

UNIVERSITE D'ALGER

28/75

1ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DEPARTEMENT ELECTRICITE



Thèse de Fin d'Études



POLLUTION DES ISOLATEURS DE HAUTE TENSION
DANS LES CONDITIONS SAHARIENNES

PROPOSÉE PAR :
M. DOBARDZIC

ÉTUDIÉE PAR :
M. E. ZAÏM & A. BOUBAKEUR

(PROMOTION 1975)

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER
DEPARTEMENT ELECTRICITE

Thèse de Fin d'Études

POLLUTION DES ISOLATEURS DE HAUTE TENSION
DANS LES CONDITIONS SAHARIENNES

PROPOSÉE PAR :
M. DOBARDZIC

ÉTUDIÉE PAR :
M. E. ZAÏM & A. BOUBAKEUR

(PROMOTION 1975)

A NOS PARENTS ET AMIS ...

M.E. ZAIM & A. BOUBAKEUR

R E M E R C I E M E N T S

Nous exprimons notre vive gratitude envers tous les professeurs qui ont contribué à notre formation et particulièrement Monsieur DOBARZIC pour son appui constant .

Nos remerciements vont aussi à ceux qui nous ont aidés et particulièrement aux membres compétants des sociétés nationales SONATRACH , SONEGAS et SONAREM .

- S O M M A I R E -

- Introduction 1

CHAPITRE 1

RAPPELS SUR LA POLLUTION DES ISOLATEURS DE HAUTE TENSION

-1.1 Généralités 2
-1.2 Manifestations diverses de la pollution des isolateurs de haute
tension 2
-1.3 Influence des pollutions sur la tension de contournement des iso-
lateurs 4
-1.4 Degré de pollution d'une localité 5
-1.5 Formes des isolateurs "anti-polluants" 6

CHAPITRE 2

CONDITIONS CLIMATIQUES AU SAHARA ALGERIEN

-2.1 Généralités 9
-2.2 Humidité et précipitations 9
-2.3 Orages 12
-2.4 Vents 12
-2.5 Autres caractéristiques du climat saharien 13

CHAPITRE 3

MANIFESTATIONS DE LA POLLUTION SAHARIENNE

-3.1 Généralités 16
-3.2 Région étudiée 17
-3.3 Installations de haute tension en service dans la région étudiée
et les types des isolateurs 17
-3.4 Divers types de pollution 19
-3.5 Statistiques de claquage des isolateurs 26
-3.6 Critères actuels pour le choix des isolateurs de haute tension . 26
-3.7 Stations expérimentales existantes ou en projet 28

CHAPITRE 4

CARACTERISTIQUES DE L'AGENT POLLUANT SAHARIEN - LE SABLE -

-4.1 Généralités	29
-4.2 Caractéristiques physiques	29
-4.3 Caractéristiques électriques	33
-4.4 Caractéristiques chimiques	36

CHAPITRE 5

INFLUENCE DU SABLE SUR LA TENSION DE CONTOURNEMENT DES ISOLATEURS H.T.

-5.1 Généralités	40
-5.2 Laboratoire à haute tension de l' E.N.P.A.	40
-5.3 Essais	44
- Conclusion	48
- Bibliographie	49

- 1 -

- INTRODUCTION -

En Algérie, le développement industriel accentué entraîne des progrès rapides de la production d'énergie électrique et la superficie du territoire favorise l'interconnection et le transport en haute tension. Le niveau de cette tension devient de jour en jour plus élevé.

La diversité des régions et des climats posera différents problèmes d'isolement dans un avenir proche. En effet, le problème de la contamination de l'équipement électrique est très important pour une raison de sécurité et de continuité d'exploitation des réseaux.

Dans le domaine de la pollution des isolateurs de haute tension, nombreuses études ont été faites et surtout dans les pays industrialisés où le niveau de tension de transport d'énergie est très élevé.

Des solutions sont adoptées pour l'amélioration du comportement des isolateurs de haute tension suivant des conditions de pollution différentes.

La nécessité d'essais sur l'équipement de haute tension a amené à construire des laboratoires permettant d'étudier le comportement de cet équipement pour les conditions de service et le degré de pollution correspondant à la zone prévisionnelle la plus défavorable.

En Algérie, on rencontre les genres de pollution les plus divers : naturelle (marine, rurale, désertique) industrielle (au voisinage des usines) et naturelle et industrielle en même temps. Pour tous ces cas, au niveau des connaissances actuelles, il manque des précisions selon lesquelles on pourra caractériser une région et procéder aux dimensionnements corrects des isolateurs de haute tension.

Dans la présente étude, nous essayerons de donner quelques renseignements sur la pollution des isolateurs de haute tension au Sahara et sur leur comportement au cours d'exploitation. Nous espérons que ces renseignements permettront aux utilisateurs des installations sahariennes de mieux connaître les problèmes se posant sur le choix des isolateurs de haute tension dans les conditions correspondantes.

CHAPITRE 1
RAPPELS SUR LA POLLUTION DES ISOLATEURS
DE HAUTE TENSION

1.1 - Généralités-

La plupart des incidents d'exploitation affectant les isolateurs des lignes de haute tension sont consécutifs à des amorçages produisant le contournement d'isolateurs. Ces difficultés sont particulièrement grandes dans les régions soumises à une forte pollution industrielle et dans les districts côtiers et désertiques.

La cause principale de la diminution de la tension d'amorçage de contournement des isolateurs est due à l'effet de la présence de différents agents polluants sur leur surface. Lors de brouillard ou de pluie, cette surface devient conductrice .

Les amorçages des différentes phases de décharge pouvant se produire sur la surface des isolateurs, ainsi que leurs tensions initiales dépendent surtout de l'état de leur surface (degré de pollution caractérisé par la conductivité superficielle) et de la distribution du champ sur celle-ci (forme des isolateurs). Pour une forme d'isolateur donnée, il est donc indispensable de connaître les caractéristiques des couches polluantes.

Dans ce chapitre seront étudiées les couches naturelles et industrielles se formant dans les cas généraux; en utilisant diverses sources bibliographiques, en particulier les rapports correspondants de la "Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques" - C.I.G.R.E. (1,2,3,4,5,6,7, 8,10) et de la Revue Générale de l'Electricité - R.G.E (9 ,11) .

1.2 -

1.2 - Manifestations diverses de la pollution des isolateurs -

Les couches polluantes sont caractérisées par leur forme, leurs caractéristiques chimique et physique et certains autres facteurs .

La forme de la couche (disposition, épaisseur) dépend de différents facteurs tels que le type de montage des divers isolateurs et leur disposition par rapport à la terre (horizontale, verticale, ...). Les couches peuvent être continues ou discontinues, régulièrement ou irrégulièrement réparties sur la surface, se limitant à un secteur de l'isolateur. Dans la plupart des cas l'épaisseur de la couche dépend de la hauteur des montages; plus l'isolateur est élevé par rapport au sol, moins la couche le recouvrant est épaisse. Cette épaisseur varie aussi suivant les caractéristiques géographiques de la région, le nombre de sources polluantes et le type de montage (extérieur, intérieur). A titre d'exemple, au Sahara, sous l'influence du vent, la couche de sable; épaisse à l'intérieur; est presque inexistante à l'extérieur .

Dans l'ensemble, on doit distinguer (1) deux types de pollution; l'une contient également des composés granulaires, alors que l'autre a un caractère purement liquide. Tandis que dans le premier cas, l'humidité est fixée par les grains composés en général de silice, de carbone et d'oxydes (fer et aluminium); dans la seconde, l'humidité précipitée ou pulvérisée sur l'isolateur ~~ouvre~~ sa surface d'une couche électrolytique. La vapeur acidifère (due à l'anhydride sulfureux SO₂ ou l'oxyde d'azote NO₂) ou le sel (en général chlorure de sodium NaCl) constituant l'électrolyte sont soit prélevés dans l'humidité; soit déposés auparavant sur la surface de l'isolateur. En général, la pollution granulaire est obtenue dans les zones industrielles et désertiques, tandis que celle à caractère liquide est rencontrée dans les régions côtières. La granulométrie des grains polluants varie aussi avec la hauteur de montage; leur grosseur décroît d'une façon prononcée avec l'élévation de l'isolateur par rapport au sol (2).

En ce qui concerne les autres propriétés des couches, tels que l'adhérence, l'absorption de l'eau et la capacité thermique du dépôt polluant, nous donnerons les quelques renseignements suivants. L'adhérence du dépôt joue un rôle important sur les caractéristiques géométriques de la couche polluante. Suivant sa composition chimique et les conditions ambiantes, le dépôt adhèrera plus ou moins à la surface de l'isolateur et donc son épaisseur sera plus ou moins accentuée. La possibilité d'absorber de l'eau et la capacité thermique de la couche sont liées avant tout au type de dépôt et à son épaisseur. Il est clair, en effet, que plus la couche étrangère est épaisse, plus elle absorbe d'humidité.

Tous ces facteurs influenceront d'une façon notoire sur le niveau de la tension de contournement qu'il faudrait étudier .

1.3 - Influence des pollutions sur la tension de contournement des isolateurs -

L'irrégularité du dépôt et de son humidification déjà décrite, ainsi que l'échauffement du aux courants de fuite à la surface de l'isolateur, vont contribuer (3) à la formation de zones sèches qui, recouvrant leurs propriétés isolantes, seront soumises à des tensions d'autant plus élevées qu'elles seront moins nombreuses. Des décharges dans ces zones sèches pourront alors se produire. La présence simultanée de ces décharges pourra conduire au contournement sous la tension de service .

La teneur en eau et la quantité d'ions influenceront sur les valeurs de la conductance du dépôt superficiel qui pourront être considérablement augmentées. La tension de contournement sera donc d'autant diminuée .(8)

La capacité thermique de la couche polluante jouera un rôle très important du fait que suivant sa valeur, on atteindra ou non dans un temps plus ou moins long un équilibre entre la production de zones sèches et humidifiées. Cela revient à dire que suivant ces paramètres, la couche polluante sera ou non régénérée par pulvérisation d'humidité. L'étude de ces deux cas pourra conduire à différentes observations. Dans le cas où l'assèchement croît plus vite que l'humidification, pour une tension inférieure à celle de contournement, le phénomène s'arrêtera (9) (aucune décharge ne subsistera) ; -Alors qu'un régime permanent caractérisé par des décharges autour d'une électrode et balayant une surface bien délimitée, s'établira dans le cas inverse. Il est prouvé par ailleurs (4) que plus la capacité thermique et l'absorption d'eau sont grandes, plus la probabilité qu'un contournement se produise est grande .

1.4 - Degré de pollution d'une localité -

Par suite du nettoyage naturel, des isolateurs pollués, par le vent ou la pluie, on atteint, après une période d'exploitation plus ou moins longue, une "pollution limite" (9) caractérisée entre autre par l'intensité de la pollution, de l'adhérence de l'agent contaminant et de la fréquence du lavage naturel. Cette pollution limitée est donc propre à chaque site.

Selon cette pollution, on procède aux essais des isolateurs de haute tension destinés pour les régions correspondantes en utilisant diverses méthodes d'essais. Ces méthodes sont en général basées sur la détermination de la conductivité superficielle des isolateurs pollués dans les conditions d'exploitation. Pour la reproduction artificielle des couches contaminantes, il a été proposé (5) l'emploi de la densité du dépôt salin.

Cette méthode consiste à définir les contenus électrolytiques des substances, qui recouvrent l'isolateur pollué naturellement, par la quantité de sel produisant la même conductivité superficielle. Suivant cette définition, on pourra faire correspondre à chaque site une concentration de la solution saline que l'on exprimera en grammes de chlorure de sodium (NaCl) par litre de solution. La sévérité de la pollution d'un site sera ainsi caractérisée par une "salinité équivalente" (6) qui permettra de le classer par rapport à d'autres. Le site le plus pollué sera celui ayant la "Salinité équivalente" la plus grande .

Pour tenir compte de la répartition non uniforme de la couche polluante, on a pu définir (9) la "salinité équivalente" de la solution pulvérisée de l'essai artificiel comme étant la concentration pour laquelle les courants de fuite seront voisins de ceux mesurés en site .

En fonction de la sévérité de pollution, à chaque site correspondra une forme optimale d'isolateurs.

1.5 - Formes des isolateurs " anti-polluants" -

On a reconnu depuis longtemps déjà (7) qu'en ce qui concerne le comportement des isolateurs pollués, il ne suffisait pas de les dimensionner uniquement d'après la tension de contournement sous pluie, mais de prendre en considération les effets produits par les autres agents polluants .

Un isolateur est caractérisé surtout par la longueur de la ligne de fuite dépendant de ses dimensions et de son profil (nombre de jupes ou ailettes distance les séparant...).

La multiplicité des phénomènes et des facteurs qui interviennent dans l'exploitation des isolateurs est telle qu'une solution simple et **universelle** sur leur construction ne paraît pas possible, d'où la variété des formes

d'isolateurs suivant le lieu de montage. L'imagination des chercheurs nous a doté de toute une série de profils d'isolateurs "anti-brouillard" "anti-poussière", "bord de mer" etc... Chacun de ces types d'isolateurs a, en général, répondu aux conditions d'utilisation correspondantes, mais le profil d'un isolateur répondant à toutes sortes de pollution en même temps reste toujours dans le domaine de recherche .

A titre d'exemple, nous présentons dans la figure 1, certaines formes d'isolateurs ayant répondu à de bons comportements dans certaines conditions de pollution. Nous tenons à remarquer que le type à jupes lisses (fig.1b) s'adapte mieux, dans les conditions désertiques, que le type à jupes nervurées (fig.1a). Ceci étant dû au fait que le sable se colle sur la surface, à l'intérieur des nervures après humidification (10). Par contre, ce dernier type d'isolateur donne de meilleures performances sous pollution marine. De même, pour les types d'isolateurs supports à ailettes (fig 1c et 1 d), la position verticale, contrairement à ce qui se produit pour les isolateurs du type "capot et tiges", présente un comportement légèrement plus satisfaisant que les positions horizontales et inclinées.(11)

