

28/88

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

2ea

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

**METHODES D'ESSAIS
SUR DES ISOLATEURS POLLUES DANS
LES CONDITIONS DESERTIQUES**

Proposé Par :

A. BOUBEKEUR

A. MEKHALDI

Etudié par :

T. CHIKHAOUI

S. BOUAZABIA

Dirigé par :

A. BOUBEKEUR

A. MEKHALDI

PROMOTION : JUIN 1988

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : **DE GENIE ELECTRIQUE**
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

**METHODES D'ESSAIS
SUR DES ISOLATEURS POLLUES DANS
LES CONDITIONS DESERTIQUES**

Proposé Par :

**A. BOUBEKEUR
A. MEKHALDI**

Etudié par :

**T. CHIKHAOUI
S. BQUAZABIA**

Dirigé par :

**A. BOUBEKEUR
A. MEKHALDI**

PROMOTION : JUIN 1988

- DEDICACES -

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

- A la mémoire de mon père
- A ma très chère mère
- A mes frères et soeurs
- A tous mes amis

Tayeb.

- A mes parents
- A mes frère et soeurs
- A mes adorables neveux
- A mes oncles et cousins
- A tous mes amis

Slimane.

Nous dédions ce travail.

REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Ce travail a été effectué sous la direction de Messieurs A. BOUBAKEUR et A. MEKHALDI, avec qui nous avons eu tant de discussions enrichissantes ayant contribué à l'aboutissement de cette étude.

Qu'il nous soit permis de leur exprimer nos sentiments de gratitude pour le soutien qu'il nous ont apporté et la bienveillance qu'ils n'ont cessée de manifester à notre égard.

Que l'ensemble des Enseignants qui ont contribué à notre formation, veuillent trouver ici l'expression de notre reconnaissance.

Nous remercions vivement Mr. MOULAI Hocine pour son aide précieuse.

Nos remerciements sont adressés aux Responsables de l'O.N.M. pour les renseignements qu'ils nous ont fournis.

Nous remercions également les Agents des Centrales Electriques de Hassi Messaoud et Hassi R'Mel pour l'accueil qu'ils nous ont réservé et les multiples services qu'ils nous ont rendus pendant notre stage.

Nous remercions vivement Messieurs Le Président et les Membres du Jury d'examen pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce travail.

— S O M M A I R E —

INTRODUCTION 1

CHAPITRE -I- — SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE —

GENERALITES 3

I-1 Couche de pollution 4

I-2 Sévérité de pollution 4

I-3 Tension de contournement 5

I-4 Courant de fuite 5

I-5 Courant de fuite critique $-I_{max}-$ 6

I-6 Longueur critique de l'arc 6

I-7 Modèles utilisés 6

CHAPITRE -II- — IDENTIFICATION DES DEUX REGIONS —

GENERALITES 16

II-1 Situation géographique 16

II-2 Etude climatique des deux régions 17

II-3 Influence des conditions météorologiques 31

II-4 Analyse des incidents dus aux contournements 32

II-5 Types d'isolateurs utilisés 33

II-6 Caractéristiques de l'agent polluant 34

CHAPITRE -III- — ESSAIS AU LABORATOIRE DE L'E.N.P

GENERALITES 47

III-1 Equipement du laboratoire de l'E.N.P 47

III-2 Circuit de mesure 49

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

III-3 Chaines d'isolateurs prélevées 52

III-4 Méthode d'essais 55

III-5 Essais effectués 56

III-6 Interprétation 68

CONCLUSION 71

BIBLIOGRAPHIE 72

— I N T R O D U C T I O N —

S'accentuant d'année en année ,le développement industriel en Algérie incite les exploitants de la " SONELGAZ " à augmenter leur production en énergie électrique .

Dans le but de satisfaire leurs clients les plus reculés géographiquement et en vue d'interconnecter les différents réseaux du territoire national , ils procèdent alors à l'extention du réseau de transport .

Soucieux des énormes pertes que peuvent engendrer les centaines de kilomètres de lignes, ils sont contraints à augmenter de jour en jour le niveau de tension : Il atteint 220 kV aujourd'hui et il est question de passer au niveau 400 kV dans les années à venir .

L'importance des réseaux électriques , sous l'influence des manifestations climatiques irrégulières , pose de sérieux problèmes à l'exploitation quant à l'isolement des équipements électriques de haute tension .

Le choix des isolateurs , utilisés à cet effet ,se fait à l'issue d'essais sur site (sous pollution naturelle) ou au laboratoire (sous pollution artificielle) .

Les principaux types de pollution pouvant être rencontrés séparément ou combinés sont les suivants :

- _ Pollution marine .
- _ Pollution industrielle .
- _ Pollution mixte .

Il va de soi qu'une connaissance parfaite de l'influence des facteurs atmosphériques (Température , humidité relative , ...) sur le comportement des isolateurs de

haute tension se révèle , préalablement, nécessaire .

De nombreuses recherches intensives furent menées sur ce sujet dans les pays industrialisés ainsi qu'au laboratoire de l' E.N.P en collaboration avec la SONEGAS.

Dans la présente étude , un intérêt particulier est réservé au courant de fuite circulant sur la surface d'un isolateur pollué naturellement sous des conditions climatiques désertiques ainsi que de la longueur de l'arc qui s'y développe .

Notre attention fut attirée par les régions de Hassi-Messaoud et de Hassi-R'mel .

Pour cela , nous avons effectué , en collaboration avec la "SONEGAS" , un stage d'une semaine dans chacune de ces régions .

C H A P I T R E - I -

S Y N T H E S E B I B L I O G R A P H I Q U E .
----- -----

G E N E R A L I T E S :

De nombreuses recherches ont été effectuées dans le but de définir une méthode valable et convenable pour sélectionner les isolateurs à utiliser en zone polluée .

Certaines tentatives fructueuses ont été faites en vue de formuler un critère d'amorçage / 1 / et d'élaborer un modèle de laboratoire représentatif de l'isolateur sous les conditions naturelles d'exploitation .

Ces investigations nous permettent de réduire le facteur temps , toujours trop long , que nécessitent les essais effectués sur site .

Plusieurs méthodes d'essais de reproduction de la couche polluante ont été mises au point par des chercheurs dont les suivantes sont adoptées par la norme CEI 60-1 / 4 /

- _ La méthode du brouillard salin .
- _ La méthode de la méthylcellulose et du kiesselguhr .
- _ La méthode du " Cab - o - sil " .
- _ La méthode de la couche solide .

Dans ce qui suit , nous avons jugé utile d'apporter quelques définitions et propriétés des différents paramètres qui ont une influence néfaste sur le comportement des isolateurs de haute tension .

Nous nous proposons , dans la suite de ce chapitre , de faire une synthèse des

recherches antérieures sur ce sujet .

I-1/ LA COUCHE DE POLLUTION : Sa formation et sa répartition .

A la suite d'une interaction entre l'écoulement d'un air transportant de la poussière et l'obstacle formé par les isolateurs , en présence de l'humidité , une couche de poussière se développe sur leurs surfaces / 2 / .

la répartition de cette couche de pollution dépend du profil de l'isolateur , de la position de la chaîne d'isolateurs par rapport au sol (Verticale , horizontale ou inclinée) et du niveau de tension auquel est soumis cet isolateur .

En général , la couche de pollution se concentre sur les éléments de la chaîne d'isolateurs situés du côté du conducteur de haute tension dans les parties les mieux protégées contre les facteurs d'auto-nettoyage (Vent fort , pluie) .

I-2/ SEVERITE DE POLLUTION D'UN SITE .

Des études antérieures ont permis de définir la sévérité de pollution comme critère de dimensionnement des isolateurs /8/ . Le choix des isolateurs des lignes aériennes à installer dans le réseau de haute tension pourra donc se faire si la sévérité de pollution du site considéré est connue /4/ . Elle est spécifiée soit par la quantité de matière conductrice par cm^2 de surface isolante , soit par la résistivité superficielle .

I-2 -1/ Quantité équivalente de chlorure de sodium par cm^2 de surface isolante .

Cette méthode consiste à laver la surface isolante polluée ou une fraction

de cette surface à l'eau distillée qui est soigneusement recueillie et dont on mesure la résistivité /4/ .

I-2-2/ La résistivité superficielle de la surface isolante .

La résistivité superficielle de la surface isolante peut être déterminée par la mesure de la résistance de fuite entre deux électrodes de métal nu de l'objet en essai .

I-3/ TENSION DE CONTOURNEMENT .

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas au delà duquel tous les arcs joignent les deux électrodes .

D'après A. CIMADOR et M. COJAN /8/ , la tension de contournement dépend :

- De la résistivité volumique moyenne de la pollution .
- De la répartition de la couche de pollution .
- Du profil de l'isolateur .

I-4 / LE COURANT DE FUITE .

Le courant de fuite est un courant de faible amplitude circulant à travers les dépôts polluants et humectés qui se fixent à la surface de l'isolateur .

L'accroissement du courant provoque un échauffement qui fait apparaître des bandes sèches par vaporisation des zones à plus forte densité de courant .

Dès cet instant , la tension totale sera appliquée entre l'électrode et le bord de la zone sèche ; Un arc partiel s'établit alors .

Dans certains cas , la conductivité et/ou la tension sont telles que l'arc se développe jusqu'à provoquer le contournement /12/ .

I-5/ LE COURANT DE FUITE CRITIQUE (I_{max}) .

Le courant de fuite critique I_{max} est

le courant minimal nécessaire pour provoquer un contournement . Sa valeur est obtenue dans la dernière demi-période avant le contournement /3/ .

Les expériences réalisées par M.P. VERMA /6/ ont abouti aux conclusions suivantes :

Le courant I_{max} est indépendant du procédé d'essais auquel est soumis l'isolateur ainsi que de la forme de celui-ci . Par contre , il dépend du rapport entre la tension qui lui est appliquée et sa longueur de fuite .

I-6/ LONGUEUR CRITIQUE DE L'ARC .

La longueur critique de l'arc représente la longueur limite de l'arc partiel qui peut encore s 'éteindre .

D'après M.P. VERMA /6/ ; Nasser a montré que la longueur critique de cet arc est égale à environ 57% de la longueur de fuite . Issel a obtenu la valeur de 59% .

CLAVERIE et PORCHERON approchent cette valeur à 2/3 de la longueur de fuite de l'isolateur .

I-7/ MODELES UTILISES .

Les phénomènes d'arc sont tellement complexes qu' il est nécessaire de faire des hypothèses simplificatrices pour pouvoir les reproduire par un modèle mathématique .

Les deux aspects fondamentaux représentant le phénomène d'arc sur les surfaces contaminées sont :

- La formulation de la tension minimale nécessaire au maintien d'un arc partiel en série avec une couche de pollution non court-circuitée par l'arc et présentant une longueur variable .
- Le critère de propagation de l'arc sur la surface d'un isolateur contaminé et mouillé /11/ .

I-7-1/MODELES EN COURANT CONTINU .

I-7-1-1/Modèle de la couche simple .

OBENAUS considère un circuit "n" formé d'un arc de longueur "x" en série avec une résistance "R", représentant la couche de pollution humidifiée, et parcouru par un courant de fuite "i" / 11 / .

La tension d'entretien de l'arc est donnée par l'expression suivante :

$$U_{arc} = x \cdot N / i^n \dots \dots \dots (1)$$

Plusieurs travaux ont montré que : $0,45 \leq n \leq 1,3$ et $3 \leq N \leq 200$.

OBENAUS a établi, également, la tension nécessaire pour entretenir un arc de longueur "x" :

$$U_{cx} = \frac{n+1}{n} \cdot (N \cdot x \cdot R^n)^{\frac{1}{n+1}} \dots \dots \dots (2)$$

Reprenant la relation (1), NEUMARKER a fait l'hypothèse supplémentaire d'une résis-

-tance de pollution uniforme par unité de longueur de fuite et a donc posé :

$$R = \bar{r} \cdot (L - x) \quad \dots \dots \dots (3)$$

où L représente la distance de fuite .

\bar{r} représente la résistance par unité de longueur .

Il a établi alors la relation donnant la tension minimale nécessaire pour entretenir un arc de longueur "x" :

$$\frac{n \cdot N}{r} \left(\frac{Ucx}{(1+n) \cdot N \cdot L} \right)^{\frac{n+1}{n}} = \left(\frac{x}{L} \right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{x}{L} \right)^{\frac{n+1}{n}} \quad \dots \dots (4)$$

Ainsi , il aboutit à l'expression du courant de fuite critique :

$$I_c = \left(\frac{N}{r} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad \dots \dots \dots (5)$$

* Il est intéressant de noter que le courant de fuite critique est indépendant de la longueur de fuite .

Les deux chercheurs ALSTON et ZOELEDZIOWSKI /10 / utilisent un isolateur cylindrique de longueur "L" (Fig. I-1) .

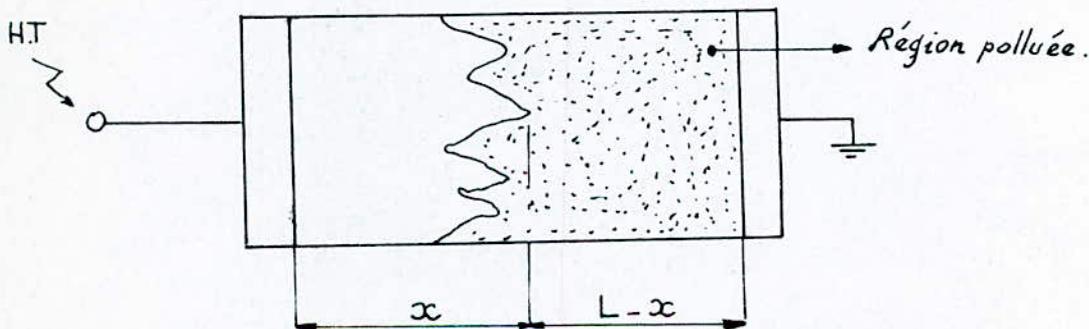


Fig . I-1 Modèle cylindrique .

En tenant compte de l'hypothèse de " NEUMARKER " (Relation 3) et pour une tension d'application dépassant quelques kV , lors de leurs essais , ils ont déterminé la condition de maintien de l'arc électrique :

$$V_m = (n+1) \cdot (A \cdot x)^{\frac{1}{n+1}} \cdot (\tau \cdot (L-x)/n)^{\frac{n}{n+1}} \dots \dots \dots (6')$$

J. DANIS /14/ utilise un modèle de forme géométrique simple (plaque ou cylindre) possédant plus d'une zone sèche (fig. I-2-a).

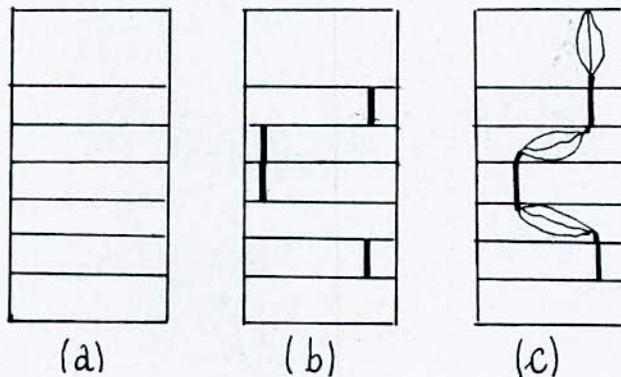


Fig. I-2 Modèle de J. DANIS .

La rupture des zones sèches survient d'une manière aléatoire (Fig.I-2-b) .

L'endroit des arcs partiels , la forme et le mouvement des racines des arcs sur une surface polluée (Fig. I-2-c) sont déterminés par plusieurs facteurs qui les affectent et dont on ne peut déterminer les effets instantanés . Par conséquent , le comportement macroscopique de ces arcs a une nature stochastique .

La tension de contournement est donc une variable aléatoire et a une fonction de distribution . Une simulation numérique des données , relevées à l'aide de photographies à grande vitesse (3000 images/Seconde) , a été utilisée pour calculer cette dernière .

Si on considère que la résistance de la couche polluante est linéaire , l'équation

qui régit ce modèle est :

$$U = A \cdot I + \beta \cdot (L-x) \cdot I \dots \dots \dots (7)$$

Avec $n < 0,5$ et $200 < A < 400$.

Cette équation n'est plus valable lorsque l'élongation de l'arc est très rapide .

I-7-2/ Critères de propagation de l'arc .

A l'issue des essais de contournement effectués sur une colonne d'eau uniforme , HAMPTON /11/ a conclu que la condition nécessaire pour que se produise le contournement est que le gradient de tension dans la colonne d'eau dépasse celui de l'arc .

HESKETH / 11 / a généralisé ce critère en formulant l'hypothèse que l'arc se modifie de façon à rendre maximal le courant de fuite qu'il tire de la source d'alimentation/ 11 / , c'est-à-dire :

$$\frac{di}{dx} > 0 \dots \dots \dots (8)$$

I-7-3/ Amélioration des modèles en courant continu .

Plusieurs tentatives ont été faites en vue d'améliorer certaines des hypothèses simplificatrices sur lesquelles se fondent les modèles ci-dessus . Elles visent à permettre d'utiliser les modèles continus pour expliquer les résultats d'essais de contournement en courant alternatif.

I-7-3-1/ Modèle de couche mixte .

OBENAU et BOEHME / 11 / ont représenté la résistance superficielle d'un isolateur à long fût par deux couches de pollution de résistances

linéiques \bar{r}_1 et \bar{r}_2 en série sur des longueurs L_1 et L_2 correspondant respectivement à la tige et aux ailettes (Fig. I-3).

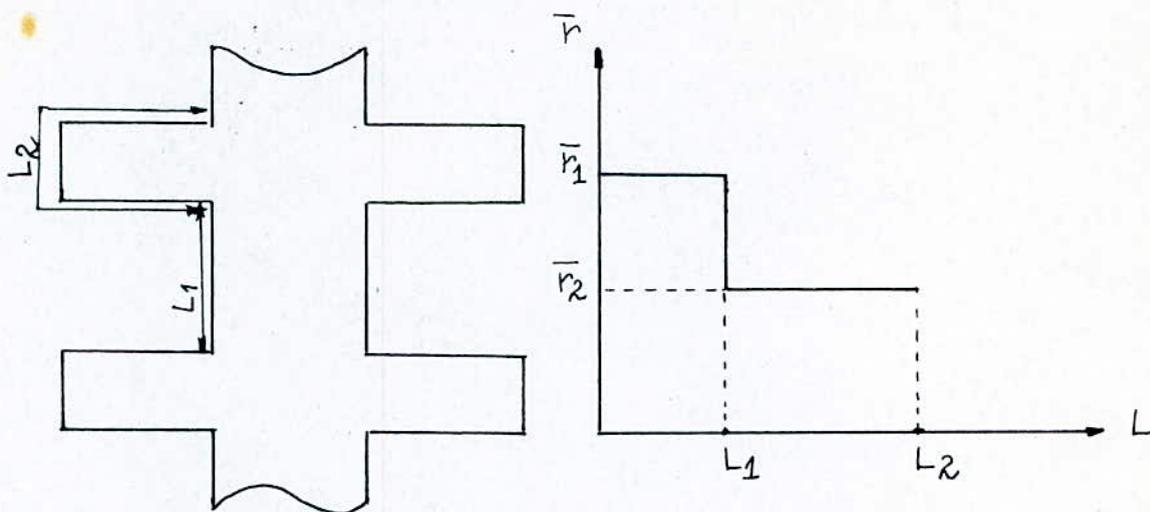


Fig. I-3 Modélé de la couche mixte .

L'application du critère d'HAMPTON (Voir chap.I-7-2) leur a permis de déduire la relation ci-dessous donnant le gradient de contournement critique :

$$\frac{U_c}{L} = 0,8 \cdot \sqrt{N \cdot \bar{r}_1} \dots \dots \dots (9)$$

* Pour $N=80$ VA/cm , le modèle concorde bien avec les résultats d'essais obtenus en régime alternatif pour les couches polluantes de faible résistivité .

I-7-3-2/ Modèle du disque circulaire .

WODSON et Mc ELROY / 11 / ont essayé de reproduire d'une façon idéale la surface d'un isolateur par une configuration géométrique circulaire (Fig. I-4) .

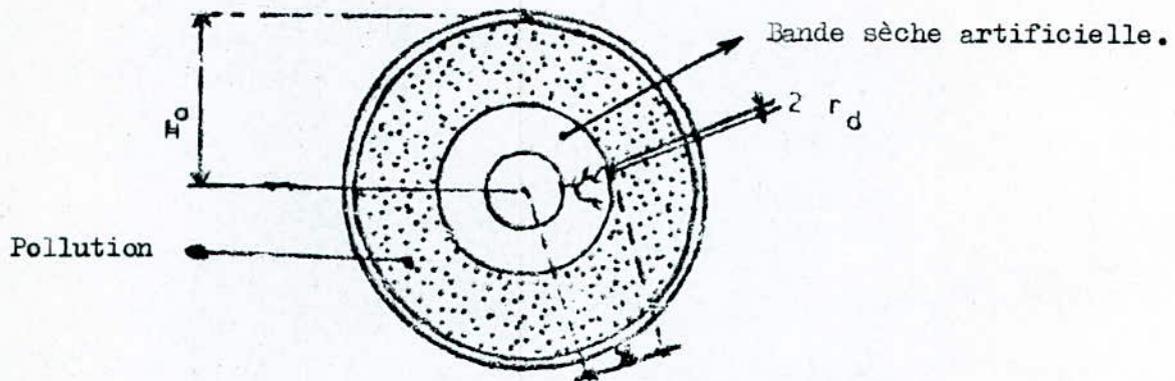


Fig. I-4 Modèle du disque circulaire .

Ce modèle n'a pas donné de résultats satisfaisants . Les auteurs ont imputé cet état de fait à la non uniformité de résistivité superficielle sur l'isolateur .

I-7-4 / MODELES EN COURANT ALTERNATIF .

