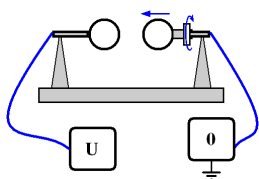


Introduction

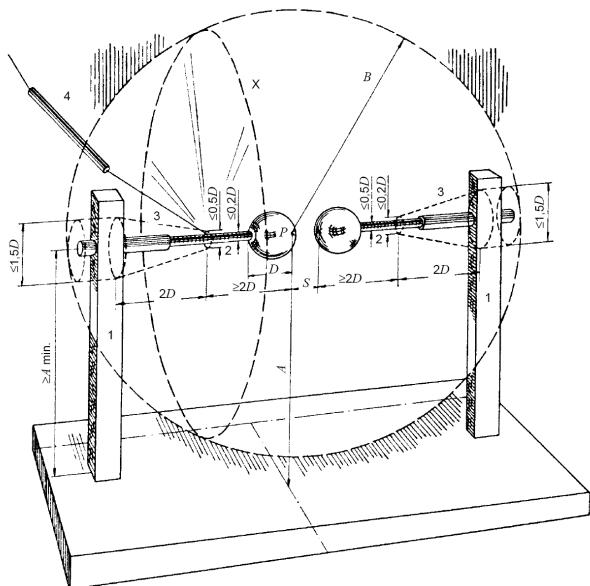
L'éclateur à sphères peut en principe être utilisé directement pour mesurer une tension : soit deux objets entre lesquels existe une certaine différence de potentiel. Si on connecte ces objets aux deux pôles d'un éclateur « suffisamment écarté », rien ne se passe. Ensuite, on rapproche les deux sphères de l'éclateur jusqu'à ce qu'une étincelle éclate ; l'écartement atteint à ce moment permet de connaître la valeur de la tension.



En pratique, toutefois, l'éclateur n'est utilisé de cette façon que pour l'étalonnage des voltmètres à haute tension.

Construction

Selon la norme CEI 60052, *Mesure de tension au moyen des éclateurs à sphères normalisés*, l'éclateur à sphères peut être conçu horizontalement ou verticalement :



Éclateurs à sphères horizontal

En plus des différentes dimensions indiquées sur le schéma, l'éclateur doit remplir les conditions suivantes :

- Les deux sphères sont de même diamètre, à $\pm 2\%$. Le rayon des sphères doit correspondre à l'une des valeurs indiquées dans le tableau des tensions disruptives (voir annexe).
- Les tiges qui supportent les sphères sont alignées et sont cylindriques (elles ne comportent pas d'arêtes vives).
- La surface des sphères présente une rugosité maximale de $10 \mu\text{m}$.
- Les distances A et B – indiquées sur les schémas – sont comprises dans un intervalle donné par le tableau ci après.

| Rayon R des sphères [mm] | A_{\min} | A_{\max} | B_{\min} , en fonction de l'écartement d |
|--------------------------|--------------|--------------|--|
| $R \leq 31,25$ | $14 \cdot R$ | $18 \cdot R$ | $14 \cdot d$ |
| $50 \leq R \leq 75$ | $12 \cdot R$ | $16 \cdot R$ | $12 \cdot d$ |
| 125 | $10 \cdot R$ | $14 \cdot R$ | $10 \cdot d$ |
| 250 | $8 \cdot R$ | $12 \cdot R$ | $8 \cdot d$ |
| 375 | $8 \cdot R$ | $12 \cdot R$ | $8 \cdot d$ |
| 500 | $7 \cdot R$ | $10 \cdot R$ | $7 \cdot d$ |
| 750 | $6 \cdot R$ | $8 \cdot R$ | $6 \cdot d$ |
| 1000 | $6 \cdot R$ | $8 \cdot R$ | $6 \cdot d$ |

Finalement, l'éclateur est considéré comme *Approuvé par la CEI*, lorsque la *dispersion conventionnelle* (voir ci-après : **Traitement statistique**) est inférieure à 1% de la valeur moyenne en AC_{50Hz} et en choc de foudre, ou inférieure à 1,5% de la valeur moyenne en choc de manœuvre.