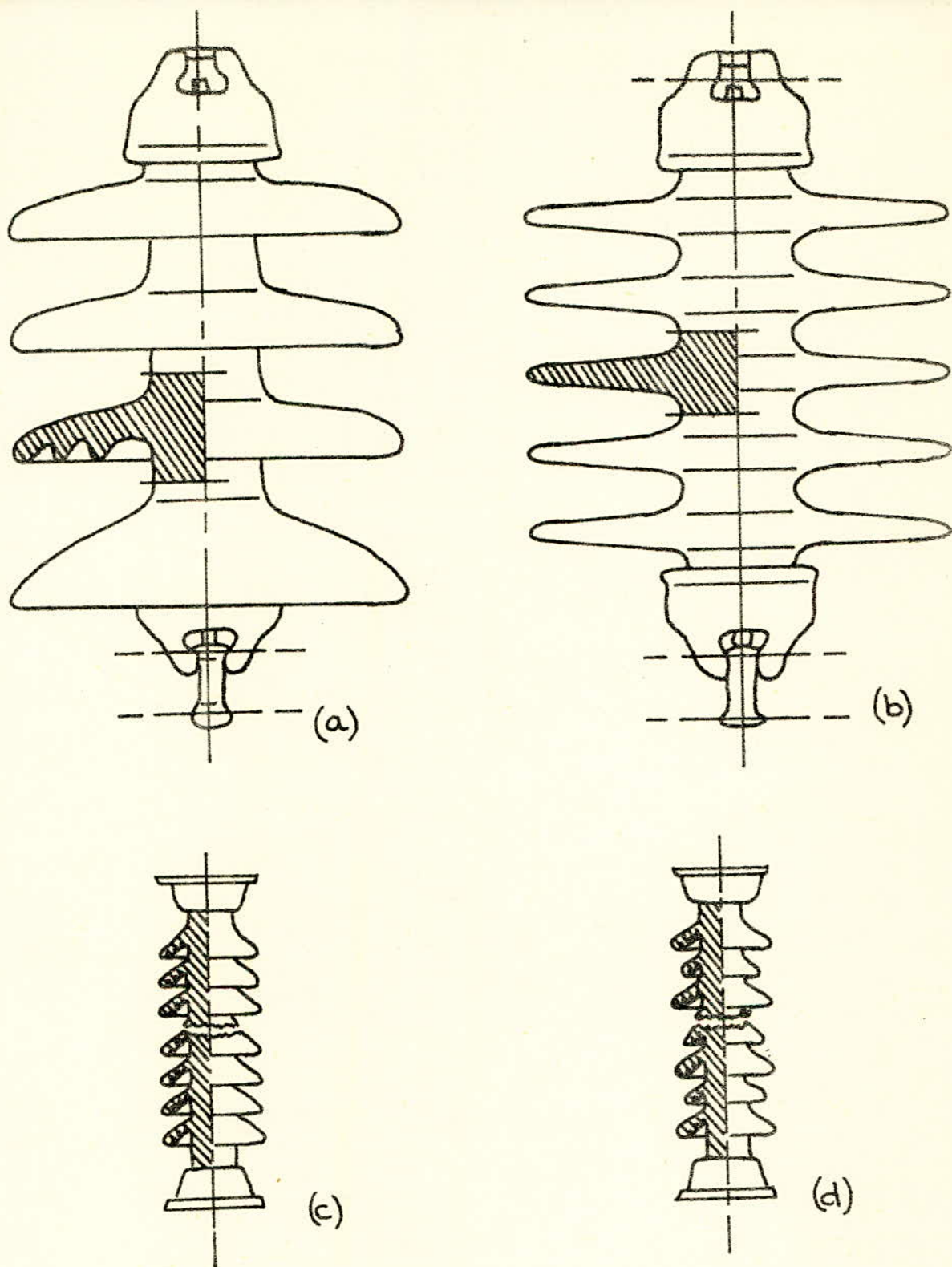


Figure 1

Quelques types d'isolateurs "anti-polluants" de Haute Tension avec différentes formes de jupes (et ailettes) :

- a) avec jupes nervurées
 - b) avec jupes lisses
 - c) avec ailettes ordinaires
 - d) avec ailettes alternées
- } [10]
} [11]

-CONDITIONS CLIMATIQUES AU SAHARA ALGERIEN-

2.1 - Généralités -

Situé de part et d'autre du tropique du cancer, le Sahara correspond à la plus vaste région continentale qui soit soumise à l'influence des hautes pressions tropicales.

Le Sahara n'est pas soumis à un climat unique mais à un ensemble de climats différents, bien qu'ayant des caractères essentiels communs. Les manifestations climatiques, tels que les pluies, l'humidité, etc... ne sont pas régulières comme au Nord algérien ou en Europe. Ces irrégularités sont liées aux variations de la nébulosité qui est relativement forte au Nord en hiver et au Sud en été. En général, de jour le temps est sec, l'évaporation est accentuée et les vents soufflent de façon continue et parfois très violente.

Dans ce chapitre nous donnons quelques informations sur le climat du Sahara algérien en nous basant sur la littérature suivante: "Climat du Sahara" (12) et les statistiques de l'Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique E.N.E.M.A (13 -14).

2.2. -Humidité et précipitations -

2.2.1- Humidité -

En général (12), l'humidité suit la nébulosité. Ceci nous conduit à dire que le degré hygrométrique varie avec la latitude et l'altitude. Il est en moyenne plus élevé en été au Sud du Sahara et en hiver au Nord. C'est ainsi qu'à Hassi-Messaoud, l'humidité est accentuée surtout en hiver (de Novembre à Janvier). Le degré hygrométrique peut atteindre en ces mois-ci une valeur de 100 %, ceci plus couramment entre 3 h et 6 h, (14) et baisser de 40 % vers 9 h. Nous présentons, sur la figure 2 a, les variations de l'humidité relative moyenne et celles de l'humidité moyenne maximale.

2.2.2. - Précipitations -

2.2.2.1 - Pluies mesurables :

.../...

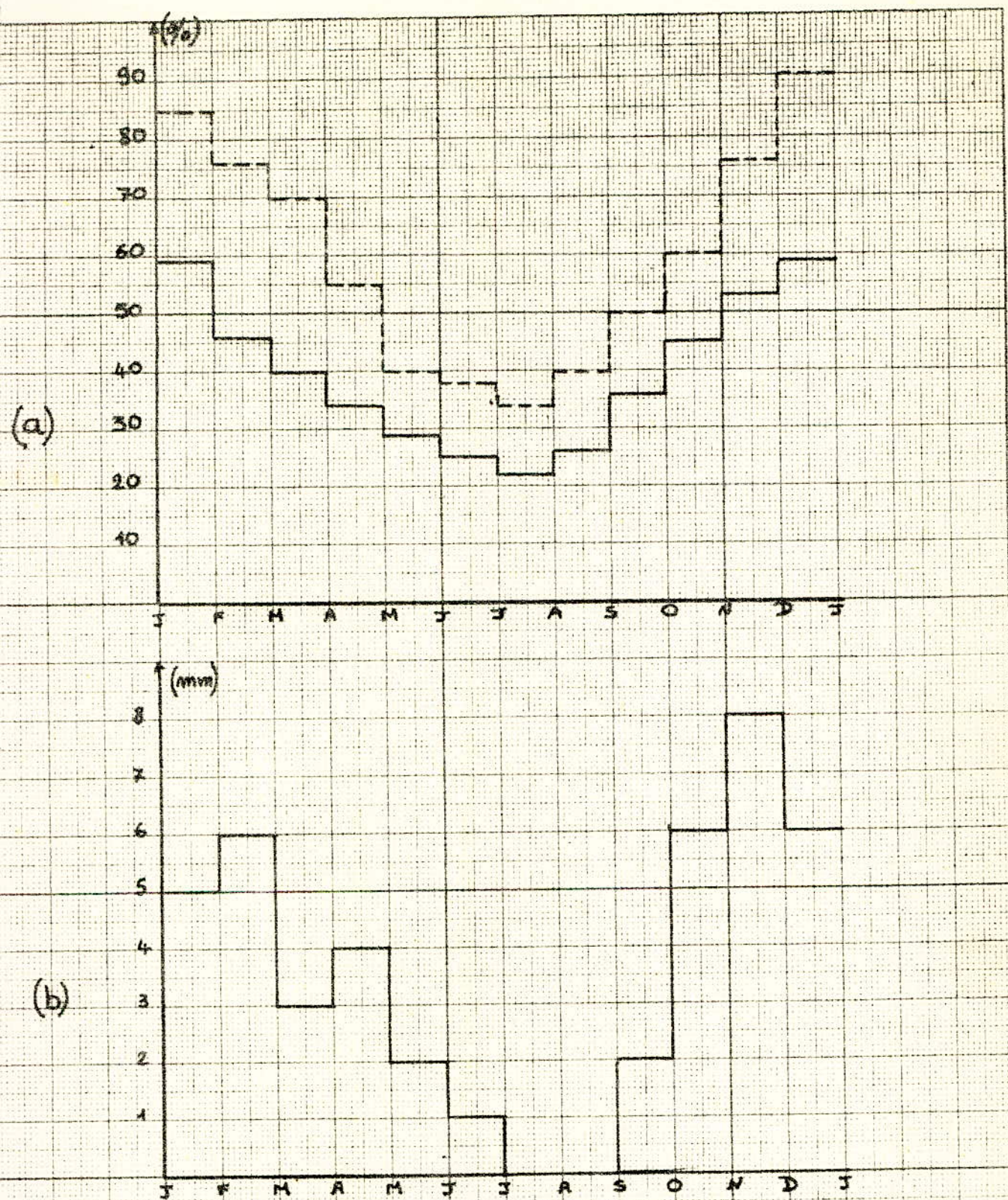


Figure 2 : humidité et précipitations

à Hassi-Messaoud

- a) ——— humidité relative moyenne (en %) [15]
 - - - - - humidité moyenne maximale (en %) [14]

- b) hauteur moyenne des précipitations (en mm) [13]

Au Sahara, les précipitations sont rares et généralement de faible importance quantitative (100 mm). Dans les régions septentrionales (12), les pluies tombent en automne à l'Ouest; en hiver et au printemps à l'Est. Elles sont particulièrement irrégulières au centre et les plus faibles pluviosités sont enregistrées dans les plaines centrales de l'Erg Chech et du Tanezrouft. Le nombre de jours de pluie croit avec la latitude ainsi qu'avec l'altitude et particulièrement sur les hauts sommets de l'Ahaggar où l'on peut atteindre 60 jours de pluie par an. Pour chaque région, on peut distinguer (12):

Une saison de pluies d'été, liée aux avancées de la mousson estivale du golfe de Guinée et affectant la presque totalité du Sahara méridional.

Une saison de pluies d'automne, provenant des dépressions soudano - sahariennes et affectant la moitié ouest du Sahara. Les pluies se manifestent surtout en Octobre.

Une saison de pluies d'hiver, due, aux dépressions du front polaire. Les pluies tombent en grande partie en Novembre et Décembre et affectent le Nord Saharien.

Une saison de pluies de printemps, affectant surtout la moitié est (Sud constantinois) du Sahara.

En général, toutes ces saisons peuvent coexister. C'est ce qui se produit dans la partie nord du Sahara.

A Hassi-Messaoud située dans la région septentrionale, les saisons de pluies se manifestant le plus sont celles d'hiver et d'automne. On y compte (13) 42 mm de moyenne annuelle répartis sur 15 jours environ et en moyenne 2 jours par an où les précipitations sont supérieures ou égales à 10 mm. On remarque aussi l'existence d'une saison de pluies de printemps, sur la figure 1 b représentant la hauteur moyenne des précipitations à Hassi-Messaoud.

2.2.2. - Pluies non mesurables -

On entend par pluies non mesurables, celles qui ne peuvent atteindre une hauteur de 0,1 mm au pluviomètre.

Ce genre de précipitations est caractérisé en général par des pluies de faible importance qui ne peuvent atteindre, parfois le sol. Elles se vaporisent en partie au cours de leurs chutes ("pluies avortées", "traces de pluie"). A Hassi-Messaoud, on compte en moyenne 8 jours de pluie non mesurable par an répartis au printemps et durant les périodes de transitions (13).

2.2.3 - Précipitations occultes -

Il existe peu de renseignements sur les phénomènes de rosée, de gelée blanche, de givre ou de verglas qui peuvent se produire au Sahara. La gelée blanche et le givre sont rares même à haute altitude, quant au verglas, il est encore exceptionnel.

Pour la région d'Hassi-Messaoud, la rosée peut être observée en hiver, durant la nuit et jusqu' au lever du soleil. Il en est de même pour la gelée blanche qui se manifeste en Décembre et Janvier entre 5 h et 6h du matin. L'existence du brouillard n'est qu' au niveau des plantations. On compte dans cette région 21 jours de rosée, 4 jours de gelée blanche et 1 jour de brouillard en moyenne par an (13).

2.3 - Les Orages -

Le nombre de jours d'orage par an est restreint . Ceux-ci surviennent surtout au début de l'hiver (Octobre) et parfois au début de l'été (Juin). La proportion du nombre de jours d'orage par rapport à celui des pluies mesurables croit de l'hiver à l'été et cela en toute région.

Géographiquement, on constate un minimum de jours d'orage au centre et un maximum, au Nord et au Sud du Sahara. A Hassi-Messaoud on compte en moyenne 4 jours par an (13). Ces orages sont en général accompagnés de chutes de grêle.

2.4 - Les vents -

Au Sahara, les vents varient en force et direction en fonction de la région. Des observations effectuées à Ouargla (13) (1930 - 38 ; 1946 - 59) révèlent que:

- Les vents d'une vitesse moyenne inférieure à 10 m/s, pour des durées de mesure de 10 mn, proviennent du Nord et Nord Est.
- Les vents d'une vitesse moyenne supérieure à 10 m/s proviennent surtout du Sud et Sud-Ouest.

-Dans certains cas, la vitesse instantanée maximale peut dépasser 50 m/s (entre Mars et Octobre).

En général, ces vents entraînent des grains de sable. Les grains les plus fins peuvent monter à des hauteurs très grandes (plusieurs kilomètres) alors que les éléments grossiers ne s'élèvent qu'à 1,5 m ou 2 m au dessus du sol. Par vent très violent la concentration de sable à 1m du sol peut dépasser 50 g /m³, et aller jusqu'à la saturation de l'air par le sable.

A Hassi-Messaoud, en 1974 (14) la vitesse du vent a atteint son maximum de 46 m/ s en Juin. Les mêmes statistiques notent 48 vents de vitesse supérieure à 16 m/s, 48 brumes de sables et 55 chasses-sable (on définit par brumes de sables et chasses-sable des troubles de l'atmosphère diminuant la visibilité à 1 km et 3 km au plus respectivement).

2.5. - Autres caractéristiques du climat:

- insulations:

En concordance avec la faible nébulosité déjà énoncée, les durées d'insulations sont très importantes au Sahara. Celles -ci sont beaucoup plus accentuées en été(de Juin à Août) qu' en hiver . Elles sont maximales dans les régions centrales et sont en général plus élevées au Sahara oriental qu' au Sahara occidental (à latitude égale).

A Hassi-Messaoud, les statistiques (13) (1960 - 69) notent un nombre moyen de 182 jours d'insolation continue dont 23 au mois de Juillet. La moyenne annuelle des durées journalières d'insolation y est d'environ 10 h dont 8 h en Janvier et 13 h en Juillet.

- Températures:

Elles subissent de très fortes variations. Les amplitudes thermiques journalières et saisonnières sont fortes - l'écart de température entre le jour et la nuit peut atteindre 20° C en toute saison(14) .

La température à la surface du sol varie beaucoup avec la géographie du sol (latitude, altitude). Son maximum se produit peu de temps après le passage du soleil au méridien et son minimum peu après le lever du jour. Cependant en hiver, le minimum peut apparaitre à une heure quelconque de la nuit.

A Hassi-Messaoud, on obtient un minimum de 0° C et un maximum de 70° C - (12).

Les températures à l'intérieur du sol dépendent de la surface du sol et de sa conductibilité thermique. A Hassi-Messaoud, la température moyenne dans le sol, à 1 m de profondeur est de 23° C (12).

Pour les températures à l'air libre, les gradients les plus élevés se rencontrent dans la première couche de 50 cm, située immédiatement au niveau du sol. A Hassi-Messaoud, l'abaissement moyen de la température au mois de Janvier, en fonction de la hauteur au dessus du sol, est d'aproximativement 3° C/m entre le sol et 1,5 m; de 0,5° C entre 1,5 m et 4 m et de 0,2° C entre 4m et 9 m.

La température minimale sous abri peut atteindre -7° C, tandis que la température maximale peut dépasser 55°C. A Hassi-Messaoud, la variation journalière de cette température atteint 3° C/h; les variations des températures extrêmes (13) sont données sur la figure 3.

-Evaporation-

Due aux valeurs élevées de température, l'évaporation est intense. Hassi-Messaoud compte une moyenne de 3847 mm par an dont 554 mm au mois de juillet et 130 mm au mois de Décembre (13). Cela revient à dire que l'atmosphère du désert peut évaporer une tranche d'eau de 100 à 200 fois plus grande que celle qui a été enregistrée au pluviomètre.

Il est aussi important de remarquer que la fréquence d'apparition des manifestations climatiques citées est exposée d'une façon générale et que des exceptions peuvent se présenter comme par exemple les chutes de neiges, les inondations etc ...