I-7-4-1/ Modèles théoriques .

En courant alternatif , l'arc électrique s'éteint à chaque fois que la tension appliquée s'annule . Le réallumage de l'arc se fait par rupture diélectrique ou par rupture de l'équilibre énergétique . La dernière se présente lorsque l'espace où se maintient l'arc résiduel ne parvient plus à dissiper de l'énergie injectée dans la couche et la première se manifeste bien plus tard , après la perte de la résistivité électrique de l'espace résiduel .

Plusieurs modèles de réallumage par rupture énergétique et par rupture diélectrique furent élaborés par M. AIKAPOR , MAYR , BROWNE , RIZK et MAEEKER .

Les résultats des mesures effectuées ont montré que le modèle à rupture diélectrique est plus représentatif /11/ .

I-7-4-2/ Modèles expérimentaux .

HURLEY et LINBOURN /11/ ont fondé leur modèle sur la relation empirique ci-dessous donnant la tension minimale nécessaire pour entretenir un arc alternatif :

$$U_{cx} = \text{Constante} \cdot X^{2/3} \cdot R^{1/3} \dots \dots \dots (10)$$

La tension critique de contournement est liée à la longueur d'arc minimale "La" et que , par la suite on a :

$$U_c = \text{Constante} \cdot r^{1/3} \cdot L_a^{2/3} \cdot L^{1/3} \dots \dots \dots (11)$$

CLAVERIE et PORCHERON /3/ ont utilisé un modèle plan (Fig. I-5) . La tension d'entretien d'un arc de longueur "x" est donnée par l'expression approchée suivante :

$$U_{cx} = \frac{940 \cdot X}{\sqrt{I}} \dots \dots \dots (12)$$

Après modifications , faites par leur soin, cette expression est devenue :

$$U_{cx} = \frac{800 \cdot X}{\sqrt{I}} \dots \dots \dots (13)$$

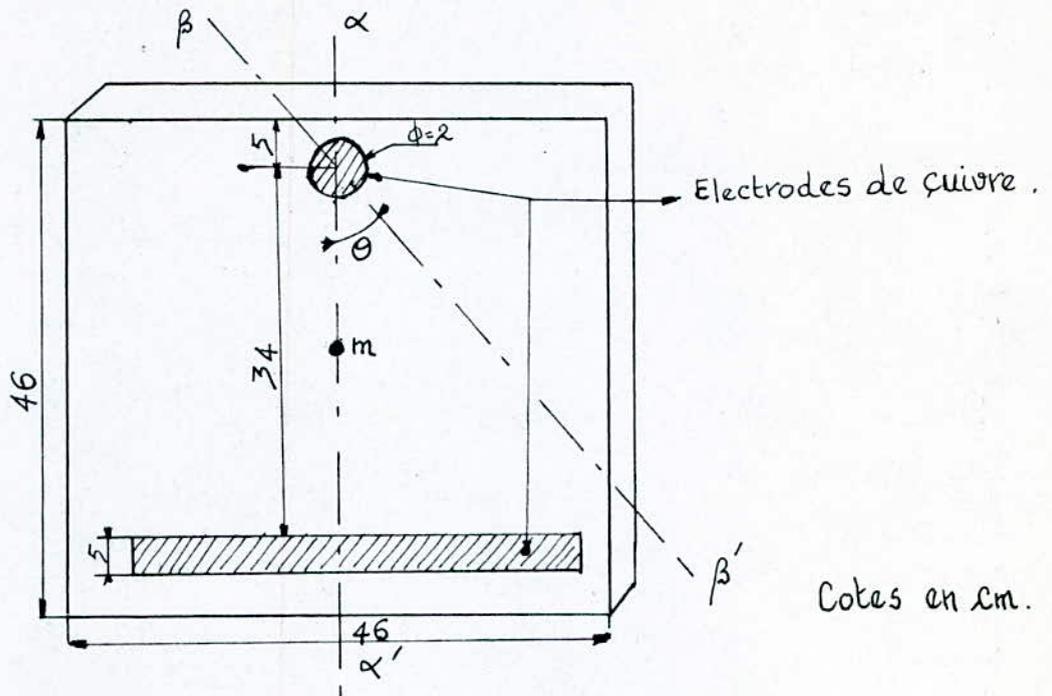


Fig. I-5 Modèle plan .

EL KOSHAIRI / 13 / a utilisé des isolateurs de lignes aériennes et leur a appliqué les trois méthodes d'essais suivantes :

a) La chaîne d'isolateurs pollués , alors hors tension , est soumise à une fine pulvérisation d'eau distillée . Toutes les deux minutes , durant l'humidification , on mesure la résistance d'un isolateur de la chaîne . On détermine alors l'instant à partir duquel l'humidification est maximale . Une fois , cette condition remplie , la tension est appliquée et est augmentée de sorte que le contournement se produise dans les quinze secondes qui suivent .

b) La chaîne d'isolateurs pollués , alors sèche , est soumise à une tension représentant 50% de sa tension spécifiée d'amorçage .

Une minute après , on réalise l'humidification maximale . On augmente , ensuite ,

la tension d'applicatin de sorte que le contournement se produise dans les dix secondes qui suivent cette opération .

c) La chaine d'isolateurs pollués , alors sèche et hors tension , est humidifiée au moyen d'un brouillard de vapeur d'eau distillée . L'instant du maximum d'humidification est déterminé par la mesure du courant de fuite sur un isolateur soumis à une faible tension . Lorsque le maximum est atteint , on applique la tension et on l'augmente de sorte que le contournement se produise dans les quinze secondes qui suivent .

J. KELLER /13 / effectue des essais dans une station d'essais de plein air mise sous tension .

Afin de'évaluer les résultats de l'expérience , une méthode d'essais de laboratoire fut développée . Elle consiste à asperger des isolateurs propres avec une suspension contenant de l'eau , du kieselguhr , de l'aérosil et sel en quantité telle qu'on atteint la conductivité déjà mesurée sur site . Les isolateurs tournent pendant l'aspersion et la période consécutive de séchage .

Après le séchage , la chaine d'isolateurs est humidifiée sous une tension appliquée constante dans une chabre à brouillard .

Les résultats sont présentés sous forme de distances spécifiques de cheminement pour différents types d'isolateurs .

En outre , quelques chaines d'isolateurs graissés au silicone ont été essayées.

Des contournements ont eu lieu quatre années après .

C H A P I T R E -II-

I D E N T I F I C A T I O N D E S R E G I O N S E T U D I E E S

GENERALITES

Les conditions climatiques telles que la pluie , le brouillard , l'éva-
-poration et la précipitation influent d'une manière intensive sur le comportement
des isolateurs de haute tension du type extérieur .

Ces facteurs ont pour conséquences soit le nettoyage des isolateurs (Vent fort ,
averses de pluie) ou bien l'augmentation de la conductivité superficielle des
couches polluantes après leur humidification (Brouillard , humidité relative) ,
Dans ce chapitre , seront donnés les renseignements géographiques de la région ,
les caractéristiques extrêmes des facteurs climatiques et les statistiques sur les
incidents dûs aux contournements .

Pour cela , nous utiliserons les statistiques des services de l'Office National
de la Météorologie et celles des services "Exploitation" de la "Sonelgaz" (Hassi-
R'mel et Hassi-Messaoud) .

II-1: SITUATION GEOGRAPHIQUE

Selon les conditions climatiques sévissant dans la région
étudiée , nous avons scindé cette dernière en deux parties distinctes (Fig II-1) .

- La région de Hassi-Messaoud: Constituée de quatre (04) zones .

- Hassi-Messaoud
- Ouargla
- Touggourt
- El Oued

- La région de Hassi-R'mel : Constituée de six (06) zones .

- Hassi R'mel
- Laghouat
- Ghardaia
- Djelfa
- M'sila
- Bou-Saâda

II-1-1/ Région de Hassi-Messaoud

Elle se situe à 31,41° Nord de latitude , 06,9° Est de longitude et 142 m d'altitude dans la région septentrionale orientale à la limite Nord-Ouest du grand erg oriental .

Le sol ^{dans} cette région , est composé de sable argileux dans les points bas et d'un mélange de sable et d'éclats de roches dures de couleur blanche sur les hauteurs .

II-1-2/ Région de Hassi R'mel

Elle se situe à 32,8° Nord de latitude , 03,5° Est de longitude et 750 m d'altitude dans la zone saharienne désertique .

Elle est absolument plate , sans oasis ni aucune trace de verdure .

Le sol , dans cette région , est composé de blocs de calcaire mélangé avec du sable .

La présence de couche de gypse est possible /12 / .

Les deux régions sont des zones de forte concentration industrielle telle que les usines G.P.L. La présence de torchères influe considérablement sur les équipements électriques .

II-2 / ETUDE CLIMATIQUE DES DEUX REGIONS

II-2-1 / Région de Hassi-Messaoud

II-2-1-1/ Humidité

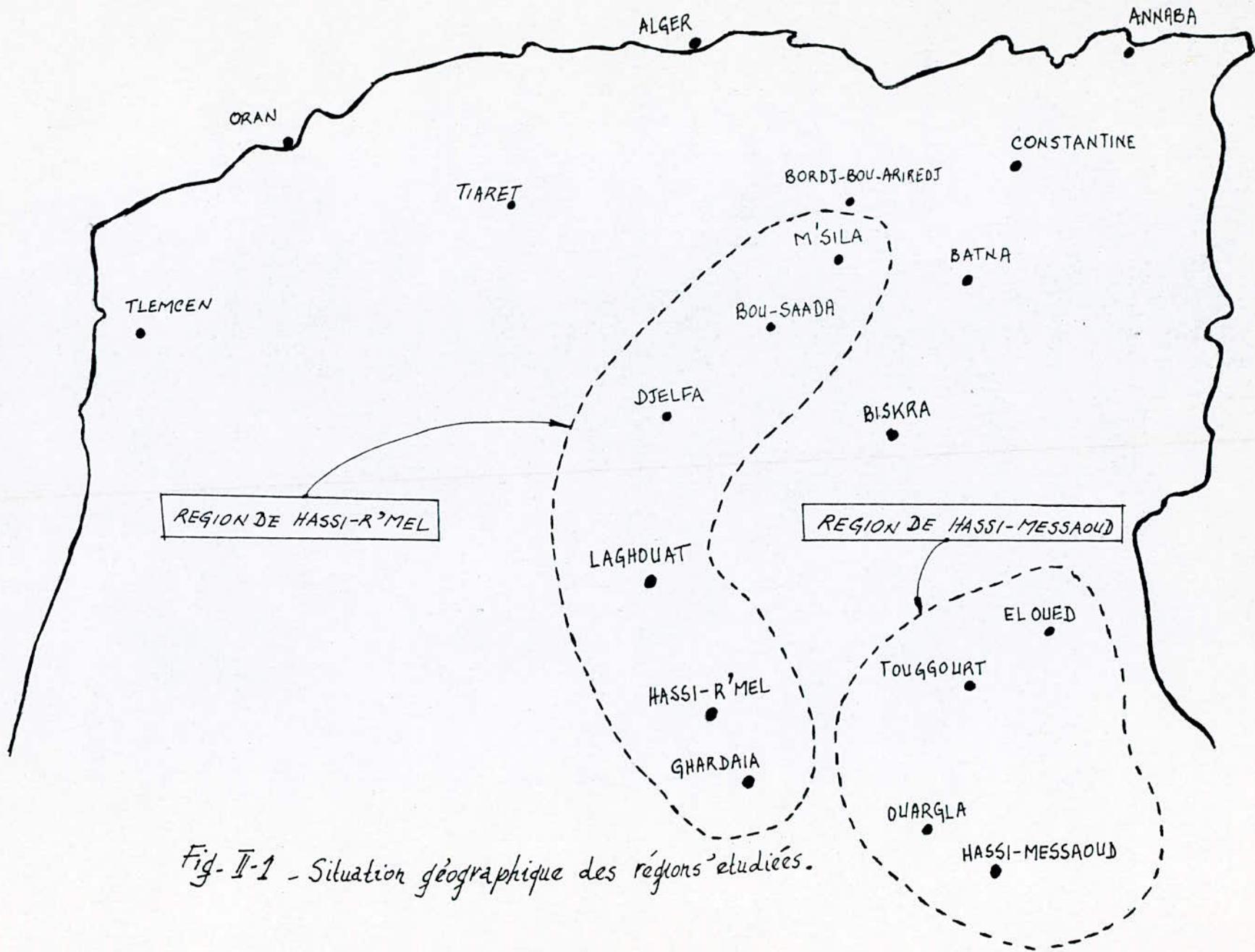


Fig- II-1 - Situation géographique des régions étudiées.

En général , l'humidité suit la nébulosité donc elle suit la latitude et l'altitude. Dans cette région, elle varie entre les moyennes de 23% et 57% respectivement aux mois de juillet et décembre (Fig. II-1-1) . La valeur maximale de 100% est atteinte entre les mois de novembre et juillet , la valeur minimale est de 9% .

Dans la zone d'El Oued , la valeur moyenne annuelle de l'humidité relative est de 47% , elle est accentuée pendant les mois de janvier et décembre (Fig. II-2) . Elle atteint souvent les 60% /12/ .

II-2-1-2/ Précipitations pluviales .:

Les fortes pluies permettent de nettoyer les surfaces polluées des isolateurs . Leur rareté , entre autres , dans cette région , explique l'existence du phénomène de contournement .

La hauteur moyenne mensuelle de précipitations est de 4,7mm à El Oued et elle atteint un maximum de 18 mm au mois de novembre pour la période de 1985 à 1987 (F ig. II-2).

A Hassi-Messaoud , la hauteur moyenne mensuelle pour la même période est de 1,9mm , le maximum atteint est de 13mm pendant le mois de mars .

II-2-1-3/ Précipitations occultes

Dans la région de Hassi-Messaoud , ont lieu des phénomènes de rosée , de gelée blanche (Couche mince d'origine atmosphérique condensée : sur ou près du sol) et du brouillard .

La moyenne mensuelle de jours de rosée est de 2 jours à Hassi-Messaoud et de 3 jours à El Oued . Le maximum de jours de rosée par mois atteint est de 17 jours à El oued au mois de décembre et de 11 jours à Hassi-Messaoud (Périodes 72:74 et 85:87) (Tableau II-A) .

La rosée peut être observée en hiver durant la nuit jusqu'au levé du soleil. Il en

est de même pour la gelée blanche qui se manifeste en décembre et janvier entre 5h et 6h du matin .

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PERIODE
ROSEE (valeur moyenne)	HASSI- MESSAOU	5,1	2,4	2,4	x	x	0	0	x	x	1,9	4,3	5,6	72:74 et 85:87
	EL OUED	3,5	1,7	4,7	1	0	0	x	1,7	3,3	7	3,7	13,3	85:87
BROUILLARD (Moyenne mensuelle)	HASSI- MESSAOU	x	x	0	x	0	0	0	x	0	x	x	1	60:69 et 85:87

X: Fréquence < 0,5.

Tableau II-A Moyenne mensuelle de jours de rosée .

La fréquence annuelle moyenne d'apparition du brouillard , de rosée et de gelée blanche dans cette région , est de l'ordre de 01 jour de brouillard , 03 jours de rosée et de 01 jour de gelée blanche .

II-2-1-4/ Orages

Le nombre d'orages est restreint , ils surviennent surtout au début de l'hiver et parfois au début de l'été et sont généralement accompagnés de chutes de grêle . A Hassi-Messaoud , on compte en moyenne 04 jours d'orages par an . Par contre à Ouargla , ce nombre est de 05 jours (Périodes 1960:1969 et 1975:1982) / 12 / .

II-2-1-5 / Vents

Suivant la région , le vent varie en force et en direction : C'est un facteur prépondérant dans la pollution des isolateurs , car il transporte une quantité importante de particules de sable à des hauteurs très élevées .

A Hassi-Messaoud , le vent a atteint la vitesse de 46 m/s. en janvier 1974 .

On compte en moyenne 5 vents par mois de vitesse supérieure à 16 m/s. (Période 85:87).
Les moyennes de 18 jours de tempêtes de sable et 53 brumes de sable ont été comptabilisés durant la même période .

II-2-1-6/ Température

La température joue un rôle très important dans le comportement des isolateurs de haute tension. Contrairement à la haute température qui sèche la couche polluante donc elle augmente la résistance superficielle de celle-ci , la basse température humidifie la couche polluante , favorisant ainsi le contournement de la chaîne d'isolateurs .

Dans la région de Hassi-Messaoud , la température varie entre -3°C et 47°C (Périodes 60:69 , 72:81 et 85:87).

A El Oued , elle varie entre $-1,3^{\circ}\text{C}$ et 47°C .

II-2-1-7 / Evaporation

L'évaporation suit la température . A Hassi-Messaoud , l'évaporation est très intense . On compte une moyenne de 271 mm par mois . Cette moyenne varie entre 125 mm et 445 mm (Période 85:87) .

La plus grande valeur enregistrée est de 647 mm en juillet 1977 / 12 / .

II-2-2 / Région de Hassi-R'mel

II-2-2-1/ Humidité A Hassi R'mel, La valeur moyenne de l'humidité relative est de 37% (Période 1973:1974) . La valeur maximale moyenne est de 47,33% et la valeur minimale est de 30,5% .

Les valeurs absolues atteignent un maximum de 80% et un minimum de 18% .

A Ghardaia , la valeur moyenne annuelle de l'humidité relative est de 37% (Période 85:87).

Elle varie entre 22% (Mois de juillet et août) et 57,7% (Mois de décembre) .

A Djelfa , cette humidité varie entre 32% et 78% . Sa valeur moyenne annuelle est de 54% (Période 85:87) .

II-2-2-2/ Précipitations pluviales

Dans cette région , la zone la plus pluvieuse est: Djelfa avec une moyenne mensuelle de 30,2 mm et un maximum de 80, mm au mois de décembre (Période 85:87), (Fig. II-3) .

A Gardaia , on compte une moyenne mensuelle de 5 mm (Tableau II-B)

Régions \ Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
GHARDAIA	47	34	42	71	20	12	5	2	5	32	47	34
DJELFA	58,5	46,9	75,1	22,7	59,4	21,8	41,4	11,8	39,6	34,9	80,5	51,9
M'SILA	34,3	25,7	21	8,3	24	9,3	2,7	2,1	10,7	32	38,7	30,3
BOU-SAADA	12	2,7	16,3	0,7	13,3	11,3	2,3	4,3	6,8	30,7	13,3	3,7

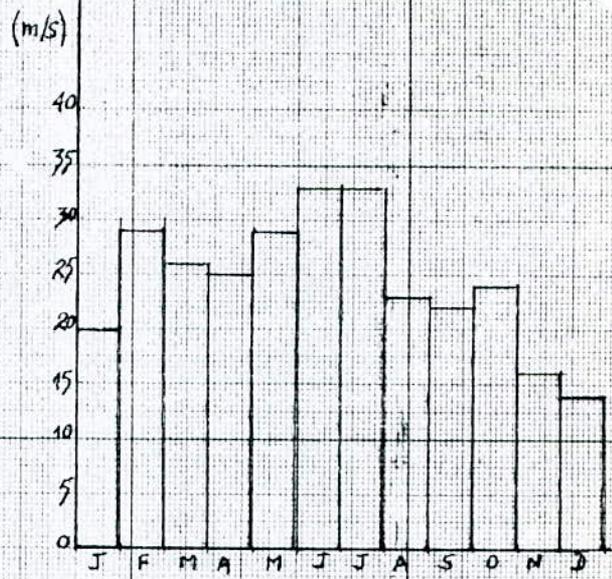
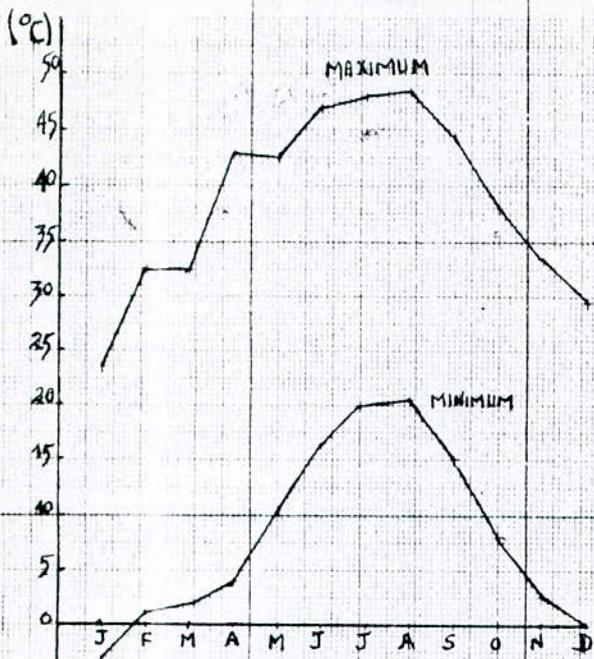
Tableau II-B Hauteurs maximales des précipitations (en mm)

II-2-2-3/ Précipitations occultes

Le phénomène de rosée apparait le plus souvent dans la zone de Ghardaia avec une moyenne de 6 jours par mois (Période 85:87) . Dans les autres zones , cette moyenne n'atteint pas 1 jour par mois pour la même période .

