

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ESSAIS SUR SITE ET AU
LABORATOIRE D'ISOLATEURS
CONTAMINES PAR LA POLLUTION
INDUSTRIELLE AU BORD
DE LA MER

Proposé par :

A. BOUBAKEUR

Dr Es. Sciences

Techniques

Etudié par :

Z. DJEMAI

F BENNAI

Dirigé par :

A. BOUBAKEUR

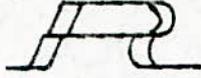
A. MEKHALDI

PROMOTION : JUIN 1986

Tafat tsutur itij
Itij neŧ d asirem
Ad ineqer itfeğiğ
Ar d izdeŧ akw ullahen

L'aura recherche un soleil ...
Notre soleil au nom d'espoir
Qui crévera les cieux et brillera
Et
Viendra habiter tous les coeurs ;;

(Traduction libre d'un poème
anonyme)



E M E R C I E M E N T

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Nous tenons à exprimer ici , notre profonde reconnaissance a Mr Ahmed B O U B A K E U R pour tous les conseils utiles qu'il n'a cessé de nous prodiguer et tout le temps qu'il nous a consacré pour l'elaboration de ce projet .

Nos remerciements vont aussi a Mr A. MEKHALDI pour sa disponibilité et son aide désintéressée .

Que les responsables et agents de la SONELGAZ , le responsable du laboratoire de pédologie de l'INA , les responsables du laboratoire de chimie de la SONAREM - BOUMERDES ainsi que ceux de l'ONM / Oran trouvent dans ce préambule notre sincère gratitude pour leur appréciable assistance .

Nous tenons également à remercier messieurs les membres du jury pour avoir bien voulu examiner notre modeste travail .

Que tous ceux qui , de près ou de loin , ont contribué à notre formation veuillent bien accepter ici l'expression de notre profonde gratitude .

_____ oooooo _____

 E D I C A C E S

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

A la mémoire de ma grand-mère

A ma mère , à mon père

A mes frères et sœurs

A tous mes amis

A tous ceux qui luttent et perséverent dans leur action .

Je dédie ce travail .

ZAHIR

A ma grand-mère

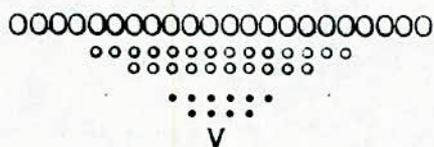
A ma mère , à mon père

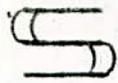
A mes frères et sœurs

A tous mes amis

Je dédie ce modeste travail

FATSAH





INTRODUCTION	
<u>CHAPITRE</u> 1. ESSAIS SUR LES ISOLATEURS POLLUES	
1.1 Pollution	
1.2 Contournement	
1.3 Méthodes d'essais	
1.4 Stations d'essais	
<u>CHAPITRE</u> 2. REGION D'ARZEW	
2.1 Identification de la région d' Arzew	
2.2 Etude climatologique	
2.3 Isolateurs en tension utilisés dans cette région ...	
2.4 Statistiques de contournement des isolateurs	
<u>CHAPITRE</u> 3. ESSAIS SUR SITE	
3.1 Caracteristiques de la station d'essais	
3.2 Méthode de mesure	
3.3 Isolateurs en essai	
3.4 Couches polluantes	
3.5 Analyse des résultats	
3.6 Choix des isolateurs	
3.7 Critique de la station de Marsat-El-Hadjadj	
3.8 Utilité économique des essais sur site	
<u>CHAPITRE</u> 4. ESSAIS AU LABORATOIRE	
4.1 Essais réalisés à l'université des sciences et de la technologie d'Oran (U.S.T.O)	
4.2 Essais réalisés à l'Ecole Nationale Polytechnique (ENP	
4.3 Interprétation des résultats	
<u>CONCLUSION</u>	
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	

I N T R O D U C T I O N

Parmi les problèmes surgissant dans l'exploitation des lignes de Haute Tension , celui de la pollution semble le plus crucial d'autant plus que la pollution croît avec le développement industriel . Pour parer à cette situation , plusieurs études ont été consacrées dans différents pays . En général , les recherches sont orientées vers deux méthodes , l'une au laboratoire simulant les conditions atmosphériques même les plus sévères et l'autre directement sur site .

En Algérie , nous connaissons 3 laboratoires dans la région d'Alger /20/, pour des essais de haute tension : E.N.P ; SONELEC (cablerie du Gué) et SONELGAZ (poste THT de Arba) ; Mais malheureusement aucun de ces laboratoires ne dispose des équipements nécessaires aux essais de pollution , cependant les contournements des isolateurs H.T ne diminuent pas pour autant ; C'est ainsi que ces dernières années , le service d'exploitation de la région Ouest a rencontré d'énormes problèmes et à titre d'exemple , ce dernier a enregistré plus de 400 incidents (dûs à la pollution et autres) pendant la période sèche de l'année 1984 allant de Juin à Septembre . C'est à partir de ce moment que la SONELGAZ s'est véritablement penchée sur ce problème en installant une station d'essai au poste THT de Marset-El-Hadjadj .

Pour ce fait , nous avons effectué un stage dans ce poste du 03- 3 86 au 10 - 4 - 86 .

Quatre chapitres font les principaux objets de ce projet , le premier traite d'une étude monographique sur les **isolateurs** pollués ; le deuxième chapitre présente la région d'Arzew et ses principaux paramètres , alors que le troisième concerne les essais sur site en l'occurrence Marset-El-Hadjadj ; par contre le dernier chapitre traite des essais aux laboratoires , essentiellement ceux effectués à l'ENP. Et enfin une conclusion vient cloturer ce travail .

CHAPITRE I

ESSAIS SUR LES ISOLATEURS

POLLUES

I - POLLUTION

C'est l'une des contraintes les plus importantes desquelles il faut tenir compte dans l'exploitation des lignes à haute tension.

En effet, la pollution qui recouvre les surfaces isolantes diminue considérablement la tension de tenue des isolateurs.

Elle peut être naturelle ou industrielle:

La première provient des dépôts de sel marin, de poussières du sol, de sables véhiculés par le vent, etc ...

La seconde provient des fumées évacuées par des usines industrielles.

Sévérité de pollution d'un site :

La sévérité de pollution d'un site donné peut être estimée en mesurant la résistivité moyenne de la couche superficielle polluante recouvrant les isolateurs exposés dans ce site.

Cette méthode étant difficile à réaliser en pratique, deux autres méthodes sont usuellement utilisées :

La première consiste à caractériser la sévérité de pollution d'un site par référence à l'essai sous brouillard salin équivalent. La sévérité de la pollution est exprimée en terme de salinité.

La seconde consiste à nettoyer la surface d'un isolateur pollué à l'aide d'un coton pur imbibé d'eau distillée /1/. La conductivité de la solution contaminée par le coton permet par des mesures d'obtenir la quantité équivalente de sel. La salinité équivalente au degré de pollution est considérée comme la base de référence pour le classement des sites pollués.

Parmi les classements des sites pollués, on peut citer le classement utilisé en France (U T E C 10-1000) et celui utilisé en Pologne (Norme PN-68/E-06303) /2/.

Ainsi , chaque site ou région se caractérise par une certaine sévérité de pollution .

2. CONTOURNEMENT SOUS POLLUTION

Les isolateurs qui ont fait l'objet de nos essais se trouvent dans une région industrielle et en bord de mer , nous avons pour ceci à examiner deux cas d'incidents engendrant le contournement .

2.1 Contournement sous pollution marine

Dans les lignes ou postes installés en bord de mer , les embruns portés par le vent déposent progressivement /1/ sur les isolateurs une couche de sel qui , à plus longue échéance recouvre toute la surface de l'isolateur y compris les parties les mieux protégées . Cette couche humidifiée par les embruns eux mêmes ou , après séchage , par un brouillard , pluie ou par la rosée devient conductrice . Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle , cela provoque des assèchements locaux de la couche polluante et l'apparition de petits arcs . Dans certains cas , la conductivité de la couche polluante est telle que ces arcs se développent jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur et la mise hors service de l'installation .

2.2 Contournement sous pollution industrielle

Placés dans une région à forte densité industrielle , les surfaces des isolateurs se recouvrent de poussières faiblement conductrices . La dissolution des sels par une forte humidité , brouillard , pluie , condensation matinale ... provoque la formation d'une couche électrolytique /3/. Ainsi un courant de fuite s'établit dans cette couche , pouvant provoquer par conséquent un contournement .

Donc , quelque soit la source de pollution , on observera la formation d'une couche électrolytique due à l'humidification d'un dépôt solide accumulé progressivement sur la surface de l'isolateur .

3. METHODES D'ESSAIS

Comme il a été montré au paragraphe 2 , la formation d'une couche polluante provoque presque souvent un contournement , c'est donc pour parer à ce problème que de nombreuses investigations ont été faites .

Des plus importantes méthodes d'essais recommandées par la C.E.I. actuellement utilisées , sont adoptées celles qui consistent à essayer des isolateurs naturellement pollués sur site , et celles qui consistent à simuler artificiellement la pollution au laboratoire .

3.1 Essais sous pollution naturelle

3.1.1 Essais basés sur le courant de fuite:

Le fait de pouvoir utiliser le courant de fuite comme critère caractérisant le degré de pollution ainsi que comme annonciateur d'un risque imminent pour l'isolateur , provient principalement de la corrélation existant entre ce courant et la tension de contournement sous pollution /4/ . Néanmoins la valeur critique de ce courant mesuré sous la tension de contournement ne dépend pas uniquement de la sévérité de pollution de l'isolateur , mais aussi de la forme de celui-ci et de la tension appliquée /4/ .

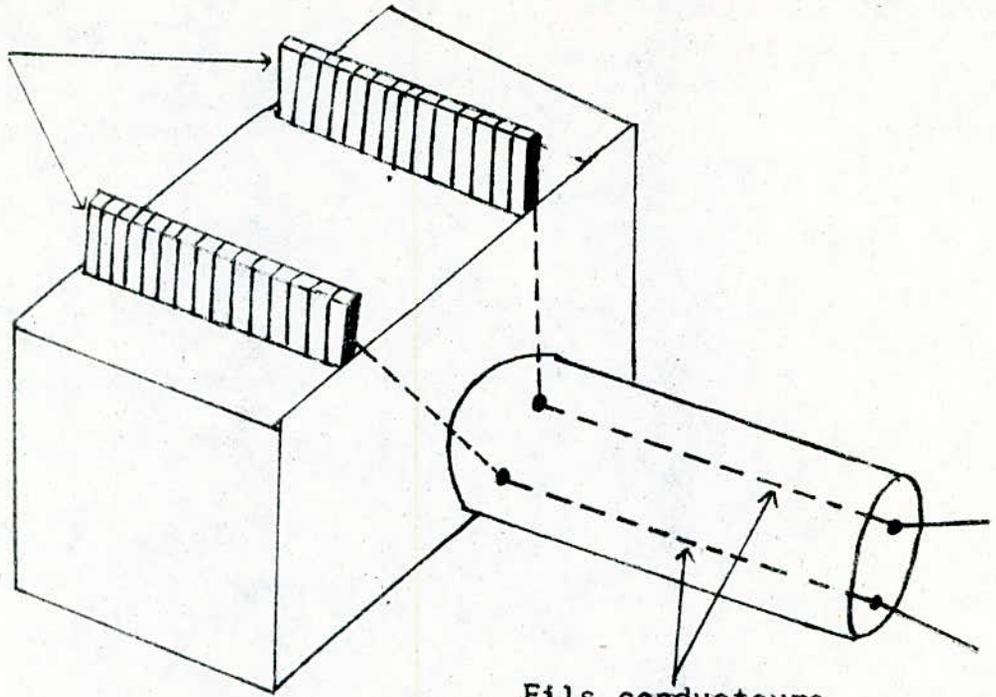
Ainsi , avant d'atteindre la valeur critique , le courant de fuite transite par trois zones : la zone normale , la zone d'avertissement et la zone de risque /5/ . Ce courant critique est celui qui correspond au courant de fuite de la demi période précédant le contournement . Le courant de fuite dans la zone d'avertissement apparaît souvent sous forme de groupes d'impulsions correspondants à la formation et à l'extinction d'arcs partiels . La valeur de ces impulsions de courant est de quelques dizaines de uA .

3.1.2 Essais basés sur la conductivité superficielle:

Cet essai ne peut être fait que suivant les recommandations de la C.E.I. qui stipule que pour mesurer la résistivité superficielle d'une surface isolante , on mesure la résistance de fuite entre deux électrodes de métal de l'objet en essai .

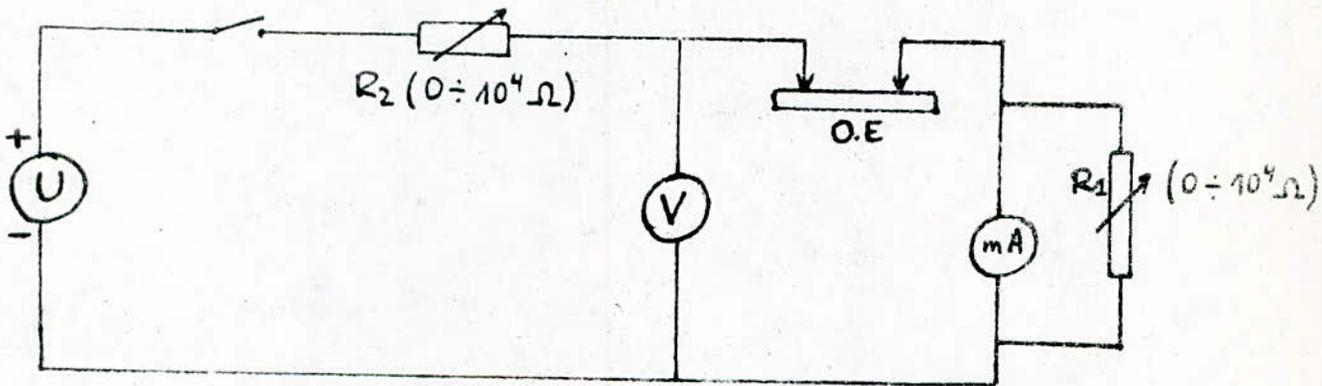
La conductivité superficielle est alors prise à l'inverse de la résistance de fuite multipliée par un facteur dépendant de la forme des électrodes et de leur distance de séparation .

Electrodes
en laiton



Fils conducteurs

SCHEMA DE LA SONDE UTILISEE POUR LA MESURE DE LA
CONDUCTIVITE SUPERFICIELLE



CIRCUIT DE MESURE DE LA RESISTANCE SUPERFICIELLE (de fuite)

U est la tension appliquée et qui est à courant continu, elle correspond à un minimum de $2kV / m$ de ligne de fuite; /16/

R_1 et R_2 sont des résistances qui doivent être respectivement supprimées et court-circuitées durant la lecture .

*Détermination de la conductivité superficielle à partir de la résistance de fuite (R_f) :

$$\gamma_s = \rho_s^{-1} = \frac{1}{R_f} \int_0^l \frac{dx}{b(x)}$$

- avec γ_s : Conductivité superficielle de la surface isolante (μS)
 ρ_s : Résistivité superficielle de la surface isolante ($\Omega \cdot cm$)
 R_f : Résistance de fuite (Ω)
 l : Distance de séparation des électrodes (cm)
 $b(x)$: Facteur qui dépend de la forme des électrodes (cm)

3.2 Essais sous pollution artificielle au laboratoire

Les essais sur site demandent un temps relativement grand . Des essais au laboratoire s'avèrent nécessaires même si les résultats trouvés diffèrent quelque peu de ceux trouvés dans les essais sur site en raison du fait qu'ils ne peuvent tenir compte des propriétés de la forme de l'isolateur en ce qui concerne l'accumulation de la pollution et l'auto-nettoyage par la pluie et le vent .

Toutefois , l'effort déployé par les chercheurs leur a permis de reproduire certaines conditions très délicates à savoir le brouillard , la rosée , le vent , et créer avec une bonne approximation les conditions naturelles de service .

3.2.1 Méthode de la couche solide:

Elle consiste en l'application d'une couche solide à la surface de l'isolateur , cette couche est composée d'un matériau solide contenant des ingrédients ionisants et devient conductrice par humidification . Le brouillard produit par un générateur de vapeur peut être pris comme moyen d'humidification conformément aux spécifications de la C.E.I .

Voici brièvement décrite une des méthodes utilisées par des laboratoires Allemands conformément aux recommandations de la C.E.I. et des normes V.D.E. /6/.

Cette méthode consiste à utiliser le KIESELGUHR (terres à diatomées) comme matériau solide avec du sel comme ingrédient ionisant et du brouillard produit par un générateur de vapeur comme moyen d'humidification .

* Procédure d'essai: Avant d'appliquer la couche polluante sur la surface de l'isolateur, cette dernière doit être nettoyée avec un détergent de façon à enlever les traces de graisse, puis rincée avec de l'eau de robinet de faible conductivité (moins de 500 uS par cm). Celle-ci sera jugée suffisamment propre et dégraissée, si l'on y constate de large étendues mouillées de façon continue. Il est utilisé pour l'application de la couche sur la surface de l'isolateur un liquide contenant en suspension les composants suivants /16/ :-100 g de Kieselguhr

- 10 g d'aérosil (Silice en particules de taille de 2 à 20 μ)
- 1000 g d'eau

La conductivité de ce liquide de suspension doit être ajustée par addition de quantité convenable de sel de façon à obtenir la conductivité de la couche correspondante suivant ce tableau :

conductivité de couche avec humidification à 20°C (uS) tolérance : \pm 15%	5	10	20	40
conductivité du liquide de suspension à 20°C (uS/cm)	1500	3000	6000	12000

Remarquons que pour avoir une couche raisonnablement uniforme, un ou plusieurs ajusteurs atomisants doivent être utilisés pour l'application du liquide de suspension sur la surface propre et sèche de l'isolateur. Une fois que l'isolateur est pollué et préalablement installé dans la chambre d'essai en position d'essai, celui-ci doit être humidifié au moyen d'un brouillard produit par un générateur de vapeur uniformément sur toute sa longueur. La température de l'isolateur essayé ne doit pas dépasser 40°C.