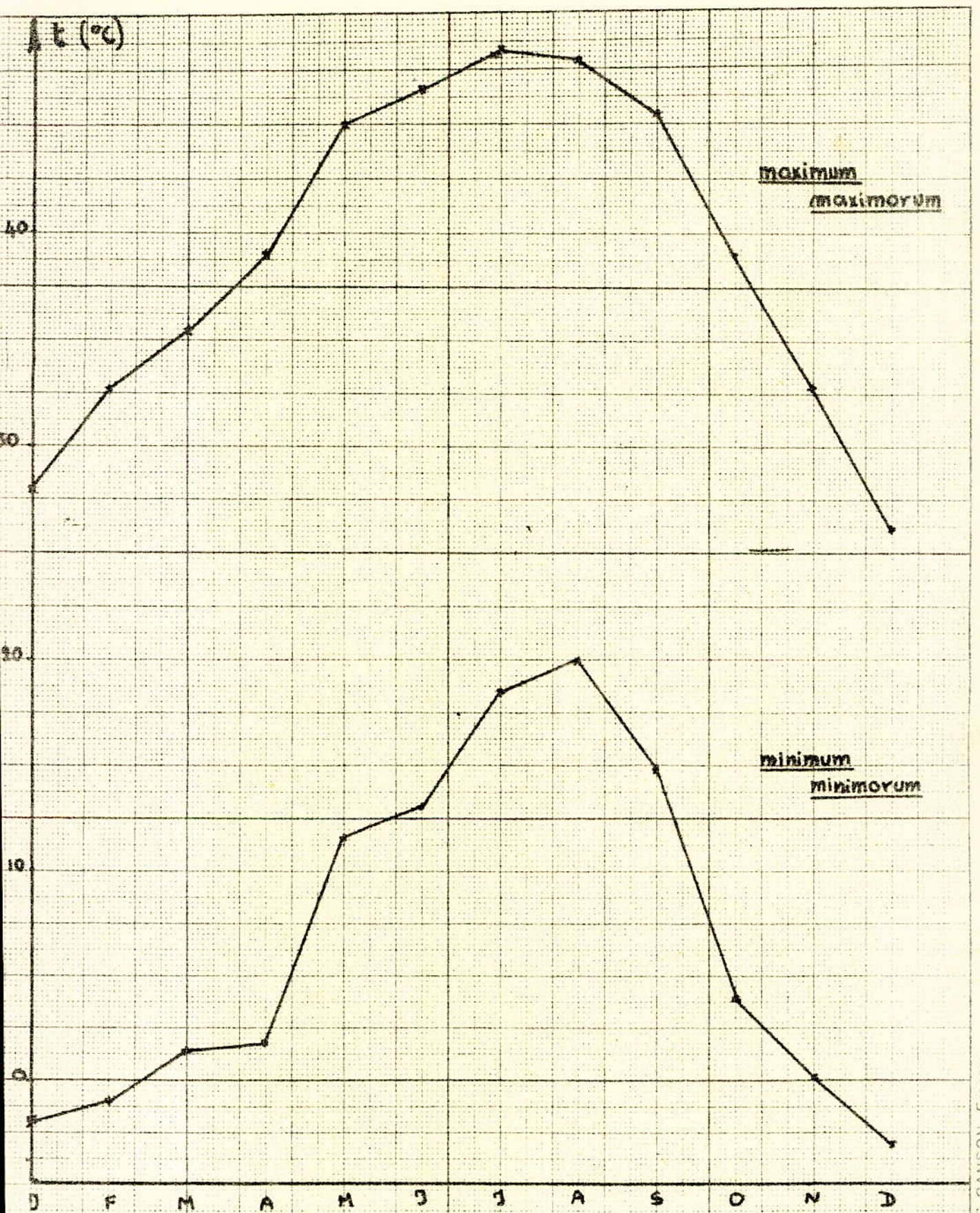


Figure 3

Températures extrêmes enregistrées à Hassi-Messaoud
entre 1960-69 [13]

CHAPITRE 3
MANIFESTATIONS DE LA POLLUTION
SAHARIENNE

3.1- Généralités -

La région de Hassi-Messaoud, par sa situation géographique, ses manifestations climatiques irrégulières et la concentration industrielle qui existe ne peut échapper au problème posé par l'isolement des équipements de haute tension travaillant dans des conditions de pollution naturelle et industrielle.

En plus des interruptions de service résultant de ces anomalies, les étincelles et les arcs se développant sur la surface des isolateurs pollués peuvent, dans certains cas, provoquer des explosions et des incendies dus à l'inflammation des mélanges de gaz aux voisinages des raffineries. Ces incendies provoquent des dégâts importants et accentuent encore la pollution par création de fumées.

A part quelques exceptions, les exploitants des réseaux électriques n'ont pas encore rencontré de grosses difficultés tant le surisolement est prononcé et le niveau de tension est encore faible. La tension de service est actuellement de 30 kV et l'on propose de l'élever à 60 kV dans les mois prochains. De même, les décharges superficielles apparaissant sur la surface des isolateurs ne sont pas toutes signalées car aucune sation expérimentale devant faire des recherches dans ce domaine n'existe encore.

Dans ce chapitre, seront donnés des renseignements sur les installations de haute tension en service, les divers types de Pollution existants ainsi que les critères actuels de choix des isolateurs de haute tension dans la région de Hassi-Messaoud. Nous utiliserons pour cela les documentations correspondantes de la SONATRACH et de la SONELGAZ ainsi que les informations recueillies au cours de notre séjour à Hassi-Messaoud, séjour de deux semaines ayant servi à un approfondissement de nos connaissances sur le problème. Mais une étude sur site plus complète du problème posé par les différents types de pollution demanderait des recherches permanentes.

.../...

3.2 - Région étudiée -

La région de Hassi-Messaoud est située à 31° de latitude nord, 6° de longitude Est et 150 m d'Altitude moyenne. On la situe, au Sahara, dans la partie septentrionale orientale à la limite Nord - Ouest du grand erg oriental.

Les conditions météorologiques, déjà décrites, rencontrées dans cette localité sont caractérisées surtout par des précipitations très rares, des vents de sable et de grands écarts de température diurne provoquant assez souvent des rosées, en hiver, juste avant le lever du soleil.

A Hassi-Messaoud, le sol est composé de sable argileux dans les points bas et d'un mélange de sable et d'éclats de roche dure de couleur blanche sur les hauteurs.

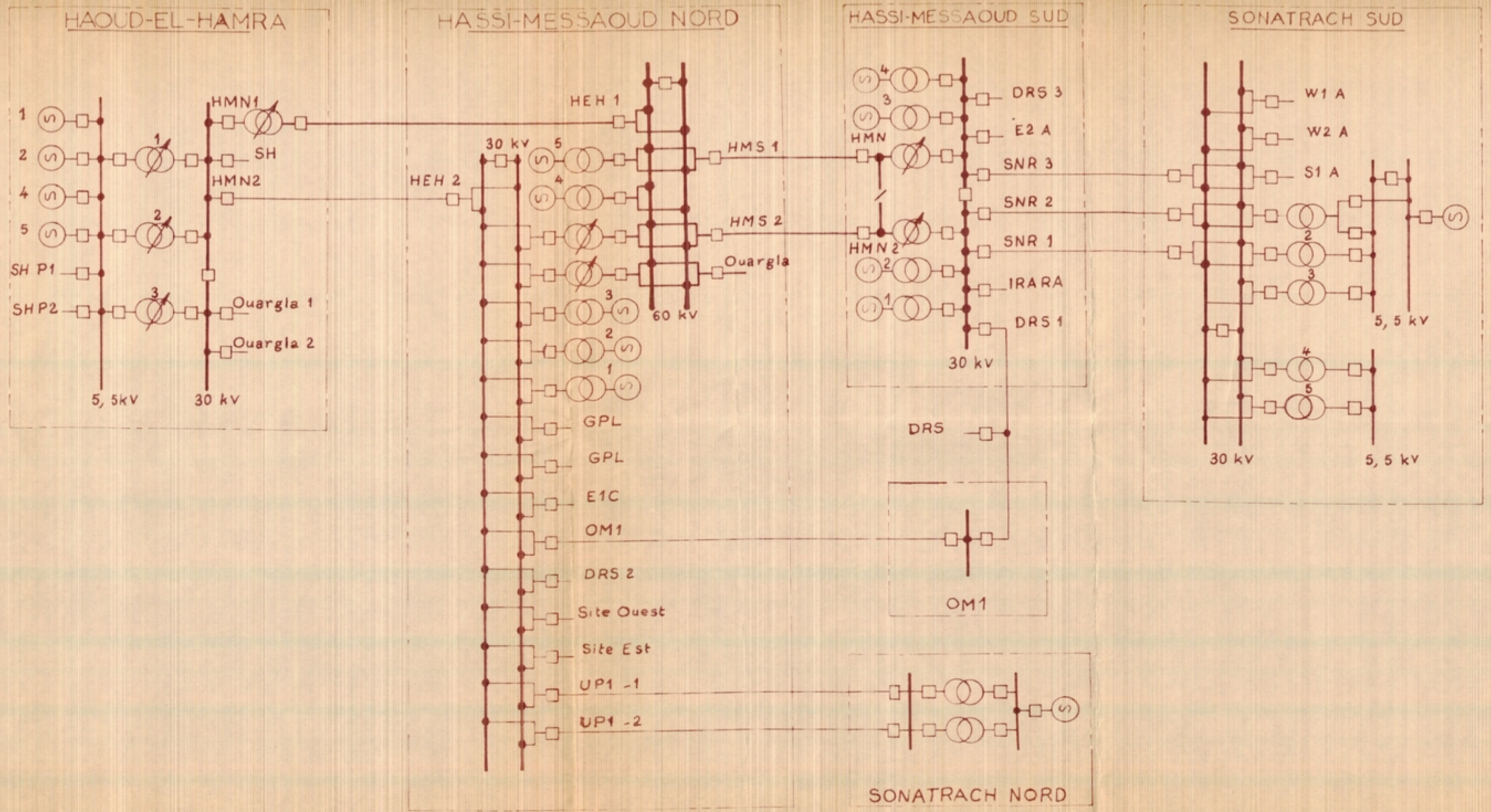
3.3 - Installations de haute tension en service dans la région étudiée et les types des isolateurs -

3.3.1 - Les installations de haute tension en service et projet -

Il existe actuellement sur le champ de Hassi-Messaoud deux importantes centrales électriques. La plus ancienne, celle de Haoud-El-Hamra possède 4 groupes (2 de 8 M V A et 2 de 7 M V A). La seconde, celle de Hassi-Messaoud - Sud est pourvue également de 4 groupes (2 de 20 M V A et 2 de 22,5 M V A). Ces 2 centrales appartiennent à la SONELGAZ et assurent l'alimentation en énergie électrique de tout le complexe industriel existant (SONATRACH - SUD ; SONATRACH - NORD : UP1,...) . Pour d'éventuels secours, la SONATRACH possède 2 groupes de 7,12 M V A chacun, disposés l'un au Nord (base du "24 Fevrier") et l'autre au sud du champ de Hassi-Messaoud .

Dans un proche avenir, ces centrales ne pourront plus assurer la production nécessaire à la demande qui va, en fonction des projets d'expansion du champ de SONATRACH et de la ville de Hassi-Messaoud, doubler ou même tripler à partir de 1982 . C'est ainsi que SONELGAZ projète la réalisation d'une centrale au Nord du district ayant 5 groupes de 30 M V A chacun .

.../...



Les centres de production d'énergie électrique sont reliés aux différents postes de transformation et de distribution par lignes électriques aériennes. La liaison entre lignes et postes se fait par des cables électriques, en général souterrains, enfouis à 0,5 m du sol environ. On les trouve, parfois, dans les régions non fréquentées à la surface du sol. L'évacuation de l'énergie calorifique (énergie due à la résistance du cable) est plus aisée.

Le niveau de tension actuel ne dépasse pas 30 kV . Au niveau des postes, la transformation se fait selon les besoins . Les niveaux de tension plus bas fréquemment rencontrés sont de 5,5 kV et 2,2 kV dans les centres industriels et de 0,38 kV pour l'alimentation domestique.

On rencontre à Hassi-Messaoud différents types de montage. Les postes de transformation et de distribution peuvent être :

- A l'intérieur des batiments ou blindés.
- Semi - Extérieurs; les commandes et les protection sont abritées, tandisque les tranformateurs de puissance sont installés à l'extérieur et donc exposés aux vents de sable. Ils peuvent êtres ou non protégés de l'action du soleil par un auvent.
- Disposés dans des corridors permettant la protection contre les actions du soleil et facilitant l'auto-nettoyage des isolateurs par l'écoulement de l'air.
- A l'extérieur, en "air libre" et exposés aux actions du soleil, du sable ... etc. L'auto-nettoyage des isolateurs par les vents est facilité.

3.3.2 - Types des isolateurs -

On rencontre dans cette région, les différents types d'isolateurs (normaux, antipolluants ...) . Sur les lignes électriques aériennes, ce sont les isolateurs "capot et tige" - C T V - à ligne de fuite renforcée, en verre trempé de couleur verte qui sont les plus utilisés. Pour le niveau de tension de 30 kV , on emploie 3 éléments dans les chaines d'alignement et 4 éléments dans les angles et les arrêts.

.../...

Les isolateurs en porcelaine sont plutôt rencontrés dans les postes de transformation (traversées de disjoncteurs , de transformateurs ou murales - supports ...etc) . Ils se présentent sous différentes couleurs bien que le marron foncé et le blanc soient prédominants.

Les différentes dispositions de ces isolateurs par rapport à la terre (inclinées, horizontales ou verticales) sont toutes rencontrées et choisies en fonction des facilites de réalisation des montages. Sur les lignes électriques aériennes, les isolateurs des chaînes d'alignement sont disposés verticalement tandis que ceux des angles et des arrêts sont en dispositions inclinées et horizontales.

Sur la figure 5, sont représentées quelques formes d'isolateurs utilisés à Hassi-Messaoud .

3.4 - Divers types de Pollution -

Deux sortes de pollution . permanentes sont rencontrées à Hassi-Messaoud: la pollution naturelle et la pollution industrielle. Alors que la première est liée à un dépôt de sable sur les divers isolateurs, amenant la formation de couches plus ou moins épaisses ; la seconde est due aux fumées dégagées par les torchères pétrolières et les incendies accidentels au voisinage des débouchés de gaz.

La formation des couches polluantes naturelles dans les types de montage intérieurs de bâtiment et extérieurs n'est pas la même. Dans le premier cas, la couche étrangère s'accumule pendant les vents de sable; les grains pénétrant par les ouvertures d'aération des bâtiments. Ainsi ce ne sont que les grains fins qui sont concernés. Dans le second cas, les grains de sable les plus fins ayant pu atteindre sous l'action des vents des hauteurs considérables (jusqu'à quelques kilomètres) chutent en temps calme. Durant leur chute, tout obstacle peut les arrêter et particulièrement les surfaces des isolateurs extérieurs. Nous pouvons , ainsi, conclure que la couche contaminante est régie, dans les deux cas, par les grains les plus fins.

.../...