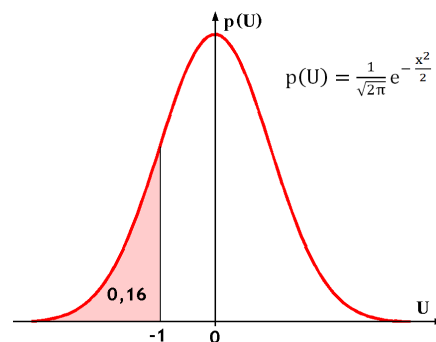
Traitement statistique

Compte tenu du caractère aléatoire de la décharge électrique (voir aussi chapitre 4 – **Décharge électrique**, slide 14), la procédure d'approbation de l'éclateur passe par des essais répétitifs, permettant un traitement statistique. En pratique, on admet généralement l'hypothèse suivante :

La probabilité p d'amorçage de l'éclateur, pour un écartement d donné des sphères, est uniquement fonction de la tension U appliquée.

☞ Par la tension U, il faut entendre, la valeur efficace d'une tension AC ou la valeur de crête d'une tension de choc.

Dans ces conditions, on a à déterminer la fonction $p(U)$ pour chaque écartement des sphères, ce qui se fait en appliquant N groupes de M tensions égales. Si l'on ne fait aucune hypothèse supplémentaire sur la distribution de cette probabilité, N devra être suffisamment grand pour construire cette distribution inconnue. Toutefois l'expérience montre que celle-ci est en général correctement approximée par une distribution normale. Il suffit dès lors d'un nombre limité de groupe (N assez petit, soit environ $4 \sim 5$) pour évaluer les paramètres de la distribution.



Les paramètres pris en considération sont :

- la valeur moyenne, soit la *tension* pour laquelle la probabilité d'amorçage est de 50% : $U_{d,50}$.
- la *dispersion* (ou *dévi*ation) *conventionnelle* : $U_{d,50} - U_{d,16}$, où $U_{d,16}$ est la tension pour laquelle la probabilité d'amorçage est de 16%.

☞ Une probabilité de 16% correspond à la valeur -1 de la variable d'une distribution normale centrée réduite. La dispersion conventionnelle est donc égale à l'écart-type de la distribution.

Utilisation de l'éclateur

Lors de la mesure d'une tension, différentes prescriptions sont à respecter :

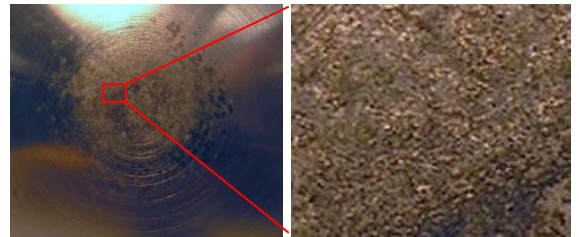
- Au moment où l'étincelle se produit, le courant qui circule dans l'éclateur doit être limité par des résistances en série de 0,1 à 1 M Ω , de manière à éviter la piqûre des sphères.

Les photos ci-contre montrent la surface d'une sphère « piquée » par une utilisation répétée dans un éclateur.

- Pour les faibles tensions (inférieures à 50 kV), une irradiation additionnelle est nécessaire. L'irradiation est

nécessaire pour garantir la reproductibilité de la décharge : pour mesurer une tension faible il faut réduire l'écartement des sphères. Or, dans un très petit intervalle d'air, le nombre d'électrons présents – susceptibles d'amorcer la décharge – est trop aléatoire. On en augmente donc artificiellement la quantité en plaçant à proximité une source de rayonnement ionisant (UV ou radioactifs).

- La mesure d'une tension doit faire l'objet d'un traitement statistique de manière à pouvoir déterminer une valeur moyenne ainsi que la valeur de la dispersion conventionnelle.
- Les valeurs mesurées (voir ci-après ANNEXE) sont soumises aux corrections atmosphériques.



