et les fibres peuvent former plus facilement qu'auparavant, des ponts conducteurs (fig. 3.10). De ce fait la tension de claquage chute brusquement jusqu'à une certaine valeur puis devient indépendante de l'humidité. D'après ces courbes, on voit que, pour avoir une tension de claquage acceptable, autrement dit une rigidité diélectrique satisfaisante, il faut que le pourcentage d'humidité soit

Variation de la Tension de Claquage en fonction de la Pression pour le système à électrodes: Pointe-Plan, et pour différentes épaisseurs: e .

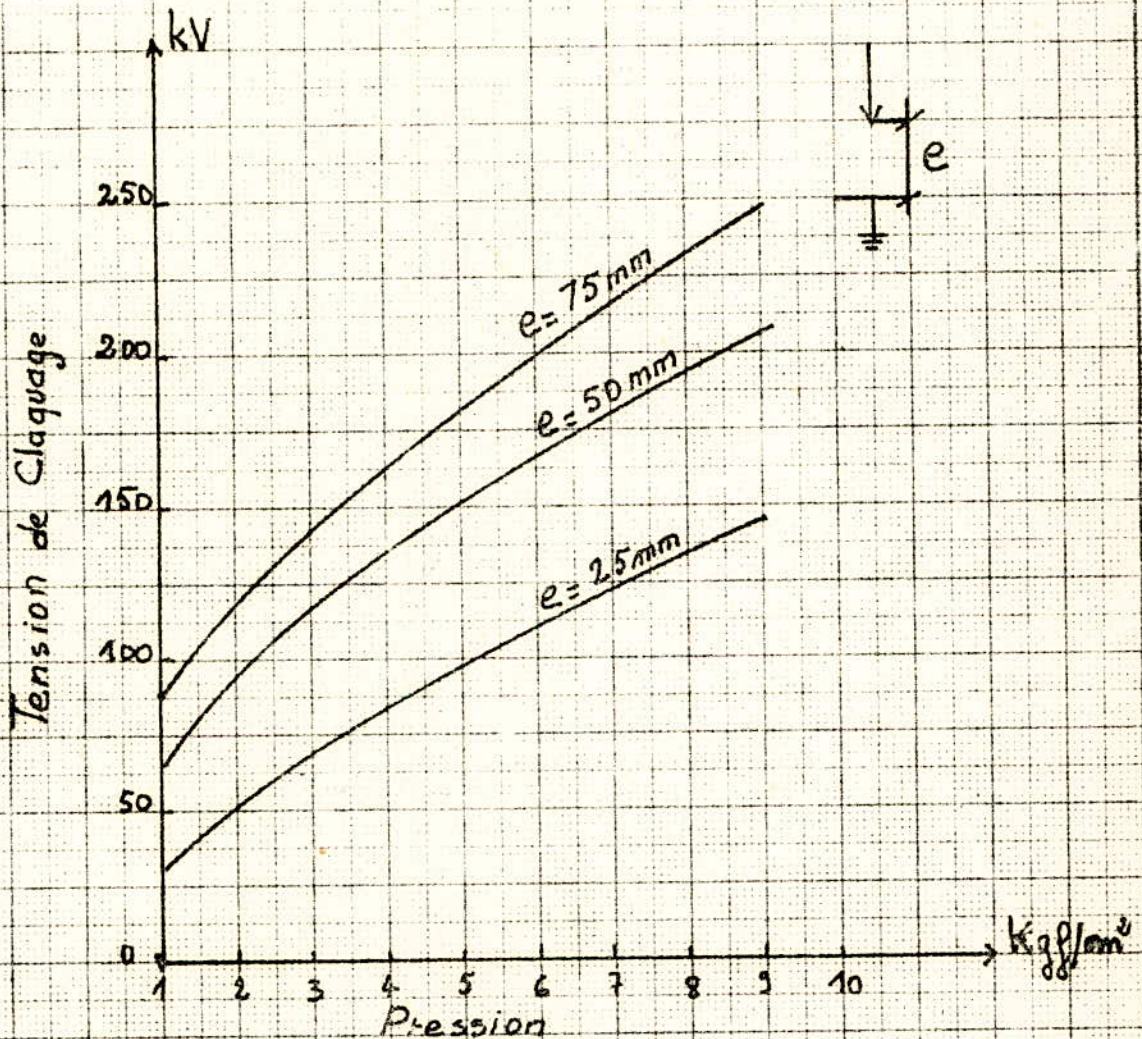


Fig. 3.8.

Variation de la Tension de Claquage
en fonction de la Pression, pour deux
Huiles de qualité différente.

