

17/82

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET D'ELECTROTECHNIQUE

2et



ELECTROTECHNIQUE

PROJET
DE FIN D'ETUDES

CONTRIBUTION A L'ETUDE
DE LA POLLUTION DES ISOLATEURS
DE LIGNES AERIENNES DE HAUTE TENSION
DANS LA REGION DE L'ARBA

PROPOSE PAR : A. BOUBAKEUR

REALISE PAR : S. LAOUFI
S. DJAFRI

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET D'ELECTROTECHNIQUE

FILIERE D'INGENIEUR EN

ELECTROTECHNIQUE

PROJET
DE FIN D'ETUDES

CONTRIBUTION A L'ETUDE
DE LA POLLUTION DES ISOLATEURS
DE LIGNES AERIENNES DE HAUTE TENSION
DANS LA REGION DE L'ARBA

PROPOSE PAR : A. BOUBAKEUR

REALISE PAR : S. LAOUFI
S. DJAFRI

~ Dédicaces ~

A toute ma famille,
A mes amis,
A tous ceux qui me sont chers,
Je dédie cet humble projet de fin d'études.

Yâadi.

A la mémoire de mon père
A ma mère, exemple de dévouement et de sacrifice
A ma mère qui m'a souffert que par et pour moi.
A mon oncle Kouh-ou Tidhir qui a su si bien
combler le vide paternel.
A mon beau frère Kouh-ou Chavane qui a toujours
été pour moi ce frère que je n'ai jamais eu.
A ma sœur et ses enfants.
A toute ma famille.
A mes amis.

Said

—REMERCIEMENTS 6—

Nos remerciements vont à Monsieur A. BOUBAKEUR, professeur à l'E.N.P., pour tous les conseils qu'il nous a prodigués et pour sa participation active durant toute notre étude.

Que tous les professeurs qui ont contribué à notre formation veuillent bien trouver ici, l'expression de nos vifs remerciements.

Nous tenons aussi à remercier toutes les personnes qui, à titres divers, nous ont aidé dans la réalisation de cet ouvrage, en particuliers, Monsieur CHERFA chef du service "études et travaux" à la SONELGAZ.

- SOMMAIRE -
=O=O=O=

- Introduction 1

- CHAPITRE 1 -

ISOLATEURS A HAUTE TENSION

- I.1. Généralités 2
- I.2. Propriétés électriques des isolants solides 2
- I.3. Les différents types de décharges 3
- I.4. Utilisation des isolants solides dans les lignes aériennes et les
postes 4
- I.5. Répartition de la tension le long d'une chaîne d'isolateurs..... 13

- CHAPITRE 2 -

Influence de la pollution sur le comportement
des isolateurs de lignes aériennes à haute tension.

- II.1. Généralités 16
- II.2. Formation des couches polluantes 16
- II.3. Caractéristiques des couches polluantes 17
- II.4. Sévérité de pollution d'un site 18
- II.5. Essais sous pollution artificielle 20
- II.6. Mécanisme de contournement sous pollution 25
- II.7. Essais sur site 32
- II.8. Critères de choix d'isolateurs en régions polluées 33
- II.9. Mesures à prendre pour éviter les amorçages dus à la pollution 35

- CHAPITRE 3 -

Conditions de pollution dans la région de l'AREA.

- III.1. Généralités	38
- III.2. Facteurs climatologiques et leur influence sur les isolateurs....	38
- III.3. Statistiques des incidents	42
- III.4. Sources polluantes de notre site.....	45
- III.5. Isolateurs utilisés par la SONEGAS.....	47
- III.6. Analyses chimiques de l'agent polluant.....	50
- III.7. Mesure du degré de pollution	51

- CHAPITRE 4 -

- I	Essais au laboratoire de l'E.N.P.A .	
- IV.1. Généralités.....		55
- IV.2. Description du laboratoire H.T de l'E.N.P.A		55
- IV.3. Essais réalisés.....		57
- Conclusion		68

- INTRODUCTION -

Les facteurs de pollution atmosphérique (production industrielle , chauffage de locaux , transports ,...) peuvent entraîner des effets nuisibles sur l'homme , les animaux et les végétaux si leurs concentrations dépassent certains seuils . Avec l'extension des réseaux de transport d'énergie électrique et les interconnexions qui en ont résulté , la tension de service est allée en croissant et les ouvrages d'isolement utilisés n' ont pas échappé aux effets néfastes de la pollution .

Cette pollution est étroitement liée au climat qui régné dans le pays . Des dépôts divers qui se fixent sur des pièces isolantes abaissent considérablement leur résistivité superficielle par temps de pluie ou de brouillard. L'isolement de certaines lignes ou de certains postes des réseaux de transport ou de distribution , sujets à de nombreux incidents provoqués par la pollution atmosphérique , peut se révéler insuffisant :

- soit parce-que l'on n'aura pas tenu compte de la pollution lors de la construction de l'ouvrage ou que la sévérité de la pollution a été mal estimée .
- soit parce-que la sévérité de la pollution en constante augmentation depuis la construction de l'ouvrage , atteint un niveau que l'on ne pouvait prévoir .

La région de l'ARBA , par sa proximité de la mer , par son industrialisation précoce et importante a bien connu les conséquences de la pollution des isolateurs H.T . Des contournements de chaines d'isolateurs ont gravement perturbé l'exploitation du réseau H.T . Cette région nécessite une attention particulière pour prendre connaissance des phénomènes de la pollution et pour l'utilisation de moyens anti-pollution . Actuellement on utilise des niveaux d'isolement élevés obtenus en exploitant l'efficacité de certaines formes d'isolateurs .

Le but principal de ce projet est justement de contribuer à l'étude de la pollution dans la région de l'ARBA et à déterminer les performances des

isolateurs sous pollution naturelle .

Avant d'aborder le phénomène de pollution des isolateurs H.T et les ~~phénomènes~~ problèmes qu'il engendre , nous avons jugé utile, dans un premier chapitre , de donner quelques rappels sur les diélectriques solides et les phénomènes de décharges superficielles . Nous présentons ensuite l'utilité des isolateurs H.T pour les lignes aériennes .

Aux chapitres II et III seront exposés respectivement:

- l'influence de la pollution sur le comportement des isolateurs de lignes aériennes d'une façon générale et
- les conditions de pollution dans la région de l'ARBA .

Le chapitre IV sera consacré à la présentation de nos essais et l'équipement qui nous a permis de les effectuer au laboratoire de L.A.E.N.P.A .

Chapitre I : ISOLATEURS A HAUTE TENSION

I. 1 GENERALITES

Dans ce chapitre, nous voulons essentiellement présenter l'utilité des isolateurs H.T. et plus particulièrement ceux utilisés dans les lignes aériennes.

Pour cela, nous sommes d'abord amenés à donner quelques définitions utiles concernant certaines propriétés électriques des isolants solides et décrire les phénomènes de décharge pouvant avoir lieu dans différents cas, que l'isolateur soit du type support, de traversée ou de ligne aérienne.

I.2 Propriétés électriques des isolants solides.

Les isolants électriques solides ont pour fonction essentielle "l'isolement" c'est à dire qu'ils doivent s'opposer au passage du courant entre les conducteurs.

En se basant sur la littérature (1), nous donnons les définitions des principaux paramètres dont dépend la qualité de l'isolement.

I.2.1. Rigidité diélectrique.

La rigidité diélectrique d'un isolant solide est la valeur du champ électrique auquel il faut le soumettre pour qu'il en résulte une perforation qui le rend inapte à remplir ultérieurement sa fonction.

On la définit en pratique comme étant le rapport entre la tension à laquelle se produit une perforation, dans des conditions d'essais spécifiées, et la distance entre les deux électrodes auxquelles est appliquée la tension. Suivant les positions relatives des conducteurs et de la surface des matériaux, on distingue :

- La rigidité diélectrique transversale pour laquelle le champ appliqué est perpendiculaire aux surfaces principales de l'isolant.

- La rigidité diélectrique longitudinale, obtenue entre deux conducteurs situés sur une même surface de l'isolant. A ces deux grandeurs correspondent respectivement, la tension de perforation et la tension de contournement du diélectrique.

I.2.2. Résistance d'isolement :

La résistance d'isolement fait intervenir la résistance transversale et la résistance superficielle d'un matériau.

- La résistance transversale est relative au volume du matériau. Elle dépend de ses propriétés internes.

- La résistance superficielle est celle qui intervient entre deux conducteurs placés sur une même surface isolante. Elle dépend non seulement des qualités propres du matériau, mais surtout de l'état de la surface entre les conducteurs. En effet, le dépôt d'une mince couche conductrice faciliterait la circulation de courant sur cette surface.

Dans le cas des isolants solides qui nous intéressent (isolateurs), c'est surtout la rigidité diélectrique longitudinale qui joue le rôle le plus important. Ainsi la tension de contournement représente une grandeur caractéristique pour un isolateur donné. Cette tension est atteinte après l'apparition de différentes formes de décharges.

I.3. Les différents types de décharges :

Différentes formes de décharges peuvent apparaître sur la surface des diélectriques solides immergés dans un milieu gazeux (l'air par exemple) : effluves, aigrettes, étincelles glissantes et étincelle qui peut se transformer en arc électrique. D'après la norme française NF C01-005, elles sont définies comme suit :

- L'effluve est le phénomène de conduction électrique, dans les gaz, qui se manifeste par une faible luminosité sans grand échauffement, sans bruit et sans volatilisation appréciable des électrodes, lorsque le champ électrique dépasse une certaine valeur. L'effet couronne est une forme particulière de l'effluve dans le cas des lignes électriques à haute tension.

- L'aigrette est une décharge électrique intermittente ayant la forme d'une houppe mobile qui sort d'un conducteur lorsque son potentiel dépasse une certaine valeur, mais reste insuffisant pour la formation d'une vraie étincelle. Elle est généralement accompagnée de sifflement ou de crépitement.

- L'étincelle est un phénomène lumineux éblouissant, de courte durée et qui caractérise la décharge disruptive.

- L'étincelle glissante qui a la forme d'une étincelle partielle, se distingue de l'étincelle complète par le fait qu'elle n'atteint pas l'autre électrode et qu'elle ne constitue pas un contournement du diélectrique solide. Ce type de décharge est fréquent dans les systèmes isolants ayant une configuration particulière des électrodes, tels que l'isolateur de traversée.

I.4. Utilisation des isolants solides dans les lignes aériennes et les postes :

L'utilisation des diélectriques solides est très répandue dans les lignes aériennes et les postes. On les rencontre sous différentes formes : isolateur support, de traversée et de ligne.

- On désigne sous le nom d'isolateur support, des pièces isolantes destinées à supporter, en les isolant, des éléments conducteurs autres que les lignes.

- Les isolateurs de traversée sont des pièces isolantes établies pour permettre le passage d'un conducteur sous tension à travers un obstacle plus ou moins conducteur (mur, paroi, etc...). Leur emploi principal consiste en bornes de transformateurs ou d'interrupteurs dans l'huile.

Comme notre projet sera surtout axé sur l'étude des isolateurs utilisés dans les lignes aériennes, on s'intéressera donc, plus particulièrement aux chaînes d'isolateurs. Néanmoins, nous donnons quelques propriétés relatives aux isolateurs de traversées.

I.4.1. Isolateurs de traversée :

De type d'isolateur constitue un système isolant ayant une configuration des électrodes facilitant l'apparition d'étincelles glissantes (2). La forme la plus simple de ce type d'isolateur est représentée sur la fig.1. Les étincelles glissantes peuvent aussi se produire dans le système plan tel qu'il est présenté à la fig.2, dont une électrode a des dimensions beaucoup plus petites que l'autre.

Le trait caractéristique de ces deux systèmes isolants est leur grande capacité spécifique superficielle. M. TOEPLER la définit comme étant la capacité existant entre 1cm^2 de feuille métallique, collée sur la surface du diélectrique, près de l'électrode active et la contre électrode.

La capacité spécifique superficielle est liée au système des capacités C_1 , K et C par lequel on peut remplacer le champ électrique (fig.3). On définit les capacités K comme formées par des électrodes très petites pressées sur la surface de l'isolateur, les capacités C comme formées par ces mêmes électrodes et la contre électrode, et les capacités C_1 formées par ces mêmes électrodes et l'électrode active.

En général, on néglige l'existence des capacités C_1 , alors la chaîne se réduit aux capacités C et K comme il est indiqué sur la fig.4

D'après TOEPLER, la capacité C joue un rôle primordial en ce qui concerne l'apparition des décharges glissantes. D'ailleurs, la tension d'apparition de ces décharges dépend uniquement de cette capacité, et est donnée par :

$$U_{og1} = \frac{1,36}{C^{0,44}} \cdot 10^{-4} \quad (\text{ M. TOEPLER })$$

$$U_{og1} \text{ en KVe}ff ; C \text{ en pF/cm}^2$$

Si on continue à augmenter progressivement la tension après l'apparition de décharges glissantes ($U > U_{og1}$), une étincelle complète apparaît et engendre le contournement de l'isolateur.

La tension de contournement pour un système du type isolateur de traversée

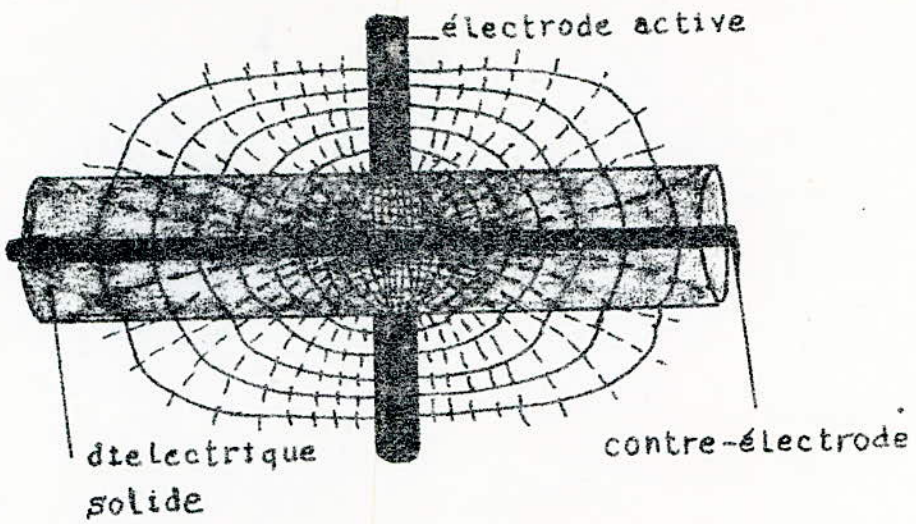


Fig 1 :
Systeme cylindrique simple d'après K. Kuhlmann [3]

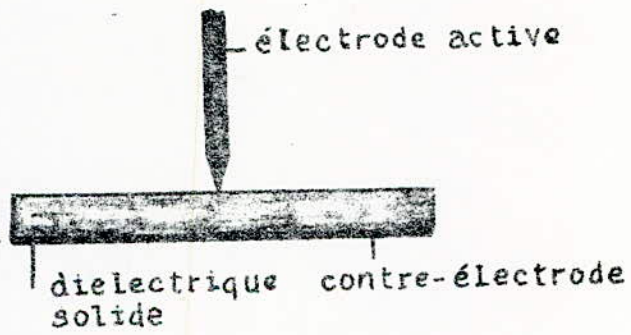


Fig 2 :
Systeme plat d'après M. Toepler [2]

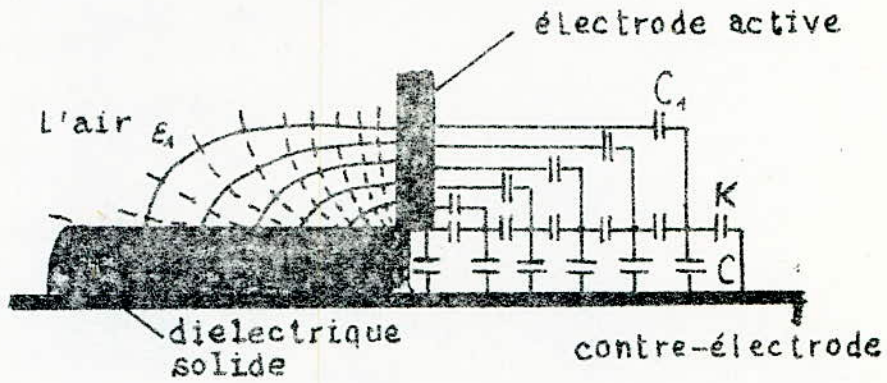


Fig 3 : Schéma équivalent avec C_1 , K et C du système cylindrique de la figure 1

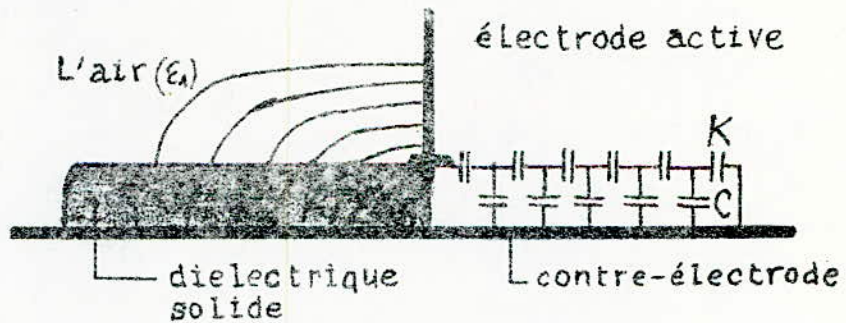


Fig 4 : Schéma équivalent simplifié avec C et K

peut être déterminée à partir des équations empiriques suivantes :

$$\text{Système plan : } U_c = 13 \cdot L^{0,5} \left(\frac{a}{\epsilon} \right)^{0,2}$$

$$\text{Système cylindrique : } U_c = 13 L^{0,5} \left[\frac{D \ln \left(\frac{D}{d} \right)}{\epsilon} \right]^{0,2}$$

où : L : ligne de fuite en cm.

a : épaisseur du diélectrique.

D : diamètre extérieur du cylindre (Cm).

d : diamètre intérieur du cylindre (Cm).

ϵ : permittivité électrique relative du diélectrique solide.

U_c : tension de contournement en KV.

I.4.2. Isolateurs de lignes aériennes :

Les conducteurs de lignes aériennes sont fixées aux supports par l'intermédiaire d'isolateurs : les poteaux même en bois ou en béton ne sont pas suffisamment isolants et donneraient lieu à des courants de dérivation exagérés. On utilise pour constituer ces isolateurs la porcelaine ou le verre. Les isolateurs doivent présenter deux qualités principales, l'une est d'ordre électrique et l'autre d'ordre mécanique.

- L'isolateur doit posséder une rigidité diélectrique suffisante pour tenir avec un coefficient de sécurité adéquat, la tension de service sans qu'il ne se produise ni percement de l'isolation, ni arc de contournement. Aussi les fuites de courants superficielles doivent être réduites. Cependant, de telles fuites sont considérablement accrues par certains facteurs défavorables tels que le brouillard (surtout le brouillard salin des régions cotières), atmosphère polluée, etc... .

- L'isolateur doit avoir les propriétés mécaniques requises pour résister aux sollicitations exercées sur lui par le conducteur et les facteurs atmosphériques (vent, variation de température...).

Les isolateurs de lignes aériennes se présentent sous deux formes : les isolateurs rigides et les isolateurs suspendus.

I.4.2.1. - Les isolateurs rigides (ou à tiges)

Ils sont scellés sur une ferrure et sont utilisés pour des tensions ne dépassant pas généralement 60KV (4). Le type d'isolateur rigide utilisé en basse tension est représenté par la figure 5. Son corps comporte une double ou une triple cloche. Cela a pour but principal d'allonger la ligne de fuite de l'isolateur, le protégeant ainsi contre l'influence du brouillard qui risque d'humidifier même les surfaces intérieures. Lorsqu'il s'agit de lignes à haute tension, on est amené à modifier la forme de l'isolateur de manière à tenir compte des sollicitations électriques plus poussées qu'il subit. Pour éviter l'apparition de décharges disruptives, on devra allonger la ligne d'arc en évasant d'avantage le corps de l'isolateur (fig.6). La figure 7 montre un autre type d'isolateur exécuté en trois pièces. La partie en coupe montre la ligne de fuite par où se produisent les dérivations superficielles. La ligne d'arc est définie par la distance(A+B+C).

