

## CHAPITRE IV

# DECHARGE COURONNE

### I) NOTIONS GENERALES

**I.1) Définition :** L'effet de couronne se produit sur tous les conducteurs et lignes soumis à une haute tension. Dès que le champ électrique à la surface du conducteur devient suffisamment grand (supérieur au champ d'ionisation de l'air,  $\approx 30 \text{ kV/cm}$ ), l'air s'ionise et forme autour du conducteur une couronne lumineuse (Figure 1).

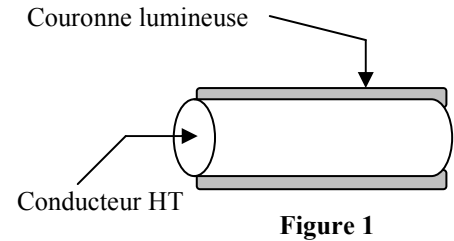


Figure 1

La lumière de la décharge couronne n'est visible que sur les lignes THT ( $U \geq 400 \text{ kV}$ ), lorsqu'il fait sombre.

Inconvénients : pertes couronne, interférence avec les ondes radio, bruit et vibrations des conducteurs.

Avantages : plusieurs applications industrielles (Filtres électrostatiques, séparateurs électrostatiques, photocopie...)

L'effet couronne devient très gênant pour les réseaux à partir de 345 kV. Le bruit et le champ électrique superficiel représentent actuellement les paramètres d'environnement les plus importants à prendre en considération lors de la construction de nouvelles lignes  $U \geq 750 \text{ kV}$ . L'effet couronne se produit principalement sur les conducteurs de ligne, mais aussi sur les parties métalliques aiguës reliées à la haute tension, telles que sur l'isolateur, surtout par temps humide.

### I.2) Champ électrique

Le champ électrique produit par le conducteur diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne du conducteur, il s'agit donc d'un champ non uniforme.

Important : L'effet couronne a lieu dans un champ non uniforme.

Soit un système d'électrodes pointe-plan. Que se produit-il si le champ près de la pointe est égal à  $30 \text{ kV/cm}$  ?

*Réponse : Décharge couronne*

*Le champ étant non uniforme, l'ionisation se produit uniquement près de la pointe et ne se produit pas près de l'électrode plane.*

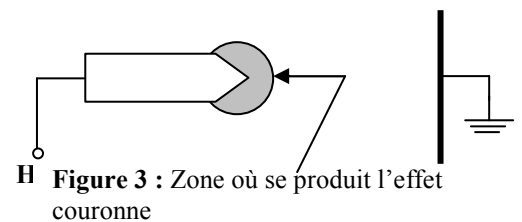


Figure 3 : Zone où se produit l'effet couronne



Décharge couronne lumineuse produite entre des pointes et une électrode plane reliée à la terre

## II) DECHARGE COURONNE EN POLARITE NEGATIVE

- Pointe portée à un potentiel HT négatif ;
- Electrode plane : reliée à la terre.

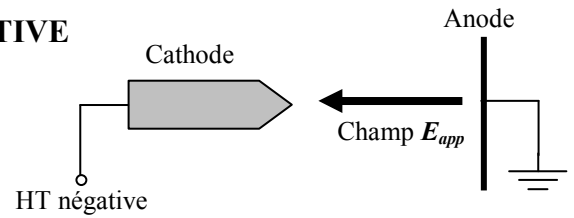


Figure 4 : Polarité négative

### II.2) Courant de la décharge couronne

#### a) Nature du courant :

Seuls les électrons traversent tout l'espace inter-électrodes  $\Rightarrow$  courant électronique

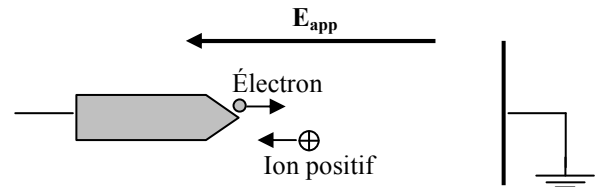


Figure 6

Remarques :

- Dans les gaz électronégatifs (air, SF<sub>6</sub>...), les électrons s'attachent aux atomes pour former des ions négatifs  $\Rightarrow$  le courant électronique devient courant ionique.
- Le courant de la décharge couronne est très faible : de quelques  $\mu A$  à quelques mA.