L'intensité de l'humidification doit être ajustée de telle sorte que l'humidification la plus forte de la couche et par suite la plus grande conductivité soient atteintes au bout de 15 à 20 mn. A cet effet, on a besoin d'un débit de vapeur d'environ 0,7 kg par heure et par m³ du volume de la chambre. Durant l'humidification de la couche polluante, aucune goutte d'eau ne doit suinter de celle-ci.

3.2.2 Méthode du brouillard salin:

Pour cet essai , l'isolateur soumis à la tension d'essai est placé dans un brouillard salin dont le taux de salinité définit la sévérité de l'essai . La tenue de l'isolateur permet de prévoir son comportement dans les conditions naturelles . Notons que la solution saline est obtenue à partir du chlorure de sodium et de l'eau de robinet . La concentration de la solution saline employée doit avoir l'une des valeurs suivantes : 2,5 ; 3,5 ; 5 ... ;;; 224 kg/m³ /7/, dont l'erreur admissible est de + 5% de la valeur nominale . D'autre part , il est recommandé par la C.E.I 507 de déterminer la concentration en mesurant , soit la masse volumique , soit la conductivité électrique de la solution et en faisant une correction de température .

Le tableau suivant donne les valeurs de la conductivité électrique et de la masse volumique pour les valeurs spécifiées de salinité .

Salinité à 20°C kg/m ³	2,5	3,5	5	7	10	14
Conductivité à 20°C uS/cm	4340	6000	8327	11520	15910	21690
Masse volumique à 20°C ; kg/m ³	999,9	1000,7	1001,7	1003,1	1005,2	1008

20	28	40	56	80	112	160	224
29660	40970	55940	75630	100800	130100	167308	202600
1012,4	1018	1025,9	1037,3	1052,7	1074,6	1104,5	1140

La résistivité ρ à 20°C peut être calculée à partir de la conductivité par la formule suivante :

$$\rho(\Omega \cdot m) = \frac{10.000}{\sigma}$$

* Quand la température de la solution n'est pas de 20°C , les valeurs de la conductivité peuvent être corrigées à l'aide de la formule :

$$\sigma_{20} = \sigma_t [1 - b(t - 20)]$$

où :
t : température de la solution (°C)
 σ_t : conductivité à la température t (uS/cm)
 σ_{20} : conductivité à la température de 20°C (uS/cm)
b : facteur dont les valeurs varient de 0,03675 à 0,01905 quand la température est de 0°C à 30°C . Pour d'autres valeurs de t la constante b peut être obtenue par interpolation .

* De même pour les valeurs de la masse volumique , avec la formule :

$$\Delta_{20} = \Delta_t [1 + a(t - 20)]$$

où :
t : température de la solution (°C)
 Δ_t : masse volumique à la température t (kg/m³)
 Δ_{20} : masse volumique à la température de 20°C (kg/m³)
a = $2.10^{-4} + 13.10^{-7} \cdot S_a$ (°C⁻¹)

avec S_a : Salinité en kg/m³ à 20°C .

Cette formule de correction n'est valable que pour les températures entre 5 et 30°C et pour les salinités supérieures à 20 kg/m³. D'autres précautions doivent être prises en ce qui concerne le système de pulvérisation et les modalités d'essai conformément aux recommandations de la C.E.I 507 publication 1975 .

4. STATIONS D'ESSAIS

De nombreuses stations d'essais ont été conçues et installées sur des sites pollués à travers le monde . Ces stations servent à mesurer le degré de pollution d'un site et par conséquent à dimensionner le niveau d'isolement correspondant ; elles utilisent comme paramètre de base d'essai , le courant de fuite , la conductivité superficielle ou le temps de tenue jusqu'à l'amorçage de l'isolateur . Parmi ces stations nous nous proposons de décrire le principe de travail de deux d'entre elles .

4.1 Station de l'E.D.F /8/

4.1.1 Caractéristique du degré de pollution d'un site :

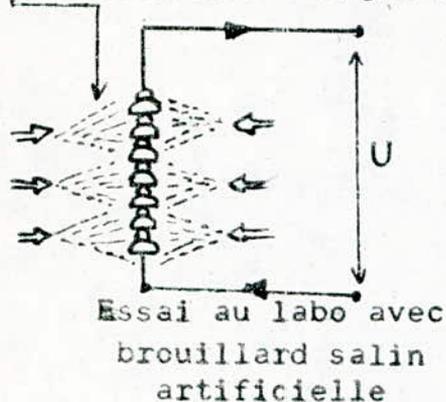
E.D.F. utilise , pour caractériser la sévérité de pollution d'un site , l'essai sous brouillard salin équivalent , cette dernière est exprimée en termes de salinité équivalente , un site peu pollué correspond à environ 7kg de sel par m³ , fortement pollué , de 80 à 160 kg/m³ de sel . L'application d'un résultat de l'étude théorique conduit alors à comparer les résultats de mesure de courants de fuite , effectués sur un isolateur témoin installé sur le site , aux mesures effectuées au laboratoire sur un isolateur identique pour déduire la salinité équivalente de ce site (la figure (A) illustre cette procédure

La validité de cette méthode de mesure a été confirmée après analyse des nombreux enregistrement des courants de fuite provenant des statios d'essais de MARTIGUES-PONTEAU (pollution marine) ou SAINT-AVOLD (pollution industrielle) où sont exposés plus d'une trentaine d'isolateurs de tout type . En particulier il a été déterminé la sévérité de ces deux sites à partir de plusieurs types d'isolateurs .

4.1.2 Essais au laboratoire et sur site:

Par la méthode du brouillard salin , on détermine au laboratoire la caractéristique donnant le courant de fuite I en fonction de la salinité équivalente S pour une chaîne d'isolateurs donnée. On procède ensuite à des essais sur site pour la même chaîne (pollution marine ou industrielle) pour laquelle on enregistre le courant de fuite maximal . Connaissant le courant de fuite I₀ on détermine à l'aide de la courbe I = f(S) (fig A) , la salinité correspondante ; ainsi on aura déterminé la pollution artificielle équivalente obtenue avec une solution de concentration S₀ .

Solution saline de concentration S (kg/m^3)



POLLUTION marine ou industrielle

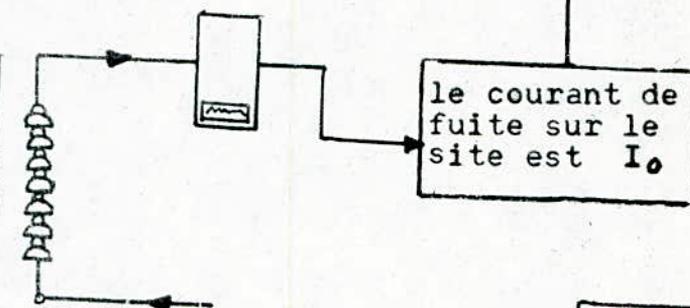


fig A

DETERMINATION DE LA SEVERITE DE POLLUTION D'UN SITE

4.1.3 Parametres électriques de la station de l' E.D.F

E.D.F utilise généralement des stations constituées d'un poteau sur lequel sont installés :

- Un transformateur 380V/33kV , 40 kVA ;
- Une console supportant 2ou 3 chaines d'isolateurs ;
- Un coffret renfermant l'appareillage de mesure qui permet d'enregistrer en permanence le courant de fuite .

L'appareille de mesure comporte une mémoire dont la durée ~~est égale à la période d'enregistrement~~ est égale à la période d'enregistrement , laquelle est en principe de quelques secondes. La fonction de cette mémoire est d'assurer l' enregistrement de l'amplitude de l'impulsion maximale qui s'est produite pendant toute la durée de la période d'enregistrement.

On répartit alors les niveaux de pollution en 4 classes de severité à l'aide d'une courbe (voir /8/) et on attribue à chaque classe une valeur de l'isolement minimal par unité de longueur de fuite /8/ .

4.2 Station de l'institut d'énergétique de POLOGNE /9/

Il a été effectué durant trente ans des recherches sur la pollution atmosphérique, en Pologne, et des essais portant sur des isolateurs exposés à la pollution. L'expérience qui en a été tirée, concerne la spécification et la vérification des méthodes d'essai ainsi que le choix approprié des isolateurs. La nouvelle approche de ces problèmes consiste essentiellement en :

- * La détermination de la conductivité superficielle (mesurée sur les isolateurs contaminés naturellement) en tant que critère de niveau de pollution et du risque encouru par l'isolement.
- * La détermination de la probabilité correspondante aux paramètres de pollution des différentes zones comme critère de classification de ces zones.
- * L'augmentation de la validité des résultats des essais sur place par rapport aux résultats des essais en laboratoire et détermination des résultats des essais sur site comme critère de base pour la définition des isolateurs.

4.2.1 Les mesures de pollutions dans les conditions naturelles :

Le niveau de pollution naturelle est déterminé en se basant sur la mesure des paramètres suivants :

- * Quantité de tous les dépôts.
- * Conductivité des composants solubles.
- * Conductivité superficielle des isolateurs soumis à la pollution naturelle.

Les mesures de conductivité superficielle sont faites périodiquement (tous les trois jours) sur des isolateurs, ces derniers sont installés sur des stations d'essai de pollution situées en SILESIE. Par ailleurs on effectue quelques essais sur des isolateurs pris au hasard sur des lignes en service.

4.2.2 Méthodes de mesure de la conductivité superficielle:

On effectue les mesures de conductivité superficielle à l'aide d'une sonde d'essai à deux électrodes, on relève l'intensité du courant qui passe entre les électrodes sous une tension donnée allant de 80 à 200 V /9/, on calcule alors la conductance superficielle. Les valeurs de la conductivité sont lues d'après des diagrammes. La mesure de la conductivité superficielle est faite le long de la ligne de fuite de l'isolateur dans deux ou trois plans selon

l'hétérogénéité de la couche de pollution .

Jusqu'à présent , les zones de pollution avaient été distinguées d'après l'enregistrement de la quantité maximale de dépôt et de sa conductivité au cours de toute la durée des mesures . Actuellement l'avis prédominant consiste à dire qu'il vaut mieux prendre en considération des valeurs correspondantes à la probabilité de l'apparition des dépôts (par exemple 0,98) au lieu des valeurs maximales mesurées .

On a alors établi des fonctions d'apparition de la quantité de l'ensemble des dépôts G , de la conductivité des produits de contamination γ et de la conductivité superficielle γ_s des isolateurs pollués naturellement .

Les fonctions de répartition qui ont été déterminées correspondent à la détermination des zones de pollution .

Les valeurs p d'égale probabilité d'apparition de la quantité de dépôt G , de la conductivité des dépôts γ et de la conductivité superficielle γ_s servent de critère en la matière .

Une telle répartition est représentée au tableau suivant :

P	niveau de pollution	zone	G	γ	γ_s
			g/m ² /jour	uS/cm	uS
< 0,5	pas de pollution appréciable	I	< 2	< 1600	< 8
0,5 < < 0,75	légère	II	2 < < 3,5	1600 < < 1800	8 < < 15
0,75 < < 0,98	forte	III	3,5 < < 8	1800 < < 2000	15 < < 30
> 0,98	très forte	IV	> 8	> 2000	> 30

La solution est concentrée à 2% de composants solubles.

4.2.3 Stations reliées au réseau:

L'efficacité des différents types d'isolateurs pour un service sous forte pollution industrielle est vérifiée en Pologne dans des stations d'essai situées dans cinq postes extérieurs à 110 kV reliés au réseau des lignes de 110 kV (réseau d'interconnexion). Ces postes sont exposés à différentes sources de pollution industrielle, ils sont tous situés dans la troisième zone. Les principales sources de pollution de ces stations sont : des centrales thermiques, des usines sidérurgiques, des cokeries, des mines de charbon, des cimenteries et différentes usines chimiques.

Dans toutes les stations d'essai, on essaye un total d'environ 330 isolateurs /9/ ou chaînes d'isolateurs.

Les isolateurs sont installés en position verticale et maintenus sous une tension permanente de $110/\sqrt{3}$ kV.

Le critère principal utilisé pour caractériser les isolateurs en essai est le temps de tenue jusqu'à l'amorçage (le temps qui s'écoule entre le moment où l'isolateur est installé jusqu'à l'apparition de la première décharge provoquant le contournement), ce temps est déterminé comme la valeur moyenne enregistrée pour au moins 3 isolateurs du même type.

Les variations de la conductance superficielle et du courant de fuite ont été mesurées sur des isolateurs choisis.

On a enregistré les conditions ambiantes (pression, température et humidité), les circonstances dans lesquelles l'amorçage dû à la pollution se produit et les paramètres correspondant à la pollution de l'air.

On a également contrôlé l'efficacité des procédés tels que le graissage au silicone, le lavage des isolateurs, et le nettoyage ainsi que celle des dispositions spéciales des isolateurs.

On a tenu compte de la conductivité superficielle, du pouvoir d'autonettoyage et la répartition de la contamination à la surface de l'isolateur et ce, pour caractériser les isolateurs essayés, bien que le temps de tenue jusqu'à l'amorçage ait été pris comme principal critère décisif.

* Remarques sur les essais au laboratoire :

Les inconvénients présentés par les essais au laboratoire sont les suivants :

- Aucune méthode d'essai sous pollution artificielle ne tient compte de la non-uniformité des couches polluantes et ne simule l'effet d'autonettoyage par la pluie .

- La méthode de la couche prédéposée ne tient pas compte de l'influence du champ électrique .

- Les conditions sous lesquelles le mouillage se produit ne présente pas nécessairement le caractère le plus critique .

Par contre la méthode du brouillard salin englobe à la fois les 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 demeure actuellement très utilisée .

CHAPITRE II

REGION D'ARZEW

1. IDENTIFICATION DE LA REGION D'ARZEW

Arzew est une région côtière à 40 km à l'est d'Oran, elle est délimitée à l'ouest par la péninsule haute de 700 m environ, à l'est par les marais de la Macta et au sud par les salines d'Arzew. Son relief ne présente pas énormément d'aspérités, il est en général plat. Les terrains sont quasiment sablonneux et rocailleux à certains endroits. Les poussières sont aussi très abondantes surtout durant la saison sèche /1/. Des usines sont implantées sur le littoral (fig 1) telles que : G.N.L ; G.P.L ; NH₃ ; raffinerie ...

Elles s'étendent sur une distance de 15 km, sans compter les importantes usines des industries chimiques entre Marcat-El-Hadjaâj et Mostaganem .

La région d'Arzew est par conséquent une zone à très forte concentration industrielle .

2. ETUDE CLIMATOLOGIQUE DE LA REGION D'ARZEW POUR 1981/85

Les caractéristiques essentielles des conditions météorologiques qui règnent dans la région d'Arzew, comme il sera montré plus loin, et qui exercent une influence directe sur le comportement des isolateurs des lignes de transport d'énergie sont en particulier les suivantes : L'humidité relative de l'air, le brouillard, la pluie et les vents .

Afin que l'étude soit plus exhaustive, nous avons utilisé les statistiques enregistrées par l'Office National de Météorologie /10/ pour la durée 1981 à 1985 concernant les différents facteurs climatiques relatifs à la région d'Arzew .

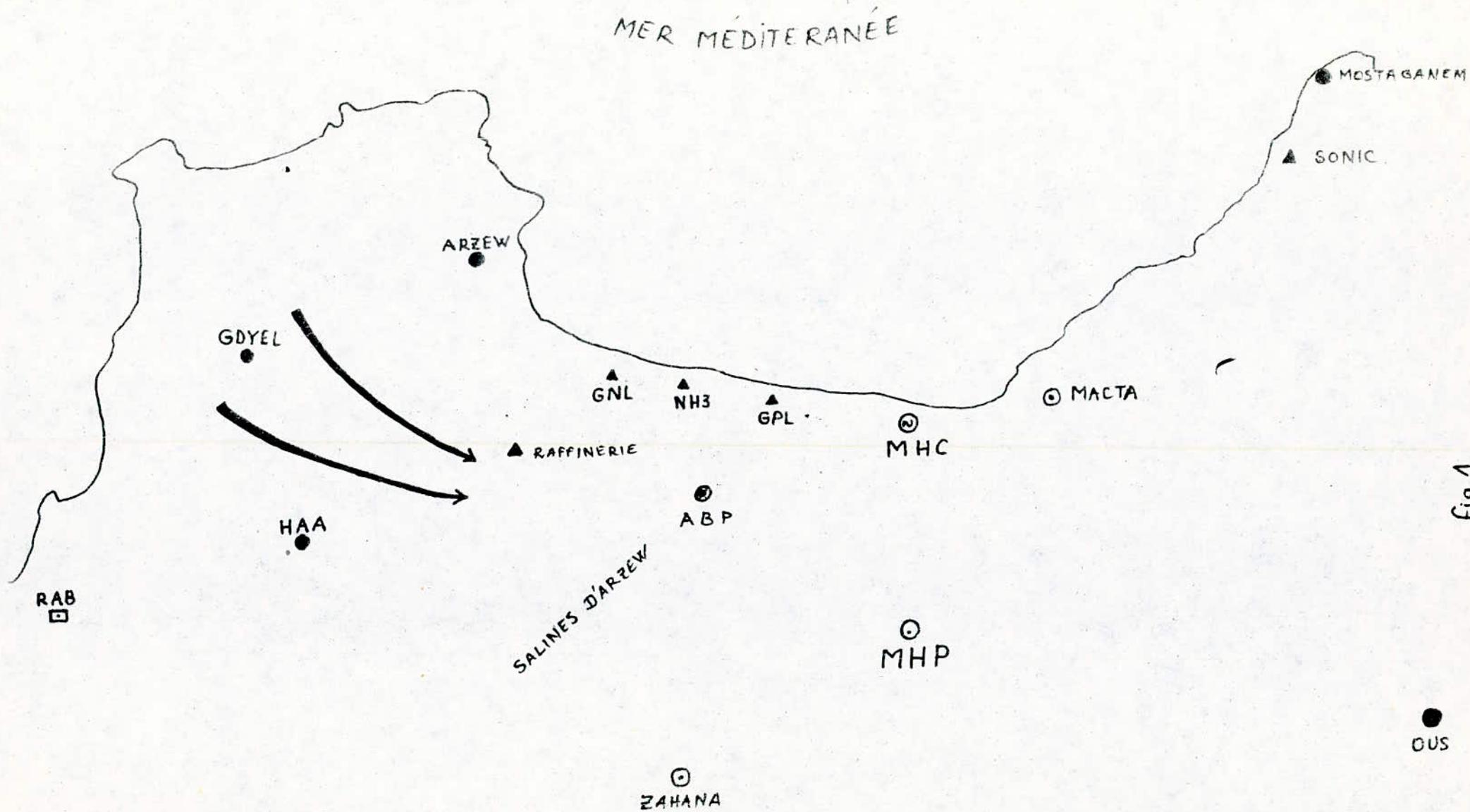


Fig 1

2.1 Température

La région d'Arzew est à climat tempéré , sa température moyenne est de l'ordre de 18°C, la plus basse température a été enregistrée en Janvier et Février 1983, elle était de 0°C .