I.4.2.2. - Les isolateurs suspendus (chaînes) sont composés de plusieurs éléments et sont employés pour des tensions plus élevées. Le principal type d'isolateur suspendu est celui à "capot et tige" (fig.8). Le nombre d'isolateurs utilisés dans une chaîne dépend surtout de la tension de service de la ligne. Pour la tension de 150KV, on utilise 7 à 8 éléments. Pour 220KV, les chaînes sont composées de 11 à 12 éléments. Pour la tension de 400KV on peut atteindre une vingtaine d'éléments. La fig. 9 montre une chaîne d'isolateurs de 6 éléments à capôt et tige, convenant largement pour la tension de 60KV. Certaines firmes ont créé pour ~~des~~ des tensions de 100 à 150KV, des isolateurs ne comportant qu'un seul corps en porcelaine, appelés à long fût (fig.10). Ils présentent l'avantage d'être légers par rapport à une chaîne d'éléments, de même longueur, par suite de l'absence de pièces métalliques intermédiaires.

Fig 5

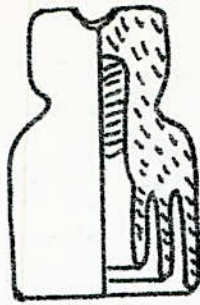
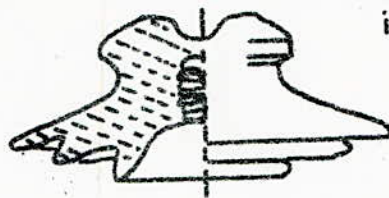
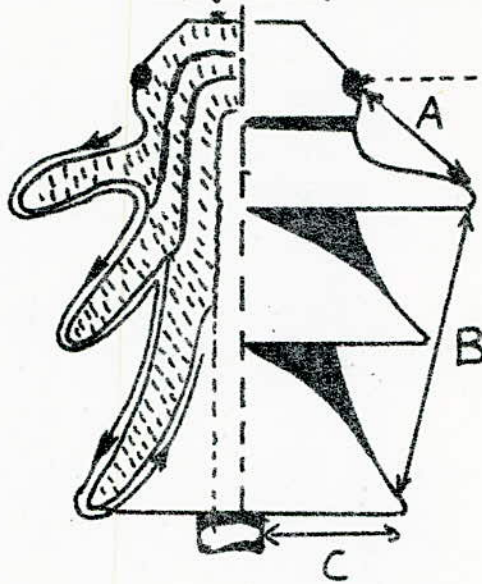


Fig.6 (forme évasée)



isolateur rigide
pour haute tension.

Fig 7 (forme delta)



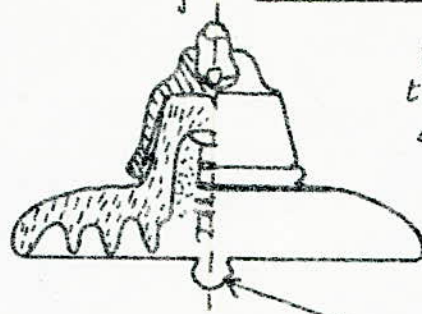
fixation du
conducteur

Isolateur rigide pour H.T

La ligne d'arc est représenté par

La distance $A + B + C$

Fig. 8 : Isolateur à "capot et tige".



La partie hachurée en trait interrompu est appelé le corps de l'isolateur, tandis que la partie hachurée en trait plein est le capot en métal

tige métallique

Fig. 9 oeillet de suspension de la chaîne .

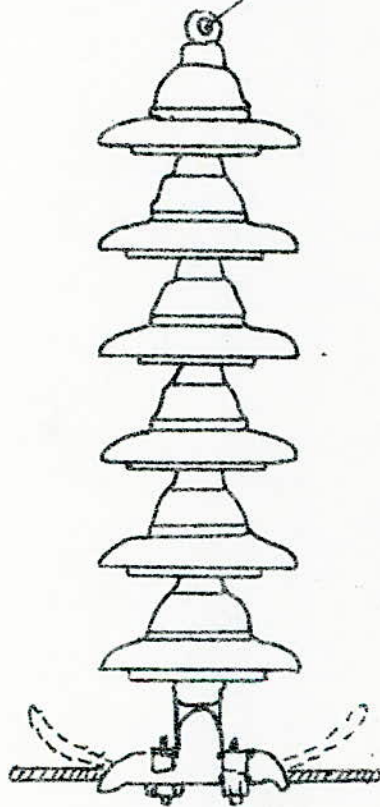
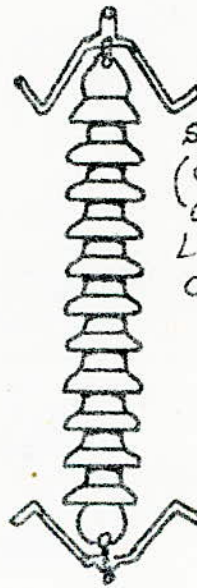


Fig. 10 : Isolateur suspendu en une seule pièce



Les armatures sous forme de cornes (cornes de garde) ont pour but de tenir l'arc écarté des cloches isolantes.

Fig. 9 Chaîne d'isolateur de 6 éléments à capot et tige

(Les deux cornes tracées en pointillés servent à améliorer la distribution du potentiel le long d'une chaîne)

En pratique, tout isolateur doit être conçu de manière à pouvoir travailler dans des conditions défavorables. Sa tension de contournement (U_c) sous pluie est une grandeur importante car elle permet d'apprécier la valeur du coefficient de sécurité donné par le rapport :

$$\frac{U_c \text{ sous pluie}}{U \text{ nominale de service}}$$

U_c dépend surtout de la forme de l'isolateur et de l'état de sa surface.

I.4.2.3. - Tensions de contournement des isolateurs.

a) Tension de contournement à sec : (U_{cs})

La formule valable pour les systèmes à pointes donne une assez bonne approximation de cette tension.

$$U_{cs} = 14 + 3,16 a_s \text{ Kveff.}$$

où a_s : la plus courte distance dans l'air entre les électrodes (C_m). Elle correspond à la ligne d'arc ou distance disruptive.

b) Tension de contournement sous pluie artificielle (U_{cm}) :

pluie normalisée : - Angle d'incidence 45°

- Résistivité de l'eau 9000 à 11000 C_m

- 3mm de pluie par minute.

Cette tension peut être calculée à partir de la formule de KOPPELMANN :

$$U_{cm} = 1,1 \sum a_m + 3,9 \sum a_s' \text{ Kveff}$$

avec a_m : Segment de chemin de contournement le long de la surface de l'isolateur (moillé) en C_m .

a_s' : Segment de chemin de contournement dans l'air en C_m

Pour une chaîne d'isolateurs, la tension de contournement dépend du nombre d'isolateurs qui la composent, mais elle ne lui est pas proportionnelle. Ceci provient de l'irrégularité de la répartition des potentiels le long de la chaîne.

I.5 - Répartition de la tension le long d'une chaîne d'isolateurs :

Une chaîne d'isolateurs constitue une mise en série de plusieurs capacités supposées identiques. Entre deux isolateurs consécutifs, un ensemble capot-tige présente une capacité C_t par rapport à la terre et une autre C_l par rapport à la ligne.

Le circuit électrique équivalent le plus général peut être représenté par la figure 11. (R : résistance due à une éventuelle couche de pollution supposée uniforme). Comme en général C_t est supérieure à C_l (4), l'influence de C_t est la plus prépondérante. La capacité C_l peut être alors négligée.

Le schéma équivalent devient plus simple (fig.12), ce qui va nous permettre d'établir aisément la fonction de répartition de la tension le long de cette chaîne.

Soient : U : la tension à laquelle est soumise la chaîne.

u, i : tension et courant locaux sur l'isolant.

Pour un élément de longueur dx, on a :

$$-du = i Z dx$$

$$-di = u jC_t \omega dx$$

en posant $Y_t = jC_t \omega$; $Y = \frac{1}{Z} = \frac{1+jC_t \omega R}{R}$ et $\alpha^2 = \frac{Y_t}{Y}$

Z (Ω / Cm) : impédance linéaire correspondant à la résistance R et à la capacité C.

Y_t ($\Omega^{-1} . Cm$) : admittance linéaire correspondant à la capacité C_t .

on obtient l'équation différentielle :

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \alpha^2 u \quad \text{dont la résolution donne la solution :}$$

$$u = \frac{\text{sh}(\alpha x)}{\text{sh}(\alpha l)} \cdot U \quad \text{où l : longueur de la chaîne}$$

Pour des isolateurs propres, on considère R comme infinie c'est-à-dire que :

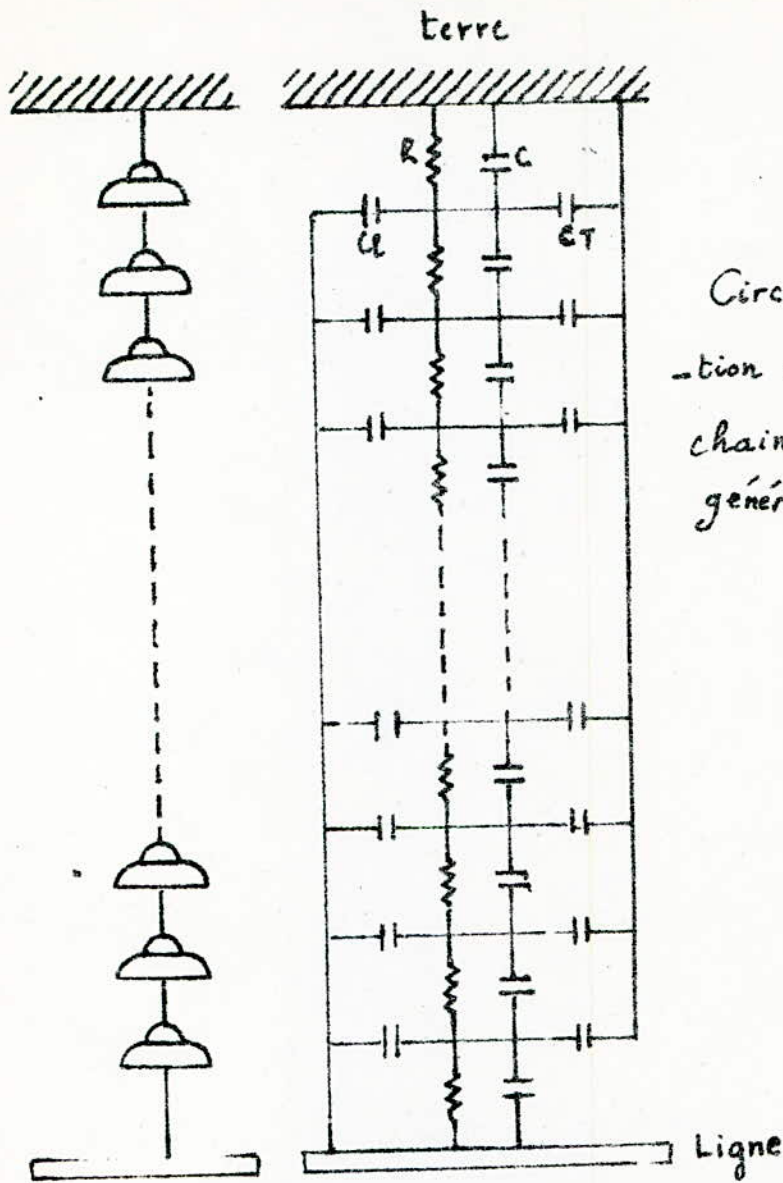


fig. 11.
Circuit équivalent pour la distribu-
-tion de la tension le long d'une
chaîne d'isolateurs dans le cas
général.

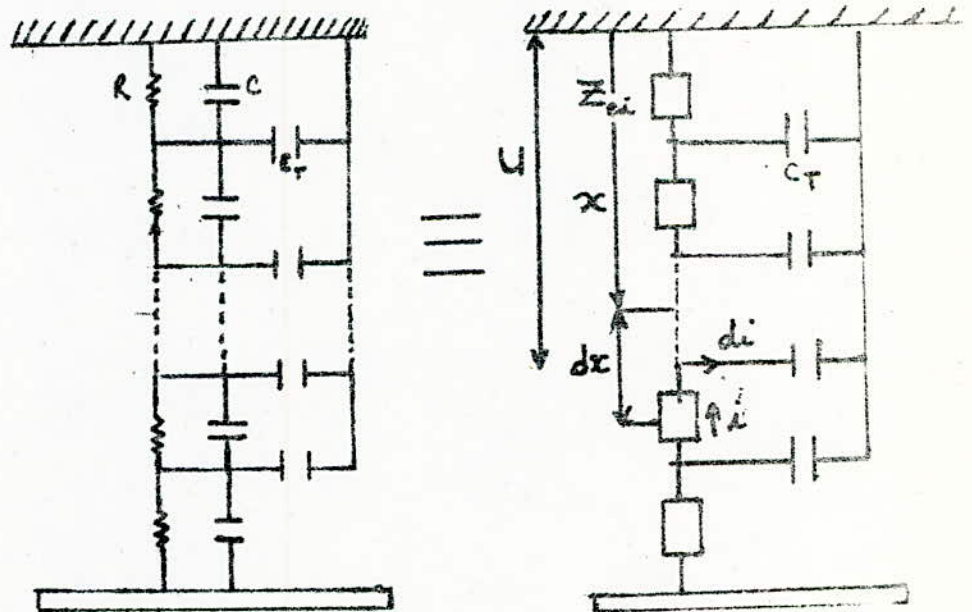


fig 12.

$$\text{alors } \alpha = \sqrt{\frac{j\omega R \gg 1}{1 + j\omega R}} \approx \sqrt{\frac{C_t}{C}}$$

α ne dépend plus de la fréquence et la répartition de la tension demeure toujours non uniforme.

Cependant, pour $C \gg C_t$ c'est-à-dire α petit, on a :

$$\frac{\text{sh}(\alpha x)}{\text{sh}(\alpha l)} \approx \frac{x}{l} \quad \text{d'où} \quad u \approx \frac{x}{l} U$$

et la répartition de la tension le long de la chaîne tend à être uniforme.

CHAPITRE II
O=O=O=O=O=O

Influence de la pollution sur le
comportement des isolateurs de lignes aériennes
de haute tension

II.1. Généralités:

De nombreux incidents d'exploitation, affectant les lignes aériennes et les postes, où règne une pollution atmosphérique sont souvent dûs à des amorçages de décharges conduisant au contournement des isolateurs. Ces contournements dépendent surtout de l'état de surface des isolateurs. En effet, ils ont pour origine des dépôts divers qui se fixent sur les surfaces isolantes et abaissent considérablement la ~~résistivité~~ résistivité superficielle des isolateurs, lorsqu'ils sont humidifiés par des eaux atmosphériques en suspension (brouillard, pluie fine, etc; ;.). Ces dépôts peuvent provenir de différentes sources de pollution :

- Pollution naturelle : poussières provenant du sol (sable, lattérites), givre, neige, etc...
- Pollution marine : bord de mer, marais salants.
- Pollution industrielle : Ses effets sont les plus souvent restreints à des aires peu étendues : cimenteries, cokeries, aciéries, industries chimiques, centrales thermiques, etc...
- Pollution mixte (pollution localisée) : complexes industriels en bord de mer, zone sablonneuses en bord de mer.

II.2. Formation des couches polluantes :

Nous allons décrire la formation de ces couches pour les différents types de pollutions en utilisant diverses sources bibliographiques notamment la Revue Générale de l'Électricité (5).

II.2.1. Pollution marine

Dans les installations (lignes ou postes) se trouvant en bordure de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur la surface des isolateurs une couche de sel qui peut recouvrir toute la surface de l'isolateur y compris les parties les mieux protégées. Cette couche de sel peut être humidifiée par les embruns eux-mêmes, par un brouillard ou simplement par condensation et devenir ainsi conductrice. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs peuvent prendre naissance et se développer jusqu'à provoquer le contournement.

II.2.2. Pollution industrielle :

Les isolateurs en service dans une zone industrielle se recouvrent de poussières faiblement conductrices mais très hygroscopiques. Dans des conditions de forte humidité (brouillard, pluie, condensation matinale, etc...), la dissolution des sels contenus dans cette poussière provoque la formation d'une couche électrolytique. Les gaz présents dans les fumées, absorbés par la couche liquide en augmentent la conductivité. Comme dans le cas de la pollution marine, un courant de fuite circule alors dans la couche superficielle et le contournement peut survenir.

Quelque soit la source de pollution, on observe donc la formation d'une couche électrolytique due à l'humidification d'un dépôt solide accumulé progressivement sur la surface des isolateurs.

II.3. Caractéristiques des couches polluantes :

- La forme de la couche : (disposition, épaisseur) dépend de différents facteurs tels que le type de montage des divers isolateurs et leur disposition par rapport à la terre (horizontale, verticale, inclinée). Les couches peuvent être continues, discontinues, régulièrement ou irrégulièrement réparties sur la surface ou se limitent uniquement à une partie de

l'isolateur. Dans la plupart des cas, l'épaisseur de la couche varie avec la hauteur des montages. Plus l'isolateur est élevé par rapport au sol, moins la couche ^{le} recouvrant est épaisse. Cette épaisseur varie aussi suivant les caractéristiques géographiques de la région, le nombre de sources de pollution et le type de montage (intérieur ou extérieur).

- L'adhérence du dépôt joue un rôle important sur les caractéristiques de la couche polluante. Suivant sa composition chimique et les conditions ambiantes, le dépôt adhérera plus ou moins à la surface de l'isolateur et son épaisseur sera plus ou moins accentuée (6).

- La possibilité d'absorber de l'eau et la capacité thermique de la couche sont liées avant tout au type de dépôt et à son épaisseur. En effet plus la couche est épaisse, plus elle absorbe de l'humidité. Tous ces facteurs influenceront d'une façon notable sur la valeur de la conductivité superficielle et sur la tension de contournement des isolateurs. Généralement, par suite du lavage périodique des dépôts par la pluie, on atteint après une période d'exposition plus ou moins longue une "pollution limite" (5) qui dépend entre autres de l'intensité de la pollution, de l'adhérence des poussières, de la fréquence de la pluie etc... Cette pollution est donc en définitive propre à chaque site.

II.4. Sévérité de pollution d'un site :

II.4.1. Caractérisation du degré de pollution d'un site :

La pollution d'un site peut être caractérisée par la résistivité moyenne de la couche superficielle recouvrant les isolateurs exposés dans ce site

Une méthode simple consiste à caractériser la sévérité d'un site par référence à l'essai sous brouillard salin équivalent. La sévérité de la pollution est alors exprimée en termes de salinité équivalente.

On peut admettre en pratique les équivalences du tableau suivant : (7)

Classe	Définition du site	S.max g/l de NaCl
1	Zone à pollution naturelle (sauf marine) ou légèrement industrielle	7
2	Zone notablement polluée (surtout les grands centres industriels éloignés de la mer). Cette classe comporte également les zones non ou faiblement industrielles situées à proximité de la mer mais non soumises à l'action direct des embruns salins.	20
3	Zones très localisées où l'on trouve simultanément une forte pollution marine et industrielle.	80
4	Zones où le niveau de pollution est exceptionnel.	80

S. max = salinité équivalente maximale.

En comparant les résultats de mesures de courant de fuite, effectuées sur un isolateur témoin installé ^{sur} le site depuis une assez longue période, aux mesures effectuées au laboratoire sur l'isolateur, l'application des résultats obtenus au laboratoire permet alors de déduire la salinité équivalente du site. Ceci est illustré par la fig.2.1.

II.4.2. Dispositif de mesure du courant de fuite :

Le courant de fuite d'une chaîne d'isolateurs est mesuré en le dérivant à travers une résistance (7). Un éclateur protège les appareils de mesure en cas de contournement de la chaîne d'isolateurs (fig.2.2.). La tension apparaissant aux bornes de la résistance est appliquée par l'intermédiaire d'un diviseur à l'entrée du dispositif d'enregistrement.

Le comportement des isolateurs sous pollution est très souvent le facteur décisif pour déterminer le type d'isolateur à utiliser et ses dimensions.

Beaucoup de chercheurs (8) (9) se sont penchés depuis longtemps sur le problème de la reproduction au laboratoire des conditions de pollution aussi proches que possible des conditions naturelles se présentant en cours d'exploitation. C'est ainsi que des méthodes d'application artificielle de la pollution ont été mises au point.

II.5. Essais sous pollution artificielle :

Les méthodes d'essais mises au point peuvent être classées en deux grandes catégories (4) :

- L'une consiste à placer l'isolateur dans un environnement spécifique.
- L'autre à essayer de créer une couche assez uniforme de pollution solide ayant une conductivité définie.

La tenue en tension de l'isolation polluée artificiellement permet de prévoir son comportement dans des conditions de pollution naturelle spécifique à un site donné.