#### b) Courant à haute fréquence :

$\Delta t$  : déroulement des avalanches

$\Delta t_0$  : arrêt des avalanches

Fréquence : environ 1 MHz

La fréquence des impulsions augmente avec la pression, car la charge d'espace qui s'oppose au champ appliqué est vite formée.

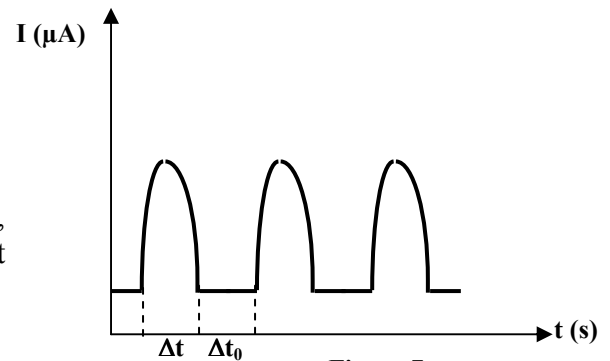


Figure 7

### II.3) Apparence lumineuse

Comme le champ de la charge d'espace est opposé au champ appliqué, on dit qu'en polarité négative l'effet couronne se déroule dans un « champ décroissant ». L'aspect lumineux est limité dans l'espace.

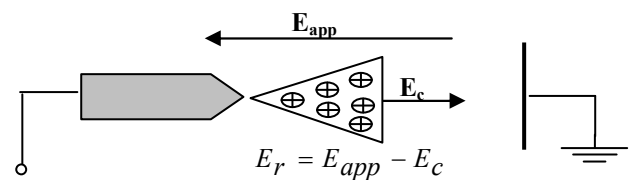


Figure 5.b

- Pointe-plan : Sur la pointe apparaît un point lumineux.

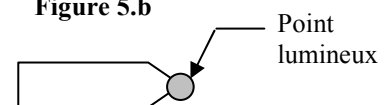
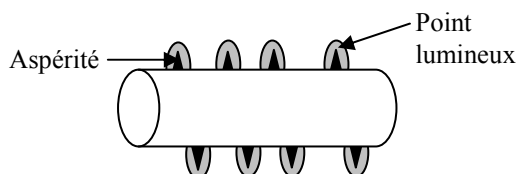


Figure 8

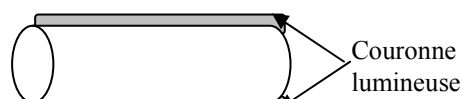
- Ligne HT :

a) Apparition de points lumineux sur les aspérités.

b) Pour une ligne THT, une couronne lumineuse peut couvrir tout le conducteur



a) Points lumineux sur quelques aspérités



b) Couronne lumineuse sur toute la surface

Figure 9

### III) DECHARGE COURONNE EN POLARITE POSITIVE

- Pointe portée à un potentiel HT positif ;
- Electrode plane reliée à la terre.

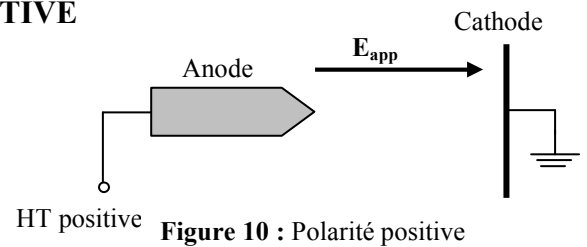


Figure 10 : Polarité positive

#### III.2) Courant de la décharge couronne

##### a) Courant à haute fréquence :

Mêmes impulsions qu'en polarité négative mais de fréquence plus petite, car les avalanches qu se déroulent dans un champ croissant ne s'arrêtent pas aussi rapidement qu'en polarité négative.

##### b) Nature du courant :

Seuls les ions positifs traversent l'espace inter-électrodes  $\Rightarrow$  courant ionique (Figure 11).

