

## ETUDE DU DEPOT DE POLLUTION RESPONSABLE DU CONTOURNEMENT DES ISOLATEURS DES LIGNES AERIENNES DU RESEAU ELECTRIQUE THT NATIONAL

Reçu le 29/11/2005 – Accepté le 19/05/2007

### Résumé

L'objectif de cet article est l'étude du dépôt de pollution des isolateurs des lignes THT en appliquant la méthode de l'ESDD (Equivalent Salt Density Deposit) et les techniques physico-chimiques d'analyses. Les résultats de notre étude montrent que la densité des matières insolubles dans la pollution et le volume du solvant utilisés pour la mesure influent sur la valeur de l'ESDD. Nous avons mesuré la non-uniformité de la pollution qualitativement et quantitativement. A cet effet, nous avons introduit une méthode de subdivision de la surface en éléments partiels et nous avons, aussi, appliqué les méthodes physico-chimiques d'analyses de la pollution. Nos investigations nous ont permis de mettre en évidence l'influence de la constitution de la pollution, des conditions atmosphériques, de la géométrie des isolateurs et de la durée d'exposition. Nous avons appliqué la méthode de l'ESDD pour le suivi de l'évolution de la pollution en prenant en considération l'influence du profil des isolateurs sur les mesures.

Nos résultats montrent que le profil aérodynamique est le plus approprié à la zone de mesure.

**Mots clés:** Contournement, Pollution, Isolateur, ESDD, Surface, Ligne de fuite, techniques d'analyses physico-chimiques, Très Haute Tension (THT).

### Abstract

The objective of this article is the study of the pollution of the HV insulators lines by applying ESDD (Equivalent Salt Density Deposit) method and the physicochemical techniques of analyses. The results of our study show the influence of the insoluble matters density and the volume of solvent on the measure. We measured the no-uniformity of pollution qualitatively and quantitatively. To this end we used a technique based on a subdivision of the insulator on partial element and we also applied physico-chemical methods of analyses of pollution. Our investigations enabled us to see the influence of the pollution constitution, the atmospheric conditions, the insulators geometry and the exposure time. Following that, we applied the method of the ESDD for the follow-up of the evolution of pollution by taking into account the influence of the insulators profile in to the measures.

Our results show that the aerodynamic shape is appropriate the most to the zone of measurement.

**Keywords :** Flashover, Pollution, Insulator, ESDD, Surfaces, Creepage distance, Physico-chemical techniques of analyses, High Voltage (HV).

M.A. SLAMA,

H. HADI,

S. FLAZI

N. TCHOUAR

Laboratoire de Génie  
Electrique d'Oran. Section  
Haute tension et  
Décharges Electriques  
Faculté des Génie  
Elecrique  
Université des Sciences et  
de la Technolgie d'Oran –  
USTO - Algérie

### ملخص

الهدف من هذا المقال هو دراسة طبقة التلوث المترسبة على سطح العوازل الكهربائية الموجودة في الخطوط الكهربائية ذات التوتر العالي و هذا باستعمال طريقة كثافة الملح المكافئة (ك.م.م) و التقنيات التحليلات الكيميائية و الفيزيائية. نتائج القياسات أكتشفت أن كثافة المواد الغير قابلة للانحلال و حجم محلول للانحلال يؤثران على قيمة كثافة الملح المكافئة. كما أجرينا قياسات كمية و نوعية بخصوص عدم تجانس طبقة التلوث. لهذا الغرض استعملنا طريقة تتمثل بتقسيم سطح العازل الى مساحات جزئية و هذا لقياس نسبة عدم تجانس كثافة الملح المكافئة كما طبقنا تقنيات التحليلات الكيميائية و الفيزيائية لدراسة نوعية الاملاح المترسبة. واستنتجنا من حول هذه الدراسات أن مكونات التلوث، الأحوال الجوية، شكل و مدة طرح العوازل لهم تأثير. زيادة على ذلك استعملنا طريقة كثافة الملح المكافئة (ك.م.م) من أجل دراسة تكوين ترسب التلوث بدلالة مدة الطرح و نوعية شكل العوازل. نتائج الدراسات تبين أن الشكل الهيدروديناميكي هو الذي يتناسب و المنطقة المدروسة..

**الكلمات المفتاحية:** اءالتفاف، التلوث، العوازل، كثافة الملح المكافئة (ك.م.م)، المساحة، مسافة اءلانزلاق، تقنيات التحليلات الكيميائية و الفيزيائية، التوتر العالي

Le contournement des isolateurs par un arc électrique dû à la pollution atmosphérique est la cause principale des interruptions dans le réseau électrique de transport. Ces interruptions ont lieu en grande majorité le soir et en début de matinée, et leur fréquence augmente lors des périodes sèches caractérisées par un fort taux d'humidité. La maîtrise des conditions optimales du fonctionnement des lignes, vis-à-vis de ce type de défaut d'isolement, commence par le choix d'isolateurs qui présentent les meilleures performances sous pollution. Ce choix nécessite, en premier lieu la connaissance des conditions de pollution des isolateurs, de sa sévérité et de son évolution avec le temps. Une étude effectuée par la société BORMA [1] sur le poste d'interconnexion de Marsat El Hadjadj près d'Oran montre que la pollution est à son maximum aux mois de juin, août et septembre. De même que les statistiques des défauts montrent que le nombre de déclenchements des lignes augmente d'une manière considérable le soir et en début de matinée [2].

Le contournement est la conséquence de la combinaison de plusieurs paramètres. Il a été montré et il est admis que le comportement des isolateurs sous pollution peut être décomposé en quatre grandes étapes [3]: dépôt d'une couche solide de pollution sur la surface de l'isolateur, humidification progressive de la couche de pollution, développement de zones sèches et apparition d'arcs partiels et enfin extension des arcs partiels si les conditions sont favorables jusqu'à court-circuiter l'isolateur.