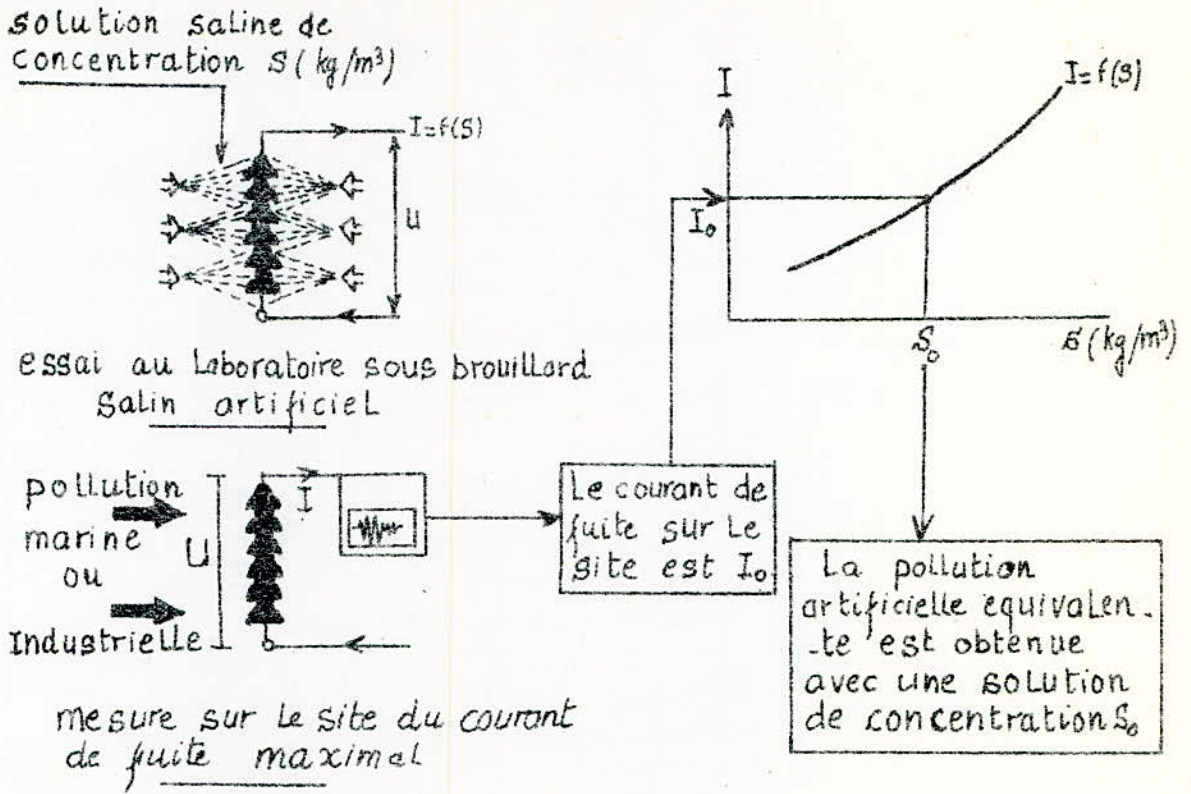


fig 2.1: Détermination de la sévérité de pollution d'un site

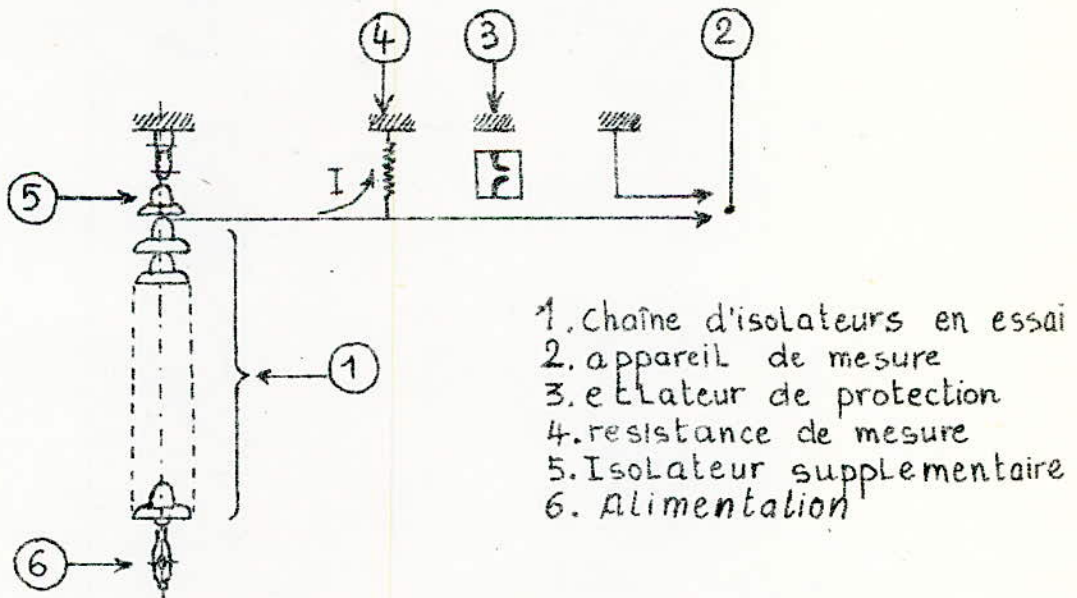


fig 2.2: Mesure du courant de fuite.

Nous allons, dans ce qui suit, décrire les méthodes d'application de la pollution et les modalités d'essais. Les deux essais proposés sont :

- L'essai sous brouillard salin.
- L'essai sous une couche polluante solide.

II.5.1. Méthode du brouillard salin :

Pour la première catégorie des méthodes d'application de la pollution l'essai sous brouillard salin est proposé. Pour cet essai, l'isolateur soumis à la tension est placé dans un brouillard salin dont le taux de salinité définit la sévérité de l'essai.

La solution saline est obtenue à partir de chlorure de sodium (NaCl) et d'eau. L'une des valeurs suivantes est recommandée pour la concentration de la solution exprimée en Kg/m³ : 2,5 - 3,5 - 5 - 7 - 10 - 14 - 20 - 28 - 40 - 56 - 80 - 112 - 160 - 224.

Le tableau suivant donne les valeurs de la conductivité électrique de la solution pour les valeurs spécifiées de la salinité. (10)

Salinité à 20°C (Kg/m ³)	2,5	3,5	5	7	10	14	20
Conductivité à 20°C δ_{20} (uS/Cm)	4340	6000	8327	11520	15910	21690	29860
	28	40	56	80	112	160	224
	40970	55940	75630	100800	130100	167300	202600

La résistivité de la solution à 20°C est donnée par :

$$\rho = \frac{10000}{\delta} \quad \text{avec } \rho \text{ en } (\Omega \cdot \text{m}) \quad \text{et } \delta \text{ en } (\text{uS/Cm}).$$

Si la température t de la solution est différente de 20°C, les valeurs de

conductivité peuvent être corrigées à l'aide de la relation suivante (10)

$$\chi_{20} = \chi_t [1 - b (t - 20)] \quad \text{où : } t : \text{température de la solution (}^\circ\text{C)}$$

- χ_t : conductivité ($\mu\text{S}/\text{Cm}$) à la température t

- b : un facteur dont la valeur dépend de la température.

t ($^\circ\text{C}$)	0	10	20	30
b	0,03675	0,02817	0,02277	0,01905

Remarque : Pour d'autres valeurs de t , la constante b peut être obtenue par interpolation.

Système de pulvérisation

Un brouillard dense est provoqué dans une chambre d'essai par un nombre convenable de jets vaporisateurs utilisant de l'air comprimé pour atomiser la solution (Fig.2.3.).

Les vaporisateurs sont montés parallèlement sur deux colonnes situées de part et d'autre de l'isolateur.

Le débit de solution alimentant chaque pulvérisateur sera de 0,5l/min et la pression de l'air comprimé doit être réglée à $(6,5 \div 7) \text{ Kg}/\text{Cm}^2$

L'isolateur préparé est soumis au taux de salinité spécifié, à la tension d'essai spécifié pendant une durée de 20min ou jusqu'à ce qu'il se produise un contournement, sinon on augmente la tension toutes les 5 min par paliers de 10% de la tension spécifiée jusqu'au contournement.

Cette méthode donne des résultats satisfaisants, mais n'imites pas très exactement les conditions de service.

II.5.2. Méthode de la couche solide :

La méthode de la couche solide est celle qui est proposée pour la deuxième

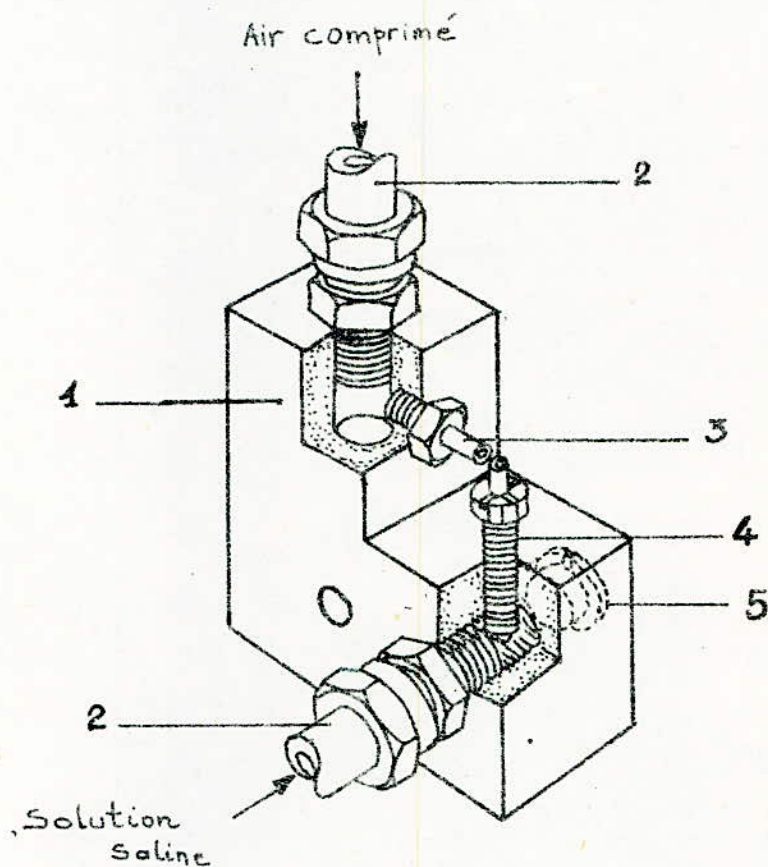


Fig 2.3: Pulvérisateur de brouillard saline.

- 1 - Corps en plexiglas .
- 2 - buse pour couplage avec un tube .
- 3 - Vis avec tube excentrique .
- 4 - Vis avec tube concentrique .
- 5 - cheville en plexiglas .

catégorie des méthodes d'application de la pollution.

Dans ce cas, la couche de pollution est une couche conductrice électrolytique mise sur la surface de l'isolateur et constituée de composants solubles et insolubles. Le mélange utilisé pour la suspension est composé de :

- 100g de Kieselguhr (terre d'infusoires, diatomées).
- 10g de bioxyde de silicium (SiO_2).
- 1000g d'eau.
- Une quantité adéquate de sel (NaCl) nécessaire pour régler la conductivité de la suspension.

La terre diatomée et la silice donnent les propriétés hygroscopiques au revêtement.

L'humidification de la couche est obtenue au moyen d'un pulvérisateur de brouillard qui procure une répartition uniforme du brouillard tout au long et autour de l'objet essayé. Cette humidification sera maintenue jusqu'à ce que la conductivité de la couche atteigne sa valeur maximale. On applique alors la tension d'essai jusqu'à ce que l'isolateur soit contourné.

Remarque :

Les essais sous pollution artificielle peuvent être exécutés soit pour déterminer le degré de pollution admissible pour une certaine tension, soit pour déterminer la tension de tenue d'un degré de pollution spécifié.

II.6. Mécanisme de contournement sous pollution :

Généralement le développement du contournement sur une surface polluée consiste essentiellement dans la formation d'une zone sèche où se produisent des décharges qui donnent alors naissance à des arcs partiels. L'allongement de ces derniers conduit finalement à une décharge totale entre les électrodes (11).

Lors de nos expériences au laboratoire de l'E.N.P., nous avons pu

observer les phénomènes de développement de l'arc le long de la surface polluée de l'isolateur, mais faute de moyens et de conditions adéquates (obscurité du laboratoire, appareillage de mesure sophistiqué...) nos observations n'ont pas été précises. Ainsi, dans le souci d'une description claire des phénomènes, nous nous inspirons des résultats de travaux effectués par P. CLAVERIE et Y. PORCHERON sur un modèle simple où les observations sont meilleures.

II.6.1. Développement de l'arc :

Le modèle expérimental utilisé (5) est constitué d'une plaque de porcelaine munie de deux électrodes l'une circulaire, l'autre rectangulaire, disposées sur une même surface de la plaque isolante (Fig.2.4.).

La couche polluante est obtenue en pulvérisant à la surface de la plaque une solution de chlorure de sodium plus ou moins concentrée suivant la conductivité désirée.

En appliquant une tension alternative de quelques KV entre les électrodes, un courant de fuite s'établit et croît à mesure que l'électrolyte s'échauffe (5).

La densité du courant devient de plus en plus grande autour de l'électrode circulaire, la température s'élève, le liquide s'évapore et une zone sèche apparaît. Dès lors la tension entre l'électrode active et le bord de la zone sèche est à peu près égale à la tension totale appliquée ; un claquage diélectrique se produit et un arc s'établit dans la zone sèche.

Dès cet instant, le courant dans le circuit devient impulsionnel d'amplitude variable.

La forte densité de courant au voisinage de la racine d'arc provoque l'évaporation progressive du liquide. La zone sèche s'élargira donc et l'arc aura tendance à se déplacer vers l'électrode opposée. Deux cas sont alors à

considérer suivant que, la couche polluante est ou non constamment régénérée.

- Si la pollution n'est pas régénérée : c'est-à-dire si la pulvérisation est arrêtée peu après l'application de la tension, le phénomène s'arrêtera dès que la zone balayée par l'arc sera complètement sèche.

- Par contre lorsque la couche polluante est constamment régénérée, il y'a création d'un état d'équilibre entre les processus d'humidification et de vaporisation, qui empêche l'arc de se déplacer. Un régime permanent, donc, s'établit. Il est caractérisé par des arcs radiaux balayant une surface bien délimitée autour de l'électrode active.

Si la tension est augmentée de quelques KV, les arcs s'allongent, la zone balayée s'étend puis se stabilise de nouveau. En augmentant ainsi la tension, on atteint un état critique au-delà duquel toute augmentation de tension entraîne la formation de l'étincelle complète reliant les deux électrodes.

Pour bien connaître les mécanismes de contournements des isolateurs soumis à la pollution atmosphérique et surtout de rechercher les facteurs qui déterminent réellement la tension de tenue sous pollution, différents modèles ont été étudiés par plusieurs auteurs. Les résultats obtenus sont plus ou moins satisfaisants quant à la simulation d'isolateurs réels sous pollution. Nous rappelons brièvement, dans ce qui suit, quelques résultats obtenus, particulièrement intéressants sur le modèle de la Fig.2.4. déjà cité et donner par la suite quelques critères permettant le dimensionnement d'isolateurs en région polluée.

II.6.2. Rappels des résultats :

* Modèle de ALSTON et ZOLEDZIOWSKI : Il est constitué d'une plaque isolante rectangulaire recouverte d'une couche polluante et munie de deux électrodes distantes d'une longueur L (Fig.2.5.)

En considérant d'une part, que le circuit est constitué par l'arc

et la résistance de la couche polluante ~~associée~~ en série, d'autre part que l'arc se maintient sous tension alternative, il est obtenu (12):

$$V = V_{\text{arc}} + V_R = A \cdot x \cdot i^{-n} + r \cdot i \cdot (L-x)$$

avec

x = Longueur d'arc

r = Résistance linéique du dépôt

i = Courant circulant dans le circuit.

A et n sont des constantes que l'on peut déterminer expérimentalement. Elles dépendent de l'intensité du courant et des conditions d'amorçage de l'arc.

Il est noté que pour une longueur L et une valeur donnée de la résistance unitaire r , le contournement est impossible si la tension appliquée est inférieure à la tension critique

$$V_c = A^{\frac{1}{n+1}} \cdot L \cdot r^{\frac{n}{n+1}}$$

et la longueur d'arc correspondante est plus courte que la longueur d'arc critique

$$X_c = \frac{L}{n+1}$$

* Pour un cas d'électrodes de forme déterminée (Fig.2.4.)

Y. PORCHERON et P. CLAVERIE se sont inspiré des travaux précédents pour établir que :

- La tension d'arc est :
$$V_{\text{arc}} = \frac{100x}{\sqrt{i}}$$

où i est l'amplitude du courant de fuite (A) et x la longueur d'arc en (Cm).

- La tension sinusoïdale appliquée entre les électrodes est :

$$V_{\text{appl}} = \frac{100x}{\sqrt{i}} + R(x) \cdot i$$

$R(x)$ étant la résistance en série avec l'arc exprimée en fonction de x est appelée fonction caractéristique de la couche polluante.

$R(x)$ peut être déterminée expérimentalement par une méthode qui simule le

contact de l'arc avec la couche polluante au moyen d'une électrode ~~auxiliaire~~ auxiliaire que l'on déplace sur la surface de l'isolateur (5). Une tension de quelques kilovolts est appliquée entre l'électrode auxiliaire et la contre-électrode (exemple capôt d'isolateur). La mesure du courant permet par simple application de la loi d'Ohm le calcul de la résistance $R(x)$.

- La condition de maintien de l'arc est : $V \gg \frac{800x}{\sqrt{i}}$

D'autre part un état critique est défini et des résultats importants obtenus permettent d'apprécier la valeur du coefficient de sécurité de l'isolation $\frac{V_c}{V}$.

* Etat critique :

Il correspond à une tension critique ou tension de contournement V_c qui apparaît comme la tension qui ne saurait être dépassée sans que le contournement du dispositif isolant ne se produise.

La figure (2.6.) donne l'allure de la variation de la longueur d'arc en fonction de la tension appliquée.

* Critère de contournement :

Sous une tension donnée V , lorsque la sévérité de la pollution augmente, le courant de fuite croît jusqu'à la valeur I_c pour laquelle le contournement a lieu.

$$I_c = 64 \cdot 10^4 \cdot \frac{X_c^2}{V^2}$$

X_c : Longueur d'arc critique en cm.

V : En volts.

I_c : En Ampères = amplitude du courant critique.

Il est par ailleurs démontré (5) que :

- Le niveau maximal des impulsions du courant de fuite, pour un même type d'isolateur, croît avec la tension et avec la sévérité de la pollution comme l'indique à titre d'exemple les courbes de la figure 2.7.

Fig 2.4

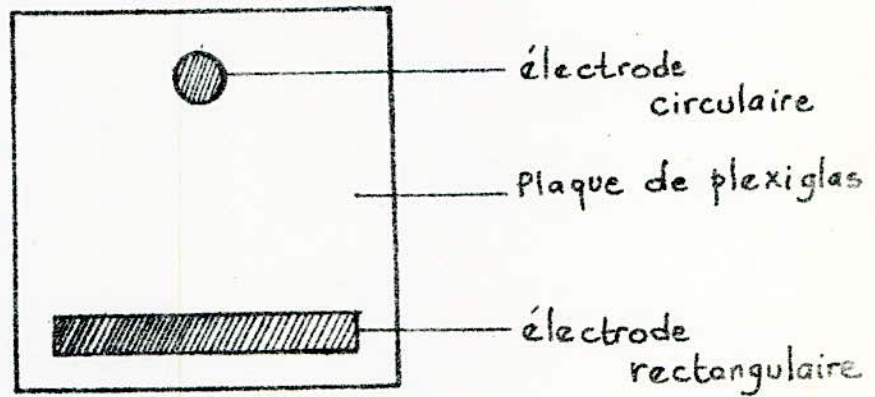


Fig 2.5

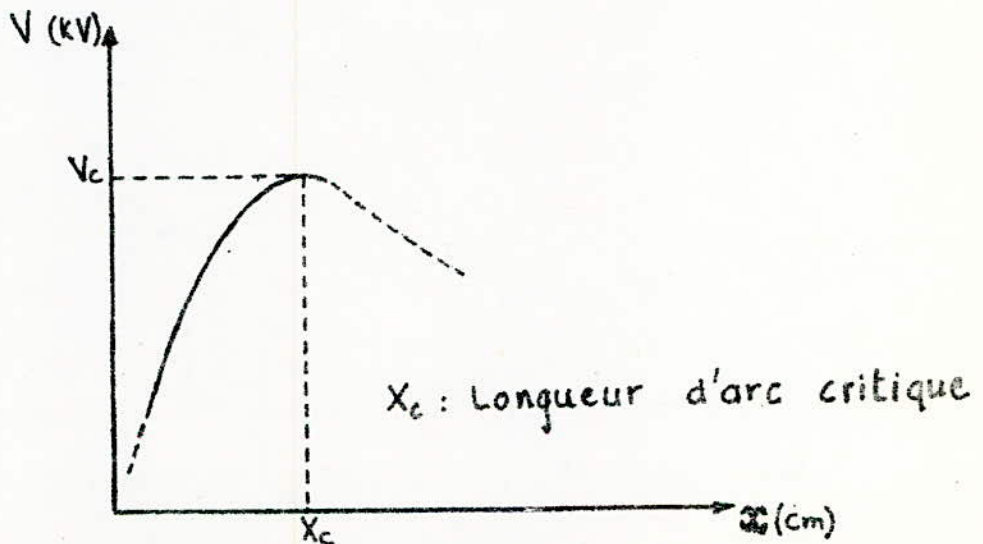
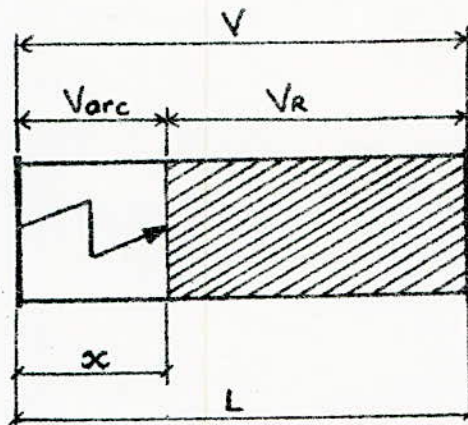


Fig 2.6: Variation de la Longueur d'arc en fonction de la tension.