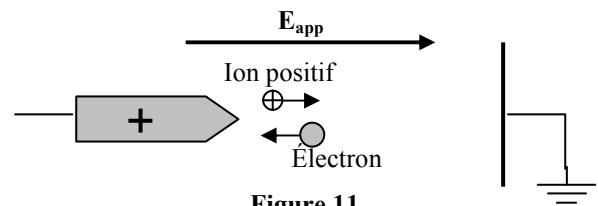


Figure 11

#### III.3) Apparence lumineuse

Le champ de la charge d'espace a même sens que le champ appliqué, on dit qu'en polarité positive l'effet de couronne se déroule dans un « *champ croissant* ». L'aspect lumineux s'étend dans l'espace.

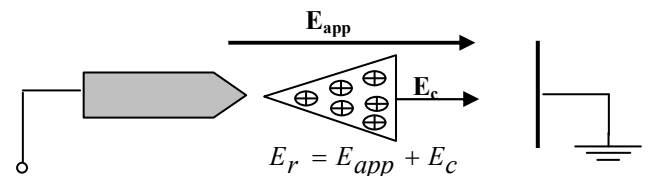


Figure 11bis

- Pointe-plan : longs filaments lumineux appelés « streamers » (Fig.12).
- Ligne HT : même apparence ; Cette apparence est dénommée *décharge-brosse* ou bien *décharge-plume* (Fig.13).

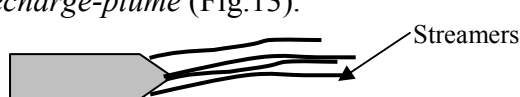


Figure 12

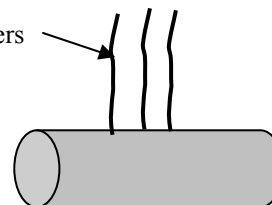


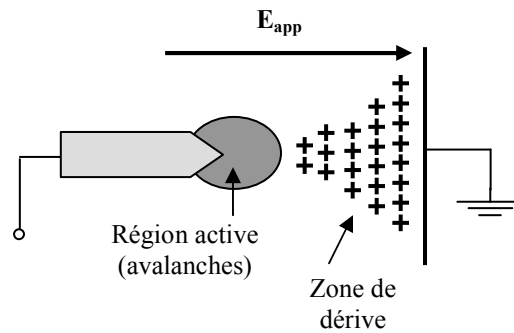
Figure 13

Effet de couronne en tension alternative : l'effet de couronne en tension alternative est la synthèse des deux polarités. Néanmoins, c'est l'apparence lumineuse de l'alternance positive (streamers) qui prédomine.

Résumé : L'application d'une tension de valeur suffisante pour créer un seuil de décharge couronne, entraîne une répartition de l'espace inter-électrodes en deux régions (voir figure).

- La première région voisine de l'électrode à faible rayon de courbure où le champ électrique est intense, elle est le siège d'ionisation du gaz, c'est la zone active. Les électrons libres sont accélérés par le champ électrique provoquant ainsi des collisions avec des atomes neutres ou des molécules; il y a alors multiplication électronique par avalanche.
- Le reste de l'espace inter-électrodes constitue la deuxième région où le champ électrique est faible, c'est la zone de dérive. Dans cette zone, les électrons ne peuvent

pas se multiplier, les ions créés par collisions dérivent vers l'électrode plane (ou à grand rayon de courbure) sous l'effet du faible champ en constituant ainsi une charge spatiale mono polaire.



#### IV) LOI DE PEEK- CHAMP CRITIQUE

Le champ critique d'apparition de l'effet couronne sur un conducteur est :

##### IV.1) Conducteur lisse

$$E_{cc} = E_s \delta \left( 1 + \frac{k}{\sqrt{\delta r}} \right) \quad (\text{kV/cm})$$

Pour une tension continue :  $E_{cc}$  en valeur efficace ;

Pour une tension alternative :  $E_{cc}$  en valeur max ou amplitude

avec  $\delta = \frac{3,92 P}{273 + t}$  densité relative de l'air

Remarque : conditions normales  $P = 76 \text{ cm}$  et  $t = 25^\circ\text{C} \Rightarrow \delta = 1$

Où

$E_s = 30 \text{ kV/cm}$  ;

$r \text{ (cm)}$  : rayon du conducteur ;

$P \text{ (cm Hg)}$  : pression en cm de mercure ;

$t \text{ (}^\circ\text{C)}$  : température ;

$k = 0,308$ .