A partir de ces paramètres il est possible de quantifier le degré de pollution en les mesurant suivant certaines méthodes spécifiques. A ce titre, des méthodes de mesure de la sévérité de la pollution ont été élaborées et peuvent être liées directement ou indirectement aux étapes du contournement. Chacune d'elles mesure un paramètre qui caractérise une ou plusieurs phases du processus du contournement. L'association des résultats des mesures aux essais artificiels en laboratoire permet de déterminer le profil des isolateurs et la longueur de la chaîne qui représente les meilleures performances dans les conditions de pollution du site étudié [3, 4].

## 1. PRESENTATION DE LA METHODE DE L'ESDD

La méthode de l'ESDD (Densité de Dépôt de Sel Equivalent) est une des méthodes les plus utilisées [3-7]. Elle est spécifique à la première phase du contournement. Elle représente le dépôt équivalent exprimé en mg de NaCl par cm<sup>2</sup> de la surface de l'isolateur, et qui a une conductivité électrique égale à celle du dépôt réel lorsqu'il est dissout dans la même quantité d'eau déminéralisée [4,6,8-10]. Cette méthode consiste à exposer des isolateurs de différentes formes, disposés en chaîne verticale ou en une autre position définie, sous ou hors tension, à une hauteur suffisante. Des échantillons de pollution sont prélevés à la surface d'isolateur. Pratiquement on utilise la surface totale d'un élément ou séparément le haut et le bas, mais les équipements métalliques et les ciments sont exclus. Le dépôt est récupéré par le lavage en utilisant de l'eau déminéralisée. Le dépôt est dissout dans une quantité connue d'eau déminéralisée. A partir de la conductivité de la solution obtenue, de la surface de l'isolateur, du volume d'eau et de sa température, on calcule l'ESDD suivant l'expression donnée par la norme CEI-507 [9]:

$$ESDD_2 = (5,7 \cdot \sigma_{20})^{1,03} \cdot \frac{V_s}{S_i} \quad (1)$$

où  $\sigma_{20}$  est la conductivité volumique de la pollution en S/m ramenée à une température de référence de 20°C,  $V_s$  le volume de la solution et  $S_i$  la surface de l'isolateur.

Comme nous pouvons le remarquer, la mesure de l'ESDD nécessite la connaissance de la surface de l'isolateur. Cette surface requiert toute son importance lorsque l'on veut prendre en considération la non-uniformité de la distribution de la pollution. Cela nous a amené à développer une méthode de calcul de la surface des isolateurs à partir de leurs profils. A cet effet, nous avons élaboré une méthode qui nous permet de calculer la surface de n'importe quelle portion de l'isolateur en fonction de la ligne de fuite.

## 2. CALCUL DE LA SURFACE ET DE LA LIGNE DE FUITE DES ISOLATEURS

Nous avons calculé la surface et la ligne de fuite des isolateurs à partir de la coupe transversale de ces derniers, donnée dans les catalogues des constructeurs d'isolateurs. Nous avons relevé le maximum de points  $P_i=(x_i,y_i)$

représentant la ligne de fuite. La ligne de fuite de l'isolateur est calculée suivant la méthode de calcul de la longueur d'un arc de longueur finie [11]. Si AB est un arc,  $A(x_1,y_1)$  et  $B(x_2,y_2)$  sont deux points de la courbe  $y=f(x)$  représentant l'arc, alors sa longueur peut être calculée selon l'expression ;

$$L = \int_{AB} dl = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \quad (2)$$

avec  $y=f(x)$  et  $f'(x)$  continues sur l'intervalle  $[x_1,x_2]$ . La ligne de fuite totale sera la somme des lignes de fuites partielles. Pour le calcul de la surface, nous avons procédé suivant la méthode de calcul d'une aire d'une surface de révolution [11]. Si  $y=f(x)$  et  $y'=f'(x)$  sont continues et où  $f'(x)$  ne change pas de signe sur l'intervalle  $[x_1,x_2]$ , l'aire de la surface engendrée par la rotation de l'arc AB autour de l'axe X est :

$$s = 2\pi \int_{AB} y dl = 2\pi \int_{x_1}^{x_2} y \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \quad (3)$$

La surface totale de l'isolateur est la somme des surfaces de chaque segment. La détermination des fonctions  $y=f(x)$  est faite en utilisant la méthode des splines cubiques.

Type d'isolateur	P(mm)	L(mm)	D(mm)
F12P	146	445	280
F16P	170	545	320

**Tableau 1 :** Caractéristiques des isolateurs utilisés pour le calcul.

Nous avons adopté une méthode basée sur une subdivision simple de la surface de l'isolateur. Nous avons séparé la surface supérieure « top » de la surface inférieure « bottom ». Nous avons utilisé des isolateurs de type anti-brouillard (Anti-Fog) qui étaient soumis à une pollution naturelle. Leurs caractéristiques sont données au tableau 1.

Type d'isolateur	F12P	F16P
<b>Surface (cm<sup>2</sup>)</b>		
Top	Réelle	881
	Calculée	887,45
Bottom	Réelle	1646
	Calculée	1640
Totale	Réelle	2527
	Calculée	2527,45
<b>Ligne de fuite(mm)</b>		
	Calculée	445
	Réelle	444,78
<b>Rapport entre les valeurs calculée et réelle</b>		
	Surface top	0,99273
	Surface bottom	1,00366
	Surface totale	1,04101
	Ligne de fuite	0,9995

**Tableau 2 :** Résumé comparatif des résultats de calcul.

Pour le calcul de l'ESDD nous avons utilisé l'expression (1). Nous avons utilisé pour la mesure de la conductivité un conductimètre Radiometer CDM210. La cellule de mesure est une cellule de type standard

CDC641T. Nous avons prélevé la pollution en utilisant de l'eau déminéralisée de conductivité variant entre 1 et 3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Le tableau 2 donne les résultats du calcul de la surface et de la ligne de fuite pour les isolateurs F12P et F16P, ainsi que le rapport entre les valeurs calculées et les valeurs réelles.