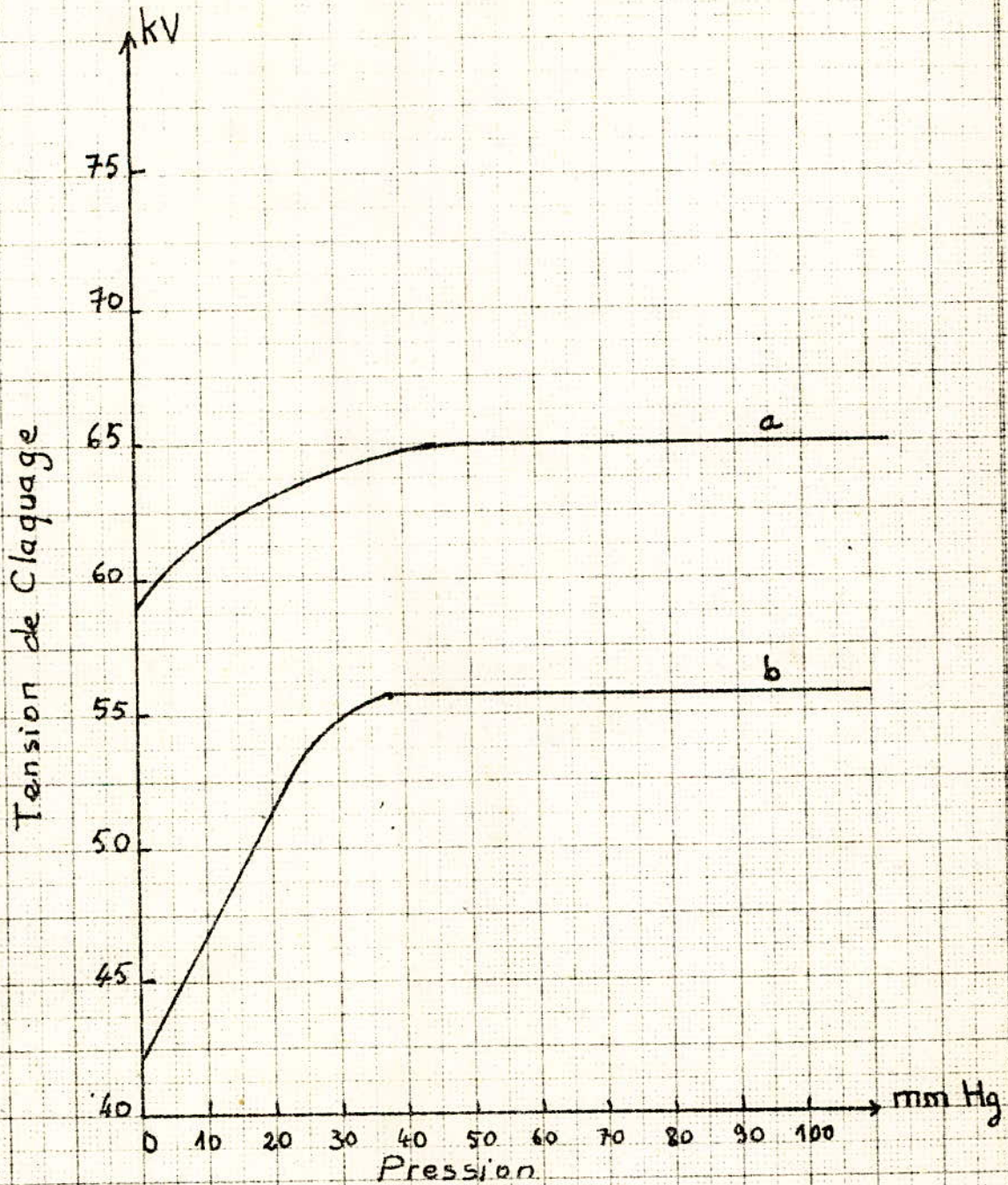


Fig. 3.9

a/ : Huile bien dégazée
b/ : Huile techniquement pure

Variation de la Rigidité Diélectrique
en fonction du Pourcentage d'Humidité

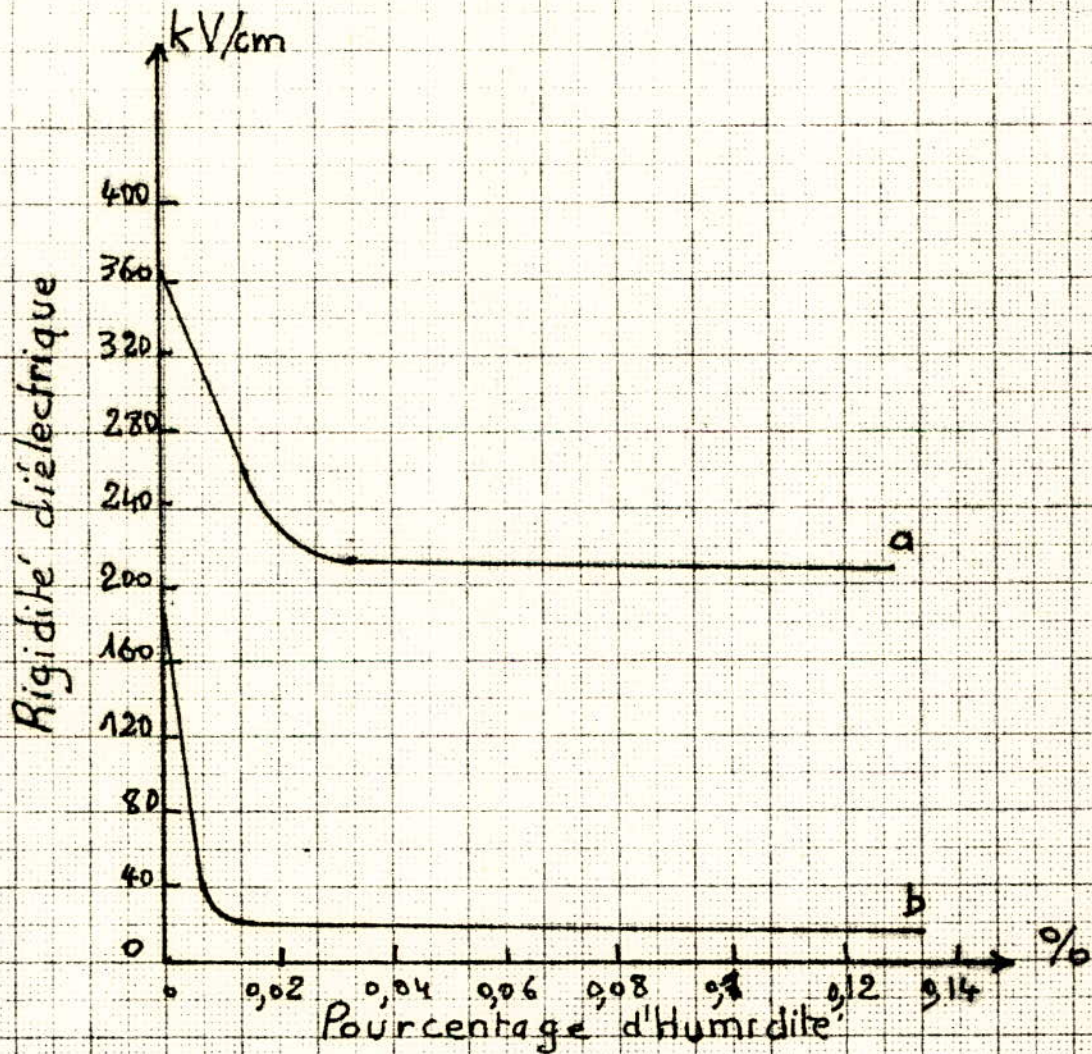


Fig. 3.10

a et b : deux manipulateurs différents.

inférieure à 0,02%.

Les courbes de la figure 3.10 montrent que la tension de claquage varie d'un manipulateur à l'autre.

POUR des températures élevées, la formation du pont conducteur avec les fibres est plus difficile, car les fibres perdent leur humidité et cette eau se dissout dans l'huile. Dans un champ relativement homogène (sphère-plan), la tension de claquage varie presque linéairement avec la qualité de l'huile. La courbe n'est pas complètement linéaire pour les huiles de bonne qualité. POUR un champ non homogène (pointe-plan), la tension de claquage est indépendante de la qualité de l'huile (fig. 3.11).

La quantité de composants existant dans l'huile est importante à déterminer, surtout l'humidité.

La détermination de la quantité d'eau contenue dans l'huile est difficile à obtenir pour une huile propre du point technique. Dans les normes de tous les pays, il est prescrit de contrôler en permanence le degré d'humidité de l'huile en service.

En conclusion, sur les caractéristiques principales des huiles isolantes, on voit d'après ce qui précède que la valeur de rigidité diélectrique d'une même huile dépend de divers facteurs cités plus haut, et en l'occurrence la forme du champ entre électrodes, la géométrie des électrodes, la durée d'application de la tension et sa nature. Ceci nous montre que sa mesure expérimentale est quelque peu difficile.

3.1

Variation de la Tension de Claquage en fonction de la Qualité de l'Huile pour différents systèmes d'électrodes.

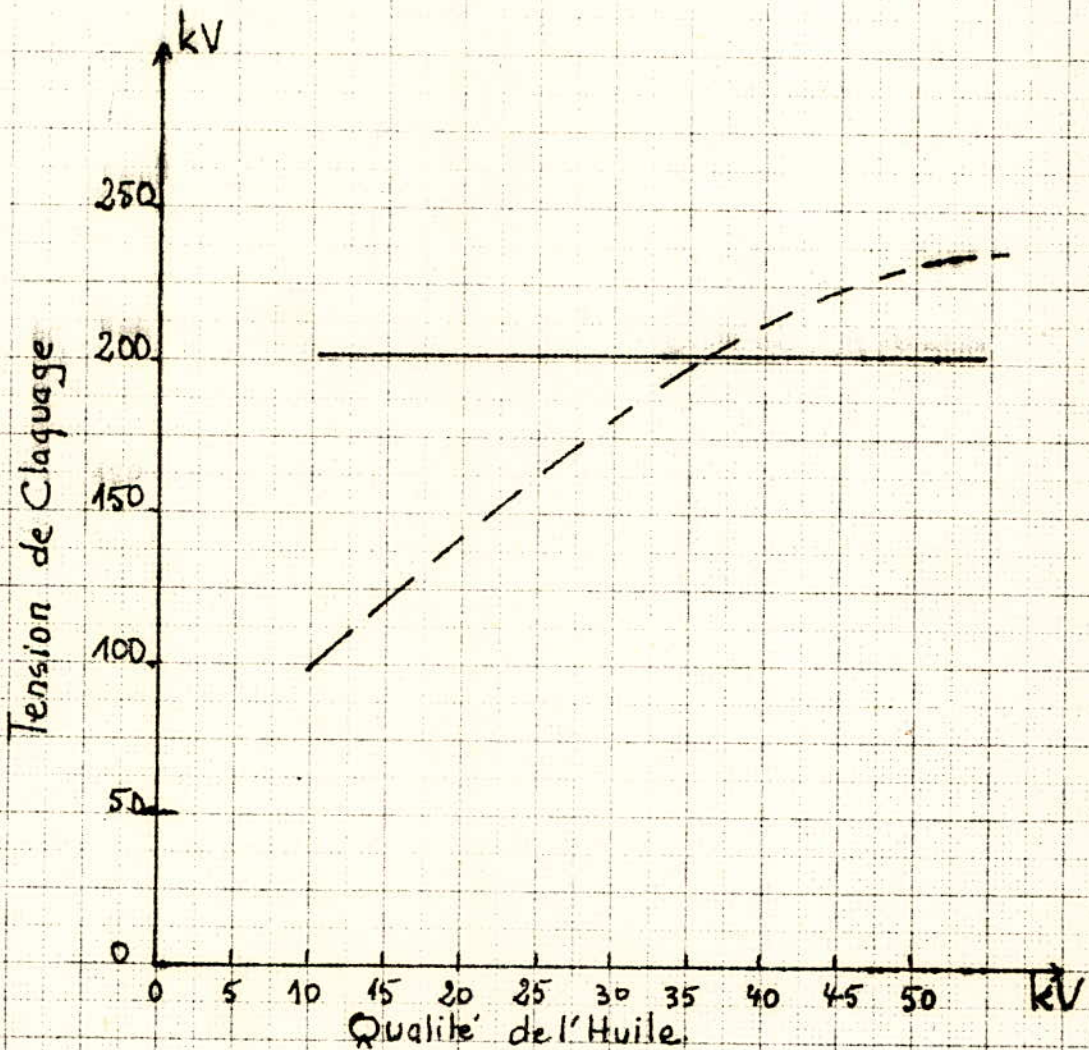
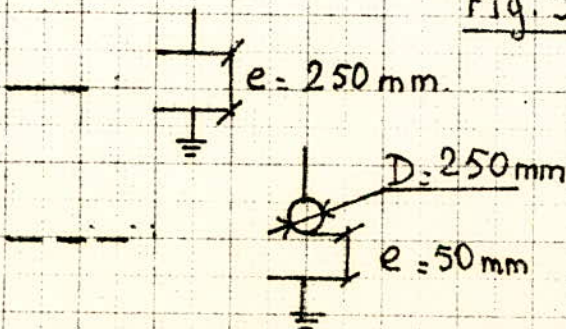


Fig. 3.11



Pour palier à ces difficultés, les organismes de normalisation ont établi des normes (U.T.E et C.E.I) définissant la géométrie du système d'électrodes, la forme de la tension d'essai et sa durée d'application ainsi que la façon de procéder aux essais.

4-Mesures pratiques pour la conservation de l'huile en service :

Le comportement des huiles isolantes dans les transformateurs de puissance, de mesure, dans les disjoncteurs et autres appareils, nécessitent une surveillance de l'état de l'huile (état chimique et état électrique), afin de déterminer les corps à éliminer, qui diminuent la valeur de la rigidité diélectrique.

La présence de corps étrangers à l'huile fait que cette dernière vieillit physiquement et il faut la régénérer ou la changer complètement pour conserver un bon isolement de l'appareil en question.

Le vieillissement de l'huile est dû à l'influence des traces d'oxygène, d'ions métalliques, de la lumière et du champ électrique intense. Ces agents nuisibles engendrent une augmentation du facteur de pertes et la formation de boue (oxydation de l'huile) réduisant la rigidité diélectrique. Il se forme aussi des gaz (gaz carbonique, oxygène), des hydrocarbures (alcanes, alcènes), qui sont partiellement solubles dans l'huile.

