

UNIVERSITE D'ALGER

12/75

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

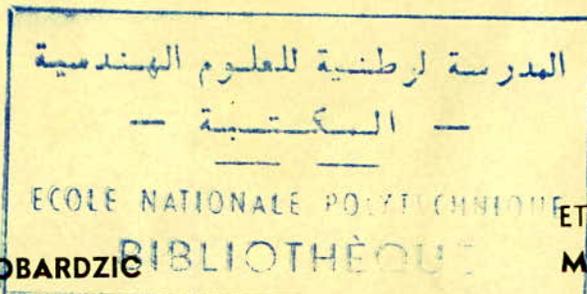
DEPARTEMENT ELECTRICITÉ

20



**PROJET DE FIN D'ETUDES**

PROBLEME DE LA POLLUTION MARINE  
DES ISOLATEURS DE HAUTE TENSION  
EN ALGERIE



PROPOSÉ PAR :

**M' Muharem DOBARDZIC**  
Docteur Ingénieur

ETUDIÉ PAR :

**MM. DJOUADI Ahamed**  
et **MELOUK Hocine**

PROMOTION 1975

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

”فَاعْلَمْ أَنَّهُ لَا إِلَهَ إِلَّا اللَّهُ“

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRICITÉ

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

PROBLEME DE LA POLLUTION MARINE  
DES ISOLATEURS DE HAUTE TENSION  
EN ALGERIE

PROPOSÉ PAR :

**M<sup>r</sup> Muharem DOBARDZIC**

Docteur Ingénieur

ETUDIÉ PAR :

**MM. DJOUADI Ahamed**

et **MELOUK Hocine**

PROMOTION 1975

Nous tenons à remercier Monsieur DOBARDZIC  
qui nous a suivi de très près dans notre étude  
et pour les précieux conseils qu'il nous a donnés.

Nous saisissons cette occasion pour exprimer  
nos vifs remerciements à tous les professeurs qui  
ont contribué à notre formation.

Nous remercions également toutes <sup>les</sup> personnes  
qui ont participé à l'élaboration de cette thèse,  
notamment les responsables du service climatologie  
de l'ENEMA et du service documentation de la SONELGAZ  
pour les renseignements et la documentation qu'ils nous ont  
fournis.

INTRODUCTION

CHAPITRE 1 / RAPPEL SUR LE MECANISME DE CONTOURNEMENT DES ISOLATEURS POLLUES

- 11 - Généralités
- 12 - Mécanisme de contournement

CHAPITRE 2 / LA POLLUTION MARINE DES ISOLATEURS DE H.T. EN ALGERIE

- 21 - Généralités
- 22 - Pollution marine en Algérie
- 23 - Influence des facteurs climatologiques
- 24 - Lignes de H.T. du littoral algérien
- 25 - Station expérimentale "in situ" pour l'étude du degré de pollution.
- 26 - Mesures actuelles sur le choix des isolateurs et des méthodes de lutte contre la pollution .

CHAPITRE 3 / LA POLLUTION ARTIFICIELLE EN LABORATOIRE PAR LE BROUILLARD SALIN.

- 31 - Généralités
- 32 - Méthodes de pollution artificielle
- 33 - Méthodes de pollution artificielle normalisées

CHAPITRE 4 / ESSAIS AU LABORATOIRE DE H.T. DE L'E N P A.

- 41 - Généralités
- 42 - Equipement de la station d'essais à fréquence industrielle.
- 43 - Modèles expérimentés
- 44 - Méthode de mesure de la conductivité superficielle.
- 45 - Méthode de mesure de la tension de contournement.
- 46 - Essai au Laboratoire.

CONCLUSIONS.

## INTRODUCTION

Les isolateurs des lignes aériennes et des postes de haute tension, installés dans les régions où règne une pollution atmosphérique sont sujets à de graves incidents, notamment les contournements des isolateurs qui provoquent des court-circuits sur les lignes de haute tension . Afin d'étudier le comportement des isolateurs haute tension en exploitation , vis à vis de la dégradation de leur niveau d'isolement par la pollution , on procède aux essais de celle-ci dans des conditions naturelles les plus sévères , en créant des dépôts de pollution artificiels équivalents .

Suivant la géographie des régions où passent les lignes de H.T, on peut découvrir différents genres de pollution . Nous nous intéressons plus particulièrement à la pollution marine des isolateurs H.T situés dans le littoral algérien .

Notre étude est basée sur les connaissances actuelles des recherches théoriques et expérimentales effectuées dans des différents pays .

Il n'existe jusqu'à présent aucune source de documentation , concernant l'étude des équipements de haute tension soumis aux conditions de pollution rencontrées en Algérie .

C'est donc avec des moyens réduits , que nous essayons pour la première fois d'aborder le problème de pollution marine en Algérie .

L'Algérie dispose actuellement de deux laboratoires de H.T : le laboratoire de l'ENPA et celui de la SONELEC (Unité de cablerie électrique d'Alger ) . Ces deux laboratoires ne comportent pas d'équipement permettant la création de pollution artificielle .

A cet effet , nous essayons de reproduire par une méthode artificielle simplifiée les couches de pollution saline , nous permettant par des mesures ; d'étudier les variations de la tension de contournement en fonction du degré de pollution (caractérisé par la conductivité superficielle de l'isolateur pollué).

-o- RAPPEL SUR LE MECANISME DE CONTOURNEMENT DES ISOLATEURS POLLUES -o-

11 - GENERALITES

Depuis quelques dizaines d'années, de nombreux auteurs se sont penchés sur la théorie de contournement des isolateurs pollués, en particulier dans le cadre de la conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques (CIGRE).

Nous avons constaté, que toutes les théories présentées par ces auteurs aboutissent au résultat suivant : le contournement des isolateurs pollués a pour origine des arcs partiels, qui sont dûs à l'échauffement puis l'assèchement des zones polluées à forte densité de courant de fuite.

Nous essayons par la suite de rappeler les notions fondamentales de la théorie du mécanisme de contournement en se basant sur la littérature : (1). Elle expose respectivement d'une manière qualitative et quantitative le phénomène de développement de l'arc, à la surface d'un isolateur recouvert d'un électrolyte, et le calcul de la tension critique de contournement en établissant l'équation du circuit électrique constitué d'un arc en série avec une couche de pollution saline.

12 - MECANISME DE CONTOURNEMENT.

Généralement le contournement d'un isolateur est précédé d'une formation de couche polluante, devenant conductrice sous l'effet de l'humidification par des eaux atmosphériques en suspension.

Avant de parler du mécanisme de formation des décharges superficielles, nous donnons d'abord quelques caractéristiques sur les couches polluantes marines et du type industrielle.

Les principaux types de pollution rencontrés sont : les pollution marine et la pollution industrielle.

- Dans le cas de la pollution marine : Les fines gouttelettes provenant des vagues sont emportées par le vent. Durant leur transport jusqu'aux isolateurs H.T., ces gouttelettes peuvent, soit s'évaporer pour ne laisser que des grains de sel se déposant progressivement sur les isolateurs, soit se déposer directement sur leur surface formant ainsi une couche continue humide conductrice.

Cela dépend de l'éloignement de la ligne H.T. de la mer.

En tous cas, un dépôt de sel s'accumule sur la surface des isolateurs. Le brouillard, La bruine (pluie fine), la rosée etc... humidifient cette couche de sel pour la transformer en un électrolyte, diminuant considérablement la résistance superficielle de l'isolateur.

- Dans le cas d'une pollution industrielle :

La couche polluante provient essentiellement des usines se trouvant à proximité des lignes H.T. Elle est due à l'échappement d'un mélange de fumées, de gaz et de poussières, renfermant des vapeurs d'acide et des sels. En liaison avec l'humidité, les couches polluantes deviennent plus en moins conductrices.

Développement de l'arc à la surface d'un isolateur pollué :

- Le modèle expérimental utilisé pour l'explication du mécanisme de contournement est constitué d'une plaque isolante sur laquelle sont fixées une électrode circulaire et une électrode rectangulaire (Fig. 1).

On applique une tension alternative de quelques KV entre les électrodes de la plaque isolante, recouverte d'une mince couche électrolytique saline. Un courant de fuite s'établit à travers l'électrolyte qui s'échauffe.

La conductivité de l'électrolyte augmente avec la température et entraîne l'accroissement du courant de fuite. La densité de courant devenant importante au voisinage de l'électrode circulaire, la température s'élève, l'électrolyte s'évapore et une zone sèche se forme. La tension aux bornes de l'électrolyte est pratiquement nulle, par conséquent la tension appliquée entre les électrodes se retrouve aux bornes de la zone sèche. La distance entre l'électrode circulaire et l'électrode fictive délimitant les deux zones sèche et polluée étant réduite, un claquage électrique se produit et un arc s'établit dans la zone sèche.

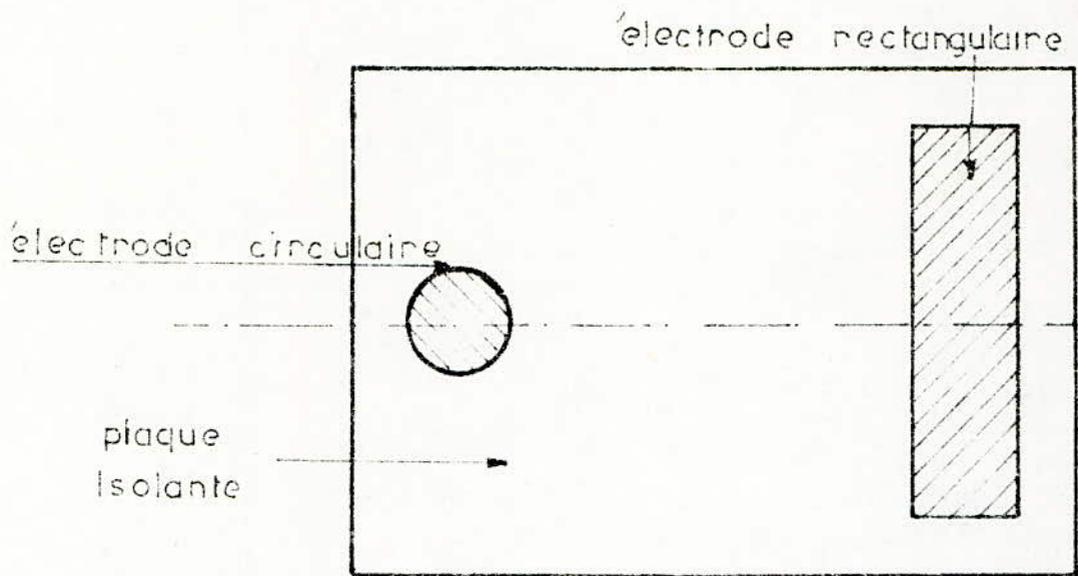


fig. 1

Modèle utilisé pour l'étude du mécanisme de contournement

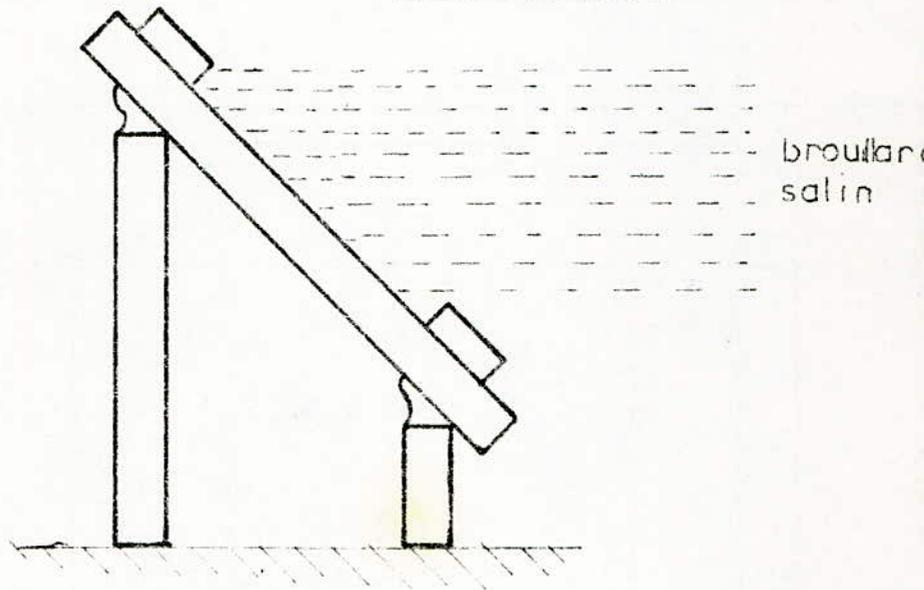
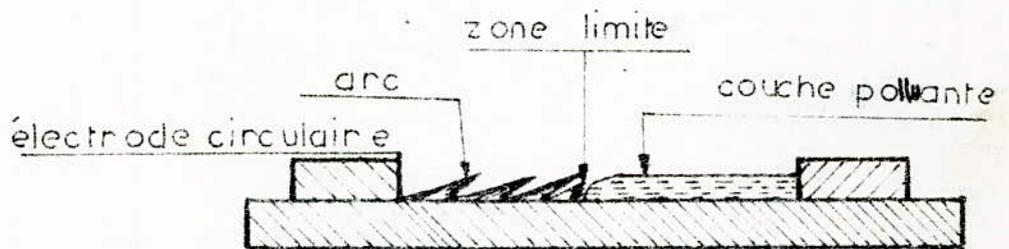


fig. 1'

Montage du modèle



Circuit équivalent

fig. 8

Ce régime de fonctionnement étant transitoire, le courant dans le circuit n'est plus sinusoïdal, mais plus ou moins impulsionnel. La racine de l'arc constitue un point de forte densité de courant. L'échauffement puis l'évaporation progressive de la couche polluante à cet endroit s'accroît et entraîne l'élargissement de la zone sèche, donc un déplacement des racines de l'arc vers l'électrode opposée (on dit que "les petits arcs voyagent"). Deux cas sont à considérer suivant que la pollution est ou non régénérée.

- Dans le cas de la pollution régénérée : Les gouttelettes de pollution qui tombent sur la zone sèche, en traversant l'arc électrique déjà établi, sont instantanément évaporées. De même la régénération continue de la pollution dans la zone limite, crée un état d'équilibre entre le processus d'humidification et de vaporisation, qui empêche l'arc de se déplacer. On obtient donc un régime permanent caractérisé par un arc dit stationnaire. En augmentant la tension de quelques KV au dessus de la tension correspondant à l'arc stationnaire, le courant de fuite augmente d'avantage. Le processus de vaporisation de la pollution dans la zone limite est accéléré et favorise le déplacement des racines de l'arc vers un autre état d'équilibre. Si l'on continue à augmenter la tension jusqu'à une valeur critique, une étincelle complète se formera entre les deux électrodes (contournement de l'isolant).

En effet le courant de fuite n'étant plus limité par la résistance de la couche polluante, un claquage caractérisé par un développement brusque d'un arc se produit.

- Dans le cas de la pollution non régénérée : Les racines de l'arc assèchent progressivement le bord de la couche polluante. Ce phénomène se traduit par un allongement de l'arc puis son extinction.

#### Condition limite de maintien de l'arc en courant alternatif :

Le courant de fuite a l'allure représentée sur la fig. 2. Ce courant s'annule et se réamorçage à chaque alternance quand la tension appliquée est suffisamment grande. Au moment de l'amorçage du courant de fuite, l'onde de tension présente une chute de tension caractérisée par un palier. Au fur et à mesure que l'arc s'allonge, la longueur de la zone sèche augmente, par conséquent sa résistance augmente et entraîne la diminution de l'amplitude

;.../...

-6-

du courant de fuite. De même, la diminution de ce dernier et de la résistance de la couche polluante, entraîne la diminution de la chute de tension aux bornes de celle-ci.

Pour que l'arc soit maintenu, la tension appliquée aux bornes des électrodes doit satisfaire la relation théorique SUIVANTE :

$$V \geq \frac{K x}{i^n} \quad (1)$$

où :

V est la tension appliquée aux électrodes, c'est aussi la tension d'arc, car pratiquement avant l'amorçage, le courant de fuite est nul, c'est à dire que la tension aux bornes de la couche polluante est nulle.

x est la longueur d'arc,

i est l'amplitude du courant de fuite.

k et n sont des constantes.

Des mesures expérimentales effectuées sur plusieurs types d'isolateurs pollués naturellement et artificiellement ont permis d'évaluer les constantes k et n respectivement à 800 et 0,5, d'où la condition de réamorçage de l'arc:

$$V \geq \frac{800 x}{\sqrt{i}} \quad (2)$$

#### Etablissement de l'équation du circuit :

En s'inspirant des travaux théoriques de L.L Alston et S. Zoledzouski ; (3) ; Y. Porcheron et P. Claverie ont établi les équations fondamentales du circuit constitué d'un arc en série avec la couche polluante, à partir de relations empiriques. Pour ces équations que nous citons par la suite, les notations utilisées sont les suivantes : (fig 8)

V : amplitude de la tension sinusoidale appliquée entre les électrodes (enV);

Vc: amplitude de la tension de contournement (en V);

i : amplitude du courant de fuite (en A);

I : amplitude maximale du courant de fuite (en A);

Ic: amplitude du courant critique (en A);

L : distance entre les électrodes, mesurée le long de la surface isolante ( en CM );

.../...

- l : distance d'un point m de la surface isolante à l'une des électrodes mesurée le long de cette surface (en cm)
- x : longueur d'arc (en cm) ;
- X : longueur d'arc maximale (en cm) ;
- R (m) : résistance en série avec l'arc au point m (en  $\Omega$ ) ;
- R (m(x)) ou R (x) : résistance R (m) exprimée en fonction de x; la fonction R (x) est appelée fonction caractéristique de la couche polluante ;
- $\rho$  : résistivité de l'électrolyte polluant (en  $\Omega \cdot \text{cm}$ ) ;
- F (x) : fonction de répartition de la couche polluante ;

$$F(x) = \frac{R(x)}{\rho} \quad (\text{en cm}^{-1}) \quad (3)$$

La tension d'arc est donnée par la relation suivante :

$$V_{\text{arc}} = \frac{100 x}{\sqrt{i}} \quad (4)$$

Dans cette expérience, l'arc est resté au contact de la surface isolante donc  $x = l$ .

Dans ce cas l'équation du circuit s'écrit :

$$V = \frac{100 x}{\sqrt{i}} + R(x) i \quad (5)$$

ou bien en développant R (x) d'après (3):

$$V = \frac{100 x}{\sqrt{i}} + \rho F(x) i \quad (6)$$

F (x) étant fonction des caractéristiques géométriques de la plaque de porcelaine et de la répartition de la couche polluante sur celle-ci. Dans le cas général d'un isolateur avec jupes, l'arc ne reste pas au contact avec toute la longueur de la surface de l'isolateur, mais suit un trajet plus court, parceque d'une part une partie de la surface protégée reste toujours sèche (résistance superficielle importante) et d'autre part la longueur partielle de la ligne de fuite l est plus grande que le trajet suivi par l'arc. (fig.7) donc  $x < l$ . Dans ce cas connaissant  $x = f(l)$  ou en déduit

R ( m (x) ) de R ( m (1) ).

Méthodes de détermination expérimentale de la fonction R (x) :

- Deux méthodes sont utilisées pour mesurer la fonction caractéristique R (x), la méthode directe et la méthode indirecte.
- Dans la méthode directe : La racine de l'arc est simulée par une électrode auxiliaire que l'on déplace sur la surface de l'isolateur pollué. Une tension de quelques KV est appliquée entre l'électrode principale et l'électrode auxiliaire .  
Pour chaque position de cette dernière, on note les valeurs du courant de fuite et de la tension (fig.3). La fonction R (x) est obtenue par simple application de la loi d'Ohm.
- Dans la méthode indirecte : La mesure du courant de fuite maximale sous différentes tensions permet de déterminer R (x) à partir des deux relations (5) et (2) vues précédemment :

$$V = \frac{100 X}{\sqrt{I}} + R (x) \cdot I \quad (5)$$

$$V = \frac{800 X}{\sqrt{I}} \quad (2)$$

En éliminant I entre les relations (5) et (2) on obtient :

$$V = 90 ( X^2 \cdot R (X) )^{1/3} \quad (7)$$

En éliminant X entre les relations (2) et (7) on obtient la relation qui permet de calculer R (X)

$$R (X) = 0,88 \frac{V}{I} \quad (8)$$

Cette méthode est simple par rapport à la précédente et peut être effectuée sur le site ou au laboratoire.