Type d'isolateur	ESDD <sub>r</sub> (mg/cm <sup>2</sup> )		
F12P	Top	Bottom	Moyenne
	0,56084	0,16490	0,110492
	0,036495	0,122089	0,079292
	ESDD <sub>c</sub> (mg/cm <sup>2</sup> )		
F16P	Top	Bottom	Moyenne
	0,055670	0,16550	0,110585
	0,036380	0,122297	0,079552
Type d'isolateur	R <sub>E</sub> = ESDD <sub>c</sub> / ESDD <sub>r</sub>		
	Top	Bottom	Moyenne
F12P	0,99273	1,00366	1,0084
F16P	0,99687	1,00170	1,00328

**Tableau 3 :** Comparaison entre les mesures basées sur les surfaces réelles et celles basées sur les surfaces calculées.

Comme nous pouvons le constater, l'erreur de calcul est très petite ; de l'ordre de 1%. Toutefois, nous avons vérifié la conséquence de l'erreur de calcul sur la mesure de l'ESDD. A cet effet, nous avons choisi deux isolateurs pollués ; F12P et F16P. Nous avons mesuré la conductivité selon la procédure normalisée [3, 8-10] et calculé l'ESDD suivant la surface réelle, puis la surface calculée. Nous avons estimé le rapport entre l'ESDD réelle (ESDD<sub>r</sub>) et l'ESDD calculée (ESDD<sub>c</sub>) selon :

$$R_E = \text{ESDD}_r / \text{ESDD}_c \quad (4)$$

D'après le tableau 3, nous constatons que l'erreur de calcul de la surface n'affecte pratiquement pas la mesure de l'ESDD et les trois premiers chiffres significatifs restent inchangés. Les résultats de nos calculs nous ont permis de lier la ligne de fuite l à la surface S par un polynôme algébrique de la forme :

$$S(l) = A_n l^n + A_{n-1} l^{n-1} + \dots + A_0 \quad (5)$$

Cette expression requiert toute son importance lors de la mesure de la répartition de la pollution sur la surface de l'isolateur.

### 3. ETUDE DE QUELQUES PARAMETRES INTRINSEQUES A LA METHODE DE L'ESDD.

Plusieurs expressions sont utilisées pour le calcul de l'ESDD. Dans des travaux antérieurs [7], nous avons effectué une étude comparative entre les diverses expressions trouvées dans la littérature [6, 8-10]. Les résultats de nos investigations nous ont conduit à garder l'expression (1) donnée par la norme CEI-507 et celle que nous proposons. Cette expression est basée sur l'analyse dimensionnelle de l'ESDD et se présente comme suit :

$$\text{ESDD}_1 = 0,549 \cdot \sigma_{20} \cdot \frac{V_s}{S_i} \quad (6)$$

où  $\sigma_{20}$  est la conductivité volumique de la pollution en  $\text{mS}/\text{cm}$ ,  $V_s$  est le volume d'eau déminéralisée en  $\text{cm}^3$  et  $S_i$  est la surface de l'isolateur en  $\text{cm}^2$ .

Isolateur	Pas (mm)	Diamètre (mm)	Ligne de fuite (mm)
AF12	146	280	445
AD12	127	380	360
AF16	146	280	540

**Tableau 4 :** Caractéristiques des isolateurs utilisés pour la comparaison entre les expressions (1) et (2).

Nous avons mesuré les ESDD de trois types d'isolateurs dont les caractéristiques sont données par le tableau 4. Les mesures ont été effectuées avec séparations des deux faces ; Top et Bottom.

Isolateur	ESDD <sub>1</sub>		ESDD <sub>2</sub>	
	Top	Bottom	Top	Bottom
AF12	0,0254	0,14480	0,02570	0,14510
AD12	0,03506	0,12297	0,03636	0,12220
AF16	0,66280	0,05460	0,06870	0,51930

**Tableau 5 :** Résultats des comparaisons entre les expressions (1) et (2).

Les résultats des mesures sont illustrées dans le tableau 5 et montrent que l'expression (6) que nous proposons donne des résultats satisfaisants et proches de ceux basés sur l'expression (1).

### 3.1. Influence des matières insolubles sur la mesure de l'ESDD

Hormis les sels ioniques, la couche de pollution qui s'accumule à la surface des isolateurs contient des matériaux insolubles sous la forme de silices et de ferrites [4, 5, 12-14]. Généralement, cette entité est quantifiée par la NSDD (Densité de Dépôt de matières Non-Solubles) exprimée en  $\text{mg}/\text{cm}^2$ . Nous avons voulu savoir, pour notre part, quelle est l'influence de la présence de ces matériaux lors de la mesure de l'ESDD. A cet effet, nous avons prélevé la pollution d'isolateurs de type AF12 exposés à une pollution naturelle. Après avoir recueilli le dépôt de pollution, nous avons d'abord mesuré l'ESDD en présence de matières insolubles, puis, après filtrage de la solution aqueuse, par la suite nous avons mesuré l'ESDD sans ces matières. Le tableau 6 illustre une partie des résultats des mesures.

Il apparaît clairement que les matières insolubles ont un effet non négligeable sur la valeur de l'ESDD. Cela est dû à la conductivité ionique des ces matières. En effet, lors de la mesure en présence de ces matières dans la solution aqueuse, la conductivité mesurée représente la participation de toutes les espèces se trouvant dans la solution.

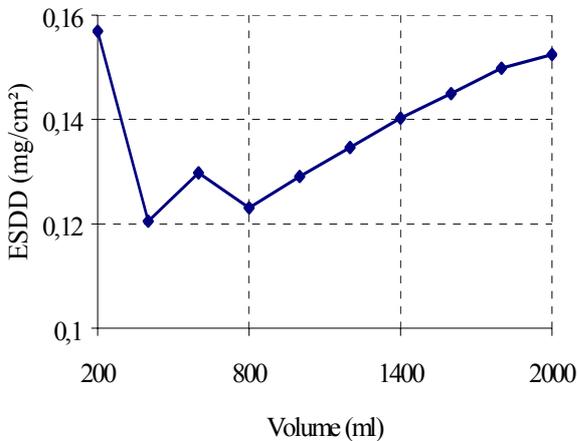
Cependant, après le filtrage de la solution, seuls les ions des sels restent présents. Comme le montre le tableau 6, l'apport des matières insolubles sur l'ESDD varie du simple au double.