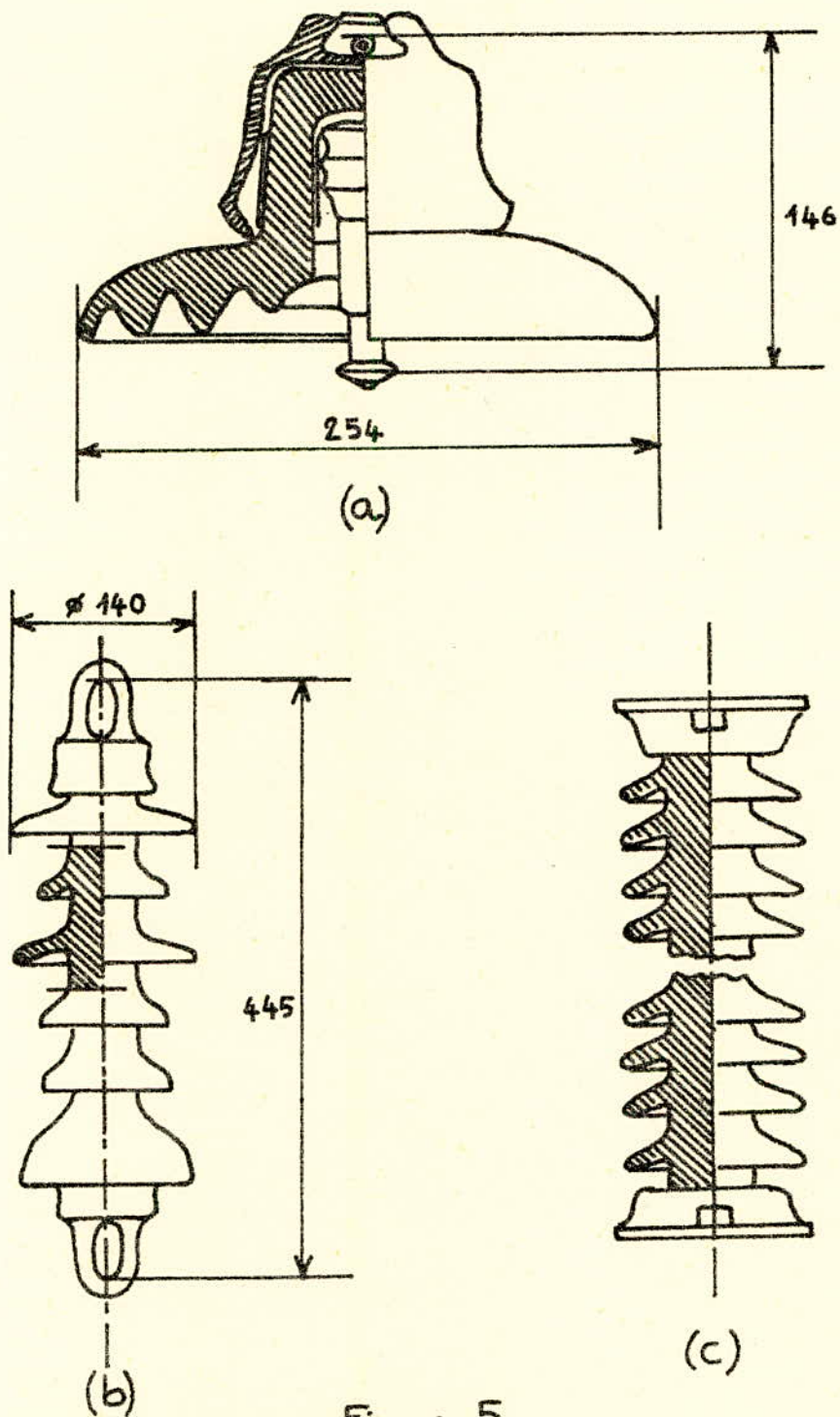


Figure 5

Quelques formes d'isolateurs utilisés à Hassi-Messaoud

- a) élément de chaîne pour ligne 30 kV (isolateur CTV 254)
- b) isolateur pour ligne Moyenne Tension (30 kV)
- c) isolateur support - (en diverses dimensions)

Du fait du seul agent d'auto-nettoyage qu'est le vent (en particulier celui ayant une vitesse élevée), la couche polluante est toujours plus épaisse à l'intérieur qu'à l'extérieur des bâtiments.

D'après le mécanisme de formation de la couche polluante naturelle sur les isolateurs extérieurs, on remarque que la couche tend à être plus continue dans les dispositions horizontales et inclinées que verticales. Nous ne pouvons, à priori, parler de l'influence de la disposition des isolateurs intérieurs sur la formation de la couche étrangère. Le phénomène dépend de plusieurs facteurs complexes, tels que la disposition des ouvertures d'aération du bâtiment, la position des isolateurs par rapport aux autres éléments du montage électrique ...etc .

La couche polluante est irrégulièrement répartie sur la surface des isolateurs. Cet état est favorisé par la rugosité de ces surfaces, due aux contraintes thermiques importantes que subit le matériau isolant. En effet au lever du soleil, les écarts de température entre la partie de la surface de l'isolateur exposée aux rayons et celle à l'ombre sont accentués.

Nous essayerons d'illustrer ce qui a été exprimé par quelques exemples que nous avons pu voir à Hassi-Messaoud. La figure 6 montre diverses couches étrangères sur certains isolateurs appartenants à des montages intérieurs ou extérieurs et disposés différemment pendant des durées plus ou moins longues. La disposition verticale des isolateurs est représentée par les schéma 6a, 6b et 6c . Les deux premiers schéma montrent des isolateurs supports (6a) et de traversée murale (6b) n'ayant pas encore servi (donc devant être à l'état neuf) et emmagasinés 2 années durant à environ 2 mètres du sol dans un bâtiment. On peut remarquer dans ces cas que la couche étrangère, épaisse de quelques millimètres se situe plutôt sur les jupes que sur le corps des isolateurs. La figure 6c montre des isolateurs de disjoncteur placés à l'extérieur , à 2 mètres du sol pendant 5 années au moins. La couche polluante se situe presque uniquement au niveau supérieur de la surface, autour de l'électrode sous haute tension; le corps formé d'ailettes est resté dans un état acceptable (du point de vue propreté).

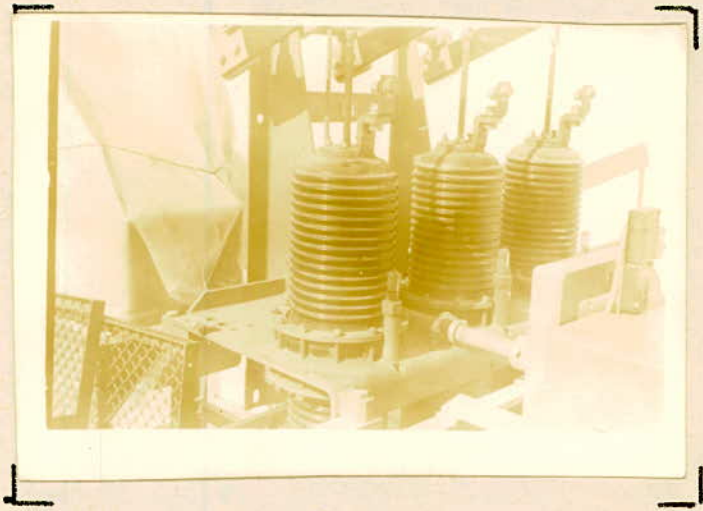
.../...



- a -



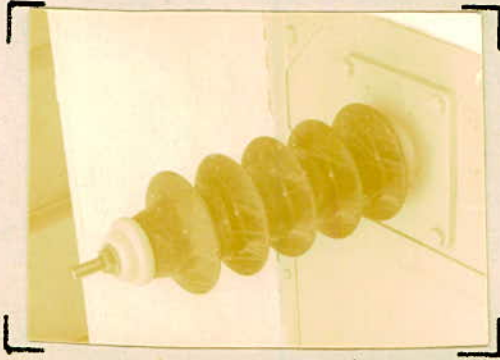
- b -



- c -

Figure 6

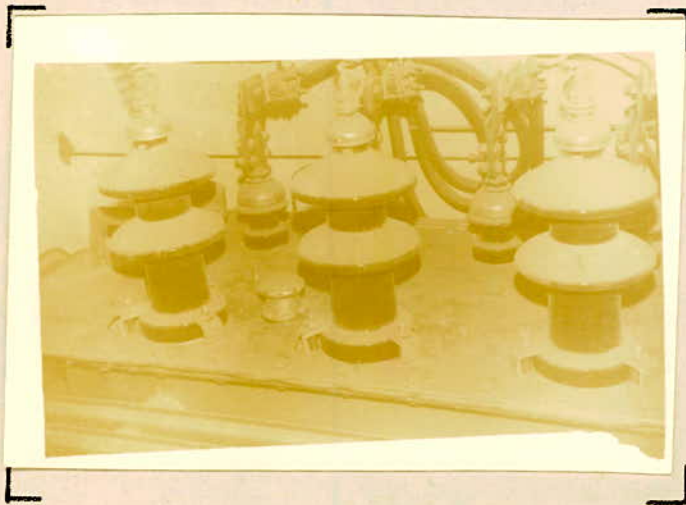
Isolateurs pollués à Hassi-Messaoud



- d -



- f -



- e -

Figure 6 - suite -

Isolateurs pollués à Hassi-Messaoud

La position horizontale est représentée par la figure 6d . Elle montre la partie extérieure d'un isolateur de traversée murale placé à 5 mètres du sol pendant au moins 5 années. La couche étrangère est plutôt formée par des traces d'une solution à base de sable ayant séchée. Celle-ci existe sur presque toute la longueur de l'isolateur. Dans un poste de transformation , nous avons pu voir une autre traversée murale horizontale située, aussi, à 5 mètres environ du sol et recouverte d'une couche de sable dont l'épaisseur moyenne est approximativement égale à 0,5 cm. Cela est dû à une fréquence de nettoyage très faible (plusieurs années) .

La figure 6e représente un transformateur situé à l'intérieur d'un bâtiment pendant 5 années au moins. Ses traversées isolées sont disposées d'une façon inclinée à 1,5 mètres du sol. La couche étrangère n'ayant jamais été nettoyée (manuellement) a atteint une épaisseur supérieure à 0,5 cm . On peut remarquer la discontinuité de la couche se limitant à la surface des jupes.

Enfin, la figure 6f représente un isolateur de sectionneur encore en bon état mais qui n'est plus utilisé par suite d'un remaniement d'équipement. Cet isolateur était placé à environ 3 mètres du sol pendant 5 années au moins . Nous ignorons sa disposition initiale par rapport au sol. On y remarque l'adhérence, l'irrégularité et la discontinuité de répartition de la couche polluante.

La couche étrangère est composée d'une grande proportion d'oxyde de silice - SiO_2 - (90% environ). On y note aussi la présence d'argile ou de calcaire .

Il est à noter que la grosseur des grains décroît d'une façon prononcée avec l'élévation par rapport au sol et que la couche contaminante peut, dans certains cas, bien adhérer à la surface de l'isolateur (figure 6f).

La pollution industrielle (figure 7) est provoquée par les différentes fumées existantes (torchères , incendies accidentels) . La fumée est composée de suie très adhérente (carbone et oxydes de carbone - CO et CO_2 -) ainsi que d'anhydride sulfureux - SO_2 - en faible proportion. Elle provient de la gazoline (essence légère) séparée du pétrole brut après distillation et brûlée. Les fumées sont emportées par le vent sur des distances relativement grandes et à différentes directions. Ainsi ce ne sont pas uniquement les isolateurs des lignes électriques aériennes voisines des sources de contamination qui sont touchés mais l'ensemble du réseau électrique.



Figure 7

Pollution industrielle à Hassi-Messaoud (fumées des torchères)

3.5 - Statistiques de claquage des isolateurs-

Après consultation des statistiques de claquage, on constate un assez bon comportement des isolateurs de haute tension. Ceci s'explique par le niveau de tension encore faible (30 kV) et surtout par le surisolement utilisé.

Les seuls claquages d'isolateurs enregistrés depuis 1962 concernent:

- Un isolateur d'un poste de transformation (U P 1), lors de la tempête du 14 mars 1962 à 02 h 50 .
- Un isolateur de ligne, pendant le mauvais temps du 17 mars 1962 à 18 h .
- 3 bornes de traversées de transformateur, au niveau 8 mètres, pendant une forte pluie accompagnée de décharges, le 11 juin 1966 à Haoud-El-Hamra .
- Un isolateur de ligne le 14 octobre 1968.
- L'explosion d'un parafoudre le 25 décembre 1973 à 11 h .

Beaucoup d'autres incidents provoquant une interruption de service sont enregistrés et non identifiés. Entre Janvier 1962 et Mars 1963, 7 défauts non identifiés étaient enregistrés.

3.6 - Critères actuels pour le choix des isolateurs de haute tension:

3.6.1 - Isolateurs des lignes électriques aériennes -

En général, les isolateurs sont choisis conformément à la norme U.T.E. - C 66 - 23 (Isolateurs en verre pour tension supérieure ou égale à 1000 Volts) . Les isolateurs sont du type suspendu, composés d'éléments "côpot et tige" en verre trempé et à ligne de fuite renforcée. Les hypothèses adoptées pour leur détermination sont :

- Températures ambiantes extrêmes : 55°C (été) et - 5°C (hiver)
- Température moyenne : 30°C
- Vents d'été: publication U.T.E. - C 11.000 ; hypothèses A du paragraphe 2 de l'article 6 majorées de 50% .
- Vents d'hiver: hypothèses B du paragraphe 2 de l'article 6 de la publication U.T.E. C 11.000 .
- Coefficient de sécurité égal à 3 par rapport à la rupture dans les hypothèses les plus défavorables de température et de vents.

3.6.2 - Isolateurs des postes de transformation -

Le matériel est en général conforme aux normes U.T.E. C 64.000 et C 20.100. Pour les postes intérieurs, ce matériel doit satisfaire aux conditions suivantes :

- Température ambiante pouvant atteindre 55°C à la surface du sol, dans la salle de commande.
- Importance des vents et de ce fait des déplacements du sable qui peut s'introduire en poussière fine par les orifices de ventilation.

Pour les postes extérieurs, les supports isolants sont définis en caractéristiques et en nombre pour résister au courant de court circuit indiqué et satisfaire aux conditions de résonance. Les bornes de haute tension des transformateurs sont conformes aux normes U.T.E. C 52.100 (traversées isolées) et sont en plus surisolées. Les méthodes d'essai des bornes sont celles prescrites par les articles 27, 28, 29, 31 et 33 de la norme U.T.E. C 64.050 en fonction de leur tension nominale. Aucune craquelure ni fêlure de la porcelaine ne doit se produire.

Comme on le constate, le choix des isolateurs n'est fait que suivant les normes établies pour des conditions générales d'exploitation. A part quelques majorations de certaines hypothèses pour exclure les effets surtout mécaniques de la température et des vents, aucun critère de choix ne tient complètement compte des conditions sahariennes d'exploitation. Au fait, les normes répondant à de telles conditions n'existent pas encore. Les problèmes posés par le sable et pris en considération, concernent uniquement l'étanchéité des armoires de commande et des machines électriques. Les incidents provoqués par la couche polluante sableuse sur les isolateurs en état sec sont inexistantes. En état mouillé, ils sont rares, grâce au surisolement des bornes de haute tension et au grand coefficient de sécurité adopté. Mais dans un avenir peu lointain; c'est à dire pour une tension de service plus élevée; ces critères actuels de choix des isolateurs de haute tension, au sahara, ne seront plus technico-économiquement valables.

.../...

3.7 - Stations expérimentales, existantes ou en projet -

Pour satisfaire à la continuité de service et au choix économique des isolateurs de haute tension devant travailler dans les conditions d'exploitation déjà citées et sous des tensions plus élevées, l'existence de stations expérimentales devient une nécessité. Ces stations auront pour but l'étude du comportement des différents types d'isolateurs ayant différentes formes (profil, ligne de fuite ...) dans les conditions de montage correspondantes. Elles permettront ainsi aux exploitants des réseaux électriques de choisir un isolateur optimal.

Actuellement, aucune station expérimentale n'existe. Pour d'éventuels projets, nous suggérons une implantation sur site de ces stations.