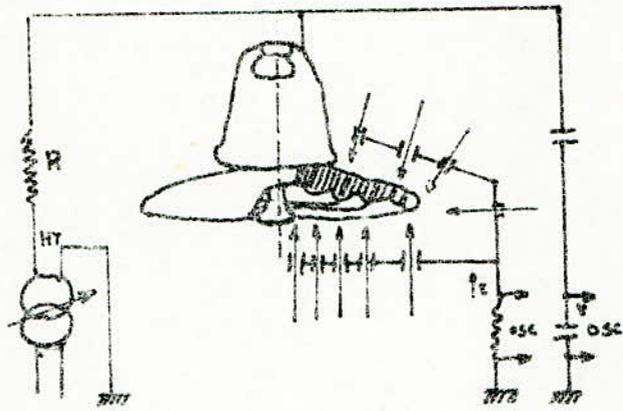


Fig 3. Mesure de la repartition de la couche polluante au moyen d'electrodes auxiliaires

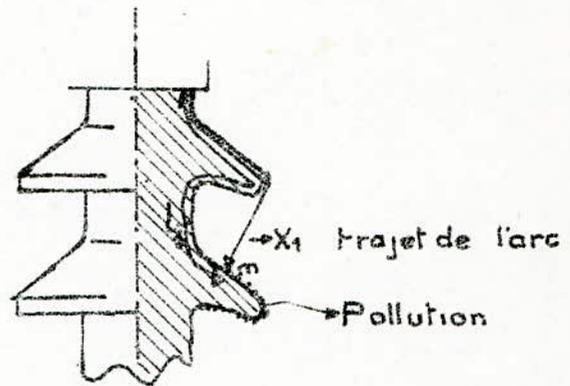


Fig. 7 l'arc ne demeure pas au contact de l'isolant

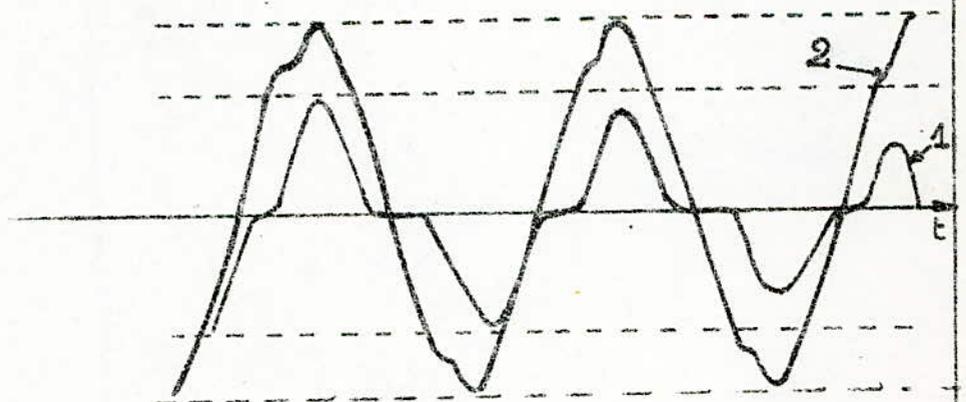


Fig. 2  
 1. Courant dans l'arc  
 2. tension applique'e à la plaque

Longueur d'arc maximale en fonction de la tension et de la pollution :

Les relations :

$$V = \frac{800 X}{\sqrt{I}} \quad \text{et} \quad V = \frac{100 X}{\sqrt{I}} + R(X) I$$

établies précédemment peuvent être représentées par leurs courbes respectives a et b. ( Fig.4).

Dans la zone hachurée, la condition de réamorçage de l'arc n'est pas remplie . L'intersection des courbes (a) et (b) détermine la longueur maximale de l'arc, au delà de laquelle, le réamorçage n'est plus possible. La tension V, le courant I et la longueur d'arc maximale X, sont liées par la relation fondamentale :

$$V \sqrt{I} = 800 X$$

Il faut remarquer que cette relation est valable quelles que soient la résistivité et la fonction de répartition de la couche polluante.

On a vu précédemment la relation qui lie la longueur d'arc maximale X à la tension, à la résistivité et à la fonction de répartition de la couche polluante:

$$V = 90 ( X^2 R(X) )^{1/3}$$

comme

$$R(X) = \rho F(X) \text{ on a :}$$

$$\frac{V}{\rho^{1/3}} = 90 ( X^2 F(X) )^{1/3} \quad (9)$$

La fig. 5 donne l'allure de la courbe représentative de cette fonction. Cette courbe présente un maximum Vc pour X = Xc.

Si on applique à la plaque une tension supérieure à Vc, on peut tracer comme précédemment les courbes représentatives des fonctions

$$V = \frac{100 X}{\sqrt{I}} + R(X) I \quad \text{et} \quad V = \frac{800 X}{\sqrt{I}} \quad (\text{fig.6})$$

On remarque que la condition d'amorçage est vérifiée quelle que soit la longueur de l'arc X. Cela signifie que pour  $X > X_c$  l'arc s'allonge jusqu'à ce qu'il produise le contournement de l'isolateur.

Il existe donc un état critique caractérisé par : la tension critique Vc, au delà de laquelle l'isolateur est contourné, le courant critique Ic, la longueur critique de l'arc Xc.

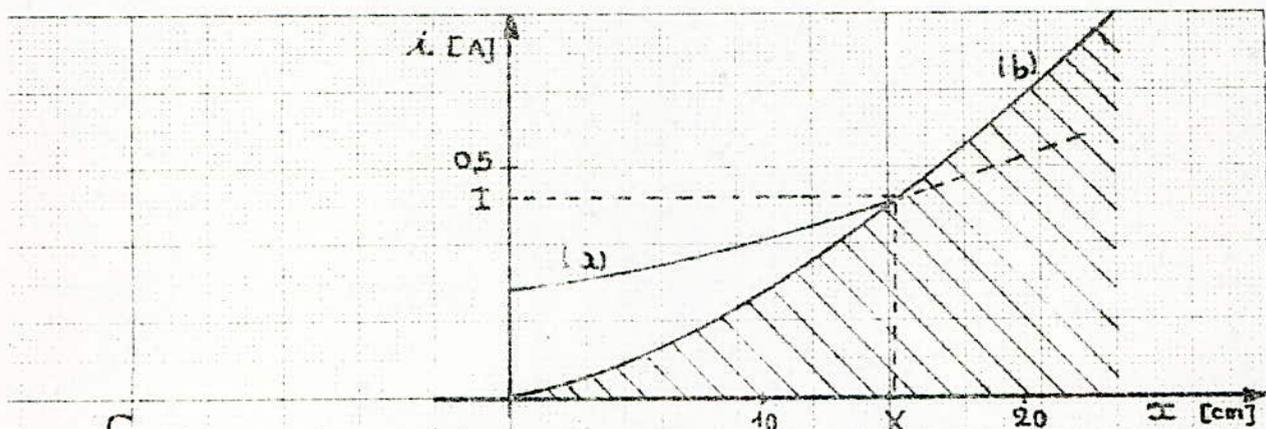


Fig 4. a/ Variation du courant  $i$  en fonction de la Longueur d'arc  $x$  d'après :  $V = \frac{100x}{\sqrt{x}} + R(x) i$   
 b/ Courbe representative de :  $V = \frac{800x}{\sqrt{x}}$

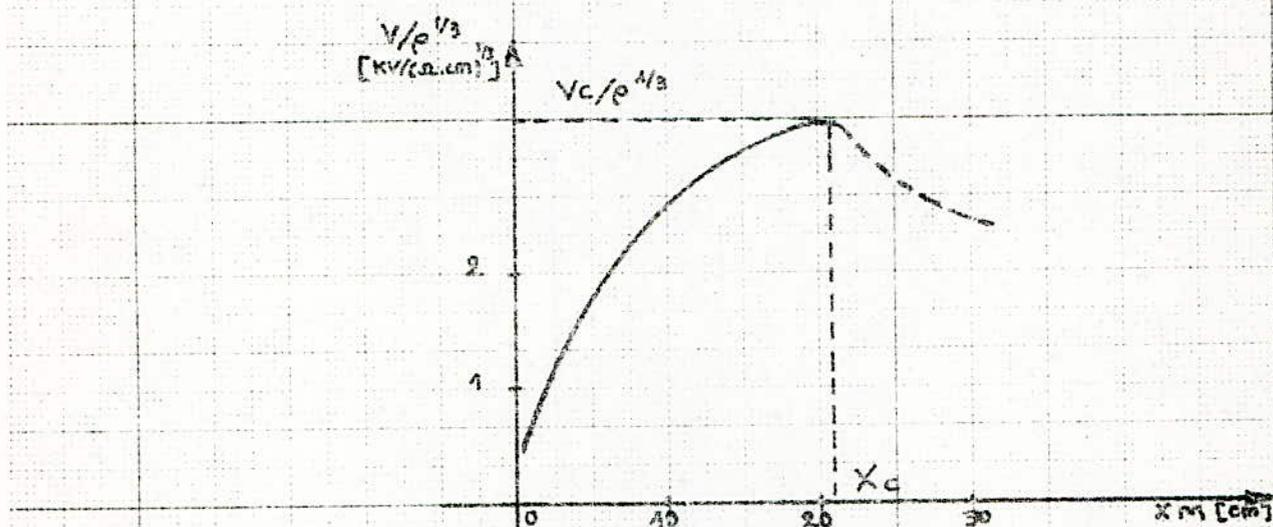


Fig 5. longueur d'arc maximale en fonction de la tension

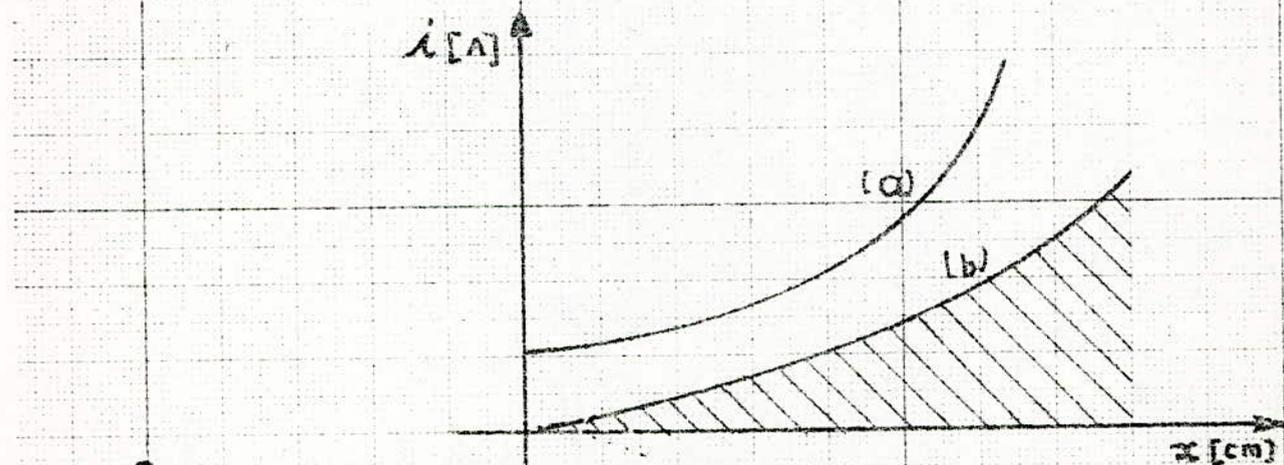


Fig 6. a/ Variation du courant  $i$  en fonction de  $x$  :  $V = \frac{100x}{\sqrt{x}} + R(x) i$   
 b/ Courbe representative de  $V = \frac{800x}{\sqrt{x}}$

Ces variables sont liées par les relations :

$$V_c = 90 (X_c^2 R (X_c) )^{1/3} \quad (10)$$

$$V_c \sqrt{I_c} = 800 X_c \quad (11)$$

Où  $X_c$  est racine de : 
$$\frac{d (X^2 R (X) )^{1/3}}{d x} = 0 \quad (12)$$

Dans notre cas  $R (X) = \rho F (x)$  donc les relations précédentes s'écrivent :

$$\frac{V_c}{\rho^{1/3}} = 90 ( X_c^2 F (X_c) )^{1/3} \quad (13)$$

Où  $X_c$  est racine de :

$$\frac{d ( X^2 F (x) )}{d X} = 0 \quad (14)$$

Donc la valeur de  $X_c$  ne dépend pas de  $\rho$ .

Critère de contournement :

- Supposons qu'une augmentation de la sévérité de la pollution entraîne une diminution de la résistivité  $\rho$  de l'électrolyte avec la même répartition de la couche polluante, la mesure du courant de fuite permet de prévoir le contournement.

Donc sous la tension  $V$ , lorsque  $\rho$  diminue, le courant de fuite croit et atteint la valeur critique  $I_c$  au dessus de laquelle on a le contournement de l'isolateur.

Ce courant est calculé par la relation :

$$V \sqrt{I_c} = 800 X_c$$
$$\text{d'où } I_c = 64 \cdot 10^4 \cdot \frac{X_c^2}{V^2} \quad (15)$$

Si  $X_c$  est connu, on peut prévoir le contournement par la mesure du courant de fuite. Si la valeur du courant de fuite mesurée est voisine de la valeur du courant critique, la tension appliquée est voisine de la tension de contournement.

-o- POLLUTION MARINE DES ISOLATEURS DE HAUTE TENSION EN ALGERIE -o-

21 - GENERALITES SUR LA POLLUTION MARINE//

Des difficultés ont été rencontrées dans de nombreux pays par suite de contournements des isolateurs de haute tension en atmosphère polluée. Ces difficultés sont accentuées dans des zones à forte pollution industrielle et au brouillard ainsi que dans les régions côtières. Quelque soit la nature de la couche polluante sur les isolateurs de haute tension, le mécanisme du contournement peut s'expliquer par le processus de séchage et d'humidification de la couche polluante.

La pollution marine sur les lignes de H.T. est due à des tempêtes sur la mer. L'écume et les embruns venant des vagues contiennent une certaine quantité de sel qui dépend de la salinité de la mer. L'eau des gouttes s'évapore partiellement et les gouttellettes sont soulevées par le vent. La précipitation des particules de sel est plus forte sur la côte, mais elle peut devenir considérable à de grandes distances de la cote si la vitesse du vent est importante. Les isolateurs de H.T. se recouvrent d'un dépôt composé de sel et d'autres poussières.

Quand l'isolateur est mouillé à la première occasion, la couche de sel devient plus ou moins conductrice et un courant de fuite s'établit à la surface de l'isolateur. D'après les enregistrements statistiques réalisés en exploitation dans de nombreux pays, les défauts apparaissent souvent à cause de l'humidification des couches dues à la condensation pendant la nuit et les premières heures de la matinée. La formation de l'humidité à la surface de l'isolateur est due à la baisse de la température au dessous du point de rosée.

Les lignes de haute tension situées dans le littoral algérien sont aussi exposées simultanément à la pollution marine et industrielle.

La pollution industrielle des isolateurs est due à la pollution de l'atmosphère par des usines chimiques et métallurgiques concentrées sur la cote algérienne .

22 - POLLUTION MARINE EN ALGERIE //

Le problème de la pollution marine en Algérie est peu connu. En effet, malgré la longueur considérable de la cote (1000 Km environ ) aucune étude sur la pollution marine en Algérie n' a été entreprise car les contournements des isolateurs de H.T. sont peu fréquents. Ceci s'explique par le niveau de la tension et le nombre des lignes de H.T. existantes sur le littoral algérien qui sont

...../.....

relativement réduits. D'autre part nous verrons par la suite que la plupart des lignes de H.T. sont suffisamment éloignées de la cote pour être atteintes par les vents marins.

Ces lignes sont davantage protégées par la présence de certaines montagnes (Dahra de l'Ouarsenis entre Mostaganem et Cherchell, Djurdjura en Kabylie, Edough à Annaba) au voisinage de la côte, constituant ainsi un véritable écran naturel qui empêche la propagation des embruns marins. Malgré tout cela, des difficultés ont été rencontrées sur les lignes de H.T. construites au voisinage immédiat de la cote, même si leur tension d'alimentation est relativement réduite. ( par exemple le ligne de 60 KV entre Arzew et Mostaganem ).

En effet ces lignes sont soumises à une forte pollution marine et nécessitent une attention particulière par l'utilisation d'un moyen de lutte anti-pollution important tel que le lavage ou le graissage des isolateurs.

Ce problème de pollution prendra de l'ampleur dans les années à venir à cause de l'extension continue de l'industrie algérienne et sa concentration sur le littoral. Cette extension de l'industrie entraîne l'augmentation de la tension et du nombre de lignes de H.T.. D'où la nécessité d'attacher dès maintenant une importance particulière à ce problème, en prenant connaissance des phénomènes de pollution marine par :

- Des observations des équipements en service et leur comportement vis à vis de cette pollution .
- L'implantation de stations d'essai "in situ " sur l'ensemble du littoral algérien.
- La simulation de la pollution marine par des essais au laboratoire.

Il faut signaler que les seuls laboratoires de haute tension existants sont ceux de l'Ecole Nationale Polytechnique et de la SONELEC. Il n'existe pas de stations expérimentales sur le site.

En général le dimensionnement marginal des isolateurs par simple augmentation de la ligne de fuite paraît résoudre ces problèmes. Mais il s'avère que cette solution n'est pas satisfaisante du point de vue économique. La meilleure solution est celle qui tient compte des facteurs principaux suivants : la répartition du dépôt de sel rencontré en service pour différents types d'isolateurs en différents lieux, la fréquence du dépôt et l'effet d'auto-nettoyage naturel par le vent et la pluie.

Dans notre cas, nous nous basons sur la seule source bibliographique dont nous disposons, c'est à dire les statistiques météorologiques de l'ENEMA (4) pour essayer d'aborder pour la première fois le problème de la pollution marine en Algérie.

### 23 - INFLUENCE DES FACTEURS CLIMATOLOGIQUES /

Les principaux facteurs climatologiques rencontrés fréquemment dans le littoral et qui influencent le comportement de l'équipement de H.T. sont : le brouillard l'humidité relative de l'air, la pluie, les vents et l'état de la mer.

Nous considérons le cas le plus défavorable aux isolateurs de H.T. en prenant dans la mesure du possible les valeurs extrémales de ces facteurs.

Pour cela nous utiliserons les statistiques enregistrées par l'ENEMA (4), pendant une période assez longue dans les stations météorologiques cotières de Ghazaouet, Oran, Mostaganem, Alger, Skikda et Annaba.

#### a) - Précipitations pluviales :

On remarque que les précipitations sont plus importantes au centre et à l'est du littoral algérien où une bande cotière d'une largeur variant entre 40 et 70 Km et allant de la région d'Alger à la région de Annaba, reçoit en moyenne plus de 1400 mm de pluie par an. Donc les isolateurs des lignes de H.T. situés dans cette bande ont l'avantage d'être bien lavés par la pluie. Par contre l'ouest de l'Algérie qui reçoit moins de 500 mm de pluie par an est peu arrosé. Pour tout le littoral algérien, les pluies abondantes sont enregistrées en hiver particulièrement aux mois de Décembre et Janvier. Durant cette période les isolateurs des lignes H.T. sont bien lavés par la pluie.

#### b) - Humidité relative :

L'humidité relative de l'air pour l'ensemble du littoral algérien a une valeur moyenne de 73 %. Elle varie suivant les saisons et les régions entre 69 et 80 % et elle est légèrement croissante en allant de l'ouest vers l'est. Aux mois de décembre et janvier, elle peut dépasser 88 % à l'ouest et 94 % à l'est de l'Algérie. On peut conclure en disant que le littoral algérien est très humide. ( Fig. 10 ).

.. ./...