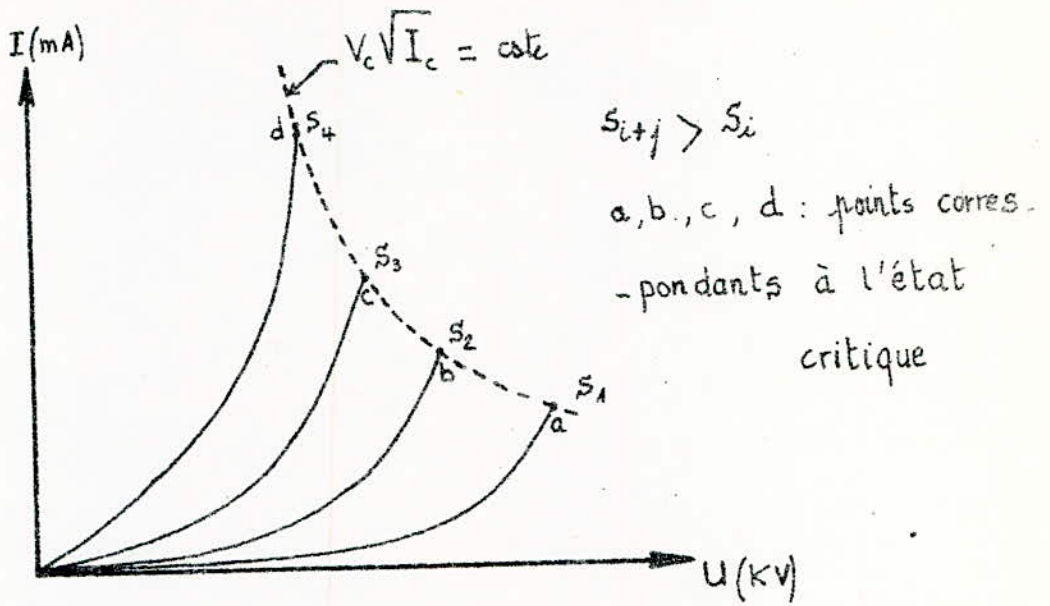


Fig: 2.7 Courant de fuite en fonction de la tension U
et la sévérité de la pollution S

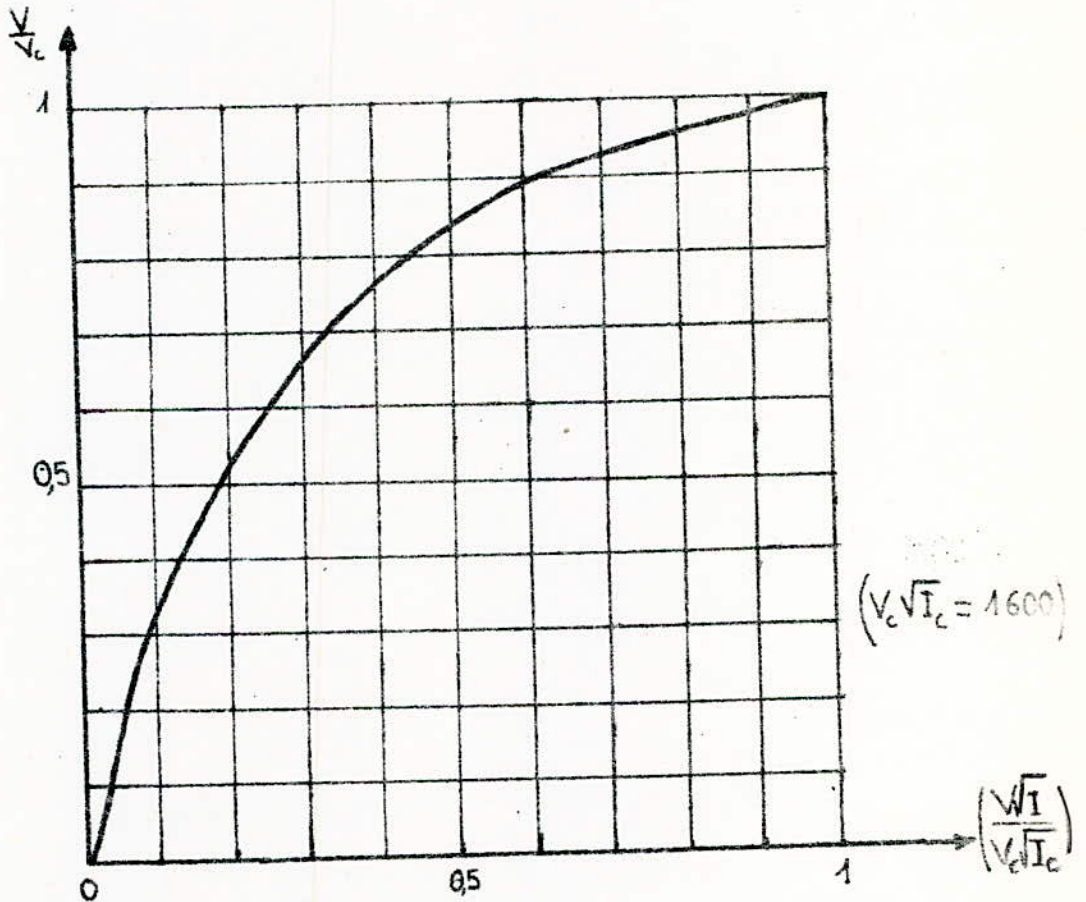


Fig.2.8 Exemple de courbe permettant l'évaluation
du coefficient de sécurité en fonction du produit $(V \cdot I)$

- Le produit $V_c \sqrt{I_c}$ est indépendant de la pollution et dépend uniquement des caractéristiques géométriques de l'isolateur (Fig.2.7.).

- Le rapport $\frac{V}{V_c}$ peut s'exprimer sous la forme d'une fonction du rapport

$$\frac{V \sqrt{I}}{V_c \sqrt{I_c}} \quad (I \text{ étant le courant de fuite maximale sous la tension } V).$$

La figure 2.8. donne une allure de la courbe représentative de cette fonction relative au modèle de la fig.2.4.

* Coefficient de sécurité :

Il en résulte de ce qui précède que, pour un isolateur donné, le rapport $\frac{V}{V_c}$ ne dépend plus que du produit $V \sqrt{I}$ donc de I .

La mesure du courant de fuite maximal d'un isolateur pollué permet donc d'estimer le coefficient de sécurité $\frac{V_c}{V}$ de l'isolement pollué.

II.7. Essai sur site.

Les essais, au laboratoire, des isolateurs sous pollution artificielle peuvent être effectifs si les différents paramètres physiques, électriques et chimiques des couches naturelles sont bien connus. Ceci est nécessaire pour les différents profils des surfaces isolantes et les conditions météorologiques du site où les isolateurs doivent être installés.

En général ces conditions sont très difficiles à réaliser et le comportement de l'isolateur sous pollution artificielle ne traduira pas exactement celui existant réellement sur site. Ainsi, pour l'étude des performances des isolateurs pollués et les mesures de l'importance de la pollution, la création de station ~~sur~~ d'essais sur site s'avère nécessaire. De même ce n'est que sur la base des résultats obtenus sur site sous pollution naturelle que les essais de laboratoire peuvent être améliorés et puissent satisfaire aux conditions suivantes " reproductibilité et validité ".

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

Les essais et les observations qu'on peut faire sur une station d'essai sont les suivants :

- L'influence de la pollution sur la tenue diélectrique des différents types d'isolateurs.
- La longueur critique de la ligne de fuite des isolateurs en fonction de leur profil.
- L'influence du courant de fuite sur l'isolation en fonction des conditions météorologiques et des caractéristiques des couches polluantes.
- Les valeurs critiques de la conductivité superficielle et du courant de fuite en fonction de la ligne de fuite pour différents profils.
- La conservation de l'isolation à l'aide de revêtements hydrofuges.
- Les paramètres de l'agent polluant et superficie des zones de pollution.
- Sédimentation des poussières industrielles sur l'isolation dans l'état hors tension (Influence du champ électrique sur la forme des couches). Sur la base de résultats obtenus, on choisit le type d'isolateur qui convient le mieux pour un site donné.

II.8. Critères de choix d'isolateurs en régions polluées :

1 - Temps jusqu'au contournement

Pour choisir entre divers types d'isolateurs, exposés en même temps et soumis aux mêmes conditions de pollution et de tension, la première idée consiste à préférer celui qui a la plus longue tenue, c'est-à-dire celui qui contourne en dernier lieu. Ce genre de choix demande parfois une très longue durée d'exposition (plusieurs années) et aussi beaucoup d'isolateurs en

même temps (résultats statistiquement valables)

2. Conductivité superficielle :

L'accroissement de la conductivité superficielle est la cause principale provoquant le contournement des isolateurs après l'augmentation du nombre de zones sèches créées par les décharges superficielles incomplètes (63). L'observation de la variation de la conductivité superficielle (δ) fournit l'évolution des paramètres des couches polluantes. Elle permet de choisir entre plusieurs profils et de classer chaque isolateur selon les conditions du travail. D'après les valeurs de δ , on définit un facteur d'autonettoyage "K" donné par la relation suivante (14) :

$$K = \frac{\delta_i}{\delta_d}$$

où δ_i = conductivité superficielle moyenne de l'isolateur i .

δ_d = conductivité superficielle moyenne de l'isolateur pris comme référence.

La valeur de (δ) est donnée par la moyenne des différentes valeurs mesurées jusqu'au contournement de l'isolateur ou après une durée estimée valable (3 à 5 ans). L'isolateur pris comme référence est celui ayant la valeur de δ la plus faible.

Pour le choix des isolateurs, en fonction de la pollution, on opte pour celui présentant la ~~plus~~ plus petite conductivité superficielle ou le facteur d'auto-nettoyage "K" le plus proche de l'unité.

3. Dimensionnement pratique des chaînes isolantes :

La sévérité de pollution d'un site étant connue, la longueur de la ligne de fuite des chaînes isolantes doit être telle que leur tension de tenue reste au moins égale à la tension L_a la plus élevée pour le matériel, telle que l'a définie la publication 71.1 de la CEI.

La ligne de fuite de la chaîne étant fixée, sa longueur dépend du rapport ligne de fuite sur le pas des éléments qui la composent. Par ailleurs pour limiter la hauteur des pylones tout en conservant les distances réglementaires par rapport à la terre, la longueur de la chaîne doit être aussi courte que possible.

II.9. Mesures à prendre pour éviter les amorçages dus à la pollution :

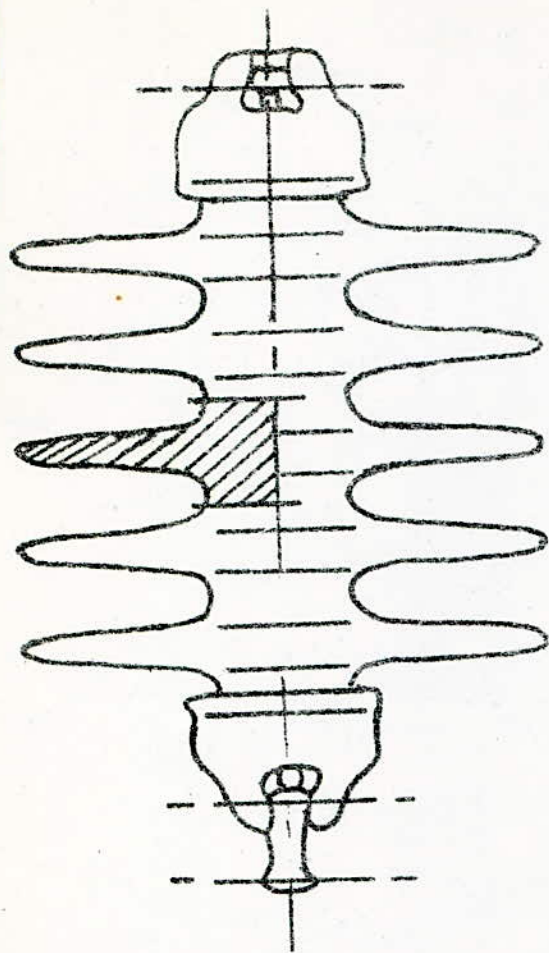
Les résultats des recherches effectués sur site et au laboratoire dans de nombreux pays ont montré que la tension de tenue d'un isolateur pollué est proportionnelle à la longueur de sa ligne de fuite. Cependant l'efficacité de cette dernière dépend de la forme de l'isolateur.

L'amélioration recherchée de la tenue des ouvrages peut être obtenue soit par des dispositions constructives appropriées, soit par des mesures d'exploitation convenables.

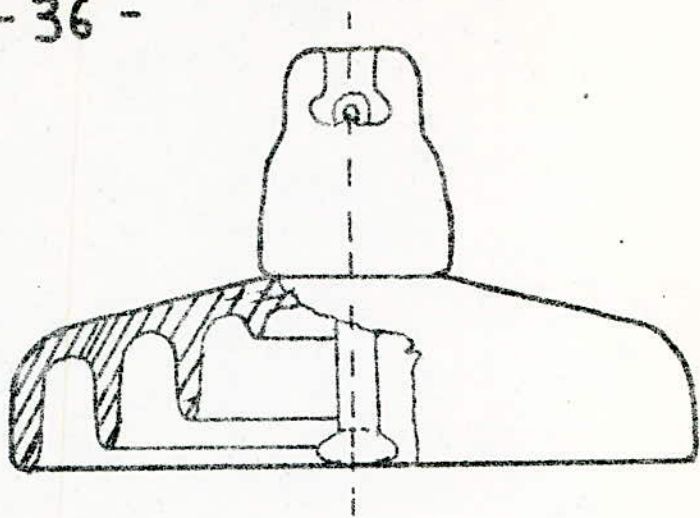
II.9.1. Disposition constructives appropriées :

- Surisolement résultant de l'allongement de la ligne de fuite qui peut être obtenu en augmentant le nombre d'éléments des chaînes d'isolateurs ou en adoptant un type de colonne à isolement renforcé.
- Utilisation d'isolateurs spéciaux de forme plus favorable : Des isolateurs spécialement étudiés (notamment avec des jupes plus grandes) sont prévus pour équiper les lignes de transport d'énergie situées en zones très polluées. Nous donnons quelques types d'isolateurs dits "antipollution" à la Fig.2.7.
- Emploi dans certaines régions des dispositions horizontales ou inclinées des chaînes de préférence aux dispositions verticales. En effet, dans de telles positions, la pluie facilite le lavage de la surface de l'isolateur.

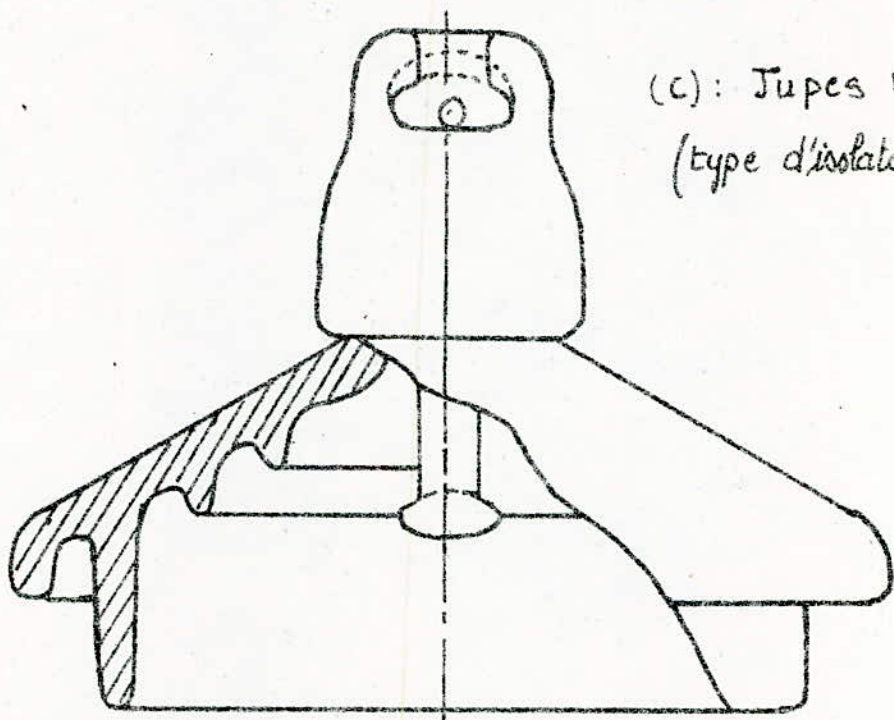
II.9.2. Mesures d'exploitation convenables :



(a) : Jupes Lisses



(b) : Jupes nervurées
(type d'isolateur 120 AS)



(c) : Jupes nervurées
(type d'isolateur F.12P)

Figures 2.9
quelques types d'isolateurs "anti-pollution" de Haute tension.

- Nettoyage périodique des isolateurs : De bonnes propriétés d'autolavage peuvent redonner aux isolateurs leur qualités primitives d'isolement, ~~lors~~ lorsqu'une pluie naturelle succède à une période de pollution de courte durée.

Dans les régions fortement polluées, un lavage périodique des isolateurs au jet d'eau ou leur nettoyage à main nue est souvent pratiqué.

- Protection des isolateurs par des revêtements hydrofuges : Dans le but de réduire l'effet néfaste de la pollution, différents revêtements protecteurs sont utilisés. Ces revêtements sont constitués de graisses minérales ou à base de silicones (compound siliconé). L'action de ces produits s'explique par leurs propriétés hydrofuges qui empêchent la formation de pellicules continues d'eau conductrices et favorisant le ruissellement en gouttes fines non jointives et non mouillantes. De plus, ces propriétés hydrofuges se combinent avec l'effet d'enrobage des grains de poussières déposés à la surface du compound.

L'adoption de dispositions particulières susceptibles de procurer une meilleure tenue à la pollution, doit généralement être prévue à la construction de l'ouvrage. Des études préliminaires sont indispensables pour déterminer le degré de pollution du site où l'ouvrage sera construit et définir l'isolement à utiliser.

CHAPITRE III

○=○=○=○=○=○=

Conditions de pollution

dans la région de l'ARBA

III.1. Généralités :

L'ARBA est située à quelques kilomètres de la ville d'Alger. La région délimitée par un rayon de quarante kilomètres autour du poste d'interconnexion de l'ARBA compte une forte concentration industrielle. Les différentes fumées dégagées par les usines, les poussières provenant du sol, la pollution marine... constituent des facteurs néfastes pour une bonne exploitation du réseau de H.T. de la Sonelgaz.

Dans ce chapitre, seront essentiellement présentées les différentes sources de pollution, l'influence des facteurs météorologiques, les statistiques d'incidents survenus dans la région étudiée et les caractéristiques électriques et chimique des agents polluants.

III.2. Facteurs climatologiques et leur influence sur les isolateurs :

Grâce au concours de l'Office Nationale de la Météorologie (ONM) nous avons pu avoir les relevés statistiques, pour une période de dix années (1971 - 1980), concernant les différents facteurs climatologiques relatifs à la région de l'ARBA.

III.2.1. Humidité :

Elle est accentuée surtout en hiver (particulièrement en décembre et en janvier) mais aussi au printemps. Le degré hygrométrique peut atteindre en ces saisons-ci la valeur de 100%. De même pendant plus de la moitié de chaque année, l'humidité relative moyenne dépasse 75%. On conclue alors que

la région de l'ARBA est très humide.