CHAPITRE 4

CARACTERISTIQUES DE L'AGENT POLLUANT SAHARIEN

-LE SABLE -

4.1 - Généralités -

Nous avons vu au chapitre précédent le mode de déposition et de répartition de la couche polluante sur la surface des isolateurs dans la région étudiée . Pour l'étude des autres caractéristiques, nous aurions voulu ramener quelques modèles d'isolateurs pollués . A cause de l'encombrement et du manque de transport, cela n'a pas été possible. Nous avons, alors, prélevé 3 échantillons de sable nous permettant de tirer des conclusions approchées . En effet, une étude statistique complète demanderait beaucoup de temps et une connaissance parfaite de la région. Les deux premiers échantillons sont pris de la centrale électrique de la SONATRACH-SUD; de l'extérieur au niveau du sol et de l'intérieur à 3m de hauteur. Le troisième échantillon est pris au niveau du sol au voisinage de la centrale de Haoud El-Hamra.

L'étude nous permettra de voir la variation des caractéristiques physiques, chimiques et électriques du sable avec le site et la hauteur du montage .

Pour cela, nous utiliserons diverses sources bibliographiques, en particulier " Géologie des argiles" (15), "Minéralogie des argiles" (16) et "Nomenclature et classification des roches sédimentaires" (17) .

4.2 -Caractéristiques physiques -

4.2.1 -Granulométrie -

Pour effectuer l'analyse dimensionnelle du sable, nous avons pris 1000 grammes de chaque échantillon et procédé au tamisage à sec . Les tamis utilisés sont ceux prescrits par les normes françaises AFNOR . L'ouverture de leurs mailles étant en progression géométrique de raison $10\sqrt[10]{10}$.

Sur les figures 8a, 8b et 8c représentant en échelle semi-logarithmique les distributions granulométriques des différents échantillons, on peut constater que les grains de sable formant la couche superficielle du sol sont en majorité fins (0,250 mm) . La présence, des 2,7 % de grains de dimensions supérieures à 0,16 mm, dans l'échan-

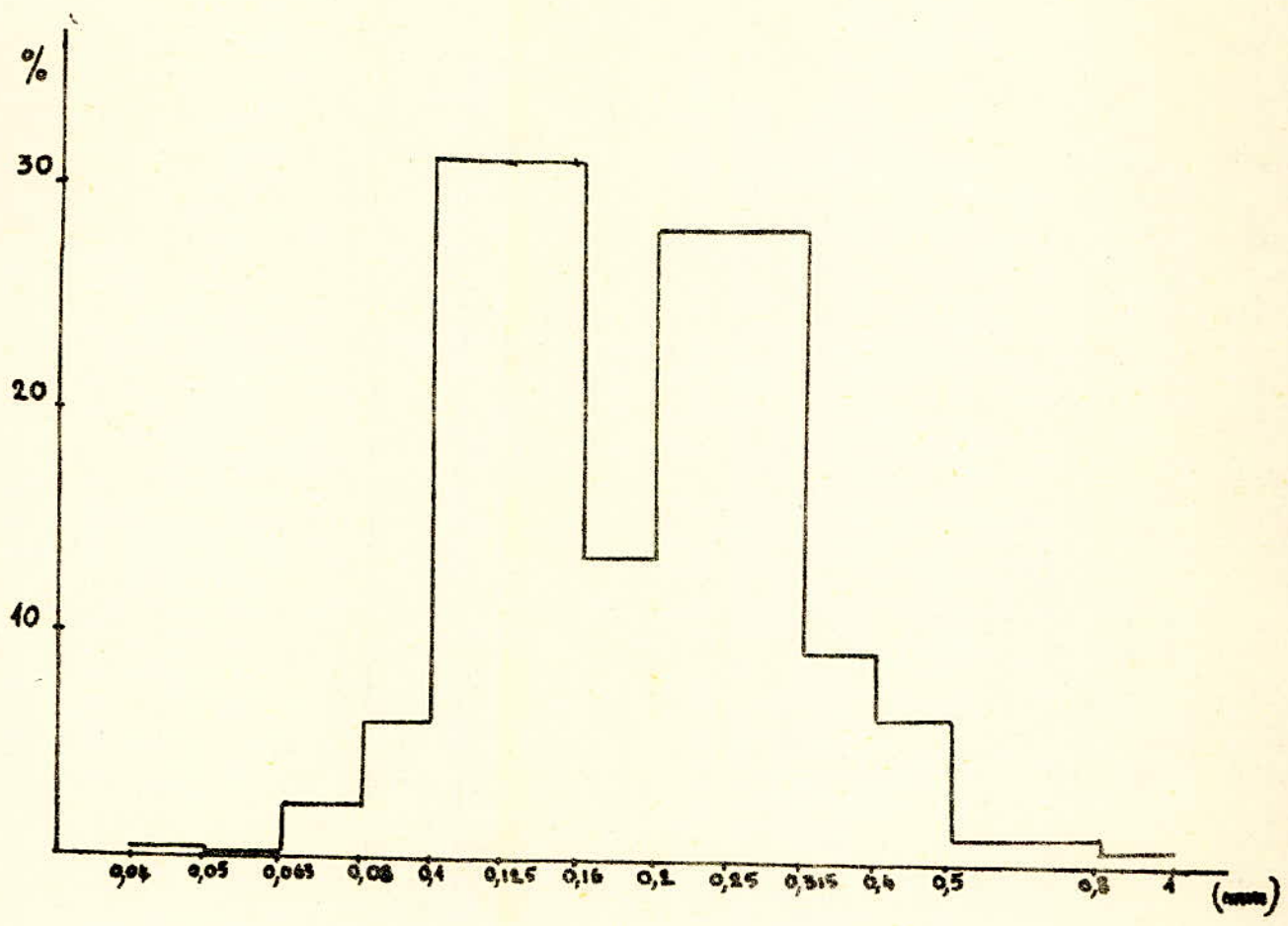


Figure 8.a.

Distribution granulométrique du sable
de Hassi-Messaoud
(niveau : sol)

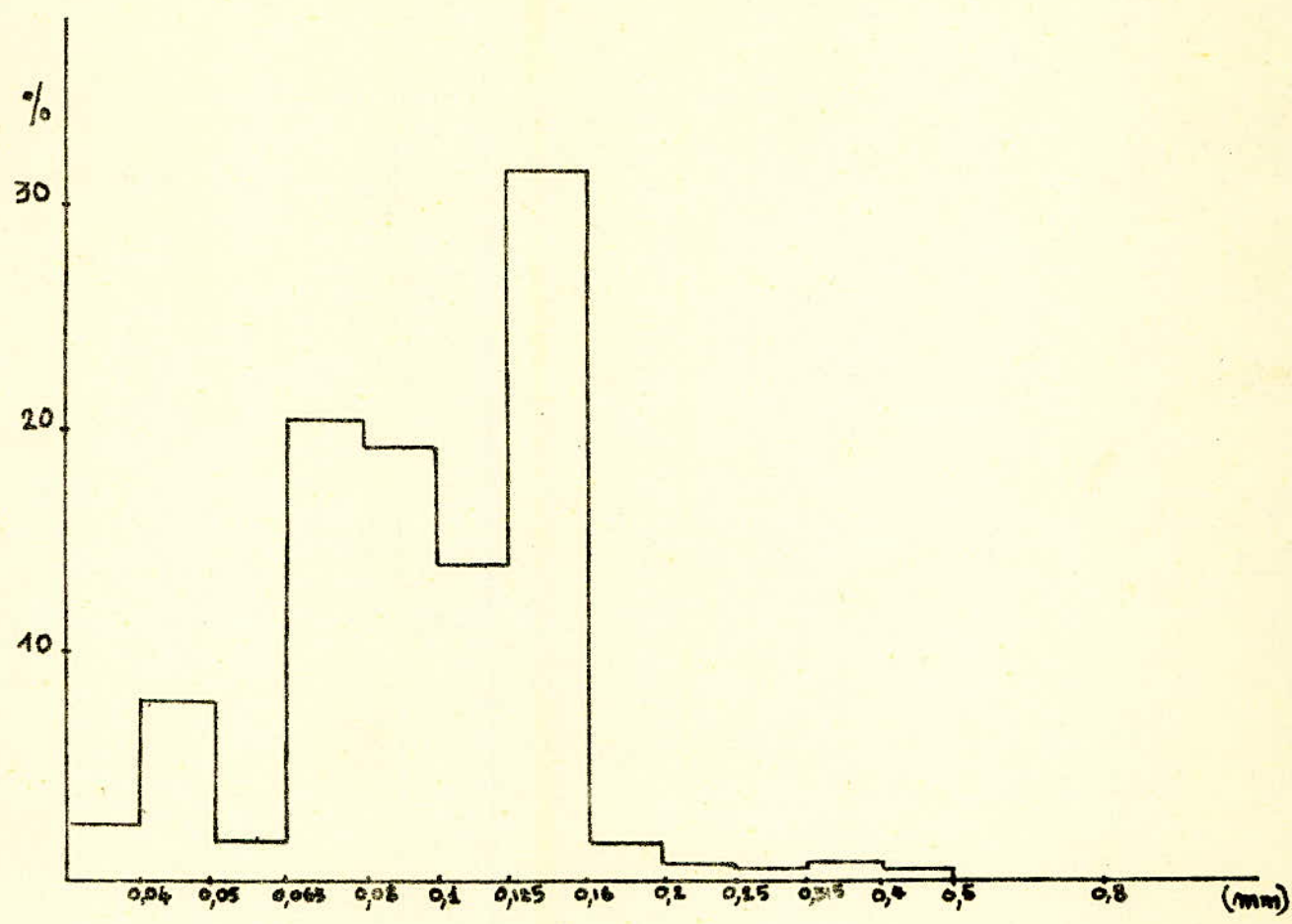


Figure 8_b

Distribution granulométrique du sable
de Hassi-Messaoud
(niveau : 3m)

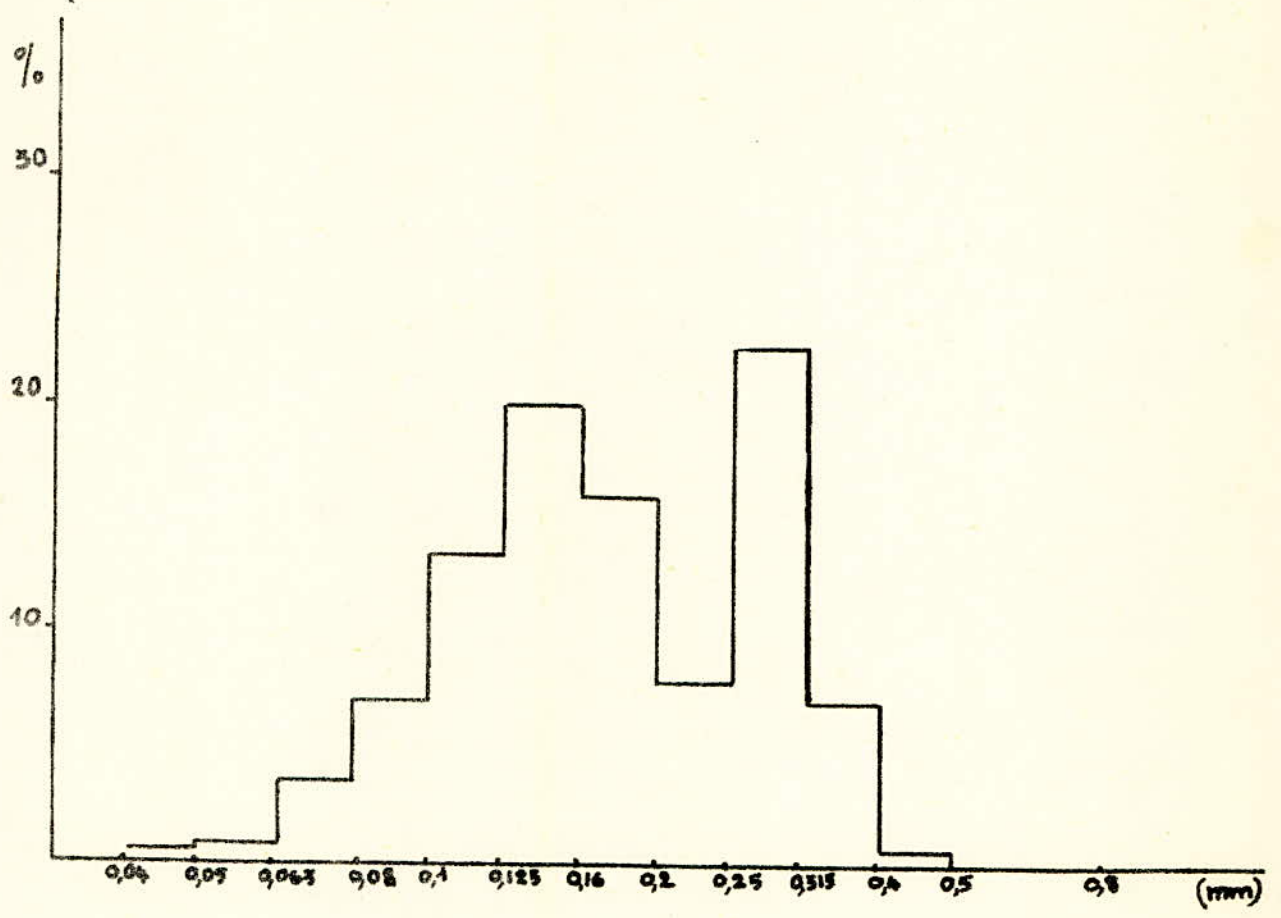


Figure 8-c

Distribution granulométrique du sable
de Haoud El-Hamra
(niveau : sol)

tillon prélevé à 3 m, au dessus des armoires de commande, n'est pas naturelle . En effet, le vent ne peut amener ces grains à de telles hauteurs . De même, on peut remarquer la variation accentuée de la grosseur des grains avec la hauteur . En effet, à 3 m au-dessus du sol on compte 20 % de grains ayant une dimension comprise entre 0,080 et 0,050 mm et 10 % en dessous de 0,050 mm, alors qu'au niveau du sol, seulement 4 % des grains ont une dimension inférieure ou égale à 0,080 mm . On peut, ainsi conclure que les grains composant la couche polluante sur la surface des isolateurs de ligne (à 15 m de hauteur) sont encore plus fins que 0,080 mm .

Une vue au microscope des fractions de grains en dessous de 0,080 mm montre que le sable de Hassi-Messaoud contient tres peu d'argile (au sens granulométrique, c'est à dire de dimensions inférieures ou égales à 0,002 mm) . Ceci s'explique par le transport des grains les plus fins existants à la surface du sol, par le vent, à des hauteurs considérables .

4.2.2 - Eau absorbée par le sable -

Dans 100 grammes de chaque échantillon, nous versons goutte à goutte de l'eau distillée jusqu'à ce que le sable soit complètement mouillé et sans excédent d'eau .

Le poids d'eau, ainsi versée, est de 26 grammes pour les échantillons de Hassi-Messaoud et de 24 grammes pour celui de Haoud-El-Hamra . Le sable peut donc absorber, en moyenne, une quantité d'eau représentant 25 % de son poids .

4.2.3- Densité apparente du sable -

Elle est définie par le poids de sable non tassé que peut contenir un récipient d'un litre .

La densité apparente ainsi mesurée, est égale à 1,40 pour le sable de Hassi-Messaoud au niveau du sol et 1,30 à 3mètres au dessus . Elle est de 1,60 pour le sable de Haoud El-Hamra .