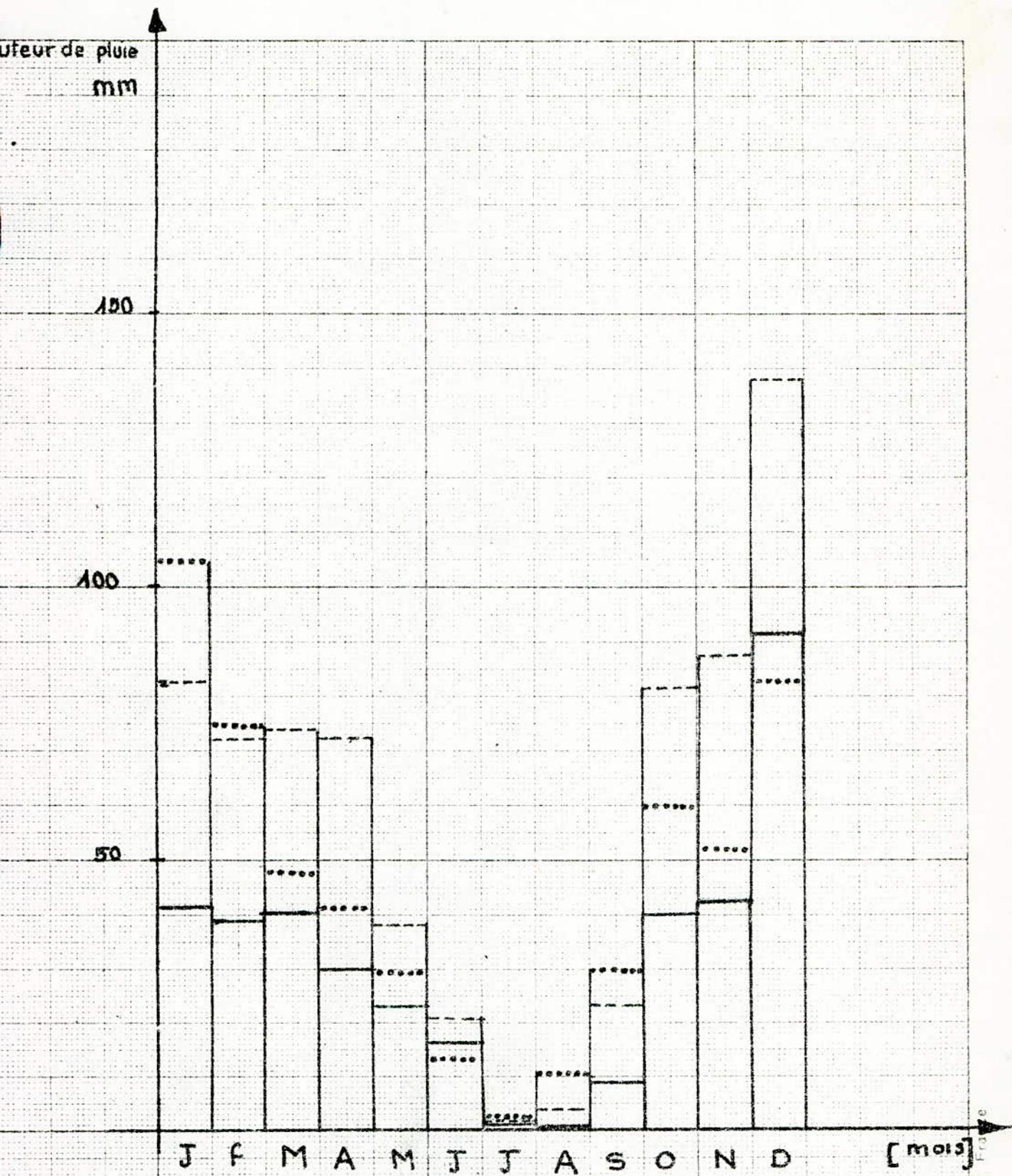


Fig: 9 Hauteur Mensuelle de pluviometrie au littoral

— Oran ( de 1961 à 1970 )  
 - - - Alger " " "  
 ..... Annaba " " "

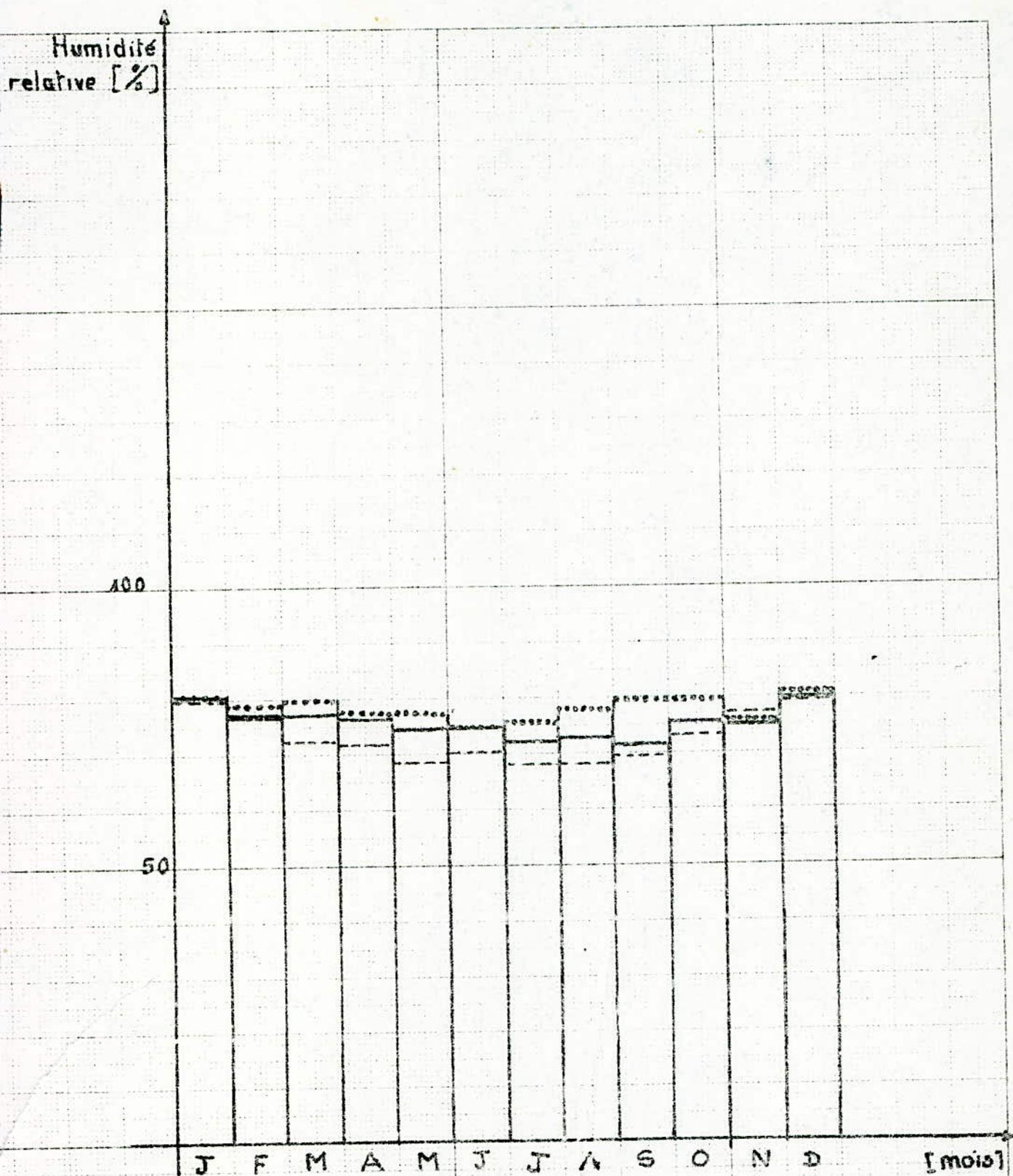


Fig: 10 Moyenne Mensuelle de l'Humidité Relative pour:

- — — — — → ALger ( de 1961 à 1970 )
- - - - - → Oran " "
- ..... → Annabc. " "

c) - Température :

La température moyenne pour l'ensemble du littoral algérien est de 18°C. Elle varie suivant les saisons entre 10 et 25°C. Les températures moyennes mensuelles sont pratiquement les mêmes à l'ouest, au centre et à l'est du littoral algérien (Fig. 11).

La plus basse température de 1°C a été enregistrée en hiver à l'ouest.

Nous n'avons pas de renseignements statistiques concernant les valeurs minimales de températures au centre et à l'est, mais il est probable que cette température de 1°C peut être atteinte. Cette baisse de température au delà d'une certaine limite (point de rosée) dépendant de l'humidité donne naissance à la rosée. Ce phénomène est très fréquent la nuit et les premières heures de la matinée où l'humidité relative de l'air est importante et la température assez faible.

d) - Brouillard et gelée blanche :

La présence fréquente du brouillard est surtout révélée à Alger, Oran et quelquefois à Annaba. (Fig. 12 et 13).

Le brouillard apparaît aux mois de juillet et août. La présence du brouillard durant cette période s'est avérée très dangereuse pour les isolateurs (5).

En effet les isolateurs ont traversé la saison du printemps où les pluies n'étaient pas suffisantes pour laver les isolateurs. Donc un dépôt polluant s'est accumulé progressivement et a recouvert complètement l'isolateur pendant cette période.

L'humidification par le brouillard la transforme en un film conducteur pouvant provoquer le contournement.

Quant à la gelée blanche, à l'exception de la région d'Alger où l'on enregistre en moyenne 8 heures de gelée blanche par an (4), on peut la considérer comme inexistante dans les autres régions.

e) - Les vents :

Les vents qui soufflent de la mer vers l'intérieur (vents marins) sont à l'origine de la propagation de la pollution marine. La direction habituelle des vents dans la région d'Oran est ouest.

...../.....

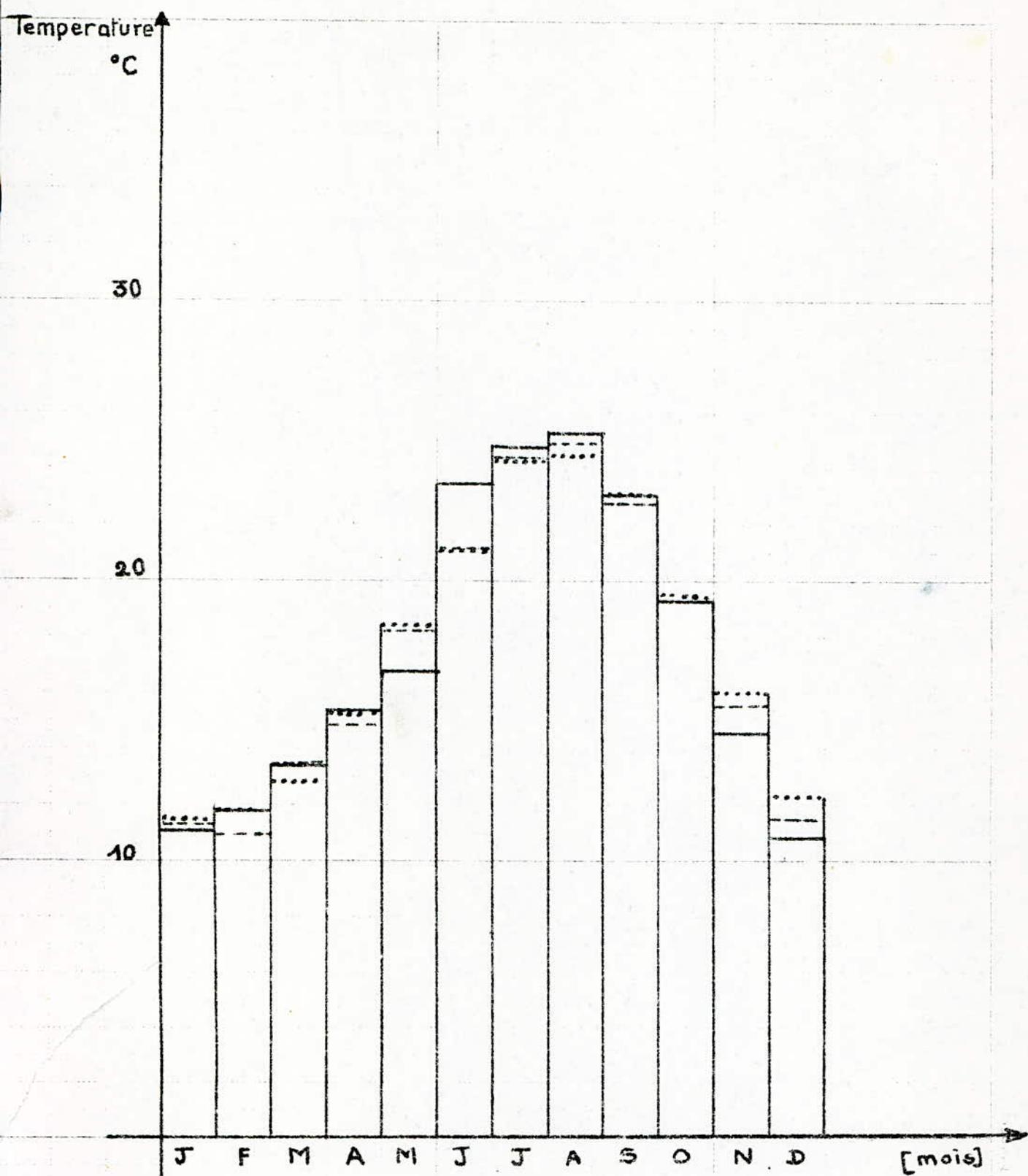


Fig 11 Temperature Moyenne Mensuelle

— Oran ( de 1961 à 1970 )  
 - - - Alger ( de 1960 à 1970 )  
 . . . . Annaba ( de 1961 à 1970 )

LES ÉDITIONS L'ÉCLAIR

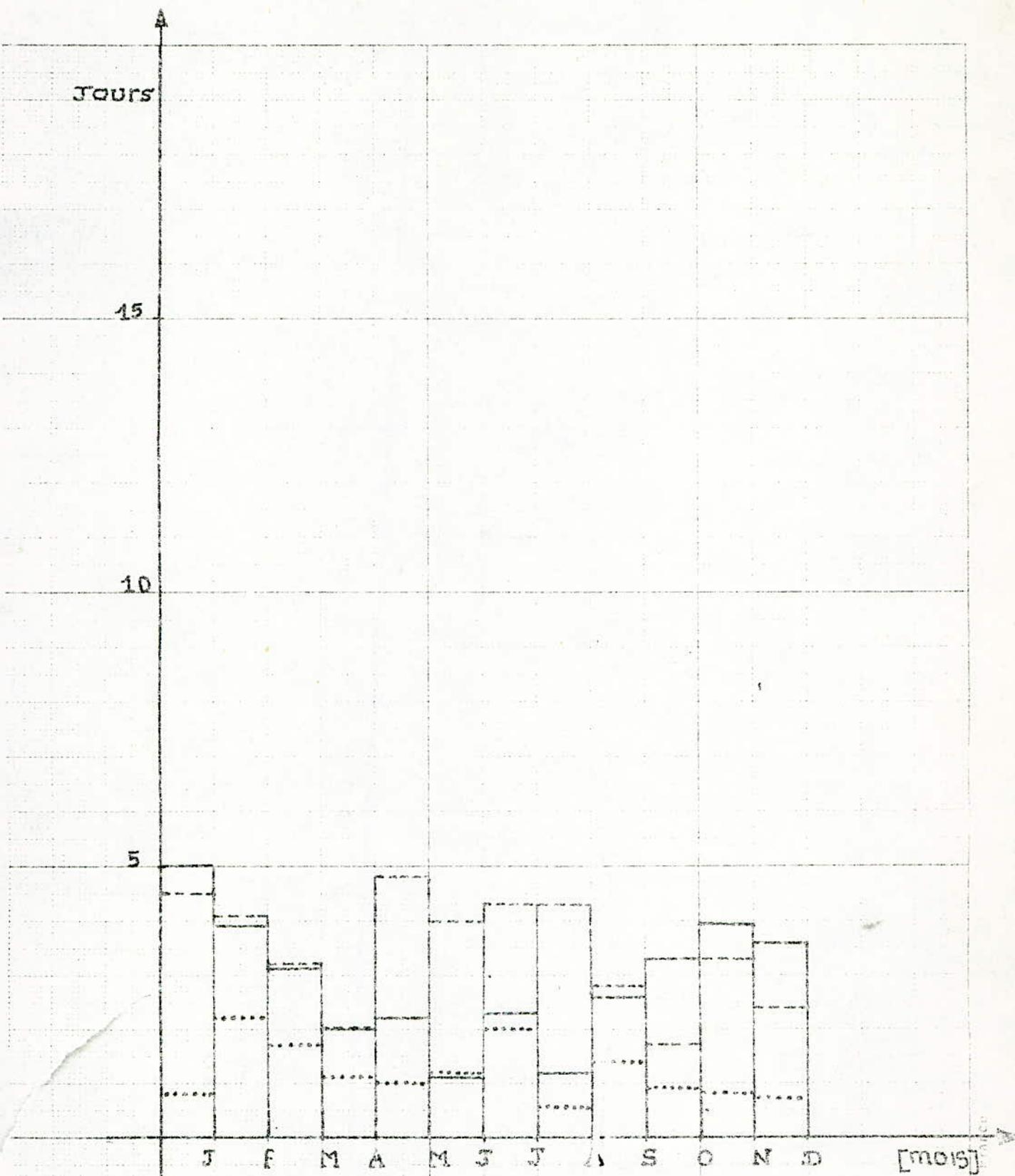


Fig: 12 Moyenne mensuelle des jours de brouillard

- Oran (de 1950 à 1968)
- - - Alger (de 1960 à 1970)
- ..... Annaba (de 1958 à 1968)

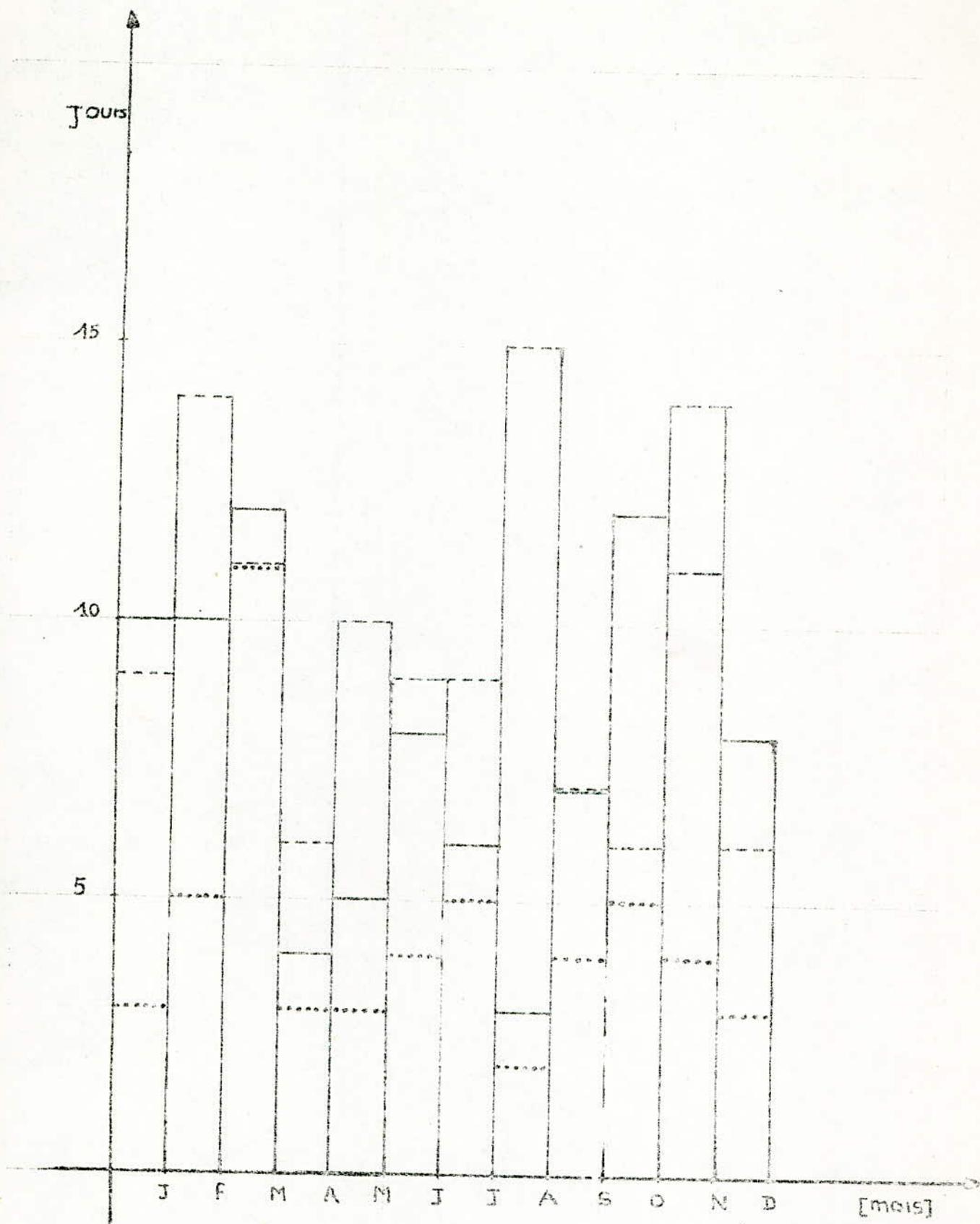


Fig 13 Nombre d maximum de jours de brouillard

- Oran (de 1951 à 1968 )
- Alger (de 1950 à 1970)
- ..... Annaba (de 1958 à 1968)

De même à Mostaganem, les vents qui viennent de la mer sont prépondérants, et peuvent atteindre des vitesses importantes de 18 m/s. Ces vents sont très dangereux pour les isolateurs de H.T. proches et même éloignés de la mer. Au centre, la direction des vents qui viennent de la mer est de 50 % environ de toutes les directions. Ces vents sont très fréquents en été, mais durant cette période, la mer est généralement belle ou peu agitée. Donc ces vents ne sont dangereux pour l'équipement de H.T. car il transportent très peu d'embruns marins.

A l'est les vents provenant de la mer sont fréquents en automne et atteignent quelquefois des vitesses de 18 m/s. Ces vents peuvent déplacer des grains de sel à des distances considérables de la côte, car durant cette période la mer est agitée. (4).

#### CONCLUSION //

Apparemment, les conditions climatiques sont de plus en plus défavorables pour les équipements de H.T. en allant de l'ouest vers l'est. Mais le phénomène d'auto-lavage est plus important à l'est où les pluies sont très abondantes.

#### 24 - LIGNES DE HAUTE TENSION DU LITTORAL ALGERIEN /

Les lignes de H.T. du réseau national (Fig. 14) sont alimentées actuellement par les tensions de 60, 90 et 150 KV. Les tensions de 150 KV passeront dans très peu de temps à 220 KV. Il est prévu également l'extension du réseau par la construction de nouvelles lignes de 220 KV. Nous considérons uniquement les lignes situées à une distance inférieure à 100 Km de la ligne côtière. En effet il a été constaté que dans des conditions climatiques très défavorables (vent fort, mer grosse) la pollution marine peut être rencontrée à une distance de 100 Km de la côte (5).