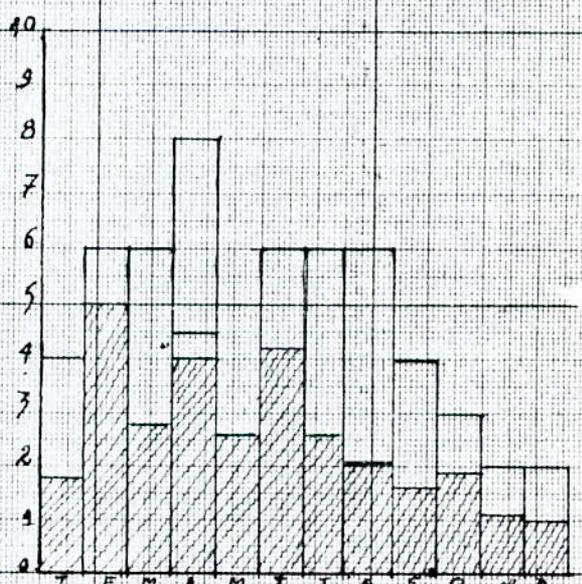
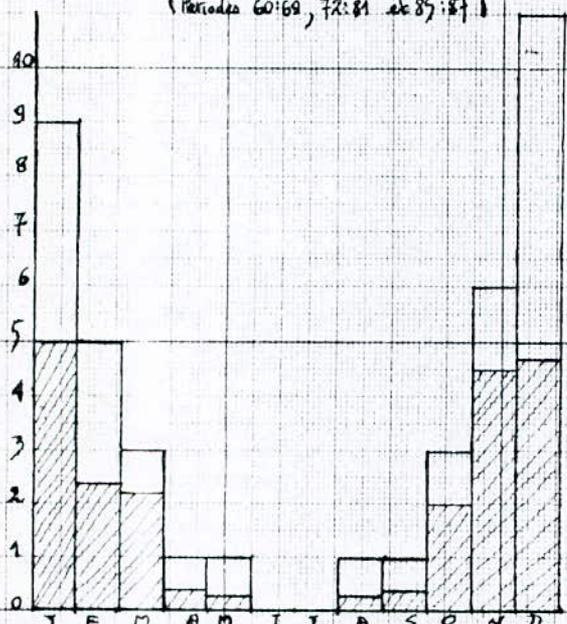
Le brouillard est très rare . Il apparait le plus souvent sur la région de Djelfa avec une moyenne annuelle de 6 jours .

Le givre , le brouillard et le verglas sont exceptionnels alors que la neige ne se manifeste qu'à Djelfa .



(a) TEMPERATURES ABSOLUES MENSUELLES (Périodes 60:69, 72:81 et 85:87)

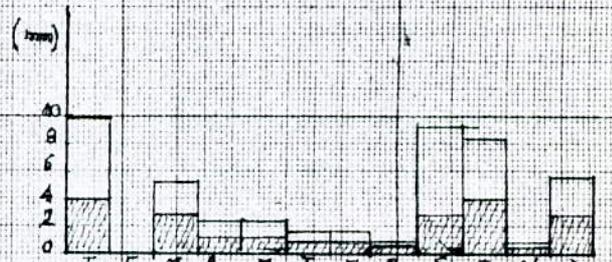
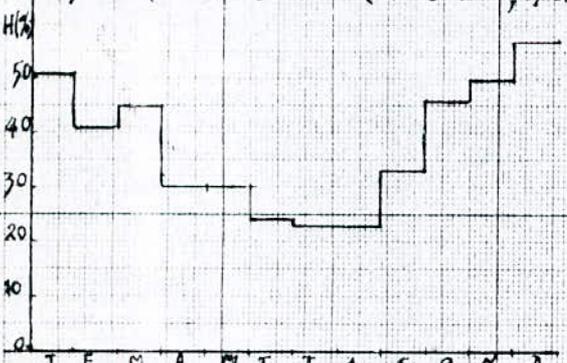
(d) VITESSES MAXIMALES DU VENT (Période 85:87)



(b) NOMBRE DE JOURS DE ROSEE (Périodes 72:81, 85:87)

(e) NOMBRE DE JOURS DE VENT DE SABLE (Périodes 74, 82, 85:87)

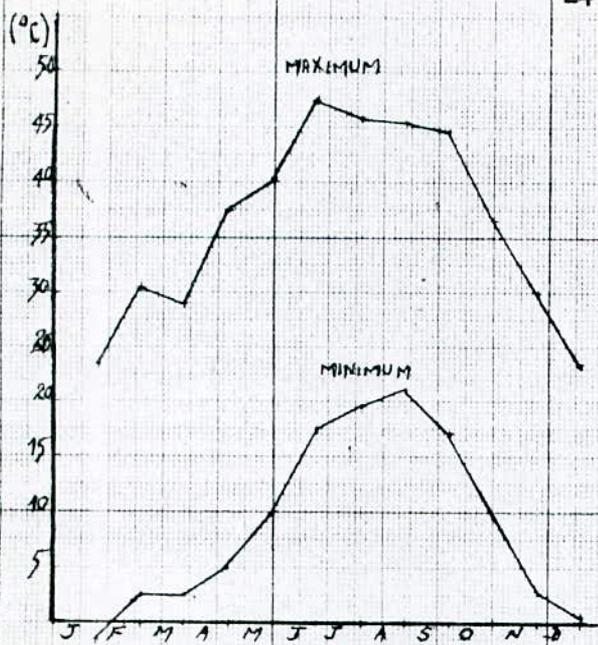
NBRE MAXIMAL
NBRE MOYEN



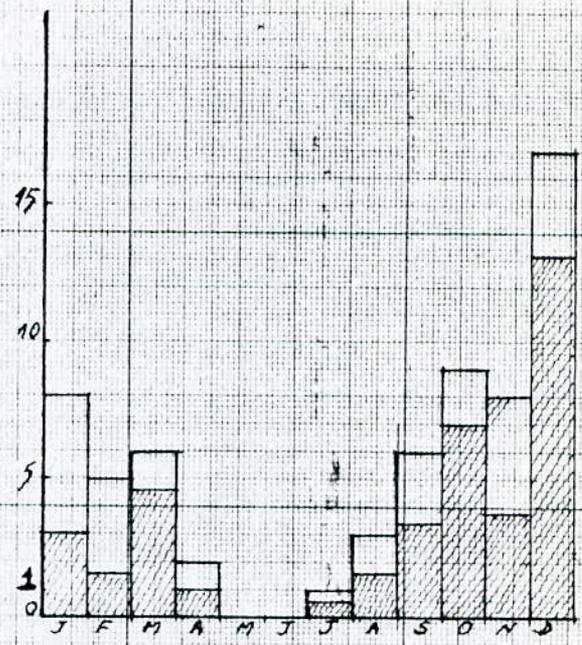
(c) HUMIDITE RELATIVE MOYENNE (Période 85:87)

(f) PRECIPITATION MOYENNE MENSUELLE

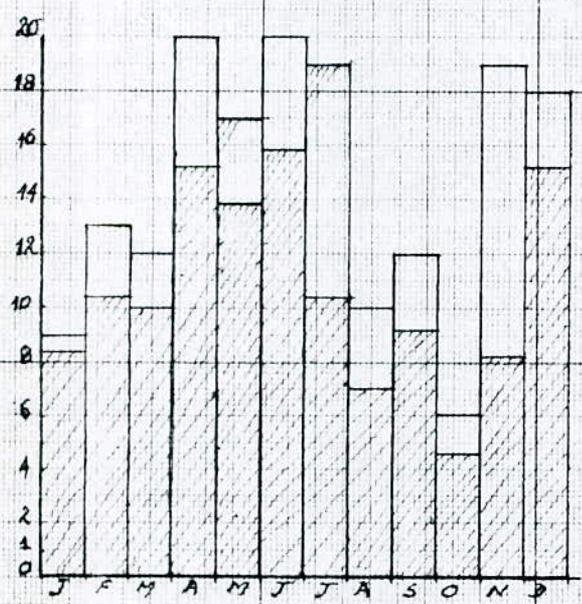
Fig. II-1-1 Caractéristiques climatiques de la région de Hassi-Messaoud.



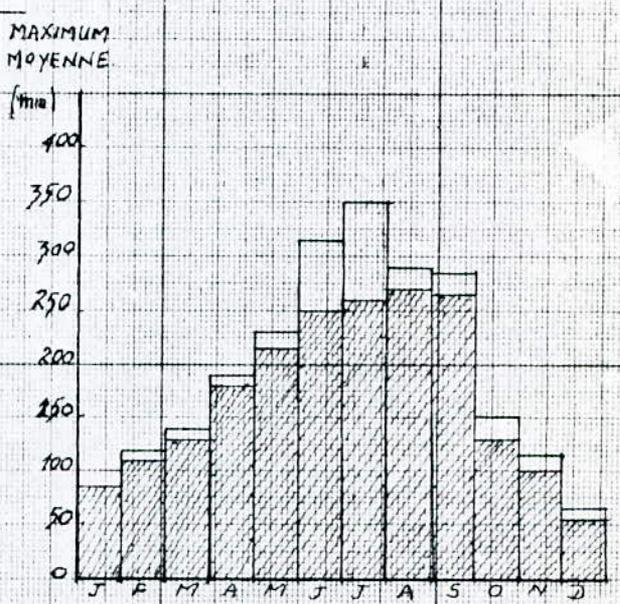
(a) TEMPERATURES ABSOLUES (1975-1977)



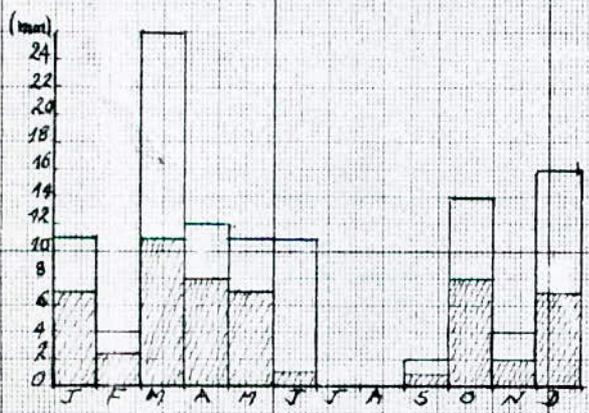
(d) NOMBRE DE JOURS DE ROSEE (Période 1975-1977)



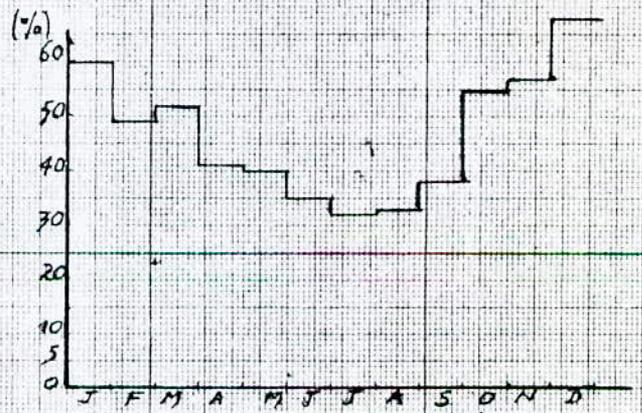
(b) NOMBRE DE JOURS DE VENT DE SABLE (1975-1977)



(c) HAUTEUR D'EVAPORATION (Période 1975-1977)



(e) HAUTEUR D'EAU (1975-1977)



(f) HUMIDITE RELATIVE MOYENNE (Période 1975-1977)

Fig. II-2 Caractéristiques climatiques de la région d'El Oued .

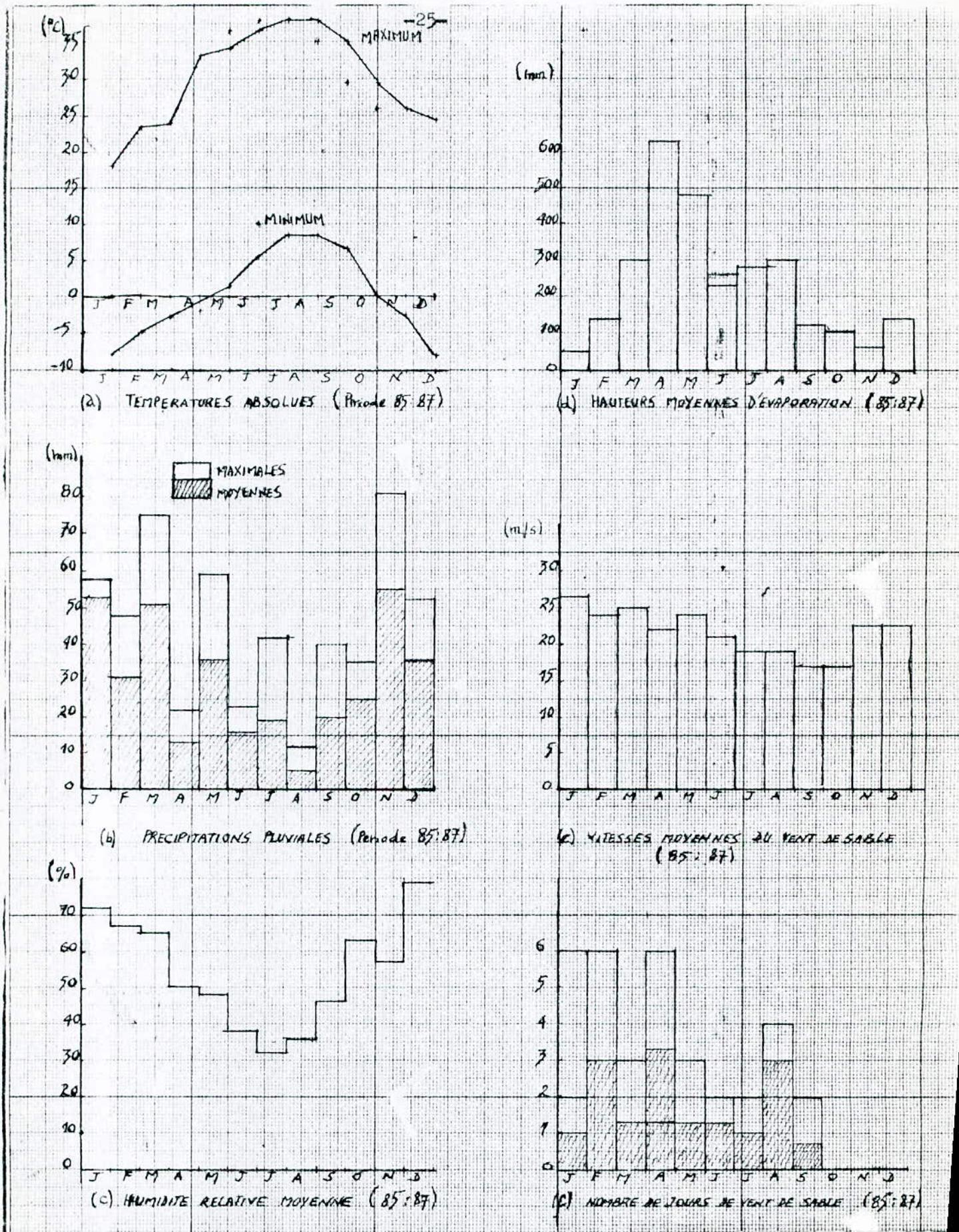
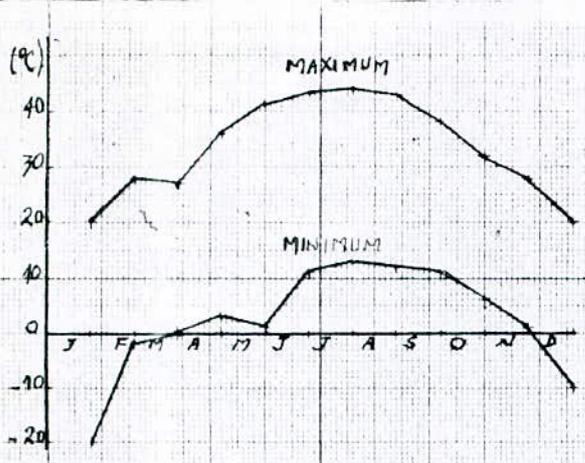
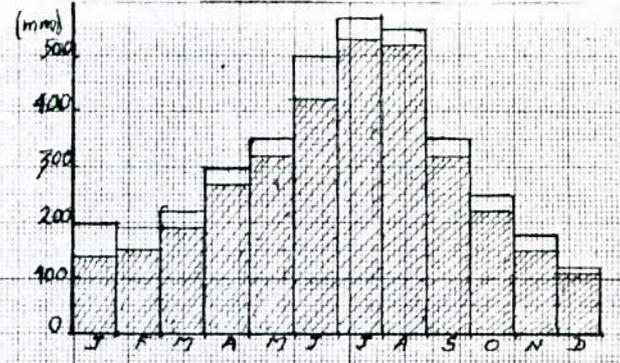


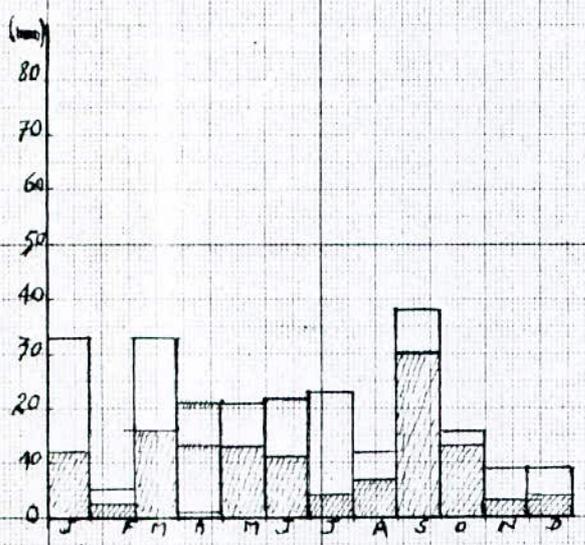
Fig. II-3 Caractéristiques climatologiques de la région de Djelfa.



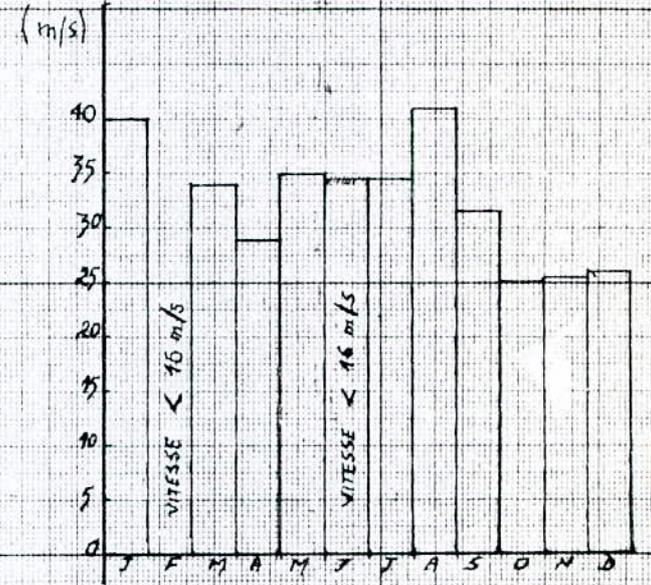
(a) TEMPERATURES ABSOLUES (Période 85:87)



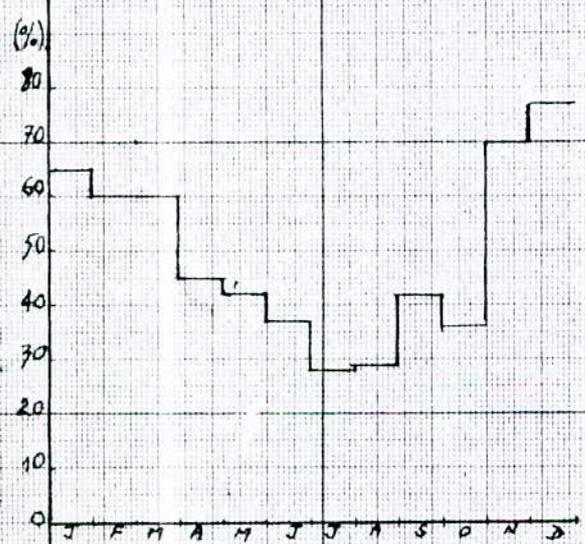
(d) HAUTEURS D'EVAPORATION (85:87)



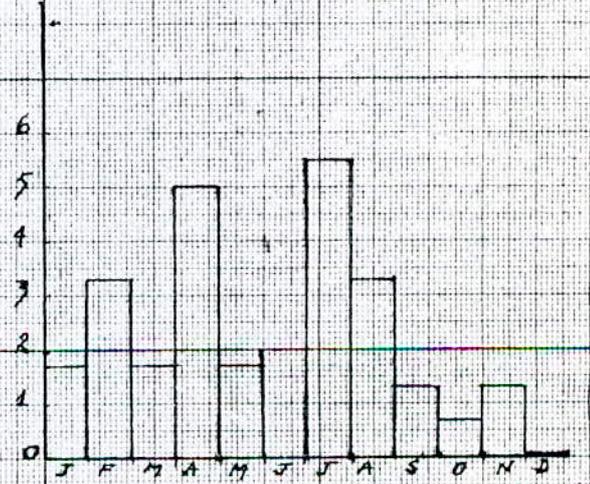
(b) HAUTEURS D'EAU (Périodes 85:87)



(c) VITESSES MAXIMALES DU VENT DE SABLE (Période 85:87)

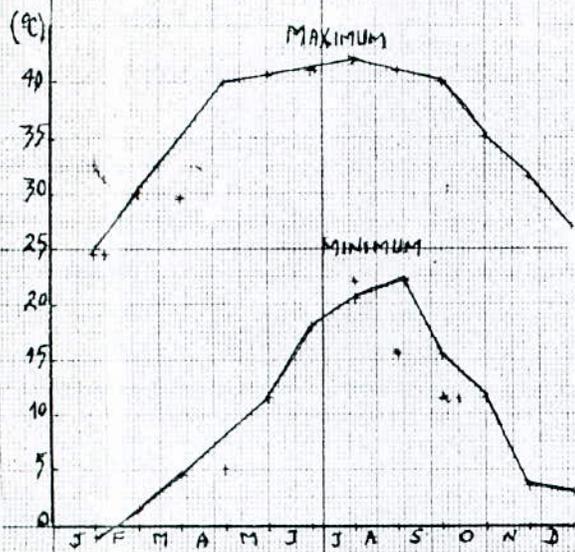


(e) HUMIDITE RELATIVE MOYENNE (85:87)

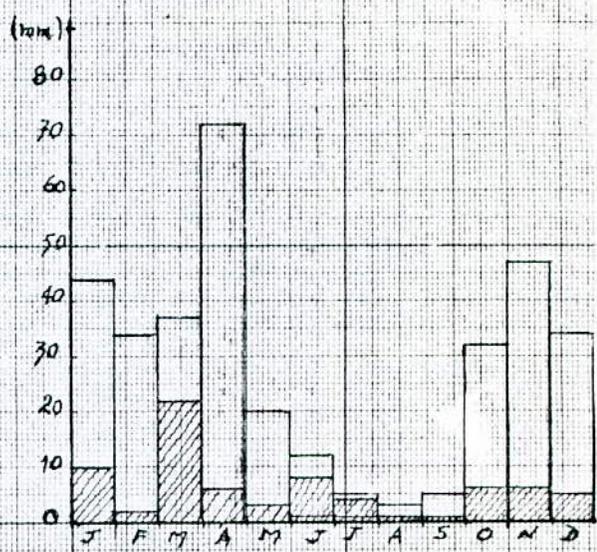


(f) NOMBRE DE JOURS DE VENT DE SABLE (85:87)

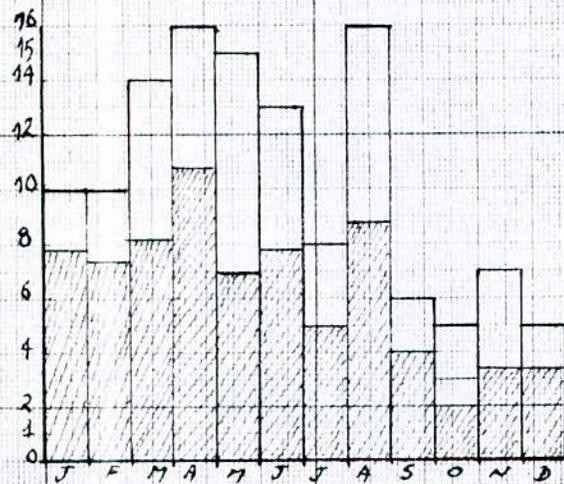
Fig. II-4 Caractéristiques climatologiques de la région de Bou-Saâda .