Comme nous constatons sur la figure (2) , les températures subissent de larges fluctuations pendant le même mois , la différence peut aller jusqu'à 21°C . Il est à noter qu'à la suite du refroidissement qui se produit durant la nuit /3/ , l'humidité relative augmente considérablement pendant les premières heures du matin . Une baisse de température en deçà d'une certaine limite dépendant de l'humidité relative donne naissance à la rosée , qui en humidifiant la couche polluante des isolateurs diminue dangereusement leur résistivité superficielle ✓

2.2 Humidité relative de l'air

L'humidité relative moyenne dans la région d'Arzew est de 74% , elle varie entre 60% et 85% , elle atteint quelquefois 90% et même plus aux premières heures de la matinée (fig 3) alors qu'elle n'est que de 50% aux environs de midi . Durant notre stage à Mersat-El-Hadjadj , nous avons constaté que l'hygromètre de la station d'essai enregistre fréquemment 95 à 96% aux environs de 06 h du matin . De ce fait nous pouvons dire que la région d'Arzew (à un degré plus Mersat-El-Hadjadj) est une région très humide .

2.3 Précipitations pluviales

Durant les cinq années (1981 + 1985) la région d'Arzew a enregistré une moyenne de moins de 300 mm de pluie par an , ceci montre que c'est une région très faiblement arrosée , surtout pendant la période allant de Juin à Octobre où les précipitations pluviales sont presque négligeables (fig 4) .

La non abondance des pluies durant cette période explique bien pourquoi le phénomène de contournement dû à la pollution dans cette région est très fréquent , c'est à dire que l'opération d'auto-nettoyage des isolateurs est pratiquement nulle .

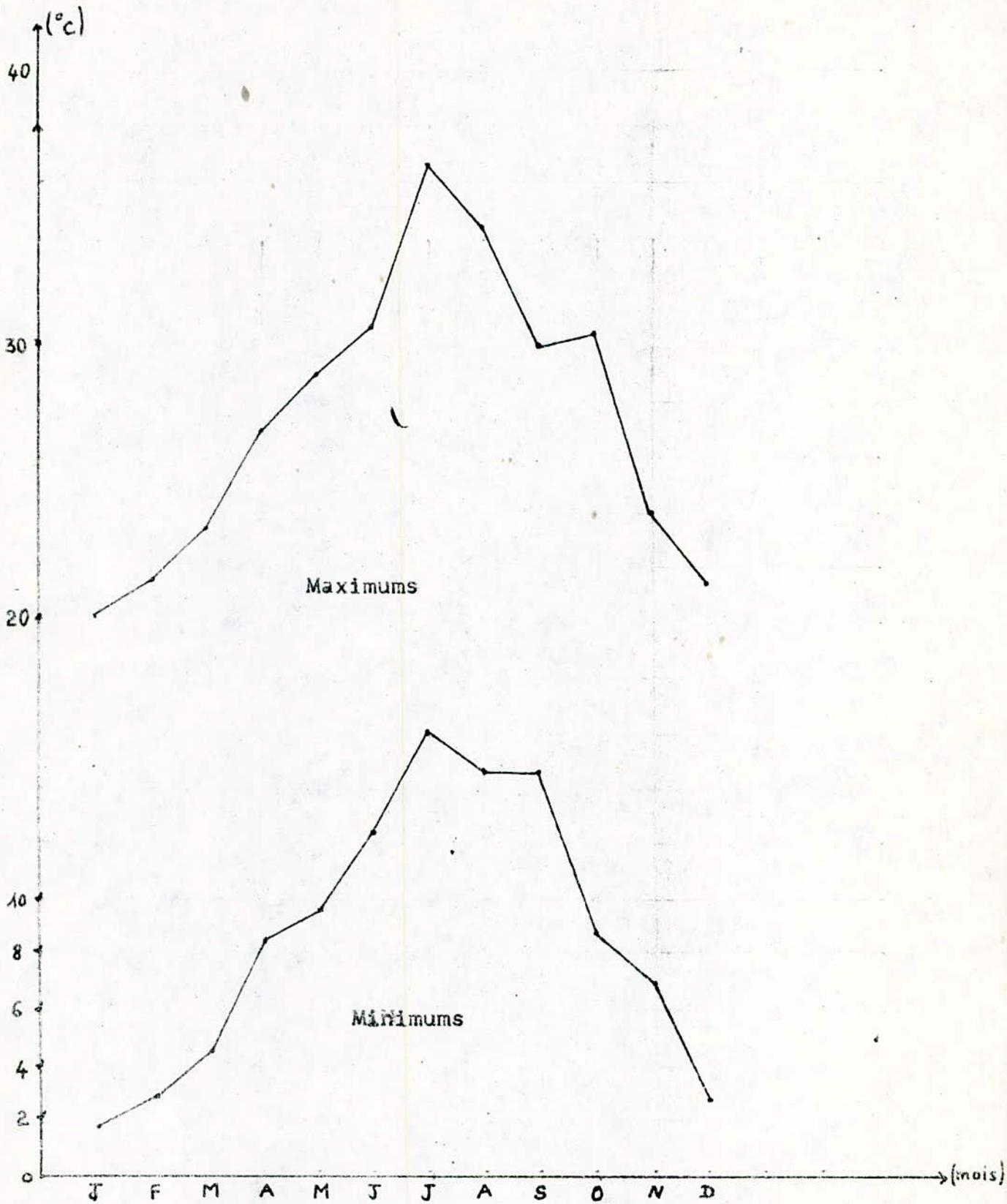


Fig2 Températures extrêmes enregistrées dans la région d'Arzew
à une altitude de 100 m
(81-85)

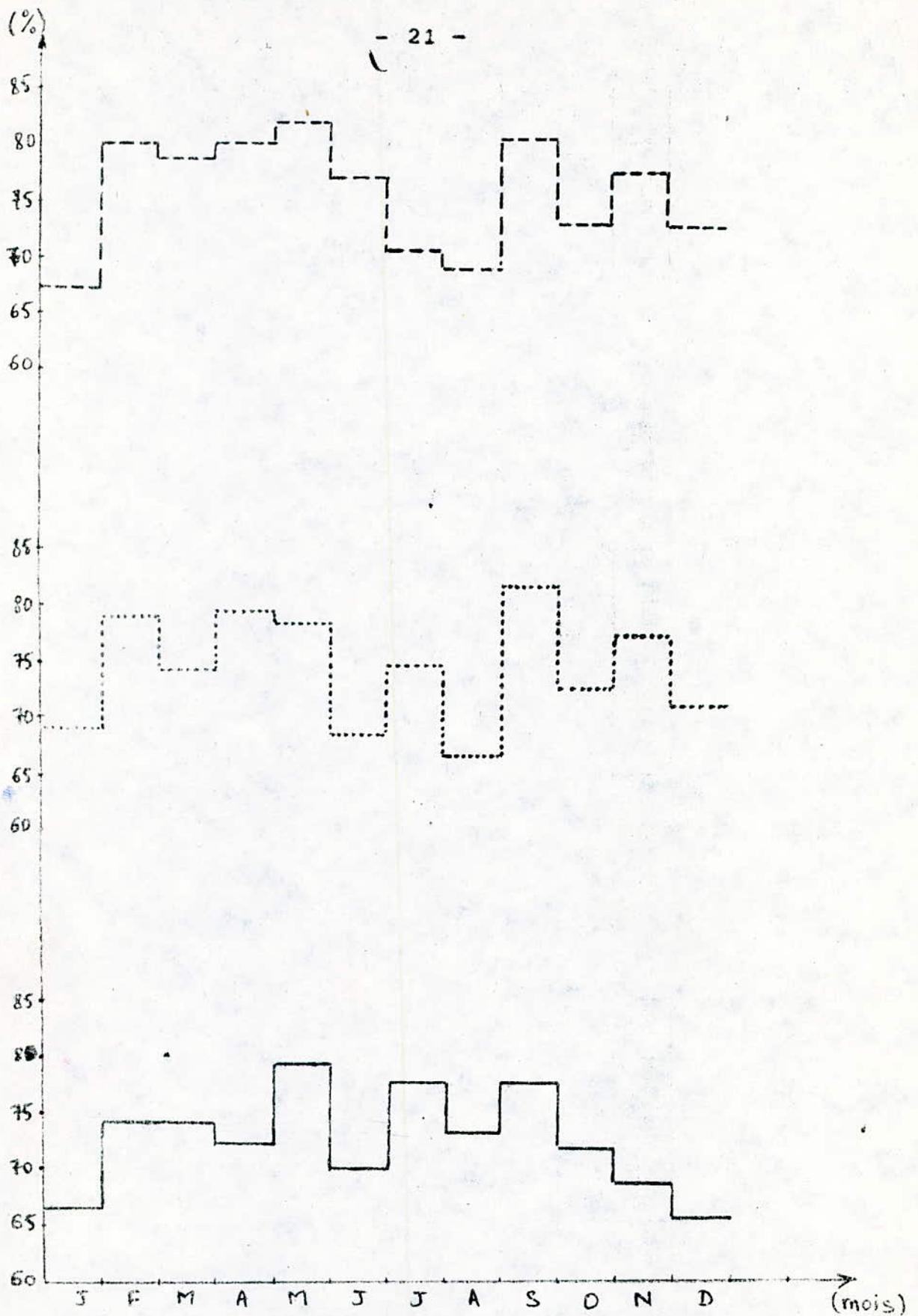


fig 3 HUMIDITÉ RELATIVE MOYENNE DE 1981 à 1985

— à 8 H
..... à 11 H
- - - à 17 H

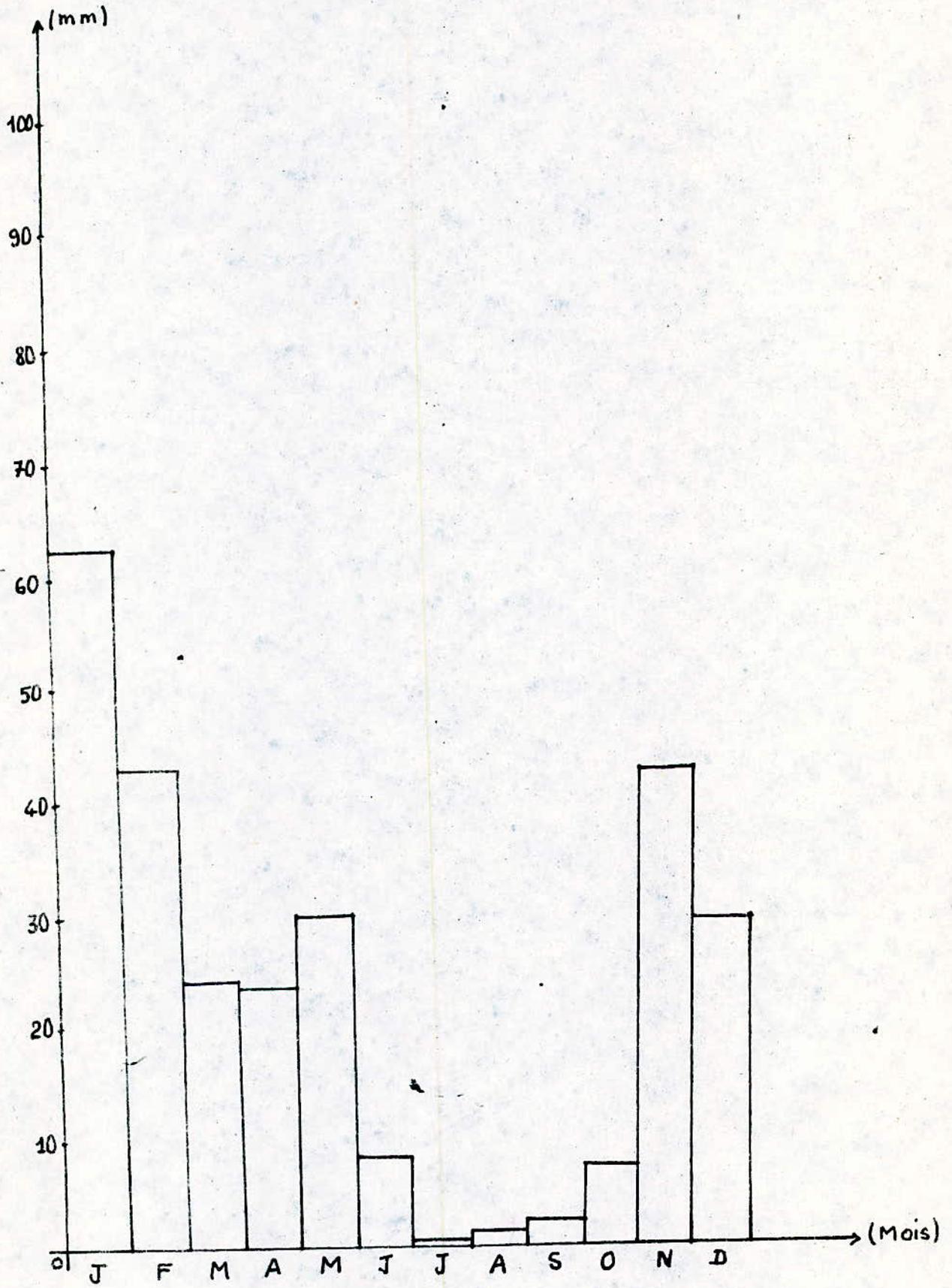


Fig4 Hauteurs moyennes mensuelle des precipitations

2.4 Précipitations occultes

* Brouillard : Il apparait le plus souvent **durant** la période Avril-Septembre parfois même en dehors de cette période . On donne ci-dessous le nombre de journées où le brouillard est apparu en fonction des mois .

	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	AOÛT	Sept	oct	Nov	Dec
1981	.	.	.	10	.	.	2	.	.	1	1	.
1982	.	.	.	.	.	.	.	1	3	.	5	.
1983	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1984	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Pendant la période chaude , le brouillard est très nefaste pour l'exploitation des lignes à haute tension car , comme déjà mentionné l'auto-nettoyage est nul alors que les isolateurs ont subi la pollution des mois de printemps précédents .

* La gelée blanche: Elle apparait généralement aux mois de Janvier et Décembre , et presque inexistante le reste de l'année . A titre d'exemple les années 1981 , 1984 et 1985 ont enregistré 6 , 8 et 7 jours de gelée blanche durant le mois de Janvier alors qu'elle a été enregistrée pendant 5 jours le mois de Décembre 1983 .

Quant à la rosée , le givre et le verglas , ils sont considérés comme inexistants dans cette région .

2.4 Les orages

Le nombre de jours d'orage varie de façon aléatoire d'une année à l'autre , nous avons relevé quelques jours d'orage à l'O.N.M /10/ , mais il s'est avéré que cet office n'a pas mentionné tout ceux-ci dans ses archives ; néanmoins , malgré le manque de statistiques exactes , nous pourrions quand même avancer qu'un grand nombre d'incidents sur les lignes Haute Tension est dû à l'orage (voir statistiques de contournement dans le sous chapitre prochain) .