Il est donc nécessaire de surveiller le vieillissement

de l'huile en service. Le contrôle du degré de vieillissement s'exécute en mesurant l'angle des pertes de l'huile (cette mesure se fait à l'aide du pont de Schering).

La chromatographie en phase gazeuse permet de déceler les proportions de gaz dissous dans l'huile.

L'évaluation systématique des résultats obtenus par les mesures chimiques et électriques a provoqué de remarquables progrès.

Ces progrès ont abouti aux mesures pratiques à prendre pour mieux conserver l'huile en service.

-Il faut procéder à un choix meilleur des huiles pour des exigences plus élevées.

-La mesure du facteur de pertes sera introduite comme critère complémentaire dans le comportement des huiles après vieillissement et leur surveillance en service, sans oublier l'essai de rigidité diélectrique.

-L'utilisation d'huiles inhibées (les inhibiteurs ont pour rôle de ralentir l'oxydation de l'huile et absorbent les gaz formés) permet d'augmenter la résistance au vieillissement.

-Il faut sélectionner les matières isolantes et les parties constructives en contact avec l'huile en service, grâce à des analyses systématiques sur modèles réduits. Pour cette mesure pratique, la permittivité joue un grand rôle pour obtenir une bonne coordination de l'isolement.

On adoptera des systèmes de fermeture hermétique

sur les appareils contenant l'huile, pour empêcher toute introduction d'eau, d'air et de lumière.

Ces mesures préventives permettront d'augmenter la durée de vie de tout appareil électrique contenant l'huile comme milieu isolant et aussi son rendement du point de vue économique.

// CHAPITRE III //

EQUIPEMENT DU LABORATOIRE POUR LES RECHERCHES

EXPERIMENTALES

- GENERALITES

1- DISPOSITIF POUR ESSAIS DE LA RIGIDITE DIELECTRIQUE

DES HUILES ISOLANTES DU LABORATOIRE DE L'E.N.P.A.

2- AUTRES ACCESSOIRES

III/EQUIPEMENT DU LABORATOIRE POUR LES RECHERCHES EXPERIMENTALES :

Dans le cadre d'une étude expérimentale des huiles isolantes et la création d'un laboratoire d'essais de rigidité diélectrique de celles-ci, il s'est avéré nécessaire d'équiper ce laboratoire pour procéder aux essais de claquage de l'huile.

Les éléments essentiels du dispositif d'essai de la rigidité diélectrique des huiles isolantes, sont constitués par le transformateur élévateur et le spintermètre.

Le dispositif d'essai est d'un usage industriel. Sa conception, du type mobile sur roulette, permet de procéder à des essais de claquage de l'huile à côté même du transformateur ou autre appareil contenant de l'huile isolante.

(constructeur du dispositif : WALTER).

On dispose aussi d'un second dispositif pour le claquage de l'huile, adopté plus spécialement pour les laboratoires de recherches. Le principe de fonctionnement et les protections restent les mêmes. Cet appareil est fourni par le constructeur : SIEMENS.

Pour éliminer certains facteurs expérimentaux influençant la valeur de la rigidité diélectrique telle que, par exemple, la façon d'augmenter la tension, les deux dispositifs d'essais possèdent un système automatique constitué par un moteur à deux sens de rotation, permettant d'accroître ou de décroître régulièrement la tension.

Au moment du claquage, cela correspond à un régime de court-circuit au secondaire du transformateur élévateur. A cet instant, un dispositif de déclenchement très rapide, constitué par un relais thermique, réagit et protège ainsi l'ensemble du poste d'essai.

1-Dispositif pour essais de la rigidité diélectrique des huiles isolantes du laboratoire de l'Ecole Nationale Polytechnique : (Type HM 75 WALTER)

Ce dispositif d'essais de la rigidité des huiles isolantes a été conçu spécialement pour satisfaire aux Recommandations de la Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I.), publication N°156, de 1963 : "Méthode pour la détermination de la rigidité diélectrique des huiles isolantes" et de l'U.T.E. C27-101.

C'est un appareil mobile, d'un poids total de 114kg. Il comporte à la partie supérieure, un couvercle rabatable avec hublot d'observation, muni d'un interrupteur de sécurité, coupant le circuit d'alimentation au moment de son ouverture, donnant accès aux isolateurs et pièces à haute-tension, supports du spintermètre. L'appareil est fourni avec une prise decourant type protégée, monophasée à trois broches disposée à la base de la face droite du poste d'essai (cf. fig. 1.1, 1.2, 1.3 p. 39, 40, 41)

a/transformateur élévateur :

L'organe principal du dispositif est un transformateur élévateur au rapport 100V/75.000V dont le point milieu de l'enroulement à haute tension est réuni à la masse.

Ce transformateur est étalonné en transformateur de mesure, avec une tolérance d'erreur de $\pm 1\%$ pour une charge de 0 à 200 VA et pour des variations de la tension comprise entre $1/4$ et $4/4$ de la tension secondaire nominale.

b/appareil de mesure :

C'est un voltmètre du type ferrodynamique encastré, avec aiguille à coùteau et miroir, et index de correction de zéro, de classe 1,5%.L'échelle est graduée en haute tension pour 75 kV efficace avec lecture à partir de 10 kV. Les lectures des tensions de claquage de l'huile sont faites sur ce voltmètre dont l'aiguille reste à la valeur de la tension de claquage tant que l'opérateur ne commande pas le retour au zéro.

c/dispositif de réglage progressif de la tension:

Le dispositif de réglage progressif de la tension est réalisé par un autotransformateur toroïdal à curseur rotatif, commandé par un moteur synchrone à deux sens de marche. Ce qui permet une variation progressif de la haute-tension voisine de 2kV/s.L'appareil peut-être branché sur le réseau des tensions sinusoïdales (50Hz de 110V, 125V, 220V ou 245V) grâce à un commutateur rotatif accessible par la face arrière de l'appareil.

d/spintermètre :

Il est composé d'une cuve et du système d'électrodes. La cuve en résine époxyde porte un trait de repère qui indique le niveau d'huile pour le volume prescrit de 360cm³.

Les électrodes sont constituées par deux sphères en laiton poli, de 12,5 mm de diamètre, dont l'écartement est réglable à $2,5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ près, à l'aide d'une jauge d'épaisseur 2,5mm, fournie avec l'appareil. L'espace entre les électrodes est visible grâce à un orifice de visée de 20 mm de diamètre.

Un éclairage à intensité variable par rhéostat est disposé sous le bac du spintermètre. Il est assuré par deux lampes 12V; cet éclairage ne peut fonctionner qu'un fois le couvercle fermé.

e/dispositif de déclenchement :

La coupure de l'alimentation H.T. et du moteur est faite par un relais spécialement mis au point pour ce problème, qui agit en moins de 10 ms, quelque soit la tension de claquage de l'huile du spintermètre. La protection est assurée par un disjoncteur miniature magnéto-thermique.

f/commandes du pupitre :

Le pupitre comporte :

-1 interrupteur général à 2 positions : "Marche" et "Arrêt" .

-1 voyant lumineux rouge qui reste allumé tant que l'interrupteur général est sur la position "Marche" .

-1 interrupteur de mise sous tension à 3 positions : "Descente", "Montée", plus une position médiane permettant un arrêt éventuel en cours de fonctionnement, étant entendu qu'après tout claquage il est impossible de monter en

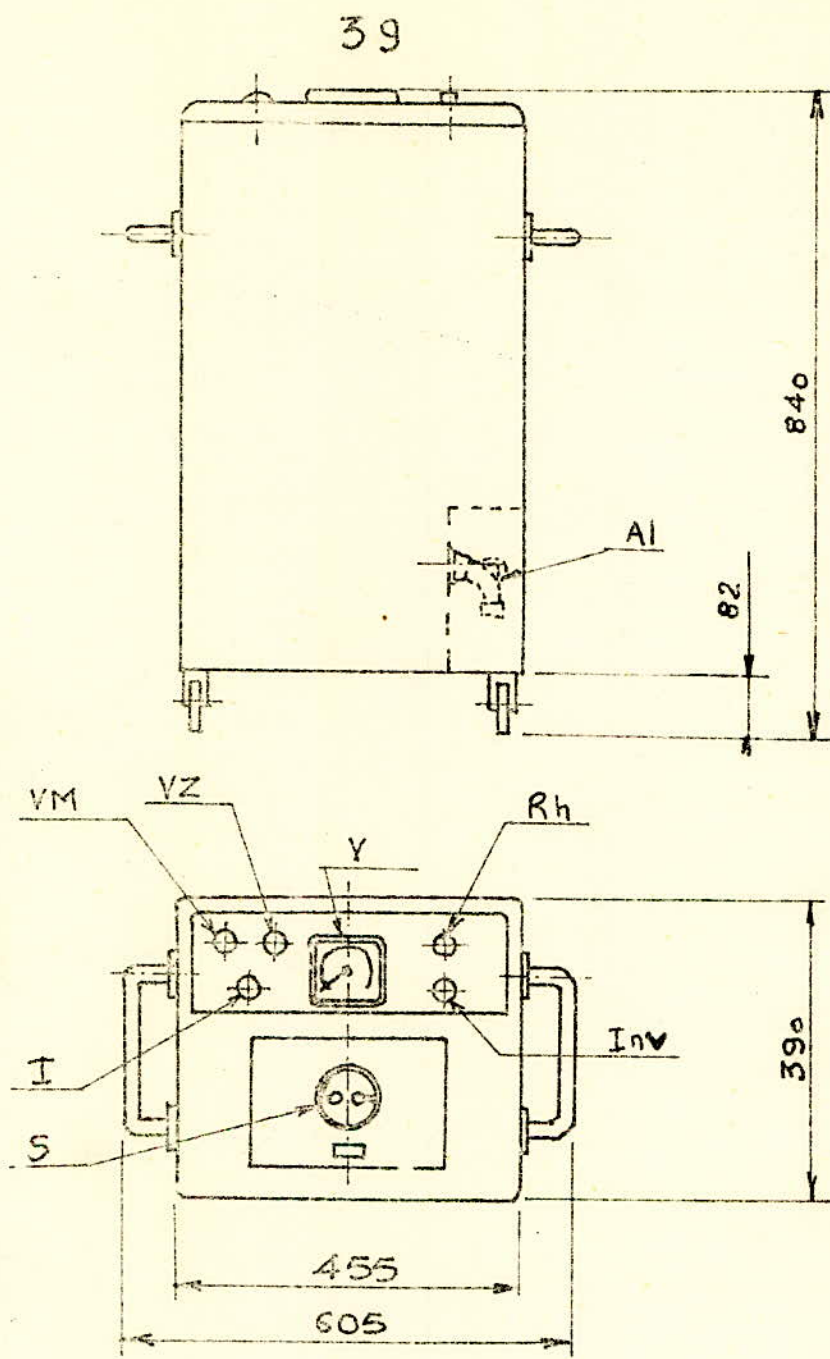


fig: 1.1.