Sur la figure III.1. sont représentées les variations de l'humidité relative moyenne et de l'humidité relative maximale pour la décennie (71 - 80)

III.2.2. Précipitations (pluies mesurables) :

Le climat de la région de l'ARBA est caractérisé par des précipitations réduites en été (juin à aout, avec un minimum en juillet) et abondantes durant le reste de l'année (supérieur à 80mm) Fig.3.2. Les isolateurs sont donc relativement bien lavés durant cette dernière période.

III.2.3. Précipitations occultes :

Le nombre de jours de rosée par mois varie le plus souvent entre 14 et 24. Cette rosée observée la nuit jusqu'au lever du soleil est très nocive pour les isolateurs.

La gelée blanche apparaît particulièrement pendant les mois de janvier, février et décembre (environ 8 jours par mois). Pour le reste de l'année elle est presque inexistante.

Le brouillard apparaît le plus fréquemment à partir du mois de mai jusqu'au mois d'aout. Le nombre moyen de jour de brouillard par mois pour cette période dépasse 4. Il en résulte que la probabilité d'humidification des isolateurs est plus élevée par rapport aux autres mois.

III.2.4. Température :

Les températures subissent de fortes variations (Fig.3.3.). Les écarts de température entre le jour et la nuit sont plus dangereux car, en présence d'humidité importante, ils donnent naissance par condensation à un film humide sur la surface de l'isolateur. Ceci pourrait provoquer le contournement sous la tension de service.

Fig 3.1

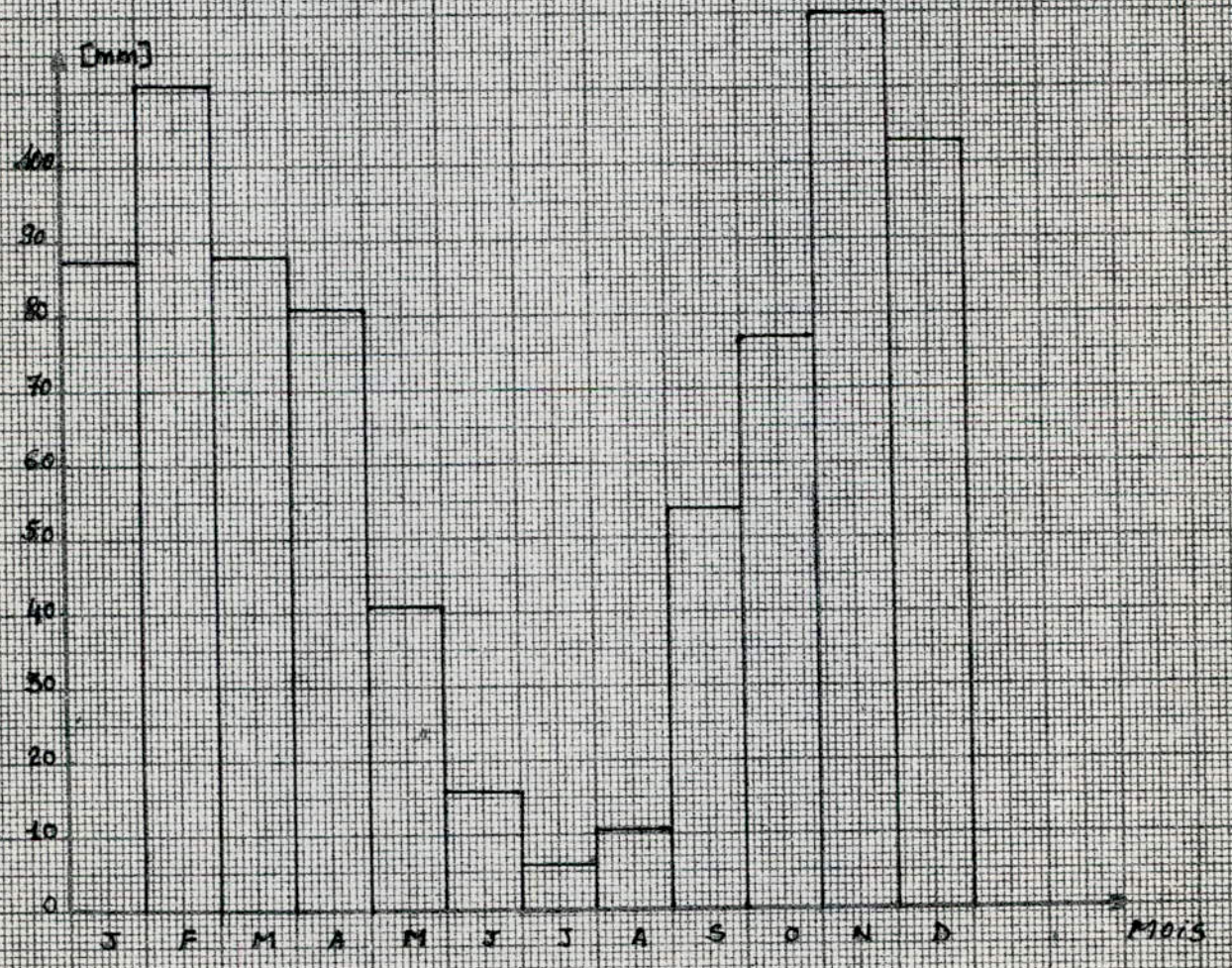
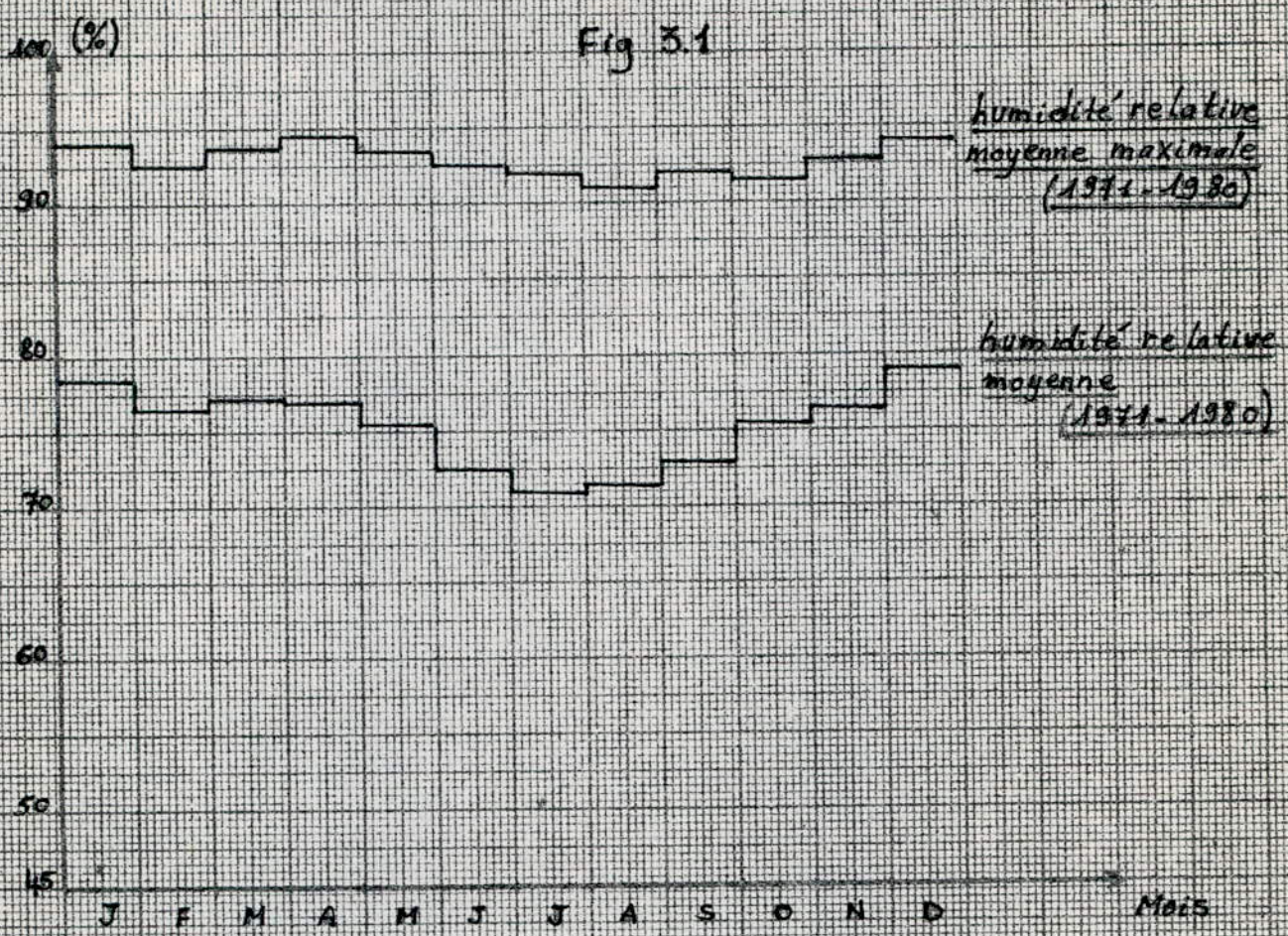


Fig 3.2: hauteurs moyennes mensuelles des précipitations (de 1971 à 1980)

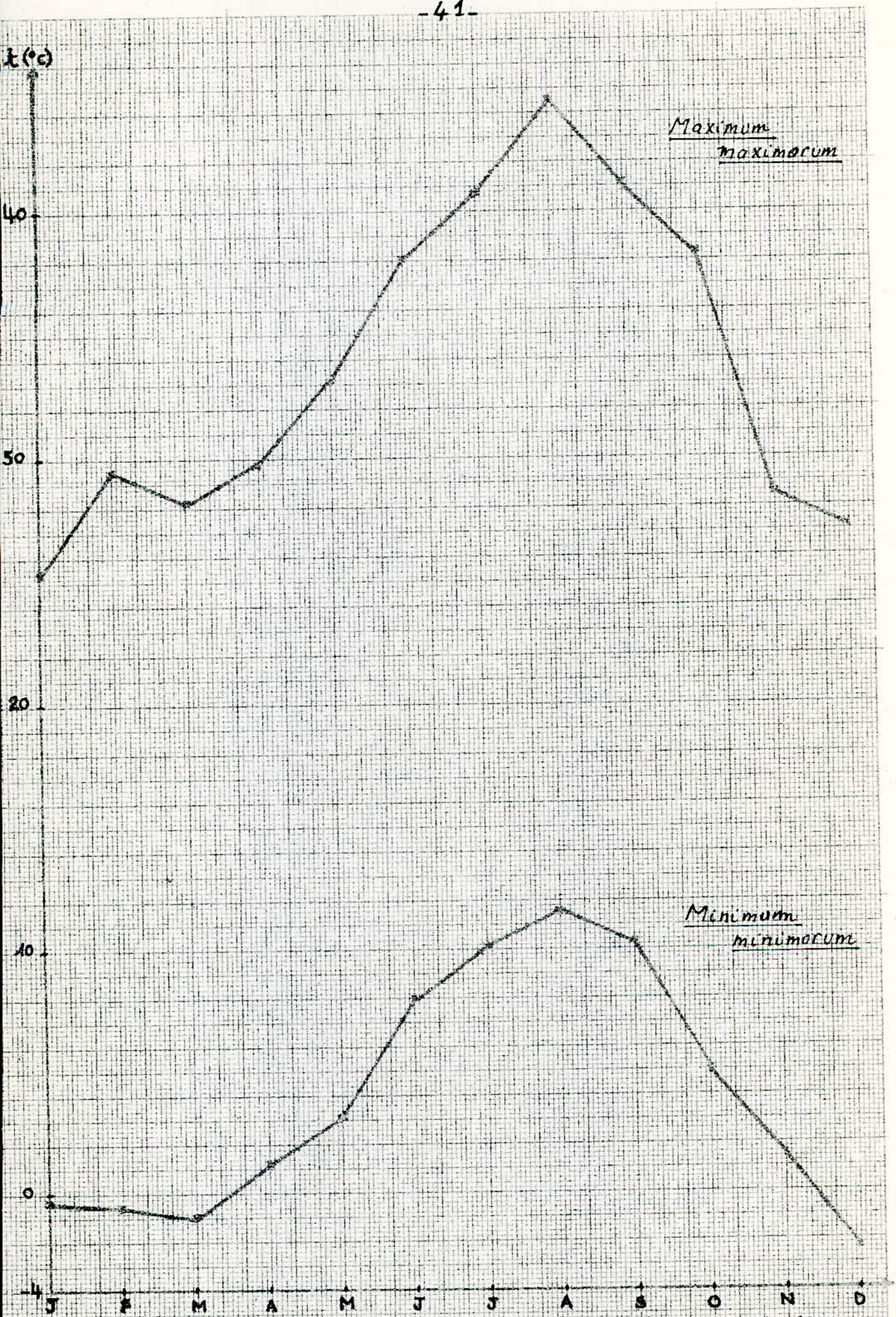


Fig 3.3: températures extrêmes enregistrées dans la région de l'ARBA
(de 1971 à 1980)

III.2.5. Les orages :

Le nombre de jours d'orage peut varier considérablement d'une année à l'autre. Par exemple, on a enregistré 64 orages en 1972 contre 29 en 1977. Ils surviennent surtout aux mois de février, mars, septembre et octobre.

III.2.6. La neige :

Elle ne se manifeste que très rarement : 1 jour de neige pour chacune des 4 années suivantes : 1971, 1976, 1979 et 1980.

III.2.7. Les vents :

Ils varient irrégulièrement en force et en direction. Les vents soufflant de la mer vers l'intérieur, susceptibles d'engendrer la pollution mixte ont une vitesse maximale qui oscille entre 12m/s et 31m/s. Les autres directions de vents sont plus fréquentes (surtout la direction W pour laquelle la moyenne des vitesses maximales est estimée à 25m/s). Elles peuvent avoir beaucoup d'influence sur la pollution des isolateurs du fait que le relief de la région est généralement plat.

En résumé les différentes manifestations climatiques ont pour conséquences soit le nettoyage des isolateurs (vent, forte pluie), soit l'augmentation de la conductivité superficielle des couches polluantes après leur humidification (brouillard, bruine, rosée). Les facteurs principaux sont la variation de l'humidité relative de l'air et les directions dangereuses du vent (surtout la direction N qui soumet les sites aux pollutions à la fois marine et industrielle).

III.3. Statistiques d'incidents :

Les statistiques d'incidents, survenus pendant deux ans (78 - 79), autour du poste d'interconnexion de l'ARBA dans un périmètre de 40 km et sur les 4 lignes de 220KV (Fig.3.4.), montrent que plus de 75% de ces incidents

MER MEDITERRANEE

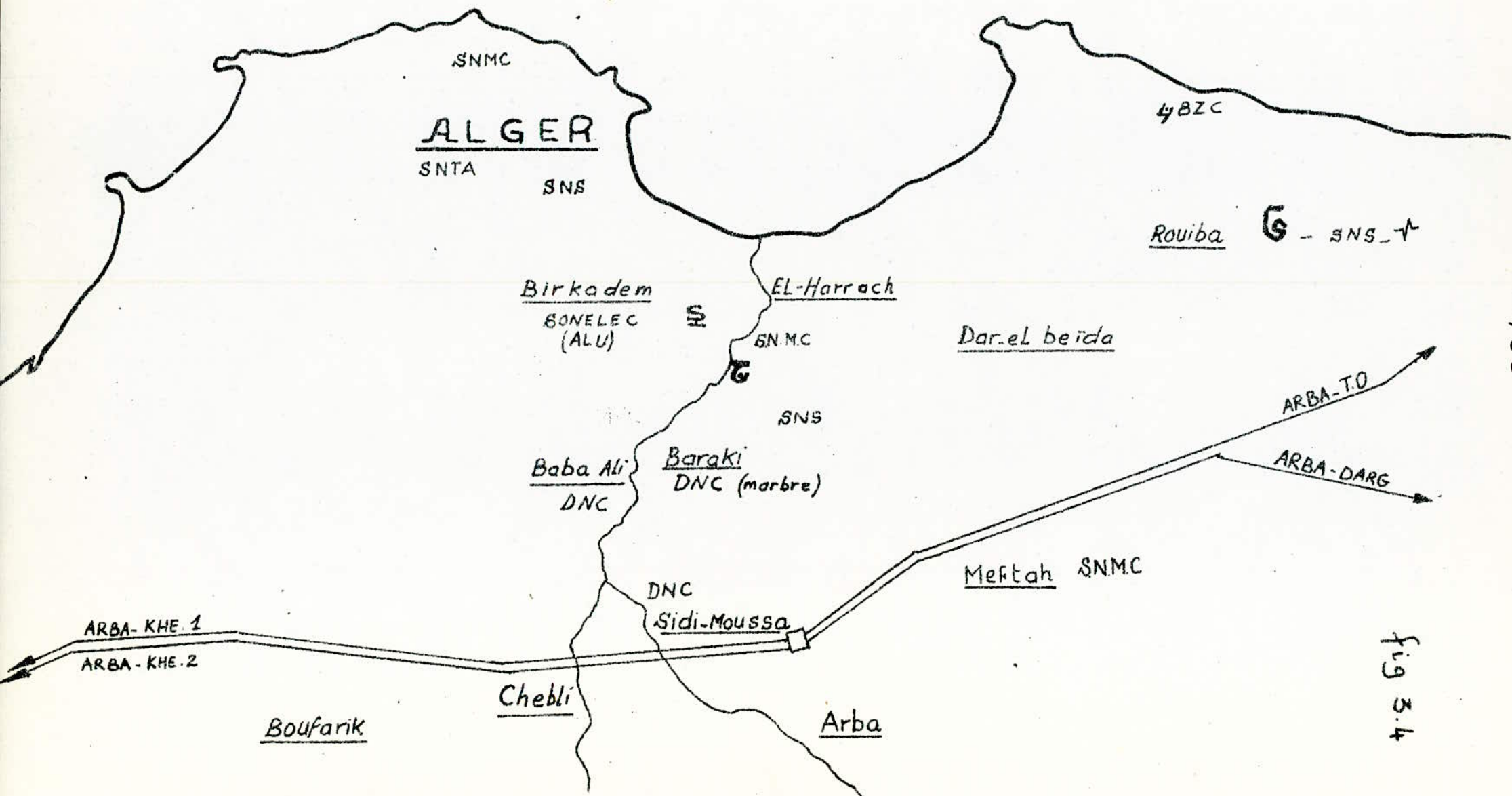


fig 3.4

sont dus à la pollution. D'une façon plus détaillée l'importance de cette pollution est mise en évidence, pour chaque ligne, par le tableau N°1 donnant la répartition du nombre d'incidents en fonction des causes qui les engendrent.

TABLEAU N°1

Lignes 220KV	Nombre total d'incidents	Incidents dus à l'orage	Incidents dus à la pollution	Incidents indéterminés
ARBA TIZI-OUZOU	38	1	32	5
ARBA DARGUINAH	98	2	80	16
ARBA-KHEMIS 1	97	3	70	14
ARBA-KHEMIS 2	74	11	49	14

TOTAL = 307

TOTAL = 231

rapport = $231/307 = 75,24\%$

Afin de mieux situer l'influence des facteurs climatiques sur l'apparition des incidents, nous allons considérer les répartitions mensuelle et horaire de ces derniers.

III.3.1. Répartition mensuelle : (nombre d'incidents /mois)

TABLEAU N°2

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ligne ARBA DARGUINAH	1978					3	11	4	1	4			
	1979	3		2	2	1		9	5	37			
	1980		4										
Ligne ARBA TIZI-OUZOU	1978		1			2	1	1			2		
	1979	1		1	2	2		7	11				2
	1980				1	1			4	2			

On remarque que les incidents surviennent en grande partie durant la période de Mai à Septembre. Ceci peut s'expliquer par le fait que durant cette période, les pluies n'étaient pas abondantes (15) pour laver suffisamment les isolateurs et un dépôt polluant important s'y est donc accumulé. De plus, à une humidité relative moyenne dépassant généralement 72% s'ajoute une apparition fréquente du brouillard pour cette même période, d'où un plus grand risque de contournement des isolateurs.

III.3.2. Répartition horaire :

Sur la Fig.3.5. sont représentées les répartitions horaires des incidents survenus sur les lignes ARBA - TIZI.OUZOU et ARBA - DARGUINAH. On constate que la majeure partie de ces incidents est répartie entre 0h et 8h. Ceci pourrait s'expliquer par la présence de rosée (15) due aux variations de température entre le jour et la nuit.

Le nombre important d'incidents (voir tableau N°2) survenus durant l'année 1979 semble être justifié par le nombre de jours d'orage relativement plus élevé (60 d'après l'O.N.M.) pour toute la décennie considérée.