Isolateur AF12	ESDD smns (mg/cm <sup>2</sup> )	ESDD amns (mg/cm <sup>2</sup> )
Top	0,043621	0,042873
Bottom	0,446025	0,290587

**Tableau 6 :** Résultats des mesures avec et sans matières insolubles. (smns : sans matières insolubles / amns : avec matières insolubles)

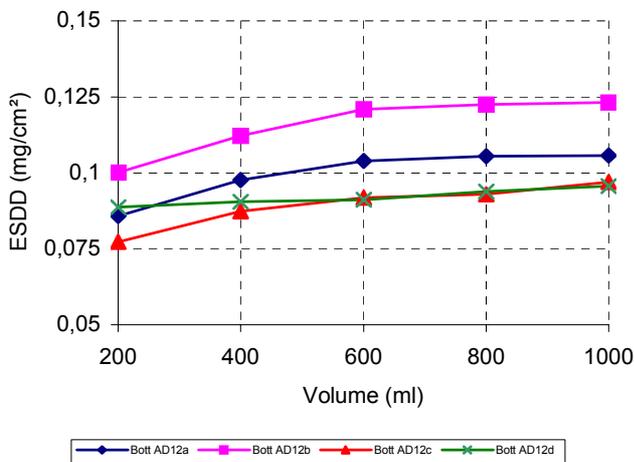
### 3.2. Influence du volume du solvant sur l'ESDD

Le volume du solvant utilisé lors de la mesure de l'ESDD joue un rôle important. Lin et coll. [15] montrent que l'ESDD augmente avec l'accroissement du volume du solvant. Cet aspect a été partiellement confirmé par notre part [14] mais ne peut pas être généralisé.



**Figure 1 :** Variation de l'ESDD en fonction du volume du solvant pour l'isolateur AD12

Dans la figure 1, nous avons représenté la variation de l'ESDD en fonction du volume du solvant pour un isolateur de type AD12 qui était soumis à une pollution naturelle. Les résultats des mesures nous montrent que l'ESDD maximale correspond à un volume minimal de solvant, pour ensuite fluctuer dans la gamme de volume allant de 400 ml à 800 ml.



**Figure 2 :** Variation de l'ESDD en fonction du volume du solvant de plusieurs isolateurs

A partir d'un volume de 1000 ml de solvant, la courbe devient ascendante et progresse presque linéairement. D'un autre côté, nous avons montré dans des travaux précédents [14] que, dans certains cas, l'ESDD se stabilise avec l'augmentation du volume du solvant (figure 2). La raison principale de ce désaccord est due à la nature des sels contenus dans la pollution et leur degré de dissociation.

Ainsi, en se basant sur la définition de l'ESDD, nous préconisons l'utilisation d'un volume standard de 1000 ml de solvant. Les résultats de nos mesures nous amènent à conclure que l'utilisation d'un volume de 1000 ml pour la mesure de l'ESDD est une condition nécessaire pour l'utilisation correcte de cette méthode.

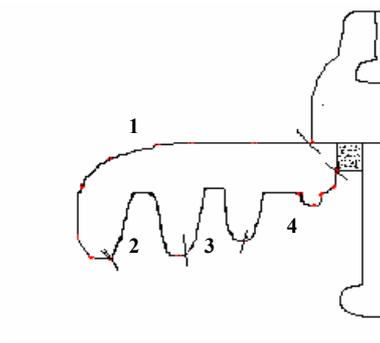
### 4. MESURE DE LA NON-UNIFORMITE DE LA POLLUTION

#### 4.1. Mesure de la distribution de la pollution en utilisant la méthode de l'ESDD

L'ESDD mesurée à la surface des isolateurs représente une valeur moyenne, ce qui fait que la pollution est supposée comme étant uniforme sur toute la surface de l'isolateur. Cependant, la distribution de la pollution à la surface des isolateurs n'est pas répartie uniformément.

La nature du champ électrique appliqué, le vent, la pluie et la forme de l'isolateur jouent un rôle important sur l'accumulation et la distribution de la pollution sur la surface de l'isolateur [3-5, 16].

Des mesures montrent que la pollution déposée sur la surface supérieure d'un isolateur est plus importante que celle de la surface inférieure [4, 16-18]. De même que la pollution accumulée sous tension continue est supérieure que celle sous tension alternative [17,18] et que pour cette dernière elle est plus importante au niveau de la tige.



**Figure 3 :** Exemple de subdivision d'un isolateur en quatre domaines.

D'autres résultats montrent que la tension de contournement la plus critique correspond au cas d'une pollution non uniforme [18, 20]. Afin d'étudier l'influence de la non-uniformité de la pollution, nous avons subdivisé la surface des isolateurs en plusieurs domaines. La figure 3 est un exemple de subdivision ; le nombre de domaine est 4, chaque domaine est délimité par deux points  $l_i$  et  $l_{i-1}$  et possède une surface partielle  $S_i$ . Connaissant l'expression de la fonction  $S(i)$ , il est facile de calculer cette surface, et

donc, de mesurer l'ESDD partielle  $ESDD_i$ . Nous nous sommes intéressés à la distribution de la pollution de plusieurs points de vue. En premier lieu, nous avons examiné la répartition de la pollution suivant les domaines. Nous avons ensuite quantifié l'écart entre l'ESDD partielle et l'ESDD moyenne (Top, Bottom et Totale) suivant l'expression :

$$R_i = ESDD_i / ESDD_{Top/Bottom/moy} \quad (8)$$

où les termes « Top » et « Bottom » désignent respectivement les surfaces supérieure et inférieure de l'isolateur.

