

CHAPITRE 2 - Suite

MECANISMES DE CLAQUAGE DANS LES GAZ

1- MECANISME DE TOWNSEND (Basse Pression)

Coefficients α et γ :

Coefficient d'ionisation α : nombre d'électrons créés par ionisation par un électron sur 1 cm de parcours. □

Coefficient γ : nombre d'électrons secondaires émis par bombardement de la cathode par un ion positif. □

Le premier coefficient de Townsend, appelé aussi coefficient d'ionisation, est plus élevé dans les gaz rares à cause de leur facilité d'ionisation (néon, argon, vapeur métallique...).

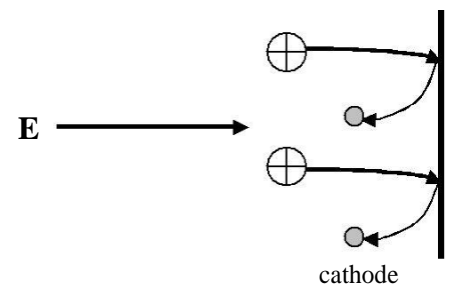
Ce coefficient est par contre plus petit dans le cas des gaz électronégatifs.

Pour les distances faibles (max. 1 m), la théorie de Townsend est valable pour des pressions inférieures à 0,1 à 1 atmosphère tandis que la théorie de Streamer est valable pour les hautes pressions (≥ 1 atm).

Phase 1 : Un électron primaire situé près de la cathode provoque une avalanche électronique primaire.

Phase 2 : Les électrons sont absorbés par l'anode tandis que les ions positifs bombardent la cathode avec leur énergie cinétique pour extraire des électrons secondaires.

Phase 3 : Les électrons (secondaires) émis de la cathode par bombardement créent de nouvelles avalanches secondaires et provoquent le claquage du gaz.



2- MECANISME DES STREAMER

Le mécanisme se déroule comme suit :

PHASE 1 : Un électron primaire se trouvant près de la cathode provoque une avalanche électronique primaire. La vitesse des électrons étant 100 fois environ supérieure à celle des ions, l'avalanche se développe

comme un nuage d'électrons laissant derrière elle une charge d'espace positive (Figure 1.a).

Les électrons sont absorbés par l'anode, tandis que les ions positifs forment dans le gaz une charge d'espace positive. Le champ E_c de cette charge est maximal en tête d'avalanche (Figure 7.a).

PHASE 2 : Des électrons secondaires sont créés par photo-ionisation autour de la charge d'espace. Ces électrons provoquent en tête d'avalanche de petites avalanches secondaires (Figure 1.b). Le champ de la CE renforce le champ entre la tête de l'avalanche et la cathode et crée également une composante radiale.

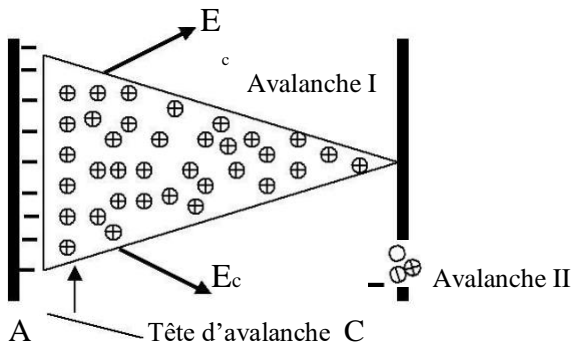


Figure 1.a

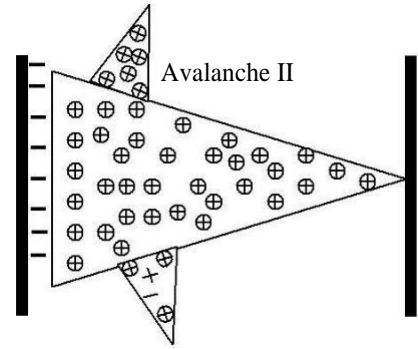


Figure 1.b

Origine des électrons secondaires : La tête d'avalanche est le siège d'une importante activité (collisions entre électrons et ions positifs) qui est source de photons qui sont absorbés par le gaz environnant. En particulier, les molécules d'azote excitées peuvent émettre des photons ayant une énergie supérieure à 13 eV qui est suffisante pour ioniser les molécules d'oxygène dont l'énergie d'ionisation n'est que de 12,2 eV.