4.3 - Caractéristiques électriques -

4.3.1 - Conductivité transversale du sable -

Pour déterminer la conductivité transversale du sable d'une façon approchée (par élimination des erreurs de contact électrodes-sable, etc ...), nous avons réalisé 2 modèles cylindriques en plexiglas de même diamètre intérieur égal à 8 mm et de longueurs différentes égales à 200 et 100 mm (figure 9a) . La résistance du sable est obtenue à l'aide d'une source de tension continue, variable de 0 à 150 Volts, appliquée à un montage amont (figure 9b) . Cette résistance est infiniment grande pour le sable sec. Pour le sable saturé d'eau (sans excès) nous avons calculé la conductivité transversale σ du sable en tenant compte des erreurs introduites par les appareils (milliamperemètre et voltmètre magnétoélectrique) et par les dimensions des cylindres utilisés. On a $\sigma = \frac{1}{R} - \frac{1}{S} (\Omega.m)^{-1}$. Les résultats obtenus sont les suivants:

- Haoud EL-Hamra, niveau sol, type extérieur:

$$R = (271 \pm 62) \text{ k}\Omega \text{ pour } l = 20 \text{ cm}$$

$$\sigma = (1,5 \pm 0,3) 10^{-2} (\Omega.m)^{-1}$$

- Hassi Messaoud , niveau sol, type extérieur:

$$R = (63 \pm 9) \text{ k}\Omega \text{ pour } l = 20 \text{ cm}$$

$$\sigma = (6 \pm 1) 10^{-2} (\Omega.m)^{-1}$$

- Hassi-Messaoud , niveau 3 m, type intérieur:

$$R = (37 \pm 11) \text{ k}\Omega \text{ pour } l = 20 \text{ cm}$$

$$\sigma = (11 \pm 3) 10^{-2} (\Omega.m)^{-1}$$

4.3.2- Résistance superficielle -

N'ayant pu mesurer la résistivité superficielle comme prescrit par la norme U.T.E. C 26-215, nous nous sommes limités à la mesure de la résistance superficielle d'une couche de sable de 3 mm d'épaisseur, saturée d'eau distillée. Le montage et la méthode de calcul sont identiques à ceux utilisés pour la détermination de la conductivité transversale.

Les essais ont été effectués dans les mêmes conditions pour les 3 échantillons. Le modèle utilisé est représenté par la figure 9 c. Les électrodes sont cylindriques de 2 mm de diamètre et déposées à la surface du sable. Les résultats obtenus pour une distance entre électrodes égale à 80 mm sont les suivants:

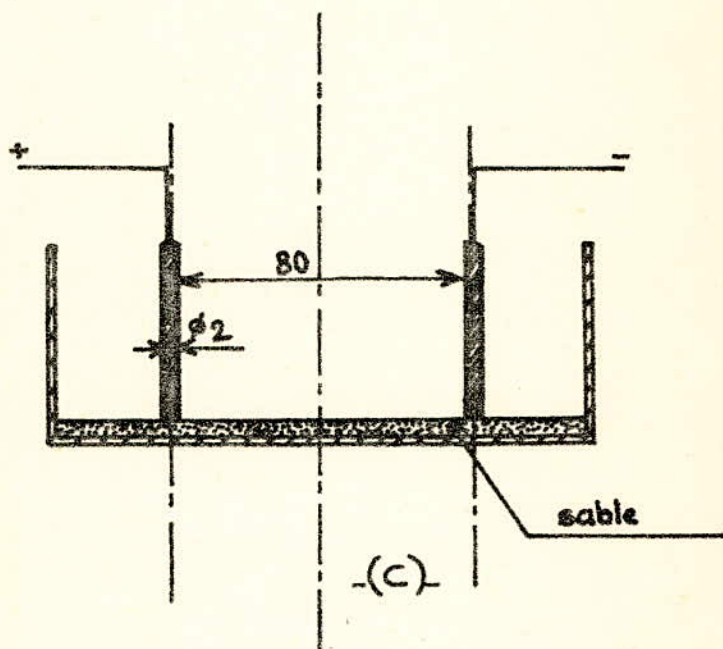
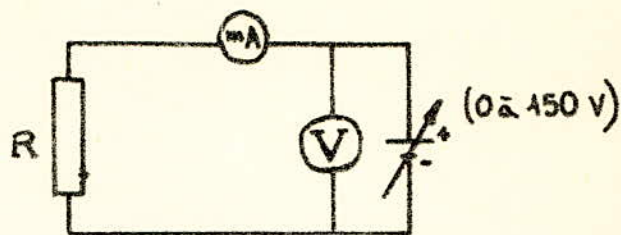
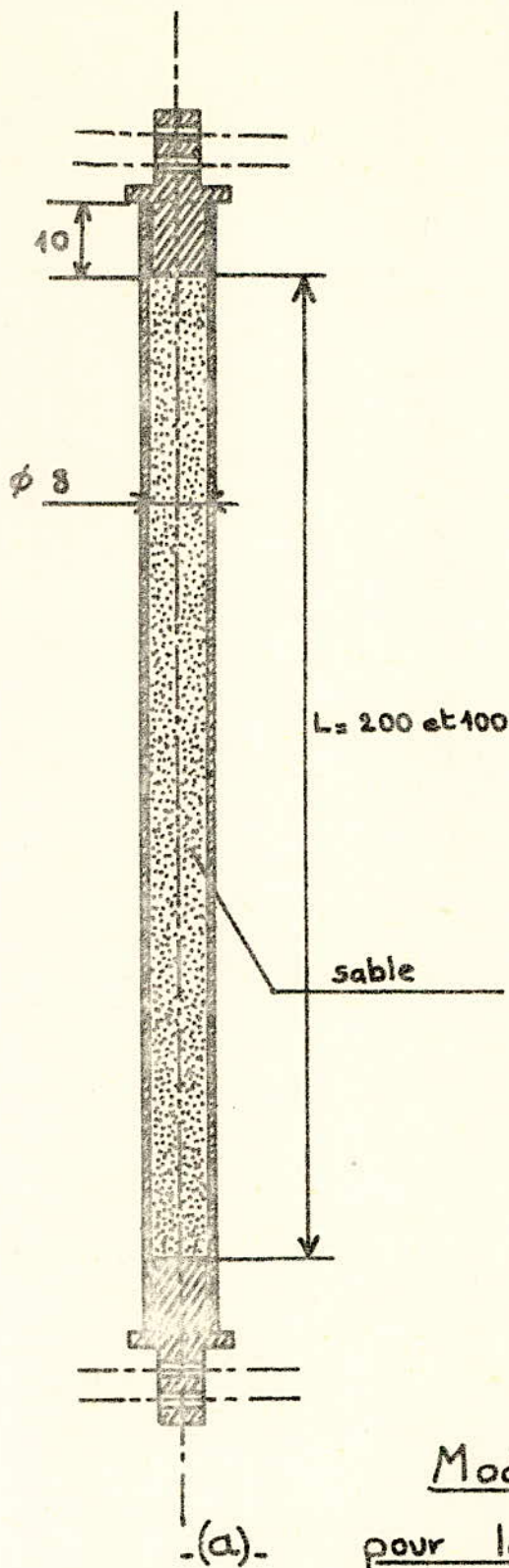


Figure 9

Modèles & montage utilisés

pour la mesure de résistance du sable

- a - cylindre en plexiglas avec 2 électrodes en laiton
- b - montage de mesure
- c - récipient cylindrique en verre

- Haoud El-Hamra, niveau sol $R = (6,6 \pm 0,4) \text{ k}\Omega$
- Hassi-Messaoud, niveau sol $R = (2,3 \pm 0,3) \text{ k}\Omega$
- Hassi-Messaoud, niveau 3 m $R = (1,2 \pm 0,2) \text{ k}\Omega$

4.3.3- Conductivité de "l'eau de lavage du sable" -

Cette conductivité caractérise l'eau égouttée après arrosage du sable sur la surface des isolateurs, par la pluie . Pour sa mesure, nous avons mis 100grammes de sable de chaque échantillon dans un récipient de verre contenant 300grammes d'eau distillée. Une agitation de 60 minutes et une décantation du sable, nous permet, à l'aide d'un appareil conçu pour la mesure de la résistivité transversale (pont de mesure) de la solution, d'obtenir les résultats suivants :

- Haoud El-Hamra, niveau sol :
conductivité transversale $\sigma = 27 \cdot 10^{-2} (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$
- Hassi-Messaoud, niveau sol :
 $\sigma = 32,5 \cdot 10^{-2} (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$
- Hassi-Messaoud, niveau 3 m :
 $\sigma = 87,5 \cdot 10^{-2} (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$

On remarque que la conductivité croît avec la hauteur du montage par rapport au sol . On en déduit que la teneur en sels solubles croît aussi avec la hauteur .

4.4- Caractéristiques chimiques -

C'est sur la base chimique que peut être faite l'identification complète d'un échantillon . Pour les couches polluantes, on détermine, en général, la quantité de sels solubles (chlorures, sulfates, etc...) et les éléments bons conducteurs tels que le fer ou l'aluminium .

Dans les sables ayant un comportement argileux, les éléments essentiels sont : Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Ca . On n'exprime pas le poids de ces éléments en métal, mais en oxydes. C'est ainsi que l'on indiquera les teneurs en SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O et Na_2O . On considèrera aussi le dosage de l'eau, du CO_2 qui est à l'état de carbonate et des sulfates (SO_4) .

Les analyses se feront sur les grains de dimensions inférieures à 0,080 mm

4.1.1-Analyse qualitative -

Cette analyse nous permettra de déterminer les éléments ou ions pouvant exister dans les échantillons de sable prélevés et de procéder par la suite à une analyse quantitative complète. Elle consiste à réaliser différents tests sur le filtrat d'une solution composée de sable et d'eau distillée chauffée jusqu'à ébullition .

Pour déterminer la présence des chlorures, on ajoute à la solution filtrée du nitrate d'argent ($AgNO_3$) et on doit observer la formation du précipité de chlorure d'argent ($AgCl$) de couleur blanche . L'existence des sulfates se décèle par adjonction du chlorure de barium ($BaCl_2$) et de l'acide chlorhydrique (HCl) . Le précipité à observer, apres chauffage, est le sulfate de barium ($BaSO_4$). Pour la détection du sodium (Na), du magnésium (Mg), et du potassium (K), on utilise le réactif de Nesler . Quant aux carbonates (CO_3), c'est l'effervescence en milieu acide (HCl) qui nous permettra d'observer leur présence .

Cette analyse nous a permis de déceler, dans les 3 échantillons, la présence de chlorures, de sulfates, et de sodium en faibles quantités . On compte aussi beaucoup de carbonates et assez de magnésium dans les 2 échantillons de Hassi-Messaoud et quelques traces seulement dans celui de Haoud El-Hamra .

4.4.2 - Analyse quantitative -

Pour l'étude des sables, il existe divers procédés d'analyse quantitative; l'analyse pondérale, la volumétrie; la colorimétrie...etc. .

L'analyse quantitative consiste à obtenir l'élément à doser, apres fusion, sous forme d'un précipité qui sera séparé de la solution même par filtration, puis lavé, séché ou calciné et enfin pesé. Ainsi, connaissant la nature du précipité, il est facile de déterminer le poids de l'élément recherché dans l'échantillon initial .

Après fusion alcaline de 1 gramme de chaque échantillon de sable le dosage de la silice (SiO_2) a été fait par gravimétrie, celui de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO par volumétrie et celui du TiO_2 par colorimétrie. Pour doser le sodium (Na) et le potassium (K), on a procédé à une photométrie de flamme, après évaporation du SiO_2 par l'acide fluorhydrique HF . Les sulfates (SO_4) ont été dosés après fusion (précipitation du BaSO_4 après apport de BaCl_2). Enfin, on a déterminé le poids de $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ par les pertes au feu (après calcination).

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 1 dans lequel on peut constater la variation de la composition chimique avec la hauteur du montage par rapport au sol. La croissance de la teneur en sels solubles avec cette hauteur est, encore une fois, confirmée.

COMPOSANTS	ECHANTILLONS	
	Hassi-Messaoud (3m)	Haoud El-Hamra (sol)
SiO ₂	58,08	86,00
Al ₂ O ₃	5,39	3,30
Fe ₂ O ₃	2,50	1,60
TiO ₂	0,46	0,66
CaO	11,87	2,38
MgO	1,66	0,71
CO ₂ + H ₂ O	12,12	2,60
Na ₂ O	0,50	traces
K ₂ O	1,06	traces
SO ₃	4,19	traces
total	97,83	97,25

TABLEAU - 1 -

Résultats de l'analyse qualitative

CHAPITRE 5
INFLUENCE DU SABLE SUR LA TENSION DE CONTOURNEMENT DES ISOLATEURS
DE HAUTE TENSION

5.1 -Généralités-

Afin de pouvoir garantir que le service d'une installation électrique se déroule avec le minimum d'incidents et d'une façon économique, il faut que son équipement ait un fonctionnement permanent pouvant se maintenir pendant de nombreuses années, dans les conditions d'exploitation rencontrées .

Pour le choix d'un tel équipement et particulièrement les appareils de haute tension, des essais diélectriques sont nécessaires. Dans le cas des isolateurs de haute tension devant fonctionner dans des régions polluées, ces essais peuvent être réalisés sur site (pollution naturelle) ou au laboratoire (pollution artificielle) . Alors que dans le premier cas on obtient des résultats valables mais après une longue durée; dans le deuxième cas, les conclusions sont proches et obtenues en un temps plus court .

Nous décrirons dans ce chapitre, le laboratoire à haute tension de l'E.N.P.A. et donnerons certains résultats d'essais, effectués sur des modèles théoriques, permettant de mettre en évidence l'influence du sable, comme agent polluant saharien, sur l'apparition des différentes décharges à la surface des isolateurs de haute tension sous fréquence industrielle .

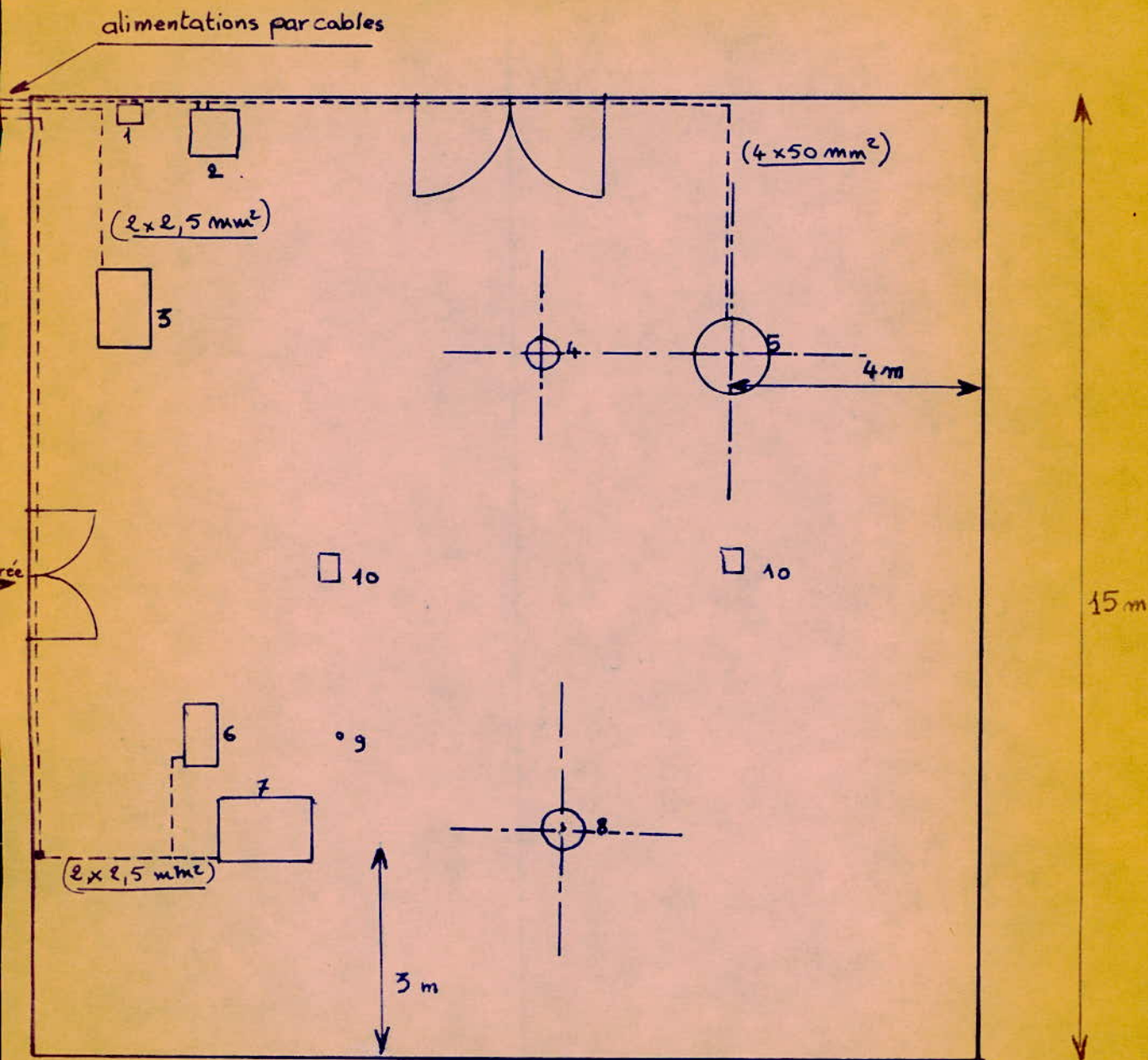
5.2 - Laboratoire à haute tension de l'E.N.P.A. -

5.2.1 -Batiment et alimentation -

De nombreux problèmes ont été rencontrés pour la réalisation de ce laboratoire et plus particulièrement en ce qui concerne le choix du bâtiment et de l'alimentation . De ce fait, le laboratoire à haute tension de l'E.N.P.A. est installé dans l'atelier de menuiserie et est alimenté par un transformateur ayant pour caractéristiques :

- Puissance : 400 kVA
- tension primaire : 10 000 V
- tension secondaire : 400 V
- fréquence : 50 Hz
- courant primaire : 231 A
- courant secondaire : 576 A

Laboratoire à Haute Tension de l'E.N.P.A.