Type d'isolateur	Zone	Spécificité	Durée d'exposition	Code
F12P	Marsat El Hadjadj	35 km du poste	Plus d'un an	F12P rel
F12P	Entre Marsat El Hadjadj et Zahana	20 km du poste	Plus d'un an	F12P zah
F16P	Marsat El Hadjadj	20 km du poste	Plus d'un an	F12P ous2
F16P	Beni Saf	Près du poste Benis	Plus d'un an	F16P Benis

**Tableau 7 :** Descriptif des points de mesure.

Par la suite, nous avons étudié la variation de ces rapports avec la ligne de fuite. Les points de mesure que nous avons choisi appartiennent au réseau de transport de la région ouest. La majorité de ces lignes se concentrent entre les postes de Marsat El Hadjadj (wilaya d'Oran) et Zahana (Wilaya de Mascara) et leurs voisinages à l'exception de l'isolateur appartenant à la ligne Zahana-Ghazaouet (Wilaya de Tlemcen), qui est située à l'extrême ouest (figure 4). De nombreuses mesures ont été effectuées autour de ces zones [1,7], et toutes montrent que le niveau de pollution atteint des valeurs extrêmes durant les périodes sèches. Le tableau 7 résume le descriptif des points de mesure et des sites choisis, ainsi que la durée d'exposition des isolateurs.

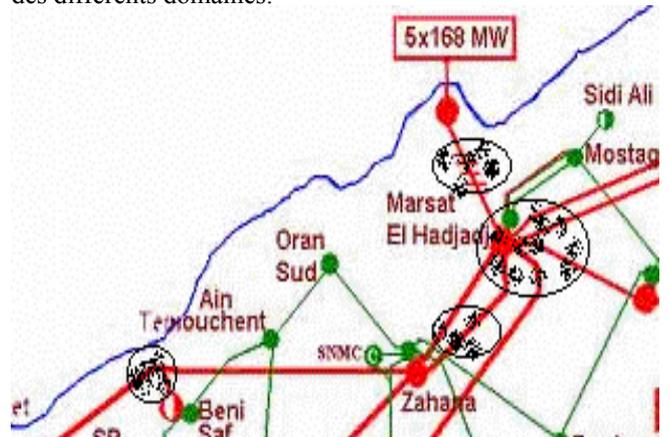
**a) Première subdivision : Isolateurs F12P rel et F12P zah**

Ces isolateurs ont été subdivisés en quatre (04) domaines ; un domaine sur la surface supérieure « Top » et trois domaines sur la surface inférieure « Bottom ».

Isolateur	Surface		Domaines			
	Top	Bottom	1	2	3	4
F12Prel	0,0257	0,2246	0,0257	0,1530	0,2216	0,2992
F12Pzah	0,1191	0,2880	0,1191	0,0293	0,3375	0,5504

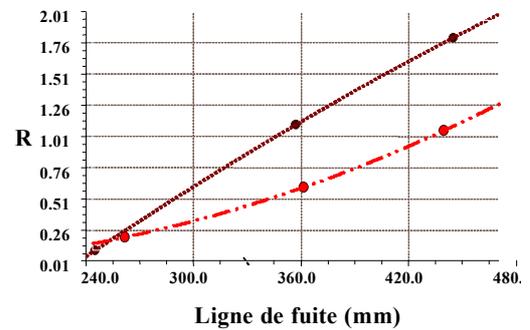
**Tableau 8 :** Résultats des mesures de la première subdivision

Nous avons inscrit les résultats de mesure dans le tableau 8 où nous avons mis les ESDD de la surface « Top », de la surface du « Bottom » et les ESDD partielles des différents domaines.



**Figure 4 :** Situation géographique des zones choisies pour les mesures.

Nous avons estimé le rapport entre l'ESDD partielle et l'ESDD de la surface du « Bottom » des deux isolateurs et avons représenté la variation de ce rapport en fonction de la ligne de fuite sous la forme de courbes illustrées par la figure 5. On voit clairement d'après cette courbe que la pollution accumulée dans la surface inférieure « Bottom » augmente au fur et à mesure que l'on s'approche de la tige de l'isolateur là où le champ électrique est concentré.



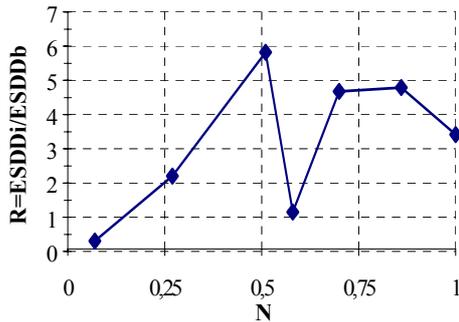
**Figure 5 :** Variation du rapport des ESDD en fonction de la ligne de fuite.

----- F12Prel,  
 - - - - - F12Pzah

**b) Deuxième subdivision. Isolateur F16P Ous2**

Nous avons subdivisé la surface du « Bottom » de cet isolateur en sept (07) domaines. La figure 6 illustre la répartition de la pollution suivant les domaines de subdivision. La figure 6 représente la variation du rapport des ESDD partielles et l'ESDD la surface du « Bottom » en fonction du rapport  $L_{f_{Bi}} / L_{f_B} = N$ , où  $L_{f_{Bi}}$  est la longueur de fuite partielle et  $L_{f_B}$  est la longueur de fuite totale la surface du « Bottom » de la ligne de fuite. Ainsi, d'après la figure 6, nous remarquons que le rapport R augmente avec N pour atteindre une valeur maximale à  $0,51 L_{f_B}$  ; l'ESDD partielle est 6 fois supérieure à l'ESDD la surface du « Bottom ». De même, à partir de  $N = 0,6$  à  $L_{f_B}$ , le rapport