PHASE 3 : La charge d'espace augmente en volume et devient un « Streamer ». De nouvelles avalanches secondaires viennent s'ajouter à l'avalanche primaire et le Streamer progresse (Figure 1.c). Quand il touche la cathode, à ce moment se produit le claquage (Figure 1.d).

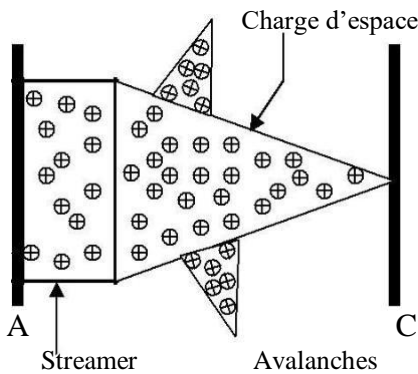


Figure 1.c secondaires

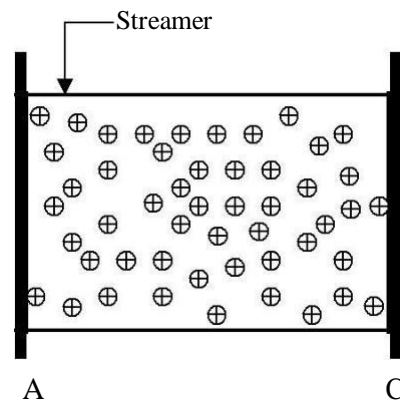


Figure 1.d

3- INFLUENCE DE LA PRESSION

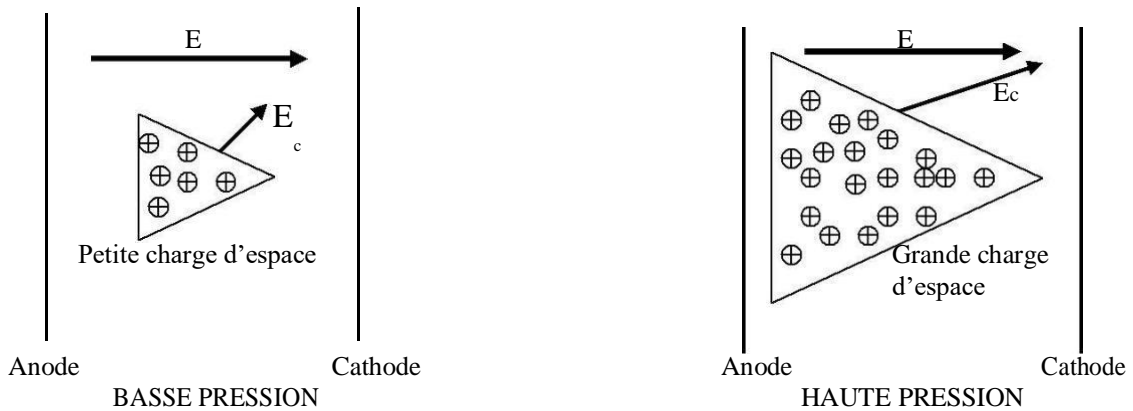


Figure 1

Remarques :

Dans le mécanisme de Townsend, l'étincelle de la décharge se produit dès que la cathode émet des électrons secondaires.

La décharge de Townsend se situe entre 10^{-8} et 10^{-6} A, elle est donc peu lumineuse. La luminosité est à peu près uniforme dans tout l'espace compris entre les électrodes.

Influence de la cathode :

La tension critique de claquage U_c dépend du type de la cathode utilisée.

Supposons 3 cathodes en matière différente : Aluminium, Nickel et l'Alliage Al-Ni.

Les énergies d'extraction d'électrons sont pour :

- le Nickel $W_{ext} = 0,075$ eV ;
- l'Aluminium $W_{ext} = 0,1$ eV ;
- l'Alliage Al-Ni $W_{ext} = 0,15$ eV.

Il en résulte que $U_c (Al - Ni) > U_c (Al) > U_c (Ni)$

b) Critère de claquage : (EXERCICE)

III) CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION

Les électrons primaires sont extraits artificiellement de la cathode grâce à des rayons UV. La cathode émet n_0/s électrons.

Partie OA : $I=f(U)$ droite $\Rightarrow U=RI$ (Loi d'Ohm);

R : résistance du gaz.

Le courant est dû au déplacement des n_0 électrons primaires

Partie AB : $I= I_0$ courant de saturation.

Le courant de saturation est dû au déplacement des n_0 électrons primaires. Même si la tension augmente, la cathode ne peut fournir plus de n_0 électrons/s \Rightarrow saturation.