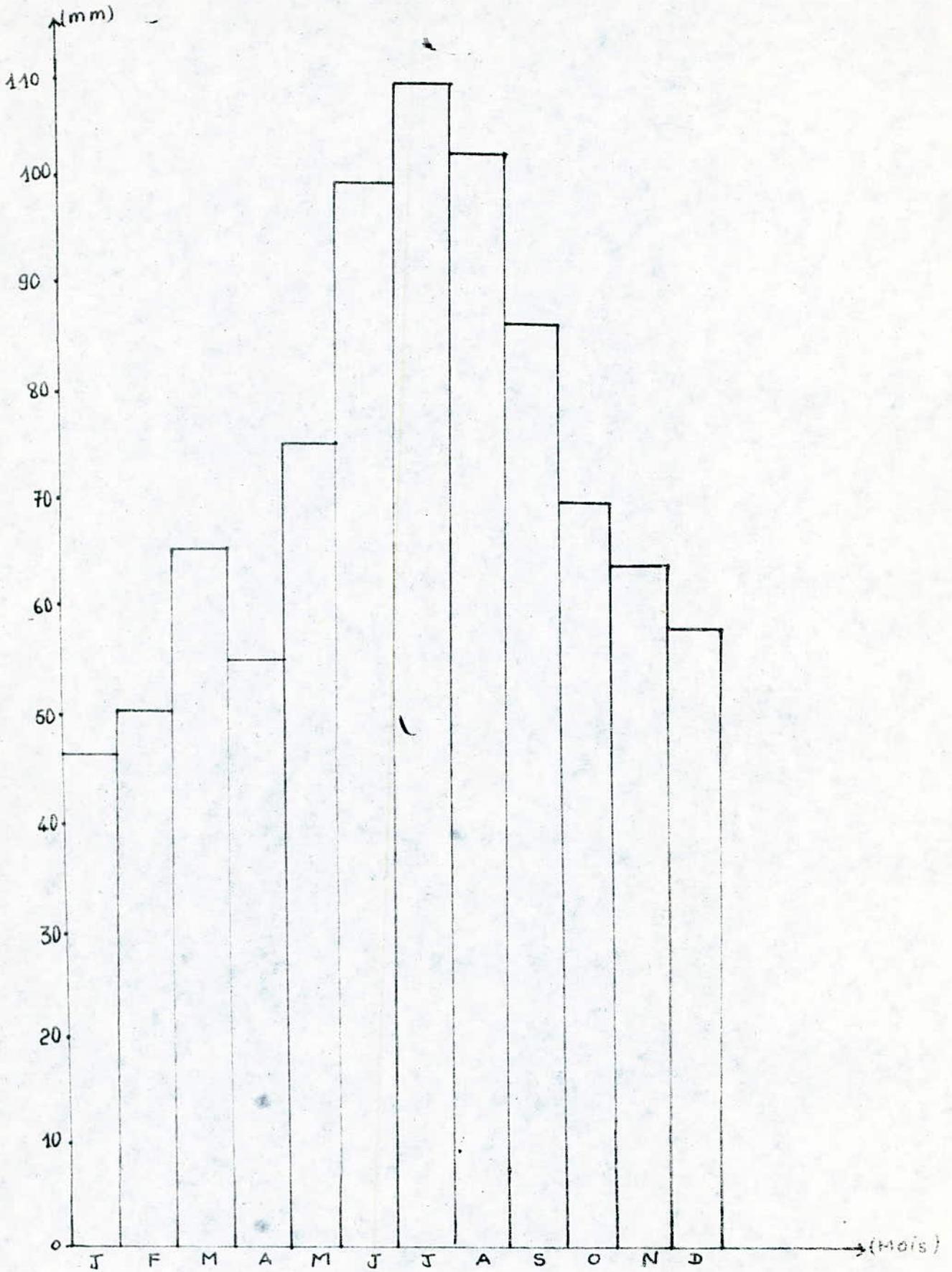


Fig 5 Hauteurs moyennes mensuelles d'évaporation
(81-85)

2.5 Les vents

Le vent constitue l'agent qui assure le transport de la poussière qui vient se déposer à la surface des isolateurs . Les vents soufflant de la mer vers l'intérieur sont à l'origine de la propagation de la pollution marine . La direction habituelle de la région d'Arzew est d'Ouest en Est , leur vitesse est relativement faible mais peut parfois atteindre 18 m/s , ce qui est considérable . Mais une vitesse élevée du vent , tend non seulement à empêcher la formation de la rosée /11/ mais par suite d'un refroidissement et d'un allongement plus marqué des arcs , elle joue un rôle défavorable à leur amorçage dans les zones sèches : On considère que ceci conduit à une amélioration du comportement des isolateurs .

2.6 Insolation et phénomène d'évaporation

La durée d'insolation est très importante dans la région d'Arzew . Cette insolation qui est encore plus forte durant la période chaude provoque une évaporation pouvant atteindre une valeur moyenne annuelle de plus de 73 mm (fig 5) , or le phénomène d'évaporation n'est pas à négliger quant à son influence sur les séchages des dépôts sur les isolateurs Haute Tension .

Donc , d'après ce qui précède , nous constatons que les conditions climatiques jouent un rôle en la défaveur des équipements de Haute Tension en général et de la tenue de l'isolation en particulier dans cette région .

3. TYPES D'ISOLATEURS UTILISES DANS LA REGION D'ARZEW

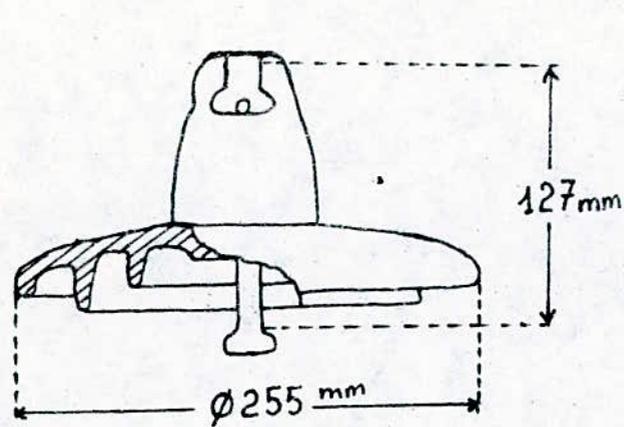
Le problème des amorçages des chaînes d'isolateurs dus à la pollution dans la région d'Arzew ne s'est aggravé qu'à partir de 1977 /1/ , année où la SONELGAZ avait fait passer son réseau de 60 kV à 220 kV .

A cet effet , les responsables de la SONELGAZ ont adopté des chaînes d'isolateurs au hasard du fait que le degré de pollution du site n'était pas connu , ce qui a engendré un manque de rigueur au niveau du dimensionnement de l'isolement .

Pour parer à cette situation , en 1979 , la SONELGAZ a décidé de renforcer l'isolement de son réseau en adoptant des isolateurs dits "anti-pollution" . Ce sont des isolateurs en céramique et en verre trempé .

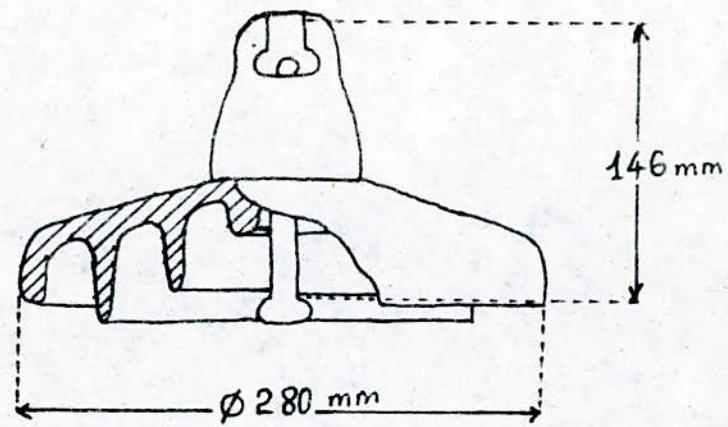
Types d'isolateurs: plusieurs types d'isolateurs sont utilisés dans les lignes aériennes et dans les postes électriques à travers le monde . Ce sont des isolateurs en verre ou en céramique. En se basant sur certains critères (bord de mer , pollution industrielle ,...) le service d'exploitation SONELGAZ de la région de l'Ouest a choisi certains isolateurs , pour l'isolement de ses lignes à Haute Tension, parmi lesquels :

- * En verre: F 12 P ; F 120 P ; F 12 R ; F 12 D et 15 12 L .
- * En céramique: NGK et CTBM .(voir les figures ci-après) .



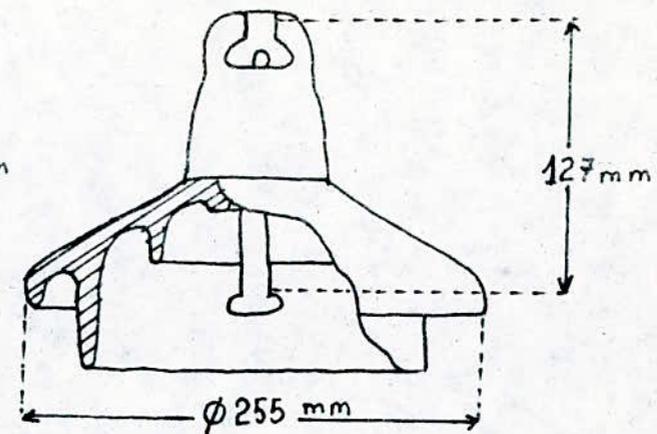
TYPE : 1512 L

Ligne de fuite / 292 mm



TYPE : F 120 P

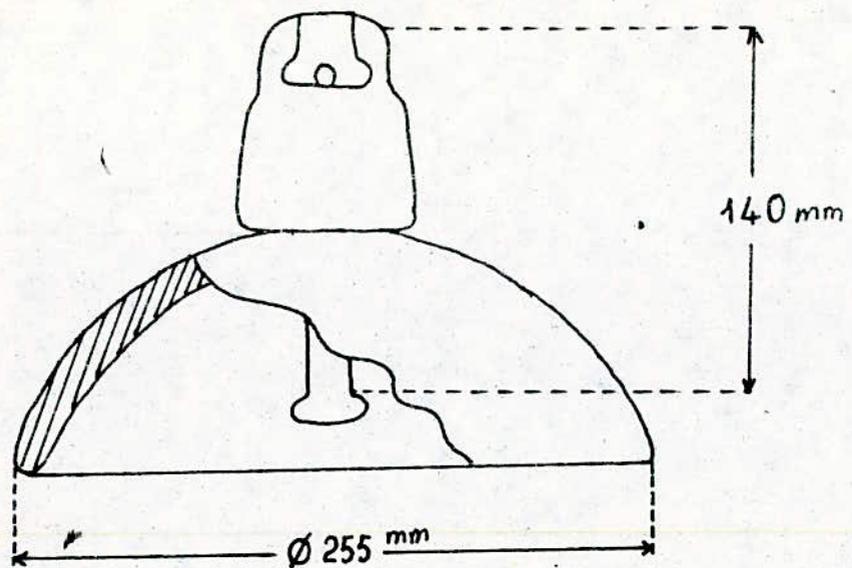
Ligne de fuite / 445 mm



TYPE : F 12 P

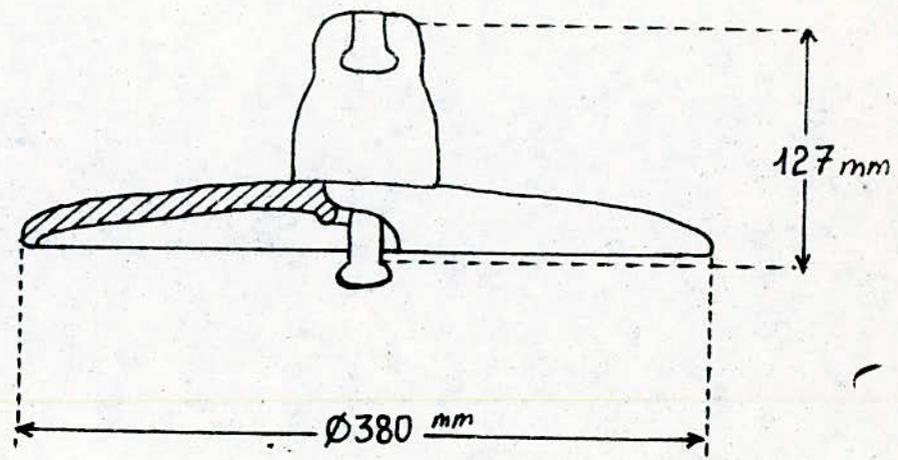
LIGNE DE FUITE / 390 mm

Fig 6



·TYPE : F 12 R

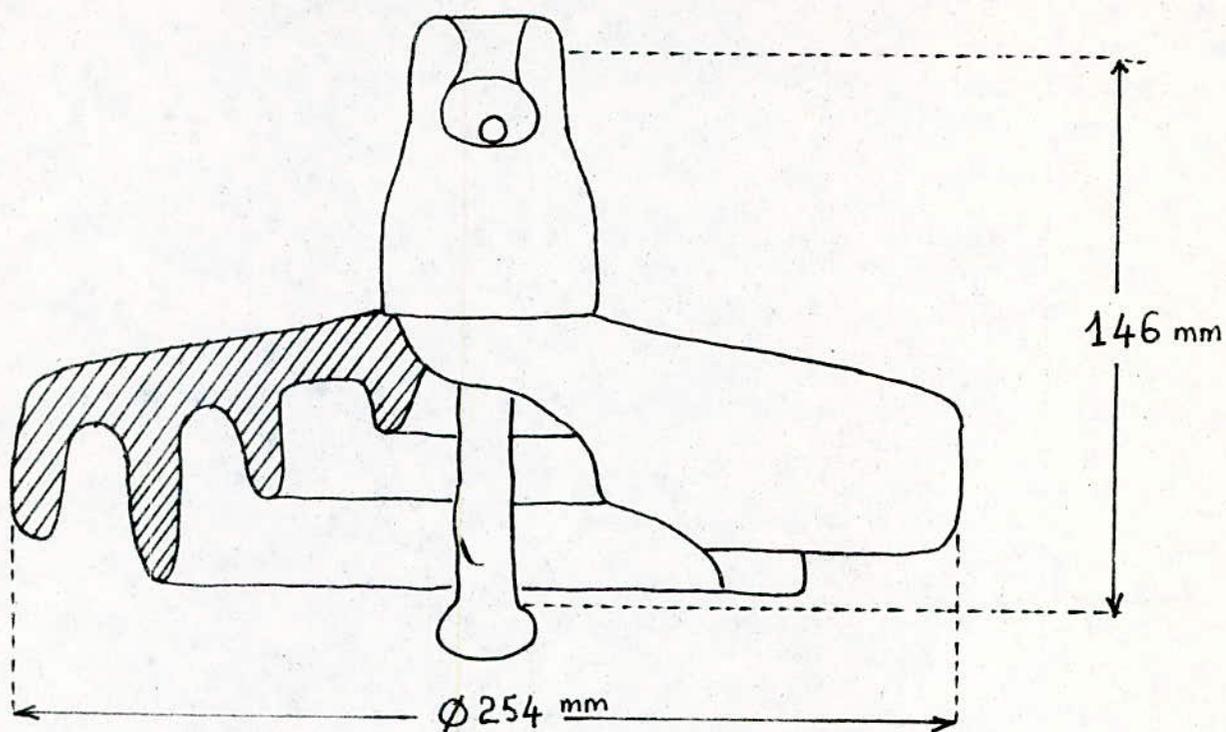
Ligne de fuite / .292 mm



TYPE : F 12 D

Ligne de fuite /340 mm

Fig 7



TYPE : NGK

Ligne de fuite / 432 mm

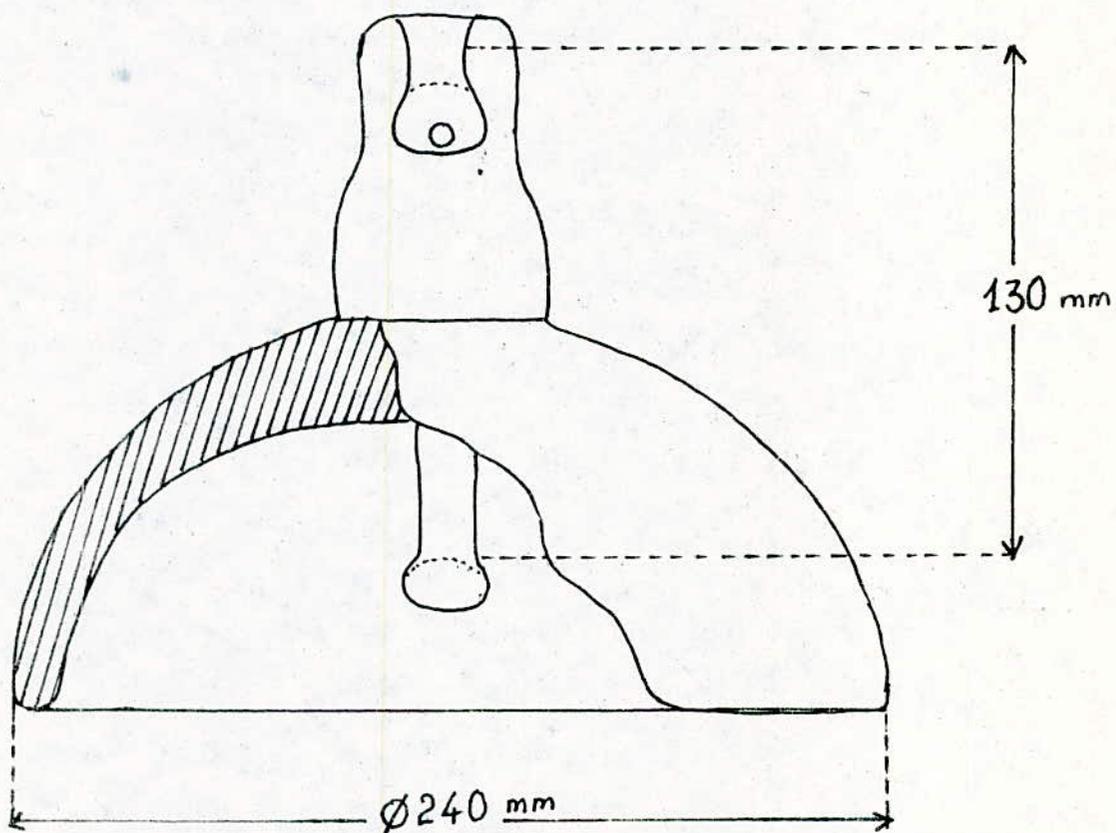


Fig 8

TYPE : CTBM

Ligne de fuite / 280 mm

4. STATISTIQUES DE CONTOURNEMENT D'ISOLATEURS POLLUES (75)

Afin de mieux illustrer l'importance du problème causé par la pollution sur les isolateurs Haute Tension , nous avons recensé sur quatre années successives (1982 + 1985) les incidents survenus sur les différentes lignes Haute Tension .

A cet effet , le bureau d'exploitation et de la maintenance de la région Ouest a mis à notre disposition les rapports mensuels d'exploitation qui nous ont permis de connaître à la fois , la ligne , la date , l'heure et la cause de l'incident . Le tableau ci-dessous donne quantitativement les incidents des lignes 220 kV et 60 kV de 1982 à 1985 de toute la région Ouest :

Ligne \ Année	1982	1983	1984	1985
220 kV	169	112	279	154
60 kV	181	133	350	193
Total	350	245	629	347
Incidents dus à la pollution	100	76	451	169

Nous constatons que 1571 incidents ont été enregistrés durant la période 1982 à 1985 dans toute la région de l'Oranie , et sur ailleurs pas moins de 796 de ceux-ci sont dus à la pollution des isolateurs, ce qui représente un taux de plus de 50%. Parmi les incidents dus à la pollution des isolateurs Haute Tension , 81% sont survenus pendant la période chaude qui s'étend de Juin à Octobre (fig 9) . Ceci s'explique par le fait que la région d'Arzew se caractérise par une rareté de pluie pendant cette période (fig 4) et comme les isolateurs sont exposés à la pollution , l'opération d'auto-nettoyage est donc inexistante .