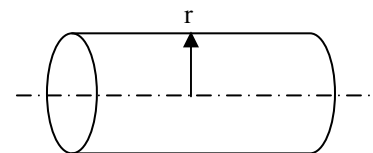


Figure 14 : conducteur aérien

##### IV.2) Conducteur réel

Le conducteur réel d'une ligne aérienne présente une surface non lisse et rugueuse (toronnée).

En plus, la graisse du conducteur favorise le dépôt de poussières, particules végétales et même des insectes. Ces particules forment des micro-pointes qu'on appelle *aspérités*.

Le pouvoir de pointe fait diminuer le champ

critique :  $E_0 = m E_{cc}$

avec  $0 < m < 1$  : coefficient de l'état de surface.

Conducteur	Facteur de surface $m$
Lisse et neuf	1
Lisse, oxydé	0,93 – 0,98
toronné	0,72 – 0,9
par défaut	0,85

L'effet couronne dépend de la géométrie des conducteurs (forme, présence d'irrégularités...) et de l'environnement (pression, humidité, pollution)

## V) PERTES COURONNE DANS LES RESEAUX

### V.1) Nature des pertes

Soit un conducteur HT alimenté en courant alternatif.

- Alternance positive : le conducteur attire les charges négatives et repousse les charges positives. *Tout se passe comme si le conducteur émet des ions positifs.*
- Alternance négative : le conducteur attire les charges positives et repousse les charges négatives. *tout se passe comme si le conducteur émet des ions négatifs.*

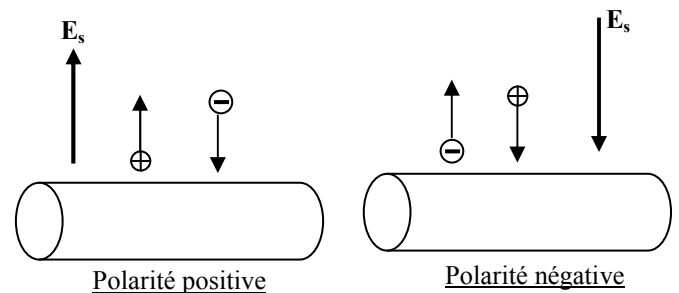


Figure 15

Le mouvement des ions provoque une dissipation d'énergie par échauffement suite au frottement avec les atomes de l'air. Cette énergie qui est prélevée du réseau représente les pertes couronne. Les pertes sont dues à un courant dans le plasma formant la couronne autour du conducteur, dont l'ordre de grandeur est environ  $\Delta P \cong 100 \text{ kW/km}$ .

### V.2) Influence de la pluie

Les gouttes sur la surface du conducteur forment de véritables pointes qui rendent l'effet couronne beaucoup plus intense et les pertes considérables.

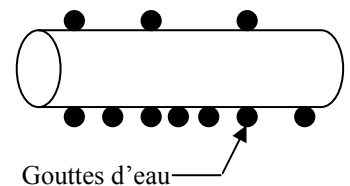


Figure 17

#### Remarques :

- Les lignes haute tension sont conçues de telle façon que l'effet couronne ne devrait pas poser de problèmes par *temps sec* ; c'est lorsque le temps est *pluvieux* qu'il devient vraiment gênant.
- Lorsque la pluie est forte, elle provoque au contraire le lavage du conducteur.
- Le temps améliore l'état de surface du conducteur, car une bonne partie des aspérités est brûlée au fur et à mesure par la décharge elle-même.
- Les pertes sont plus grandes pour un conducteur neuf car la graisse favorise l'accumulation des différentes particules.

