

## CHAPITRE VI

# *ISOLATEURS DES LIGNES AERIENNES HAUTE TENSION*

### INTRODUCTION

Les lignes aériennes et les postes des réseaux de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. En effet par temps de pluie ou de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes réduisent considérablement la résistivité superficielle et le contournement peut alors survenir.

L'humidification des couches polluantes facilite en fait, la circulation d'un courant de fuite sur les surfaces isolantes provoquant des échauffements locaux et par la suite l'assèchement de la couche de pollution. Ainsi, la réparation du potentiel est modifiée d'une façon significative et des arcs partiels peuvent apparaître. Ces derniers peuvent évoluer jusqu'au contournement total de l'isolateur. Les conséquences du contournement vont de la détérioration de la surface de l'isolateur à la mise hors service de la ligne haute tension. Ainsi, une des caractéristiques principale d'un isolateur haute tension sera donc sa tenue au contournement en fonction de l'environnement dans lequel il est utilisé.

### I. L'ISOLATEUR

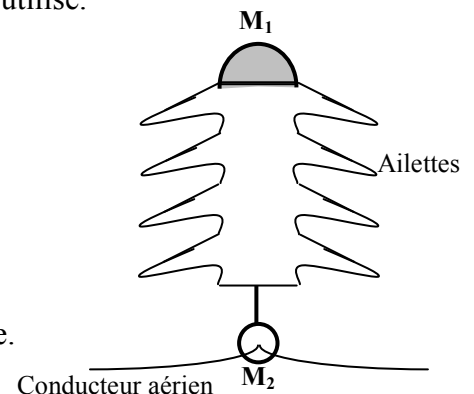
L'isolateur est formé par un isolant auquel sont fixés deux pièces métalliques  $M_1$  et  $M_2$ .

Isolant : Verre, céramique, matériaux synthétiques.

$M_1$  se fixe au pylône ;  $M_2$  porte le conducteur.

Rôle : l'isolateur possède un double rôle

- Rôle mécanique : porte le conducteur
- Rôle électrique : isole le conducteur par rapport au pylône.



Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur fonction est de réaliser une liaison entre des conducteurs HT et la terre.

- Ils maintiennent les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage) ;
- Ils assurent la transition entre l'isolation interne (huile, SF6) et l'isolation externe (air atmosphérique), ils permettent de raccorder les matériels électriques au réseau (traversées de transformateur, extrémités de câbles) et ils constituent, également, l'enveloppe de certains appareils (disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure).

### II. CONTOURNEMENT

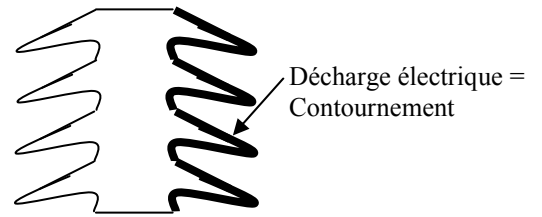
Le phénomène de pollution des lignes aériennes constitue un sujet d'étude d'une importance primordiale. Cela provient du fait que la pollution des isolateurs constitue un sérieux problème pour l'exploitation des réseaux de haute tension. En effet, et suite à l'interaction entre, l'air transportant des grains de poussières et l'isolateur, une couche étrangère se dépose

sur les surfaces de celui-ci. Une fois cette couche humidifiée, la tension de tenue peut diminuer considérablement, provoquant des incidents très graves.

### 1) Définition

On dit que le contournement se produit sur la surface de l'isolateur lorsqu'une décharge électrique s'établit entre ses extrémités et contourne la surface de l'isolateur.

Le contournement provoque l'ouverture du disjoncteur, car il établit un court-circuit entre le conducteur et le pylône (défaut monophasé à la terre).



Le contournement cause habituellement l'interruption momentanée de l'écoulement de l'énergie dans le réseau. De telles interruptions, bien qu'étant nocives, peuvent être tolérées dans des endroits ruraux. Dans des secteurs urbains avec les industries de pointe (domaines pharmaceutiques, production de véhicules...) les interruptions ne sont pas acceptables parce qu'elles mènent à d'énormes pertes financières de production, de machines bloquées et des pertes de contrôle du cycle du processus. Par exemple, aux USA une interruption de 0,25 s dans une usine à papier peut provoquer des pertes de 100 000 dollars.

### 2) Déroulement du contournement

#### Phase 1 : dépôt de pollution

Des grains de pollution se déposent sur la surface de l'isolateur (Fig.a).