III.4. Sources polluantes de notre site :

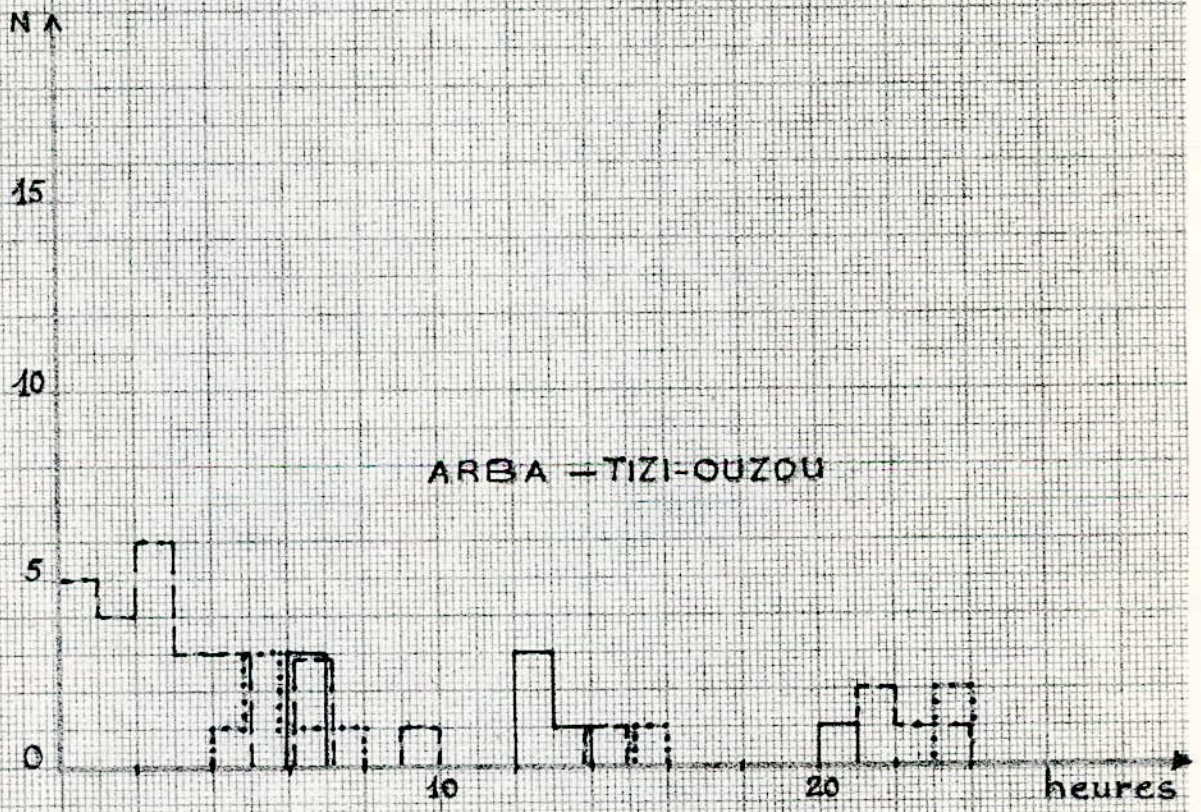
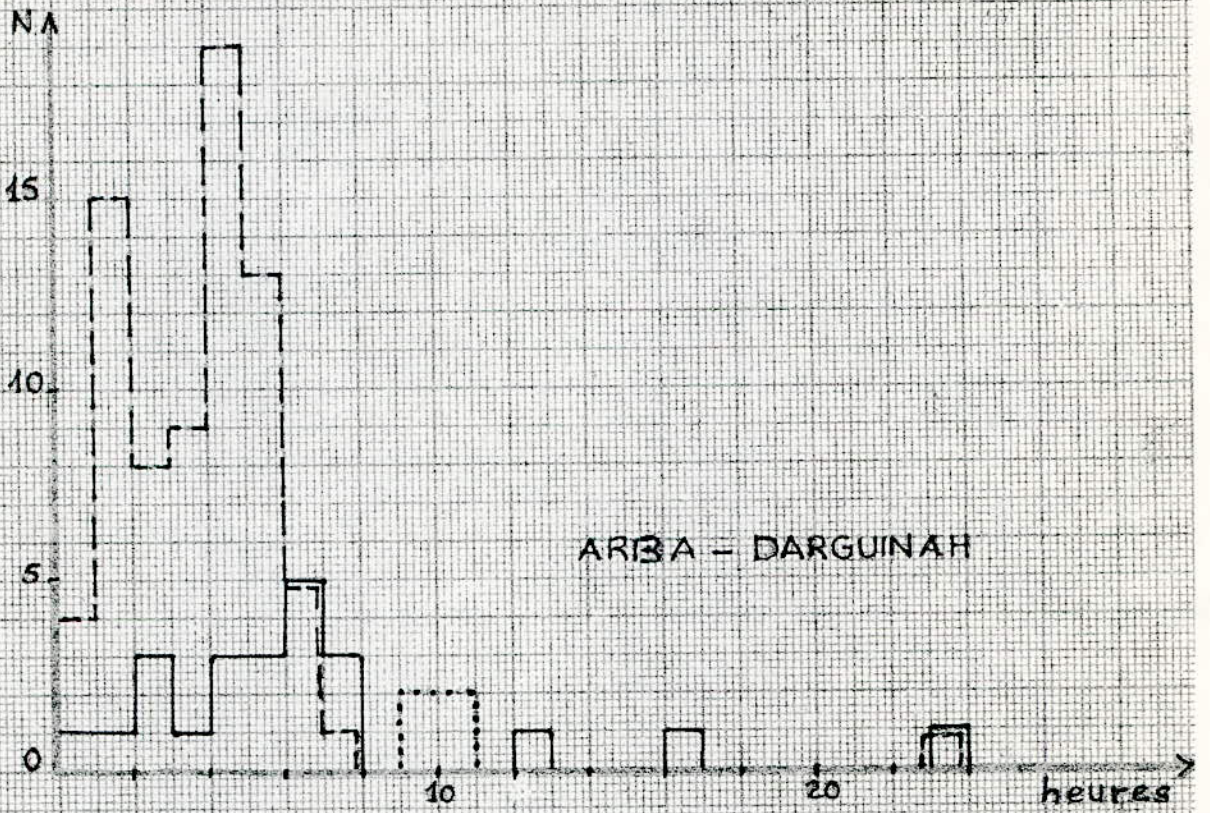
III.4.1. Pollution marine :

Il a été constaté (16) que dans des conditions climatiques très défavorables (vents forts, mer agitée), la pollution marine peut être rencontrée à une distance de 100Km de la côte. Le sel marin est donc un agent polluant à considérer pour notre site, le poste de l'ARBA étant situé à une vingtaine de kilomètres de la côte.

III.4.2. Pollution industrielle :

Elle est caractérisée par une forte industrie répartie comme indiquée sur la figure 3.4.

REPARTITION HORAIRE DES INCIDENTS



— 1978
- - - 1979
... 1980

Fig 3.5

- Pétrochimie : raffinerie d'EL-HARRACH.
 - Chimie : S.N.I.C., ~~S.N.I.C.~~ SONIC, Zone industrielle de Rouiba et d'EL-Harrach
 - Métallurgie : SONACOME, SNS (Fonderies)
 - Carrières de BARAKI et de BABA-ALI.
 - Cimenterie de MEFTAHA
 - Incinérateurs de pneumatiques à EL-Harrach, et d'ordures ménagères à BARAKI.
- Outre cela, les fumées dégagées par les chauffages à mazout (importante densité d'agglomération non desservie par le gaz naturel) et les échappements de véhicules (réseau routier très dense et densité de véhicules importante) ne sont pas à négliger.

III.4.3. Pollution naturelle :

Un environnement naturel constitué d'un relief généralement plat, ne comportant aucune rugosité naturelle, des terrains à vocation essentiellement céréalière ou arboricole favorisent le dépôt de poussières provenant du sol sur les isolateurs.

III.5. Isolateurs utilisés par SONEGGAZ :

Pour l'isolement des lignes haute tension, la SONEGGAZ utilise plusieurs types d'isolateurs. Nous nous limiterons à donner quelques caractéristiques électriques et géométriques de trois types d'isolateurs : N&K (en céramique), F 12R et U 120 AS (en verre), utilisés dans la région de l'ARBA et sur ~~lesquels~~ lesquels porteront nos mesures.

- Caractéristiques géométriques :

Ces trois types d'isolateurs sont représentés sur les figures 3.6, 3.7 et 3.8.

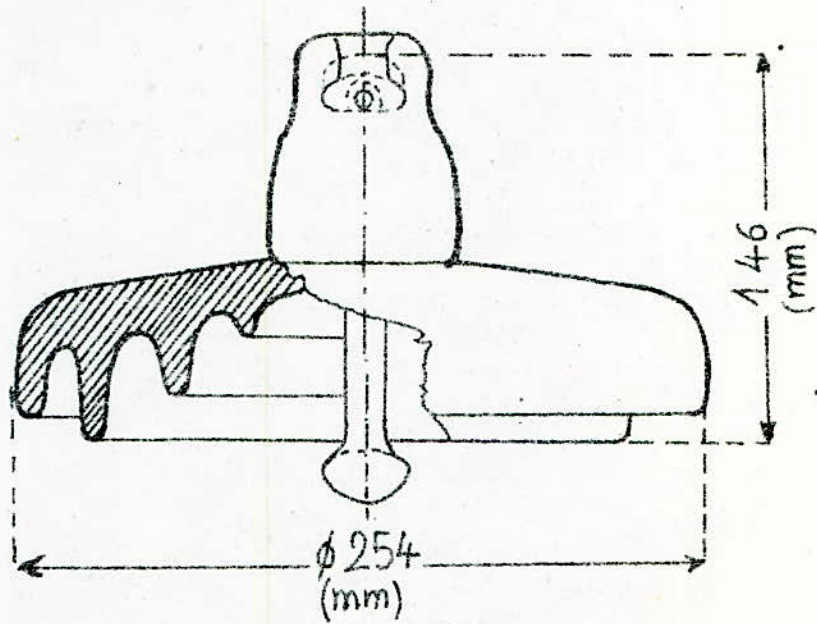


Fig 3.6: Isolateur NGK.

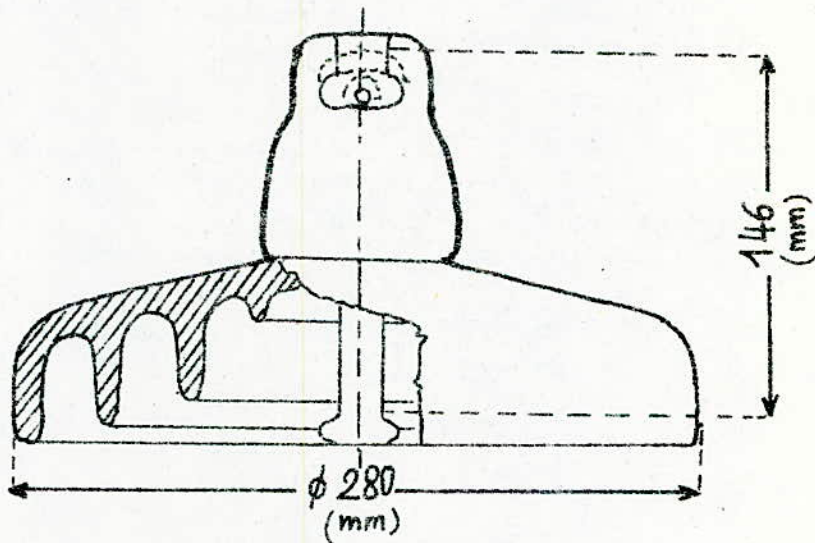


Fig 3.7: Isolateur U120 AS

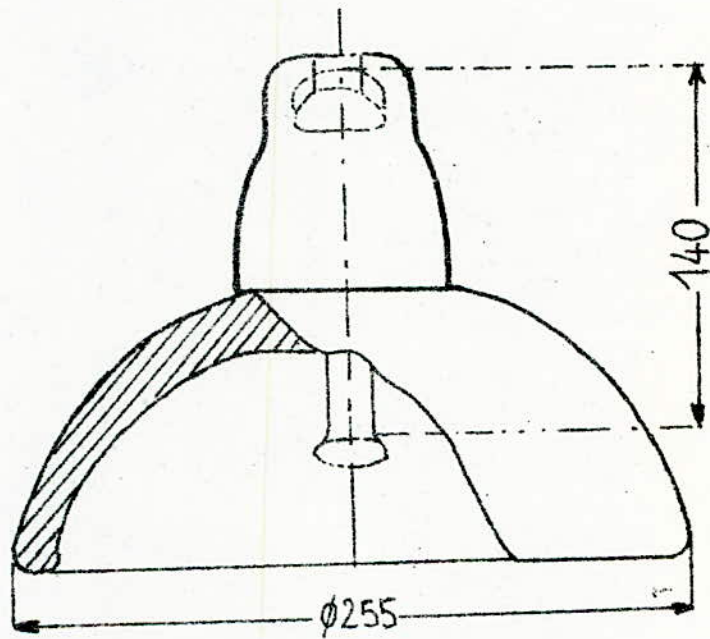


Fig 3.8: Isolateur F.12R

Type d'isolateur	Diamètre (mm)	Pas (mm)	Ligne de fuite (mm)	Nombre d'iso par chaîne (220KV)	Ligne de fuite par KV
NGK	254	146	432	10	1,96 cm/KV
U 120 AS	280	146	430	10	1,95 cm/KV
F 12 R	255	140	292	12	1,59 cm/KV

- Caractéristiques électriques :

	NGK	U120AS	F 12 R
- Tension de contournement à sec (KV)	-	80	-
- Tension de contournement sous pluie (KV).....	45	50	-
- Tension de tenue (1mm) à fréquence industrielle à sec (KV)	-	75	45
- Tension de tenue (1mm) à fréquence industrielle sous pluie (KV)	-	40	-
- Tension 50% de contournement au choc (KV).....	125	105	120
- Tension minimale de perforation (KV)	130	-	130

Ces caractéristiques sont données par les constructeurs.

III.6. Analyses chimiques de l'agent polluant :

La SONEGAS a mis à notre disposition trois chaînes d'isolateurs de types différents. Celles-ci, composées chacune d'éléments à capôt et tige de type soit NGK, soit U 120 AS, soit F 12 R, sont installées pendant deux années environ, sur un même pylone de la ligne ARBA - TIZI.OUZOU. Le but principal de leur installation sur un même pylone est de déterminer lequel de ces trois types d'isolateurs accumule le moins de pollution.

Ces isolateurs pollués ont été lavés avec de l'eau distillée. Un échantillon de la solution recueillie a été transmis au laboratoire de la SONAREM pour des analyses chimiques. Ces dernières serviront à déceler les quantités de sels solubles et la présence d'éléments conducteurs.

III.6.1. Analyses qualitative et quantitative :

L'Analyse du filtrat a donné les résultats suivants :

	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻⁻
Concentration en mg/l	28	6	108,27	2,43	42,60	73,16	207,40	Traces

La concentration du résidu sec est : 362mg/l .

III.6.2. Analyse spectrale :

L'analyse spectrale du résidu a révélé la présence de plusieurs éléments conducteurs tels que : Pb, Cu, Mn, Zn et autres traces.

III.7. Mesure du degré de pollution :

Comme nous l'avons déjà précisé dans le chapitre précédent, le degré de pollution est exprimé en "équivalent sel". Il est donné par le poids de chlorure de sodium qu'il serait nécessaire d'ajouter à une quantité d'eau distillée définie pour avoir la même résistivité que celle donnée par la pollution recueillie sur l'isolateur dans la même quantité d'eau distillée. Cet "équivalent sel" peut être rapporté à la surface unitaire.

III.7.1. Méthode de mesure :

A l'aide d'un pinceau propre on lave l'isolateur pollué avec 200cm³ d'eau distillée dont la résistivité est au préalable vérifiée. La solution recueillie dans un récipient convenable est agitée pendant quelques minutes

ensuite on mesure sa résistivité à l'aide d'un pont de KOHLRAUSCH. Celui-ci est muni d'une sonde de conductivité dont l'élément sensible est constitué de deux ~~(e)~~ plaques de platine de surface $5 \times 5 \text{ mm}^2$ et distantes de 5mm. La résistivité mesurée est alors donnée par la relation suivante :

$$\rho = 0,5 \cdot R \cdot 1,51 \quad (\Omega \cdot \text{cm})$$

Le coefficient 1,51 tient compte de la surface exacte, du parallélisme ainsi que de la qualité des contacts liquide-plaques.

R (Ω) est la résistance indiquée par le pont.

Connâissant la valeur de la résistivité, "l'équivalent sel" est obtenu à partir des courbes a, b et c de la Fig.3.9.

III.7.2. Résultats des mesures :

Dans le but de savoir si la position de chaque élément dans la chaîne peut influencer leur degré de pollution, nous avons effectué des mesures sur les isolateurs central et extrêmes de chaque chaîne. Les résultats obtenus sont les suivants :

- Type d'isolateur : U 120 AS.

N° d'Isolateur	Résistance (KV)		Résistivité ($\Omega \cdot \text{cm}$)		Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)		Equivalent sel (mg)	
	S	I	S	I	S	I	S	I
1	5,51	0,188	2755,75	94,375	362,87	10596	34	1340
5	6,95	0,506	3473	252,925	287,93	3953,74	25	420
10	9,06	0,468	4530	234,05	22075	4272,5	17,5	452

N.B. :

- Les isolateurs sont numérotés à partir de la borne H.T.
- S et I correspondent respectivement aux surfaces supérieures et inférieure de l'isolateur.
- Des chaînes d'isolateurs ont été prélevées sur le pylone N°107 de la ligne ARBA-TIZI.OUZOU (220KV).

- Type d'isolateur : NGK

N° d'isolateur	Résistance (K Ω)		Résistivité (Ω cm)		Conductivité (μ S/cm)		Equivalent sel (mg)	
	S	I	S	I	S	I	S	I
1	14,8	0,551	7399	275,575	135,15	3628,7	11,5	380
5	13,29	0,604	6644	302	150,5	3311,25	13	348
10	14,2	0,506	7097	252,925	140,925	3953,74	12	420

- Type d'isolateur : F 12 R

N° d'isolateur	Résistance (K Ω)		Résistivité (Ω cm)		Conductivité (μ S/cm)		Equivalent sel (mg)	
	S	I	S	I	S	I	S	I
1	10,1	2,72	5058,5	1359	197,68	735,8	16	76
5	10,72	3,624	5360,5	1812	186,55	551,87	15	52,5
12	16,61	3,322	8305	1661	120,4	602,04	10	56,5

Résistivité d'une solution de $200\text{ cm}^3\text{ NaCl}/\text{H}_2\text{O}$ à 20°C

[$\Omega\cdot\text{cm}$]

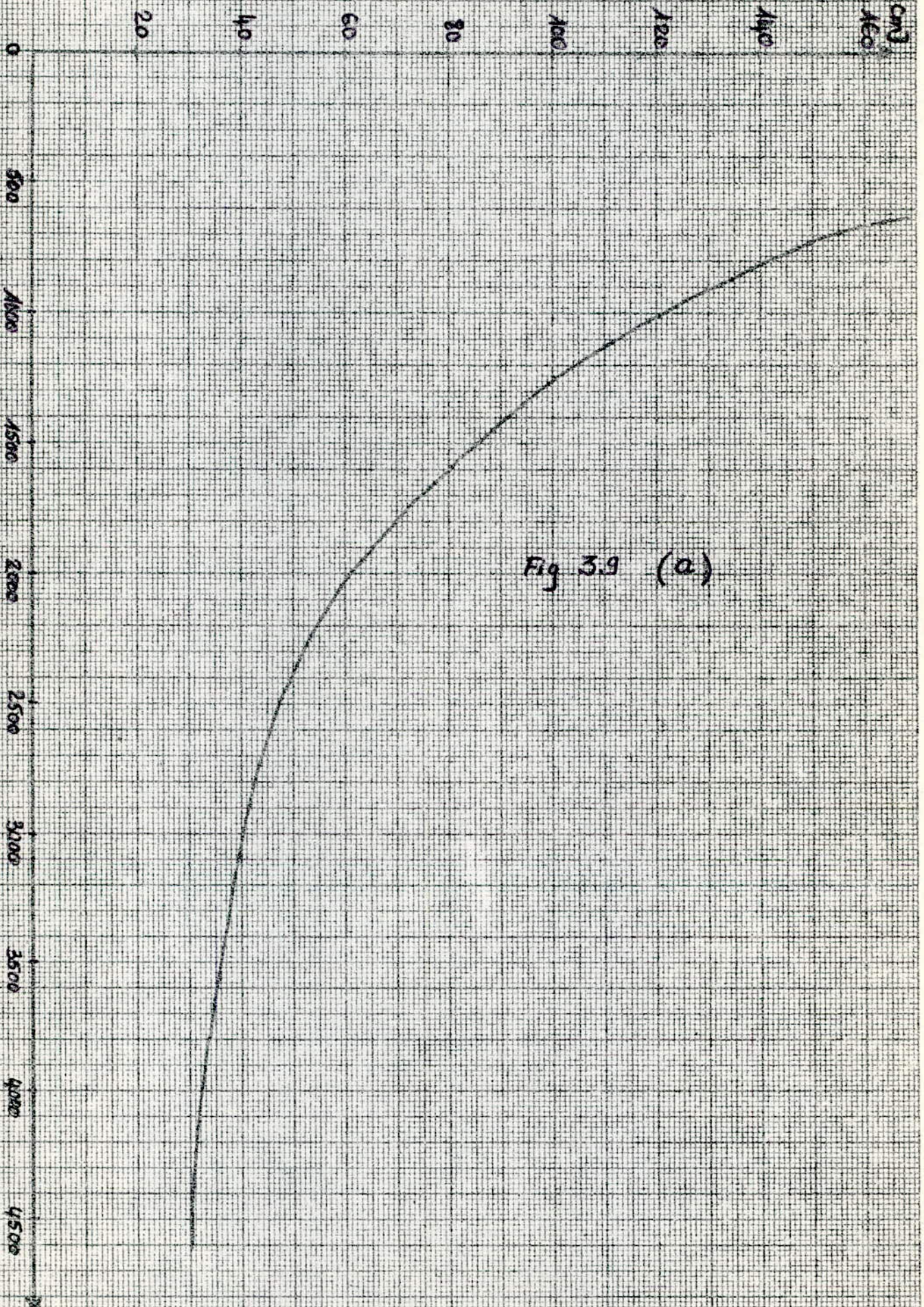


Fig 3.9 (a)