Poste
d'essais d'huile HM-75
(mesure de la tension de claquage)

Poids ~. 110 Kg
walter

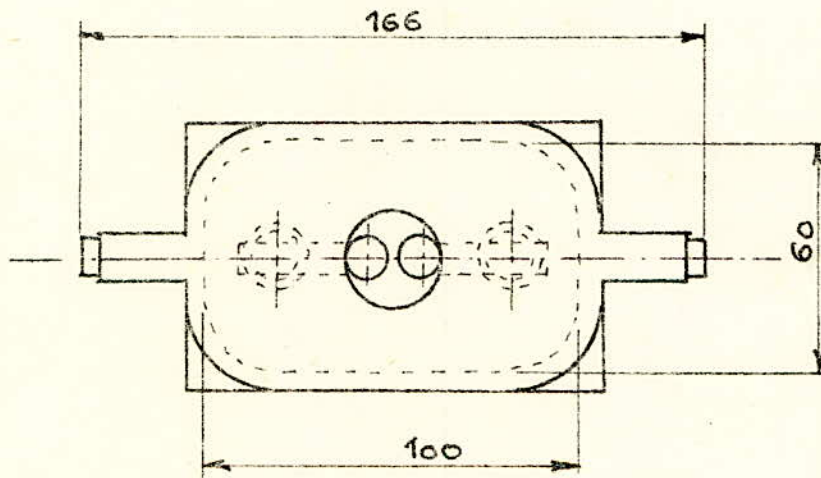
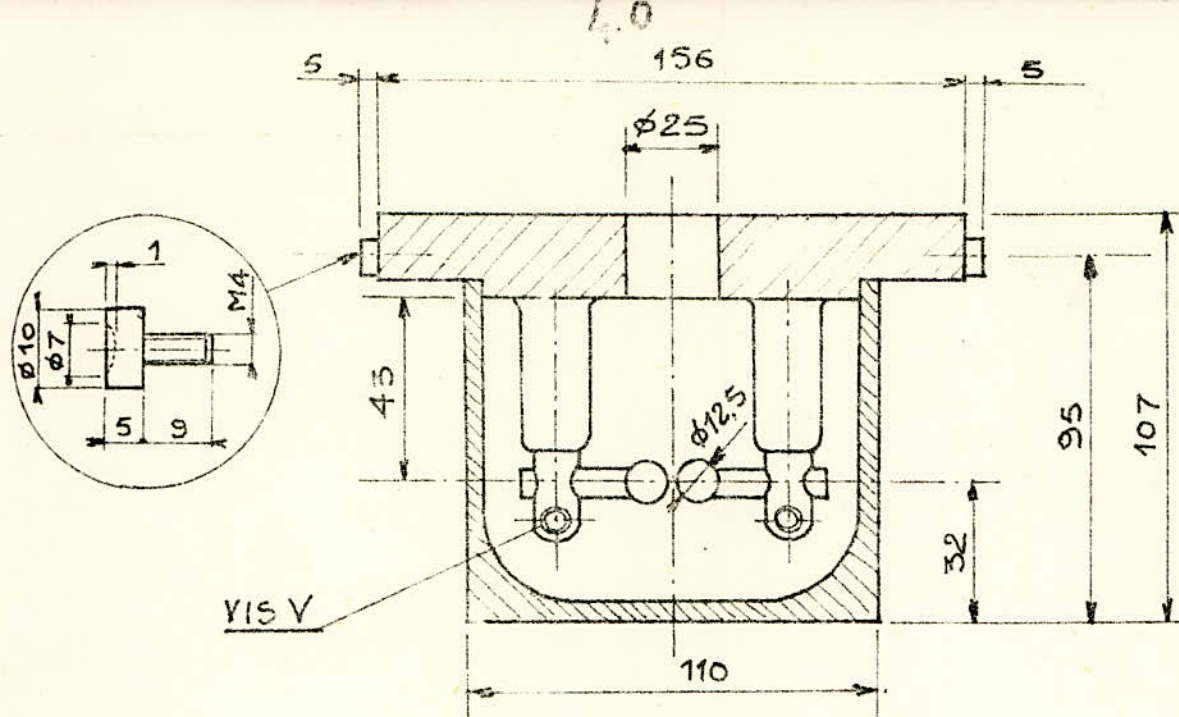
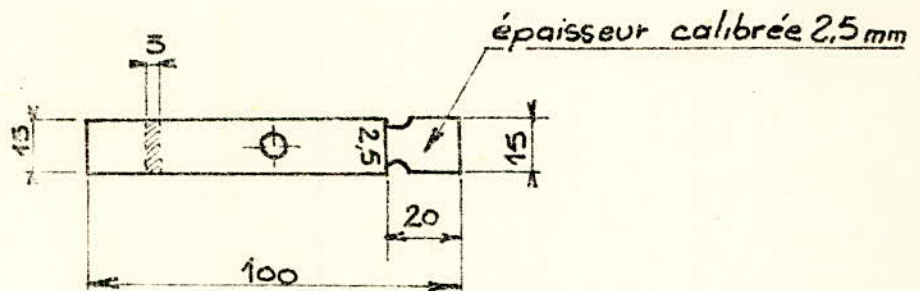


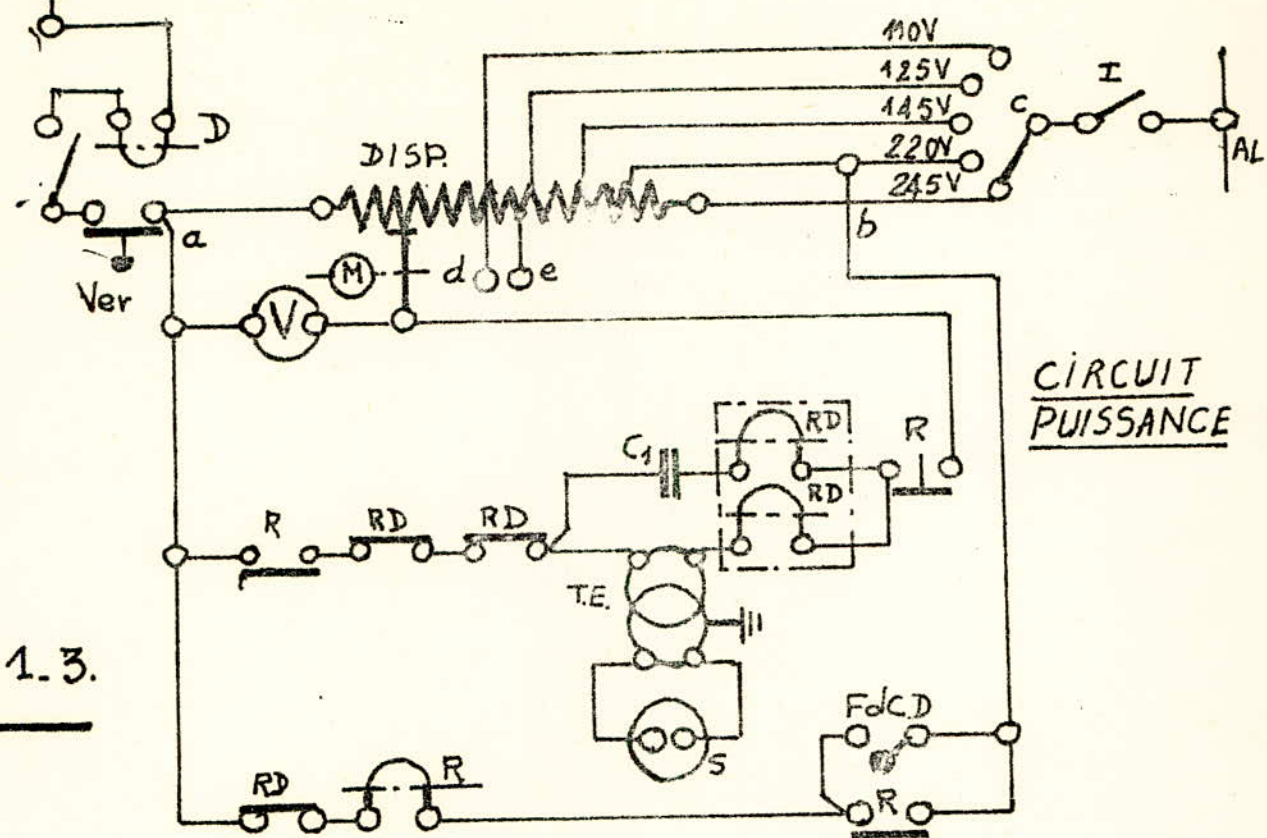
fig: 1.2.