#### Phase 2 : Formation d'un électrolyte conducteur

A sec, la résistance superficielle reste élevée malgré le dépôt de pollution. Quand la couche de pollution devient humide (brouillard, humidité, rosée du matin, pluie fine...), elle se transforme en électrolyte conducteur et donne naissance à un courant de fuite superficiel  $I_f$  circulant sur la surface de l'isolateur (Fig.b).

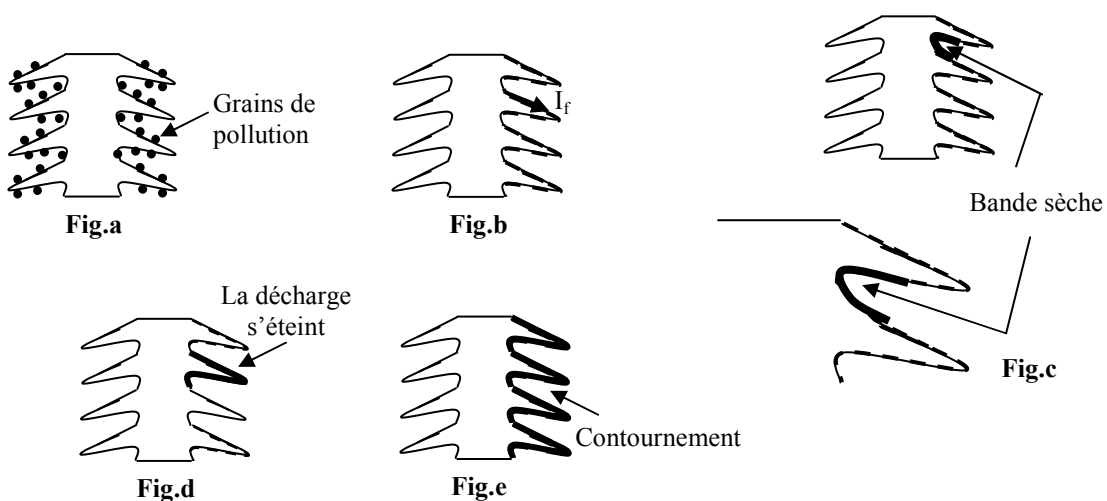
#### Phase 3 : formation d'une bande sèche

Dans les régions étroites de l'isolateur, où la densité de courant est élevée, une partie de l'électrolyte s'évapore et crée une bande sèche (Fig.c).

#### Phase 4 : contournement

Comme la résistance de la bande sèche est beaucoup plus grande par rapport au reste de l'électrolyte, pratiquement toute la tension aux bornes de l'isolateur est maintenant appliquée aux extrémités de cette zone. Il se produit alors un claquage dans la bande sèche :

- Soit la décharge s'éteint  $\Rightarrow$  pas de contournement (Fig.d).
- Soit la décharge progresse sur la surface  $\Rightarrow$  contournement de l'isolateur (Fig.e).

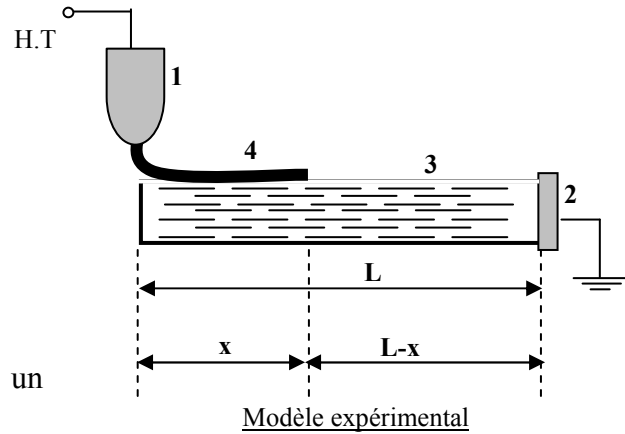


**III. APPROCHE MATHEMATIQUE**

**1. Modèle expérimental**

Comme la décharge et la couche de pollution sur la surface de l'isolateur sont en série, le modèle expérimental utilisé pour l'étude du contournement en laboratoire comprend :

- 1- Electrode HT
- 2- Electrode BT (reliée à la terre)
- 3- Canal d'épaisseur de quelques mm, rempli par un électrolyte (mélange eau distillée + grains de sels NaCl).
- 4- Décharge électrique.



avec

x : longueur de la décharge ; L : longueur de l'électrolyte.