Le courant de saturation dans l'air est atteint à de faibles valeurs de champ électrique. Quand l'intervalle entre les électrodes est de 10 mm, la saturation est obtenue

Partie BC ($U>U_B$) : croissance exponentielle de I.

Puisque le courant I augmente, il y a d'autres charges qui sont produites en plus des électrons primaires. Ces nouvelles charges sont créées car les électrons primaires ont l'énergie cinétique nécessaire pour provoquer des avalanches primaires.

Partie C- ∞ : I devient infini \Rightarrow Claquage.

Les ions positifs auront l'énergie nécessaire pour extraire de la cathode quelques électrons secondaires qui provoquent des avalanches secondaires, et produire le claquage.

U_c : tension critique de claquage.

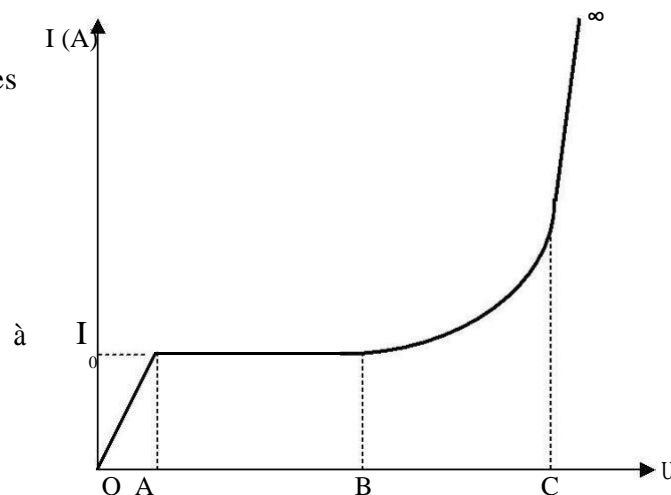


Figure 3

LOI DE PASCHEN

Considérons une enceinte pleine de gaz lequel on peut varier la pression (Figure 5).

La loi de Paschen décrit la variation de la tension critique en fonction du produit $P \cdot d$ (Figure 6).

U_c : tension critique de claquage

; P : pression du gaz ;

d : distance inter-électrodes. U_{cmin}

: tension critique minimale ;

Si $U < U_{cmin} \Rightarrow$ pas de claquage.

Loi de Paschen est étudiée en champ homogène.

1) Minimum de Paschen

On peut voir d'après la courbe de Paschen qu'il y a une valeur de tension U_{cmin} (voir tableau en page 2).

Quand la tension est inférieure à cette valeur, l'intervalle gazeux de n'importe quelle longueur et sous n'importe quelle pression ne peut être claqué.

Pour l'air : $U_{cmin} = 326 \text{ V}$

Pour l'argon pur : $U_{cmin} = 195 \text{ V}$

Pour l'argon avec des impuretés de sodium : $U_{cmin} = 95 \text{ V}$.

La courbe de Paschen présente un minimum qui correspond à 300-400 V dans l'air à la pression atmosphérique. Ce minimum est assez mal défini et dépend de l'état des électrodes et du gaz. Cela signifie qu'au dessous de cette tension aucun amorçage n'est possible. C'est ainsi qu'à 220 V, nous aurons seulement des étincelles de rupture de tension inductive et jamais d'étincelles dues à la tension elle-même.

IV.2. Interprétation de la courbe : (d constante)

Région 1 : U_c diminue en fonction de la pression P

Quand la pression augmente, la densité atomique augmente ; Il y a plus de particules et donc plus d'ionisation par collision. Le gaz devient plus conducteur et le claquage plus facile $\Rightarrow U_c$ diminue.

Région 2 : U_c augmente avec la pression P .

Quand la pression augmente encore plus, malgré que la probabilité d'ionisation par collision augmente, le libre parcours moyen λ est tellement petit que l'énergie de l'électron $W = \int qE dr = qE\lambda$ nécessaire à l'ionisation des atomes devient insuffisante. Il y a peu d'ionisation et le claquage devient difficile $\Rightarrow U_c$ augmente

Déduction : Selon la loi de Paschen, il est plus recommandé d'utiliser les gaz à haute pression (et quelquefois à très basse pression) dans les appareillages HT, condensateurs, câbles...

La validité expérimentale de la loi de Paschen est vérifiée aux faibles distances jusqu'à 0,1 mm et des pressions jusqu'à 10 atmosphères.