JAUGE DE RÉGLAGE

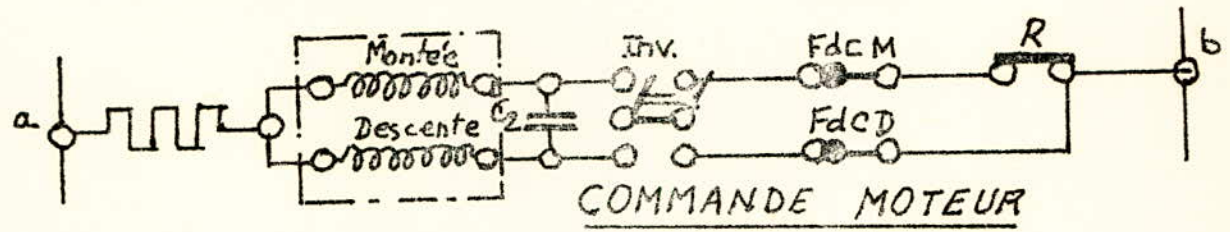
SPINTERMETRE W4
 Cave et électrodes. Conforme à la Norme EDF HN27-501

walter

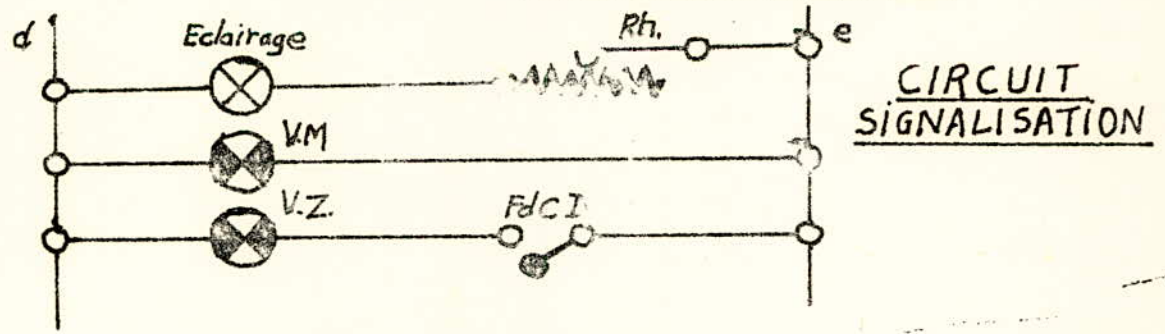


CIRCUIT PUISSANCE

fig: 1.3.



COMMANDE MOTEUR



CIRCUIT SIGNALISATION

Schéma de L'Appareil de Mesure de la Tension de Claquage des Huiles Isolantes
TYPE : H.M. 75 WALTER

NOMENCLATURE DU POSTE D'ESSAI WALTER :

Al : alimentation par le secteur
c : commutateur d'adaptation à la tension d'alimentation
VM : voyant signalant la mise sous tension
VZ : voyant de remise au zéro du dispositif
Ver : contact de verrouillage du couvercle
R : relais de protection contre la remise sous tension
DISP : dispositif de réglage de la tension
C1 : condensateur de compensation du relais différentiel
TE : transformateur élévateur
M : moteur
S : spintermètre
Rh : rhéostat d'éclairage
RD : relais différentiels
FdCM : fin de course montée
FdCD : fin de course descente
D : disjoncteur de protection
V : voltmètre
Inv : inverseur
I : interrupteur général

en tension avant d'être passé par zéro.

-1 voyant lumineux vert qui ne s'allume que si la tension est à zéro

-1 rhéostat de commande de l'éclairage à intensité variable du bac du spintermètre.

Caractéristiques du dispositif d'essai type SIEMENS :

Poids : 80 kg. (cf. fig. 1.4)

C'est un appareil immobile, conçu pour les laboratoires de recherches et comporte les éléments suivants :

-Transformateur élévateur 220V/80.000V

-Voltmètre : il comporte deux graduations :

-en kV_{eff} de 0 à 80 kV_{eff}. (alternatif)

-en kV⁻ de 0 à 120kV (continu)

classe 1,5 - type ferrodynamique avec redresseur

-Ampèremètre : gradué de 0 à 1,5 mA

classe 1,5; type ferrodynamique

-Réglage de la tension : il y a deux possibilités, soit automatiquement (1kV/s, 2kV/s), soit manuellement.

-Fréquence : 50 et 60 Hz ; tension d'alimentation: 208V, 220V, 240V.

-système d'électrodes : calottes sphériques.
Cet appareil est conforme aux normes allemandes V.D.E.

2-Autres accessoires :

Certains instruments et appareils sont nécessaires pour compléter l'équipement du laboratoire et pour tenir compte des conditions expérimentales. Il s'agit de :

- 1 thermomètre à mercure (150°C) pour mesurer la température de l'huile au moment de l'essais ou lorsqu'on la chauffe.

Appareil de Mesure de la Tension de Claquage des Huiles Isolantes.

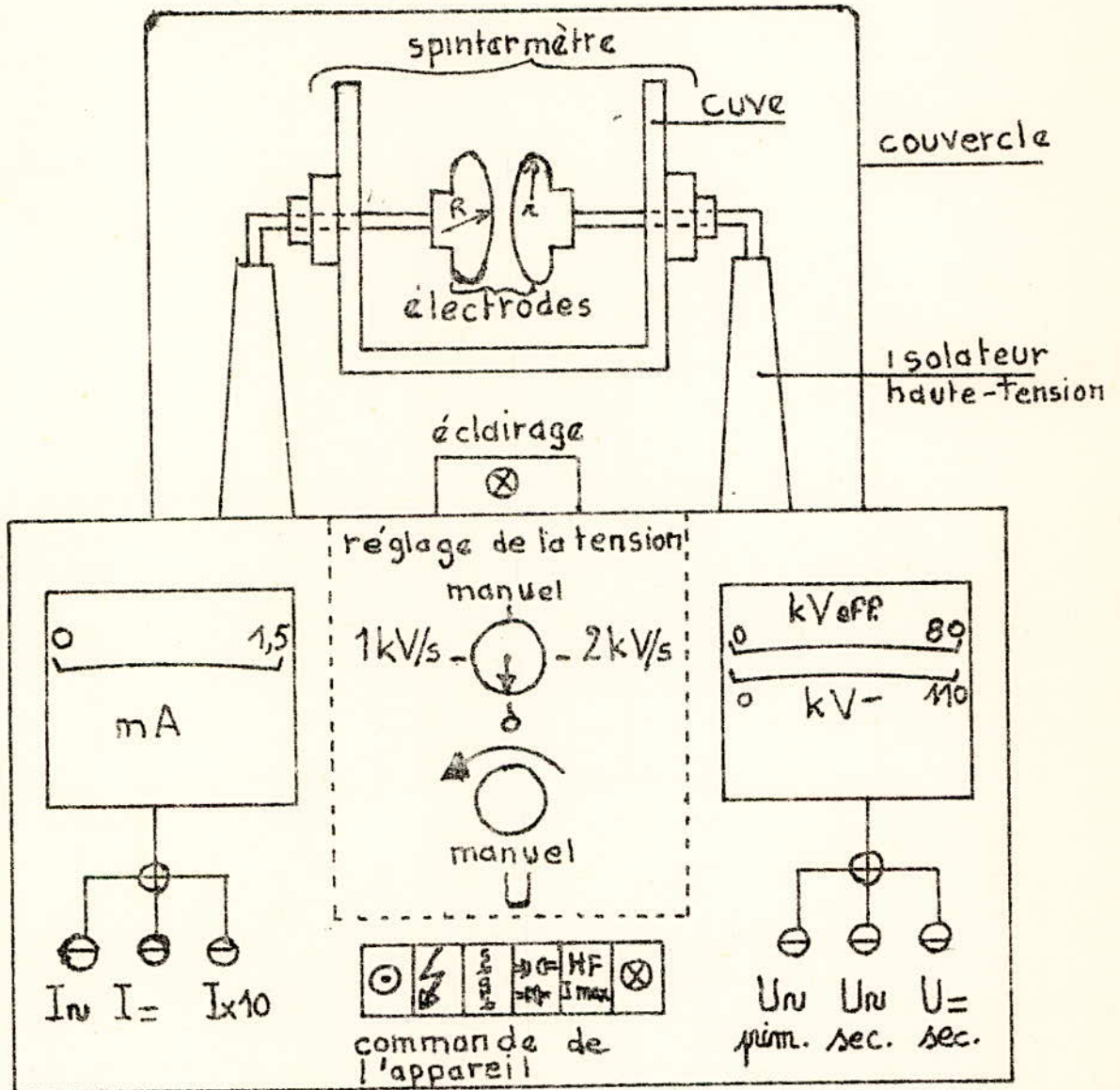


Fig. 1.4. TYPE : SIEMENS.

nature des électrodes: calotte sphérique
 dimensions: $R = 25\text{ mm.}$
 $r = 3\text{ mm.}$

- 1 baromètre pour la mesure de la pression de la salle de manipulation.
- 1 hygroscope pour la mesure de l'humidité du laboratoire.
- 1 thermomètre mural pour la mesure de la température du laboratoire.
- 1 étuve pour le séchage des récipients servant à contenir l'huile.
- 1 chauffage par résistance pour la distillation de l'huile.
- 1 dispositif de distillation de l'huile comprenant un ballon, un tube réfrigérant droit, un tube récepteur de la vapeur d'eau condensée.
- 1 jauge de 2,5mm pour le réglage de la distance entre les électrodes.