D'autre part , d'après la répartition horaire (fig 10) , près de 87% de ces incidents se sont produits durant la nuit et aux premières heures de la matinée (20 h + 08 h) dont 60% au petit matin uniquement (04 h + 08 h) ceci est dû à l'importance de l'humidité relative de l'air à l'aube et à l'apparition plus fréquente du brouillard durant cette durée .

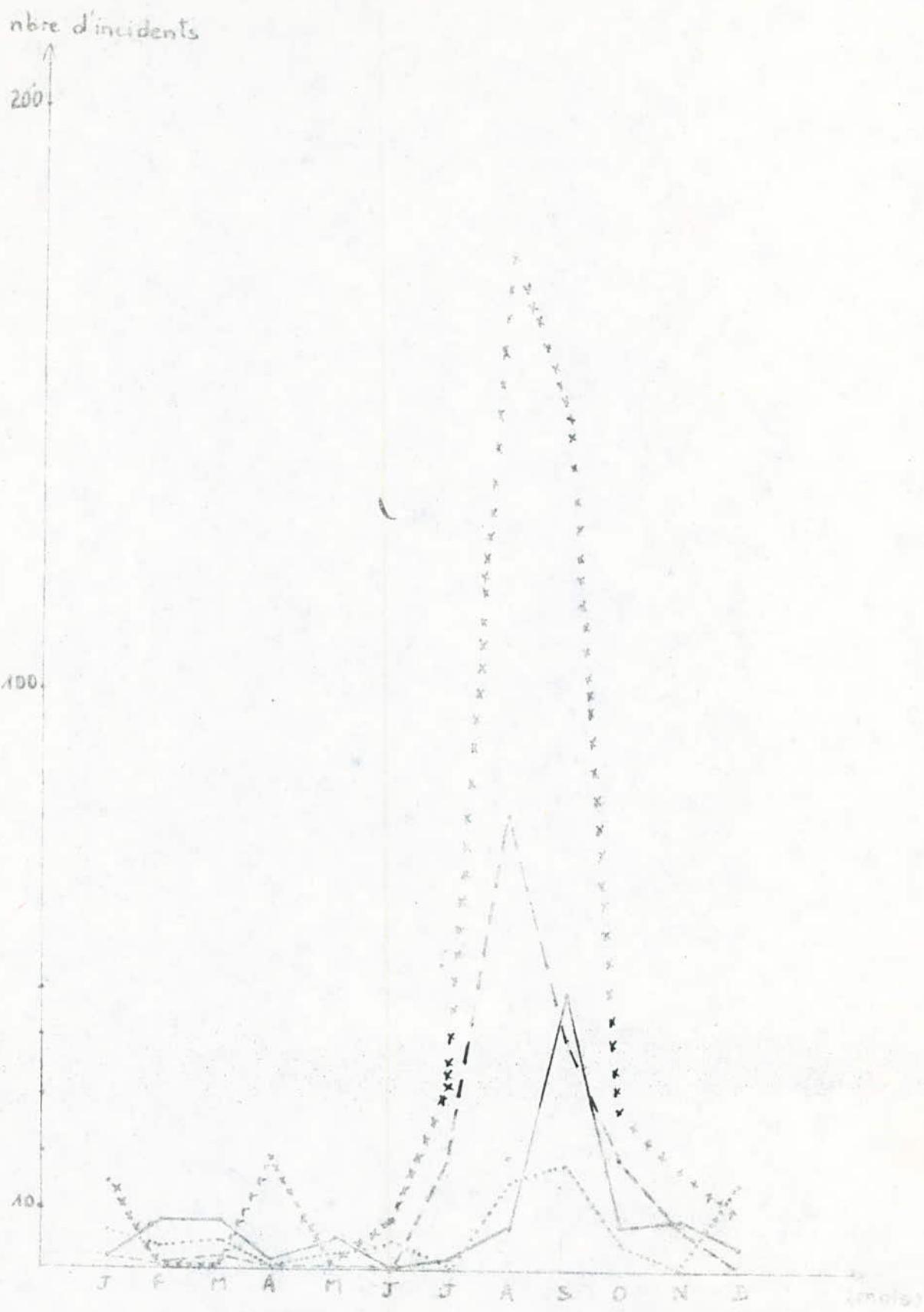


fig 9 REPARTITION MENSUELLE DES INCIDENTS SUR LES LIGNES 220 kV et 50 kV

————— 1982
 1983
 x x x x x x x x 1984
 - - - - - 1985

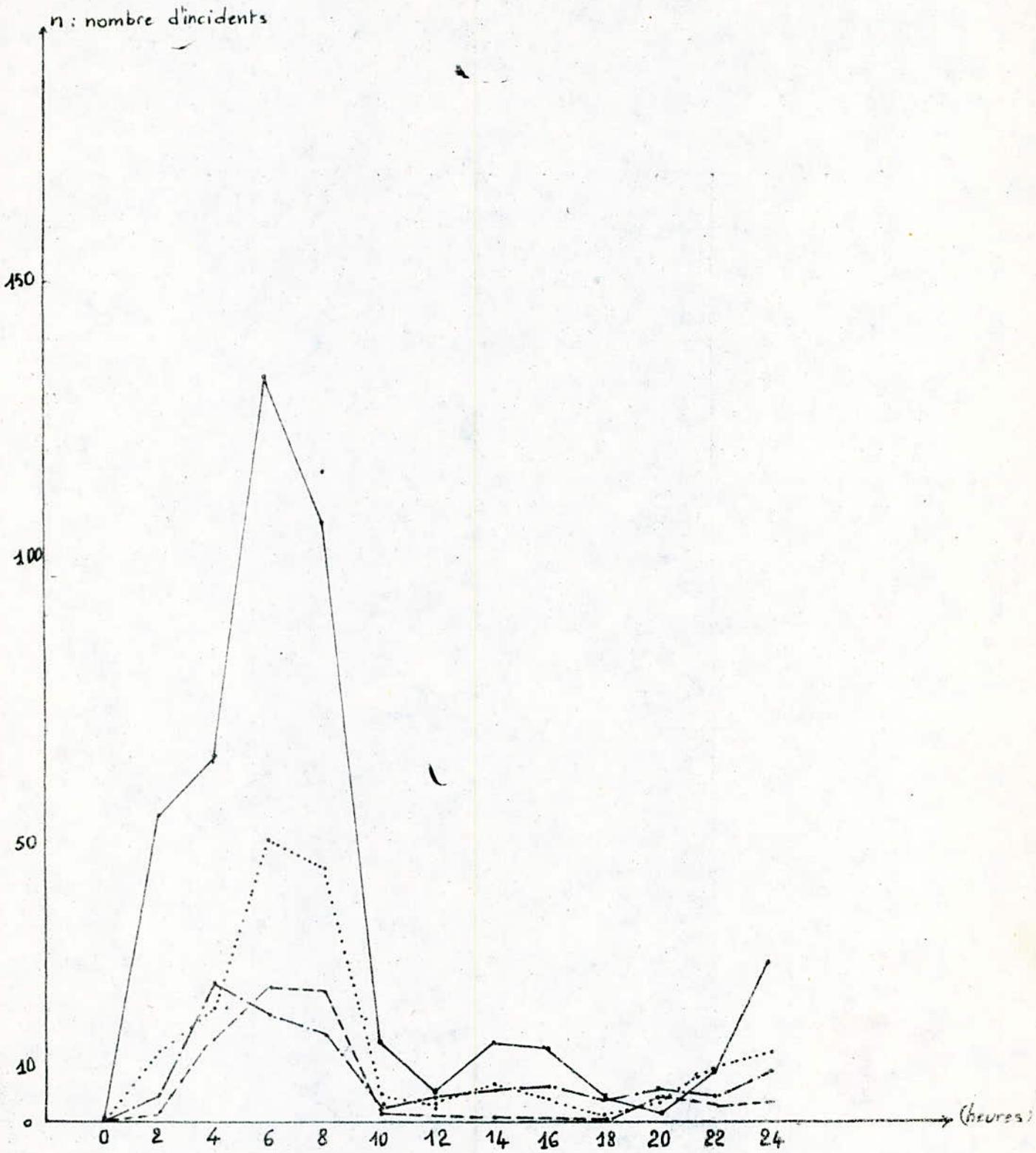


fig 10 Repartition horaire des incidents
lignes 220 kv et 60 kv

———— 1982
 - - - - - 1983
 ———— 1984
 1985

Rappelons en outre que pas moins de 50% de ces incidents sont survenus exclusivement dans la région d'Arzew .

C H A P I T R E I I I

E S S A I S S U R S I T E

1. CARACTERISTIQUES DE LA STATION D'ESSAI

1.1 Situation géographique de la station et critères de choix

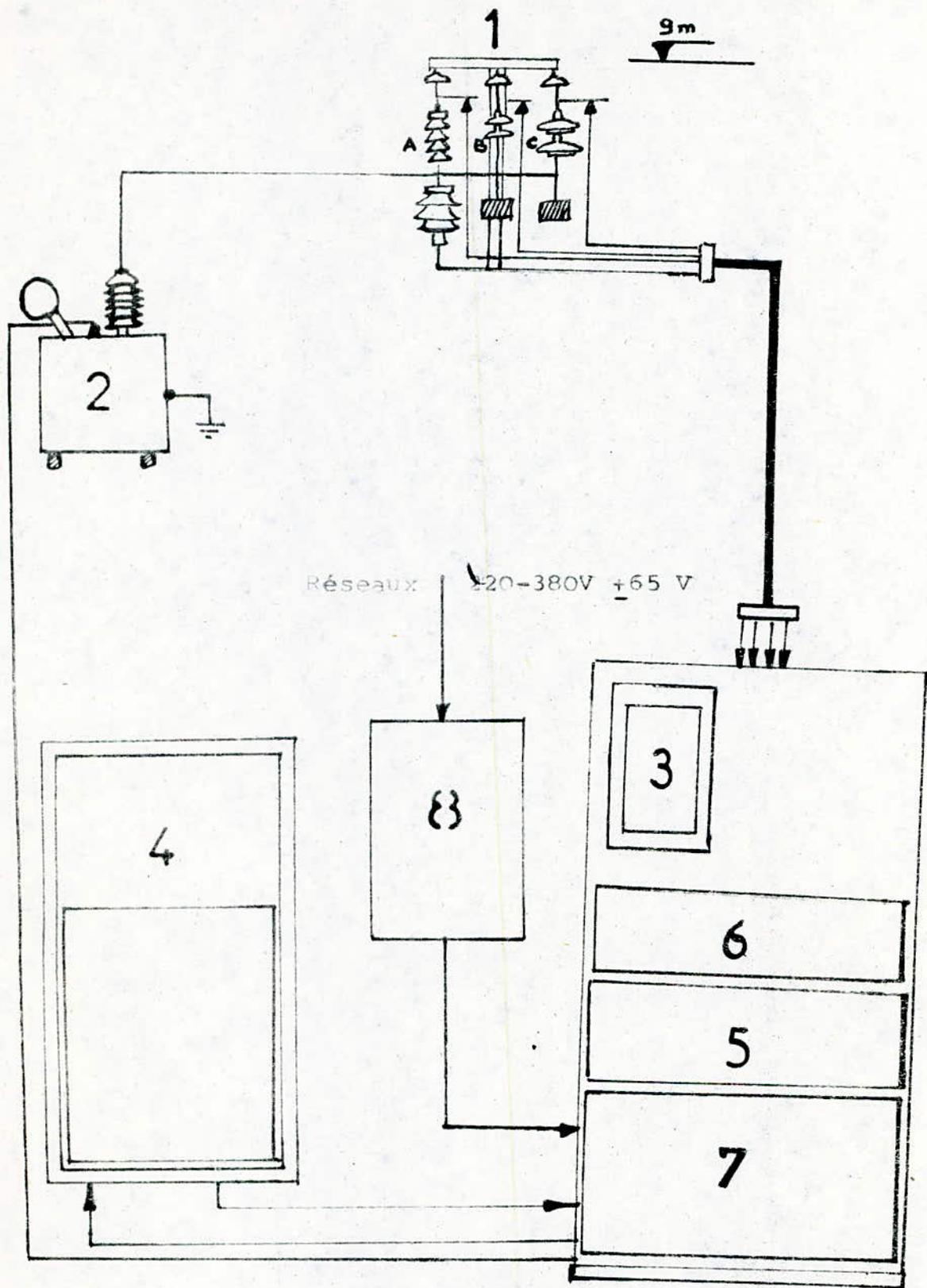
La station d'essai est installée au poste T.H.T de Mersat-El-Hadjadj (fig 1) . Cette localité est sise au bord de la mer à 15 km à l'est d'Arzew et à une trentaine de kilomètres à l'Ouest de Mostaganem . Ce poste (220 + 60 kV) forme un relai d'interconnexion en 220 kV entre la centrale de Mersat-El-Hadjadj (3 x 168 MW) qui est à 4 km de celui-ci et les postes de , Zahana lequel se situe à 33 km vers le Sud-Ouest et Relizane à 100 km vers le Sud-Est , et celui de Oued Sly et Mostaganem donnat sur l'Est . Il forme aussi un relai d'interconnexion en 60 kV avec les postes de Aïn El Bya et Arzew .

Comme il a été déjà montré que la région d'Arzew est polluée , il est à noter que Marsat-El-Hadjadj est la localité la plus touchée vu qu'elle se trouve entourée de terres agricoles (labours) et d'usines chimiques et pétrochimiques dont les fumées y sont transportées par les vents marins , c'est donc pour cette raison que la station d'essai avait été installée dans ce poste .

1.2 Paramètres électriques de la station /14/

La station d'essai comporte les éléments suivants :

* Un pylone de 9 m de hauteur sur lequel sont accrochés 3 types de chaînes d'isolateurs mises sous tension de 10 kV et trois autres types de chaînes hors tension (fig 11) .



- 1-Echantillons d'isolateurs et pylone
- 2-Transformateur 220/10000 V; 5 KVA
- 3-Unité d'enregistrement magnétique
- 4-Convertisseur alternatif/continu

- 5-Ecotest (unité de mesure)
- 6-Ecoprint (imprimante)
- 7-Tableau de distribution
- 8-Régulateur de tension

FIG- 11

* Un transformateur 220/10 000 V ; 5 kVA alimente ces chaînes , il est installé sur le pylône à une hauteur de 8 m environ .

* Un appareil de mesure constitué de plusieurs parties , à savoir :
- l'Ecotest (ou partie mesure) et l'Ecoprint (ou imprimante) ;
- cassette magnétique d'enregistrement (courant de fuite) ;
- un compteur électronique .

* Un convertisseur alternatif/continu est aussi utilisé pour alimenter l'appareil de mesure électronique.

* Un régulateur de tension alternative 220-380 V \pm 65 V .

* Indépendamment à cette station , deux autres appareils sont utilisés :

- un pluviomètre avec 200 cm² de surface receptrice ;
- un météorographe (Baro-Thermo-Hygrographe) qui permet de mesurer la pression , la température et l'humidité . ; qui présente des cycles de mesure d'une semaine .

2. METHODE DE MESURE

Diverses méthodes pour estimer la sévérité de pollution d'un site naturel ont été examinées et comparées récemment dans des stations d'essai installées par ENEL dans quelques sites typiques en Italie. Suivant ses recherches , la méthode basée sur la mesure de la conductivité superficielle , était préférée pour l'application générale en Italie et à l'extérieur . Ceci a amené cet Organisme à utiliser cette méthode pour estimer la sévérité de pollution qui sévit dans la région d'Arzew .

2.1 Estimation de la sévérité de pollution équivalente d'un site naturel , utilisant la méthode de conductance superficielle

* Mesure au laboratoire : par la méthode du brouillard salin , il a été déterminé au laboratoire la caractéristique donnant la conductivité superficielle en fonction de la salinité de la solution pour les trois types d'isolateurs utilisés dans la station de Marsat-El-Hadjadj (fig 12) . Les courbes obtenues sont celles illustrées par la figure (12) .