ANNEXE

Tensions de claquage d'un éclateur à sphères [kV], en AC_{50 Hz}, DC et chocs négatifs *

| Écartement [mm] | Rayon des sphères [mm] | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 25 | 31,25 | 50 | 62,5 | 75 | 125 | 250 | 375 | 500 | 750 | 1000 |
| 0,5 | 2,8 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4,7 | | | | | | | | | | | |
| 1,5 | 6,4 | | | | | | | | | | | |
| 2 | 8,0 | 8,0 | | | | | | | | | | |
| 2,5 | 9,6 | 9,6 | | | | | | | | | | |
| 3 | 11,2 | 11,2 | | | | | | | | | | |
| 4 | 14,4 | 14,3 | 14,2 | | | | | | | | | |
| 5 | 17,4 | 17,4 | 17,2 | 16,8 | 16,8 | 16,8 | | | | | | |
| 6 | 20,4 | 20,4 | 20,2 | 19,9 | 19,9 | 19,9 | | | | | | |
| 7 | 23,2 | 23,4 | 23,2 | 23,0 | 23,0 | 23,0 | | | | | | |
| 8 | 25,8 | 26,3 | 26,2 | 26,0 | 26,0 | 26,0 | | | | | | |
| 9 | 28,3 | 29,2 | 29,1 | 28,9 | 28,9 | 28,9 | | | | | | |
| 10 | 30,7 | 32,0 | 31,9 | 31,7 | 31,7 | 31,7 | 31,7 | | | | | |
| 12 | | 37,6 | 37,5 | 37,4 | 37,4 | 37,4 | 37,4 | | | | | |
| 14 | | 42,9 | 42,9 | 42,9 | 42,9 | 42,9 | 42,9 | | | | | |
| 15 | | 45,5 | 45,5 | 45,5 | 45,5 | 45,5 | 45,5 | | | | | |
| 16 | | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | | | | | |
| 18 | | 53,0 | 53,5 | 53,5 | 53,5 | 53,5 | 53,5 | | | | | |
| 20 | | 57,5 | 58,5 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | | | |
| 22 | | 61,5 | 63,0 | 64,5 | 64,5 | 64,5 | 64,5 | 64,5 | 64,5 | | | |
| 24 | | 65,5 | 67,5 | 69,5 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | | | |
| 26 | | | 72,0 | 74,5 | 75,0 | 75,5 | 75,5 | 75,5 | 75,5 | | | |
| 28 | | | 76,0 | 79,5 | 80,0 | 80,5 | 81,0 | 81,0 | 81,0 | | | |
| 30 | | | 79,5 | 84,0 | 85,0 | 85,5 | 86,0 | 86,0 | 86,0 | 86,0 | | |
| 35 | | | | 95,0 | 97,0 | 98,0 | 99,0 | 99,0 | 99,0 | 99,0 | | |
| 40 | | | | 105 | 108 | 110 | 112 | 112 | 112 | 112 | | |
| 45 | | | | 115 | 119 | 122 | 125 | 125 | 125 | 125 | | |
| 50 | | | | 123 | 129 | 133 | 137 | 138 | 138 | 138 | 138 | |
| 55 | | | | | 138 | 143 | 149 | 151 | 151 | 151 | 151 | |
| 60 | | | | | 146 | 152 | 161 | 164 | 164 | 164 | 164 | |
| 65 | | | | | | 161 | 173 | 177 | 177 | 177 | 177 | |
| 70 | | | | | | 169 | 184 | 189 | 190 | 190 | 190 | |
| 75 | | | | | | 177 | 195 | 202 | 203 | 203 | 203 | |
| 80 | | | | | | | 206 | 214 | 215 | 215 | 215 | |
| 90 | | | | | | | 226 | 239 | 240 | 241 | 241 | |
| 100 | | | | | | | 244 | 263 | 265 | 266 | 266 | 266 |
| 110 | | | | | | | 261 | 286 | 290 | 292 | 292 | 292 |
| 120 | | | | | | | 275 | 309 | 315 | 318 | 318 | 318 |
| 130 | | | | | | | | 331 | 339 | 342 | 342 | 342 |
| 140 | | | | | | | | 353 | 363 | 366 | 366 | 366 |
| 150 | | | | | | | | 373 | 387 | 390 | 390 | 390 |
| 160 | | | | | | | | 392 | 410 | 414 | 414 | 414 |
| 170 | | | | | | | | 411 | 432 | 438 | 438 | 438 |
| 180 | | | | | | | | 429 | 453 | 462 | 462 | 462 |
| 190 | | | | | | | | 445 | 473 | 486 | 486 | 486 |
| 200 | | | | | | | | 460 | 492 | 510 | 510 | 510 |
| 220 | | | | | | | | 489 | 530 | 555 | 560 | 560 |
| 240 | | | | | | | | 515 | 565 | 595 | 610 | 610 |
| 260 | | | | | | | | | 600 | 635 | 655 | 660 |
| 280 | | | | | | | | | 635 | 675 | 700 | 705 |
| 300 | | | | | | | | | 665 | 710 | 745 | 750 |
| 320 | | | | | | | | | 695 | 745 | 790 | 795 |
| 340 | | | | | | | | | 725 | 780 | 835 | 840 |
| 360 | | | | | | | | | 750 | 815 | 875 | 885 |
| 380 | | | | | | | | | | 845 | 915 | 930 |
| 400 | | | | | | | | | | 875 | 955 | 975 |
| 450 | | | | | | | | | | 945 | 1050 | 1080 |
| 500 | | | | | | | | | | 1010 | 1130 | 1180 |
| 550 | | | | | | | | | | | 1210 | 1260 |
| 600 | | | | | | | | | | | 1280 | 1340 |
| 650 | | | | | | | | | | | 1340 | 1410 |
| 700 | | | | | | | | | | | 1390 | 1480 |
| 750 | | | | | | | | | | | 1440 | 1540 |