**2. Circuit électrique équivalent**

L'équation électrique du circuit s'écrit :

$$U = U_d + U_p + U_e$$

$U_d$  : tension de la décharge ;

$U_p$  : chute de tension dans la couche de pollution ;

$U_e$  : chute de tension dans les électrodes.

$$U_d = AxI^{-n}$$

$$U_p = RI = r(L-x)I$$

$$U_e = Cte \approx 850V$$

avec

A, n constantes qui dépendent des conditions expérimentales

R (kΩ) : résistance de la couche de pollution

r (kΩ/cm) résistance par unité de longueur de la couche de pollution ( $R_{totale} = rL$ )

L'équation du circuit devient :

$$U = AxI^{-n} + r(L-x)I + U_e (*)$$

**3. Caractéristique « tension-courant »**

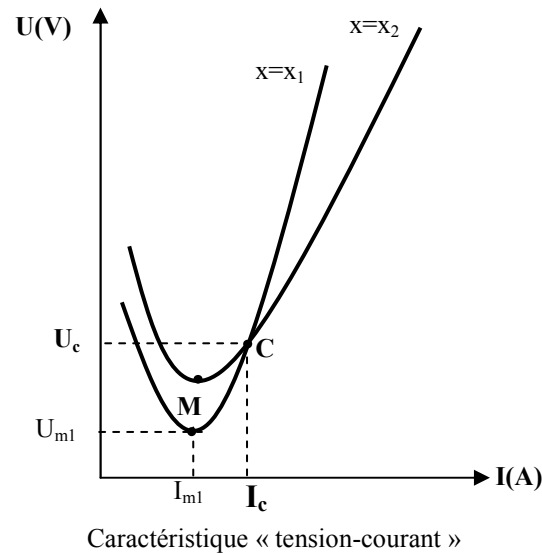
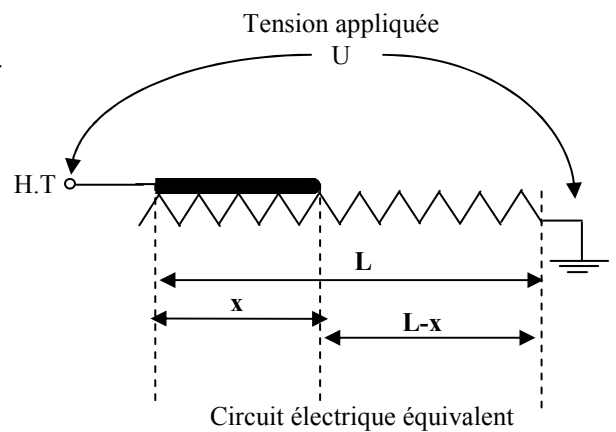
Cette courbe est tracée selon l'équation (\*), pour deux valeurs différentes du paramètre x.

$U_{m1}, I_{m1}$  : valeurs minimales de U et I (pour  $x = x_1$ ).

C( $U_c, I_c$ ) est le point critique de contournement : quand  $U \geq U_c$  se produit le contournement.)

$U_c$  : tension critique de contournement

$I_c$  : courant critique de contournement



**IV. CONTOURNEMENT SOUS TENSION ALTERNATIVE**

L'étude mathématique ci-dessous suppose une tension continue. Pour une tension alternative, au passage par zéro la décharge s'éteint. A la demi-alternance qui suit, la décharge doit obligatoirement réamorcer et ne dispose tout au plus que de 10 ms pour produire le

contournement. Pour ces conditions, le contournement est plus difficile en tension alternative qu'en tension continue.

Condition de réamorçage (empirique):  $U \geq \frac{800x}{\sqrt{I}}$

I : courant de fuite maximal au cours de la demi-alternance précédente.

X : longueur de la décharge à réamorcer.

## V. SOURCES DE POLLUTION

Les divers types de pollution atmosphérique les plus fréquemment observés peuvent être regroupés selon leurs origines et classés comme suit :

### 1. Pollution naturelle

La pollution naturelle provient:

- des sels marins dans les régions côtières.
- des poussières du sol (notamment lors de chantiers importants).
- des sables véhiculés par le vent en régions désertiques.

#### 1. 1. Pollution marine

Les installations situées en bord de mer sont exposées aux embruns portés par le vent et qui se déposent progressivement sur les isolateurs, formant une couche de pollution de sel qui devient conductrice lorsqu'elle est humidifiée par le brouillard ou simplement par condensation. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance.

#### 1. 2. Pollution désertique

La pollution désertique est caractérisée surtout par les dépôts de sable se formant à la surface des isolateurs après les vents de sable. Une fois humidifiés, ces dépôts deviennent plus ou moins conducteurs (en fonction des concentrations en sels solubles qu'ils contiennent) et engendrent la circulation d'un courant de fuite qui apparaît brusquement et qui est suivi par l'apparition d'arcs partiels qui peuvent conduire au contournement total de l'isolateur.