Pour ces lignes nous verrons par la suite que le principal moyen de lutte anti-pollution utilisé par les services d'entretien de la SONEGAS est le lavage périodique des isolateurs une ou plusieurs fois par an, suivant le degré de pollution des sites. Par mesure de sécurité du personnel, ces opérations sont faites sans tension. Pour les lignes très proches de la côte, le graissage des isolateurs a été indispensable.

.... /... ..

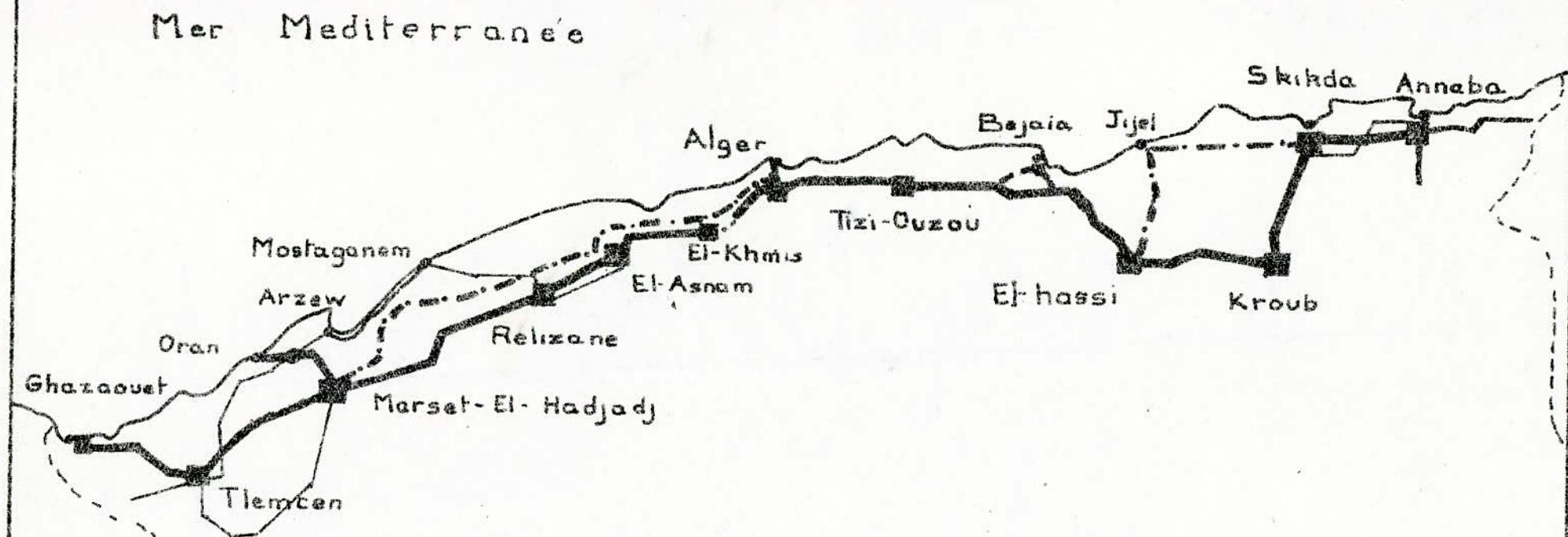


Fig 14 lignes de H.T. du littoral algerien

Echelle: 1/5 000 000 environ

-  Lignes de 150 KV
-  Lignes de 90 KV
-  Lignes de 60 KV
-  Futures lignes de 220 KV

Lignes de 150 KV :

Les lignes de 150 KV entre Tlemcen et EL-Khémis à l'ouest, et EL-Hassi- Khroubs à l'est, distantes de 50 à 80 Km de la côte sont relativement peu touchées par la pollution marine. En effet les services spécialisés de SONEGAS ne rencontrent pas de difficultés particulières dans l'exploitation de ces lignes et se contentent de laver les isolateurs une fois par an. Les lignes de H.T. entre Alger, Tizi-Ouzou , Mansouriah et Skikda - Annaba sont plus proche de la côte que les lignes précédentes (10 à 30 Km de la côte ).

Elles sont donc soumises à une pollution relativement importante. Le moyen de lutte utilisé est le lavage des isolateurs plusieurs fois par an.

Lignes de 90 KV :

Les lignes de 90 KV sont presque inexistantes sur le littoral. La seule ligne de 90 KV la plus proche de la côte est celle de Annaba EL-Kalaa.

Lignes de 60 KV :

Quant aux lignes de 60 KV, la plupart d'entre elles sont situées à l'ouest. Vu le nombre d'incidents et la tension d'alimentation de ces lignes, relativement réduits, Il n'est pas attaché d'importance particulière à celles-ci. Le lavage des isolateurs de ces lignes une fois par an a été suffisant. Cependant de graves incidents ont été rencontrés sur le tronçon de ligne Arzew-Mostaganem. En effet ce tronçon se trouvant au voisinage immédiat de la mer est soumis à une forte pollution marine. Ces incidents sont actuellement combattus par le graissage des isolateurs.

Lignes futures :

Les futures lignes de 220 KV d'Oran à Alger sont assez proches de la cote ( 5 à 50 Km ). Dans ce cas le problème de pollution prendra de l'ampleur, en particulier pour la ligne Jijel - Skikda qui est encore plus proche de la mer. Pour ces lignes, il est prévu l'utilisation d'isolateurs anti-pollution qui seront lavés périodiquement.

..../. ..

:

18 - STATION EXPERIMENTALE "IN SITU" POUR L'ETUDE DU DEGRE DE POLLUTION /

Les grands constructeurs de matériel électrique ont mis au point de nombreux types d'isolateurs. Chaque catégorie d'isolateurs répond à certaines conditions de service. Lors de la construction d'une ligne de H.T., le choix des isolateurs correspondants ne doit pas être arbitraire, mais il est nécessaire d'installer judicieusement les isolateurs dans des endroits convenables. C'est la raison pour laquelle il est utile de connaître le niveau minimum d'isolement nécessaire, pour éviter le contournement des isolateurs.

La sévérité d'un site donné peut être caractérisée par le degré de pollution. Le degré de pollution peut être déterminé en nettoyant la surface d'un isolateur pollué à l'aide d'un coton pur imbibé d'eau distillé. La conductivité de la solution contaminée par le coton permet par des mesures d'obtenir la quantité équivalente de sel.

Une autre méthode consiste à installer des stations expérimentales "in situ" pour noter les performances de plusieurs types d'isolateurs de référence installés dans ces stations et soumis à la tension de service. Pour cela, on suit les variations du courant de fuite en fonction du temps. On note l'amplitude maximale du courant de fuite  $I_m$ . Des isolateurs identiques aux précédents sont étudiés au laboratoire. Une tension voisine à la tension de service leur est appliquée, en les pulvérisant avec des solutions salines de concentrations différentes.

La salinité pour laquelle l'amplitude du courant de fuite au laboratoire atteint l'amplitude maximale  $I_m$ , mesurée dans la station "in situ" sera considérée comme la salinité équivalente du site. Elle s'exprimera en grammes de sel par litre de solution.

La salinité équivalente ou degré de pollution est considérée comme la base de référence pour le classement des sites pollués. Plusieurs échelles conventionnelles sont utilisées. A titre d'exemple le tableau suivant montre un type de classification utilisé en France (1).

...../.....

-o- CLASSIFICATION DES SITES POLLUES -o-

CLASSE	DEFINITION DU SITE	SALINITE EQUIVALENTE EN g/l
1	ZONE NON POLLUEE OU L'ISOLEMENT NORMAL CONVIENT	2,5
2	ZONE FAIBLEMENT POLLUEE OU LE RENFORCEMENT ' DE L'ISOLEMENT EST NEANMOINS NECESSAIRE	10
3	ZONE A FORTE POLLUTION NECESSITANT UN RENFORCEMENT ' IMPORTANT DE L'ISOLEMENT	80
4	ZONE A TRES FORTE POLLUTION NECESSITANT UN ISOLEMENT EXCEPTIONNEL OU L'ISOLEMENT DE LA CLASSE 3 ASSOCIE AU GRAISSAGE OU LAVAGE PERIODIQUE DES ISOLATEURS.	160

Si le nombre de stations " in situ " est suffisant, on peut établir une carte pour l'ensemble d'un territoire représentant les différents degrés de pollution dans chaque région. Ces résultats permettent de mieux exploiter le réseau de H.T. en prenant des dispositions constructives telles que : le surisolement par augmentation de la ligne de fuite, l'utilisation d'isolateur de forme favorable, la disposition inclinée ou horizontale des chaînes d'isolateurs ; ou en prenant des mesures d'exploitation telles que le lavage ou le graissage périodique des isolateurs.

L'inconvénient majeur des stations expérimentales réside dans la durée des recherches qui peut être de plusieurs années pour obtenir des résultats valables

26 - MESURES ACTUELLES SUR LE CHOIX DES ISOLATEURS ET MOYENS DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION /

A l'heure actuelle on peut diviser les sites suivant leur degré de pollution en 4 classes, dépendant de la valeur de la conductivité superficielle.

Classe 1 : légère pollution /

La répartition de la pollution n'est pas uniforme sur la surface supérieure des jupes. Il n'y en a pas en dessous. Dans ce cas l'isolement normal convient.

Classe 2 : pollution moyenne /

La couche polluante est uniforme sur la surface supérieure des jupes. Des traces de pollution sont observées au dessous des jupes. Dans ce cas il est nécessaire de renforcer l'isolement par allongement de la ligne de fuite.

Classe 3 : pollution forte /

C'est le cas des équipements de H.T. situés à proximité immédiate de la mer ou dans une zone industrielle avec usines métallurgiques et chimiques. On observe une couche mince et uniforme de pollution sur le dessus des jupes des isolateurs. La pollution est non uniforme au dessous des jupes. Dans ce cas le renforcement de l'isolement doit être important (par exemple utilisation d'isolateurs anti-pollution).

Classe 4 : pollution très forte /

L'isolateur est recouvert entièrement par la pollution, c'est le cas des équipements de H.T., situés à la fois à proximité de la mer et d'une zone industrielle. Il faut surisoler les isolateurs et les laver ou les graisser périodiquement.

.. ./.....

Donc suivant le degré de pollution observé sur le site, les incidents dus à la pollution sont combattus par l'adoption de dispositions constructives, par des mesures d'exploitation ou par des modifications des installations existantes.

Dans les dispositions constructives On distingue :

- Le renforcement de l'isolement par allongement de la ligne de fuite
- L'utilisation d'isolateurs de forme plus favorable dont le profil permet la protection d'une partie de la surface isolante.
- L'utilisation d'isolateurs en position horizontale ou inclinée de préférence à la position verticale.

Dans les mesures d'exploitation On distingue :

- Le lavage périodique par jet d'eau des installations hors tension ou sous tension.
- Le graissage périodique des isolateurs.

On peut modifier : Les installations existantes par :

- L'adjonction d'un ou de plusieurs éléments aux chaînes d'isolateurs.
- Le renforcement des isolateurs habituels par des isolateurs anti-pollution.

a) - Choix de la ligne de fuite :

D'après F. OBENHAUS, le choix de la longueur de ligne de fuite est fait en fonction de 4 classes de pollution, suivant la quantité qui se dépose pendant 24 heures sur les isolateurs installés sur le site.

CLASSE	QUANTITE DE POLLUTION	LONGUEUR DE LIGNE DE FUITE
1	$< 0,5 \text{ G/m}^2 / 24 \text{ h}$	/ 1,6 cm/KV
2	0,5 .....1	2
3	1 .....5	3
4	$> 5$	4

Ces valeurs correspondent aux valeurs recommandées par les normes allemandes. En Suède les normes prévoient 3 classes de pollution. La ligne de fuite correspondante à chaque classe est respectivement 1,6; 2,3 et 3 cm/KV. Il faut noter que ces valeurs sont valables uniquement pour les isolateurs de lignes.

b) Emploi des isolateurs en position inclinée ou horizontale :

Un isolateur en position horizontale a une amélioration de tenue de 20 % par rapport au même isolateur placé en position verticale. En effet ces isolateurs sont mieux lavés par la pluie.

c) Lavage par jet d'eau des isolateurs :

Le lavage des isolateurs pollués permet de retarder la formation de la couche polluante. Il peut être fait sous tension ou après coupure. Pendant le lavage sous tension, il apparaît des arcs partiels à la surface des isolateurs. Donc ce lavage peut causer court circuits et a paru également dangereux pour le personnel.

Le lavage peut être fait par un agent d'entretien se tenant sur une plaque métallique et dirigeant à la main la lance produisant le jet d'eau. Cette dernière est reliée à la plaque métallique par un câble souple. Ce dispositif permet à l'opérateur de ne pas être exposé au choc de courant qui se dirige le long du jet d'eau. Il y a aussi un danger à cause de la chaleur rayonnante des contournements qui peuvent se produire pendant le lavage, pouvant causer des brûlures ou blessures par éclats.

De même il peut y avoir contournement d'un isolateur voisin non encore lavé. Par mesure de sécurité du personnel, le lavage doit être fait à une distance supérieure à 5 m. (6)

Donc le lavage qui offre la sécurité absolue est le lavage après coupure. Dans ce cas, le lavage est effectué pendant la période de faible charge, c'est à dire la nuit.

d) - Graissage des isolateurs :

L'application d'une graisse aux silicones à un isolateur H.T. améliore sa tenue d'environ 20 % pendant au moins 4 ans. Ces graisses isolantes entourent et isolent les grains solides de pollution les uns des autres et de l'eau superficielle, donc empêche la conduction de l'électrolyte polluant.

Les 3 types de graisse courants sont :

La graisse minérale du type A (100 %) qui a l'inconvénient de couler lorsque la température est élevée.

La graisse minérale du type B (84%) qui doit être appliquée avec soin et seulement quand la température convient, sinon des craquelures fines et une perte d'adhérence sur la surface de l'isolateur peut se produire.

La graisse du Type B et C sont facilement enlevés quand elles sont vieilles que celles du type A.

Les revêtements aux silicones sont adhésives et hydrophobes. Un revêtement de 1mm d'épaisseur peut garder son efficacité pendant 5 ans sous pollution modérée.

L'inconvénient de toutes ces graisses réside dans leur coût de renouvellement lorsqu'elles sont vieilles.

Application des graisses :

Les graisses aux silicones peuvent être appliquées manuellement avec des chiffons ou au pinceau, ou par pulvérisation au pistolet. L'utilisation du pistolet permet d'obtenir une couche uniforme de graisse sur l'isolateur. Son inconvénient réside dans la perte de graisse par pulvérisation. Par conséquent il y a formation d'un dépôt de graisse glissante sur la charpente métallique qui sera difficile à repeindre.

31 - GENERALITES

Dans la pratique les isolateurs sont soumis à des conditions de pollution très variées. La formation et la répartition de la couche polluante sur la surface des isolateurs, dépend du lieu de montage et des conditions climatiques. La composition de la couche dépend de la proximité de source polluante (la mer voisine, la mobilité du sol et la nature des poussières provenant des industries voisines etc...).

Les essais des isolateurs sous la pollution artificielle, ont pour but de reproduire des conditions naturelles se présentant au cours d'exploitation. L'attention de nombreux chercheurs a été attirée depuis longtemps par le problème de reproduction au laboratoire d'une façon aussi exacte que possible, les conditions naturelles de service. De nombreuses méthodes d'essai sont mises au point à cet effet, dont les principales seront passées en revue dans ce chapitre. (7)

Nous présenterons ensuite les essais de pollution artificielle standardisés avec les recommandations de la CEI, relatives à leur mode de production et le matériel à utiliser.

32 - METHODES DE POLLUTION-ARTIFICIELLE

La simulation très exacte des conditions naturelles en site est très difficile. Mais l'effort important déployé par des chercheurs leur a permis de reproduire certaines conditions très sévères telles que le brouillard, la rosée, le vent et créer avec une bonne approximation les conditions naturelles de service.

a) Méthode de Von Gron et Revery :

Des couches solides et seches de diverses conductivités sont appliquées à la surface d'un isolateur. Elles sont composées d'éléments insolubles, qui leur donnent un caractère hygroscopique, et d'un sel qui est responsable de leur conductivité. La couche humidifiée par condensation de l'eau devient un film conducteur électrolytiquement et s'adhère parfaitement

à la surface de l'isolateur.

Les essais sont effectués sous des tensions constantes, pour une gamme de conductivité, qui sont appliquées aux isolateurs à leur pleine valeur avant que l'humidification ne commence.

La conductivité superficielle est mesurée parallèlement à l'essai, sur un isolateur semblable recouvert d'une couche identique.

Cette méthode simule les conditions naturelles pendant le brouillard.

Revery utilise la même méthode de pollution, mais l'humidification est obtenue par pulvérisation de l'eau.

Dans les deux cas, la durée de l'essai permet de juger si l'isolateur est capable de tenir la tension de service dans de telles conditions. (7)

b) Méthode de Josse /

Elle consiste à pulvériser la surface d'un isolateur initialement propre par un nuage de très fines gouttelettes provenant d'une solution saline de résistivité égale à 200  $\bar{\Omega}$  cm.

Le brouillard est produit par des tuyères, assurant une pulvérisation uniforme, contrôlée par la mesure du débit dans un plan perpendiculaire à la direction moyenne des tuyères. Ce débit doit être de 3 cm<sup>3</sup> / dm<sup>2</sup> / mn pour les isolateurs du type extérieur et de 0,2 cm<sup>3</sup> / dm<sup>2</sup> / mn pour les isolateurs du type intérieur. (7)

A travers la mesure de la tension de contournement dans ces conditions, on apprécie la qualité de l'isolateur essayé.

Cette méthode imite les conditions naturelles de bruine, et permet un classement rapide des isolateurs du point de vue de leur comportement relatif.

c) Méthode de Gion et Grégoire :

Une tension voisine de la tension de service est appliquée à une série d'isolateurs de formes diverses, placés dans une chambre à brouillard. On les soumet à un cycle d'essai de pollution artificielle prolongée et contrôlée, comprenant une période de dépôt de poussière (Kaolin) pendant deux heures suivies d'une pulvérisation par une solution saline (31g de sel par litre d'eau) durant quatre heures. Un lavage de quelques minutes par une pluie normalisée complète souvent le cycle pour tenir compte des propriétés d'auto-nettoyage des isolateurs.

Ce cycle durant une journée est répété chaque jour.

Le courant de fuite est mesuré au cours de l'essai; un isolateur est contourné si la valeur du courant de fuite dépasse 27 mA.

Cette méthode établit une comparaison qualitative et quantitative entre plusieurs types d'isolateurs, et les meilleurs sont ceux qui supportent le plus longtemps leurs tensions de service dans ces conditions.

Grégoire utilise une méthode analogue dont le cycle est composé d'une période de brouillard de différentes résistivités, une période de poussière suivie par une phase d'humidification par la pluie ou la rosée et enfin une période de séchage par circulation d'air. Ce cycle est poursuivi jusqu'à ce qu'un contournement se produise et le nombre de cycles supportés avant le contournement est considéré comme critère de la qualité de l'isolateur.

d) Méthode due à Oakeshott et Lambeth:

Un isolateur sous tension de service est soumis à une pulvérisation sous vent. L'isolateur est placé dans un tunnel aérodynamique muni d'un ventilateur (7,5 CV) pour y produire un courant d'air. Une solution saline de 15 % de sel est injectée dans l'aspiration du ventilateur. Elle est entraînée et subdivisée en fines gouttelettes par le courant d'air. On mesure le courant de fuite et on repère l'instant où le contournement a lieu, qui constitue un critère de comportement de l'isolateur.

Cette méthode imite bien les conditions de pollution rencontrée au voisinage immédiat de la mer, où les vents qui soufflent de la mer transportent les embruns salins. (7)

e) Méthode de Von Treufels :

Des isolateurs propres refroidis à moins 10°C pendant 12 h sont placés dans une chambre d'essai. Des pulvérisateurs produisent un brouillard, pour donner à l'enceinte une humidité relative de 100 %. On relève les variations du courant de fuite avec le temps, et la valeur du courant après 2 heures d'essai est considérée comme le critère de comportement de l'isolateur.