- | | |
|---|---|
| 1 disjoncteur | 6 oscillographe cathodique |
| 2 transformateur de réglage | 7 générateur de choc 600kV 4KW ₅ |
| 3 pupitre de commande | 8 diviseur de tension de choc 600KV |
| 4 Voltmètre de crête 300KV | 9 antenne |
| 5 transformateur d'essais 300KV; 50KVA
50 Hz | 10 puits de terre |

Ce transformateur, assure aussi l'alimentation d'autres batiments .Ainsi lors des essais, il est risqué de créer des perturbations dans les autres circuits.

La plate-forme d'essais du laboratoire a une surface de 15m sur 15m et est recouverte par un grillage galvanisé en maille carrée de 15 mm sur 15 mm.

5.2.2 - Réseau de terre -

Il a pour rôle d'empêcher la propagation d'ondes de tension dans les batiments voisins et dans le réseau de distribution, ainsi que de diminuer, à l'intérieur du local d'essais, les niveaux de tensions perturbatrices provenant des sources de tension extérieures .

Il existe actuellement, dans le laboratoire, deux prises de terre en tube galvanisé à chaud (4,5 m, ϕ 50 mm) avec regard protégé par une couverture en fonte . La résistance de terre est de l'ordre de $0,2\Omega$.

5.2.3-Stations d'essais -

Le laboratoire à haute tention de l'E.N.P.A. est constitué par deux stations d'essais : une première pour les essais à fréquence industrielle (50 Hz), avec un transformateur de 300kV, 50 kVA et une seconde pour les essais de choc avec un générateur d'impulsions 600kV, 4 kWS . Nous ne décrivons que la station à fréquence industrielle .

5.2.4 - Station d'essais à fréquence industrielle -

Le rôle principal d'une telle station est de reproduire les surtensions pouvant apparaître à la fréquence industrielle dans le réseau électrique, lors d'un changement brusque du régime de travail.

La station du laboratoire de l'école est composée par les éléments suivants :

- transformateur d'essais à haute tension monophasé
- transformateur de réglage monophasé
- voltmètre de crête
- pupitre de commande

- Transformateur d'essais à haute tension -

Il est du type des transformateurs mis au point par HAEFELY ayant leur partie active dans un cylindre isolant rempli d'huile et a pour caractéristiques :

- rapport de transformation : 500/300 000
- puissance pendant 8h par jour : 50 kVA
- puissance absorbée à vide : environ 10 kVA
- résistance de l'enroulement haute tension: 4 893 Ω (à 25°C)
- résistance de l'enroulement basse tension: 0,0365 Ω (à 25°C)

L'enroulement à haute tension est en couches, résistant aux ondes de choc et permettant de supporter des court-circuits directs sans branchement d'une résistance d'amortissement entre l'objet en essai et le transformateur .

- Transformateur de réglage -

Un tel appareil est nécessaire car la tension de sortie du transformateur d'essais doit pouvoir être réglée de zéro à la pleine tension de façon continue .

Le transformateur de réglage existant est du type à curseurs dans l'air . Il se compose de deux enroulements en cuivre séparés, avec isolation au papier laqué, bobinés sur un circuit magnétique fermé . Il est alimenté en 220 V (phase-neutre) et relié au transformateur d'essais par un câble de 95 mm² de section . Il répond aux caractéristiques suivantes :

- tension primaire : 220 V
- tension secondaire réglable entre 0 et 500 V
- fréquence 50 Hz
- puissance à tension nominale 50 kVA (régime permanent)

Le réglage de la tension peut se faire soit manuellement à l'aide d'un volant soit électriquement à l'aide d'un moteur (à partir du pupitre de commande). La variation de la tension s'effectue en échelons inférieurs à 1 % .

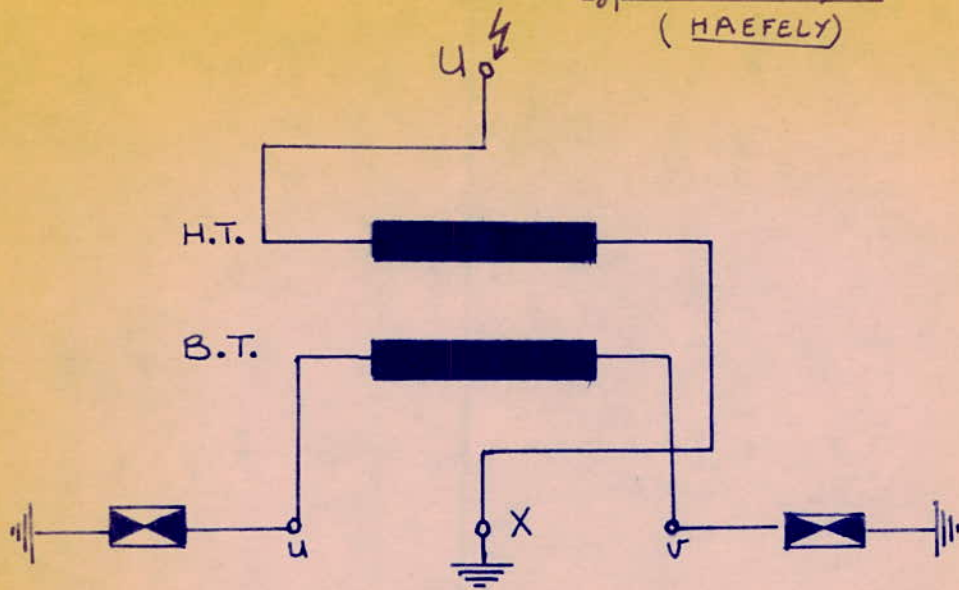
- Voltmètre de crête -

Il est destiné à la mesure des valeurs de crête et efficace de hautes tensions alternatives à 50 Hz . Il est préféré à un spintermètre car il permet de mesurer la tension de façon continue, avec une meilleure précision et sans tenir compte des conditions d'ambiance (température, pression, humidité ...) .

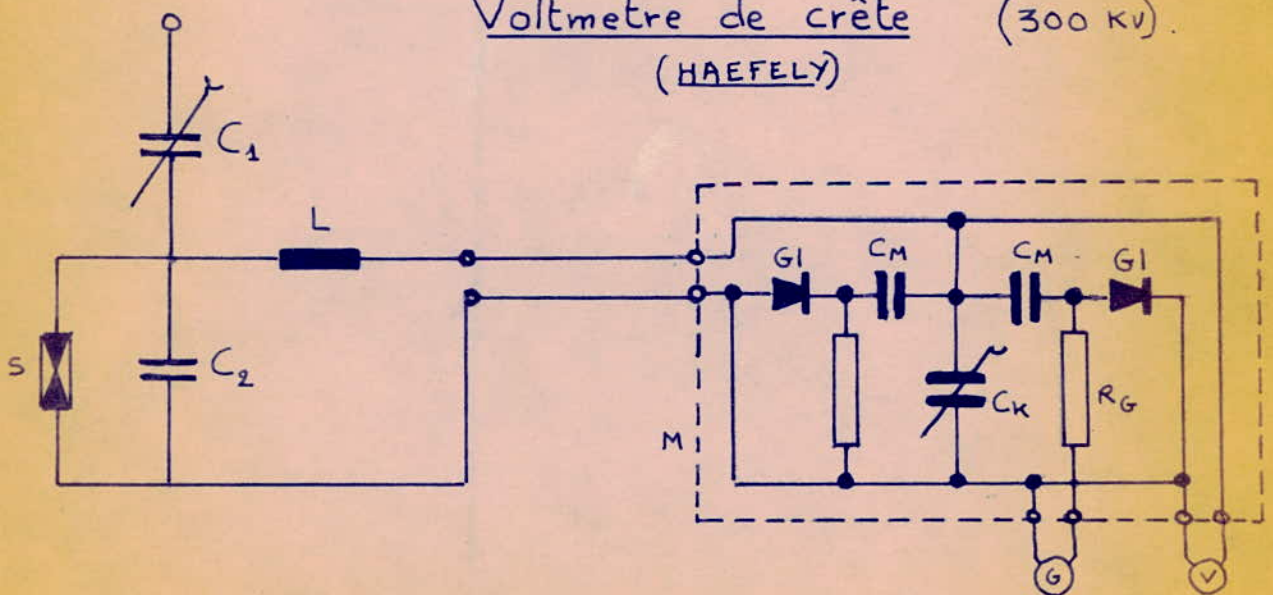
Il comporte les éléments principaux suivants :

- Un condensateur à haute tension formé d'éléments plats en feuilles d'aluminium et papier imprégné d'huile, montés dans un

Transformateur d'essais: 300 KV
 type HTEO 50/300 50 Hz
 (HAEFELY) 50 KVA



Voltmètre de crête (300 KV)
 (HAEFELY)



cylindre isolant en papier bakélinisé, rempli d'huile. Ce condensateur a les caractéristiques suivantes :

- Un = 300 kVeff
- C = 400 pF ± 10%
- f = 50 Hz

- Un bloc de mesure comprenant des redresseurs secs, un commutateur de sensibilité et de contrôle de fonctionnement .

- Des instruments de mesure de précision :

.Un galvanomètre à spot lumineux permettant la lecture directe de la valeur de crête de la tension :

- nombre de divisions : 150
- étalonnage : $kV/\sqrt{2}$
- classe de précision : 0,5

.Un voltmètre statique à spot lumineux pour la lecture directe de la valeur efficace de la tension :

- nombre de divisions : 150
- etalonnage : kVeff
- classe de précision : 0,5

-Pupitre de commande -

Il est alimenté en 220 V indépendamment du régulateur de tension et du transformateur d'essais .

Du fait de la puissance traversante importante, la commande du transformateur de réglage et du disjoncteur, doit se faire à distance à partir de ce pupitre . Malheureusement, ce pupitre ne fonctionne pas normalement .

5.3 - Essais -

5.3.1 - Choix des modèles -

Afin de mettre en évidence, au laboratoire, l'influence du sable saharien (région de Hassi-Messaoud) à l'état sec ou mouillé sur la tension de contamination des isolateurs, nous avons choisi des modèles théoriques simples . Ces dispositifs facilitent en effet les observations des différentes phases de décharges électriques .

5.3.2 -Réalisation des modèles -

Nous avons réalisé quatre modèles : deux systèmes plans pour les isolateurs supports (figure 10 a) et deux autres pour les

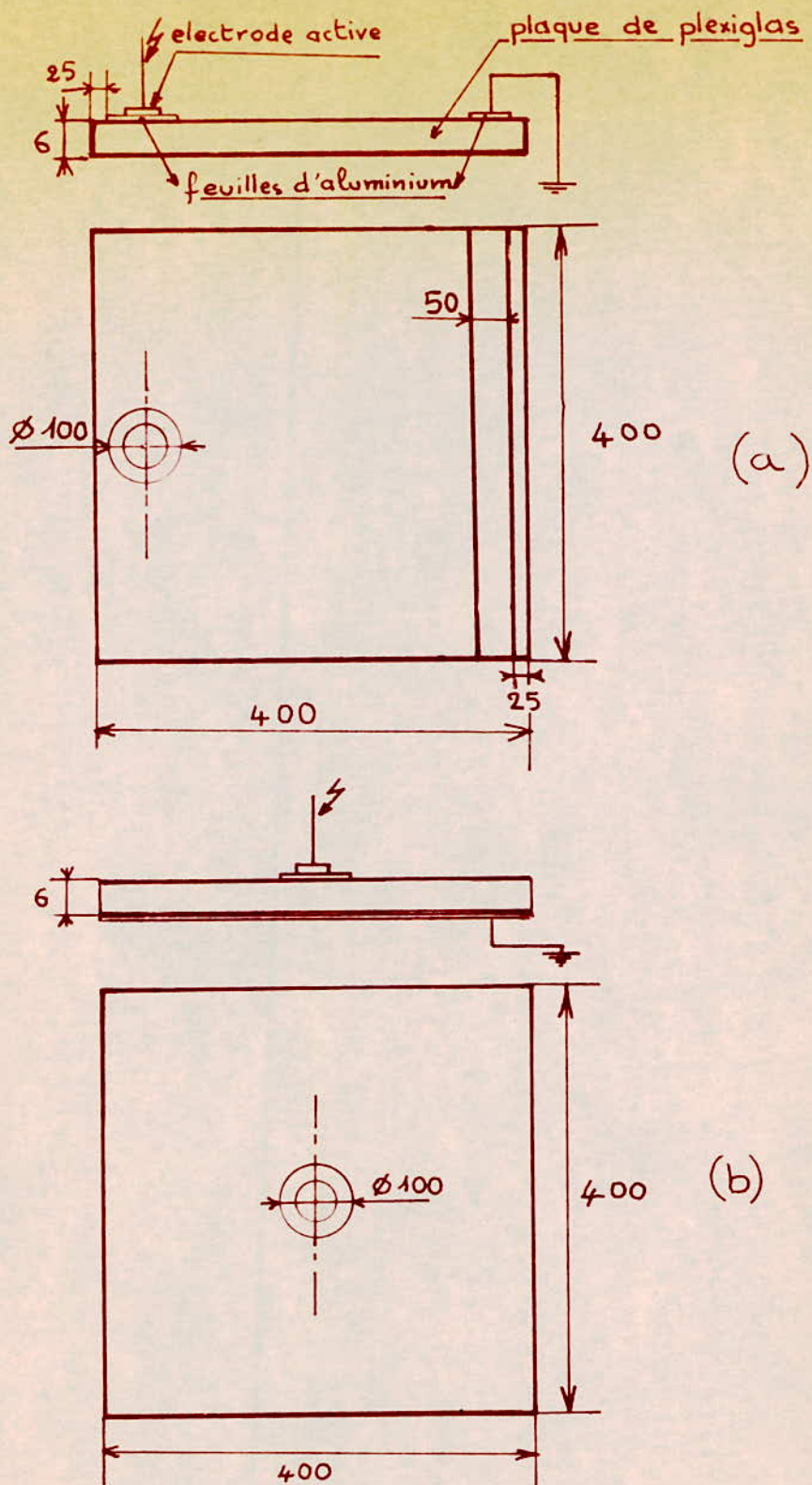


Figure 10

Modèles expérimentaux utilisés pour mettre en évidence l'influence du sable saharien -

- a - isolateur support
- b - isolateur de traversée

isolateurs de traversée (figure 10 b) .Ils sont constitués de plaques carrées en plexiglas de 400 mm de coté et de 6 mm d'épaisseur .