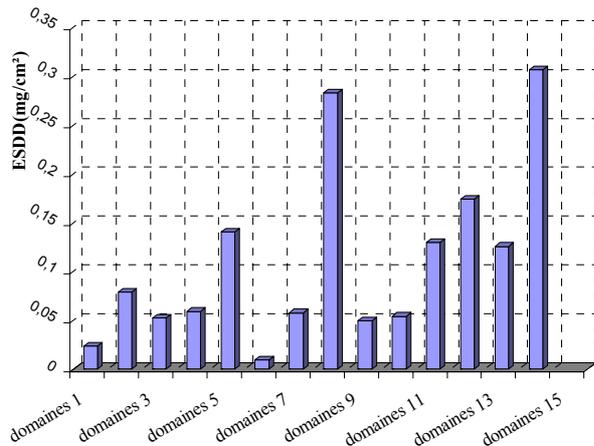
R fluctue entre 1,2 et 4,8 ; il n'est égale à l'unité que dans le dernier segment.



**Figure 6 :** Variation du rapport des ESDD avec le rapport de la ligne de fuite partielle et de la ligne de fuite du Bottom

**c. Troisième subdivision. Isolateur F16P Benis**

La subdivision que nous avons appliquée à cet isolateur est la plus complète. En effet, nous avons délimité 14 domaines ; 6 sur la surface du « Top » et 8 sur la surface du « Bottom ». La figure 7 illustre la répartition de la pollution sur la surface de l'isolateur selon la subdivision appliquée. Nous avons par la suite estimé le rapport entre les ESDD partielles et l'ESDD du « Top », respectivement du « Bottom ».



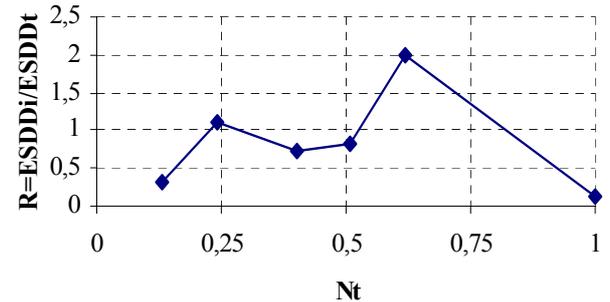
**Figure 7 :** Répartition de la pollution de l'isolateur F16Pbenis

En usant du même principe que précédemment, nous avons partagé la ligne de fuite du « Top » et du « Bottom » selon la longueur de fuite des différents domaines. Nous avons, ensuite, tracé les variations du rapport des ESDD en fonction du rapport des longueurs de fuite dans les figures 8-a et 8-b.

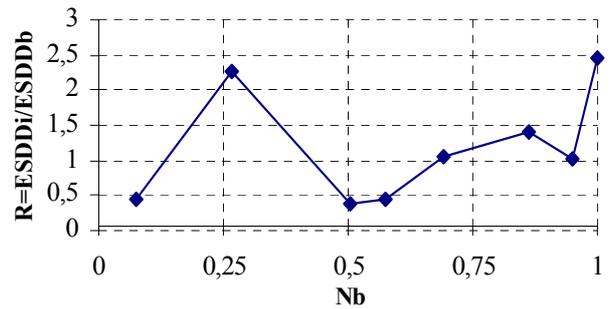
D'après la figure 8, nous constatons que :

- Pour la surface « Top », le rapport  $R=ESDD_i/ESDD_{Top}$  fluctue autour de 1 en  $N_t = 0,24$  à  $0,51$ . Le maximum est atteint à  $N_t = 0,62$ , où l'ESDD partielle est égale au double de l'ESDD du Top.
- Pour la surface « Bottom », le rapport  $R=ESDD_i/ESDD_{Bottom}$  vaut 2,25 au point  $N_b = 0,27$ . Il fluctue ensuite entre 0,5 et 1,5 dans l'intervalle allant de

$N_b = 0,5$  à  $0,86$ . L'ESDD partielle est égale à L'ESDD du Bottom à  $N_b = 0,95$  pour ensuite atteindre 2,5 à  $N_b = 1$ .



**(a) Top**



**(b) Bottom**

**Figure 8 :** Variation du rapport des ESDD en fonction du rapport des lignes de fuite

**4.2. Utilisation conjointe de la méthode de l'ESDD et des analyses physico-chimique pour la détermination qualitative et quantitative de la pollution**

Au mois de septembre de l'année 1998, le réseau électrique de transport de la région ouest a été soumis à des vents de sables venus du sud. Cette situation a provoqué l'écroulement du réseau. La raison majeure était la contamination des isolateurs par la poussière déposée par le vent et la forte humidité qui régnait. Toutes les conditions étaient réunies pour provoquer l'amorçage des chaînes. Deux questions s'imposent d'elles-mêmes ; quel était le degré de pollution ? et quelle était sa constitution ? Afin de répondre à ces questions, nous avons analysé la pollution de deux isolateurs de profil différents AF12 et AD12 de deux lignes distinctes dans la wilaya d'Oran ; ligne Marsat El Hadjadj/Zahana et Zahana/Petit lac. Les mesures effectuées se composent de deux parties ; mesure de la ESDD et la NSDD, et analyses physico-chimiques en collaboration avec le département de chimie industrielle. Notons que par NSDD (Non Soluble Density Deposit) nous désignons la densité de matière insoluble dans la pollution.

Le tableau 9 illustre les résultats des mesures de l'ESDD et l'NSDD (Densité de Matières Non-Solubles) des deux isolateurs. Les résultats des mesures montrent que la pollution qui prévalait était d'un niveau très fort. La surface «bottom» de l'isolateur AF12P a accumulé beaucoup plus de pollution que la surface «top», ce qui nous ramène à la conclusion que l'utilisation du profil « Anti-Fog » est

déconseillée dans cette région. Il est à remarquer que la surface «top» de l'isolateur AD12P a accumulé plus de pollution que la surface «bottom». Cela est dû à la forme de l'isolateur qui présente un profil aérodynamique dont la particularité est justement de favoriser le nettoyage naturel par le vent de la surface inférieure de l'isolateur.