Cette méthode imite les conditions naturelles de brouillard et de rosée. (7)

33- REPRODUCTION DE LA POLLUTION ARTIFICIELLE SELON LES RECOMMANDATIONS DE LA CEI

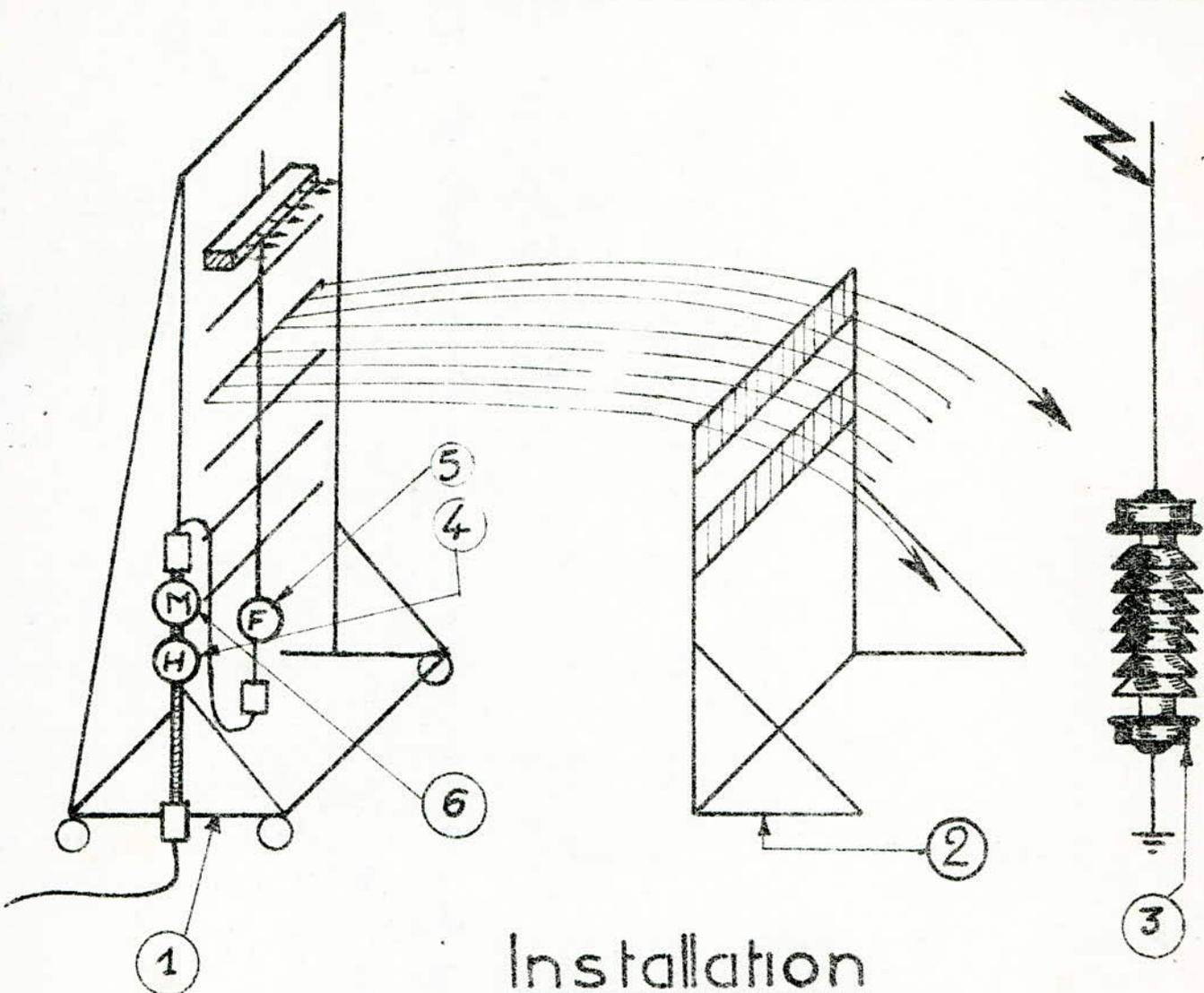
a) Pluie normalisée :

- La pluie artificielle utilisée doit répondre aux recommandations de la C.E.I. résumées dans le tableau suivant : (8)

	PRATIQUE DE L' EUROPE	PRATIQUE DES U.S.A.
Résistivité transversale de l'eau en cm.	10 000 $\pm$ 10 %	17 800 $\pm$ 15 %
Débit d'aspersion en mm:mn (composante verticale )	3 $\pm$ 10 %	5 $\pm$ 10 %
Incidence en ( $^{\circ}$ )	45 $^{\circ}$	45 $^{\circ}$
Température de l'eau recueillie en ( $^{\circ}$ C)	T $^{\circ}$ ambiante $\pm$ 15 $^{\circ}$	T $^{\circ}$ ambiante $\pm$ 15 $^{\circ}$
Durée d'aspersion avant essai en mn	5 mn	5mn
Durée d'essai de tenue sous pluie	1 mn	10 s.

Des installations de pluie artificielle, minutieusement étudiées pour remplir les conditions précédentes, sont mises au point par de grandes firmes telles que Siemens et Haefely.

Une installation de pluie artificielle est composée essentiellement, d'un châssis supportant la herse de Gicleur, d'un gabarit pour le réglage de jets et de divers appareils de mesure (ohmètre, manomètre etc..) et du dispositif d'alimentation en eau. Les caractéristiques du jet sont conditionnées par les gicleurs.



Installation  
de pluie artificielle complète

FIG. 183

1	Chassis avec herse
2	Gabarit
3	Objet en essai
4	Robinet de réglage
5	Filtre
6	Manomètre

Plusieurs types sont étudiés afin d'avoir une répartition de pluie aussi proche que possible de la pluie naturelle (incidence, intensité etc ...). Des résultats satisfaisants sont obtenus avec le gicleur capillaire (Fig.16). Celui-ci doit être monté sur un support à rotule pour faire varier la direction du jet (Fig.17). Les gicleurs doivent être combinés, de façon à avoir une répartition uniforme de la pluie sur la surface de l'isolateur, et constituent une herse de gicleur qui peut-être suspendue à une hauteur quelconque du châssis. Une herse de gicleur se compose de plusieurs étages horizontaux distants de 45 cm. Sur une même rangée; les gicleur sont espacés de 10 cm. La présence du champ alternatif, modifie notablement la trajectoire et la dispersion du jet.

Pour permettre la dispersion du jet à temps voulu, et d'éviter la concentration du jet sur toute sa longueur, chaque étage de la herse est muni d'un écran grillagé, mis à la terre sur les 60 premiers centimètres du jet. A la fin de cette zone, la formation de gouttelettes est pratiquement terminée.

Il est possible de grouper cote à cote plusieurs herses si l'objet à essayer est très large, comme on peut les monter les unes sur les autres, si la hauteur de l'isolateur est grande.

b) Production de brouillard salin :

- Le brouillard salin est produit en atomisant à l'air comprimé une solution saline, obtenue en dissolvant une quantité de sel (NaCl) dans l'eau du robinet. Il est recommandé d'utiliser des solutions salines de NaCl dont les concentrations sont voisines des valeurs en g/l suivantes :

2,5 ; 3,5 ; 5 ; 7 ; 10 ; 14 ; 20 ; 28 ; 40 ; 56 ; 80 ; 112 ; 160 ou 224 g de sel par litre d'eau. La salinité de la solution peut être caractérisée, soit par le poids du sel contenu dans le litre d'eau en g/l, soit par la mesure de la densité de la solution saline, ou encore par la mesure de la résistivité. La première méthode est la plus précise; si l'on utilise la méthode de la résistivité il y a lieu de préciser la température de la solution.

Le brouillard dense est provoqué dans la chambre d'essai par un nombre convenable de pulvérisateurs.(9)

Un modèle de chambre à brouillard est présenté par Grégoire (10). Cette chambre n'est pas préconisée par les normes, mais donne des résultats très satisfaisants.

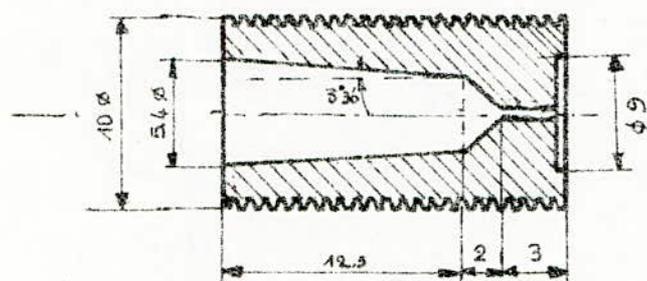


Fig. 16 gicleur capillaire

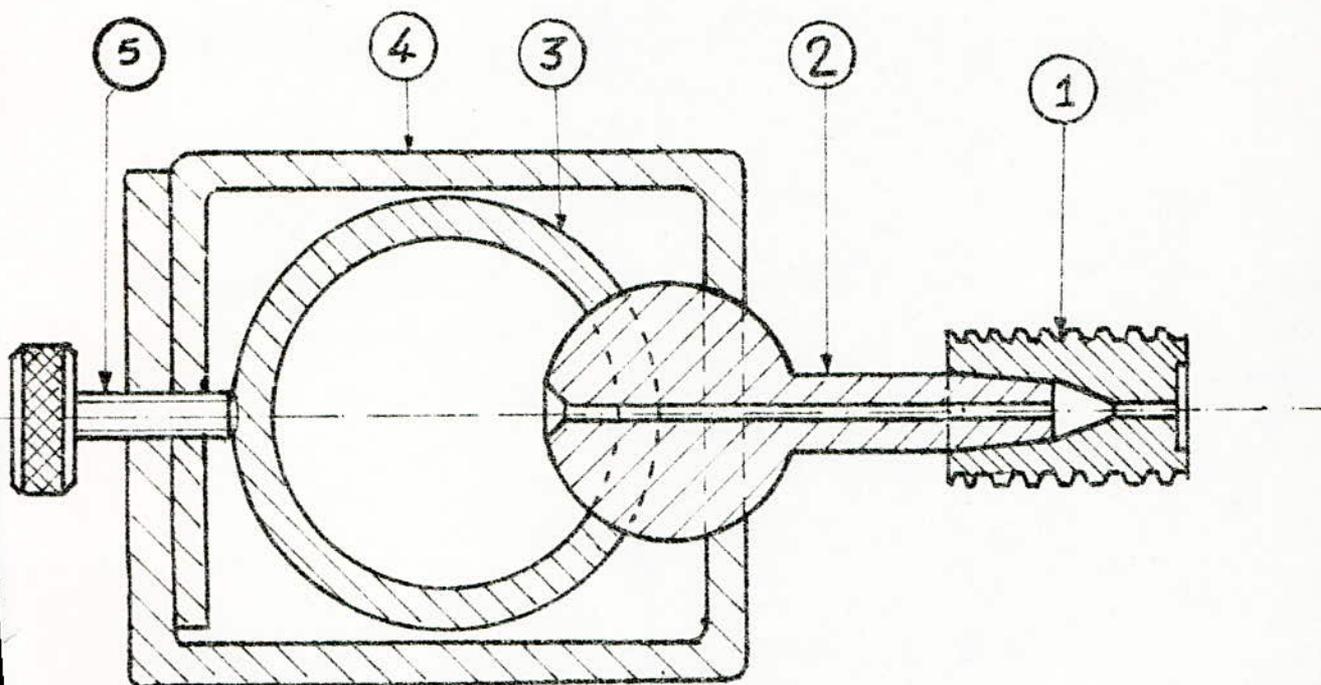


Fig. 17 dispositif de fixation et ajustage d'un gicleur

1	GICLEUR
2	SUPPORT A ROTULE
3	TUBE REPARTITEUR
4	ETRIER DE SERRAGE
5	VIS DE FIXATION

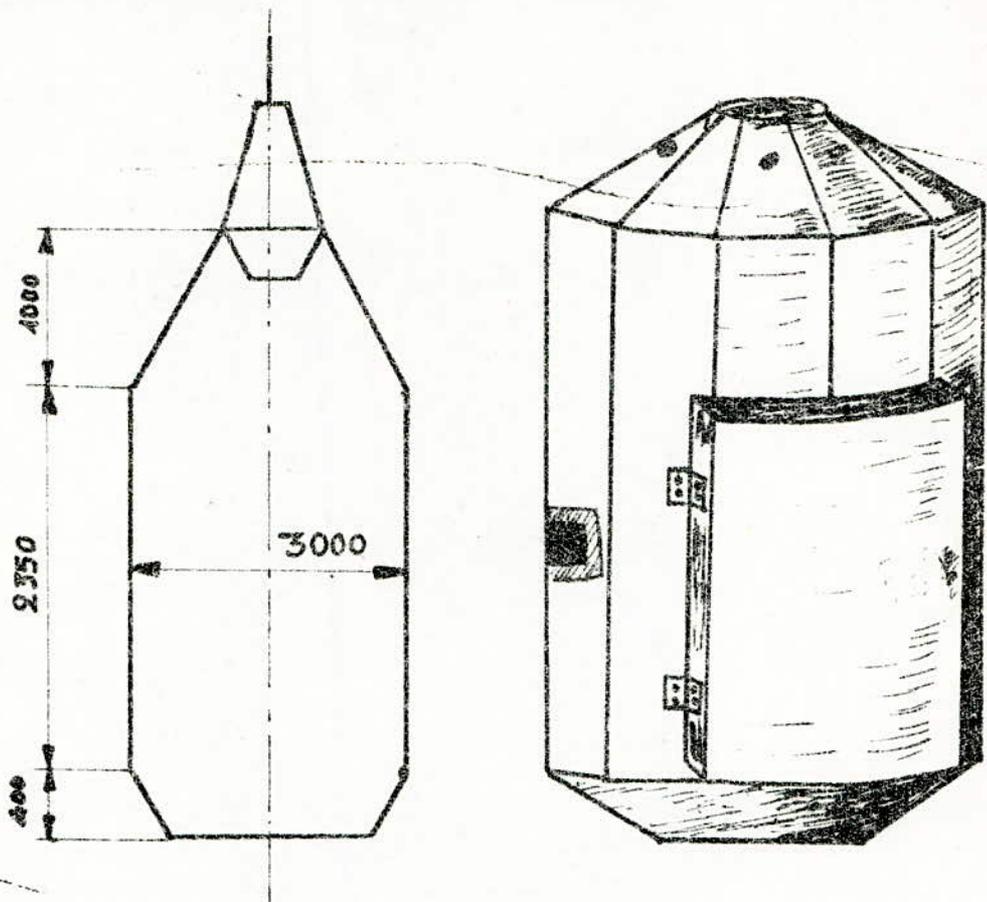


fig.19: CHAMBRE D'ESSAI UTILISEE PAR GREGOIRE

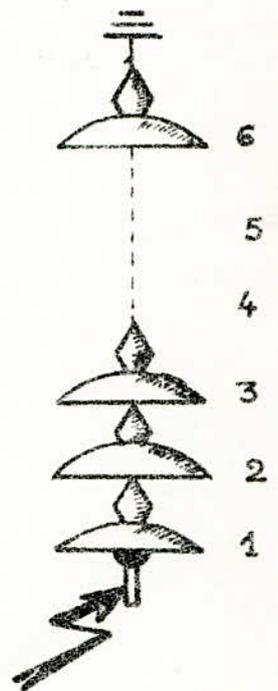
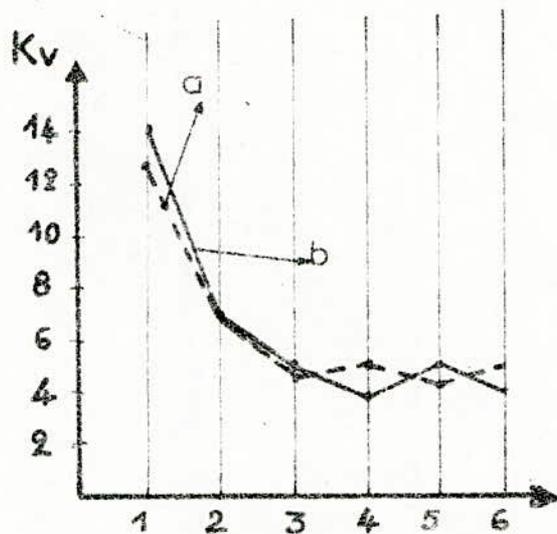


fig.20 : REPARTITION DE LA TENSION SUR LA  
CHAINE D'ISOLATEUR  
a: à l'intérieur de la chambre  
b: à l'extérieur " "

Il s'agit d'une chambre métallique d'un diamètre de 3 m. Les parties supérieures et inférieures sont légèrement coniques, pour permettre respectivement la fixation des bornes de traversée et la récupération de l'eau utilisée pour la création du brouillard. Des ouvertures latérales sont aménagées pour permettre l'introduction des agents polluants (poussières, brouillard) et l'observation des phénomènes. Elle est munie de divers dispositifs permettant de faire varier les conditions atmosphériques à l'intérieur de la chambre (température, pression, humidité, ) (Fig.19).  
Vue les dimensions réduites de la chambre, on est tenté de penser que la répartition du potentiel sur l'isolateur essayé, est influencée par celle-ci. La Fig.20. montre qu'il n'en est rien, car la courbe (b) représentant la répartition du potentiel, sur une chaîne d'isolateurs suspendue dans les conditions prescrites par la C.E.I., et la courbe (b) représentant les variations du potentiel, sur la même chaîne accrochée dans la chambre sont pratiquement confondues.

Quant aux pulvérisateurs, ils sont composés chacun de deux ajutages, l'un pour l'air comprimé, l'autre pour la solution saline.

La Fig 21. montre un pulvérisateur d'usage courant. La pression dans les ajutages d'air est de 7 bars  $\pm$  4 %, et il faut régler la pression dans les ajutages de la solution pour obtenir un débit de brouillard constant de 0,5 l/mn pendant l'essai. Les pulvérisateurs sont montés sur deux colonnes situées de part et d'autre de l'objet à essayer. Sur une même colonne, les pulvérisateurs sont distants de 60 cm les uns des autres, le plus bas doit se trouver à 60 cm du sol au moins. Cette méthode donne des résultats satisfaisants, mais n'imité pas très exactement les conditions de service.

#### ) Méthode de la pollution prédéposée :

La meilleure façon de simuler les conditions naturelles, est de déposer un produit contaminant à la surface de l'isolateur. Qu'il s'agisse de pollution côtière ou industrielle, ou les deux simultanément, elles aboutissent à la formation d'une couche solide, à la surface de l'isolateur, qui humidifiée donne suite à des incidents très graves.

Il est recommandé d'utiliser la composition suivante pour la couche polluante:

..../....

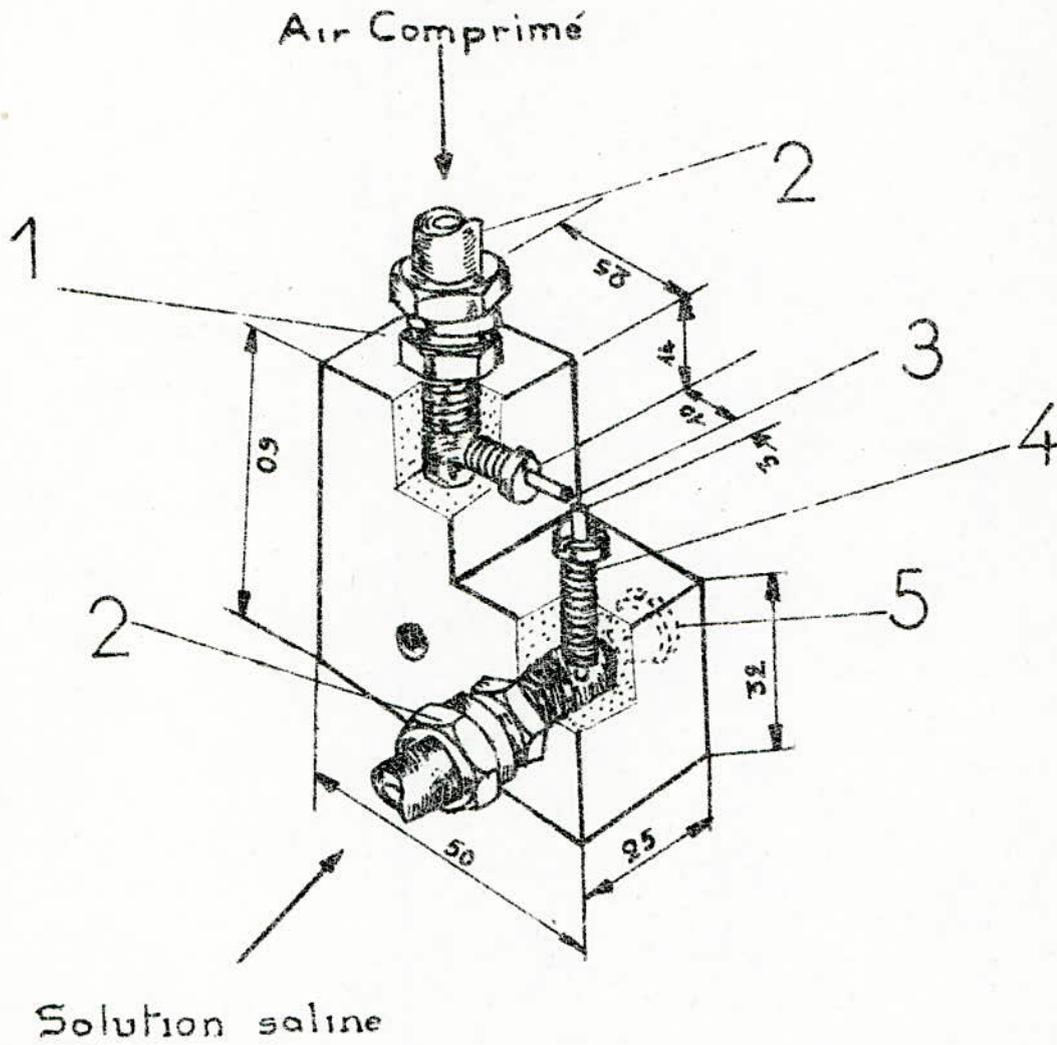


Fig. 21

PULVERISATEUR SALIN

1	CORPS
2	BUSE POUR COUPLAGE AVEC 1 TUBE
3	VIS AVEC TUBE EXCENTRIQUE
4	VIS AVEC TUBE CONCR <sup>ent</sup> RIQUE
5	BOUCHON

1000 g d'eau  
 100 g de terre d'infusoire (ou diatomée)  
 10 g de bioxyde de silicium (Si O<sub>2</sub>)  
 Une quantité de chlorure de sodium

La terre diatomée et le silice donne les propriétés hygroscopiques au revêtement et le chlorure de sodium permet d'ajuster la résistivité de la solution à la valeur désirée. Pour obtenir des résultats comparables, la résistivité de la solution ramenée à 20°C, doit être égale à l'une des valeurs suivantes à 15 % près :

$\rho_{20}$ de la solution en $\Omega$ cm.	0,83	1,7	3,3	6,7
$\rho_{20}$ résistivité superficielle en $\Omega$	$25 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$	$200 \cdot 10^3$
$\frac{1}{\rho_{20}}$ Conductivité Superficielle en $\mu S$	40	20	10	5

La valeur du facteur de correction de la température est donné par le graphe de la Fig 22.