Chaque plaque a été initialement bien lavée, puis imbibée uniformément de " Gas-Oil " permettant l'emplacement des électrodes en papier d'aluminium de manière à ce qu'il ne reste aucun espace d'air .

5.3.3 -Préparation du modèle-

Les modèles ont été disposés horizontalement sur un tabouret isolant et pollués par les sables de Haoud El-Hamra (niveau sol) ou Hassi-Messaoud (niveau 3 m) . La couche de sable est, dans tous les cas, déposée avant l'essai correspondant .

Sur un même modèle et après un essai à l'état propre et sec, nous répartissons irrégulièrement du sable sec suivant une couche d'épaisseur moyenne égale à 0,3 mm que nous mouillons avec quelques gouttes d'eau distillée lors de l'essai suivant (nous simulons ainsi les plus fréquentes pluies sahariennes) . En dernier cas, nous réalisons une couche de sable saturé d'eau, irrégulièrement répartie et d'épaisseur moyenne égale à 1 mm .

Vu cette faible épaisseur , il y a lieu de remarquer les erreurs introduites par l'évaporation de l'eau mouillant le sable entre les moments de répartition de la couche et l'essai .

5.3.4-Essais-

Après avoir pris en considération toutes les consignes de sécurité, on a mis sous tension le montage schématisé sur la figure 11 . Ensuite on a élevé lentement et uniformément la tension à l'aide du transformateur de réglage, jusqu'au contournement des dispositifs expérimentaux déjà présentés .

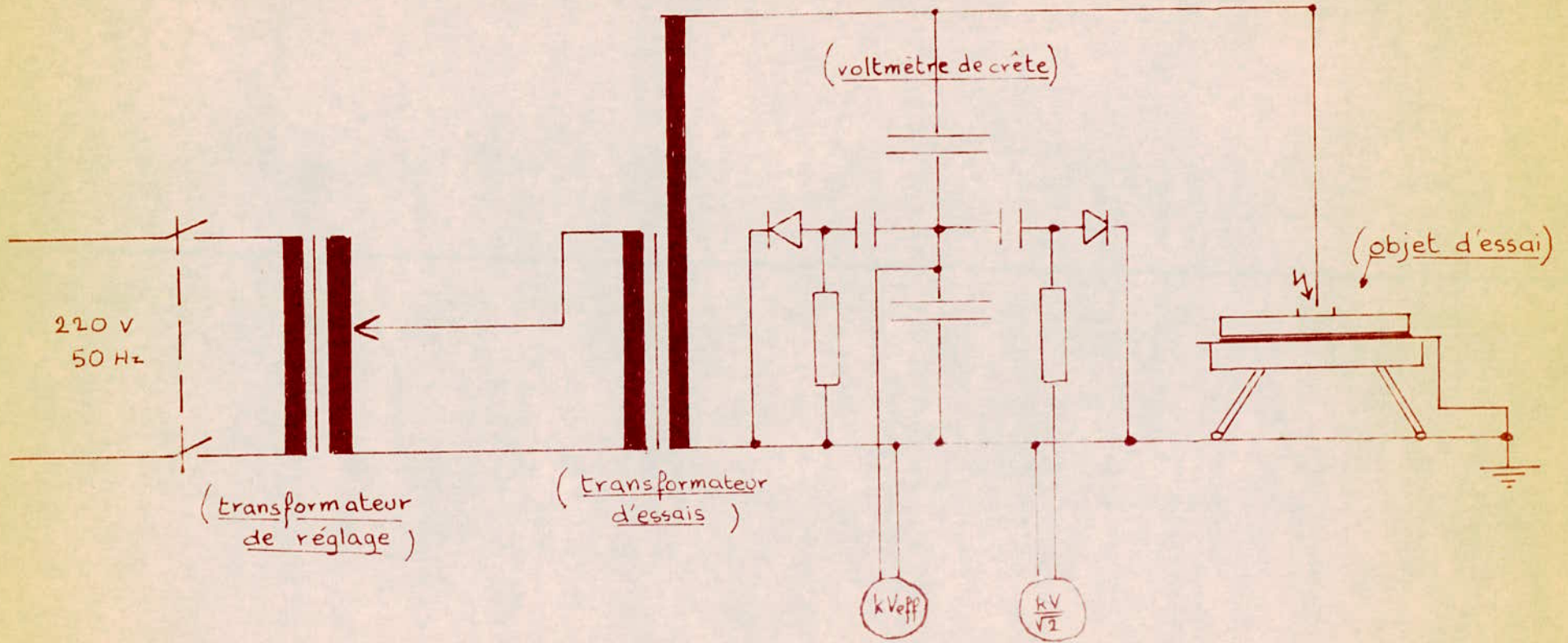
Vu que nous avons travaillé de jour, il nous a été difficile de préciser les différentes phases de décharges . Ainsi, nous nous limiterons à décrire les phénomènes observés et donner les tensions de contournement de chaque modèle pour les différents états de surface cités plus haut.

- Phénomènes observés-

Pour les surfaces recouvertes de sable sec, on observe un déplacement du sable autour des électrodes (surtout l'électrode active) suivant les lignes de champ .

Pour les surfaces recouvertes de sable saturé (à 25 %) d'eau distillée, on observe une évaporation intense au niveau des électrodes,

Montage utilisé pour les essais



suivie par une apparition d'une étroite zone sèche . Dès lors, la tension entre électrode et bord de la zone sèche étant à peu près égale à la tension totale appliquée entre les électrodes, un claquage diélectrique se produit et un arc s'établit d'une façon permanente jusqu'au contournement . Ceci a été observé d'une façon très nette pour les modèles de support (pour les traversées le contournement est très rapide) .

- Résultats -

Les résultats obtenus (tableaux 2a et 2b) nous permettent de remarquer l'influence considérable de la conductivité superficielle de la couche polluante sur la diminution de la tension de contournement des isolateurs de haute tension .

A l'état sec, le sable n'est pas conducteur et les résultats sont identiques à ceux obtenus pour l'état de surface propre; tandis qu'à l'état mouillé (quelques gouttes d'eau) ou saturé d'eau, les résultats sont nettement différents et le contournement se produit pour de plus faibles tensions .

On a déjà remarqué au chapitre précédent que la conductivité croît avec la hauteur du montage par rapport au sol . Ainsi pour les surfaces recouvertes par le sable de Hassi-Messaoud à 3 m au dessus du sol, les tensions de contournement sont plus faibles que celles des surfaces recouvertes par le sable de Haoud EL-Hamra pris au niveau du sol (au même état) . On peut penser que la tension de contournement d'un même isolateur pollué, dans un site donné, décroît quand la hauteur du montage augmente .

L'influence positive des jupes est mise en évidence par l'un essai sur modèle recouvert par une couche de sable saturé, alternée où on obtient le contournement à 20 kV, alors que celle pour le même sable saturé mais disposé d'une façon continue est de 5 kV .

Puisque les essais pour différents états du sable sont effectués successivement , pour un modèle donné, sur la même plaque il y a lieu de noter que la distribution du champ électrique varie d'un cas à l'autre . En effet, après chaque arc les électrodes sont plus ou moins détruites et acquièrent un profil plus pointu . Ainsi le champ électrique au voisinage des électrodes s'accroît au fur et à mesure .

-- Isolateur support --

état propre et sec : $U_{théorique} = 77,2 \text{ kVeff}$ (voir annexe)
 $U_{mesurée} = 87 \text{ kVeff}$

E C H A N T I L L O N S		
Couches polluantes	Hassi-Messaoud (3 m)	Haoud El-Hamra (sol)
sable sec	87	87
sable faiblement humidifié (gouttes d'eau)	30	62
sable saturé d'eau (25%)	5	8

- 2a -

-- Isolateur de traversée --

état propre et sec : $U_{théorique} = 32 \text{ kVeff}$ (voir annexe.)
 $U_{mesurée} = 40 \text{ kVeff}$

E C H A N T I L L O N S		
Couches polluantes	Hassi-Messaoud (3 m)	Haoud El-Hamra (sol)
sable sec	37	42
sable faiblement humidifié (gouttes d'eau)	32,5	35
sable saturé d'eau (25%)	2	5

- 2b -

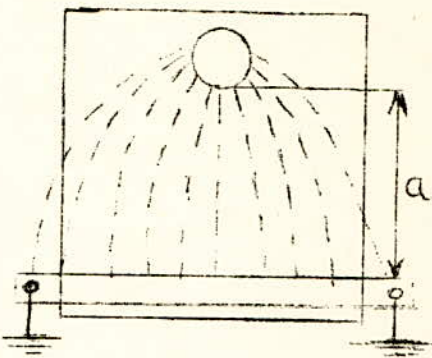
T A B L E A U X 2
Tensions de contournement en kVeff

- 2a - isolateur support
- 2b - isolateur de traversée

- Isolateur support, -

Pour permettre l'uniformité de la répartition du champ (éliminer les effets de bord) on a déposé sur l'électrode rectangulaire en papier d'aluminium, une plaque plus longue (et de même largeur) . Pour un tel dispositif le champ est intense au niveau de l'électrode circulaire.

On peut approximer la tension de contournement d'un tel modèle par celle donnée par la formule relative aux systèmes à pointe (les étincelles étant considérées comme des pointes) :



$$U_e = 14 + 3,16 a \quad (\text{à } 50 \text{ Hz})$$

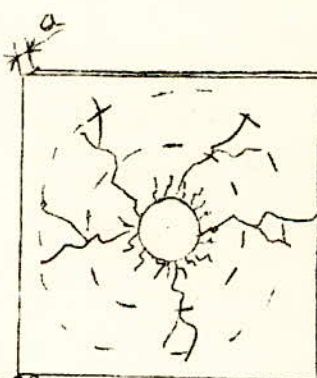
a : distance entre électrodes en cm .

dans notre cas : a = 20 cm donc $U_e = 77,2 \text{ kVeff}$

- Isolateur de traversée -

Un tel système est caractérisé par un champ électrique intense au voisinage de l'électrode circulaire . L'apparition "d'étincelles glissantes" est un phénomène se produisant à des tensions relativement basses .

La tension de contournement est donnée par la formule de Toepler :



$$U_{oeg} = \frac{1,355}{C^{0,44}} \cdot 10^{-4} \text{ kVeff}$$

C : capacité par rapport à l'électrode centrale d'une surface de 1 cm^2 collée sur l'isolateur .

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{a} \quad a: \text{épaisseur du modèle en cm}$$

Dans notre cas :

$$a = 0,6 \text{ cm}$$

$$\epsilon_r = 4 \text{ (plexiglas)}$$

donc $C = 5,9 \cdot 10^{-13} \text{ F}$ et $U_{oeg} = 32 \text{ kVeff}$

En tenant compte de l'état de surface du modèle non parfaitement lisse, des quelques poussières déposées lors de la mise en place des modèles et des conditions du laboratoire (t,p,...), on obtient des résultats assez proches .

C O N C L U S I O N

Au Sahara, du sable contenant une certaine quantité de sels solubles est transporté par le vent et se dépose à la surface des isolateurs. La couche polluante se forme pendant les vents de sable pour les types de montages intérieurs et en temps calme pour ceux à l'extérieur de bâtiments.

De grandes variations de température entre le jour et la nuit conduisent à une humidification des isolateurs pendant les premières heures de la matinée par la rosée .

Des essais effectués au laboratoire de l'E.N.P.A. sur des modèles théoriques mettent en évidence l'influence du sable mouillé ou surtout saturé d'eau sur la diminution de la tension de contournement des isolateurs de haute tension .

Pour déterminer d'une façon plus précise l'importance et la répartition du dépôt de matière contaminante, sur des isolateurs exposés à la pollution désertique et évaluer leur pouvoir isolant par des essais, il est nécessaire d'installer des stations expérimentales sur site ou de disposer de laboratoires bien équipés et étudiés . Le laboratoire à haute tension de l'E.N.P.A. serait apte à répondre à ces exigences s'il disposait de :

- Une alimentation indépendante et bien isolée .
- Une installation de climatisation et de ventilation afin d'éliminer les produits de décharges .
- Une séparation de la menuiserie, la poussière de bois étant nuisible à l'appareillage .
- Des installations annexes (pluies artificielles, brouillard, poussières ...) .
- Un personnel propre (entretien ...etc) .

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

- (1)- P.O.GESZTI; P.IGNACZ; P.RONKAY " Expériences concernant la détérioration de l'isolation due à la pollution atmosphérique" (C.I.G.R.E. 1960, rapport 204)
- (2)- F.A.M. RISK; A.A. EL-SARKY; A.A. ASSAAD; M.M. AWAD " Essais comparatifs sur les isolateurs pollués concernant les conditions rencontrées dans les déserts " (C.I.G.R.E. 1972 rapport 33-03)
- (3)- G. GREGOIRE "Comportement des isolateurs de lignes et d'appareillage en pollution naturelle et artificielle - Expériences Belges" (C.I.G.R.E. 1964 rapport 211)
- (4)- J.I.SKOWRONSKI; Z.POHL "Influence du type de pollution sur le choix de la forme des isolateurs extérieurs et leurs essais" (C.I.G.R.E. 1968 rapport 25-07)
- (5)- M.T. FUJIRAMA " Rapport du groupe 33: surtensions et coordination de l'isolement " (C.I.G.R.E. 1972)
- (6)- P.J.LAMBETH; J.S.T. LOOMS; M.SFORZINI; G. MALAGUTI; Y.PORCHERON; P.CLAVERIE "Recherches internationales sur la pollution des isolateurs " (C.I.G.R.E. 1970 rapport 33-02)
- (7)-H.BAATZ; G.BOLL; O.BRENNECKE; G.NIEHAGE; G.REVEREY;T.H. VOGELSANG "Expérience récente d'exploitation des isolateurs pollués et méthodes d'essais permettant d'évaluer leur pouvoir isolant " (C.I.G.R.E. 1964 rapport 212)
- (8)- G.REVEREY; E.STOLTE " Essais des isolateurs dans les conditions naturelles de pollution" (C.I.G.R.E. 1960 rapport 210)
- (9)- P.CLAVERIE; Y.PORCHERON "Les phénomènes de pollution des isolateurs et l'isolement des ouvrages en région^s polluées" (R.G.E. mars 1973)
- (10)- M.A.W.KJOLBY Rapport du groupe 25 C.I.G.R.E. 1968
- (11)- V.BIANCHI; M. CATTARUZZA; R.CORTINA; B.MARTINOLI "Etude des profils optimaux d'isolateurs pour sous-stations, destinés à l'installation dans les sites pollués" (R.G.E. mars 1973)
- (12)- J.DUBIEF " Le climat du Sahara " (Tomes 1&2)
- (13)- E.N.E.M.A. "Recueils de données climatologiques " (1930-38;1946-59; 1960-69)
- (14)- E.N.E.M.A. " Statistiques climatologiques de Hassi-Messaoud" (1971-74)

- (15)- G.MILLOT "Géologie des argiles" (Masson et C^{ie} 1964)
- (16)-S.CAILLERE; S.HENIN " Minéralogie des argiles" (Masson & Co. 1963)
- (17)- Bulletin du Bureau de RecherchesGéologiques et Minières " Nomenc-
lature et classification des roches sédimentaires" (Avril 1974)
- (18)- J.L.JAKUBOWSKI "Abrégé de haute tension" (Cours photocopié E.N.P.A.)
- (19)- E. HAEFFELY -catalogues-