* Mesure sur site naturel (Marsat-El-Hadjadj) : Les trois échantillons d'isolateurs (fig 13) choisis dont les caractéristiques

Isolateurs en essai

— A
- - B
- · - C

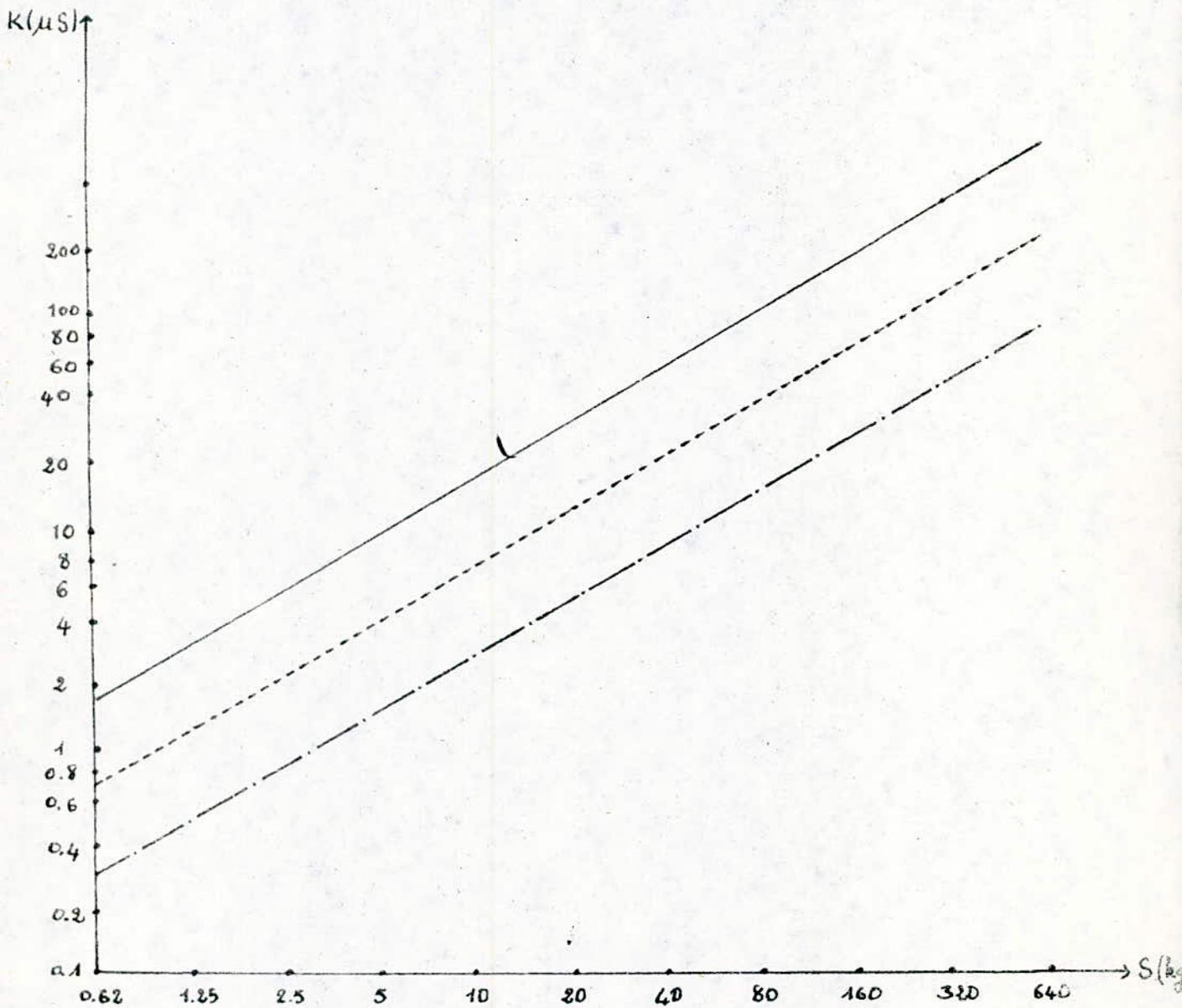


Fig 12 : Résultats des essais au laboratoire sur les échantillons d'isolateurs: conductivité superficielle en fonction de la salinité (méthode du brouillard salin).

sont préalablement déterminées au laboratoire , sont installés sur le site . Ils ont différents profils , à savoir un isolateur standard à capot et tige , un isolateur anti-brouillard et un isolateur long fût .

La conductance superficielle G est obtenue par l'application d'une tension à 50 Hz donnée ($V = 10.\sqrt{2}$ kV) pendant un temps court et à intervalles de 15 mn sur l'isolateur . On mesure alors le courant de fuite I circulant sur la surface de l'isolateur , on obtient cependant le rapport: $I/V = G$.

La conductivité superficielle est obtenue en multipliant G par le facteur de forme f qui est connu (fig 13) et qui dépend des caractéristiques géométriques de l'isolateur .

Généralement la tension est appliquée entre les électrodes situées sur les deux extrémités opposées de l'isolateur , le capot et la tige , ainsi donc , c'est une conductivité superficielle moyenne pour l'isolateur entier qui est mesurée .

2.2 Détermination de la sévérité de pollution

La sévérité de pollution du site de Marsat-El-Hadjadj sera donc évaluée grâce au degré de salinité du dépôt de pollution sur les isolateurs en essai . Ainsi les valeurs de conductance superficielle obtenues dans la station, donnent les valeurs correspondantes de salinité en kg/m^3 de sel grâce aux courbes de la figure (12) .

2.3 Mode d'enregistrement et de fonctionnement de l'appareillage

Il est destiné à faire la mesure de la conductance superficielle d'où la conductivité superficielle (car les facteurs de forme des isolateurs en essai sont connus ; (fig 13)) pour pouvoir ensuite déterminer le degré de sévérité de la région d'Arzew .

L'appareil donne la mesure en impulsions (ou bits) qui correspondent à des mA qui sont convertis en μS par le graphe de la figure (14) .

L'appareil distingue deux niveaux de pollution qui sont :

- 1^o niveau : 0 à 7 μS qui correspondent à : 0 à 700 impulsions ;
- 2^o niveau : de 7 à 70 μS correspondant à: 700 à 1400 impulsions

Echelle A

Echelle B

(kΩ)

(kΩ)

RELATION ENTRE LA RESISTANCE DE L'ISOLATEUR ET LE COURANT DE FUITE

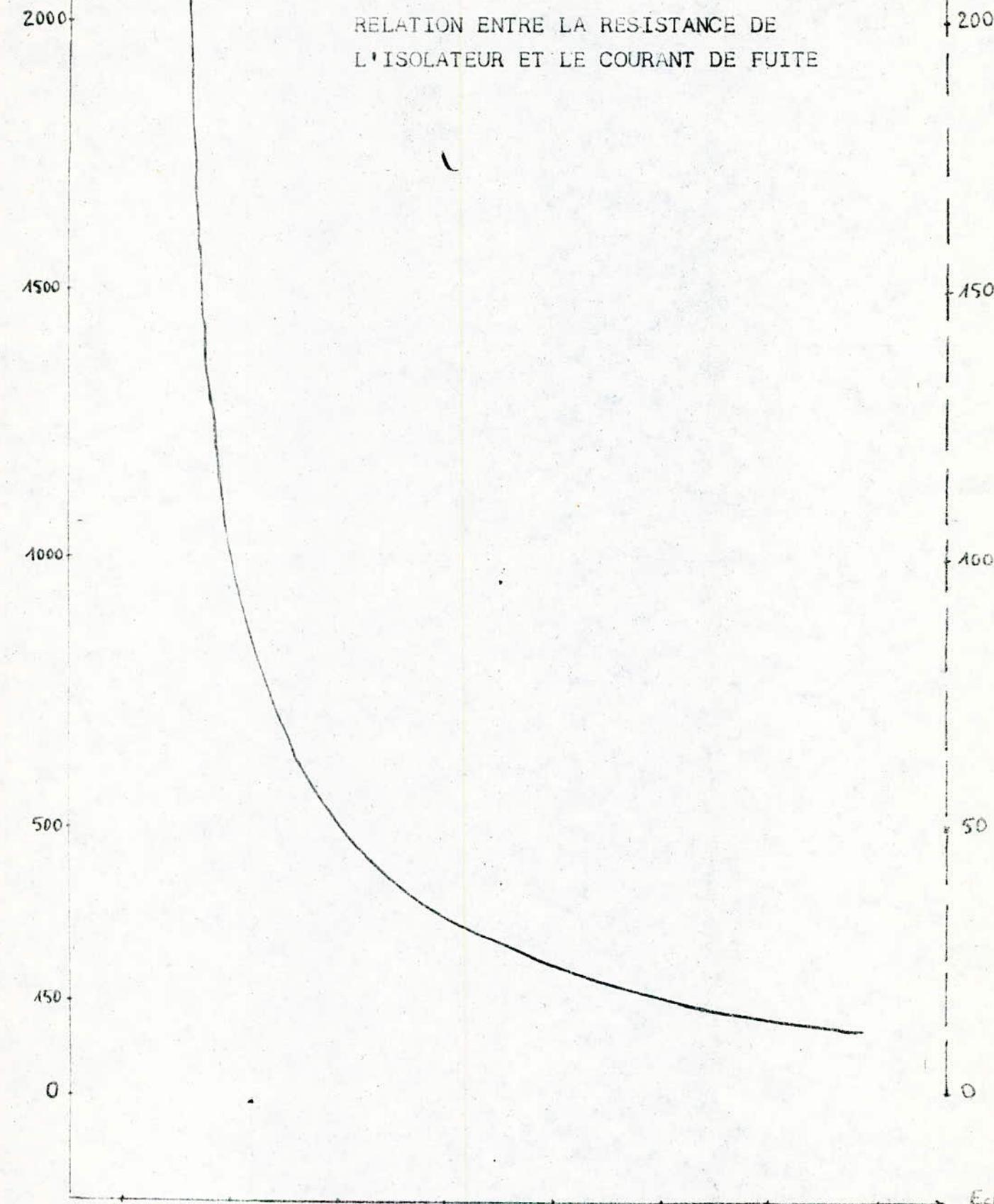


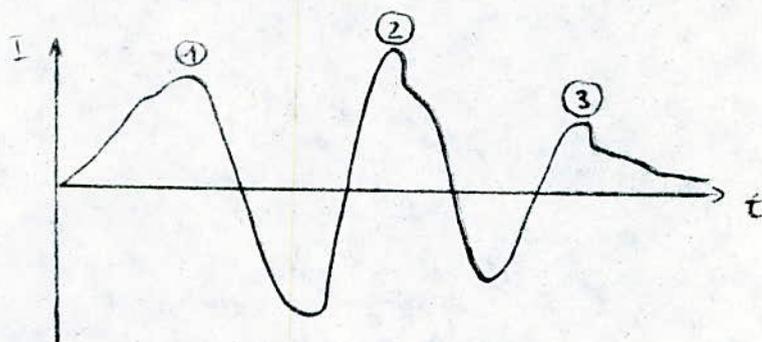
Fig 14

	Echelle A							
	100	200	300	400	500	600	700	bits
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	μS
	10	20	30	40	50	60	70	mA
	-----							Echelle B
770	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	bits
(7)	(10)	(20)	(30)	(40)	(50)	(60)	(70)	μS
	(100)	(200)	(300)	(400)	(500)	(600)	(700)	mA.

Le premier niveau représente le début de pollution de moindre importance, tandis que le deuxième seuil, lui, représente le degré de pollution le plus important.

Le passage d'un seuil à un autre se fait automatiquement à l'aide d'un comparateur.

* Ecotest (partie mesure) : L'appareil est chargé de faire la mesure de crête sur l'onde du courant de fuite. Le transformateur est alimenté à travers le régulateur pendant 60 ms toutes les 15 mn. La tension est donc appliquée pendant trois périodes. L'appareil est réglé de façon à ce qu'il prenne la crête du milieu (parmi les trois crêtes) afin d'éviter une erreur due au phénomène transitoire lors de la mise sous et hors tension du transformateur.



② : Crête du 2^e cycle à enregistrer

* Cassette magnétique d'enregistrement; Elle enregistre le degré de pollution à l'aide d'impulsions (données par le courant de fuite) puis elle est traitée par ordinateur c'est à dire les données enregistrées sont traitées par des programmes informatiques existants à l'ENEL /12/. La cassette a une capacité d'enregistrement de 36 jours, néanmoins elle doit être changée chaque fin de mois.

* Ecoprint (Imprimante) : son rôle est de donner sur un petit rouleau en papier métallisé : le jour, l'heure, le code de la station et de l'isolateur choisi, l'image de la tension en mV et enfin le code qui indique la présence ou l'absence de tension et de fusibles.

Exemple : 1015II111000011

où : 10 est le 10^e jour de l'année comptant 365 jours ;

15 : 15 h

- 11 : code de la station (propre à l'ENEL - Italie)
- 111 : code choisi pour les isolateurs de l'ENEL ; ceux de Marsat sont choisis comme 222
- 0000 : image de la tension en mV (la tension M.T du secondaire du transformateur , soit $10\sqrt{2}$ kV qui donne en B.T 1410 mV et ce , à l'aide d'un diviseur de tension)
- 11 : code indiquant la présence ou l'absence de la tension et des fusibles .

* Alarme sonore : Elle ne retentit que lorsque l'on passe au 2° seuil (7 à 700 us) pour nous avertir que le degré de pollution est important et qu'il faut dépolluer .

3. ISOLATEURS EN ESSAI

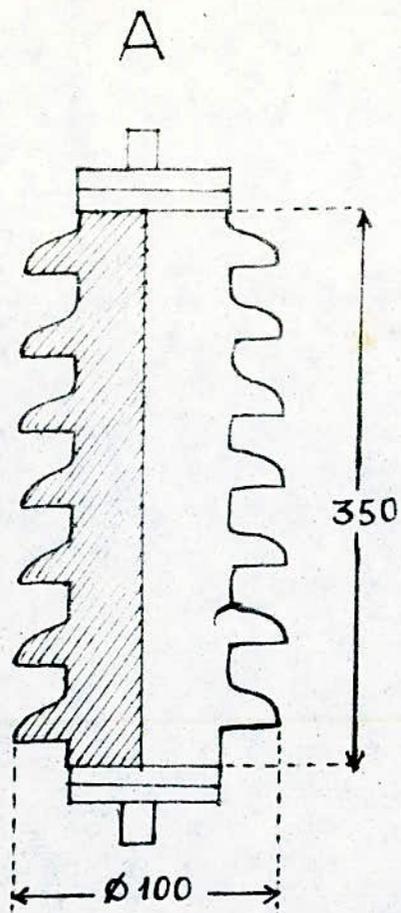
Les isolateurs en essai dans cette station ne sont pas utilisés dans le réseau Ouest de l'Algérie .

Ce sont les isolateurs de la firme Italienne ITALISOLATORI dont les caractéristiques sont préalablement connues , c'est à dire que les courbes de la conductivité superficielle en fonction de la salinité ont été déterminées au laboratoire de l'ENEL (fig 12) .

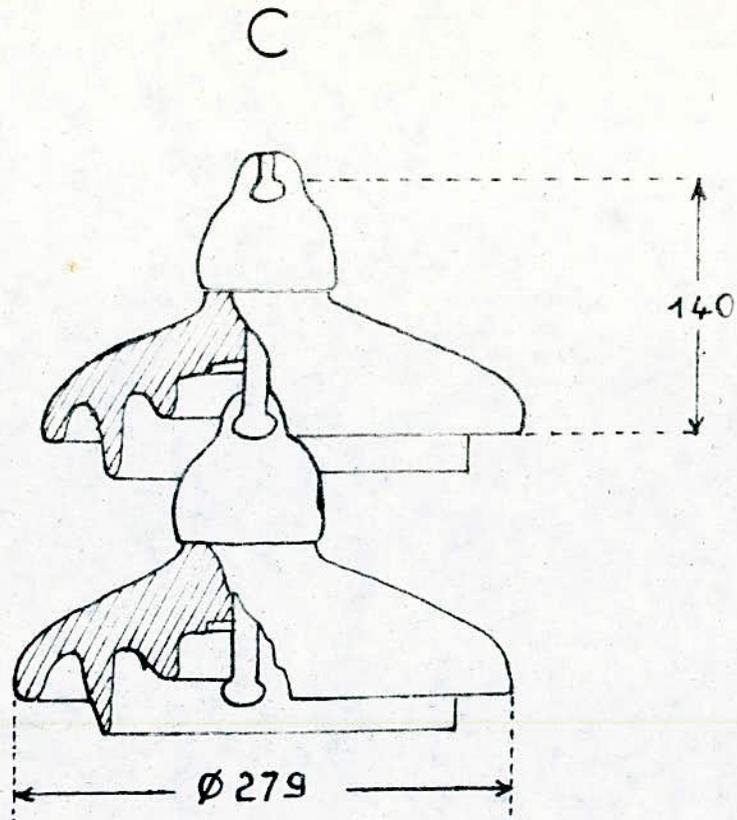
Les isolateurs utilisés sont représentés sur la figure (13) . Ils sont tous montés verticalement .

Le type A (Motor 525 M) est un isolateur suspendu en une seule pièce , il est en porcelaine .

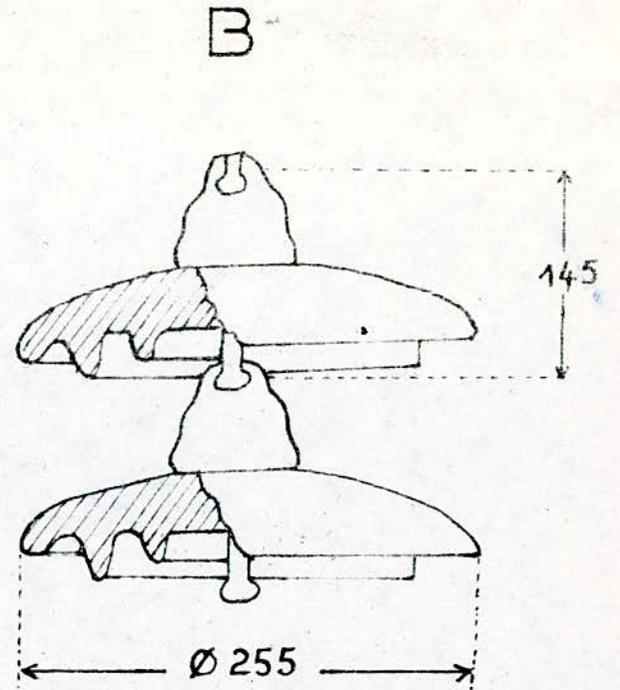
Les isolateurs B (Miva U 80) et C (Bullers 9336) sont de type à capot et tige en verre et porcelaine .



Ligne de fuite
700mm
Facteur de forme
3



Ligne de fuite
850 mm
Facteur de forme
1,9



Ligne de fuite
600 mm
Facteur de forme
1,5

4 COUCHES POLLUANTES

Divers éléments chimiques peuvent rentrer dans la constitution des couches polluantes, ces éléments peuvent être semi-conducteurs (Si ...), conducteurs (Cu ...) ou isolants (sels:Ca, K ...). Melangés entre eux et sous certaines conditions d'humidité, brouillard et rosée ... , ceux-ci acquièrent des propriétés conductrices .

Pour connaître la conductivité électrique et les propriétés chimiques des couches polluantes sur un site, des analyses quantitatives et qualitatives et une mesure de conductivité sont nécessaires .

Pour le site d'Arzew, les principaux éléments chimiques des couches polluantes et leur conductivité électrique sont donnés dans ce qui suit .