// CHAPITRE IV //

ETUDE D'UN LABORATOIRE POUR LES ESSAIS DE LA
RIGIDITE DIELECTRIQUE SOUS TENSION DE 50 Hz

— GENERALITES

- 1- INSTRUCTIONS DETAILLEES ET BASEES SUR LES NORMES
- 2- ACCESSOIRES POUR LE NETTOYAGE ET LE RINÇAGE

IV/ETUDE D'UN LABORATOIRE POUR LES ESSAIS DE LA RIGIDITE
DIELECTRIQUE SOUS TENSION DE 50 Hz :

Il est très important de connaître les textes des normes établies officiellement, pour pouvoir procéder à des essais expérimentaux.

Ces normes indiquent tout d'abord la méthode de préparation du spintermètre (son nettoyage et le réglage des électrodes). Ensuite vient la préparation de l'échantillon d'huile et le remplissage du spintermètre. La méthode et le procédé des essais complètent les textes des normes.

1-Instructions détaillées et basées sur les normes :

La conduite des essais est conforme à la norme U.T.E. C27-101 du 30 septembre 1964 et aux prescriptions de la Commission Electrotechnique Internationale (C.E.I.), publication N° 156 de l'année 1963.

a/préparation du spintermètre :

- son nettoyage : L'appareil est conservé à l'abri des poussières; s'il n'a pas servi depuis un certain temps, on procédera à son nettoyage rigoureux. Les électrodes seront démontées et rincées à l'éther de pétrole, puis remontées. Pendant la période d'inactivité, il est recommandé d'entreposer le spintermètre plein d'huile sèche dans un local sec.

- réglage des électrodes : Le montage des électrodes sera fait avec le plus grand soin, en évitant tout contact direct avec les doigts. L'écartement de ces électrodes sera réglé au moyen de cales d'épaisseur de $2,5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$.

b/rinçage du spintermètre :

On effectue d'abord un premier rinçage de l'appareil complet avec de l'éther de pétrole, un deuxième rinçage est réalisé aussitôt après avec de l'huile prélevée sur l'échantillon à essayer.

Il est recommandé toutefois d'effectuer deux rinçage à l'éther de pétrole et deux rinçage à l'huile à essayer pour assurer un meilleur nettoyage du récipient; en effet une insuffisance de rinçage peut modifier les résultats des essais.

c/préparation de l'échantillon :

Le récipient contenant l'huile à essayer est remué doucement et retourné plusieurs fois, de façon à assurer une bonne répartition aussi homogène que possible des impuretés contenues dans l'échantillon. Une agitation trop rapide est à éviter car elle peut-être la cause de la formation de bulles d'air dans l'échantillon

La température de l'échantillon, au moment de l'essai, doit être la même que celle de la salle d'essai. Cette température doit être notée.

d/remplissage du spintermètre :

Pour éviter la pollution de l'huile pendant le remplissage du spintermètre, il est nécessaire de faire cette opération dans un local sec et abrité des poussières.

Pour éviter toute souillure des électrodes, il est recommandé de poser, pendant les opérations de rinçage et de

remplissage, le couvercle porte-électrodes sur une cuve vide analogue à la cuve du spintermètre.

On remplit la cuve du spintermètre immédiatement après avoir terminé la préparation de l'échantillon, comme il est dit plus haut.

On fait couler l'huile dans la cuve, lentement, de façon à éviter la formation de bulles d'air, jusqu'à ce que le niveau d'huile atteigne le repère porté sur la cuve; le spintermètre étant rempli dans ces conditions, le niveau d'huile dépasse alors de 20 mm environ la partie supérieure des électrodes. Il est très utile d'utiliser une tige de verre pour faire couler l'huile dans la cuve.

On imprime au spintermètre, à plusieurs reprises, un léger mouvement de manière à faciliter l'échappement de l'air occlus. On met en place le couvercle et les essais électriques sont effectués aussitôt, sans laisser reposer l'échantillon dans la cuve.

e/règles pratiques pour les essais :

La tension d'essai appliquée est élevée automatiquement avec progression au taux unitaire de 2 kV/s de zéro jusqu'à la valeur produisant la décharge disruptive. Si l'aiguille du voltmètre atteint la valeur maximale de la graduation (80 kV) sans qu'il y ait de décharge disruptive, on maintiendra la tension pendant 10 à 15 s et l'on reviendra à zéro. On notera que l'huile essayée a une rigidité supérieure à 80 kV. Dans la pratique, la vitesse de montée ne

devra pas différer de plus de 5% de la valeur de la tension de claquage prescrite.

Pour obtenir la valeur de mesure de la tension de claquage on effectuera six(6) essais consécutifs pour un même remplissage de la cuve du spintermètre, avec un repos de 30s entre deux(2) essais. Achaque renouvellement de l'huile à essayer, les électrodes sont rincées avec de l'huile du prélèvement. La valeur d'essais est la valeur moyenne des six mesures.

2-Accessoires pour le nettoyage et le rinçage :

Certains ustensiles et produits chimiques sont nécessaires pour limiter l'influence de quelques facteurs expérimentaux sur la valeur de la rigidité diélectrique. Il faut noter que les opérations de nettoyage et de rinçage sont d'une importance primordiale dans la dispersion des résultats obtenus lors des essais.

Ces accessoires sont constitués par :

-des flacons : ces flacons servent pour la réception d'échantillonnage des huiles.

-un baguette en verre : elle permet de faire l'écoulement lent de l'huile dans la cuve du spintermètre, pour éviter la formation de bulles d'air qui peuvent diminuer la valeur de la rigidité diélectrique de l'huile.

-des produits chimiques : ils servent au nettoyage et au rinçage.

-éther de pétrole : il sert au rinçage des flacons et du spintermètre.

-acide sulfurique : il sert à nettoyer les récipients en verre.

-eau distillée : elle sert à neutraliser l'acide sulfurique (on rince avec cette eau les récipients lavés à l'acide sulfurique).

-alcool à 95°C : après le rinçage avec l'eau on au rinçage à l'alcool.

-2 paires de gants en matière plastique : on doit éviter de toucher directement avec les doigts, les électrodes une fois rincées et nettoyées.

Remarque :

Au moment où l'on procède à l'échantillonnage des huiles dérivées du pétrole, il faut prendre des précautions pour éviter des possibilités d'inflammabilité. En effet, de nombreux produits pétroliers sont facilement inflammables ou peuvent présenter certains dangers dans leur manipulation.

L'échantillonneur doit se soumettre aux mesures de sécurité suivantes :

-NE DOIT PAS FUMER PENDANT LA MANIPULATION DES ECHANTILLONS

-EVITER LE CHAUFFAGE AVEC UNE FLAMME (ne pas utiliser de bec Bunsen par exemple).

//CHAPITRE V //

MESURE DE LA RIGIDITE DIELECTRIQUE SOUS 50 Hz

-GENERALITES

-1- MESURE DE LA RIGIDITE DIELECTRIQUE

A/ Schéma de principe

B/ Méthode de la mesure

C/ Résultats

-2- CARACTERISTIQUE : Tension de Claquage

en Fonction de la Température

-3- CARACTERITIQUE : Tension de Claquage

en Fonction de l'Ecartement des électrodes

V MESURE DE LA RIGIDITE DIELECTRIQUE SOUS 50 Hz :

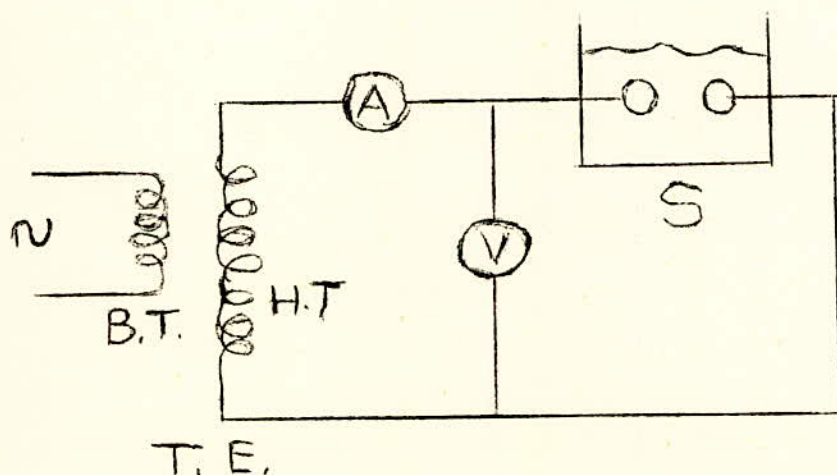
Notre étude consistait, d'une part à installer un laboratoire d'essais de rigidité diélectrique des liquides isolants, et d'autre part à procéder à la mesure de la tension de claquage des huiles isolantes (minérales et synthétiques).

Le laboratoire n'étant pas prêt et vu le temps qui nous a été alloué, on avait préféré contacter la SONEGAZ d'ALGER pour effectuer des expériences.

Pour cela, on avait travaillé dans deux laboratoires; dans le premier, se trouvant au Gué de Constantine, on a mesuré la rigidité diélectrique des huiles de qualité différente ; dans le second, sis à El-Hamma, on a pu tracer deux caractéristiques donnant la variation de la tension de claquage en fonction, respectivement de la température et de l'écartement des électrodes.