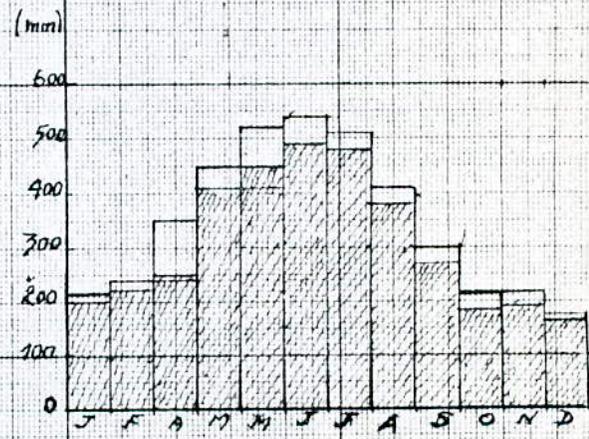
(a) TEMPERATURES ABSOLUES (Période 85:87)



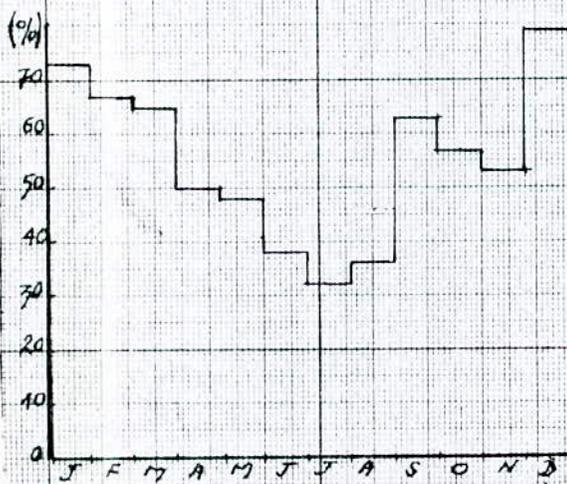
(d) HAUTEURS DE PRECIPITATIONS PLUVIALES (Périodes 1926-1960 - 1985-1987)



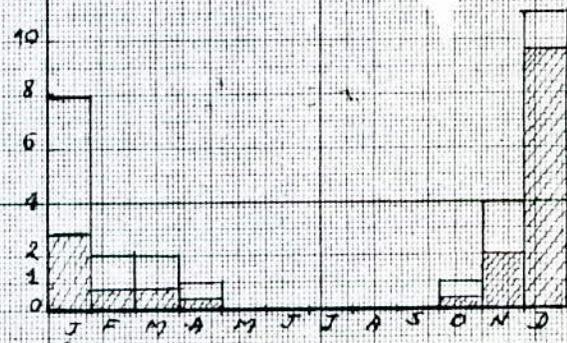
(b) NOMBRE DE JOURS DE VENT DE SABLE (Période 1985:1987)



(e) HAUTEURS D'EVAPORATION (85:87)



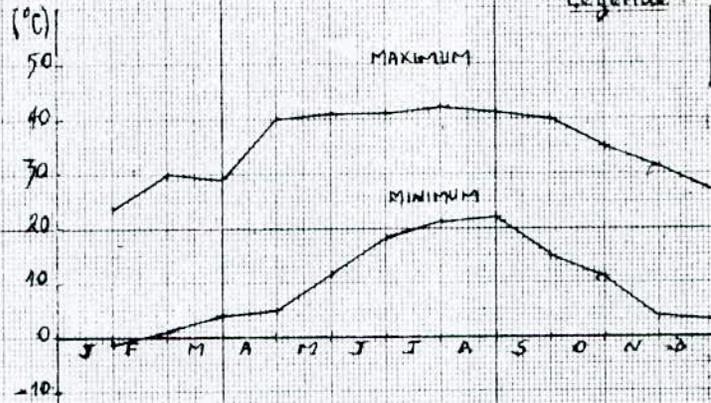
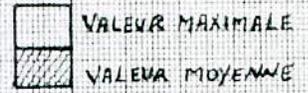
(c) HUMIDITE RELATIVE MOYENNE (85:87)



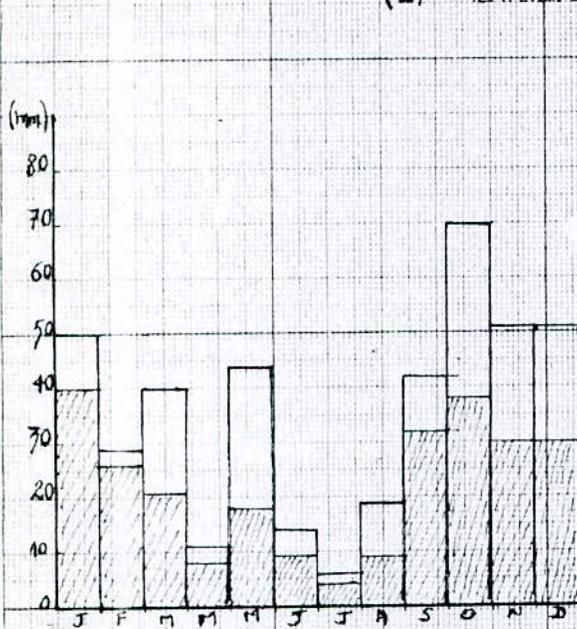
(f) NOMBRE MOYEN DE JOURS DE ROSEE (Période 1985:1987)

Fig. II-5 Caractéristiques climatologiques de la région de Ghardaia .

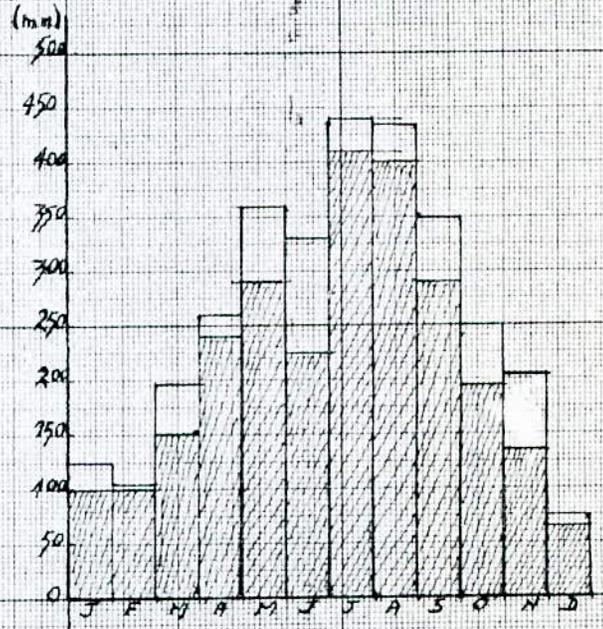
Legende



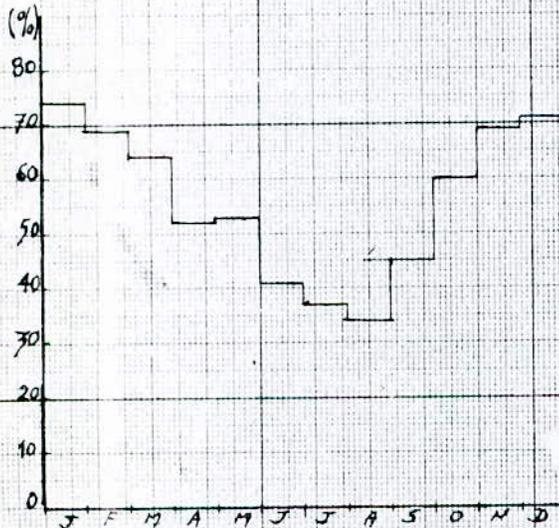
(a) TEMPERATURES ABSOLUES



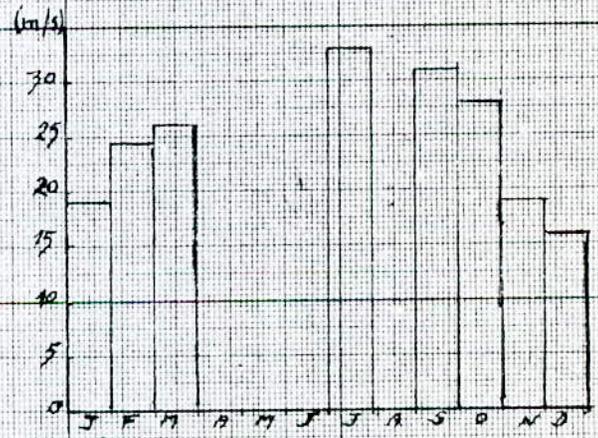
(b) PRECIPITATIONS PLUVIALES (85:87)



(d) HAUTEURS D'EVAPORATION (Période 85:87)



(c) HUMIDITE RELATIVE MOYENNE (85:87)

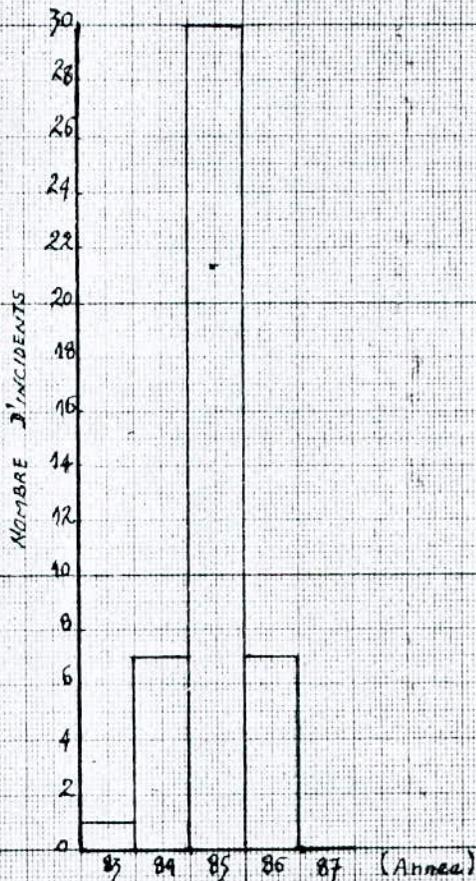
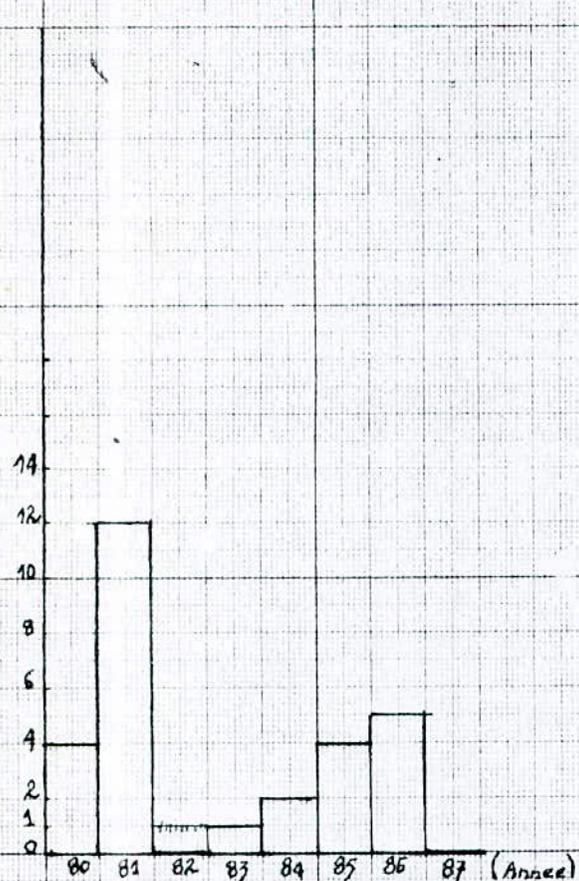


(e) VITESSES MAXIMALES DU VENT DE SABLE (Période 85:87)

Fig. II-6 Caractéristiques climatologiques de la région de M³Sila .

REGION DE HASSI-MESSAOUD

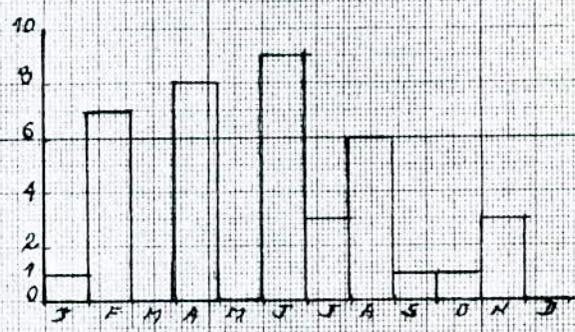
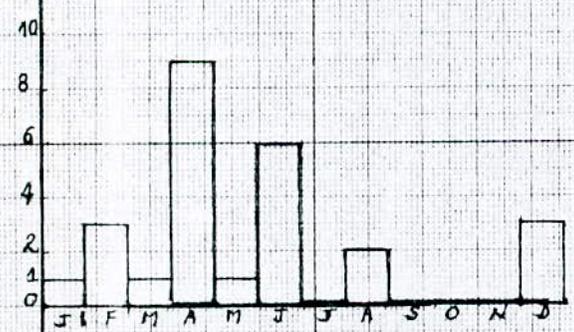
REGION DE HASSI-R'MEL



(a)

(a')

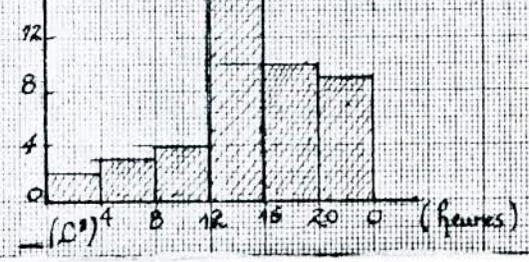
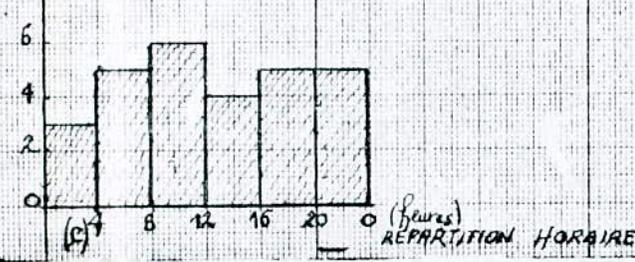
REPARTITION ANNUELLE



(b)

(b')

REPARTITION MENSUELLE



(c)

(c')

REPARTITION HORAIRE

Fig. II-7 Incidents dûs aux contournements -Régions de Hassi-Messaoud et de Hassi R'mel.

II-2-2-4 / Orages

Les orages , dans cette région de Hassi R'mel et ses environs, surviennent durant la période de mai à septembre .

Nous donnerons ci-dessous (Tableau II-C) le nombre moyen mensuel de jours d'orages pour la période de 1960 à 1969 .

Mois Région	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total.
Laghouat	0	x	1	1	4	3	3	4	4	2	x	x	22
Ghardaia	x	x	x	x	1	1	1	x	1	1	x	0	5

Tableau II-C Nombre moyen mensuel de jours d'orages .
x 2 Fréquence < 0,5

II-2-2-5 / Vents

Les vitesses maximales atteintes par le vent , dans cette région, sont de 42 m/s. à Ghardaia et Bou-Saâda , 26 m/s. à Djelfa et M'sila (1985:1987) . Les fréquences moyennes mensuelles des vents de vitesse supérieure à 16 m/s. sont de 7 à Ghardaia , 6 à M'sila , 4 à Bou-Saâda et Djelfa pour la même période .

Ceci va donc en diminuant vers le nord .

La direction du vent dépend de la zone . A Hassi R'mel , d'après / 12 / , la répartition est comme suit :

- Ouest : A 39% au mois de janvier .
- Nord-Ouest: A 39% au mois de décembre .
- Nord- Est : A 22% au mois de juillet .

II-2-2-6 / Température

Les températures , dans cette , région, varient d'une zone à une autre car l'altitude n'est pas la même pour toutes les zones .

Pour la période de 1985 à 1987 , les températures maximale et minimale sont données

dans le tableau II-D ci-dessous .

REGION	Temp. maximale absolue (°C)	Temp. minimale absolue (°C)
BOU-SAADA	44,3	-20
GHARDAIA	44,7	-0,7
M'SILA	43,8	-4,4
DJELFA	38,2	-8,2

Tableau II-D Températures absolues minimales et maximales .

II-2-2- 7/ Evaporation

La hauteur moyenne mensuelle d'évaporation , dans cette région, est de 262 mm , elle est de 316 mm à Ghardaia , 286 mm à Bou-Saâda , 229 mm à Djelfa et 218 mm à M'sila (Période 1985:1987) .

Pour la même période , les hauteurs maximales enregistrées sont: 604 mm à Bou-Saâda, 538mm à Ghardaia , 434 mm à M'sila et 309 à Djelfa .

II-3 / INFLUENCE DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES DESERTIQUES .

Le sable , soulevé par la vent , se dépose sur la surface isolante formant ainsi la couche polluante . Sous l'effet de l'humidité , d'averses de pluie ou de la formation de rosée , la résistance de la couche polluante diminue en favorisant ainsi le contournement de la chaine d'isolateurs .

Le vent , en absence d'humidité , et les fortes averses de pluie sont des agents d'auto-nettoyage de la surface de l'isolateur .

Les hautes températures ont une influence positive car elles sèchent lacouche polluante et augmentent sa résistivité superficielle .

Par contre , les basses températures favorisent le contournement des chaines d'isolateurs car elles provoquent le phénomène de condensation .

N.B :

A la station météorologique de Hassi R'mel , les relevés des paramètres climatologiques ne sont faits qu'occasionnellement . Par conséquent, ils sont indisponibles au niveau de l'O.N.M.

II-4/ Analyse des incidents dûs aux contournements

La consultation des rapports des incidents, tenus à jour dans les deux régions , nous a permis d'en relever 28 à Hassi-Messaoud (Période 1980:1987) et 45 à Hassi R'mel (Période 1983:1987) du type "Contournement" évidents .

Comme le montrent les histogrammes (Fig. II-7), le plus grand nombre d'incidents enregistrés est de 12 sur le réseau de Hassi Messaoud pendant l'année 1981 et 30 sur celui de Hassi R'mel pendant l'année 1985.

Ce dernier nombre est important . A posteriori , il existe plusieurs hypothèses pouvant le justifier , entre autres , la plus plausible est relative aux faibles précipitations (Un maximum de 11,4 mm au mois de janvier au lieu de 24 mm en 1986 et 16 mm en 1987) et au plus grand nombre de jours de rosée (Un total de 17 jours au lieu de 14 jours en 1986 et 11 jours en 1987) enregistrés durant cette année . Par contre , aucun incident de ce type ne fut signalé durant l'année 1982 sur le réseau de Hassi Messaoud et durant l'année 1987 sur les deux réseaux respectifs.

Le taux d'amorçage dû à la pollution atteignait en moyenne 04 défauts par an dans la région de Hassi Messaoud et 09 défauts par an dans la région de Hassi R'mel . D'après la repartition mensuelle des incidents , 78,5 % et 67 % sont survenus respectivement sur les réseaux de Hassi Messaoud et Hassi R'mel durant la période s'étalant du mois de février au mois de juin (Période 1980:1987) . Ceci s'explique

par le fait que c'est pendant cette période qu'apparaissent les tempêtes de sable. Ainsi, les faibles précipitations favorisent l'humidification des isolateurs et provoquent des incidents dus au contournement.

D'autre part, d'après la répartition horaire des incidents (Fig. II-7 - a et b), 64% des incidents se sont produits sur le réseau de Hassi-Messaoud durant la nuit et aux premières heures de la matinée (Entre 20h et 08h). Ceci est dû à l'importance de l'humidité relative de l'air à l'aube. Enfin, près de 30% des incidents se sont produits sur le réseau de Hassi R'mel durant ces mêmes heures. Nous en relevons autant entre 12h et 16h survenus durant l'année 1985 uniquement et dont l'hypothèse justificative fut énoncée plus haut.