3.4 Propriétés chimiques de l'agent polluant

L'identification complète de l'agent polluant nécessite une analyse chimique très rigoureuse, mais malheureusement pour les échantillons de pollution qu'on a prélevé sur le site, seule l'analyse chimique quantitative a été faite par le laboratoire de chimie de la société nationale des recherches et exploitations minières (SONAREM), dont les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

FLT Echt	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Ti	Mn	P	S	Na	K
1	18.35	3.38	1.71	9.40	2.18	0.35	0.04	0.06	0.26	0.76	0.86
2	15.68	0.20	0.21	23.53	1.27	0.01	<0.04	0.21	0.07	0.42	0.05
3	33.18	0.94	0.63	3.86	0.55	0.01	<0.04	0.04	0.06	0.07	0.25
4	18.86	2.96	1.74	10.11	1.34	0.36	<0.04	0.16	0.12	0.23	0.23
5	25.2	2.7	1.43	7.56	1.18	0.34	<0.04	0.08	0.18	0.24	0.76

- 1 : Echantillon de terre pris au bord des marais salants de la Macta .
- 2 : Echantillon de sable prélevé sur la plage où débouchent les marais salants .
- 3 : Echantillon de pollution prélevé sur la surface des isolateurs au poste de Ain El Bya .
- 4 : Echantillon de poussière prélevé sur la surface des isolateurs au poste de Zahana .
- 5 : Echantillon de pollution prélevé sur la surface des isolateurs au poste de Marsat El Hadjadj .

4.2 Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique de cinq échantillons de pollution a été effectuée au laboratoire de pédologie de l'institut national d'agronomie (INA) .

Les résultats obtenus pour chaque échantillon sont donnés dans le tableau qui suit . L'extrait est de 1/5 (10 grs de l'échantillon dans 50 ml d'eau distillée à 25 °C) .

Echantillon	A	B	C	D	E
$\delta_{25^{\circ}\text{C}}$ (μS)	3580	3680	4080	350	12600
constatations	Salé	Salé	Salé	non Salé	Très Salé

- A : Echantillon de pollution prélevé sur une chaîne d'isolateurs de type 1512 L (poste de Marsat El Hadjadj) .
- B : Echantillon de pollution prélevé sur une chaîne d'isolateurs de type F120 P (poste de Zahana) .
- C : Echantillon de pollution prélevé sur une chaîne d'isolateurs de type NGK (poste de Marsat El Hadjadj) .
- D : Echantillon de sable prélevé sur la plage où débouchent les marais salants de la Macta .
- E : Echantillon de terre prélevé au bord des marais .

Conclusion

Les résultats sus-présentés montrent que la pollution qui sévit dans la région d'Arzew est très significative vu qu'elle est constituée essentiellement d'éléments conducteurs (Al , Fe , Ti , Mg , ...) et de sels (K , Na , Ca , ...) , ce qui est vérifié pour la conductivité électrique dont les valeurs montrent que cette pollution peut être très conductrice (12600 μ S) .

5. ANALYSE DES RESULTATS

Les données enregistrées sur la cassette magnétique sont traitées par des programmes informatiques existants à l'ENEL /12/ afin d'analyser les résultats d'essai durant trente jours .

Après avoir eu l'enregistrement sur une année ou du moins six mois /12/ au cas où les saisons sont significatives du point de vue pollution (pas de trop grandes perturbations atmosphériques par rapport à la normale) , les calculs statistiques sont alors entrepris . Et à la suite de ces dépouillements , plusieurs courbes sont tracées .

Mais étant donné que la station n'a été mise en service qu'au début de l'année 1986 , les isolateurs exposés étaient encore propres lors de s premières mesures, de plus , les pluies plus fréquentes que les années précédentes ont aidé à leur nettoyage . Ce qui a donné des courants de fuite très faibles . En principe des résultats plus significatifs apparaîtront dans quelques mois (surtout en été) .

Toutefois d'après les mesures d'impulsions faites jusqu'à présent , il a été enregistré un nombre d'impulsions plus grand entre 02 h et 07 h du matin et entre 16 h et 23 h . Le nombre d'impulsions diminuant nettement lors de l'apparition du soleil : La conductance est donc plus importante avec l'humidité du matin et de la soirée .

Ainsi , à partir du nombre d'impulsions enregistrées toutes les heures , des courbes de valeurs maximales journalières sont établies pour la conductivité K , la salinité S et le dépôt équivalent de sel SDD sur table traçante par l'ordinateur pour les trois isolateurs .

Des courbes de probabilité d'existence de conductivité , de salinité et de dépôt équivalent sont ensuite tracées ; c'est ainsi qu'il a été établi /12/ que 98% des enregistrements correspondent à une conductivité inférieure à 0,2 uS pour l'isolateur B (fig 13) 99% correspondent à une conductivité inférieure à 0,2 uS pour l'isolateur C et 100% pour l'isolateur A .

Cependant aucune conclusion ne peut être tirée , compte tenu du nombre très limité d'impulsions enregistrées , les isolateurs étant propres .

Des courbes ont été établies grâce à la cassette (du 26/01/86 au 26/02/86) /12/ donnant :

$K = f(J)$ avec K : conductance superficielle (uS)

$S = f(J)$ avec S : salinité (kg/m³)

$SDD = f(J)$ avec SDD : dépôt équivalent de sel (ug/cm²)

$P = f(K)$ avec P : probabilité d'existence de conductivité (%)

$P = f(S)$

$P = f(SDD)$

J étant le jour .

A titre d'exemple , nous donnons une de ces courbes à la figure (15) .

6. CHOIX D'ISOLATEURS

Jusqu'à présent , aucune méthode d'essai sur site ou en laboratoire n'est utilisée par la SONELGAZ pour choisir de manière efficace les isolateurs dans une région donnée .

Toutefois , une méthode empirique pour mieux distinguer les performances de différents types d'isolateurs, est utilisée ; Il s'agit du temps de tenue jusqu'à l'amorçage des chaînes d'isolateurs sur pylones de lignes de transport d'énergie .

On note la date de mise sous tension , le type d'isolateur et le nombre d'éléments d'une chaîne ainsi que le numéro du pylone et celui de la phase où est placée cette chaîne ; celle-ci ne doit être ni lavée ou nettoyée , ni surisolée jusqu'au moment de l'amorçage , on note alors la date de l'incident . Ensuite on surisole la chaîne par deux ou trois éléments et on refait l'opération après l'avoir nettoyée .

Le tableau qui suit montre les résultats /13/ des essais entrepris par la SONELGAZ sur les lignes 220 kV Marsat-El-Hadjadj - Relizane et Zahana - Marsat-El-Hadjadj :

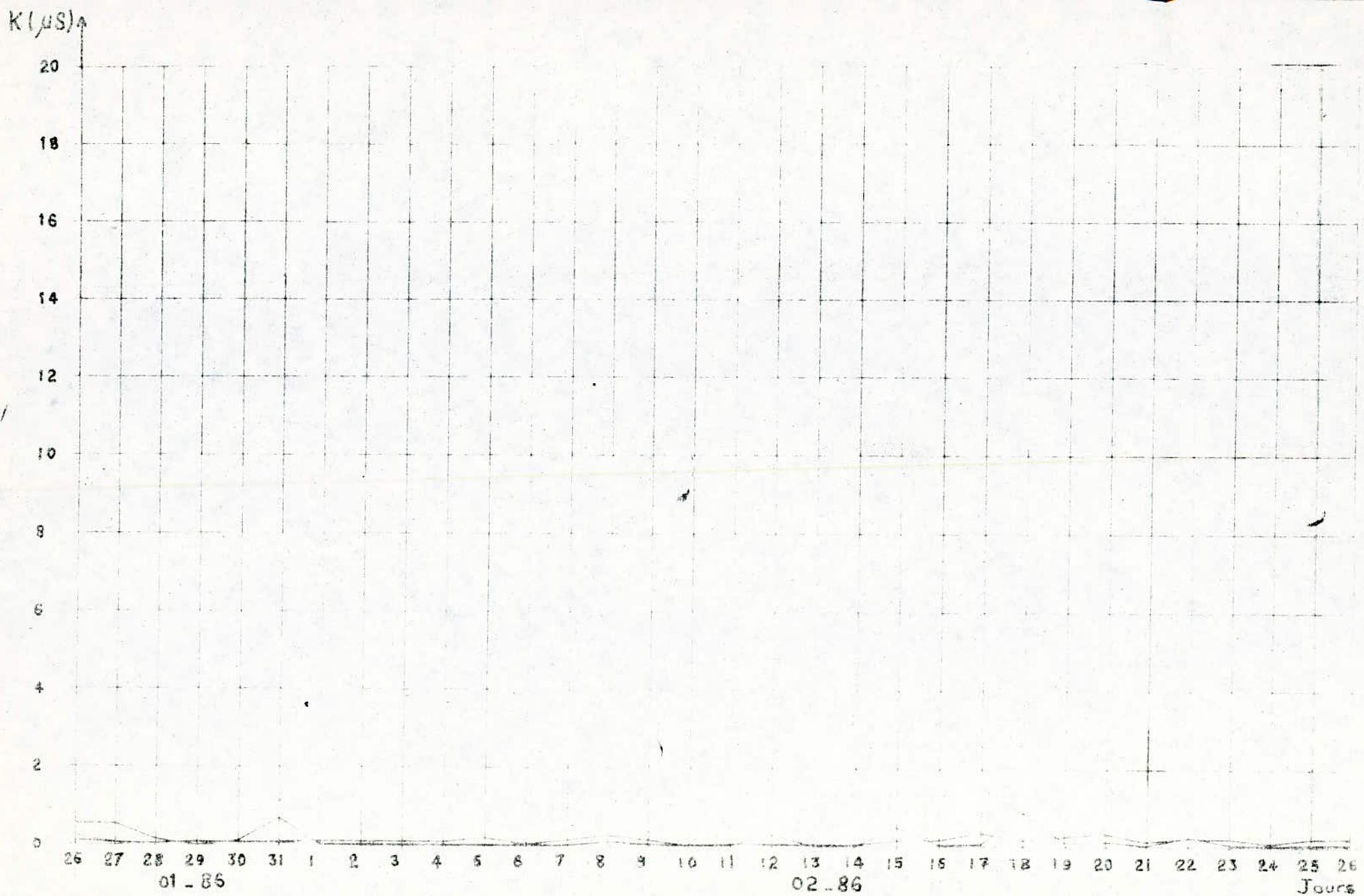


Fig. 15

VALEURS MAXIMALES JOURNALIÈRES DE LA CONDUCTIVITÉ SUPERFICIELLE
POUR LES 3 TYPES D'ISOLATEUR

Type d'isolateur	Espacement nominal (cm)	Nbre d'elts	Longueur de la ligne de fuite (cm)	Temps de tenue jusqu'à l'amorçage (mois)
F12D (plat)	228,6	18	612	30
1512 L	203,2	16	467,2	17,5
NGK	204,4	14	604,8	8,5
CTBM	208	16	448	11
F12P (cloche)	221	17	663	17

C'est ainsi que l'isolateur F 12 D a été pris comme le meilleur à répondre à la région de Marsat-El-Hadjadj .

Le F 12 D (fig 7) avec un profil extra-plat ne comportant presque pas de nervures , présente l'avantage de ne permettre qu'à une infime quantité de poussière de s'accumuler autour de la tige et sous la cloche , il possède en outre un bon facteur d'auto-nettoyage .

7. CRITIQUE DE LA STATION DE MARSAT-EL-HADJADJ

Contrairement aux stations de Pologne , reliées directement au réseau de transport et celles de l' E.D.F qui utilise un transformateur : 220 V / 33 kv ; 40 kVA , donc , relativement à notre station , est plus conforme aux normes de la C.E.I , la station de Marsat-El-Hadjadj est alimentée par un transformateur 220 V / 10 kv de faible puissance (5 kVA) , d'autre part , cette dernière n'utilise que trois échantillons d'isolateurs de types différents (un seul de chaque type) alors que les stations de la Pologne et de l'E.D.F font leurs essais sur une grande quantité d'isolateurs de plusieurs types .

En outre , les mesures de sévérité de pollution des sites de Pologne et de l'E.D.F sont effectuées par application permanente de la tension alors qu'à Marsat-El-Hadjadj , les échantillons d'isolateurs sont alimentés par intermittance (60 ms toutes les 15 mn) . Ceci diminue la validité des essais sachant que la C.E.I 507/75 recommande une alimentation permanente pendant au moins quelques minutes car le champ électrique influe sur le dépôt et la répartition de la couche polluante .

8. UTILITE ECONOMIQUE DES ESSAIS SUR SITE

La société ENEL a installé plusieurs stations d'essai en Italie et en dehors . La SONELGAZ étant un bon client en matériel électrique de l'ENEL , cette dernière proposa une station d'essai sur site à titre bénévole .

Il a été convenu entre les deux sociétés , que le traitement du matériel (cassettes , papier millimétré pour météorographe ...) et l'analyse des résultats se fera en Italie durant une période de 2 ans uniquement , au delà de cette période , la SONELGAZ devra payer pour les résultats fournis .

Certes , cette station sera d'une utilité appréciable puisqu'elle permettra dorénavant à la SONELGAZ de choisir convenablement le type d'isolateur adéquat à la région d'Arzew , mais le problème réside au niveau de l'analyse des résultats , c'est à dire que ce sera toujours l'ENEL qui choisira les isolateurs pour la SONELGAZ .

Remarquons aussi que cette station ne serait utilisable que pour les régions côtières (Brouillard salin) puisqu'elle ne tient pas compte des autres agents polluants .

CHAPITRE IV

ESSAIS AU LABORATOIRE

I ESSAIS AU LABORATOIRE DE L'U.S.T.O

Dans le cadre d'un projet de fin d'études , des essais diélectriques ont été effectués dans le laboratoire Haute Tension de l' U.S.T.O .

Ce laboratoire a été récemment mis en service et travaille en courant continu . Sa tension de service nominale est de 30 kV . Quant aux essais réalisés , ils sont semblables à ceux décrits par CLAVERIE et PORCHERON /3/ .

Il consiste à étudier la théorie du contournement par le développement de l'arc à la surface d'un matériau isolant recouvert d'un électrolyte .

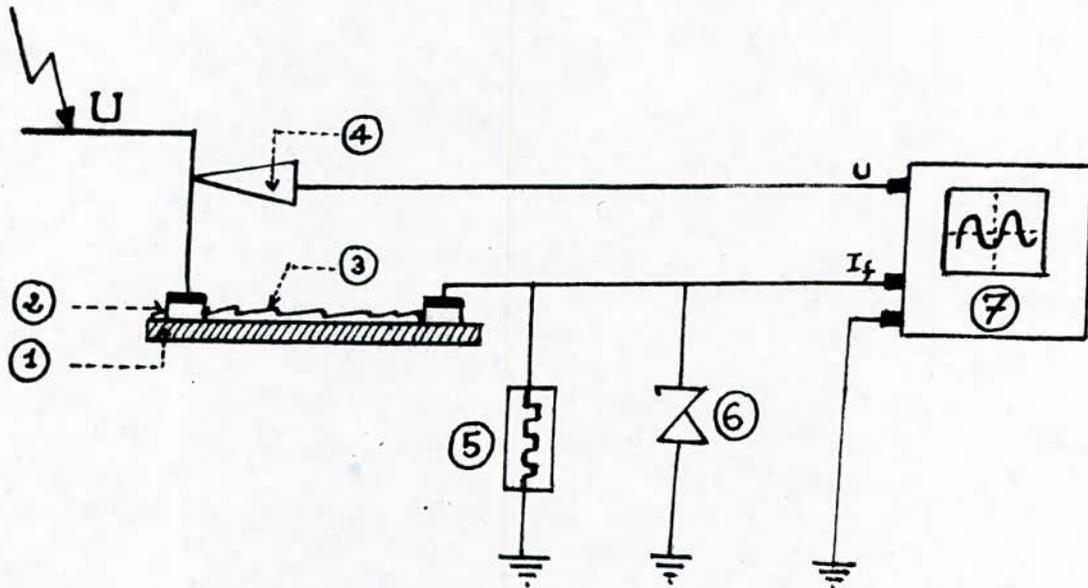
1.1 Dispositif expérimental

Il est constitué d'une plaque isolante munie de deux électrodes disposées comme indiqué sur la figure (16) . La couche polluante est réalisée en pulvérisant à la surface de la plaque une solution électrolytique plus ou moins concentrée suivant la conductivité désirée .

La tension appliquée est à courant continu constante (30 kV) . Une résistance de 7Ω insérée dans le retour de terre de la plaque permet de mesurer et de visualiser le courant de fuite à l'aide d'un oscilloscope à mémoire , la protection de dernier est assurée par une diode ZENER dimensionnée en conséquence , et dont la fonction est d'écrêter la tension dès que celle-ci dépasse une certaine valeur.

1-2 DESCRIPTION DU PHENOMENE

La tension de 30 kV est appliquée entre les électrodes de la plaque recouverte initialement d'une fine couche de la solution électrolytique, le courant croît à mesure que l'électrolyte s'échauffe. Après un temps relativement court, l'échauffement est tel que dans les régions à plus forte densité de courant, autour de l'électrode, le liquide est vaporisé et une étroite zone sèche apparaît. Dès lors la tension entre l'électrode et le bord de la zone sèche étant à peu près égale à la tension totale appliquée entre les électrodes, un claquage diélectrique se produit. L'opération est alors répétée pour différentes concentrations de la solution électrolytique.



- 1 : Plaque isolante
- 2 : Electrodes
- 3 : Couche polluante
- 4 : Sonde de haute tension
- 5 : Resistance de mesure - $R = 7\Omega$
- 6 : Diode Zener
- 7 : Oscilloscope à mémoire

Fig 16 : ~~Schéma de circuit de mesure~~

N . B : La sonde HT permet de visualiser l'image de la tension appliquée

CONCLUSION

Les essais effectués dans le laboratoire de Haute Tension de l'U.S.T.O; sont d'une grande utilité pour l'étude de la pollution des isolateurs , puisqu'ils permettent de suivre l'évolution du courant de fuite et le développement de l'arc à la surface du matériau isolant pollué .

2 ESSAIS AU LABORATOIRE DE L'E.N.P.

Le laboratoire de l'E.N.P n'est pas doté d'un dispositif qui permette de reproduire les conditions atmosphériques naturelles telles que le brouillard , la pollution , le vent ... Il n'est donc pas possible d'effectuer des essais sur des isolateurs artificiellement pollués dans ce laboratoire , pour ce , nous avons utilisé 3 chaînes d'isolateurs à capot et à tige de types différents ayant déjà servi dans l'exploitation , donc pollués naturellement .