Poids de NaCl en [mg]

Résistivité d'une solution de 200cm^3 NaCl/H₂O à 20°C

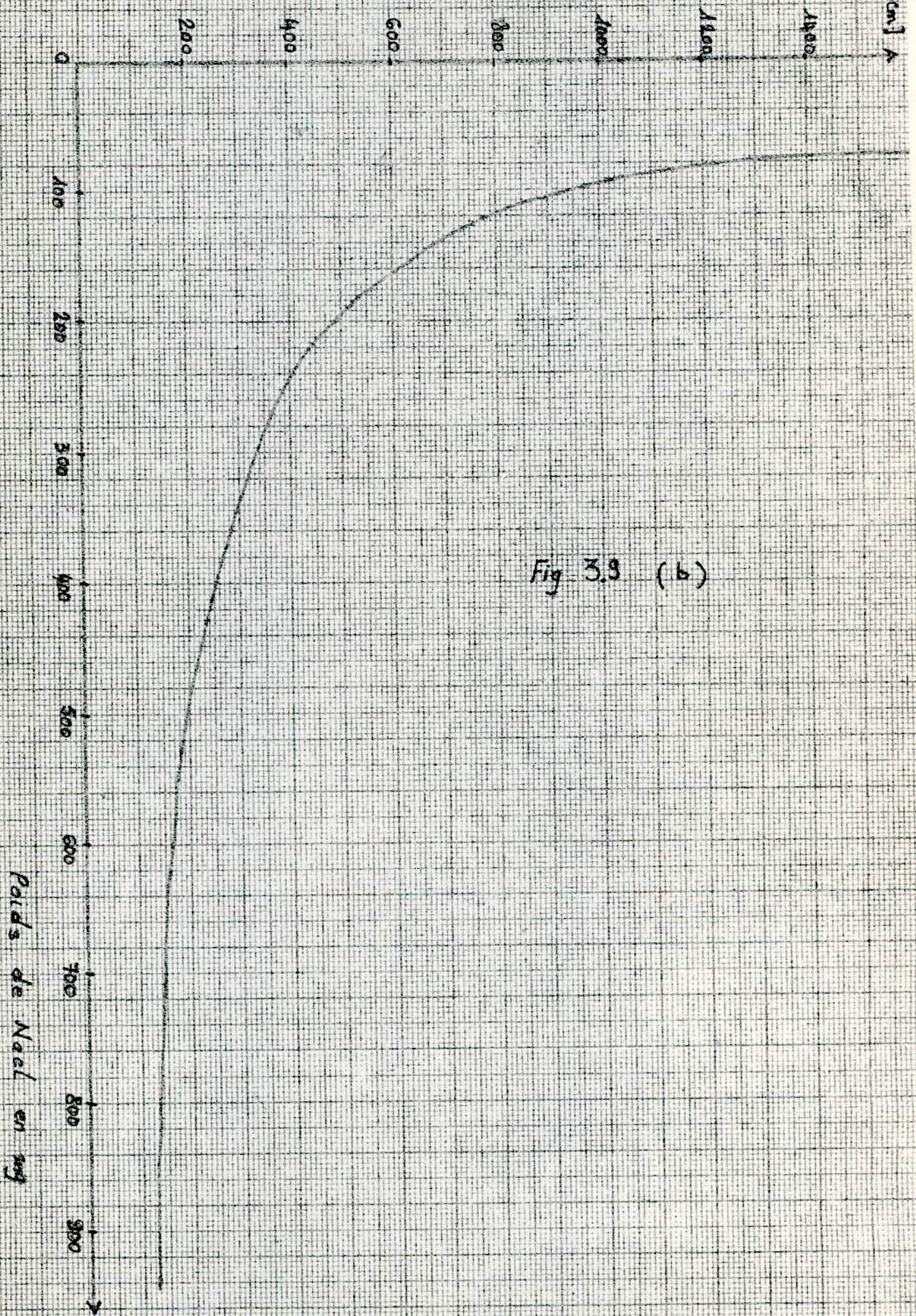


Fig 3.9 (b)

Resistivité ($\Omega \cdot \text{cm}$) d'une solution de $200 \text{ cm}^3 \text{ NaCl/H}_2\text{O}$ à 20°C

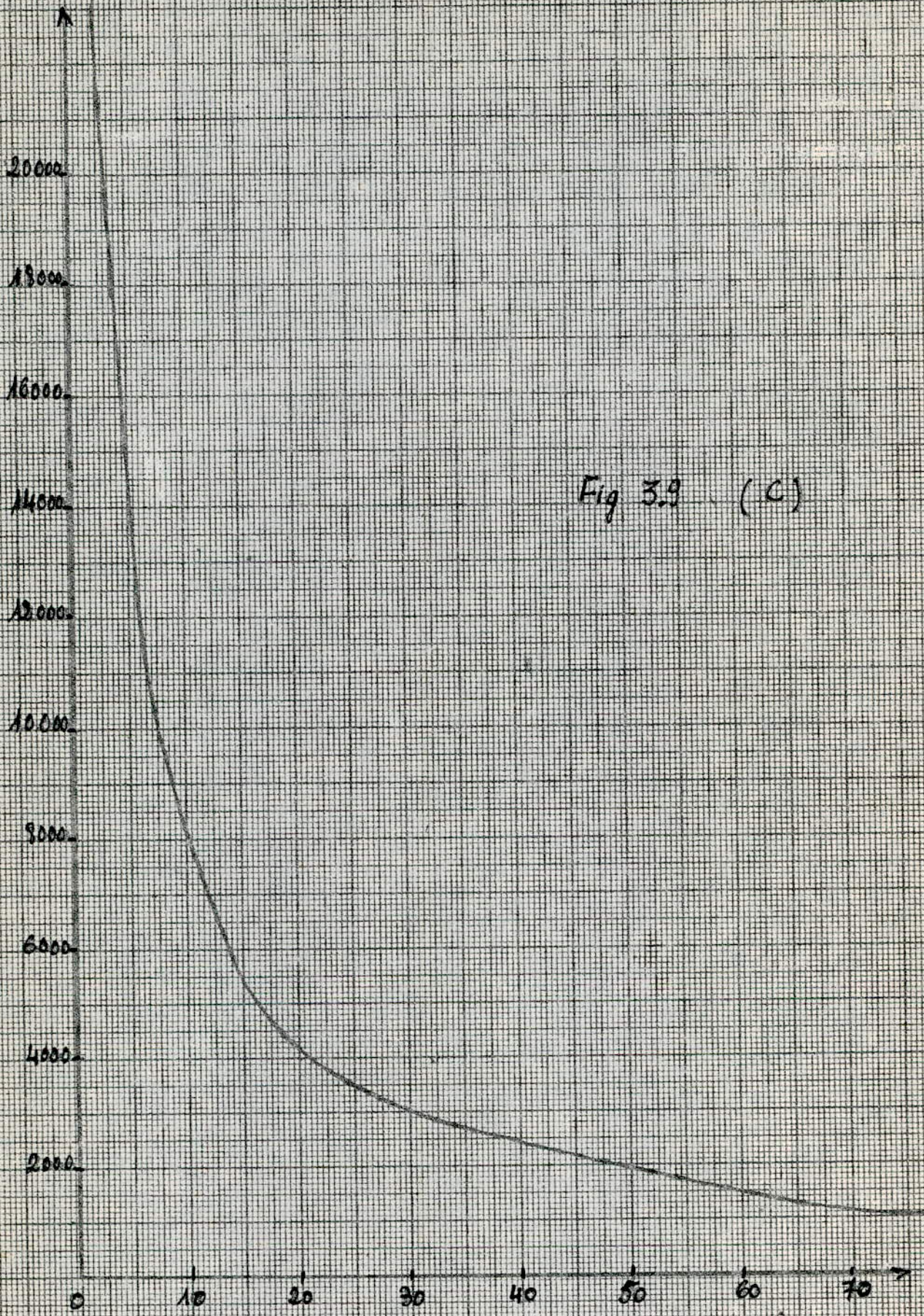


Fig 3.9 (C)

Poids de NaCl en mg

Conclusion :

Les valeurs de conductivité les plus faibles du dépôt polluant sont obtenues pour l'isolateur du type F.12R. On remarque qu'il accumule moins de pollution. Cependant ce type d'isolateur possède une ligne de fuite plus courte.

On remarque aussi qu'on obtient généralement la plus grande conductivité pour l'élément de chaîne le plus proche du conducteur. Ceci peut s'expliquer par l'influence du champ électrique qui est très intense dans cette partie de la chaîne. Il faut aussi signaler que le dépôt polluant est moins important sur les surfaces supérieures des isolateurs, celles-ci étant susceptibles d'être nettoyées par les fortes pluies.

CHAPITRE IV

Essais au laboratoire de l'E.N.P.A

IV.1. Généralités:

Les essais électriques en H.T, sous pollution artificielle, acquièrent à travers le monde une signification croissante pour le dimensionnement de l'isolation des installations extérieures. L'essai de pollution doit satisfaire aux exigences de reproductibilité et de validité des résultats.

La reproductibilité sera établie si l'on montre que les résultats obtenus dans différents laboratoires sont étroitement semblables. La validité des résultats sera prouvée si l'on montre que les résultats d'essais correspondent aux performances des isolateurs sous pollution naturelle et concordent avec l'expérience de l'exploitation.

Contrairement aux laboratoires modernes de H.T, celui de l'E.N.P.A est dépourvu de dispositifs permettant la reproduction des conditions de pollution artificielle (brouillard, pluie artificielle, poussières...). Il ne nous permet que d'effectuer des essais sur des isolateurs ayant été déjà mis en exploitation dans des conditions de pollution.

IV.2. Description du laboratoire:

L'équipement du laboratoire comporte deux stations d'essais :

- l'une aux ondes de chocs équipée d'un générateur de choc d'ondes de foudre 1,2/50 us ayant 6 étages, 600 kV, 400kJ.
- L'autre à fréquence industrielle pourvue d'un transformateur 300 kV, 50 Hz, 50 kVA.

Nous nous limiterons, dans cette description, particulièrement à la station d'essais à fréquence industrielle où nos essais seront effectués.

* Equipement de la station d'essais à fréquence industrielle :

Celle-ci a pour rôle principale de réaliser des essais diélectriques à fréquence industrielle sur le matériel à haute tension . Elle comprend les principaux organes suivants : un transformateur de réglage , un transformateur d'essais , un diviseur capacitif de tension , un pupitre de commande et les accessoires de mesure et de protection .

IV.2.1. Transformateur d'essais (50 Hz):

Il est du type monophasé et a pour caractéristiques:

- rapport de transformation : 500 V/ 300 000V ,
- puissance apparente nominale : 50 kVA ,
- puissance absorbée à vide : 10 kVA ,
- résistance de l'enroulement B.T 0,0365 Ω ,
- résistance de l'enroulement H.T 4893 Ω .

Vue l'importance des pertes à vide du transformateur , le constructeur recommande de ne pas le laisser fonctionner pendant plus de 12h/jour , même à vide.

IV.2.2. Transformateur de réglage :

Il permet le réglage de la haute tension de sortie du transformateur d'essais de zéro à la pleine tension de façon continue et indépendante de la charge . Le réglage peut se faire , soit manuellement (à l'aide d'un volant) , soit à l'aide d'un moteur dont le fonctionnement est commandé à partir du pupitre . Ses caractéristiques sont :

- tension primaire nominale : 220 V (50 Hz) ;
- tension secondaire réglable de 0 à 500 V ,
- puissance nominale : 50 kVA .

Le temps de parcours du curseur tout le long de l'enroulement secondaire est de 103 s .

IV.2.3. Diviseur capacitif (voltmètre de crête) :

Il est alimenté par la tension secondaire du transformateur d'essais et délivre une tension réduite aux bornes des voltmètres installés dans le pupitre de commande .

Le diviseur capacitif est formé d'une capacité H.T et de 4 capacités B.T dont la combinaison de branchement permet d'obtenir les calibres de mesure de 75 kV , 150 kV et 300kV . (fig. 4.1) .

IV.2.4. Pupitre de commande :

Il est alimenté en 220 V indépendamment du régulateur de tension et du transformateur d'essais . On y trouve les appareils de mesures permettant la lecture des tensions et courants au secondaire du transformateur de réglage, ainsi que des tensions de crête et efficace au secondaire du transformateur d'essais /

* Alimentation générale et dispositif de protection :

L'alimentation du laboratoire se fait à partir d'un tableau général situé dans l'atelier de menuiserie . Le tableau quant à lui est alimenté par un transformateur ayant pour caractéristiques principales :

- puissance nominale : 400 kVA ,
- rapport de transformation : 10 000V / 400 V ,
- fréquence 50 Hz .

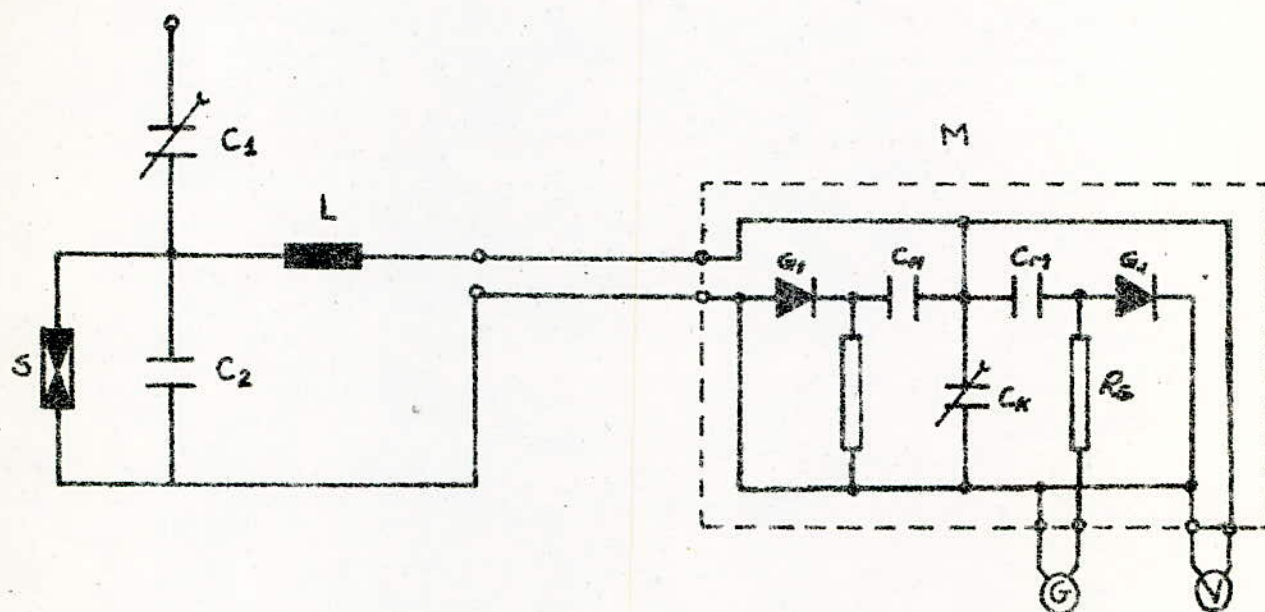
Le transformateur d'essais et son régulateur sont protégés indépendamment par un fusible et un relais thermique (250 A) . Ces protections sont liées avec le circuit de la bobine du contacteur principal , ce qui donne une protection suffisante contre les surcharges du transformateur et les courants de court-circuit .

IV.3. Essais réalisés :

IV.3.1. Circuit d'essais :

Le schéma général du circuit d'essais est donné sur la figure 4.2 .

Fig.4.1 : -VOLTMÈTRE DE CRISTE-



- M : bloc de mesure .
- C_1 et C_2 : condensateurs formant le diviseur capacitif .
- S : fusible en n°en .
- L : self de protection .
- V : voltmètre statique mesurant la valeur efficace .
- G : galvanomètre .

IV.3.2 Modèle d'essai :

Le modèle d'essai est représenté par la fig.4.3 .

Pour les raisons citées au début de ce chapitre, nos essais électriques ont été effectués sur des isolateurs déjà pollués sur site. L'humidification est réalisée à l'aide d'un pulvérisateur manuel.

De plus la tension fournie par le transformateur d'essais étant limitée à 300KV, nous étions contraints de faire les essais sur chaque élément car une chaîne de 220KV nécessiterait une tension d'essai supérieure à 300KV (essais de contournement à sec, état des surfaces propres).

- Humidification de l'isolateur pollué :

L'isolateur pollué est installé en position verticale d'essai comme l'indique la Fig.4.3. Ensuite on l'humidifie avec de l'eau distillée au moyen d'un pulvérisateur manuel à une distance de 50cm autour de l'objet en essai pour éviter la chute de grosses gouttelettes sur celui-ci et sans que le ruissellement ne se produise. En appliquant avec soin cette méthode nous avons obtenu un brouillard très fin et une répartition quasi-uniforme sur la surface de l'isolateur.

IV.3.3. Mesure de la tension de contournement :

On augmente lentement et progressivement la tension en faisant tourner le volant du régulateur de tension à une vitesse constante ($\approx 2KV/s$).

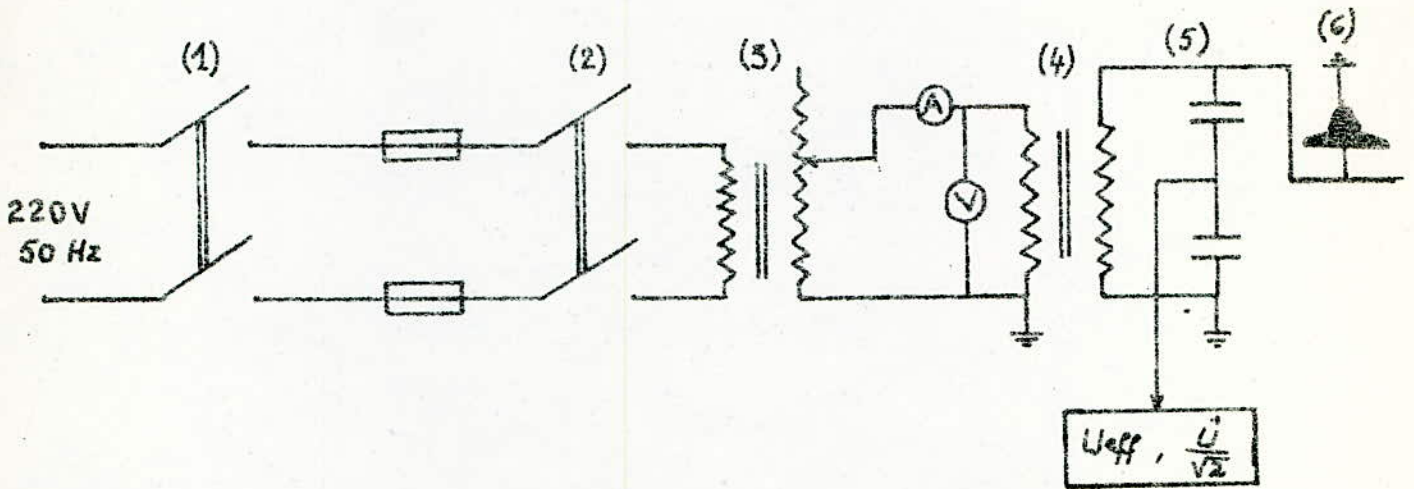
La tension de contournement retenue est la moyenne arithmétique de 4 valeurs mesurées sur le voltmètre de crête.