II-5 / TYPES D'ISOLATEURS UTILISES

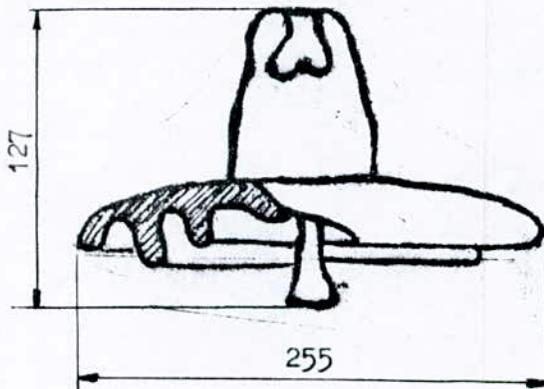
Dans les lignes de transport 60 kV et 220 kV ? sont généralement utilisés des isolateurs en verre, de couleur verte. Le nombre d'éléments utilisés est choisi comme suit :

- 5 à 7 éléments pour les lignes de 60 kV.
- 12 à 18 éléments pour les lignes de 220 kV.

Les chaînes d'isolateurs sont souvent utilisées en position verticale, quelques fois horizontale et très rarement inclinée.

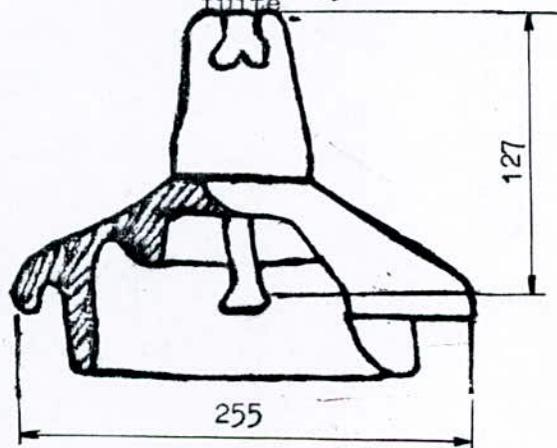
-Type 1522L

$L_{\text{fuite}} = 292 \text{ mm}$



-Type F12P

$L_{\text{fuite}} = 390 \text{ mm}$



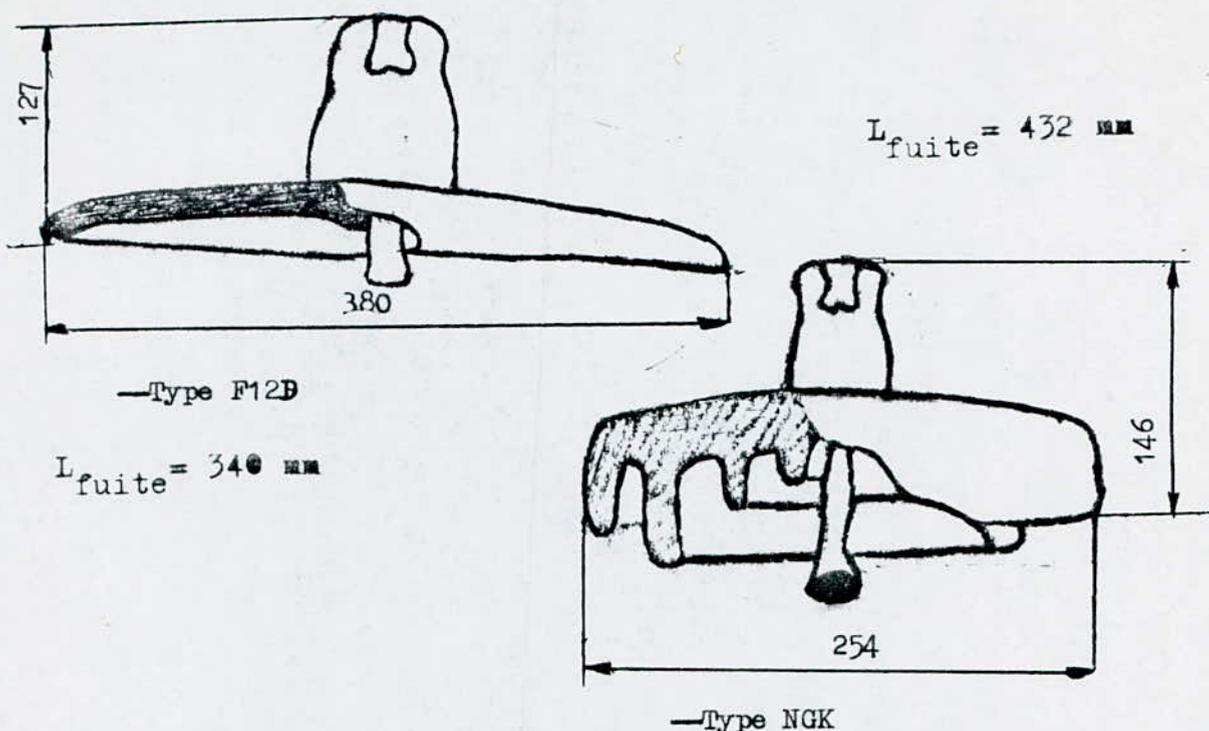


Fig. II-8 Types d'isolateurs utilisés dans les deux régions .

II-6 Caractéristiques de l'agent polluant:

Pour l'étude des caractéristiques de l'agent polluant , nous nous sommes basés sur les caractéristiques granulométriques, chimiques et électriques du sable . Nous avons prélevé 23 échantillons dans diverses zones à des niveaux variant entre 0 et 16 m .

Les analyses de ces échantillons ont été faites à l'A.N.R.H(Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) .

Ces analyses nous permettent d'étudier les variations des caractéristiques du sable avec le site et le niveau correspondant .

II-6-1 Echantillons de sable prélevés:

Nous énumérons dans le Tableau II-5 , de 1 à 23 les échantillons que nous avons prélevés , pendant notre stage , dans les régions de Hassi-Messaoud et de Hassi R'mel .

N ^o	NIVEAU (m)	LIEU DE PRELEVEMENT
1	0	HAOUD EL HAMRA (30 km de Hassi-Messaoud)
2	4	
3	8	
4	12	
5	0	EL OUED
6	4	
7	8	
8	12	
9	16	
10	0	TOUGGOURT
11	4	
12	8	
13	0	HASSI R'MEL
14	0	LAGHOUAT
15	4	
16	8	
17	12	
18	16	
19	0	DJELFA (70 km de Laghouat)
20	4	
21	8	
22	12	
23	16	

Tableau II-5 Echantillons de sable prélevés sur site .

II-6-2 Granulometrie :

Le classement des éléments donné par l'AISS (Association Internationale de la Science du sel) établi en 1926 est le suivant/12/:

- Argile : pour les éléments inférieurs à 0.002 mm
- Limon fin : entre 0.002 mm et 0.02 mm
- Limon grossier : entre 0.02 mm et 0.5 mm
- Sable fin : entre 0.05 mm et 0.2 mm
- Sable grossier : entre 0.2 mm et 2 mm

La distribution granulométrique des échantillons est représentée sur une échelle semi-logarithmique (fig II-9 à II-14).

Nous constatons que les grains de sable sont en majorité fin. Ils représentent, un taux pouvant atteindre 87%. Le sable grossier représente un taux de 46% dans la région de Hassi-Messaoud et 49% dans la région de Hassi-R'mel.

Nous remarquons que tous les échantillons de sable contiennent très peu d'argile (un maximum de 11% à Touggourt), ceci s'explique par le fait que les grains de sable les plus fins sont souvent soulevés à des hauteurs très élevées. En outre, la quantité de sable grossier augmente avec le niveau (Tableau II-6).

N ^o D'échantillon	Argile (%)	Sable grossier (%)	Sable fin (%)	Limon grossier (%)	Limon fin (%)
1	3	41	52	1	1
2	3	9	88	0	1
3	3	44	53	0	1
4	3	44	52	0	1
5	2	13	85	0	0
6	1	37	62	0	0
7	1	33	66	0	0
8	2	46	53	0	0
9	2	71	27	0	0
10	11	30	49	2	4
11	11	22	61	0	3
12	11	24	59	1	3
13	3	8	87	2	0
14	2	20	77	2	0
15	3	19	78	1	0
16	2	58	39	1	0
17	2	80	19	0	0
18	2	49	50	0	0
19	3	30	65	2	0
20	3	24	72	1	0
21	2	17	79	1	1
22	2	32	66	0	0
23	2	30	66	1	0

Tableau II-6 Distribution granulométrique des échantillons de sable.

II-6-3 Conductivité :

L'analyse des échantillons de sable montre que la conductivité diminue avec la hauteur (Tableau II-7).

Le sable de la région de Hassi-Messaoud est plus conducteur que celui de la région de Hassi-R'mel.

Par comparaison avec les résultats obtenus précédemment/12/, les échantillons de sable prélevés dans la zone de Touggourt présentent des conductivités très élevées.

N° d'échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Conductivité (μS)	3,26	3,6	2,04	1,6	2,9	2,98	2,74	2,63	2,56	13,7

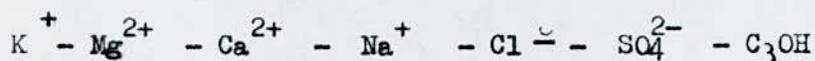
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
13,7	12,45	1,01	0,88	0,57	0,53	0,4	0,91	1,14	0,81	0,74	0,46	0,7

Tableau II-7 Conductivité des échantillons de sable par niveau.

II-6-4 Caractéristiques chimiques :

L'identification complète de l'agent polluant nécessite une analyse qualitative qui n'a pu être faite au laboratoire de l'A.N.R.H..

Des études /7/, /12/, /15/, /16/, déjà effectuées sur la pollution dans les régions de Hassi-Messaoud et Hassi-R'mel, ont montré que l'agent polluant caractérisant ces deux régions est essentiellement composé des éléments chimiques suivants:



A l'A.N.R.H. , l'analyse des caractéristiques chimiques ne se fait pas pour les échantillons de sable de conductivité inférieure à 200 μ S.

N° d'échant.	SO_3H^- meq/l	SO_4^{2-} meq/l	Cl^- meq/l	Ca^{2+} meq/l	Mg^{2+} meq/l	Na^+ meq/l	K^+ meq/l
1	0	41	8,6	32,7	3,4	9,3	1,7
2	2	34,7	8,4	32,2	3,1	6,9	0,7
3	-	22	2,7	17,7	1	5	0,3
4	4,7	-	-	-	-	-	'
5	3	39,7	1,7	31	1,3	9,3	0,3
6	1,7	40,7	2	32,3	1	9,3	0,3
7	2,1	36,9	1,4	29	1,4	6,6	0,3
8	1,4	38,9	1,1	32,8	0,7	9,3	0,3
9	3,7	34,6	115,5	28,6	0,3	7,1	-
10	0	40,7	113,3	69,6	17	63,3	1,1
11	2,5	43,7	111,4	54	15	67,6	1,3
12	3,3	48,7	107	43,7	12	67	1

Tableau II-8 Analyse chimique des échantillons de sable prélevés sur site .

Nous constatons que les échantillons de sable analysés contiennent des quantités significatives d'éléments conducteurs.

L'analyse des caractéristiques chimiques du sable renseigne sur la nature de l'agent polluant. Pour une meilleure connaissance de celle-ci, il serait préférable de prélever des échantillons de sable directement sur les chaînes d'isolateurs et à différentes périodes de l'année.

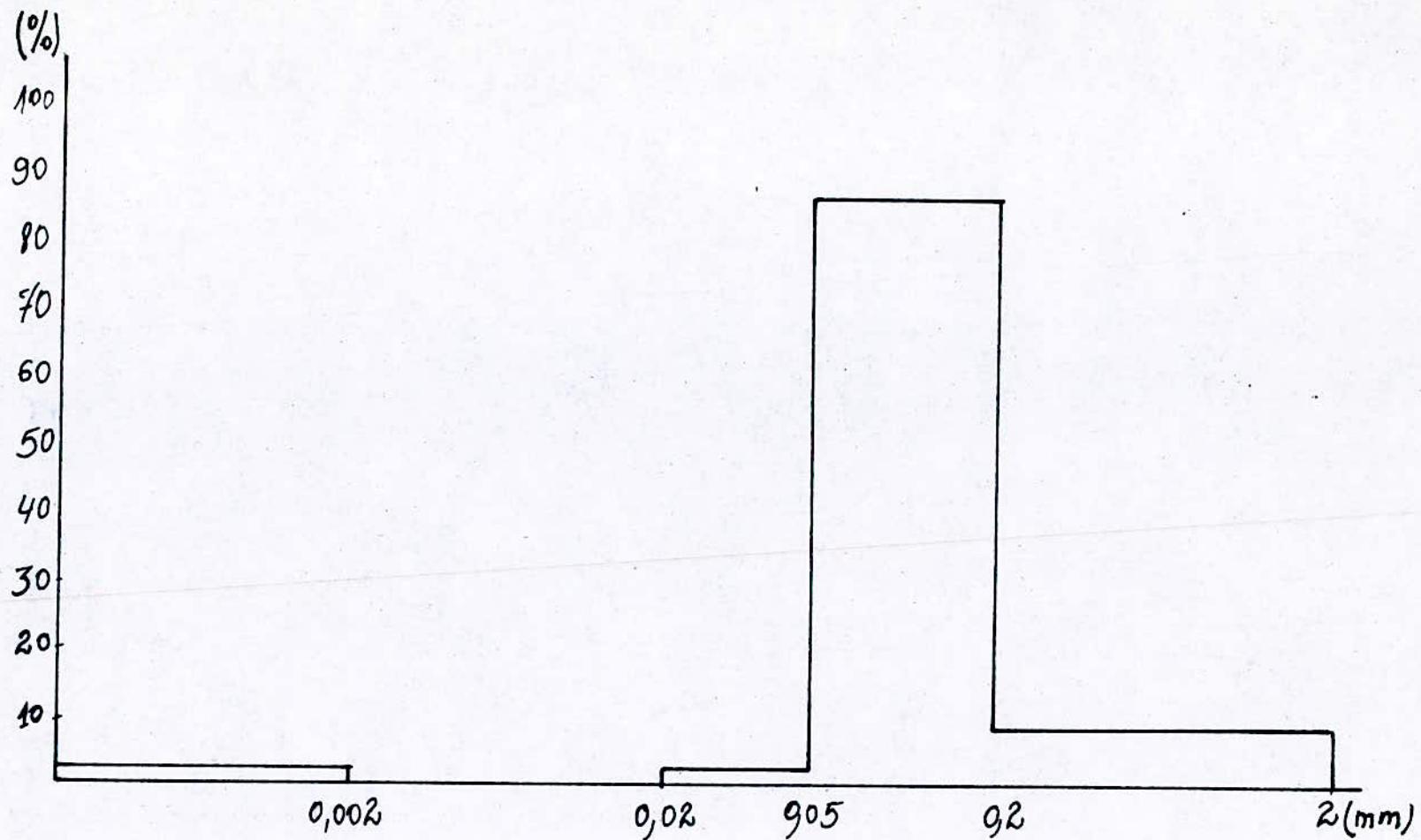


Fig. II-9 Distribution granulométrique du sable -Echant. n°13- Hassi R'mel (Niv. 0)

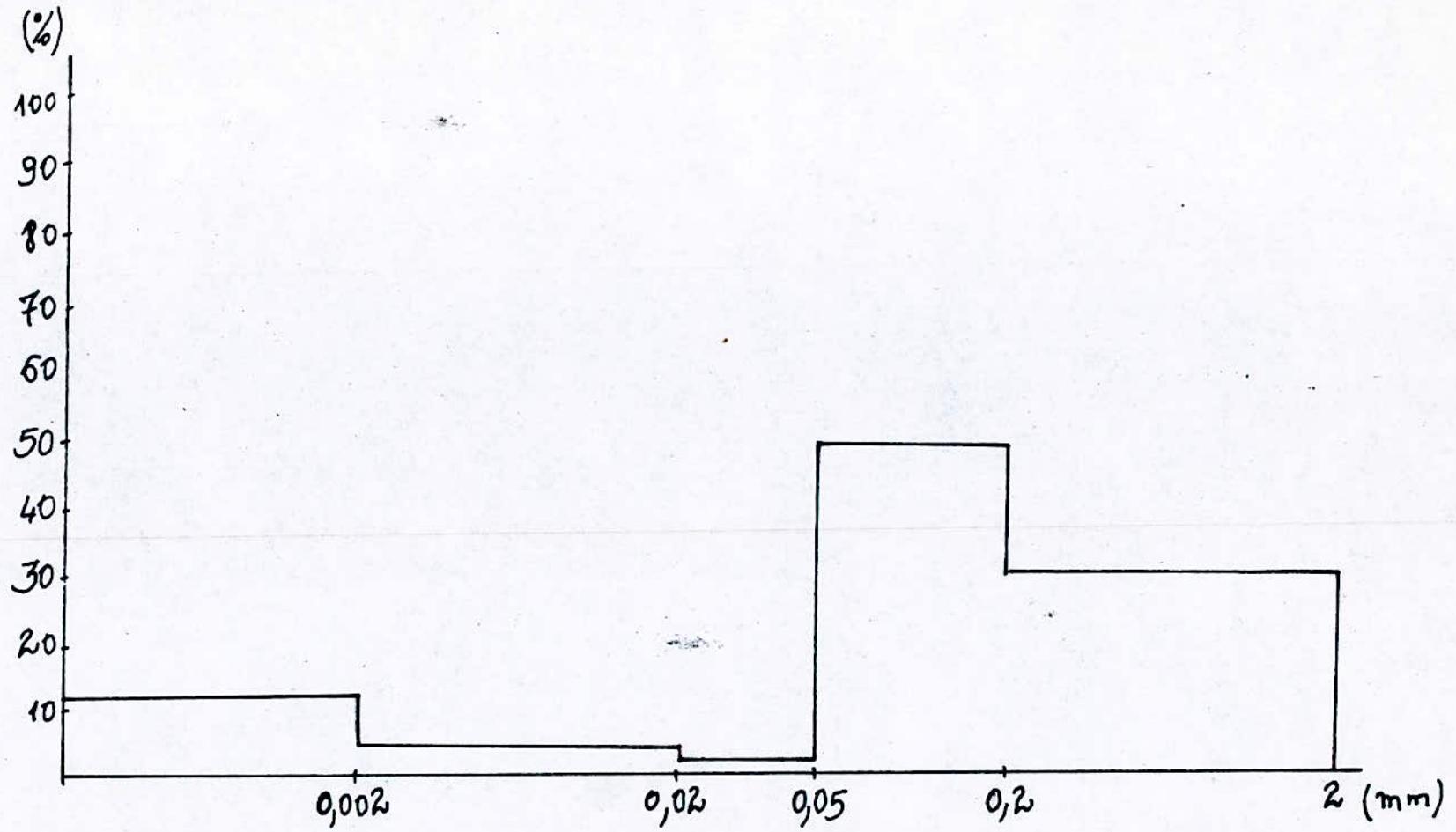


Fig. II-10 Distribution granulométrique du sable -Echant. n° 10 -Touggourt (Niv.0)

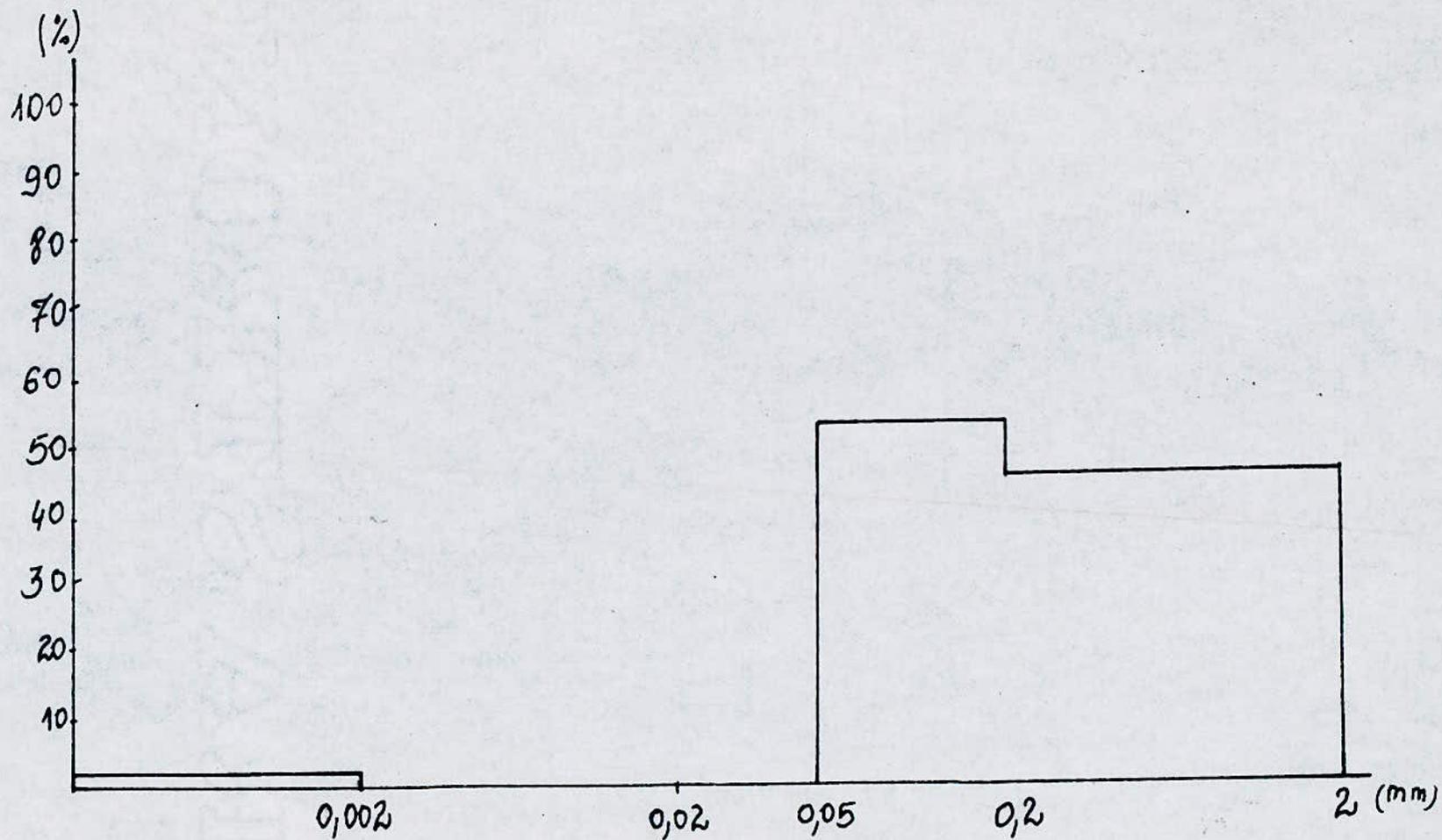


Fig. II-11 Distribution granulométrique du sable -Echant. n° 8 - El Oued (Niv. 12 m)