La solution est appliquée sur la surface de l'isolateur par un pulvérisateur approprié, permettant d'obtenir une répartition uniforme de la couche. Une fois la couche sèche, l'isolateur est placé dans une chambre d'essai pour le soumettre à une pulvérisation au brouillard, par de très fines gouttelettes, jusqu'à ce que la résistivité superficielle de la couche soit minimale. Cette valeur ramenée à 20°C doit être voisine de celles données dans le tableau précédent. Au cours de la pulvérisation, le ruissellement sur la surface de l'isolateur ne doit se produire en aucun cas.

-Une autre variante de la méthode ne nécessitant pas une pulvérisation consiste à appliquer le dépôt à l'aide de tubes cylindriques aplatis aux extrémités. La résistivité de la couche reste constante pendant 15 à 20 mn, sans avoir besoin de la réhumidifier.

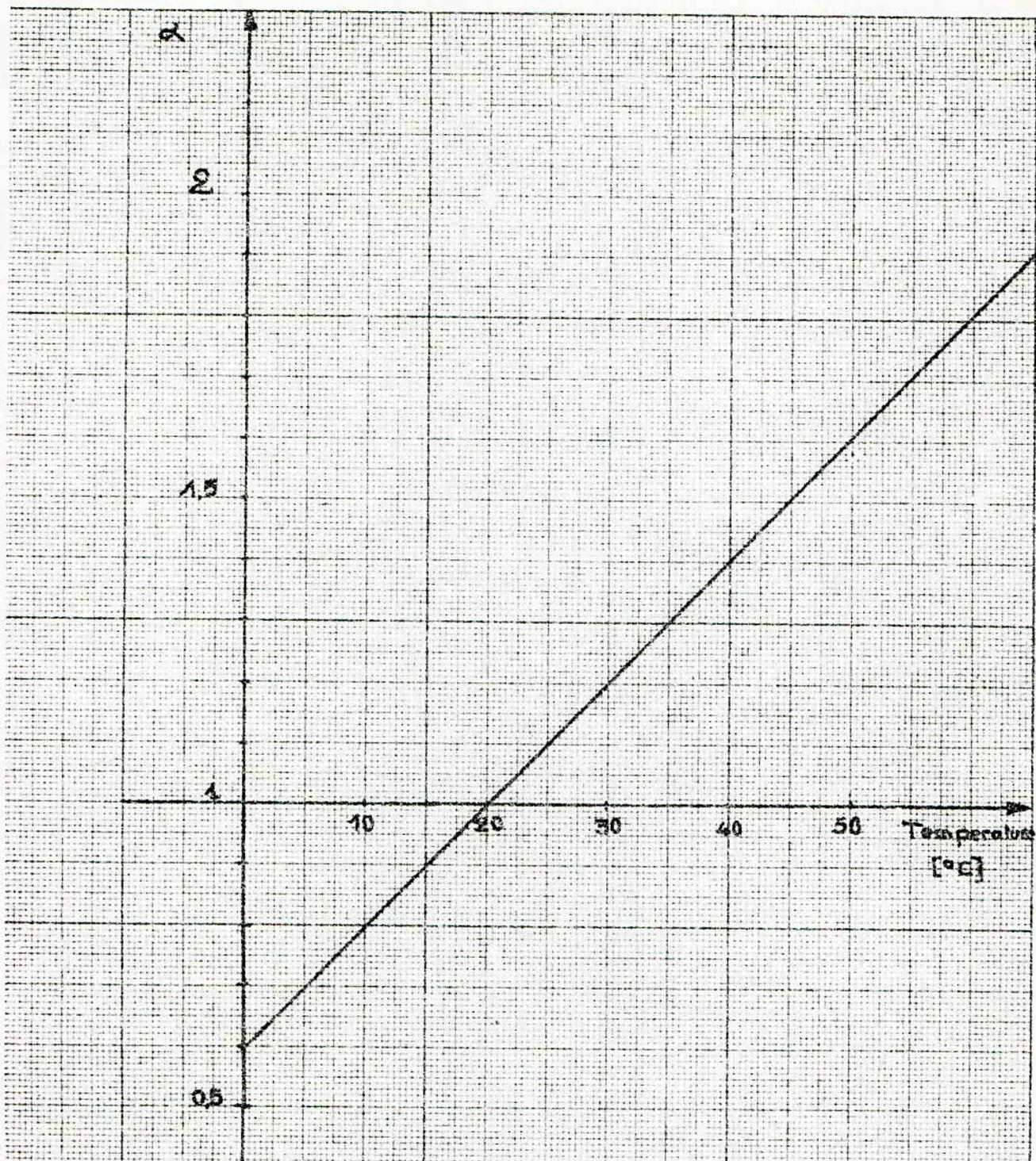


Fig. 22 Facteur de correction de température  
pour la résistivité d'une solution saline

$$\rho_{20} = \rho_t \cdot \alpha$$

$\rho_{20}$  = résistivité à 20°C (

$\rho_t$  = " " à la température t°

La composition d'un tel revêtement est la suivante :

- 1000 g d'eau de robinet ;
- 20 g de bioxyde de silicium (Si O<sub>2</sub>) ;
- 1 g d'agent mouillant photographique ;
- Une quantité de chlorure de sodium est ajoutée pour donner à la solution une résistivité désirée.

#### CONCLUSION/

La méthode de la pollution prédéposée, est la plus proche des conditions naturelles de pollution, mais son application est délicate et exige beaucoup de soins surtout durant la phase d'humidification. Par contre la méthode du brouillard salin, englobe à la fois le processus de contamination et d'humidification d'un isolateur. Sa préparation n'exige aucun soin particulier et son application est très simple. C'est la méthode qui a obtenu beaucoup de succès, et qui demeure actuellement très utilisée.

Quant à la pluie artificielle normalisée, on ne peut pas la considérer comme une pollution artificielle, mais vue la diminution de la rigidité diélectrique en temps pluvieux, l'essai sous pluie est d'une grande importance pour juger la qualité du matériel, d'usage très courant lors de la fabrication des isolateurs.

- CHAPITRE 4 -

-o- ESSAIS AU LABORATOIRE DE L'ENPA -o-

41- GENERALITES

Nous avons vu dans le chapitre précédent, que les laboratoires modernes de haute tension, sont actuellement équipés de dispositifs appropriés permettant la création de la pollution artificielle (installations de pluie artificielle, de brouillard, de poussières, etc....).

Le laboratoire de l'ENPA comporte, une station d'essai à fréquence industrielle, dépourvue de tout équipement permettant la reproduction des conditions de pollution. Nous essayerons de reproduire la pollution saline avec les moyens matériels réduits dont nous disposons .

A cet effet nous utiliserons les recommandations prescrites par la CEI et les normes Françaises pour reproduire des couches artificielles.

Ces couches artificielles doivent avoir les mêmes caractéristiques électriques que les couches naturelles sur des isolateurs, c'est à dire la même conductivité superficielle. Nos essais sont faits sur des modèles expérimentaux simplifiés.

42- EQUIPEMENT DE LA STATION D'ESSAI A FREQUENCE INDUSTRIELLE

L'équipement de la station d'essais à fréquence industrielle du laboratoire de l'ENPA a été fourni et installé par le constructeur HAEFELY. Il comprend les organes principaux suivants :

Transformateur de réglage, transformateur d'essai, diviseur capacitif de tension, pupitre de commande, et les appareils annexes de mesures et de protection (Fig 23..).

a) - Transformateur d'essai 50 HZ :

Le transformateur d'essai délivre la tension à appliquer à l'objet en essai. Ce transformateur est du type monophasé, dont le rapport de transformation est de  $\frac{300.000}{500}$  et la puissance apparente nominale est de 50 KVA. La

puissance apparente absorbée à vide est de 10 KVA. Vu l'importance de ces pertes à vide, le constructeur recommande de ne pas laisser fonctionner le transformateur plus de 12 h par jour, même à vide.

..../....

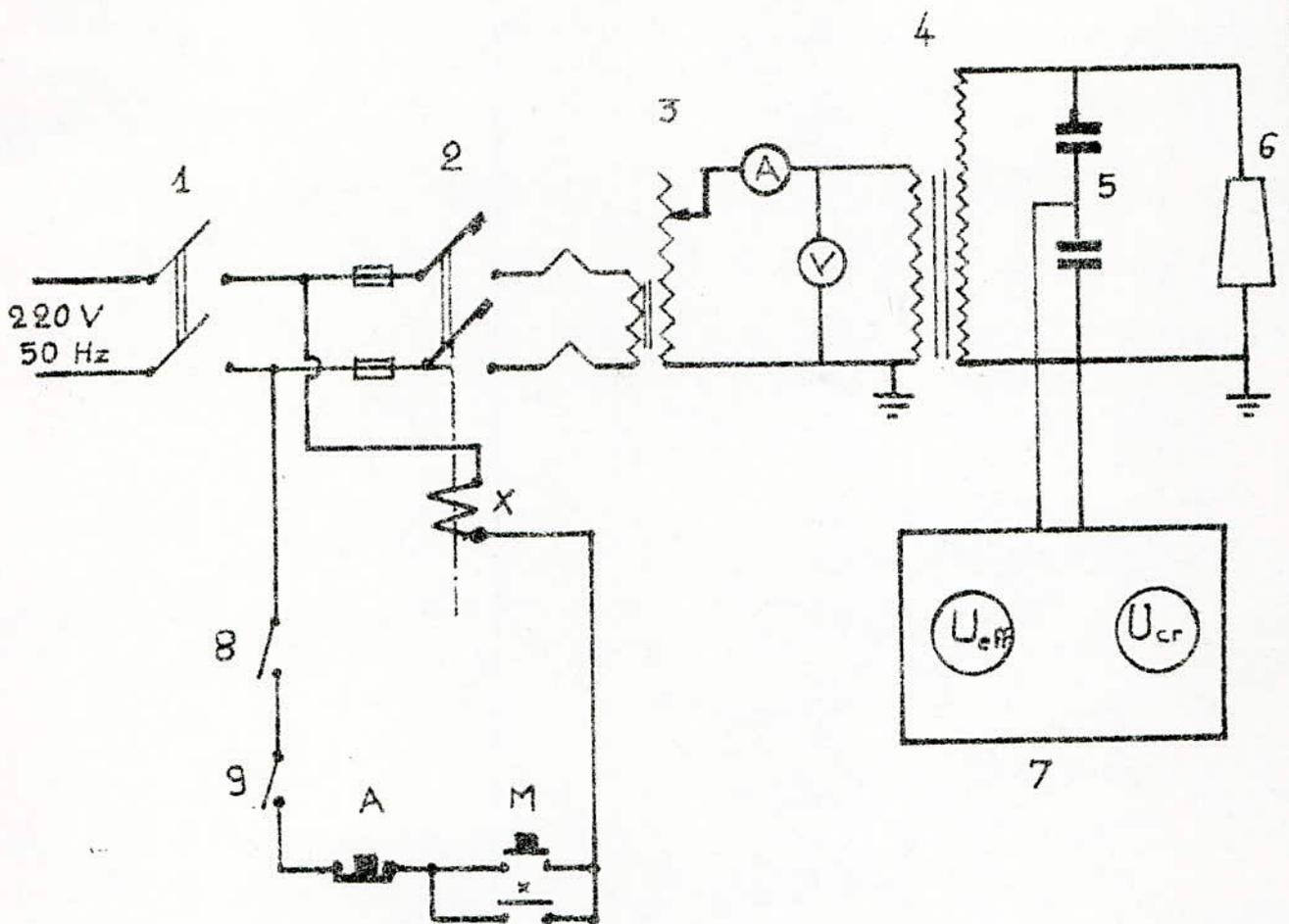


Fig. 23 : Schema général de la station d'essai à  
Fréquence industrielle 50 Hz du laboratoire de  
I'E.N.P.A.

- 1 — Interrupteur d'alimentation générale
- 2 — Disjoncteur avec protection thermique
- 3 — Transformateur de réglage
- 4 — Transformateur d'essai
- 5 — Diviseur Capacitif
- 6 — Isolateur à essayer
- 7 — Bloc de mesure
- 8 — Contact de protection Commandé par la porte du labo.
- 9 — Contact de protection à l'entrée de la plateforme d'essai

L'impédance de l'enroulement B.T. est de  $0,0365_n$ , l'impédance de l'enroulement H.T. est de  $4893_n$ , donc importante, et permet de réduire le courant du court - circuit pendant les essais. (fig 24)

b) - Transformateur de réglage :

Le transformateur de réglage, alimente par une tension secondaire variable entre 0 et 500 V, l'enroulement primaire du transformateur d'essai. La tension secondaire variable est obtenue grâce à un curseur qui se déplace sur l'enroulement secondaire. Ce déplacement est assuré manuellement par un volant ou automatiquement à l'aide d'un moteur d'entraînement. L'échelon de réglage de la tension est de 1 %. La tension primaire nominale est de 220 V avec une fréquence de 50 HZ. La puissance apparente à tension maximale est de 50 KVA. La tension de court circuit à courant nominal est de 5 %. Le temps de montée ou de descente du curseur est de 103 s.

c) - Diviseur capacitif :

Il est alimenté par la tension secondaire du transformateur d'essai et il délivre une tension réduite aux voltmètres du pupitre de commande. Il est formé d'une capacité H.T et de 4 capacités B.T. dont la combinaison dans le branchement permet d'obtenir les calibres de mesure de 75 KV, 150 KV et 300 KV. La tension délivrée par le diviseur capacitif est mesurée par deux voltmètres statique et de crête. Le voltmètre statique mesure la valeur efficace de la tension d'essai. Le voltmètre de crête mesure la valeur de crête divisée par  $\sqrt{2}$  de la tension d'essai. (fig 25)

d) - Pupitre de commande et dispositifs de protection :

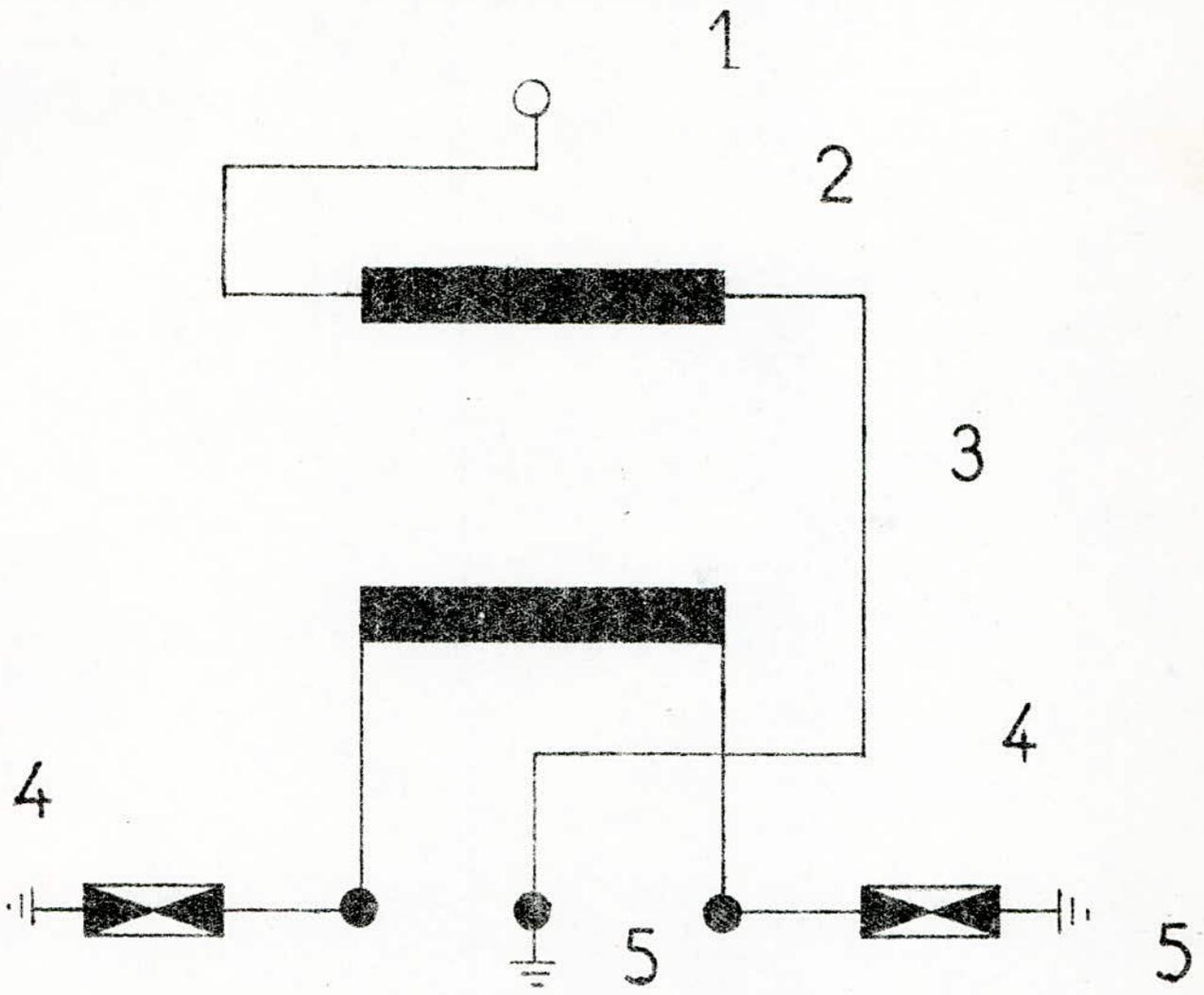
Dans le pupitre de commande, on trouve les appareils de mesure permettant la lecture des tensions et courant au secondaire du transformateur de réglage, ainsi que les tensions de crête et efficace au secondaire du transformateur d'essai.

Par mesure de sécurité, nous avons inséré dans le circuit de commande un interrupteur dans la chaîne délimitant la plateforme d'essais à fréquence industrielle.

Nous avons également installé deux lampes de signalisation sur la porte d'accès au laboratoire qui s'allument dès que le sectionneur du circuit de puissance est fermé.