Après les essais électriques nous avons mesuré la conductivité du dépôt polluant sur toute la surface de chaque isolateur.

Facteurs de correction atmosphériques :

La décharge disruptive d'une isolation externe dépend des conditions atmosphériques régnantes. La tension de contournement d'une surface isolante

Fig.4.2 : -SCHEMA DU CIRCUIT D'ESSAI-



- (1) : interrupteur d'alimentation générale.
- (2) : Disjoncteur avec protection thermique
- (3) : Transformateur de réglage.
- (4) : Transformateur d'essais.
- (5) : Diviseur capacitif.
- (6) : Isolateur en essai

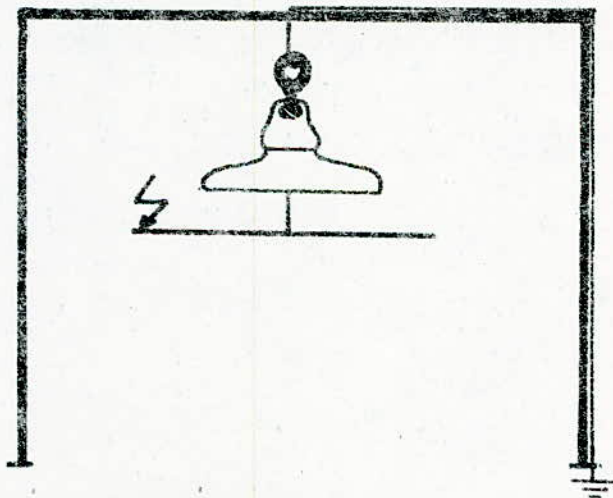


Fig.4.3 : MODELE D'ESSAIS .

est influencée par la densité et l'humidité relative de l'air.

En appliquant les facteurs de correction, une tension de contournement mesurée, peut être convertie à la valeur qui aurait été obtenue sous les conditions atmosphériques normales. Il existe deux facteurs de correction :

- Le facteur de correction de densité de l'air : K_d
- Le facteur de correction de l'humidité : K_h .

Les tensions de contournement mesurées sont ramenées aux conditions atmosphériques normales en les divisant par K_d/K_h . (17).

* Atmosphère normale de référence :

- Température : $t_0 = 20^\circ\text{C}$.
- Pression : $p_0 = 1013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 1013 \text{ mbar}$
- Humidité : $h_0 = 11 \text{ g/m}^3$.

Une pression de 1013 mbar correspond à une hauteur barométrique de 760mm Hg à 0°C . Si la hauteur barométrique est $H(\text{mm})$ de mercure et la température est $t(^\circ\text{C})$, la pression atmosphérique en mbar est :

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

* Facteur de correction K_d :

Si la pression atmosphérique "p" est exprimée en mbar et la température t en ($^\circ\text{C}$), le facteur de correction K_d est donné par :

$$K_d = \frac{p}{p_0} \frac{273+t_0}{273+t}$$

* Facteur de correction K_h :

Il est déterminé à partir de la courbe de la Fig.4.4. en fonction de l'humidité absolue qui, elle, est obtenue à partir des courbes de la Fig.4.5, nous aurons donc :

$$U_c (\text{normale}) = U_c (\text{mesurée}) \cdot \frac{K_h}{K_d}$$

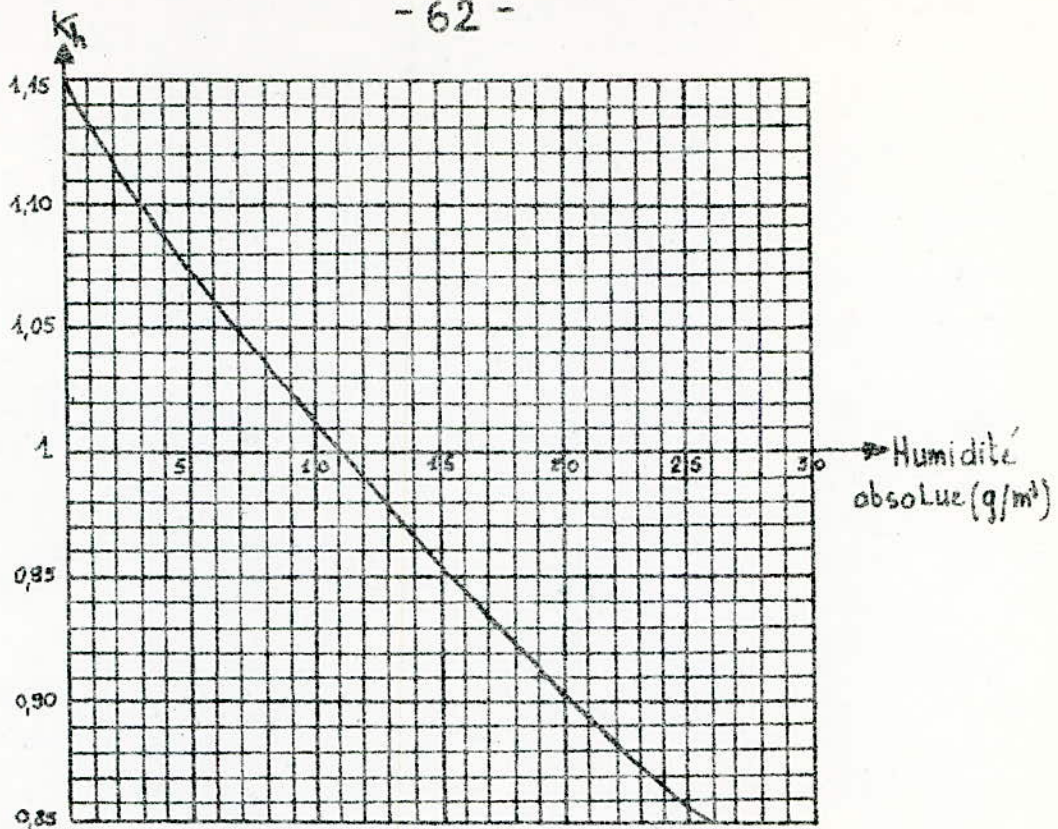


Fig 4.4 Facteur de correction K_h d'humidité en fonction de l'humidité absolue.

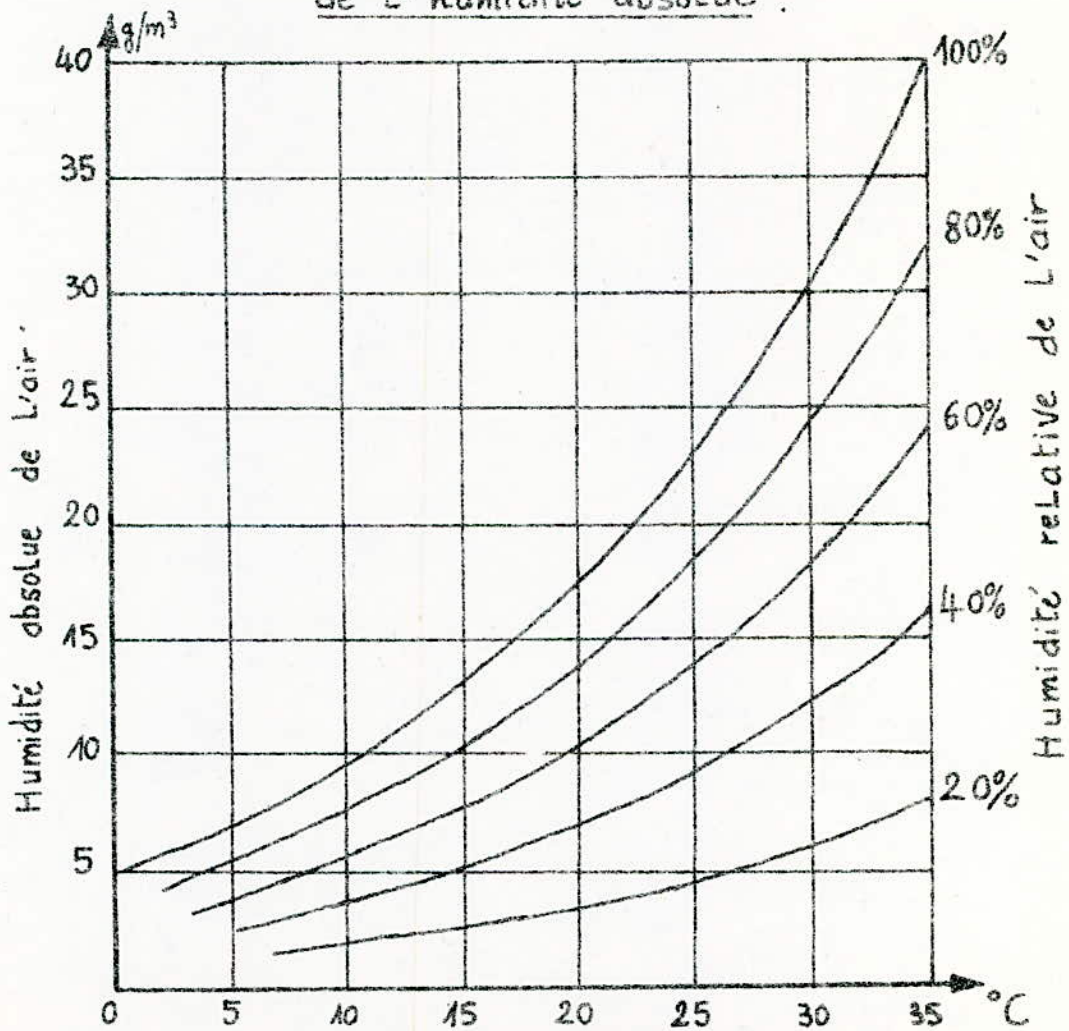


Fig 4.5. Température ambiante.

A l'état humide, la correction par rapport à l'humidité n'est pas nécessaire. On aura alors :

$$U_c = \frac{U_c(\text{mesurée})}{K_d} \quad (18)$$

Les tensions de contournement ont été mesurées dans des conditions atmosphériques différentes? Les valeurs de K_d et de K_h vont donc varier avec les essais.

Donc après correction de toutes les valeurs mesurées, nous présentons les résultats obtenus dans les tableaux ci-dessous :

* Notation utilisées :

$$q_1 = \frac{U_{pr.s} - U_{pr.h}}{U_{pr.s}} \% ; \quad q_2 = \frac{U_{pr.s} - U_{po.h}}{U_{pr.s}} \%$$

$$q_3 = \frac{U_{pr.s} - U_{po.s}}{U_{pr.s}} \% ; \quad q_4 = \frac{U_{pr.h} - U_{po.h}}{U_{pr.h}} \%$$

- $U_{pr.s}$: Tension de contournement de l'isolateur pollué et sec.
- $U_{po.h}$: " " " " " " " " humide.
- $U_{pr.s}$: " " " " " " " propre et sec.
- $U_{pr.h}$: " " " " " " " " humide.
- γ : Conductivité de la couche polluante.

Tensions de contournements à l'état propre :

Les isolateurs sont nettoyés avec précaution en utilisant de l'eau de robinet mélangée à du phosphate trisodique (Na_3PO_3) et rincé à l'eau de robinet encore, comme recommandée par les normes de la C.E.I. (17).

Chaque type d'isolateur propre est ensuite mis sous tension jusqu'au contournement.

type d'isolateur	U _{pr.s} (KV)	U _{pr.h} (KV)	q ₁ (%)
U 120 AS	76,25	48	37,05
NGK	87,5	46,5	46,85
F 12 R	68	50,3	26,03

Tensions de contournement des isolateurs peints :

- chafas d'isolateurs du type U 120 AS.

.Conditions atmosphériques : t=25°C ; H=42,75% ; p=751mm Hg .

.Facteurs de correction : K_d = 0,967 ; K_h = 0,99 .

N° d'iso	γ (μs/cm)	U _{po.s} (KV)	U _{po.h} (KV)	q ₂ (%)	q ₃ (%)	q ₄ (%)
1	-	-	-	-	-	-
2	5370,4	75	22,2	70,8	1,6	53,75
3	5333,3	77,64	23,6	69,5	1,8	50,8
4	6349,2	73,45	20,6	72,9	3,6	57,1
5	-	-	-	-	-	-
6	7142,85	65,68	18,6	75,6	1,4	61,25
7	5714,3	76,3	22,5	70,5	0,06	53,13
8	6451,6	73	21	72,5	4,62	56,25
9	6250	74,2	20	73,7	2,68	58,3
10	-	-	-	-	-	-

-Châssis d'isolateurs du type NGK .

.Conditions atmosphériques: $t=25^{\circ}\text{C}$; $H=42,75\%$; $p=751\text{mm Hg}$.

.Facteurs de correction : $K_g=0,967$; $K_H=0,99$.

N° d'iso	δ ($\mu\text{s/cm}$)	$U_{po.s}$ (KV)	$U_{po.h}$ (KV)	q_2 (%)	q_3 (%)	q_4 (%)
1	-	-	-	-	-	-
2	3539,8	79	30,2	65,5	3,7	35,05
3	3412,9	82,5	33	62,3	5,7	29
4	3396,16	84	34,8	60,2	4	25,16
5	-	-	-	-	-	-
6	3230,5	83	34,47	60,6	5,1	25,8
7	3153,5	81,62	32,05	63,37	6,7	31
8	32395	85,39	35,57	59,35	1,7	23,5
9	3010,2	86,74	35	60	0,86	24,7
10	-	-	-	-	-	-

- Chaîne d'isolateurs du type F 12 R:

: Conditions atmosphériques: $t=19^{\circ}\text{C}$; $H=60\%$; $p=753\text{ mm Hg}$.

: Facteurs de correction: $K_d=0,99$; $K_H=1,025$.

N° d'iso	γ ($\mu\text{s/cm}$)	$U_{po.s}$ (KV)	$U_{po.h}$ (KV)	q_2 (%)	q_3 (%)	q_4 (%)
1	-	-	-	-	-	-
2	760,25	60,3	25,1	63,9	11,3	50,1
3	753,1	61,8	27	61,2	9,1	46,3
4	721,8	62,	27,2	60,9	8,8	45,9
5	-	-	-	-	-	-
6	662,25	62,6	27,7	60,2	7,3	44,9
7	490,55	66,14	29,8	57,2	2,7	40,75
8	627,8	67,79	28,3	53,4	0,3	43,77
9	779,1	61,24	26,5	61,9	9,9	47,3
10	662,25	63,75	25,8	62,9	6,25	48,7
11	735,8	60,75	25	64	10,6	50,3
12	-	-	-	-	-	-

- Tableau récapitulatif:

	γ_{moy} ($\mu\text{s/cm}$)	$U_{pr.s}$ (KV)	$U_{pr.h}$ (KV)	$(U_{po.s})_{\text{moy}}$ (KV)	$(U_{po.h})_{\text{moy}}$ (KV)	q_1 (%)	$(q_2)_{\text{moy}}$ (%)	q_3 (%)	$(q_4)_{\text{moy}}$ (%)
U120AS	5361	76,3	48	73,6	21,2	37	72,2	0 ÷ 4,6	55,8
NGK	3282	87,5	46,5	83,3	33,6	46,9	61,6	0,86 ÷ 9,7	27,7
F12R	688	68	50,3	62,9	26,9	26	61,3	0,3 ÷ 11,3	46,5

Les valeurs moyennes de la conductivité δ montrent que l'isolateur de type F.12R accumule moins de pollution que les deux autres types. En effet sa forme en cloche et l'absence de nervures à sa partie inférieure lui confèrent de bonnes propriétés d'auto-nettoyage. Cependant sa ligne de fuite plus courte présente l'inconvénient d'utiliser des chaînes plus longues.

Pour l'état sec et pollué, on remarque que les trois types d'isolateurs, en particulier le U.120AS (q_3 très faible), regardent approximativement les mêmes performances qu'ils ont à l'état propre et sec. Par contre en présence d'humidité, les isolateurs NGK et F.12R pollués paraissent mieux efficaces (q_4 faible). De plus dans cette situation, la plus critique, c'est le NGK qui a la tension de contournement la plus élevée. Ce dernier présente donc deux propriétés importantes:

- moins polluable que le U.120AS,
- une plus grande tension de contournement dans les conditions les plus défavorables (pollution et humidité).

--- CONCLUSION ---

La fiabilité des lignes aériennes dont dépend en grande partie la qualité du service est intimement liée à celle des isolateurs. Il est donc essentiel de choisir les isolateurs avec discernement afin qu'ils puissent assurer un service sans défaillance pendant de nombreuses années. Pour faire un tel choix, des essais sur site et ~~laboratoire~~ au laboratoire sont nécessaires.

Dans le cadre de notre étude, les essais effectués au laboratoire de l'E.N.P.A, sur des isolateurs pollués, nous ont permis de mettre en évidence l'influence de la pollution sur le comportement des isolateurs de H.T et de faire un premier choix entre les trois types d'isolateurs qui nous ont été fournis par la SONELGAZ.

Bien que nos essais soient limités à une seule chaîne d'isolateurs de chaque type, les résultats obtenus nous permettent d'attirer l'attention des exploitants des réseaux électriques sur les bonnes performances que pourrait présenter l'isolateur en céramique NGK dans la région NORD-EST de l'ARBA (ligne 220 kV ARBA- TIZI,OUZOU).

Des essais du même type, mais sur un nombre plus important de chaînes permettraient de confirmer nos résultats.

Avec des essais sur site et un laboratoire mieux équipé, cette étude aurait été plus complète. A cet effet, nous proposons:

- D'équiper le laboratoire de H.T de l'E.N.P.A de dispositifs permettant la création de pollution artificielle et les mesures de courant de fuite et de conductivité superficielle.
- D'isoler le laboratoire des poussières de la menuiserie et l'aménager de manière à obtenir l'obscurité permettant de mieux observer les phénomènes de décharges.
- D'installer un nombre suffisant de stations sur site pour des essais sous

pollution naturelle.

-Etablir une carte de la pollution pour l'ensemble du territoire afin de bien choisir à l'avance le type d'isolateur pour chaque site/

- BIBLIOGRAPHIE -

- (
- (1)-- Techniques de l'ingénieur : " Matériaux isolants solides. Leur application à l'isolation des matériels électriques. "
 - (2)-- TOEPLER.M "Über die physikalischen grundgesetze der in der isolatoren-technik auftretenden elektrischen gleiterscheinungen arch für electrotechnik"(1921 vol 10 page 157-185).
 - (3)-- KUHLMANN-K "Hochspannungsisolatoren arch für electrotechnik"(1921.vol 3 page 203).
 - (4)-- E.GILLON. "cours d'électrotechnique" (tome 1).
 - (5)-- P.CLAVERIE et V.PORCHERON "Les phénomènes de pollution des isolateurs et l'isolement des ouvrages en regions polluées." (R.G.E- t.82 n°3 mars 1973).
 - (6)-- P.O.GESZTI;P.IGNACZ;P.RONKAY." Experiences concernant la détérioration de l'isolation due à la pollution atmosphérique " (C.I.G.R.E 1960, rapport 204).
 - (7)-- A.CIMADOR et M.COJAN " Méthode de dimensionnement des isolateurs de lignes aériennes en regions polluées ".(C.I.G.R.E 1978 rapport 33-04).
 - (8)-- W.HEISE et autres ." Estimation de la méthode d'essais sous pollution artificielle par couche solide ".(C.I.G.R.E 1972 rapport 33-09).
 - (9)-- LAMBETH.P.J et LOOMS. J.S.T. "The salt fog test and its use in insulator selection. " (I.E.E vol 92 n°6 nov-dec 1973)
 - (10)--C.E.I publication 507 - (1975)-
 - (11)--M.P. VERMA, H.NIKLASCH et autres ."Critères de contournement par pollution et ses applications pour le dimensionnement et le controle de l'isolation,"(C.I.G.R.E 1978 rapport n°33-09)
 - (12)-- L.L. ALSTON et S.ZOLEDZIOWSKI. " Growth of discharges on polluted insulation ".(I.E.E vol 110 n°7 july 1963).
 - (13)-- K.KUCHARSKI. " Metody pomiaru przewodnosci powierzchniowej izolatorow zabrudzonych."(Energetyka n°3,1975).

- (14)- K.KUCHARSKI et K.ZAROD. "Ocena nowych konstrukcji liniowych izolatorow dlugopniowych." (1975).
- (15)- O.N.M " Statistiques climatologiques de 1971 à 1980 ." (Station météorologique de DAR-EL-BEIDA).
- (16)- C.I.G.R.E tome n°2 rapport 33-10.¶ 1972).
- (17)- C.E.I publication 60.1 " Techniques des essais à haute tension: définitions et prescriptions générales relatives aux essais."
- (18)- C.E.I publication 383 " Essais des isolateurs en matière céramique ou en verre destinés aux lignes aériennes de tension nominale supérieure à 1000 V."