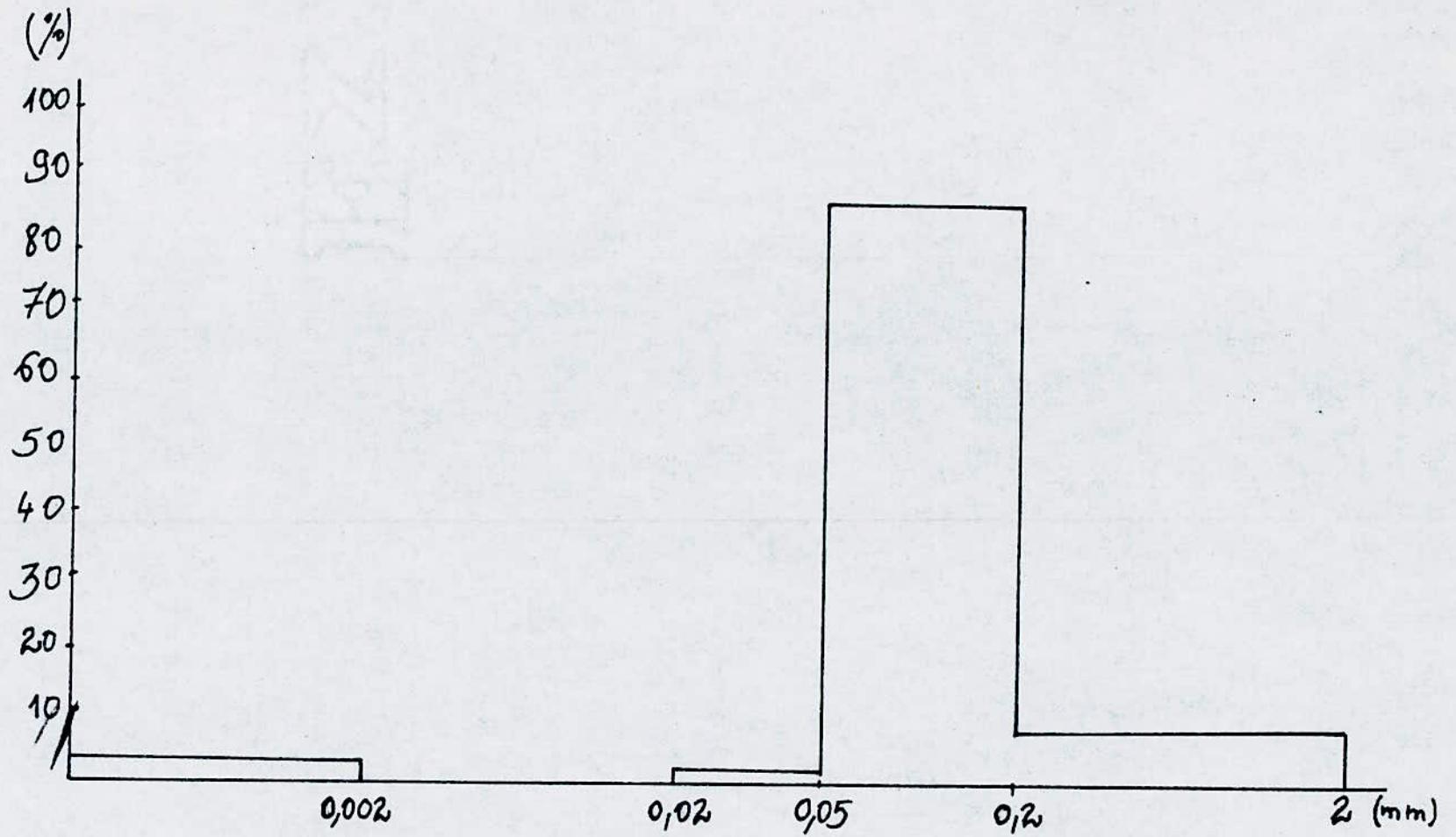


Fig. II-12 Distribution granulométrique du sable -Echant. n°14- Laghouat (Niv. 0)

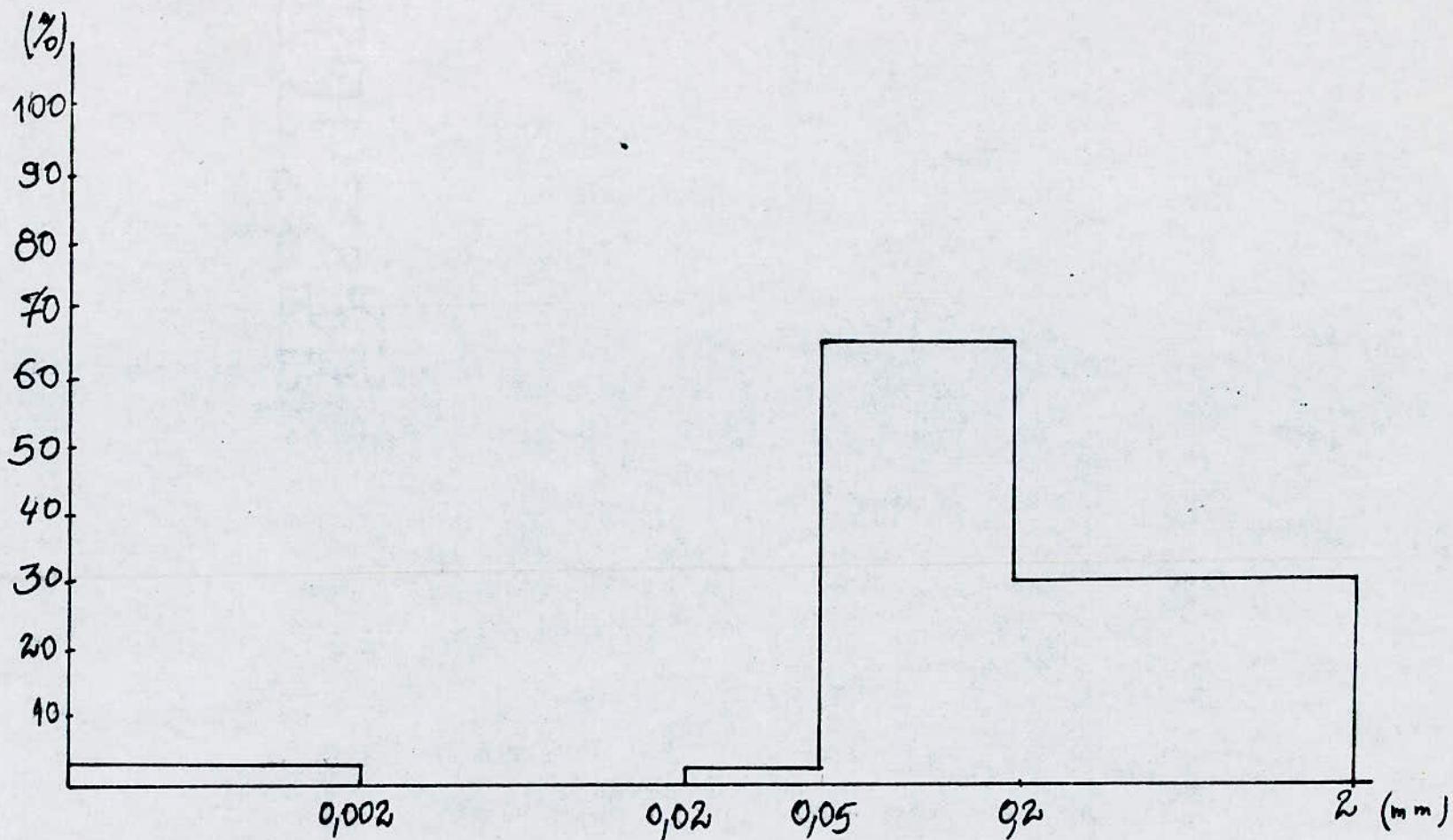


Fig. II-13 Distribution granulométrique du sable -Echant. n° 19-DJELFA (Niv. 0)

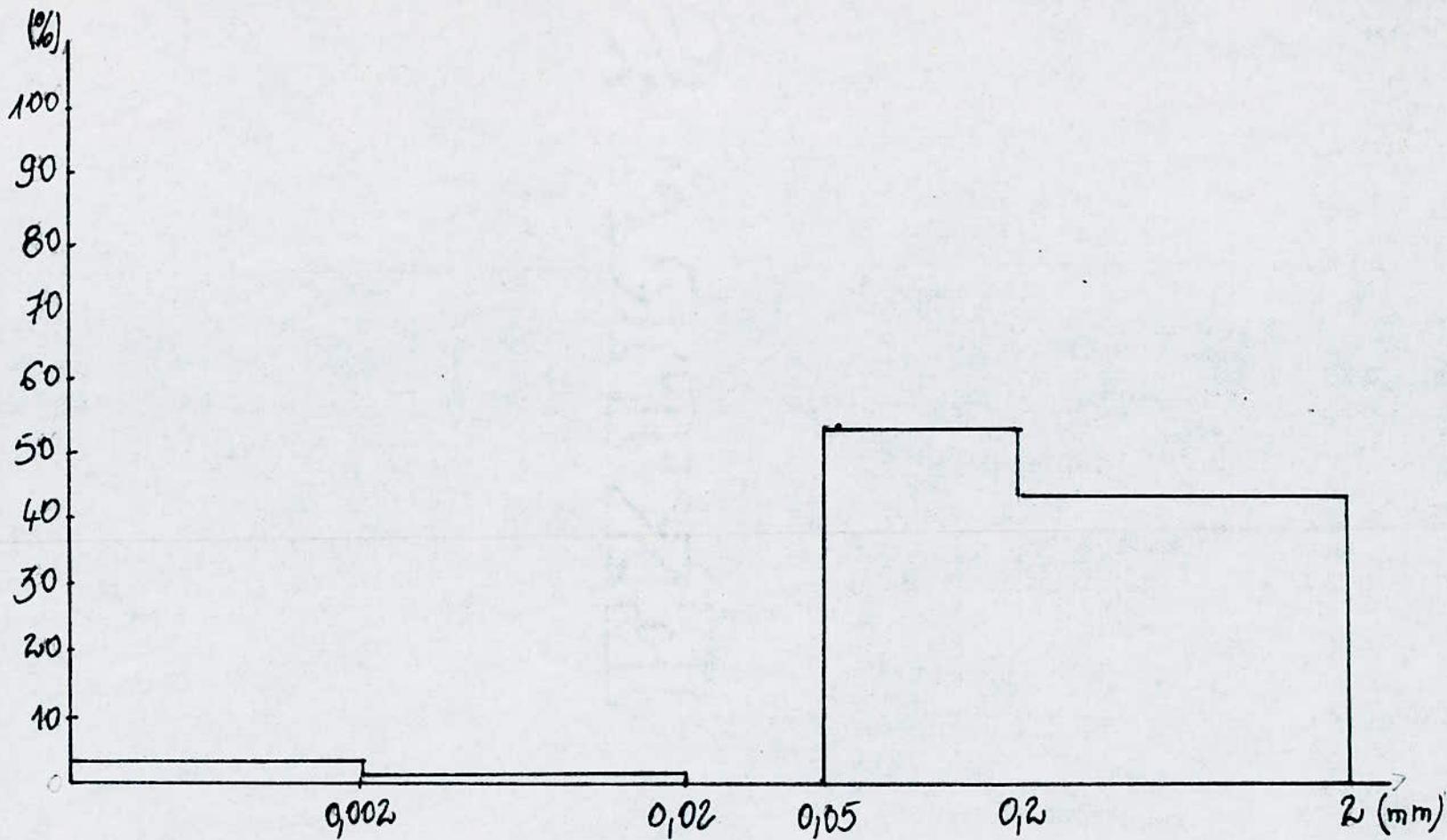


Fig. II-14 Distribution granulométrique du sable-Echant. n°4- Haoud El Hamra (Niv. 12 m)

CHAPITRE -III- :

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

Generalites:

De plus en plus, les essais electriques de haute tension sous pollution artificielle acquièrent une signification croissante pour le dimensionnement des isolateurs des lignes aériennes.

Faute de dispositif de reproduction de la pollution, nous avons utilisé dans nos essais, des isolateurs du type "capot et tige" de différents profils pollués dans les conditions naturelles (pris directement des lignes en exploitation).

Des chaines d'isolateurs ont été prélevées lors de notre stage dans les régions de Hassi-Messaoud et Hassi-R'mel.

Nos essais consistent à mesurer le courant de fuite et la longueur d'arc pour différents niveaux de tension.

Dans ce chapitre, nous présenterons les circuits d'essais et de mesures utilisés ainsi que les résultats obtenus.

III-1 Equipement du laboratoire de l'E.N.P. :

L'équipement actuel de la station d'essais à fréquence industrielle de l'E.N.P. est de marque MAFELY. Cette station comprend (fig III-1):

- 1- Interrupteur d'alimentation générale.
- 2- Contacteur de commande.
- 4- Transformateur de réglage 220/500V (50 kVA).
- 3- Transformateur d'isolement.

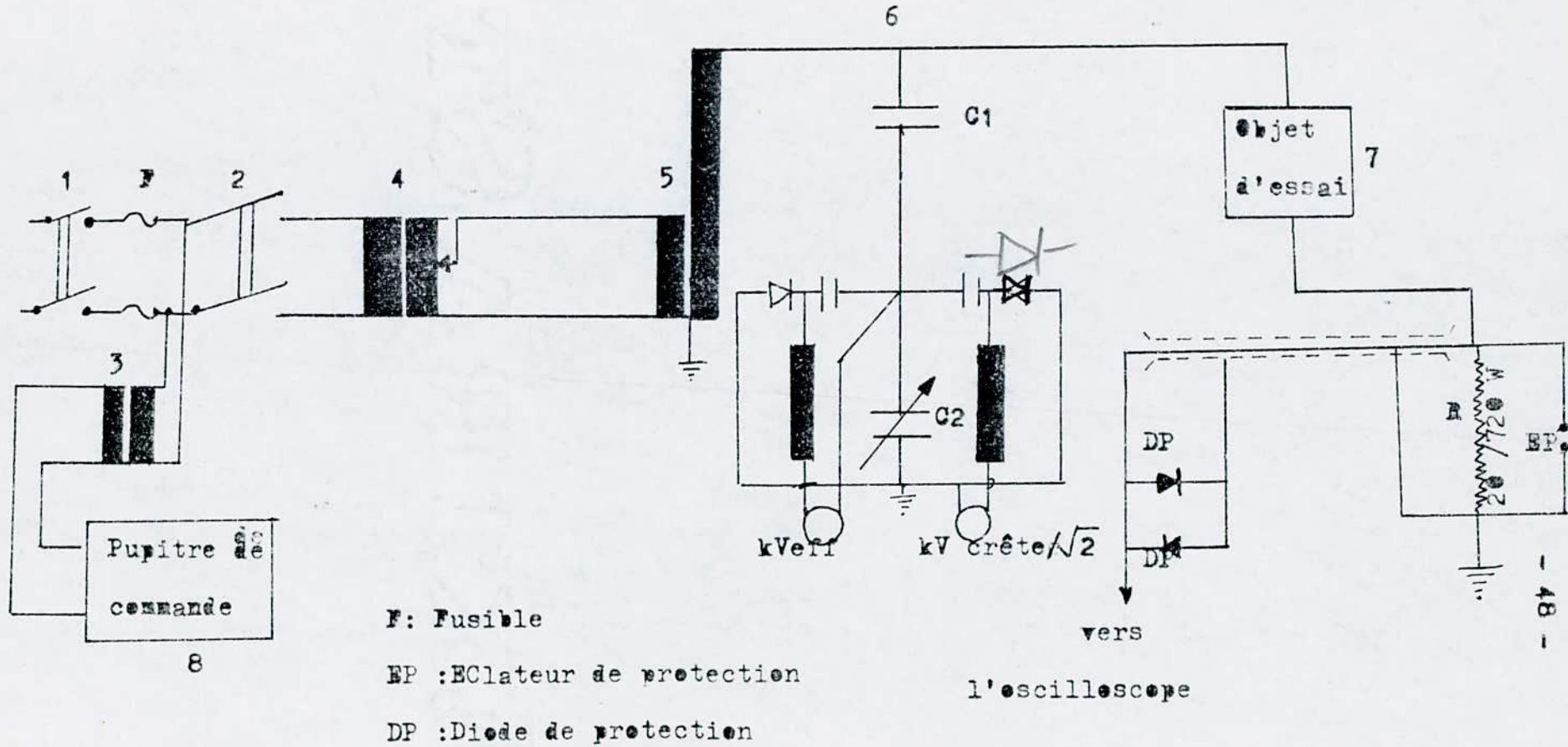


Fig III-1 Schéma du circuit d'essais

- 5- Transformateur d'essais 0.5 kV/300 kV(50 kVA) .
- 6- Diviseur de tension capacitif de capacité $C=400 \text{ pF}$.
- 7- Objet d'essai.
- 8- Pupitre de commande.

III-2 Circuit de mesures :

Pour mesurer le courant de fuite, une résistance de $20 \Omega / 720 \text{ W}$ a été insérée entre l'isolateur et l'électrode de terre.

Le signal est prélevé aux bornes de la résistance et visualisé sur l'oscilloscope à l'aide d'un câble coaxial.

Un éclateur à sphères a été utilisé pour protéger la résistance contre les surtensions/12/.

Pour la protection de l'oscilloscope, nous avons deux diodes de protection montées en tête-bêche. Vu que nous ignorons leurs caractéristiques, nous avons mesuré la résistance équivalente (les deux diodes et la résistance de 20Ω) à l'aide d'un Ohmètre. La valeur ainsi mesurée est de 13Ω .

Pour l'enregistrement du courant de fuite et du développement de l'arc, nous avons utilisé trois appareils photographiques installés dans deux chambres noires, l'une pour l'oscilloscope et l'autre pour la visualisation de l'arc (fig III-2).

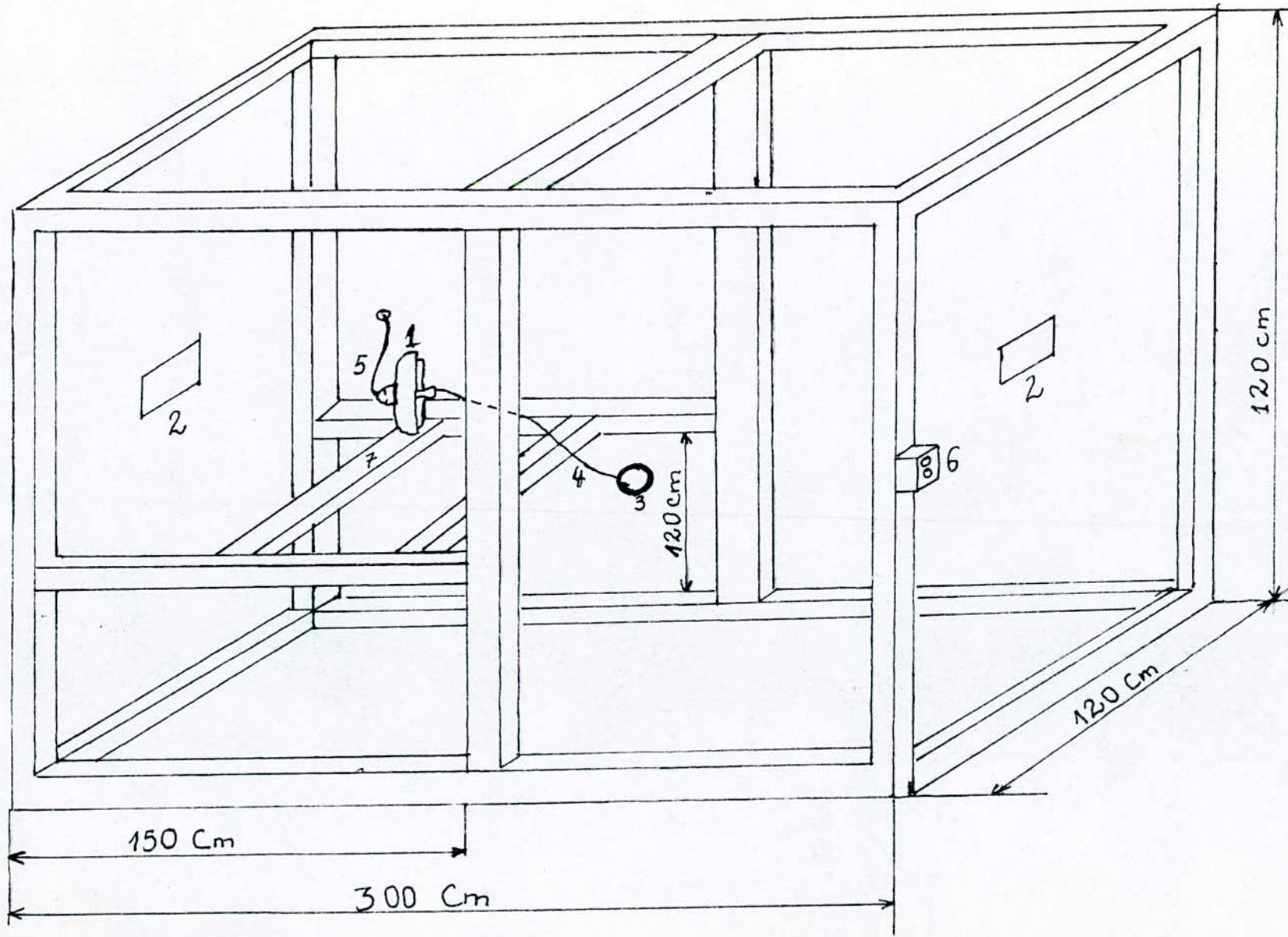


Fig III-2 : Chambre noire pour la visualisation de l'arc.