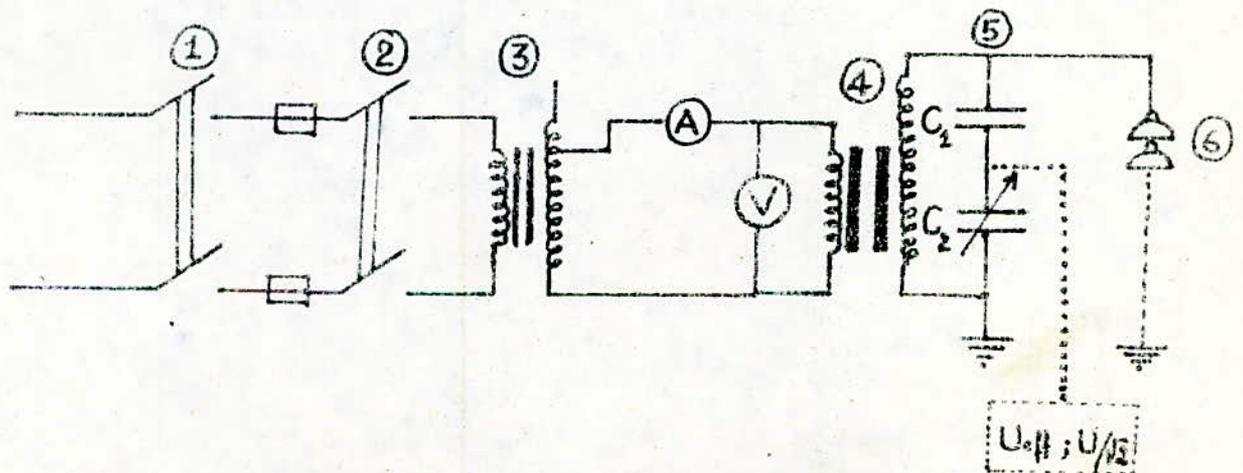
Les essais consistent à visualiser et à mesurer les courants de fuite de ces isolateurs pollués à sec puis humidifiés . Nous avons subdivisé chaque chaîne d'isolateurs en sous-chaînes de quatre éléments chacune .

2.1 Equipements du laboratoire d'essais H.T. à 50 Hz

Cette station comprend :

- Un transformateur d'essai 500/300 000 V ; 50 kVA ;
 $I_{cc} = 3 \text{ A}$.
- Un transformateur de réglage $220/(0 + 500) \text{ V}$, 50 kVA .
- Un diviseur capacitif de tension $C = 400 \text{ pF}$.
- Un pupitre de commande .
- Des appareils annexes de mesure et de protection .

Cette station a pour rôle principal de réaliser des essais diélectriques à fréquence industrielle sur le matériel à Haute Tension



- 1 : Interrupteur d'alimentation générale
- 2 : Disjoncteur à protection thermique
- 3 : Transformateur de réglage 220/500 V , 50 kVA
- 4 : Transformateur d'essai 0,5/300 kV , 50 kVA
- 5 : Diviseur capacitif
- 6 : Isolateur en essai.

Remarque : La tension d'essai doit être exempte de chutes de tension transitoires importantes pendant l'essai /6/. Les courants minima de court-circuit sont spécifiés par la C.E.I pour différents rapports Résistance/Réactance (R/X) de la source de tension .

R/X	< 0.05	0.05 ÷ 0.15	0.15 ÷ 0.3	0.3 ÷ 0.5
I _{cc} (A)	5	7	10	15

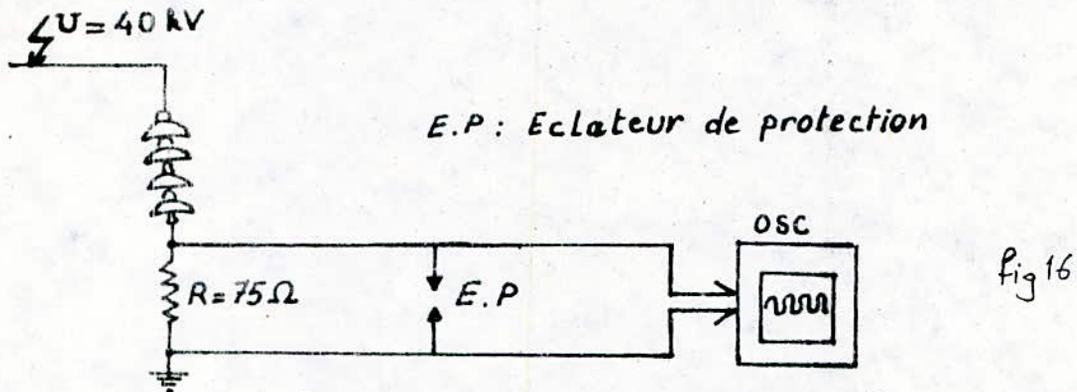
Dans tous les cas , le courant de court-circuit de la source ne doit pas être inférieur à 5 A ce qui n'est pas le cas du transformateur d'essai de l'E.N.P . Les recommandations de la C.E.I permettent en fait une chute de tension de 5 % max pendant toute la durée de l'essai .

2.2 Circuit de mesure du courant de fuite

Afin de mesurer le courant de fuite de différentes chaînes d'isolateurs , nous avons inséré dans le retour de terre de la chaîne d'isolateurs , une résistance de 75 Ω (2 x 150 Ω en //) (fig 16) . Nous avons relevé la tension aux bornes de la résistance sur l'oscilloscope à mémoire à l'aide d'un câble coaxial; donc , en réalité c'est une tension qui est visualisée .

Un éclateur à été utilisé pour protéger l'oscilloscope qui supporte une tension max de 400 V , l'éclateur s'amorçant à une tension de 230 V .

Afin d'éviter l'influence du champ électrique sur la résistance de mesure, ce qui pourrait introduire des erreurs dans la mesure des courants de fuite, celle-ci a été mise dans une boîte métallique mise à la terre, formant ainsi un écran, c'est à dire qu'à l'intérieur de la boîte, le champ électrique est nul.



Remarque : La résistance de mesure est de 75Ω , elle est donc négligeable devant la résistance totale de la chaîne d'isolateurs par conséquent n'a aucune influence sur l'intensité du courant de fuite.

2.3 Résultats des mesures

Nous avons noté les chaînes d'isolateurs suivant leur type comme suit :

- N° 1 1512 L ----- Poste de Marsat.
- N° 2 F120 P ----- Poste de Zahana
- N° 3 NGK ----- Poste de Marsat.

La tension appliquée est de 40 kV pour toutes les chaînes d'isolateurs et dans les cas humide et à sec.

Les tableaux des résultats sont les suivants :

Sous - chaîne.	1.1	1.2	1.3	
i_f (μA) pollué - Sec	51	45	55	
i_f (μA) pollué - humide	586	533	1000	

Sous - chaîne	2-1	2-2	2-3	2-4
i_f (μA) polluée à sec	45	48	48	53
i_f (μA) polluée humide	800	426	800	1000

Sous - chaîne	3-1	3-2	3-3	3-4
i_f (μA) polluée à sec	45	43	51	55
i_f (μA) polluée humide	1000	533	666	2000

2.4 Interpretation des résultats

Le tableau suivant illustre les résultats obtenus sur chaque chaîne d'isolateurs :

Isolateur	ligne de fuite (mm)	γ ($\mu S/cm$)	Valeur moyenne de i_f (μA)
1512L	292	3580	50
120P	445	3680	48,6
NGK	432	4080	48,2

D'après la valeur de la conductivité électrique des échantillons de poussière, nous constatons que l'intensité du courant de fuite devait être la plus grande pour l'isolateur NGK, et la plus faible pour l'isolateur 1512L, mais ça n'a pas été le cas ; Nous pouvons donc dire que le courant de fuite ne dépend pas uniquement de la conductivité de la couche polluante mais aussi de la forme de l'isolateur et de sa ligne de fuite .

Les valeurs des courants de fuite des isolateurs pollués et humides sont très importantes par rapport à celles des isolateurs pollués à sec , - 706 μA pour le 1512L

- 756 μA pour le 120P

- 1050 μA pour le NGK

Ceci s'explique par le fait que les gouttes d'eau qui pénètrent dans la couche polluante , dissolvent le sel jusqu'à saturation et augmentent le volume de la solution /18/ et d'ici résulte l'augmentation de la conductivité superficielle . Le courant de fuite de la surface reste constant aussi longtemps que la solution électrolytique conserve sa conductivité /18/ . Finalement , la conductance de la surface commencera à diminuer lorsque l'électrolyte commence à s'évaporer .

La progression du courant de fuite sur la surface de l'isolateur conduit à la perte d'humidité de la pollution et à la formation de zones sèches /18/. Une grande tension est concentrée dans cette zone et les décharges à travers celle-ci sont très fréquentes .

Comme on s'est intéressé à la mesure de crête de l'amplitude du courant de fuite et de telles décharges perturbent sa grandeur ,

(photo B), nous avons réduit la tension à 40 kV à laquelle l'activité des décharges n'est pas très importante .

La photo (A) reproduit l'exemple type de la forme de l'onde du courant de fuite qui, usuellement apparaît avec une paire de pics .

Il est important d'observer que la grandeur des pics apparaissant à la fois dans les cycles positif et négatif , change d'amplitude et de forme avec la variation de la conductivité de la couche, (photos
Les différences distinctes entre les courants de fuite des différents types d'isolateurs est due au fait que l'humidification ne s'est pas faite d'une façon rigoureuse , elle était effectuée à l'aide d'un pulverisateur manuel rudimentaire .

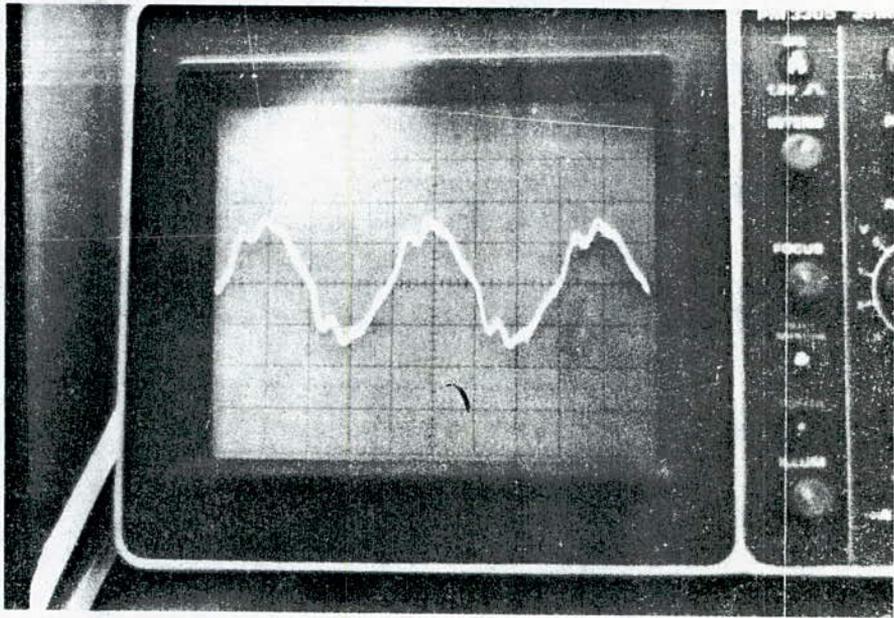


photo A : Isolateur pollué sec

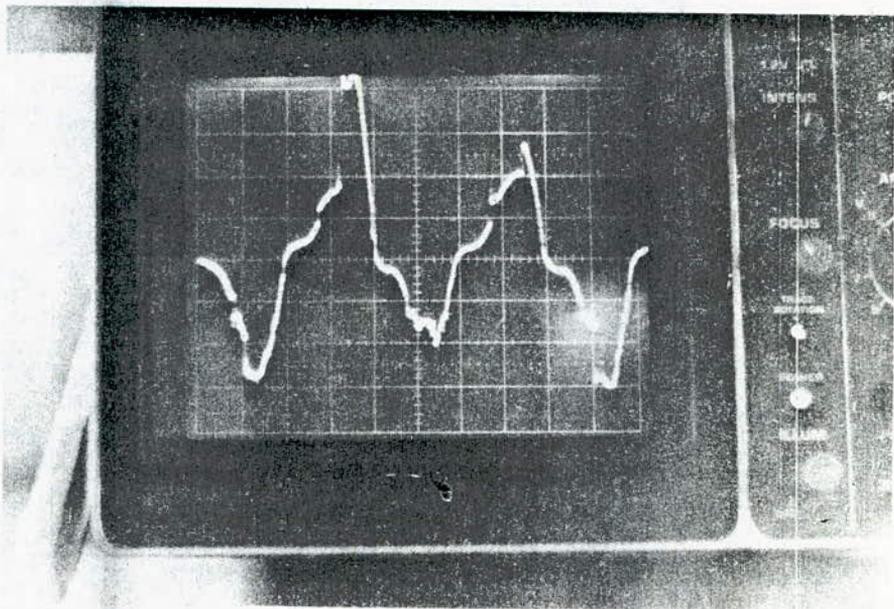


photo B : Isolateur pollué humide

Selon les résultats obtenus dans d'autres laboratoires ,on peut dire qu'il y'a une bonne relation entre le courant de fuite et la tension de contournement dans le cycle juste avant la décharge /4/ ,et elle est tres affectée par la forme de l'isolateur, la nature et la distribution de la couche polluante , la puissance de la source et la methode de application de la tension .

Avec l'élongation de l'arc , des parties de la surface polluée forment des ponts /19/ et souvent , le courant de fuite croît, cependant si le courant décroît , l'arc s'éteint .

Le développement de l'arc sur la surface polluée est très affecté par la présence des zéros de courant dans chaque moitié de cycle /19/.

Avant que l'arc partiel n'atteigne sa longueur maximale , le courant de fuite augmente avec l'élongation de l'arc partiel et tombe à zéro lors de son extinction /4/ .

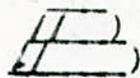
CONCLUSION

Quelque soit la pollution naturelle ou artificielle de l'isolateur, il existe une relation bien déterminée entre la tension de contournement sous pollution et le courant de fuite à la demi période juste avant le contournement, cette relation est fonction de la forme de l'isolateur, la nature et la distribution de l'agent polluant, la source de tension et la méthode d'application de celle-ci.

Le courant de fuite mesuré sous tension de service peut être utilisé pour indiquer le degré de pollution d'un site, et sa relation avec la tension de contournement sous pollution doit être déterminée au préalable.

Nous espérons que cette approche de l'étude des isolateurs pollués par la méthode du courant de fuite soit plus développée à l'avenir; Pour ceci, nous suggérons du matériel pour le laboratoire de l'E.N.P qui répondrait au mieux, aux besoins de l'élaboration de ces études et aux exigences des normes de la C.E.I.

En outre, d'autres stations d'essai doivent être installées dans de différents sites (Hauts-plateaux, Sahara ...) afin de dresser une carte de pollution à travers tout le territoire national et par conséquent, pouvoir choisir convenablement le type d'isolateur pour chaque région.



I B L I O G R A P H I E

- /1/ Belaicha & Chougui -"Contribution à l'étude de la pollution des isolateurs de H.T dans la région d'Arzew"
(Projet ENP , Janvier 1983) .
- /2/ Mekhaldi & Boudjelthia-" Contribution à l'étude des isolateurs pollués de H.T dans la région électrique de Annaba." (Projet ENP, Juin 1984) .
- /3/ Y.Porcheron & Claverie -"Les phénomènes de pollution des isolateurs et l'isolement des ouvrages en région polluées"
- /4/ Zhang Renyu , Zhu Deheng & Guan Zhicheng
"A study on the relation between the flashover voltage and the leakage current of naturally or artificially polluted insulators"(ISH 46.01-83)
- /5/ Pei Zhong & Xu cheng Dong -"Résultats d'essais et recherches sur des isolateurs naturellement pollués et leur application à la conception de l'isolation d'un réseau en région polluée " (CIGRE 33.07- 1983) .
- /6/ W.Heise , G.F.Luxa , G.Revery & M.P.Verma
"Estimation de la méthode d'essai sous pollution artificielle par couche solide" (CIGRE 33.09- 1972)
- /7/ CEI- Publication 507-1975 "Essais sous pollution artificielle des isolateurs pour haute tension destinés aux réseaux à courant alternatif".
- /8/ A.Cimador , M.Cojan , P.Hautefeuille & M.Moreau
"Méthode de dimensionnement des isolateurs de lignes aériennes en régions polluées (CIGRE 33.04 - 1978) .
- /9/ R.Kosztaluk , W.Czaplak & R. Kucharski
"Mesures de pollution ,essais d'isolateurs pollués , choix des isolateurs " (CIGRE 33.07 - 1978) .
- /10/Office National de météorologie (Oran Seddikia) .
- /11/ Mahmoud A.B El KOSHAIRY & Farouk A.M Rizk
"Comportement des isolateurs des lignes de transport à très haute tension dans des conditions de pollution désertique " (CIGRE 33.05 -1970) .
- /12/ Compte rendu de la mission effectuée par les ingénieurs de la SONELGAZ en Italie chez ENEL .

- /13/ Rapport sur la pollution ,Equipe maintenance SONELGAZ Ouest .
- /14/ Report on the design and construction of an insulator pollution measurement instrument to be supplied to "ITALISOLATORI" S.P.A and set up in Algeria "SONELGAZ" .
- /15/ Rapports mensuels d'exploitation (SONELGAZ Région Ouest) .
- /16/ R.G.Houlgate , P.J.Lambeth & Roberts
"Performances des isolateurs en milieu maritime en très haute et ultra haute tension" (CIGRE 33.01-1982).
- /18/ Abdulaziz Al Sulaiman & Iqbal Qureshi
"Effect of contamination on the leakage current of inland desert insulators" (IEEE August 1984) .
- /19/ A.Nosseir , H.Zarzoura & E.El Sharkawi
"Dynamic characteristics of propagating arcs on polluted insulators" (ISH 46.09 -1983) .
- /20/ La pollution des isolateurs Juin 1981 (SONELGAZ Région transport Algerois) .