Isolateur	AD12		AF12	
	ESDD (mg/cm <sup>2</sup> )	NSDD (mg/cm <sup>2</sup> )	ESDD (mg/cm <sup>2</sup> )	NSDD (mg/cm <sup>2</sup> )
«top»	0,7419	0,12205	0,4093	0,0396
«bottom»	0,8139	2,4039	0,4255	0,1138

**Tableau 9** : Résultats de mesure de l'ESDD et l'NSDD

Le tableau 10 donne les principaux résultats des analyses physico-chimiques de la pollution. A cet effet, nous avons utilisé la méthode d'absorption atomique et la technique des dosages chimiques [21,22]. Les résultats de ces analyses montrent que le NaCl n'est pas le sel dominant. D'autres sels tels le CaCl<sub>2</sub> et le CaSO<sub>4</sub> existent en de fortes proportions. La mixture de sels présente dans la pollution a pour effet de réduire considérablement la tension de tenue comparée à une pollution exclusivement constituée de NaCl [23].

Ions (mgEq/l)	AF12 «top»	AF12 «bottom»
Na <sup>+</sup>	0,21606	0,23438
Ca <sup>++</sup>	0,68838	1,06788
Cl <sup>-</sup>	14,0221	15,5135
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,43510	0,52571
Ions (mgEq/l)	AD12 «top»	AD12 «bottom»
Na <sup>+</sup>	0,23474	0,234056
Ca <sup>++</sup>	0,76809	0,57136
Cl <sup>-</sup>	11,7988	13,6021
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,57097	0,69230

**Tableau 10** : Résultats des analyses physico-chimiques

Pour finir, nous avons effectué des analyses aux rayons X des matières insolubles. Les résultats révèlent l'existence de composés à base d'oxyde de silice simples et complexes. L'objectif de cette mesure a été atteint étant donné que nous avons pu quantifier le degré de pollution qui régnait et la qualifier. Cette mesure ne fait que confirmer la nécessité d'entreprendre des mesures périodiques de la pollution pour procéder à l'entretien rationnel des isolateurs des lignes.

### 5. APPLICATION DE LA METHODE DE L'ESDD POUR LA MESURE ANNUELLE DE LA POLLUTION ET DU COMPORTEMENT DE DEUX PROFILS DIFFERENTS D'ISOLATEUR

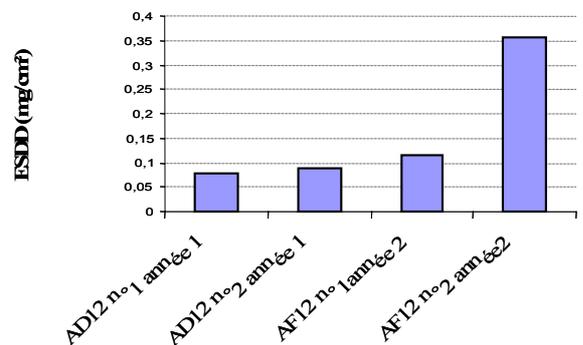
L'objectif de cette mesure est, d'une part de quantifier la sévérité de la pollution accumulée pendant une année, d'autre part de suivre la performance de deux profils différents d'isolateur ; AF12 et AD12. A cet effet, un banc d'exposition a été installé où sont exposés deux chaînes d'isolateurs. A chaque mesure, nous prélevons deux éléments de chaque chaîne. La première série des résultats des mesures relative à une année d'exposition est illustrée au tableau 11.

Isolateur	ESDD(mg/cm <sup>2</sup> ) «top»	ESDD (mg/cm <sup>2</sup> ) «bottom»	Fe
AD12 n° 1	0,06870	0,1270	1,36
AD12n°2	0,05538	0,0935	
AF12n° 1	0,04388	0,1670	2,87
AF12n° 2	0,03387	0,05819	

**Tableau 11** : Résultats des mesures de la station de Marsat El Hadjadj

D'après ces résultats, nous pouvons voir qu'il existe une certaine contradiction ; en effet, les ESDD des surfaces «top» et «bottom» de l'isolateur AD12 sont supérieures à celle de l'isolateur. Or d'habitude, les isolateurs aérodynamiques accumulent moins de pollution que les isolateurs anti-fog. La cause majeure de cet état est « l'effet d'écran » joué par l'isolateur par rapport à un autre isolateur se trouvant au-dessus. En se basant sur cette approche, nous avons mis en évidence, dans le tableau 11, le facteur d'écran *Fe* défini comme étant le rapport de la ESDD des surfaces «bottom» de deux isolateurs consécutifs de même profil. D'après ces résultats, le profil anti-fog constitue un meilleur écran que l'isolateur aérodynamique, mais ce dernier accumule moins de pollution.

La deuxième série de mesure relative à deux années d'exposition montre que l'ESDD accumulée par les isolateurs de type AD12 tend à se stabiliser, contrairement aux isolateurs de type AF12 (figure 9).



**Figure 9** : Isolateurs et périodes d'exposition

A cela, nous avons constaté que l'accumulation des ces derniers est plus importante que pour les isolateurs aérodynamiques et ce en regard du temps d'exposition. En effet, bien qu'au début, les isolateurs de type AD12 ont accumulé plus de pollution, le cycle de nettoyage naturel est plus efficace pour ces derniers, au vu de leur forme particulière, que pour les isolateurs Anti-Fog.

$\frac{ESDD_{AD12n^{\circ}1}}{ESDD_{AD12n^{\circ}2}}$	$\frac{ESDD_{AF12n^{\circ}1}}{ESDD_{AF12n^{\circ}2}}$
0,670	0,247

**Tableau 12** : Rapport d'accumulation des isolateurs de la station de Marsat El Hadjadj

Le rapport d'accumulation des ESDD des deux types d'isolateurs le montre très bien dans le tableau 12.