Fig. 24

Transformateur d'essai 300 Kv



1	BORNE DE HAUTE-TENSION
2	ENROULEMENT SECONDAIRE H.T
3	ENROULEMENT PRIMAIRE BT
4	PARASURTENSIONS
5	MISE A LA TERRE

# Voltmètre de Crête

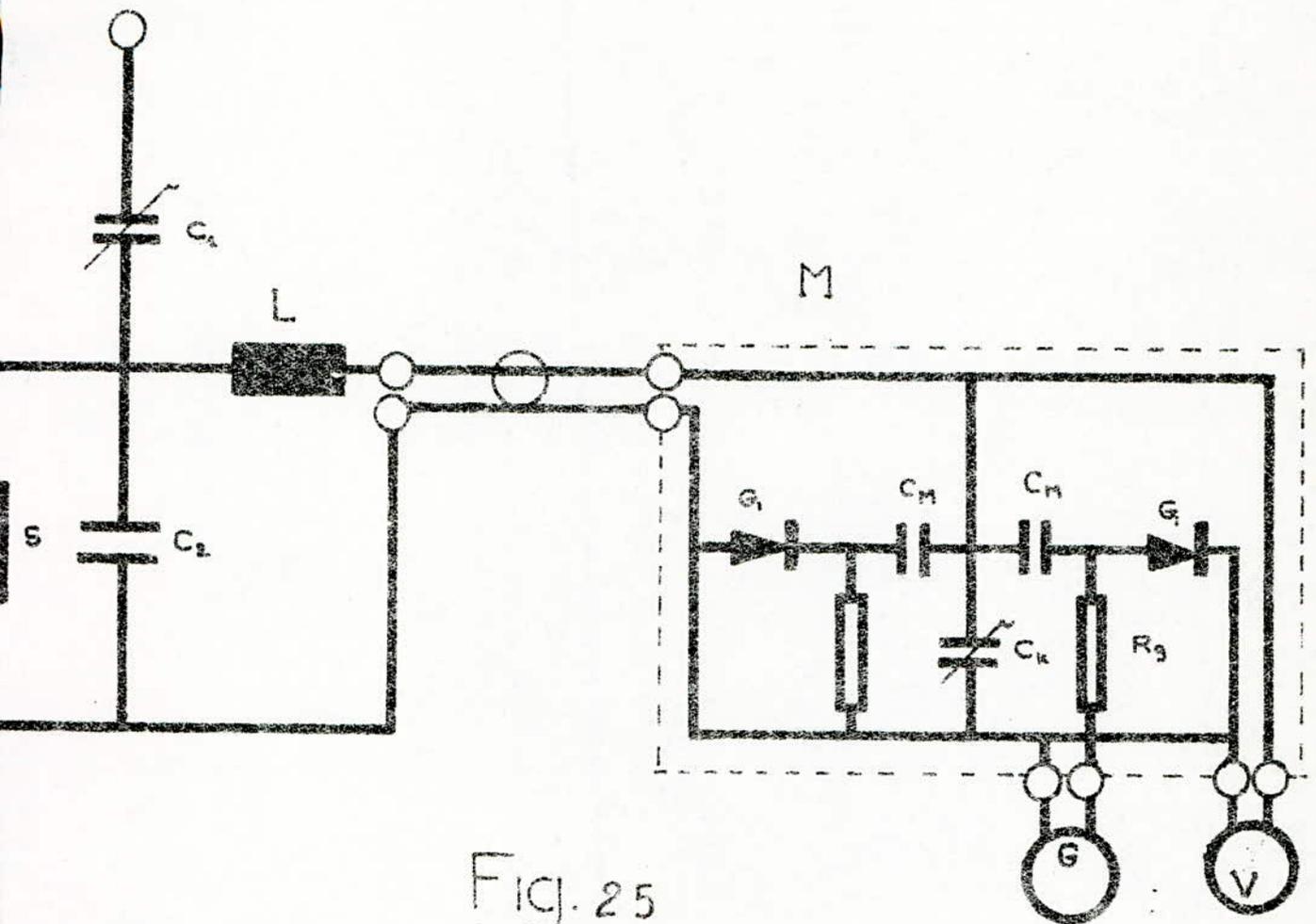


Fig. 25

M : bloc de mesure

$C_1$  et  $C_2$  : Condensateurs formant le diviseur capacitif

S : fusible en néon

L : Self de protection

V : Voltmètre Statique mesurant la valeur efficace

G : Galvanomètre

Le circuit de puissance est protégé par un disjoncteur thermique

43 - MODELES EXPERIMENTAUX.

On appelle modèle, le dispositif expérimental électrodes et objet à essayer permettant de faire des essais. Nous présentons ici quatre modèles plan d'usage courant, ainsi que des recommandations prescrites par la C.E.I. et les Normes Françaises.

a) Choix des modèles :

Modèle 1 :

Il est constitué de deux électrodes coaxiales. Le champ électrique est concentré au voisinage de l'électrode H.T. L'axe des deux électrodes est un axe de symétrie pour le champ électrique .

L'inconvénient de ce dispositif réside dans le fait qu'il est difficile de centrer les deux électrodes par rapport à l'axe de symétrie (Fig..26.)

Modèle 2 :

Il est constitué de deux électrodes circulaires. Le champ électrique est concentré au voisinage des deux électrodes, et n'est pas uniforme. La zone d'uniformité augmente avec la distance  $d$  entre les électrodes (Fig.26.)

Modèle 3 :

Il est constitué de deux électrodes rectangulaires. Ce dispositif présente une zone d'uniformité du champ électrique qui augmente avec <sup>la</sup> longueur des électrodes. Le champ électrique n'est pas uniforme aux extrémités des électrodes (Effet de bord) (Fig.26...).

Modèle 4 :

Il est constitué d'une électrode circulaire et d'une électrode rectangulaire. Dans ce cas le champ électrique est concentré et non uniforme au voisinage de l'électrode circulaire. Il existe une zone d'uniformité du champ électrique qui augmente avec la distance  $d$  entre les électrodes - ( Fig..26..) De par sa facilité d'exécution, nous choisirons ce modèle pour nos essais.

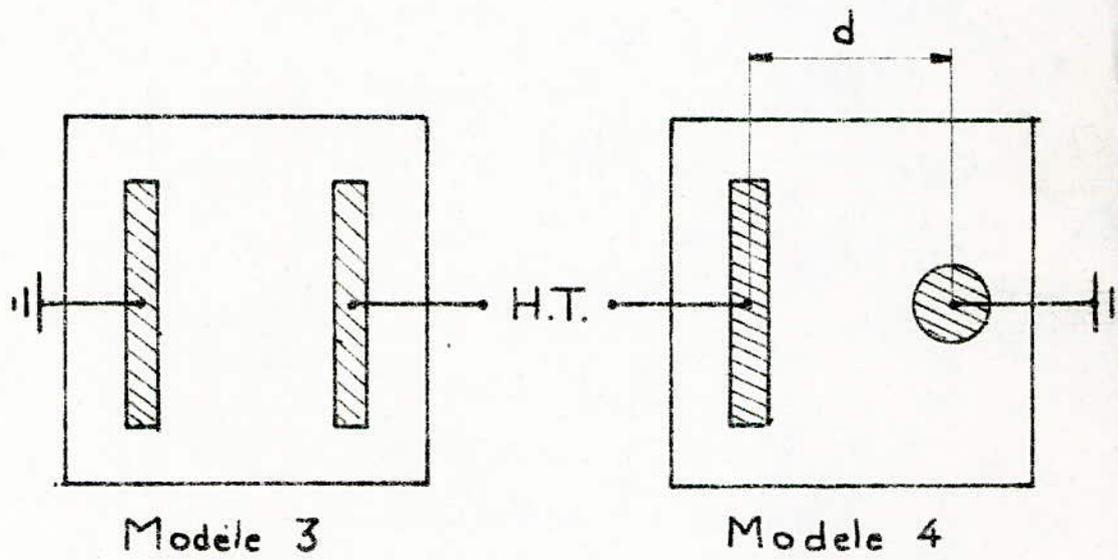
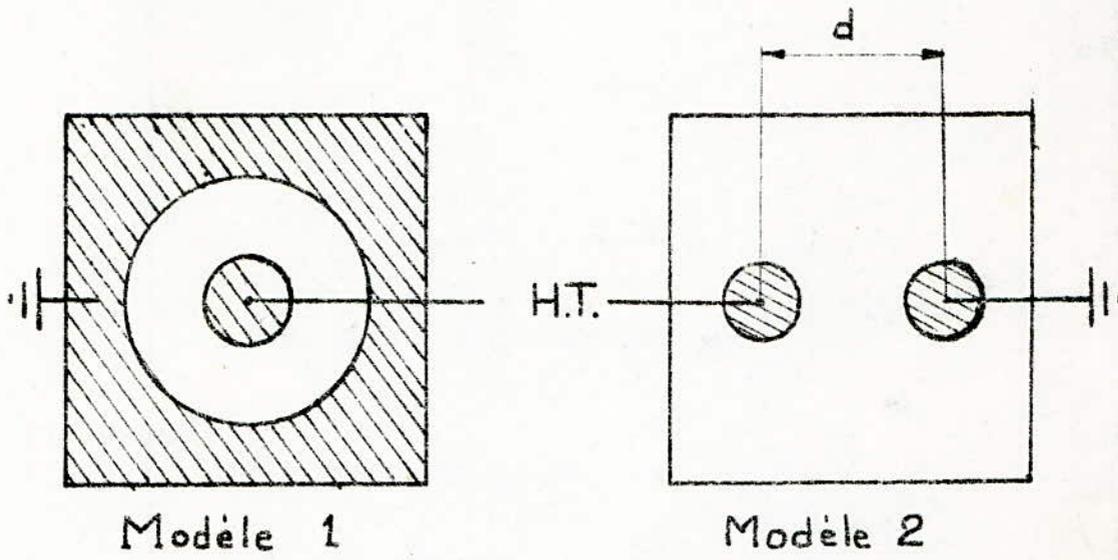


Fig 26 Quelques types de modèles pla

b) - Choix des électrodes :

Dans tous les cas les électrodes doivent assurer un contact intime avec l'éprouvette. Pour réaliser cette condition, plusieurs solutions sont recommandées par les normes (.....) telles que : l'emploi de peinture conductrice à l'argent, la pulvérisation de métal (métallisation), l'emploi d'électrodes en mercure qui est néfaste à cause du dégagement de vapeur toxique, l'application d'une solution de graphite colloïdal dont l'inconvénient est de s'écailler sur certaines surfaces, l'emploi de papier d'étain avec graisse adhésive, ou l'emploi de caoutchouc conducteur avec une pression suffisante.

Les électrodes choisies sont en papier d'aluminium, car ces électrodes ne sont pas chères, sont facilement disponibles, dont l'exécution facile ne nécessite pas d'outil particulier.

c) - Préparation de l'objet en essai :

Avant de monter l'isolant pour lui faire subir les essais, il faut protéger les parties métalliques ainsi que les ciments de scellement par l'application d'une peinture, afin que les produits corrosifs ne contaminent pas les surfaces isolantes pendant les essais.

L'isolant est d'abord nettoyé avec l'eau du robinet mélangée à du phosphate trisodique ( $Na_3 PO_3$ ), puis rincé à l'eau du robinet. Ensuite il faut le laisser sécher à l'air et ne doit plus être touché à la main. Si on remarque de grandes surfaces humides sur les surfaces isolantes après le rinçage, on peut dire que l'isolant est suffisamment propre.

d) Conditions atmosphériques et facteurs de corrections :

La décharge disruptive d'une isolation externe dépend des conditions atmosphériques ambiantes. En particulier la tension de contournement est influencée considérablement par la densité de l'air et de son humidité. Quand l'humidité relative dépasse 80 % environ, la tension de contournement devient régulière, spécialement lorsque le contournement se produit le long de la surface isolante. Il est donc nécessaire d'utiliser des facteurs de correction pour ramener la tension mesurée aux conditions de référence. Réciproquement une tension d'essai exprimée dans les conditions de référence peut être ramenée aux conditions d'ambiance.

Les deux facteurs de correction sont le facteur de correction de densité de l'air  $K_d$  et le facteur de correction de l'humidité de l'air  $K_h$ . La tension de décharge disruptive est proportionnelle à  $K_d/K_h$  et elle est ramenée aux conditions atmosphériques normales en la divisant par  $K_d/K_h$ .

Le rapport d'essai doit toujours mentionner les conditions atmosphériques réelles au cours de l'essai et il doit préciser si les corrections ont été ou non appliquées.

Conditions atmosphériques recommandées pour la mesure :

La température doit être comprise entre 15° et 35 °.

L'humidité relative doit être comprise entre 45% et 75%.

La pression atmosphérique doit être comprise entre 860 et 1060 mbars

(650 à 800 mm de Hg )

Des précautions doivent être prises pour éviter la formation de condensation sur les isolants, surtout quand l'humidité relative est élevée. Les isolants doivent être maintenus à la température ambiante du laboratoire pendant un temps suffisant pour que l'équilibre thermique soit atteint avant que l'essai ne commence. Sauf en cas particulier, l'essai ne doit pas être effectué si l'humidité relative de l'air est supérieure à 85 %.(12)

Atmosphère normale de référence :

- Température  $t_0 = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Pression  $p_0 = 1013.10^5 \text{ N/cm}^2$  ( 1013 mbars )
- Humidité  $h_0 = 11 \text{ g d'eau / m}^3$

Une pression de 1013 mbar correspond à une hauteur barométrique de 760 mm.de Hg à 0°C.

Si la hauteur barométrique est  $H$  mm de Hg et la température  $t^{\circ}\text{C}$ , la pression atmosphérique en mbar est :

$$b = \frac{1013 H}{760} \left( 1 - 1,8 \cdot 10^{-4} t \right).$$

- Facteur de correction de densité de l'air :

Si la pression atmosphérique a une valeur de  $b$  millibars et si la température à une valeur de  $t$  degrés Celcius, le facteur de correction par rapport aux conditions de référence, c'est à dire  $20^{\circ}\text{C}$  et  $1013\text{mbar}$  sera :

$$K_d = 0,289 \frac{b}{273 + t}.$$

- Facteur de correction de l'humidité de l'air :

La fig. 27... donne la valeur du facteur de correction de l'humidité  $K_h$  en fonction de l'humidité de l'air.

#### 44-METHODE DE MESURE DE CONDUCTIVITE SUPERFICIELLE

Nous présentons ici deux méthodes de mesure de la conductivité superficielle d'un isolant, la méthode des électrodes parallèles et la méthode des électrodes coaxiales. (11)

a) - Méthode des électrodes parallèles :

Soit une éprouvette dont on veut mesurer la conductivité superficielle. On pose l'éprouvette sur deux prismes isolants triangulaires distants de 10 mm de chaque extrémité. On place sur cette éprouvette un cache comprenant deux fentes, de dimensions  $100 \times 1$  mm, et distants de  $10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ . On dépose dans ces deux fentes du graphite colloïdal en suspension dans l'eau. On sèche ensuite à l'air comprimé. Le dépôt de graphite, s'effectue en deux fois avec 5 mm. d'intervalle. Aux extrémités des deux traits de graphite on fixe deux lamelles souples en laiton. La tension à mesurer, est branchée sur ces deux lamelles (Fig. 27.) On mesure la tension appliquée et le courant qui circule dans le circuit et on en déduit la résistance superficielle  $R$  de l'isolant.

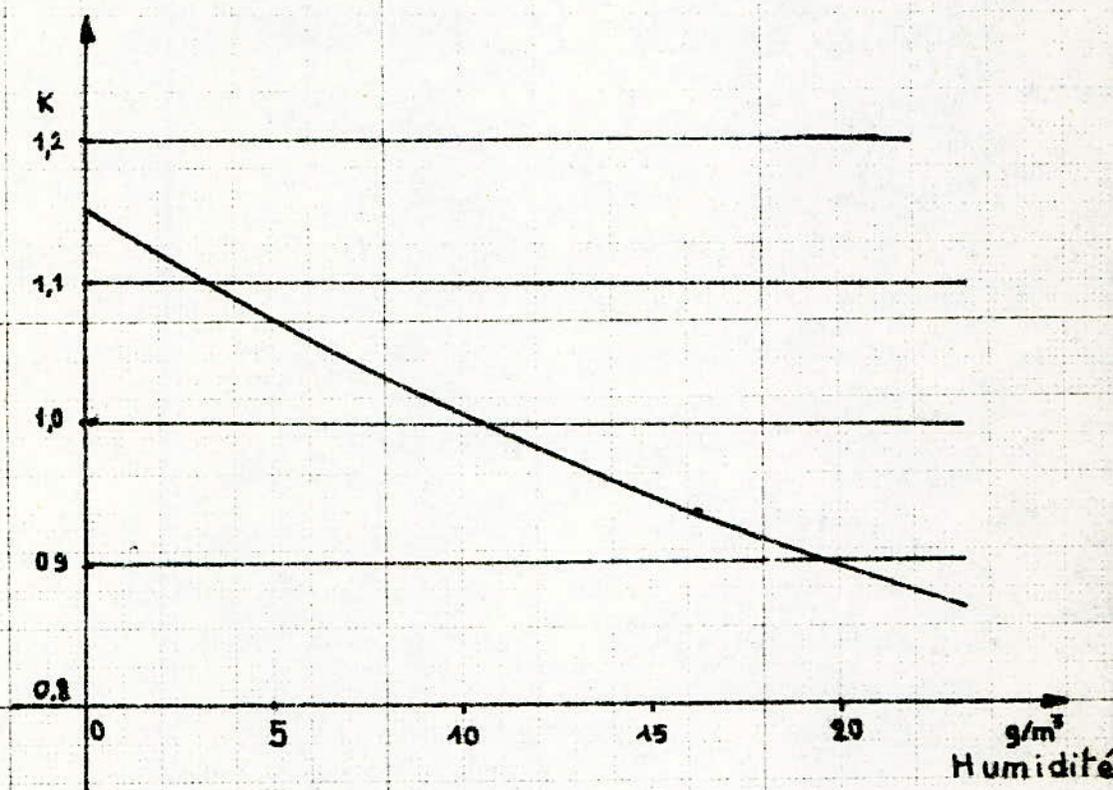


Fig 27 Facteur de correction de l'humidité  
(pratique européenne)

L étant la longueur des traits de graphite et d la distance entre eux, on en déduit la résistivité superficielle :

$$\rho_s = \frac{RL}{d}$$

ici L = 100 mm  
d = 10 mm

d'où  $\rho_s = 10 \cdot R$

b) - Méthode des électrodes coaxiales :

Le dispositif comprend deux électrodes coaxiales posées sur la surface de l'isolant dont on veut mesurer la résistivité (Fig.29..). Après avoir mesuré la tension appliquée entre les électrodes et le courant qui a circulé dans le circuit, on calcule la résistance superficielle par simple application de la loi d'Ohm. On fait la moyenne arithmétique de plusieurs valeurs de résistances superficielles mesurées.

La résistivité superficielle est donnée par la relation :

$$\rho_s = \frac{R P}{G}$$

où :

- R est la résistance superficielle mesurée
- P est le périmètre efficace des électrodes
- g est la distance efficace des électrodes.

Le périmètre efficace et la distance efficace, sont des valeurs qui interviennent directement dans le passage du courant.

Par convention, la résistivité superficielle est exprimée par le logarithme de base 10 de sa valeur.

De par sa géométrie, le dispositif qui convient le mieux pour la mesure de la conductivité superficielle des isolants plats, est celui des électrodes coaxiales. De plus, ce dispositif est plus simple à réaliser que le dispositif avec électrodes parallèles. Pour le cas des modèles réels, c'est à dire les isolateurs, il convient de tenir compte du facteur de forme.

...../.....

MESURE DE LA CONDUCTIVITE SUPERFICELLE

fig. 29 Electrodes coaxiales  
 fig. 28 Electrodes paralleles

Fig. 28

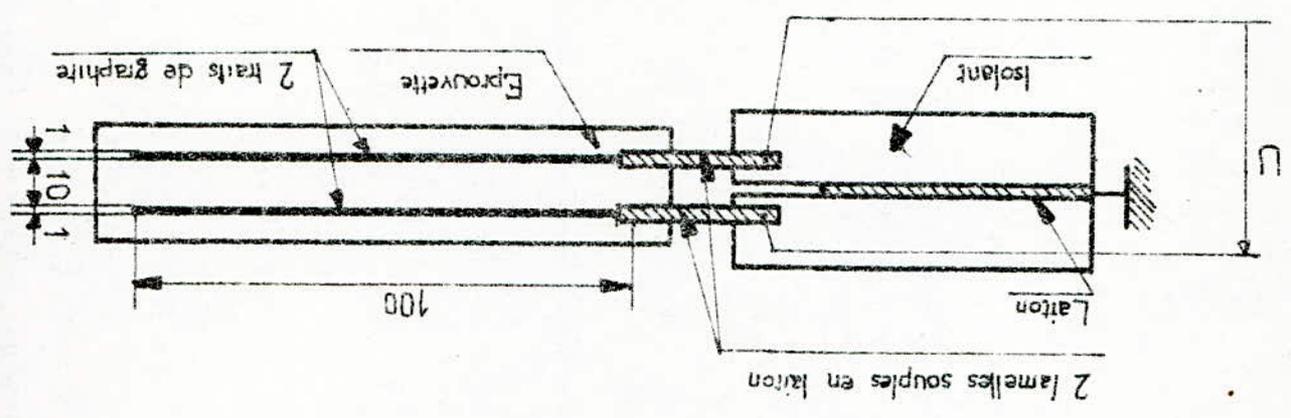
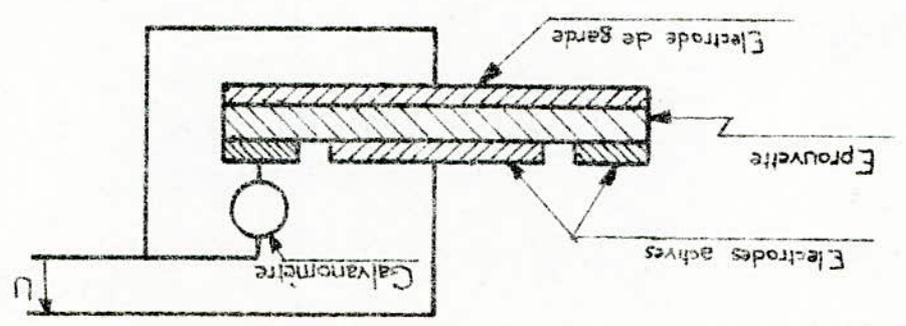


Fig. 29



.../.....

c) - Mesure de la conductance superficielle d'un isolateur - facteur de forme :

- On applique une tension alternative d'environ 2 KV efficaces par mètre de ligne de fuite de l'isolateur, pendant un temps juste nécessaire pour pouvoir lire l'appareil de mesure.

Le courant de fuite est mesuré plusieurs fois, pour chaque valeur de courant on calcule la conductance correspondante. On retient la conductance maximale et on la multiplie par le facteur de forme f de l'isolateur qui est donné par la relation suivante :

$$f = \int_0^s \frac{ds}{b(s)}$$

où :

s est la longueur totale de la ligne de fuite de l'isolateur;

ds est un élément de longueur de la ligne de fuite.

b (s) est la circonférence de l'isolateur qui est fonction de s (13)

La conductance peut être ramenée à la température de référence grâce à la relation:

$$C_{20} = C_V \frac{1,6}{1 + 0,03 V}$$

où V est la température de la surface de l'isolateur.