1- Mesure de la rigidité diélectrique :

A/Schéma de principe :



A : milliampèremètre
 V : voltmètre (kV)
 S : spintermètre
 TE : transformateur
 élévateur

B/Méthode de la mesure :

La mesure de la rigidité diélectrique des huiles isolantes s'effectue en utilisant la norme U.T.E C27-101

C/Résultats des mesures :

On a effectué la mesure de la rigidité diélectrique de l'huile isolante, avec deux dispositifs différents : l'un appartenant à la SONEGAS, et l'autre celui du laboratoire de l'Ecole.

-a-dispositif de la SONEGAS (Gué de Constantine) :

Les caractéristiques du dispositif sont les suivantes :

C'est un appareil semi-automatique.

-constructeur : BAUR type PGO 60S

-tensions : 220V/60.000V , 50Hz.

-puissance du transformateur : 1,4 kVA

-vitesse de montée de la tension : 2kV/s

-système d'électrodes : calottes sphériques

(e=2,5mm ; R=25mm ; r=3mm)

-huile neuve :

t = 23°C

numéro de l'essai	tension de claquage	valeur moyenne
1.....	29,2 kVeff	35 kVeff/2,5mm
2.....	33,2 "	
3.....	28,8 "	
4.....	36,8 "	
5.....	39,5 "	
6.....	32,2 "	

La valeur de la rigidité diélectrique est de : 198 kV/cm

-huile en service :

t = 23°C

numéro de l'essai	tension de claquage	valeur moyenne
1	32,8 kVeff	38 kVeff/2,5mm
2	38 kVeff	
3	38,2 "	
4	34,5 "	
5	40 "	
6	40,5 "	

La rigidité diélectrique est d'environ 215 kV/cm

-huile régénérée :

t = 23°C

numéro de l'essai	tension de claquage	valeur moyenne
1	26 kVeff	21,5 kVeff/2,5mm
2	22 "	
3	22 "	
4	20 "	
5	21,5 "	
6	22 "	

La rigidité diélectrique exprimée en kV/cm est de 122kV/cm

-pyralène :

t = 23°C

numéro de l'essai	tension de claquage	valeur moyenne
1	13 kVeff	11,4kVeff/2,5mm
2	13,2 "	
3	11,8 "	
4	12 "	
5	10 "	
6	10 "	

La rigidité diélectrique est égale à 64 kV/cm

-b-dispositif de l'E.N.P.A. :

Les caractéristiques du dispositif sont les suivantes :

C'est un appareil mobile.

-constructeur ; WALTER HM 75

-tensions : 220V/80.000V , 50 Hz

-vitesse de montée de la tension : 2kV/s

-système d'électrodes : des sphères dont le diamètre est de 12,5mm et l'écartement est de 5mm.

-huile neuve :

t = 20°C

numéro de l'essai	tension de claquage	valeur moyenne
1	32,5 kV	35,4 kV/5mm
2	30 "	
3	30 "	
4	30 "	
5	39 "	
6	38 "	

La valeur de la rigidité diélectrique est 70 kV/cm

-huile en service :

t = 20°C

numéro de l'essai	tension de claquage	valeur moyenne
1	28 kV	39,1 kV/5mm
2	36 "	
3	37,5 "	
4	39 "	
5	38 "	
6	45 "	

La rigidité diélectrique a pour valeur 78 kV/cm

-huile régénérée :

t = 20°C

numéro de l'essai	tension de claquage	valeur moyenne
1	31 kV	39 kV/5mm
2	26 kV	
3	30 "	
4	44 "	
5	50 "	
6	40 "	

La rigidité diélectrique est d'environ 78 kV/cm

-pyralène :

numéro de l'essai	tension de claquage	valeur moyenne
1	13 kV	31 kV/5mm
2	32 "	
3	26 "	
4	27 "	
5	33 "	
6	38 "	

La rigidité diélectrique a pour valeur 62 kV/cm

Pour déterminer la tension de claquage, on calcule la valeur moyenne des cinq derniers essais, le premier étant facultatif. La rigidité diélectrique est soit exprimée en kV/cm soit en kV/écartement.

On voit, que, d'après les résultats obtenus, concernant la valeur de la rigidité d'une même huile mesurée avec deux dispositifs différents, cette grandeur varie avec la forme et la géométrie des électrodes.

1- Caractéristique : tension de claquage en fonction de la température :

Pour obtenir la variation de la tension de claquage en fonction de la température, on chauffe l'huile dans un ballon ou un bêcher bien propre. On la remue très lentement à l'aide

d'un agitateur pour éviter la formation de bulles d'air et en même temps pour uniformiser la température en tout point du liquide, la température étant bien sûr mesurée au moyen d'un thermomètre à mercure.

Puis on verse l'huile dans la cuve du spintermètre et on passe à la mesure de la rigidité diélectrique conformément aux normes mais on fait seulement deux essais consécutifs. Pour chaque valeur de la température on relève la valeur de la tension de claquage.

Les caractéristiques du dispositif qui nous a permis de faire ces essais sont les suivantes :

Il appartient à la SONEGAS (El-Hamma)

-constructeur : WALTER (nouveau modèle)

-système à sphère dont l'écartement est de 5mm et le diamètre est de 12,5mm

-tensions : 220V/60.000V , 50Hz

Le tableau T1 représente les résultats des mesures de la tension de claquage en fonction de la température de l'huile. Ces résultats ont permis de tracer la courbe de la fig.1.

Tableau T1

θ °C	21	32	35	40	42	45	50	55	60	65
U kV	27	29	31	32	37	39	43	49	55	60

On voit d'après la fig. 1. que la tension de claquage croît quand la température de l'huile augmente. Cela est déjà expliqué au chapitre II , paragraphe 3.5 (la température). Pour les températures supérieures à 65°C, nous n'avons pas

Caractéristique : tension de claquage
en fonction de la température
(expérimentale).

- à 50 Hz :-

- système à sphères (diamètre : 12,5 mm)
(e = 5 mm.)

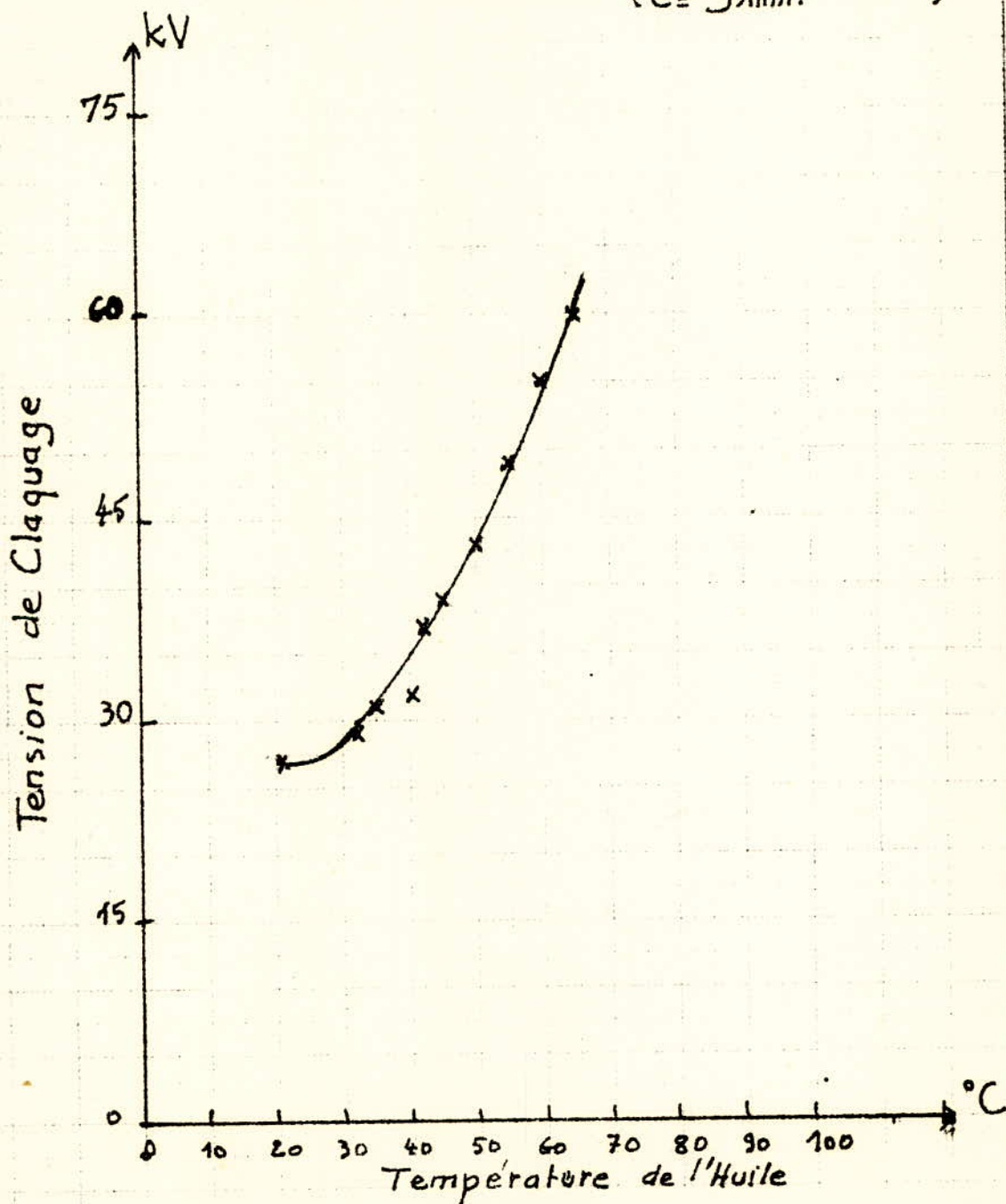


Fig. 1

pu arriver, à l'aide de ce dispositif, à perforer l'huile car sa tension maximale était de 60.000V.