## CONCLUSION

La méthode mathématique que nous avons développée qui permet de lier la surface et la ligne de fuite des isolateurs donne de bons résultats ; l'erreur de calcul est de l'ordre de 1%. Les résultats de nos calculs s'accordent bien aux résultats réels et l'erreur de calcul n'influe pratiquement pas sur la mesure de l'ESDD. Notre étude sur les paramètres intrinsèques à la méthode de l'ESDD laisse ressortir les conclusions suivantes :

- L'expression que nous proposons donne entière satisfaction.
- Il est impératif de laisser les matières insolubles dans la solution aqueuse lors de la mesure de l'ESDD.
- L'utilisation d'un volume standard de 1000 ml de solvant (eau déminéralisée) est fortement conseillée.

Nos mesures ont montré que la pollution est loin d'être uniforme dans sa distribution radiale et dans sa constitution. Les résultats de nos mesures montrent qu'il existe une irrégularité de la distribution de la pollution. Cette irrégularité croît avec l'augmentation du nombre de subdivision, et les écarts entre l'ESDD moyenne et les ESDD partielles prennent, parfois, des valeurs très importantes.

L'utilisation des méthodes d'analyses physico-chimique nous a permis de quantifier et de qualifier le dépôt de pollution. Les résultats de ces analyses montrent que le NaCl n'est pas le sel dominant.

Pour finir, nos résultats ont montré que la méthode se prête très bien pour l'étude de l'évolution dynamique de la pollution. De même qu'elle permet le suivi des performances des isolateurs soumis à la pollution. Pour le cas de la zone étudiée, le profil le mieux adapté est de type aérodynamique au vu de ses performances quant à l'accumulation de la pollution.

## REFERENCES

- [1]- S. Melodia : « Mesure de la sévérité de la pollution dans le poste électrique 220/60 kV de Marsat El Hadjadj à côté d'Oran, Algérie. ». Séminaire sur la pollution des isolements des lignes et des postes HT. Casablanca, mars 1989, Maroc.
- [2]- Bulletins d'exploitation DTM/Oran, SONELGAZ, 1998.
- [3]- M. K. H. Schneider et coll. : « Mesure de la sévérité de la pollution des sites et application au dimensionnement des isolateurs HT pollués ». Electra n°20, 1979.
- [4]- M. Akbar and F. Zedan : " Performances of HV transmission line insulators on desert conditions. Part 3 : pollution measurement at a coastal site in the eastern region of Saudi Arabia ". IEEE Trans. on PD, vol. PD-6, n°1, January 1991.CEI 60-1
- [5]- K. Naito : « Insulators pollution. Part 1 ». Séminaire sur la pollution des isolements des lignes et des postes HT. » Casablanca, mars 1989.
- [6]- W.A. Chisholm, P.G. Buchan and T. Jarv : " Accurate measurement of low insulator contamination level ". IEEE Trans. P.D., vol.9, n°3, July 1994..
- [7]- M.A. Slama et Coll. : « Mesure de la DDSE et analyses physico-chimiques de la pollution d'une ligne 220 kV soumise à une forte contamination » ICEL2000, USTO-MB, Algérie.
- [8]- CEI 60-1 : «Techniques d'essais à haute tension. Partie 1 : Définitions et prescriptions relatives aux essais». 1989.
- [9]- CEI 60507 : « Essais sous pollution artificielle des isolateurs destinés aux réseaux à courant alternatif ».
- [10]- IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing. IEEE Std 4-1995.
- [11]- N. Piskounov : « Calcul différentiel et intégral ». Tome 1, édition Mir, 1974.
- [12]- K. Chrzan : « Conductivity of aqueous dust solutions ». IEEE Trans. on E.I., vol.EI-22, n°23, June 1987.
- [13]- R. Matsuoka and All. : « Influence of non-soluble contaminants on the flashover voltage of artificially contaminated insulators ". IEEE Tran. on P.D. vol.11, n°1, January 1996.
- [14]- M.A. Slama : « Contribution à l'étude de l'influence de la non-uniformité de la distribution de la pollution basée sur la méthode de la DDSE pour le dimensionnement des isolateurs des lignes THT à courant alternatif ». Thèse de Magister, Dép. d'électrotechnique, faculté de génie électrique, USTO-MB, Juin, 2002.
- [15]- X. Lin and All. : " Natural insulator contamination test results on various shed shapes in heavy industrial contamination areas.". IEEE Tran. on E.I., vol.27, n°3, June 1992.
- [16]- K. Naito and All. : " Improvement of the DC voltage insulation efficiency of suspension insulators under contamination conditions.". IEEE Trans. on E.I., vol. 23, n°6, December 1998.
- [17]- T. Kawamura and all : " DC pollution performances of insulators.". Cigre, paper 33-10, 1984.
- [18]- T. C. Cheng and C. T. Wu : " Formation of clean zones during the surface flashover of contaminated insulators.". IEEE Trans. on EI, vol. EI-13, n°3, June 1978.
- [19]- R. Sundararajan and R. Gorur : " Dynamic arc modelling of polluted flashover of insulators under DC voltage.". IEEE Trans. on EI, vol. EI-28, n°2, April 1993.
- [20]- M.A. Slama, S. Flazi et H. Hadi : « Etude de l'influence de la non-uniformité de la pollution sur le dimensionnement des isolateurs des lignes aériennes THT. Partie 3 : Influence de la non-uniformité de la pollution sur la tension de contournement. », 5ème Conférence nationale de la haute tension, USTOran, 01-03 décembre 2003. Algérie.
- [21]- F. Roussac et A. Roussaca : « Méthodes et techniques instrumentales modernes d'analyse. ». Masson Edition, Paris, 1997.
- [22]- V. Alexeev : « Analyses quantitatives. » Mir Edition, Moscou, 1980.
- [23]- K. C. Holte and all : " Dependence of flashover voltage on the chemical composition of multi-component insulator surface contaminants.". IEEE Trans. on PAS, vol. PAS-95, n°2, March-April, 1976