## VI) PERTURBATION ELECTROMAGNETIQUE

L'effet couronne est à l'origine des perturbations des ondes radio, car les fréquences du courant de couronne (de l'ordre du MHz) sont du même ordre de grandeur que celles des ondes radio. Les charges créées par ionisation sont brusquement mises en mouvement par le champ superficiel. Le courant qui en résulte crée un champ électromagnétique variable qui se propage dans l'air et provoque la perturbation des ondes radio.

## VII) BRUIT

L'effet couronne produit un bruit ressemblant au bourdonnement d'abeilles. Le déplacement brusque des ions par le champ superficiel produit une variation locale de la pression de l'air qui se transforme en ondes sonores. Le bruit est un facteur nuisible qui peut avoir des conséquences nuisibles sur le tissu biologique.

Le bruit est tellement gênant pour l'environnement qu'il devient la paramètre principal à prendre en considération lors de la réalisation de réseaux THT ( $U \geq 1000 \text{ kV}$ ).

### VIII) DEGAGEMENT D'OZONE

La décharge couronne, à l'instar de la décharge de claquage, est aussi accompagnée d'un dégagement d'odeur due à la formation de l'ozone.

Par ailleurs, en présence de l'humidité, de l'acide nitrique est produit qui cause la corrosion du conducteur.

### VIII) VIBRATIONS DES CONDUCTEURS

### IX) REMEDE

Le champ électrique superficiel  $E_s$  produit à la surface d'un conducteur cylindrique peut être

calculé par le théorème de Gauss :  $E_s = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 r}$

La seule solution utilisée pour remédier contre l'effet couronne est de diminuer le champ superficiel du conducteur en augmentant le rayon.

On utilise pour augmenter le rayon:

- soit un conducteur creux (cher)
- soit un conducteur en faisceaux (il permet en plus de faire transiter une plus grande puissance)

Conducteur en faisceaux :

$$R_{\text{equ}} = R \sqrt[n]{\frac{nr}{R}} \text{ avec } D = 2R \sin \frac{\pi}{n}$$

avec n nombre de conducteurs ;

$R_{\text{equ}}$  rayon équivalent qu'aurait un conducteur central dans cette cellule.

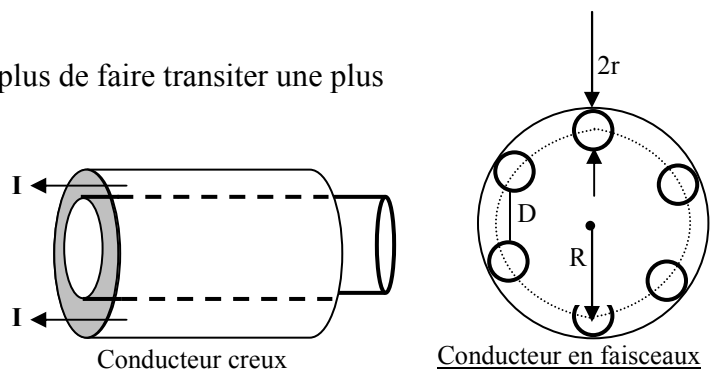


Figure 18

### XI) AVANTAGE DE LA DECHARGE COURONNE DANS LE RESEAU

Quand la champ superficiel dépasse le seuil critique, les charges créées par effet couronne éliminent par neutralisation une partie des charges du conducteur. Ceci provoque la diminution du champ superficiel et du potentiel du conducteur.

On dit que l'effet couronne est un régulateur de tension.

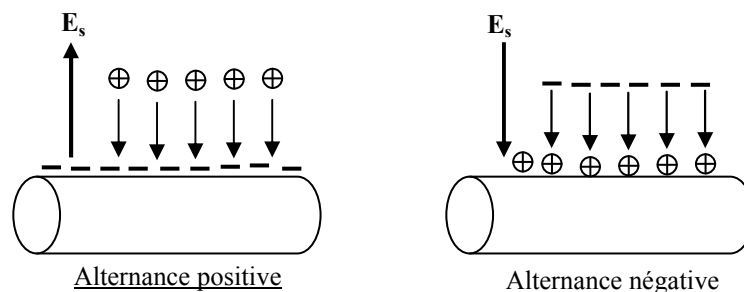


Figure 19

**Conclusion :** La décharge couronne amortit les surtensions sur les lignes surtout les surtensions dues à la foudre. Lorsque l'effet couronne se produit autour de l'air environnant,

celui-ci acquiert une grande conductivité et le diamètre du conducteur augmente, ce qui paradoxalement réduit le champ électrique. Des calculs récents effectués sur des modèles simulés d'une ligne de 220 kV soumise à une onde de choc 1,2/50  $\mu$ s simulant une surtension atmosphérique, l'atténuation de la surtension atteint 60% quand on s'éloigne de 7 km du point d'impact de cette surtension.