- 1- Isolateur .
- 2- Appareils photographiques statiques.
- 3- Isolateur de traversée.
- 4- Fil de haute tension.
- 5- fil de terre.
- 6- Interrupteur.de commande.
- 7- Support isolant en bois.

III-3 Chaines d'isolateurs prélevées :

Nous énumérons (Tableau III-1) les chaines d'isolateurs que la SONELGAZ nous a fournies. Ces chaines ont été prélevées dans les sites de Hassi-Messaoud et Hassi-R'mel. Elles sont de différents profils et mises en exploitation au moins depuis 9 ans dans les lignes de 60 kV. Nous avons aussi reçu deux éléments d'une chaine de 16 éléments conçue pour une ligne de 220kV mais exploitée en 60kV (chaine N° 5)

N°	Réf:	Lieu de prélèvement	Position	Date de mise en service	Nombre d'éléments
1	F1RP	Hassi-Messaoud	verticale	Mars 1976	5
2	NGK	Centrale Hassi-Messaoud	Horizontale	Mai 1979	7
2'	"	"	"	"	7
3	1512L	"	"	"	6
3'	"	"	"	"	6
4	"	Hassi-R'mel	verticale	-	5
5	F1RP	"	"	-	2
6	1512L	BOUZEBIAR (40km de Hassi-R'mel)	"	-	5

Tableau III-1: Énumération des chaines fournis par la SONELGAZ.

Nous avons constaté que l'accumulation des dépôts polluants se fait surtout autour de la tige et dans les parties de l'isolateur difficilement nettoyables par les agents naturels (vent, averse de pluie etc...).

Ces isolateurs sont tous recouverts par 3 couches polluantes distinctes entre les deux électrodes.

En représentant les éléments capot et tige par un modèle plan, nous avons pu obtenir les "états critiques" de pollution de chaque type d'isolateurs (Fig. III-3)

Nous définissons l'état de pollution de chaque élément capot et tige par la somme des largeurs polluantes dans les différentes parties de l'isolateur.

L'état critique correspond à la somme la plus élevée (Tableau III-2 et III-3).

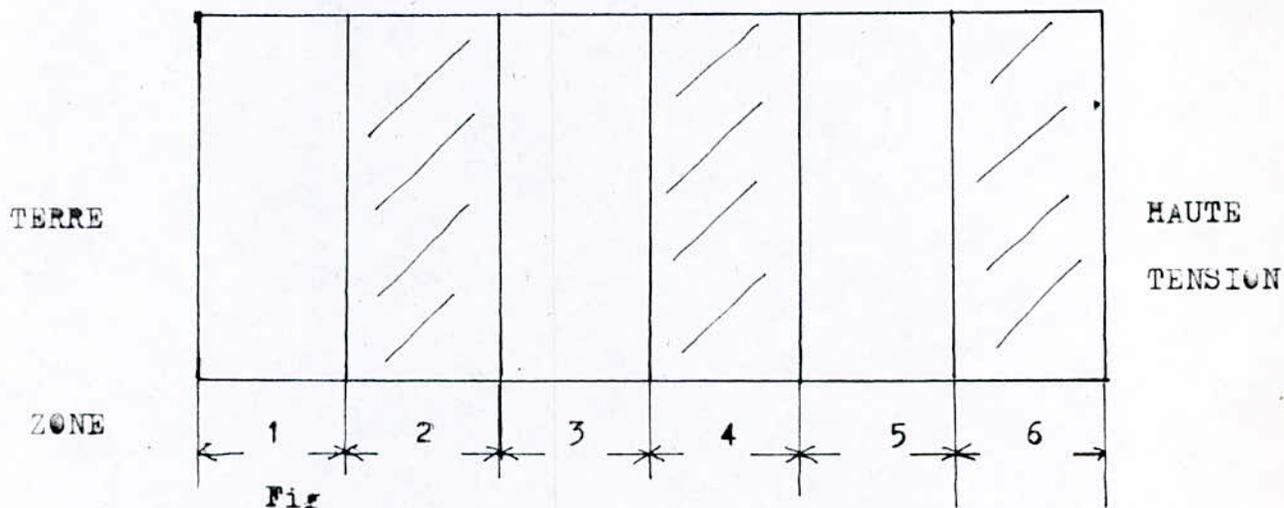


Fig III-3: Modèle plan équivalent.

*Les parties hachurées représentent les zones polluées.

Largeur des zones (mm) Types d'isolateurs	1	2	3	4	5	6	Longueur de fuite (mm)
NGK	108	78	10	100	8	86	432
F12P	165	85	5	80	8	89	390
1512L	115	28	7	40	6	96	292

Tableau III-2 : Modèles plans critiques équivalents

- Région de Massi-Messaoud -

Largeur des zones (mm) Types d'isolateurs	1	2	3	4	5	6	Longueur de fuite (mm)
F12P	152	78	8	100	4	90	390
1512L	106	30	13	52	4	87	292

Tableau III-3: Modèles plans critiques équivalents

- Région de Massi-R'mel -

III-4 Méthode d'essai :

A chaque élément capot et tige d'une chaîne d'isolateurs donnée, nous attribuons une lettre alphabétique dans un ordre croissant à partir de l'élément relié au conducteur de haute tension.

III-4-1 Humidification :

Avant chaque essai, nous avons procédé à l'humidification de l'isolateur à la vapeur d'eau sans atteindre le ruissellement de l'eau sur la surface isolante. Cette méthode nous permet d'avoir des niveaux de tensions de contact pratiquement identiques à ceux obtenus dans le cas d'une humidification par pulvérisation d'eau. Cependant, la procédure que nous avons utilisée a l'avantage d'empêcher la réduction de la concentration des sels solubles contenus dans les couches polluantes constatée dans le cas de la pulvérisation /12/. Ainsi, avec la méthode que nous avons utilisée, les conditions de pollution de l'isolateur sont pratiquement identiques avant chaque essai à un niveau de tension donné.

III-4-2 Application de la tension d'essai :

L'isolateur humidifié est soumis à une tension sinusoïdale croissante de 2kV/s de manière continue. Une fois le palier de tension atteint, nous attendons 12 secondes (afin de permettre au courant de se stabiliser pour mieux le photographier) avant de mettre hors tension.

Les niveaux de tensions choisis étaient de 12, 15 et 18kV. Ce choix a été fait après consultation des résultats obtenus précédemment /12/.

Après les essais de contournement , nous avons jugé nécessaire d'appliquer un quatrieme niveau de tension égal à 21 kV. Faute de temps cet essai n'a été appliqué qu'aux chaines "3" et "4" .

III-5 Essais effectués :

III-5-1 Essais sans contournement :

Les premiers essais ont été effectués aux niveaux de tensions précités (12 , 15 et 18 kV). nous présentons dans les Tableaux III-4 à III-12 les résultats obtenus pour chaque chaine d'isolateurs.

NIVEAU DE TENSION	12 kV		15 kV		18 kV	
	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)
1A	0,5	26	3,5	-	14,4	90
1B	1,1	85	11,1	90	12,9	-
1C	2,2	77	3,8	97	20,2	-
1D	2,1	85	8,0	59	21,6	-
1E	2,3	42	0,9	39	13	72

Tableau III-4: Les résultats de la chaine " 1 " .

NIVEAU DE TENSION	12 kV		15 kV		18 kV		
	N°	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)
	2A	0,6	20	4,2	31	2,5	36
	2B	1,3	77	2,3	31	2,4	26
	2C	2,5	19	1,1	21	2,6	51
	2D	0,7	21	0,5	-	2,9	36
	2E	1,2	26	2	26	2,7	54
	2F	1,3	28	1,7	33	3,3	54
	2G	1,3	26	1,6	-	2,7	51

Tableau III-5: Resultats de la chaine " 2 " .

NIVEAU DE TENSION	12 kV		15 kV		18 kV		
	N°	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)
	2'A	1,3	28	3	18	3,7	39
	2'B	0,5	33	1,7	26	1,6	28
	2'C	digrettes	46	1,4	-	-	-
	2'D	0,5	-	0,6	28	3,3	26
	2'E	1,1	38	1,8	8	3,1	39
	2'F	3,5	73	2	23	3,1	49
	2'G	1,8	62	2,5	36	2,9	49

Tableau III-6: Resultats de la chaine " 2' " .

NIVEAU DE TENSION	12 kV		15 kV		18 kV	
	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)
3A	0,9	39	1,2	56	5,5	77
3B	2,6	46	6,9	87	10,8	95
3C	2,4	92	1,9	56	9,9	72
3D	2,9	49	1,6	49	6	69
3E	1,8	46	1,6	49	7,6	51
3F	1,5	28	1,4	51	4,5	59

Tableau III-7: Résultats de la chaîne " 3 ".

NIVEAU DE TENSION	12 kV		15 kV		18 kV	
	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)
3'A	5,4	51	4,6	28	3,8	41
3'B	3,8	92	6,8	23	5,9	62
3'C	3,3	49	3,8	36	8,5	62
3'D	3,1	49	3,5	33	3,9	49
3'E	1,8	49	3,4	36	10,3	41
3'F	1,8	26	2,2	36	6	-

Tableau III-8: Résultats de la chaîne " 3' "

NIVEAU DE TENSION	12 kV		15 kV		18 kV		
	N°	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)
	4A	3,3	36	5	31	12	36
	4B	0,9	26	4,5	31	4,1	49
	4C	1,1	46	3,4	41	4,7	49
	4D	1,8	72	3,3	41	6,3	59
	4E	6,3	77	3,4	41	6	-

Tableau III-9: Résultats de la chaîne " 4 " .

NIVEAU DE TENSION	12 kV		15 kV		18 kV		
	N°	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)
	6A	2,6	77	-	-	7,1	56
	6B	2,7	77	2,6	31	21,8	51
	6C	2	-	2,8	31	4,9	-
	6D	aiguilles	72	8,4	-	2,7	-
	6E	1,9	-	4,7	-	3,7	-

Tableau III-10: Résultats de la chaîne " 6 " .

N°	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)
3A	4,2	50
3B	5,3	70
3C	5,9	77
3D	3,3	62
3E	6	80
3F	6,2	63

N°	Longueur d'arc (cm)	Courant de fuite (mA)
4A	5,8	75
4B	5,1	45
4C	0,6	29
4D	4,8	65
4E	6,2	98

Tableau III-11: Résultats des chaînes " 3 " et " 4 "

-Niveau "21KV" -

Observations :

- Ces essais nous ont permis de constater que les phénomènes d'arc sont aléatoires .
- Les aigrettes peuvent apparaitre dans n'importe quel endroit de la surface de l'isolateur .
- Le développement de l'arc peut se faire aussi bien du côté du conducteur de haute tension que celui de la terre .

III-5-2 Essais de contournement

Nous présentons dans le tableau

III-12 les résultats obtenus pour chaque chaîne d'isolateurs .

N° de la chaîne	TENSION MOYENNE (kV)	TENSION MINIMALE (kV)
1	32,6	27
2	38	32
2'	45	41
3	27,5	22
3'	26,8	22
4	27,8	24
5	29,5	28
6	26,4	25

Tableau III-12: Tensions de contournement.

Observations :

-Lors des essais de contournement, nous avons constaté que l'arc se développait de tous les côtés de l'électrode de haute tension.

-Les zones non polluées, situées du côté du conducteur de haute tension gênaient considérablement le développement de l'arc.

-Chaque zone non polluée oblige l'arc à sécher presque la totalité de la surface entre elle et l'électrode avant de se propager au delà.

-Les isolateurs du type NGK sont les plus rigides.

-La position de la chaîne d'isolateurs par rapport au sol (horizontale ou verticale) n'influe pas sur sa rigidité.

-Les isolateurs utilisés sur le réseau de Hassi-R'mel sont moins rigides que ceux utilisés sur le réseau de Hassi-Messaoud.

-La tension de contournement est moins élevée sur l'isolateur relié au conducteur de haute tension que celui relié à la terre.

--- Les isolateurs à l'état critique.
— Les isolateurs les moins rigides.

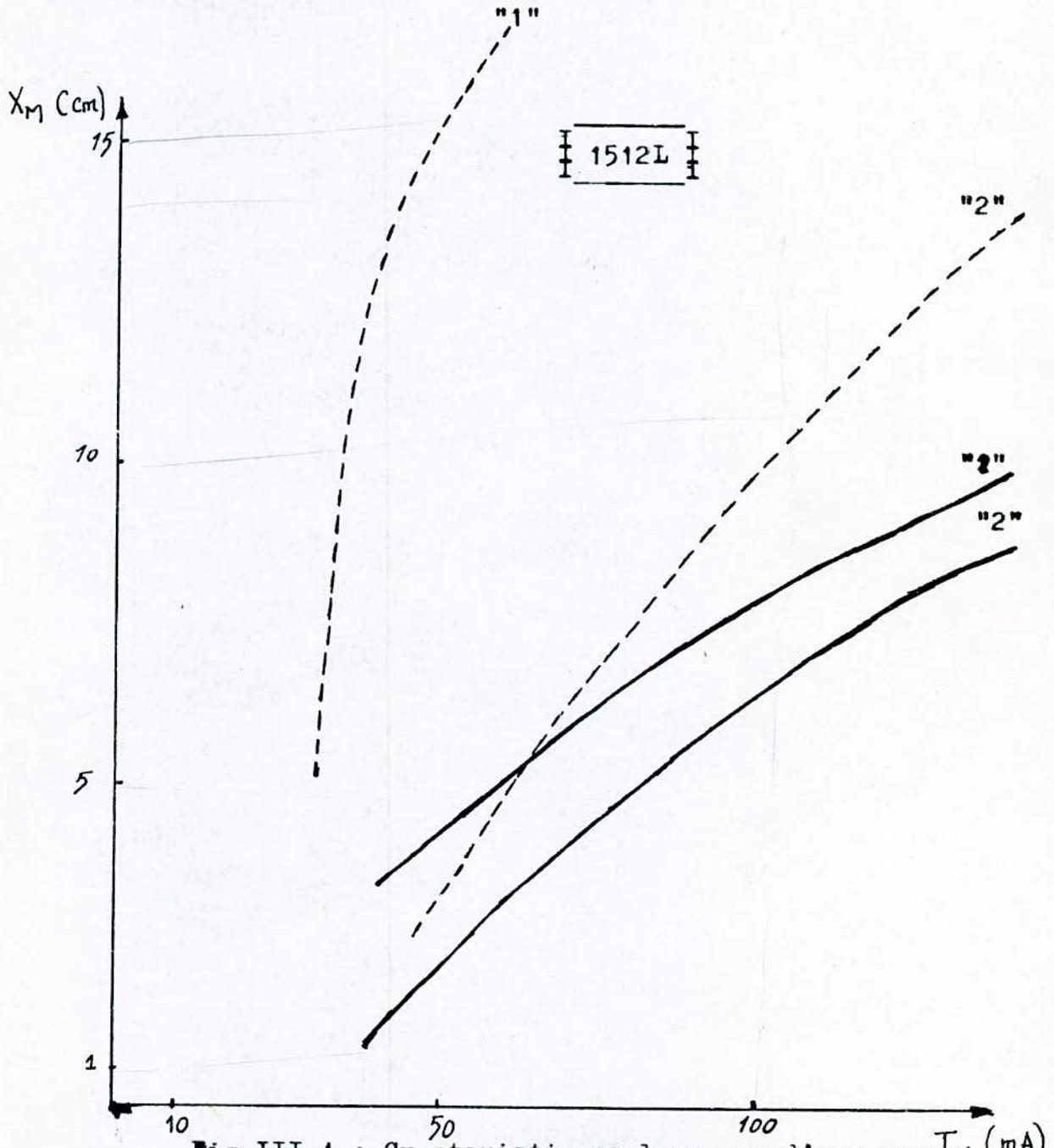


Fig III-4 : Caractéristiques longueur d'arc max I_M (mA)
courant de fuite max

"1" : Region de Massi-R'mel.
"2" : region de Massi-Messaoud.

--- Les isolateurs à l'état critique.
— Les isolateurs les moins rigides.