45- METHODE DE MESURE DE LA TENSION DE CONTOURNEMENT

- La tension appliquée à l'objet en essai doit être suffisamment basse, pour éviter des surtensions dues aux phénomènes transitoires d'enclenchement. Elle doit croître assez lentement, pour permettre une lecture précise sur les appareils de mesure, sans toutefois prolonger exagérément l'objet aux contraintes de la tension d'essai.

Cette condition est réalisée, si la rapidité de montée de la tension au-dessus de 75 % de la valeur finale estimée est d'environ 2% de cette valeur par seconde. La détermination de la tension de contournement est faite à 5 reprises successives. La tension de contournement est la moyenne arithmétique des 5 valeurs mesurées. (8)

Elle est appelée tension critique. Il existe d'autres critères qui permettent d'évaluer un isolateur, ce sont la pollution critique et le temps critique.

TENSION CRITIQUE :

Pour un degré de pollution déterminé, on fait varier la tension appliquée à l'isolateur jusqu'à une tension critique pour laquelle on a contournement de l'isolateur.

POLLUTION CRITIQUE :

On fait varier le degré de pollution de l'isolateur jusqu'à une valeur critique pour laquelle on a contournement. La tension appliquée à l'isolateur est maintenue constante et égale à la tension de service. Cette méthode est celle qui reproduit le mieux les conditions de service.

TEMPS CRITIQUE :

La tension appliquée à l'isolateur est maintenue constante et égale à sa tension de service. Pour un degré de pollution déterminé, on mesure le temps qui s'écoule jusqu'au contournement de l'isolateur, c'est le temps critique.

46 - ESSAI AU LABORATOIRE

a) Vérifications nécessaires avant les essais:

La partie supérieure du transformateur d'essai comprend le dessiccateur d'air au silicagel, par où s'effectue la "respiration" du transformateur. Donc l'air humide est "inspire" et "expire" par le transformateur. Cette humidité qui est dangereuse pour l'huile du fait qu'elle diminue sa rigidité dielectrique est absorbée par le silicagel ce dernier quand il est saturé d'humidité change de couleur en passant du bleu au rouge. En effet nous avons constaté qu'il était rouge, ce qui nous a amené à le sécher dans une étuve pour lui redonner sa propriété de dessiccateur d'air et à mesurer la rigidité dielectrique de l'huile grâce à la collaboration du groupe d'étudiants chargé d'étudier la rigidité dielectrique des huiles. La rigidité dielectrique de l'huile a été trouvée égale à 64 KV/5mm où 128 KV/cm, en faisant la moyenne arithmétique des 6 valeurs mesurées suivantes : 70, 68, 49, 69, 56 et 74 KV/5mm.

Donc les performances de l'huile sont encore bonnes.

D'autre nous avons procédé à la vérification du niveau d'huile.

Nous avons noté une baisse négligeable du niveau d'huile de quelques mm.

Les résultats favorables de ces vérifications nous permettent de faire les essais sans danger ; nous pouvons donc procéder à la préparation des modèles à essayer.

b) Préparation des modèles :

Puisque nous avons prévu de mesurer la tension de contournement en fonction du degré de pollution (méthode du brouillard salin) nous avons préparé 11 modèles plans qui sont des plaques de plexigles carrées de 40 cm de côté. Nous avons disposé sur la surface de chaque plaque 2 électrodes l'une circulaire de 10 cm de diamètre et l'autre rectangulaire de 39 cm X 5 cm (fig 28).

La longueur de la ligne de fuite est de 24 cm.

Quant à l'étude de la variation de la tension de contournement en fonction de la longueur de la ligne de fuite pour un degré de solution donné, nous avons préparé une plaque de plexiglas de 20 cm X 80 cm. Sur celle ci nous avons disposé une électrode circulaire de 10 cm de diamètre et plusieurs électrodes rectangulaires. (fig 29). La première mesure est faite entre l'électrode circulaire et la première électrode rectangulaire. Les autres mesures sont faites en enlevant successivement les électrodes rectangulaires suivantes, ce qui permet de faire varier la longueur de la ligne de fuite. Dans tous les cas les électrodes utilisées sont en papier d'aluminium. Le contact intime entre l'électrode et le modèle expérimental est obtenu par l'application d'une couche de graisse adhésive (gas - oil). Cette opération doit être faite avec soin pour éviter l'injection des bulles d'air entre l'électrode et l'isolant, provoquant un arc prématuré dans l'intervalle d'air.

c) Préparation des solutions salines :

La variation du degré de pollution est obtenu en utilisant des solutions salines de concentrations différentes dont les valeurs sont les suivantes : 5, 20, 30, 40, 56, 84, 112, 160. et 200 g/l.

d) Reproduction du brouillard salin :

Le brouillard est obtenu grâce à un pulvérisateur manuel :

Pour obtenir une couche uniformément répartie sur tous les modèles

- Le pulvérisateur doit être placé à une distance de 50 cm des arêtes de la plaque, pour éviter la chute de grosses gouttelettes sur celle-ci
- Le gicleur du pulvérisateur doit être au niveau de la plaque avec une direction du jet perpendiculaire à l'arête.

- La pulvérisation est faite en tournant autour de la plaque. Le nombre de pulvérisations est le même pour chaque arête et pour chaque modèle p (5 pulvérisations par arête et 20 pulvérisations par modèle.(fig 30)  
En appliquant avec soin cette méthode nous avons obtenu un brouillard très fin et une couche mince uniformément répartie sur la surface de la plaque Avant la pulvérisation les solutions doivent être remuées avec un agitateur pour avoir une concentration uniforme dans toutes la solution.

Dans le cas du modèle permettant l'étude de la variation de la tension de contournement en fonction de la longueur de la ligne de fuites, Il faut cinq pulvérisations sur l'endroit laissé par l'électrode rectangulaire enlevée après chaque mesure, et une pulvérisation supplémentaire entre l'électrode précédente et l'électrode circulaire, pour régénérer la couche dans cette zone qui a été séché partiellement par le courant de fuite.

Ce modèle présente l'avantage d'être rapide, dans les mesures, mais donne des résultats peu précis, du fait de la mauvaise répartition de la couche saline.

Initialement la pulvérisation des modèles était faite directement sur le banc d'essai. Mais cette méthodes nous a donné des contournements parasites sur la plaque auxiliaire à cause de l'accumulation de l'eau saline sur cette plaque pendant la pulvérisation des modèles.

A cet effet nous avons nettoyé la plaque auxiliaire et nous avons pulvérisé les modèles à l'extérieur du banc d'essai(fig 30).

e) Résultats des mesures

- Conditions atmosphériques ambiantes:

Température : 31°C

Pression : 700 mm de hg

Humidité relative de l'air : 90%

- Tension de contournement en fonction du degré de pollution:

$V_{eff} = f(C)$  ; longueur de ligne de fuite = 24 cm

Etat de surface propre et sec : la tension de contournement est de 59,5Kveff.

(fig.32)

Veff en KV	51	49	42,5	36,5	40	25	40,5	40,5	38,5	33,5
C en g/l	0	5	20	30	40	56	80	112	160	200

- Tension de contournement en fonction de la longueur de la ligne de fuite:

$eff = f(l)$  pour  $C = 56$  g/l (fig 33)

eff en KV	7,5	12,5	12,5	16,5	29,5	31	48
l en cm	6	12	18	24	36	48	66

- Dans le cas des surfaces propres et sèches la tension de contournement est la plus grande, du fait de la grande résistance superficielle de l'isolant. Ce cas n'existe pas pratiquement et ne présente qu'un intérêt théorique. Cet essai nous permet de montrer l'importance de la diminution de la tension de contournement due à l'humidification d'un isolant initialement sec.

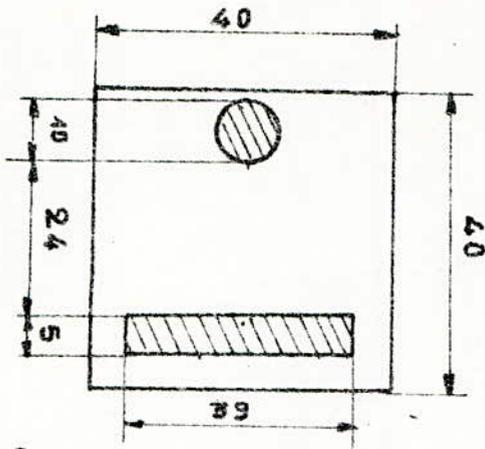


Fig 28: Modele pour l'etude de la tension de conformation en fonction du degre de pollution

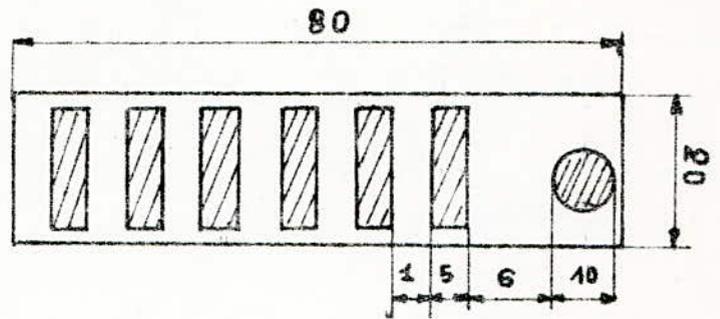
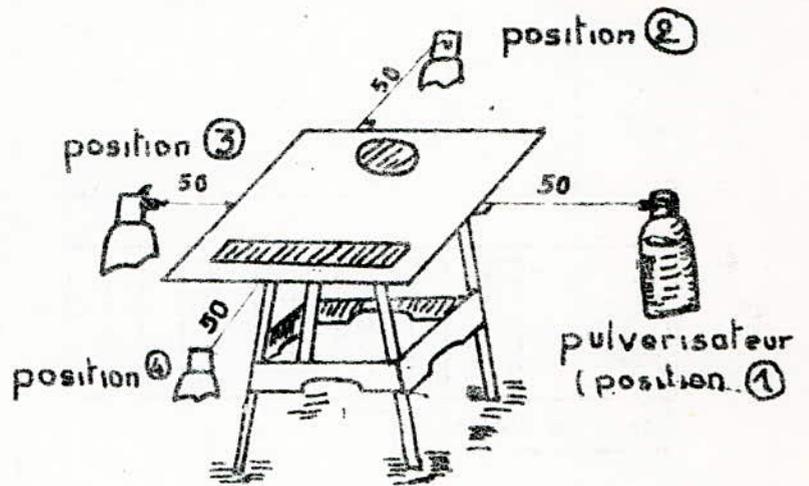


Fig 29: Modele permettant l'etude de la tension de conformation en fonction de la longueur de la ligne de fuite

(les cotes sont en cm)

Fig 30  
Reproduction du brouillard salin



electrode

H.T.

modele experimen-

-tal

tabouret isolant

plaque auxiliaire isolante

Fig 31 montage du modele experimental

En effet l'écart entre la tension de contournement à sec et la tension de contournement de l'isolant mouillé à l'eau distillé est 8 KV.

- La poulvérisation à l'eau distillé est destinée à la simulation du brouillard qui peut apparaître dans les régions éloignées de la côte et des zones industrielles. Dans ce cas le contournement a eu lieu à 51 KV.

- Caractéristique  $V_{\text{eff}} = f(c)$  pour  $l = 24$  cm.

La tension de contournement est pratiquement indépendante de la concentration à partir de 50 g/l environ cette valeur correspond à un niveau de pollution assez fort. L'influence est surtout notée pour les faibles degrés de pollution, où une petite variation de la concentration diminue considérablement la résistance superficielle de l'isolant.

- Caractéristique  $V_{\text{eff}} = f(l)$  pour  $C = 56$  g/l

La caractéristique obtenue est une droite passant par l'origine. Cela signifie que la tension de contournement est fonction linéaire de la longueur de la ligne de fuite. Elle est de 0,7 KV eff par cm environ.

Dans tous les cas on a observé des zones de séchage aux voisinages des électrodes. Ce séchage est plus important autour de l'électrode circulaire à cause de la grande concentration des lignes de champ, donc du courant. Pour la même raison, nous avons noté également l'apparition des aigrettes au voisinage de l'électrode H.T à 34 KVeffectif environ

- Il est à noter que la dispersion des valeurs de la tension de contournement est due au fait que nous avons mesuré la tension de contournement une fois, au lieu de prendre la moyenne arithmétique de cinq mesures, la première étant exclue.

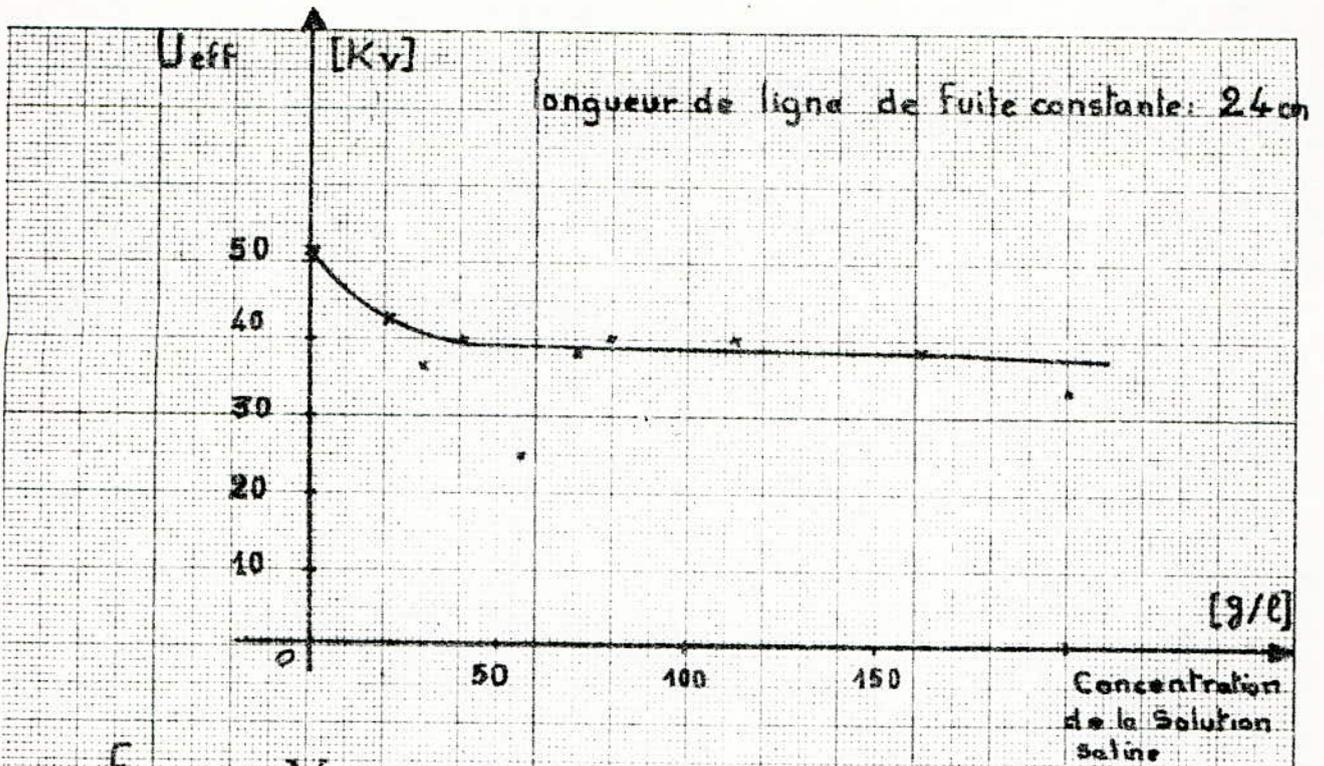


Fig: 32 Variation de la tension de contournement en fonction du degré de pollution.

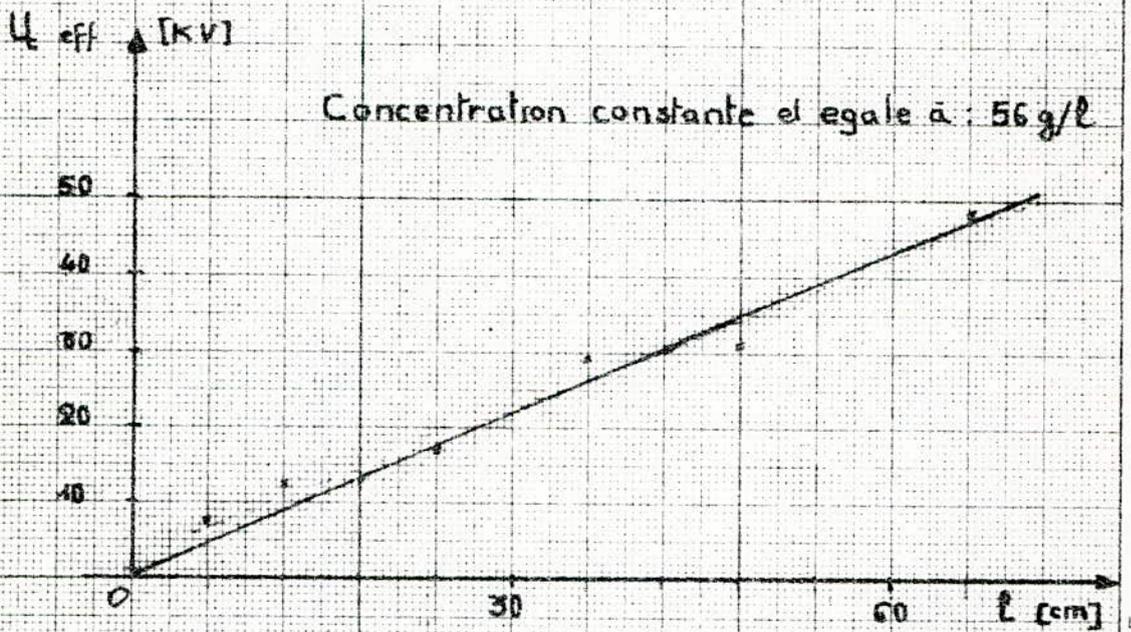


Fig: 33 Variation de la tension de contournement en fonction de la longueur de ligne de fuite

CONCLUSION :

Avant tout cette thèse nous a été très bénéfique du fait que nous avons complété nos connaissances sur un domaine auparavant inconnu pour nous. Cette étude modeste basée sur des sources bibliographiques et des moyens matériels réduits, nous a permis de soulever un problème important, celui de la pollution des isolateurs de H.T d'une manière générale, et la pollution marine en particulier. A cet effet nous espérons que les étudiants s'intéresseront et se pencheront davantage sur ce problème de pollution marine qui est non négligeable du fait de la longueur considérable de la côte algérienne et de l'extension continue du réseau électrique de H.T sur le littoral Algérien (525 KV en 1985).

Cette étude aurait été plus complète si nous avions pu effectuer le voyage d'études prévu avec la SONELGAZ, sur le site pour mieux observer le phénomène de pollution sur les équipements de H.T. et si l'équipement du laboratoire de H.T était plus complet. A cet effet Nous suggérons l'extension du laboratoire de H.T par l'installation d'un dispositif de pluie artificielle, de dispositifs permettant la reproduction de diverses pollutions (poussière, brouillard...)

Nous suggérons également, d'isoler le laboratoire de H.T de la menuiserie qui constitue une forte source de poussières de bois néfaste pour l'équipement du laboratoire.

Le toit doit être aménagé de façon à avoir l'obscurité complète, permettant de mieux observer les phénomènes de décharges durant le jour.

L'installation d'un poste de protection contre les incendies à l'intérieur du laboratoire est également indispensable.

Il faut prévoir l'aménagement d'un local où seront préparés les modèles à essayer et où sera disposé tout le matériel annexe au laboratoire (électrodes, produits chimiques, isolateurs, etc...)

--oOo-- BIBLIOGRAPHIE --oOo--

---

- 1) : Pollution des isolateurs par P. CLAVERIE et Y. PORCHERON, RGE, T 82, N° 3, MARS 1973;
- 2) : H Edels and S.Y. Ettinger : arc interruption and thermal reignition, P.I.E.E., 1962, T 109 A, P 89;
- 3) : Growth of discharges on polluted insulation ; P.I.E.E., juillet 1963, T.110, N° 7, P. 1260.
- 4) : Statistiques de l'Établissement National d'Études Météorologiques et Aéronautiques, 1960 - 1970, (température, pluie, humidité, vent, état de la mer, jours de brouillard ) ;
- 5) : C.I.G.R.E, 1972, T.2, rapport N° 33-10 ;
- 6) : C.I.G.R.E, 1960, T.2, rapport N° 204 ;
- 7) : C I G R E, 1960, T.2, rapport N° 234 ;
- 8) : C E I , publication 60, 2<sup>e</sup> édition, 1962 ;
- 9) : C E I, 68-2-11, 1968 ;
- 10) : C I G R E, 1966, T.2, N° 211 ;
- 11)) : Normes Françaises NFC 26-215 ;
- 12) : C E I, publication 160, 1963 ;
- 13) : C E 36 et C E 42 de la C E I, selon C I G R E, T 2, 1972, 24<sup>e</sup> session.