## XII) APPLICATIONS UTILISANT LA DECHARGE COURONNE

### XII.1) Parafoudre

L'effet couronne augmente la conductivité de l'air autour de la pointe ; le canal de la foudre qui opte pour le chemin le moins résistant est capté par le paratonnerre (Figure 20).

### XII.2) Neutralisation

La surface de l'avion se charge par frottement avec l'air. Les charges créées par effet couronne produit par des flèches disposées sur les ailes de l'avion éliminent par neutralisation les charges surfaciques.

### XII.3) Filtre électrostatique

Le fil central produit par effet couronne des charges électriques négatives. Les grains de poussière qui se chargent négativement sont attirés et captés par le cylindre qui les empêche de ressortir. Le cylindre joue le rôle d'un filtre de poussières, lequel une fois saturé sera remplacé par un nouveau filtre (Figure 21).

### XII.4) Séparateur électrostatique

Un mélange de particules granuleuses acquière des charges électriques créées par effet couronne grâce à une électrode à pointes reliée à une source de haute tension négative.

Ces particules se comportent différemment selon qu'elles sont isolantes ou métalliques et tombent dans des endroits différents (Figure 22).

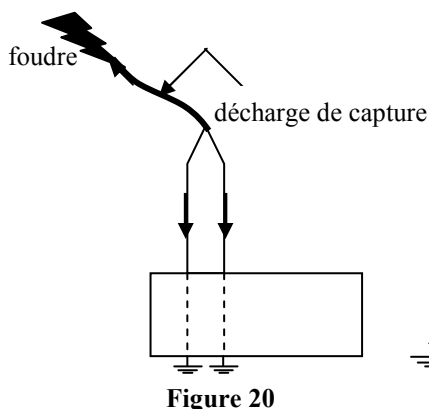


Figure 20

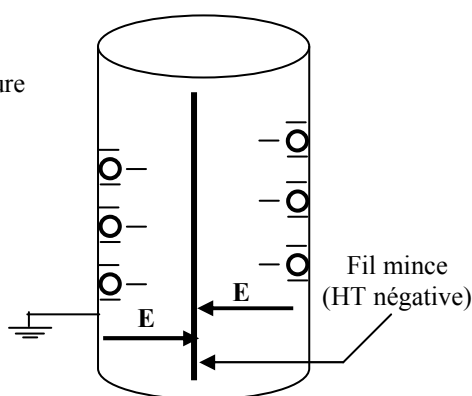


Figure 21

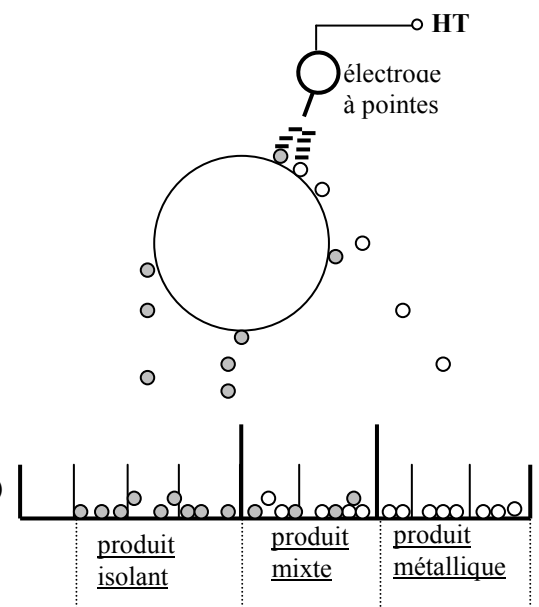


Figure 22