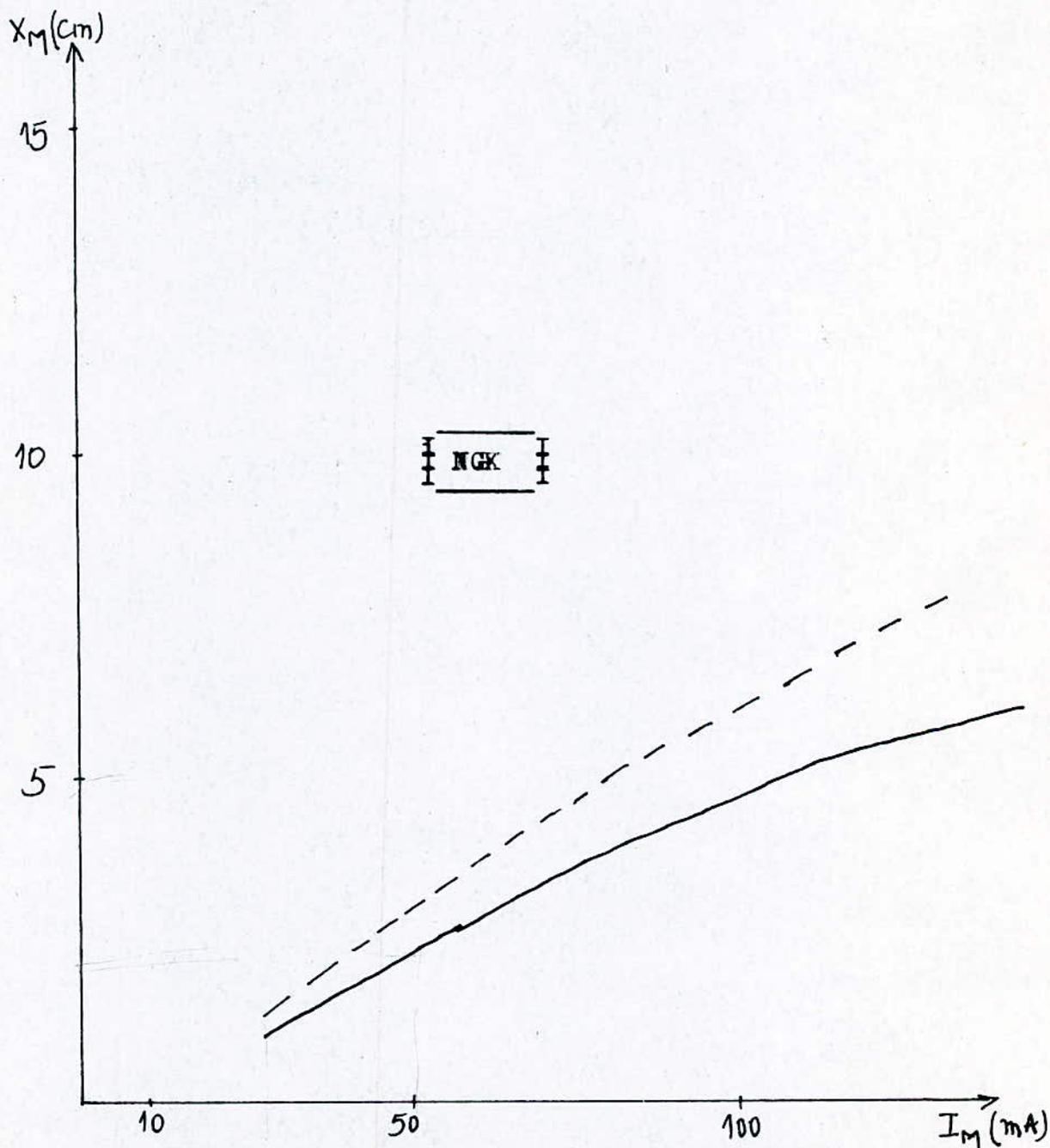


Fig III-5 : Caractéristiques longueurs d'arc max
courant de fuite max

- Region de Hassi-Messaoud -

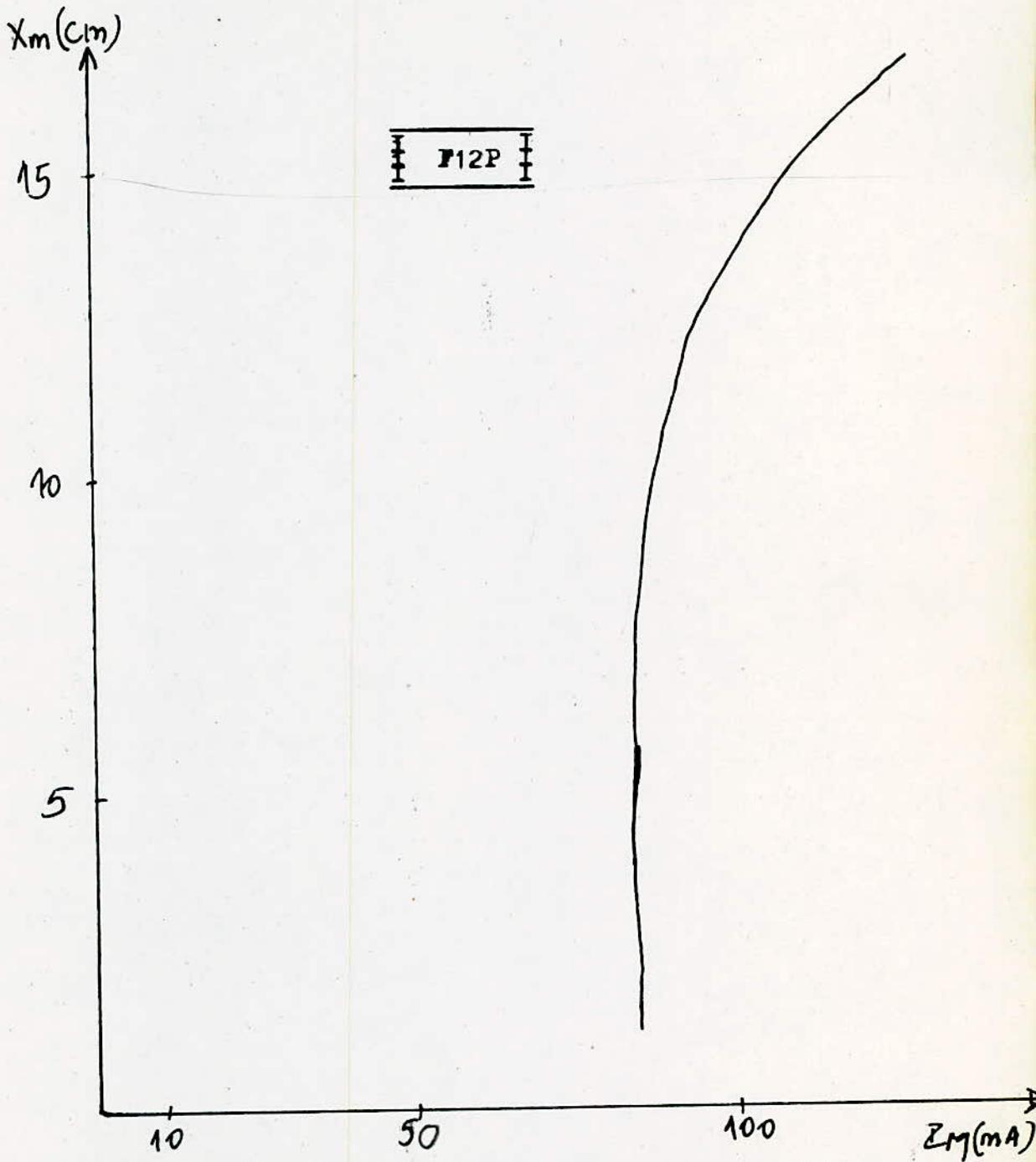
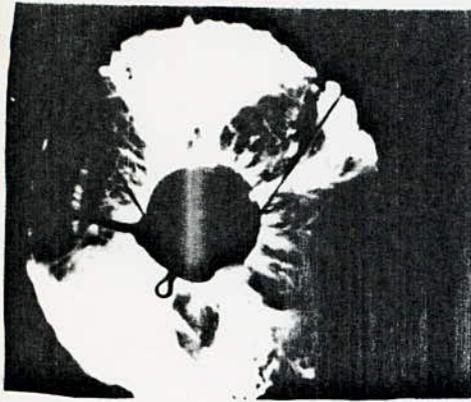
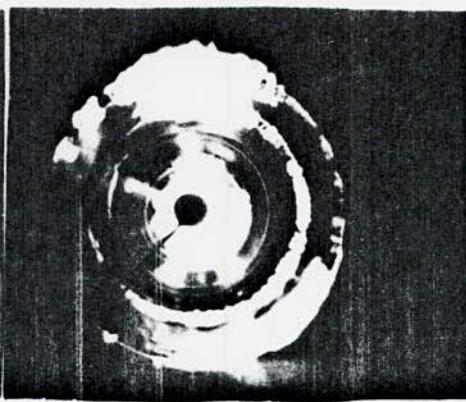


Fig III-6 : Caractéristiques longueurs de l'arc max courant de fuite max .

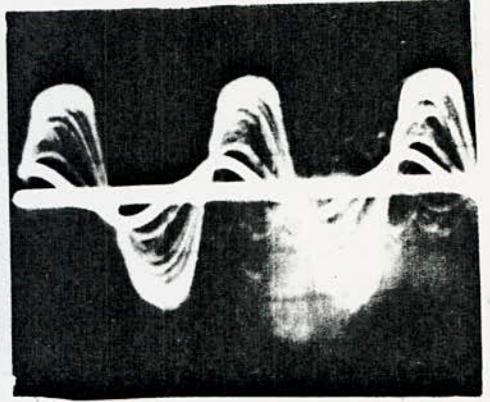
- Region de Massi-Messaoud -



terre



haute tension

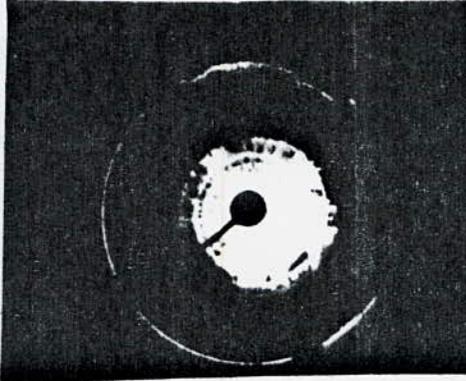


courant de fuite

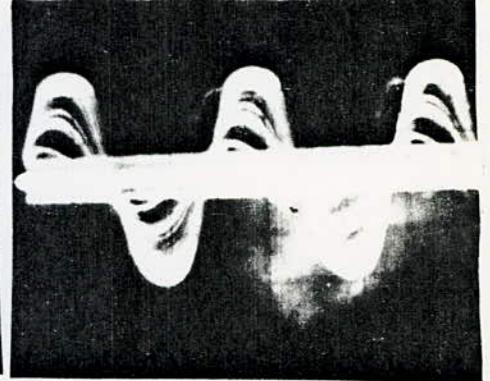
U= 21 kV type :1512L



terre

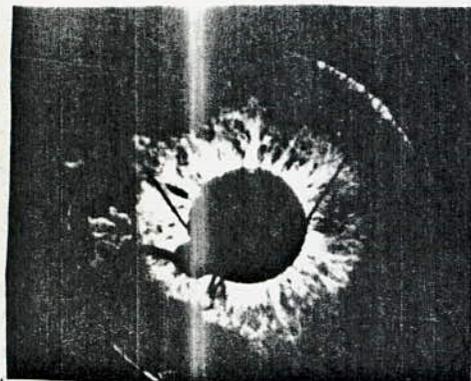


haute tension

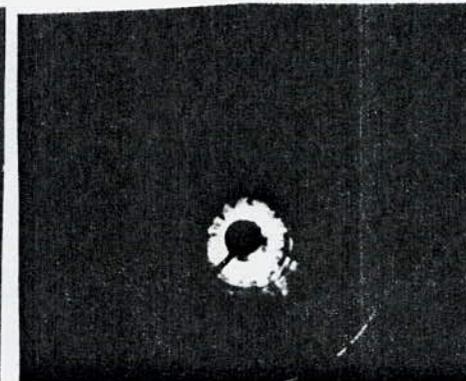


courant de fuite

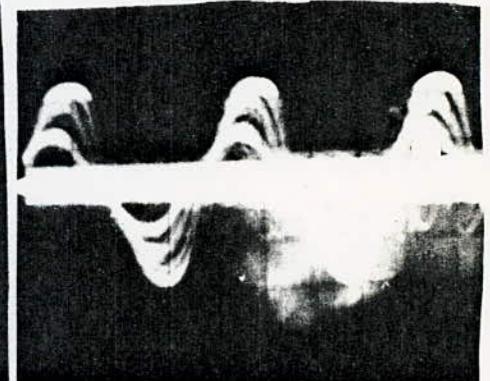
U= 21 kV type :NGK



terre



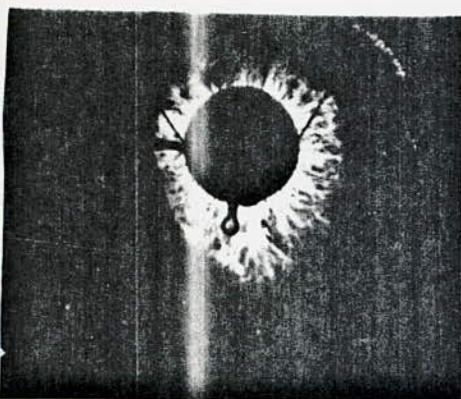
haute tension



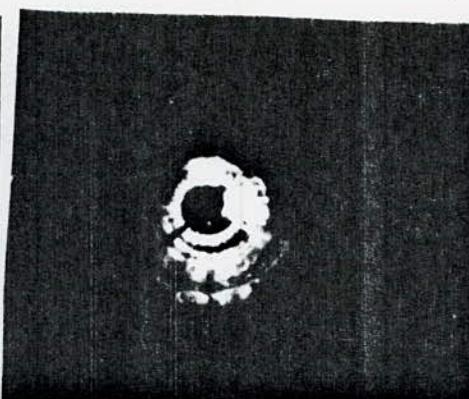
courant de fuite

U= 18 kV type :NGK

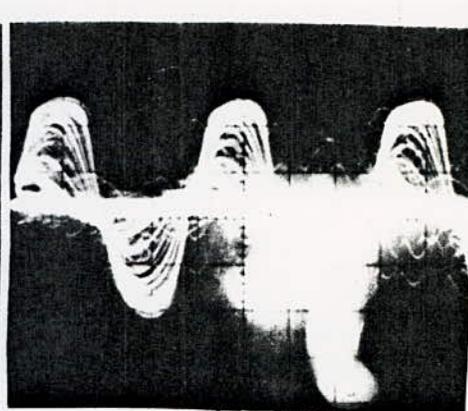
Photos d'illustration



terre



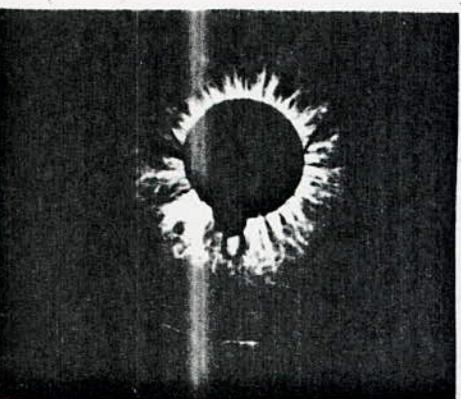
haute tension



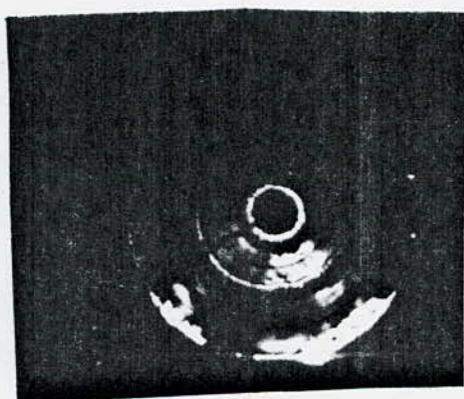
courant de fuite

U= 35 kV

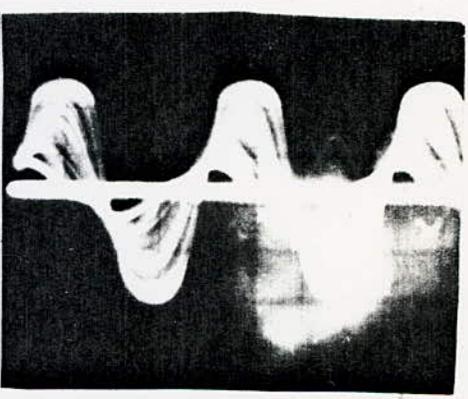
type :NGK



TERRE



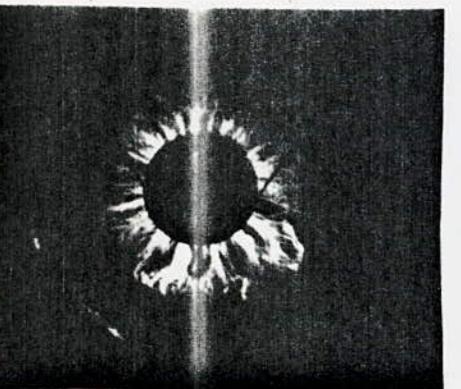
haute tension



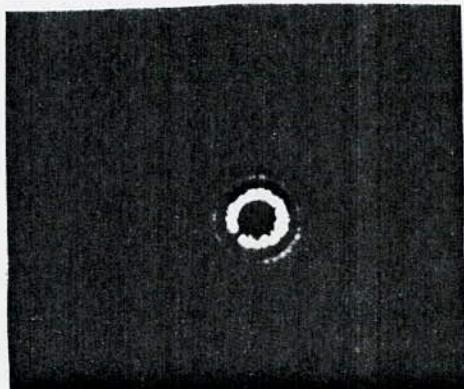
courant de fuite

U= 15 kV

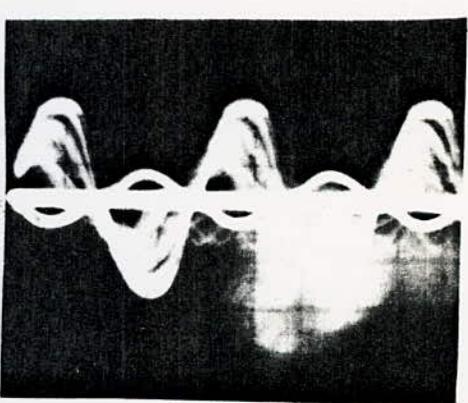
type :1512L



terre



haute tension



courant de fuite

U= 12 kV

type :112P

Photos d'illustration

III-6 Interprétation :

Pour un même élément, l'augmentation de la tension d'application engendre l'augmentation du courant de fuite et la longueur d'arc (fig III-4, III-5, III-6). Toutefois, dans certains cas, ceci n'est pas vérifié car la conductivité n'est pas rigoureusement la même pour tous les essais effectués. Afin de parer à cet inconvénient, elle doit être mesurée et gardée constante avant chaque essai.

D'après les caractéristiques $X_m=f(I_m)$, pour une tension d'essai donnée et pour une même valeur du courant de fuite, l'arc est plus développé sur les surfaces d'isolateurs dans leur état critique (Défini au paragraphe III-3) que sur les surfaces qui ont contourné à la plus faible tension.

Les niveaux de tension choisis (12, 15, 18 et 21 kV) sont inférieurs aux tensions de contournement.

Le développement de l'arc dépend de la répartition de la couche de pollution sur la surface de l'isolateur et du profil de celui-ci. Ces constatations nous amènent à la correction suivante de la définition de l'état critique des modèles plans équivalents proposés: L'état critique d'un élément capot et tige serait représenté par les plus larges zones de pollution et les zones propres les plus minces (Tableaux III-13 et III-14).

Type d'isolateurs \ ZONE (mm)	1	2	3	4	5	6
F12P	137	86	8	100	4	97
1512L	100	37	10	52	4	89

Tableau III-13: Modèles plans critiques équivalents corrigés

ZONE (mm)	1	2	3	4	5	6
F12P	157	85	5	85	4	96
1512L	86	42	7	55	6	96
NGK	120	85	10	104	6	65

Tableau III-14 : Modèles plans critiques équivalents corrigés
- Région de Hassi-Messaoud -

Nous avons constaté, que pour un même type d'isolateurs, le courant de fuite est plus important sur les isolateurs de la région de Hassi-Messaoud que sur ceux de la région de Hassi-R'mel. Par contre la longueur d'arc est plus importante sur les échantillons de Hassi-R'mel que sur ceux de Hassi-Messaoud pour un même type d'isolateurs. Ceci s'explique par le fait que la conductivité de l'agent polluant de la région de Hassi-Messaoud ($3 \mu S$) est plus élevée que celle de Hassi-R'mel ($1,01 \mu S$).

Pour une même valeur du courant de fuite à un niveau de tension donné, l'arc est moins développé sur les isolateurs du type NGK que sur les autres types, ceci est dû à son profil anti-polluant.

A l'aide de nos résultats d'essais et par approximation par la méthode des moindres carrés ordinaire, de l'expression générale donnant la tension d'entretien de l'arc:

$$V = \frac{N \cdot X_m}{I^n} \quad (\text{relation (1) chapitre I})$$

nous avons obtenu: $10 \leq N \leq 41,7$ et $0,17 \leq n \leq 0,52$

Les essais de contournement ont révélé que les isolateurs de Hassi-R'mel sont plus rigides que ceux de Hassi-Messaoud. Or le taux d'incidents de contournement dans la région de Hassi-R'mel est plus

élevé que dans la région de Hassi-Messaoud .Nous pouvons imputer cet état de fait aux conditions climatiques très défavorables à Hassi-R'me (l'humidité atteint certaines fois 100%)et au mauvais dimensionnement des chaînes d'isolateurs.Elles comprennent 5 éléments au lieu de 6 à 7 à Hassi-Messaoud.

La position(horizontale ou verticale) d'utilisation de la chaîne d'isolateurs n'influerait pas sur la tension de contournement.

Les chaînes sont ,selon le type,surdimensionnées ou sous-dimensionnées .

Elles devraient comprendre :

- 5 éléments au lieu de 7 pour le type NGK
- 7 éléments au lieu de 5 et 6 pour le type 1512L
- 6 éléments au lieu de 5 pour le type F12P

C O N C L U S I O N

A l'issue de notre étude , nous pouvons conclure :

Les facteurs climatiques influent d'une manière intensive sur le comportement des isolateurs .

Le développement de l'arc électrique dépend du profil de l'isolateur et de la répartition de l'agent polluant sur la surface de l'isolateur .

L'analyse du sable prélevé sur le site demeure insuffisante pour l'identification de complète de l'agent polluant.

Aux exploitants des lignes de haute tension des deux régions, nous conseillons l'utilisation des isolateurs du type NGK.

L'étude par éléments donne de meilleurs résultats que l'étude par chaîne d'isolateurs .

En plus des essais au laboratoire , nous recommandons la réalisation de stations d'essais sur les différents sites .

Pour la continuité de notre travail, nous souhaitons qu'une étude soit faite sur les modèles plans proposés en vue de déterminer le modèle de laboratoire le plus représentatif des régions étudiées.

Nous suggérons , pour l'équipement du laboratoire de l'E.N.P , un matériel qui répondrait au mieux aux besoins de ces études et aux exigences des normes de la C.E.I.

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

- /
- / 1/ S. HESKETH: "General criterion for the prediction of pollution flashover"
(Proc. IEE Tome 114, 1967 pages 531 à 532)
- /2/ Mahmoud A.B EL KOSHAIRY et Farouk A.M RIZK: "Comportement des isolateurs des lignes de transport à très haute tension dans les conditions de pollution desertiques " CIGRE 3505 Session 1970.
- /3/ P. CLAVERIE et Y. PORCHERON : "La pollution des isolateurs -Les phénomènes des isolateurs et l'isolement des ouvrages en régions polluées " 166/R.G.E Tome n°3 -Mars 1973 -
- /4/ CEI60-1: "Techniques des essais à haute tension. Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais". Première édition- 1973.
- /5/ M.A.B EL KOSHAIRI, E. EL SHARIKAOUI , M.M AWAD , H.E.M ZARZOURA , M.M KHALIFA et A. NOSSEIR : "Performance de chaînes d'isolateurs haute tension soumises à la pollution du désert "(CIGRE 33-09-Session 1982)
- /6/ M.P VERMA, H. NIKLASCH, W. HEISE , H. LIPKEN , H. SCHREIBER et G.F LUKA: "Critère de contournement par pollution et ses applications pour le dimensionnement et le contrôle de l'isolation".
- /7/ MEKHALDI et BOUDJELTIA : " Contribution à l'étude de la pollution des isolateurs de haute tension dans la région électrique de Annaba " -(Projet E.N.P ~~si~~ juin 1984).
- /8/ A. CIMADOR , M. COJAN , P. HAUPPEUILLE et M. MOREAU: "Méthode de dimensionnement des isolateurs des lignes aériennes en régions polluées"-CIGRE 33-04- Edition 1978.
- /9/ DJEMAI et BENNAI : "Essais sur site et au laboratoire d'isolateurs de lignes

- contaminées par la pollution au bord de la mer "- (Projet E.N.P , juin 1986)
- /10/ M. MEKHANET et A. NOUAR : " Etude du développement d'un arc électrique sur une surface isolante contaminée par pollution désertique "- (Projet E.N.P, 1987 - janvier .
- /11/ Farouk A.M RIZK: " Modèles mathématiques du contournement des isolateurs sous pollution " - ELECTRA n°78.
- /12/ OULD Amer : " Etude du développement d'un arc électrique sur des isolateurs pollués dans des conditions désertiques "-(Projet E.N.P , juin 1978)
- /13/ J. KELLER-JACOBSEN , C. LINDQVIST , Aa. PEDERSEN , J.K RASMUSSEN , I. A. HENRIKSEN , S. SMEDSFELT : "Essais au laboratoire et en plein air pour dimensionner correctement les isolateurs exposés à la pollution saline " - CIGRE 33-11 , session 1978 -
- /14/ J. DANIS : " A stochastic pollution flashover model " (Rapport 46-12-Athènes -GRECE- Sept, 1983 .
- /15/ M. DOBARZIC : " Forme de décharges glissantes sous tension de choc 1,2/50 s sur des surfaces diélectriques solides polluées par le sol du Sahara " - Thèse de Doctorat E.N.P , 1975 -
- /16/ A. BOUBEKEUR et M.E ZAIM : " La pollution des isolateurs haute tension dans les conditions Sahariennes " - Thèse de fin d'étude E.N.P , 1975.