### 2. Pollution industrielle

Au voisinage de certaines zones industrielles, la pollution est engendrée par l'évacuation des fumées des usines (raffinerie, cimenterie, minerais ..... etc.). La présence d'éléments conducteurs dans les couches, et/ou la dissolution des sels qu'elles contiennent engendrent la circulation d'un courant de fuite plus ou moins fort selon les concentrations des agents polluants.

Les usines ne sont pas les seules responsables de ce genre de pollution ; les gaz d'échappement des véhicules et les engrais utilisés en agriculture contribuent aussi aux dépôts observés à la surface des isolateurs.

### 3. Pollution mixte

Ce type de pollution est en fait le plus fréquent et le plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. La pollution mixte résulte de la combinaison entre les différents types de pollution, comme par exemple les pollutions marine et industrielle lorsque des installations industrielles sont situées en bord de mer.

## VI. CHOIX DES ISOLATEURS

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne. Cependant, ils sont un élément essentiel dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service.

Les isolateurs les mieux adaptés à un environnement donné sont ceux qui retiennent le taux de dépôts polluant le moins élevé, c'est-à-dire les isolateurs qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage.

Même bien choisie, une isolation n'est jamais à l'abri d'un incident. La sévérité de la pollution d'un site peut changer. L'apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, la construction d'un ouvrage routier voisin ou plus simplement, un événement météorologique exceptionnel peuvent augmenter, durablement ou temporairement, la pollution d'un site, alors qu'un poste ou une ligne y sont déjà en exploitation. Le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut alors devenir insuffisant et il faut pouvoir protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution éventuelles.

## VII) REMEDES

### 1. Allongement de la ligne de fuite

Utiliser de longs isolateurs avec des lignes de fuite plus longues possibles (jusqu'à 10m pour les réseaux THT). Cette solution est très efficace et présente seulement des problèmes dans les régions à forte pollution.

### 2. Graissage

Une graisse chimique spéciale, imperméable et possédant une grande résistance superficielle, est appliquée sur la surface de l'isolateur. Son rôle est d'absorber les grains de pollution qui se déposent sur l'isolateur pour garder la surface propre. Le traitement par la graisse permet de rendre l'eau accumulée à la surface dispersée en gouttes, par conséquent le courant de fuite diminue sensiblement.

Le grand inconvénient des enduits de graisse est le temps court de l'intervalle d'application (en général moins de 1 à 2 ans) entre deux applications successives pour empêcher toute panne d'électricité par contournement. En outre, l'enlèvement de la graisse saturée est un travail long et fatigant comportant l'utilisation d'agents de nettoyage à sec et suivie par le lavage à l'eau. Si on laisse trop longtemps la graisse à la surface de l'isolateur elle se sature et peut mener à une rupture qui peut causer la détérioration de l'isolateur de porcelaine. En outre, dans certains pays comme les Etats-Unis, l'utilisation de la graisse devient de plus en plus difficile à accepter pour la préservation de l'environnement.

Remarque : Dans des conditions de décharge à long terme (sur une période longue), la surface de l'isolateur enduit de graisse peut perdre son hydrophobicité dans ces régions soumises aux décharges. Cette perte hydrophobe est habituellement provisoire, et l'isolateur récupérera son hydrophobicité si la surface est sèche pour quelques heures. Cela est dû à la nature dynamique du polymère silicone qui permet à des chaînes de polymère d'émigrer vers les parties vides et enduire de nouveau la surface.

### 3) Lavage périodique

Les isolateurs placés dans des sites à grande pollution sont régulièrement lavés avec de l'eau distillée. Le lavage s'effectue avec un fusil à jet d'eau puissant, généralement au mois de juin à cause de l'humidité. Actuellement les travaux de maintenance comme le lavage, s'effectuent sous tension (TST).

Cependant, certains types de contaminants (par exemple, ciment, dépôts gras, certains engrais) qui adhèrent fortement à la surface de l'isolateur ne peuvent pas être facilement enlevés par un jet d'eau à haute pression. Dans ces cas-ci, le nettoyage est effectué en employant des agents abrasifs secs.

La limitation principale de cette méthode est qu'elle nécessite un travail long et cher. En outre, il n'y a aucune méthode fiable autre que l'expérience humaine de service pour déterminer quand le nettoyage de l'isolateur est nécessaire. Une attention particulière devrait être exercée pour le lavage des isolateurs composites parce que tous les matériaux ne peuvent être lavés à haute pression d'eau.

**4) Anneaux de garde :**

L'utilisation des anneaux de garde sur les chaînes d'isolateurs à leur extrémité est un moyen communément pratiqué pour réduire l'effet couronne. Quand les isolateurs composites sont employés, l'utilisation des anneaux de garde aux extrémités des isolateurs est une pratique courante pour des tensions au dessus de 230 kV.