2- Caractéristique : tension de claquage en fonction de l'écartement des électrodes :

La fonction $U = f(e)$ est obtenue en faisant varier la distance entre les électrodes et on mesure, pour chaque écartement la tension de claquage. La distance entre électrodes est mesurée avec des jauges calibrées de 0,5mm; 1mm; 2mm . Les valeurs de la fonction $U=f(e)$ sont effectuées avec le dispositif de la SONEGAS (El-Hamma) dont les caractéristiques sont les suivantes :

- système à disques de rayon 12,54mm
- tensions : 110V/60.000V , 50Hz
- la montée en tension se fait par échelon (par plots)

Ces résultats sont représentés sur le tableau T2 et la fig.2.

Tableau T2

e mm	0,5	1	1,5	2	2,5	3
U kV	29	28	27	27	27	27

La courbe $U=f(e)$ montre que la tension de claquage décroît quand l'écartement e entre les électrodes augmente; mais au-delà d'une certaine valeur (2mm) elle devient indépendante de la distance e comme on l'a vu au chapitre II , paragraphe 3.4 (distance des électrodes et leur forme).

Caractéristique : Tension de Claquage
en Fonction de l'écartement (e).
(expérimentale).

- à 50 Hz

- système à disques : (diamètre : 25,8 mm)

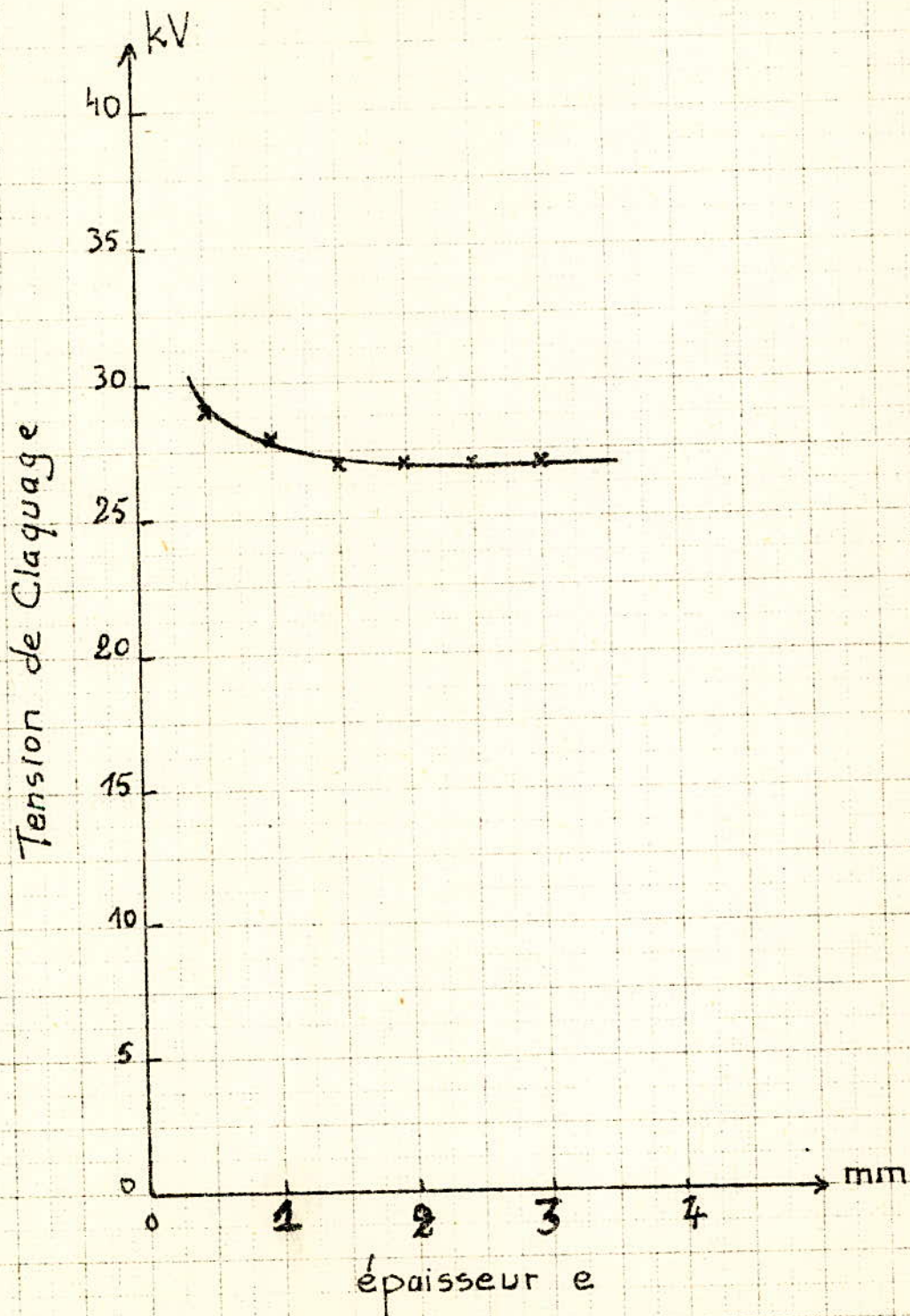


Fig. 2

-0- CONCLUSIONS -0-

Ce projet de fin d'études nous a permis d'élargir nos connaissances sur les propriétés des huiles isolantes, dont l'utilisation croît de plus en plus dans notre pays, étant donné l'essor industriel que connaît ce dernier et donc une demande d'énergie électrique plus importante.

L'étude expérimentale des huiles isolantes qui nous a été proposée, était limitée aux caractéristiques électriques et plus précisément à la rigidité diélectrique en fonction de la pureté de l'huile, de la température, de la forme et de la distance entre électrodes.

Les résultats expérimentaux obtenus nous ont permis de vérifier l'allure des caractéristiques tracées par d'autres manipulateurs.

En ce qui concerne la mesure de la rigidité diélectrique proprement dite, nous avons constaté que la présence d'impuretés dans l'huile isolante influait sur celle-ci en diminuant sa valeur. En effet, la rigidité diélectrique diminuait quand l'huile contient des corps étrangers, donc il y a nécessité de la préserver des poussières, des gaz et en particulier des bulles d'air.

De plus, on avait vérifié que la rigidité diélectrique était influencé par la température. Cette caractéristique présente un maximum .

Enfin, la rigidité diélectrique varie en fonction de la distance entre électrodes quelque que soit le système d'électrodes utilisé .

On remarque aussi que cette caractéristique diffère selon la forme des électrodes utilisées .

Il est à signaler les possibilités d'études des liquides isolants à l'école nationale polytechnique d'Alger ont toujours existé; cependant l'équipement correspondant n'a pas été suffisamment utilisé. Notre contribution à cet effet était la suivante :

Nous avons d'abord récupéré tout l'équipement concernant la mesure de la rigidité diélectrique des huiles isolantes existants à l'école.

Ceci étant fait, nous l'avons complété à la suite d'une étude de normes relatives à la détermination de la rigidité diélectrique des liquides isolants. Alors, nous sommes arrivés à installer un laboratoire d'essai de rigidité diélectrique des liquides isolants.

Enfin, nous avons procédé à la mise en marche de ce laboratoire et nous avons effectué des mesures de tension de claquage des huiles isolantes .

Le temps qui nous a été réservé et les difficultés diverses rencontrées ne nous ont pas permis de continuer cette étude qui revêt une grande importance. De ce fait nous nous permettons de faire les suggestions suivantes:

D'abord il serait nécessaire de compléter le laboratoire en installant un équipement qui permettra la mesure de la permittivité et le vieillissement des huiles isolantes.

Ensuite nous proposons comme suite à notre sujet l'étude du comportement des huiles isolantes quand elles sont soumises à des tensions de choc.

Enfin, pour que le laboratoire puisse fonctionner régulièrement il sera très utile d'inclure au programme du neuvième semestre une séance de travaux pratiques sur la détermination de la rigidité diélectrique des huiles isolantes comme application du cours de la technique de haute tension.

BIBLIOGRAPHIE

- 1-CIGRE : 1966 , tome II , rapport N^o 119 :
Recherches nouvelles concernant les huiles isolantes à l'aide de méthodes chromatographiques modernes.
(par : L. ERHART, E. REY, H. SUTTER)
- 2-CIGRE : 1962 , tome II , rapport N^o 131 :
Recherches d'une méthode convenable pour déterminer la rigidité diélectrique des huiles isolantes.
(par : J. I. SKOWRONSKI)
- 3-HOCHSPANNUNGSTECHNIK (en allemand) , tome II :
(Technique de la Haute-Tension)
(Veb. Verlagstechnik - Berlin)
(par : L. I. SIROTINSKI)
- 4-TECHNIQUE DE L'INGENIEUR , tome I , D230 :
Liquides isolants.
(par : H. WEISS, T. SALOMON)
- 5-Cours de l'Ecole Supérieure d'Electricité :
Matériaux électrotechniques.
(par : A. BELOT)

U.T.E. : Union Technique de l'Electricité.

قال صلى الله عليه وسلم :

الإيمانُ و
عزيمته و
والبأسه و
والتقوى و
والتقوى و
والتقوى و
والتقوى و
والتقوى و
والتقوى و
والتقوى و

عديت
صديقت