* Conditions climatiques : T = 20°C ; P = 101,3 kPa ; H_{abs} = 8,5 g/m³.
Intervalle de confiance de 95% pour une incertitude de 3%.

Tensions de claquage d'un éclateur à sphères [kV], en chocs positifs *

| Écartement [mm] | Rayon des sphères [mm] | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 25 | 31,25 | 50 | 62,5 | 75 | 125 | 250 | 375 | 500 | 750 | 1000 |
| 3 | 11,2 | 11,2 | | | | | | | | | | |
| 4 | 14,4 | 14,3 | 14,2 | | | | | | | | | |
| 5 | 17,4 | 17,4 | 17,2 | 16,8 | 16,8 | 16,8 | | | | | | |
| 6 | 20,4 | 20,4 | 20,2 | 19,9 | 19,9 | 19,9 | | | | | | |
| 7 | 23,2 | 23,4 | 23,2 | 23,0 | 23,0 | 23,0 | | | | | | |
| 8 | 25,8 | 26,3 | 26,2 | 26,0 | 26,0 | 26,0 | | | | | | |
| 9 | 28,3 | 29,2 | 29,1 | 28,9 | 28,9 | 28,9 | | | | | | |
| 10 | 30,7 | 32,0 | 31,9 | 31,7 | 31,7 | 31,7 | 31,7 | | | | | |
| 12 | | 37,8 | 37,6 | 37,4 | 37,4 | 37,4 | 37,4 | | | | | |
| 14 | | 43,3 | 43,2 | 42,9 | 42,9 | 42,9 | 42,9 | | | | | |
| 15 | | 46,2 | 45,9 | 45,5 | 45,5 | 45,5 | 45,5 | | | | | |
| 16 | | 49,0 | 48,6 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | | | | | |
| 18 | | 54,5 | 54,0 | 53,5 | 53,5 | 53,5 | 53,5 | | | | | |
| 20 | | 59,5 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | 59,0 | | | |
| 22 | | 64,0 | 64,0 | 64,5 | 64,5 | 64,5 | 64,5 | 64,5 | 64,5 | | | |
| 24 | | 69,0 | 69,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 70,0 | | | |
| 26 | | | 73,5 | 75,5 | 75,5 | 75,5 | 75,5 | 75,5 | 75,5 | | | |
| 28 | | | 78,0 | 80,5 | 80,5 | 80,5 | 81,0 | 81,0 | 81,0 | | | |
| 30 | | | 82,0 | 85,5 | 85,5 | 85,5 | 86,0 | 86,0 | 86,0 | 86,0 | | |
| 35 | | | | 97,5 | 98,0 | 98,5 | 99,0 | 99,0 | 99,0 | 99,0 | | |
| 40 | | | | 109 | 110 | 111 | 112 | 112 | 112 | 112 | | |
| 45 | | | | 120 | 122 | 124 | 125 | 125 | 125 | 125 | | |
| 50 | | | | 130 | 134 | 136 | 138 | 138 | 138 | 138 | 138 | |
| 55 | | | | | 145 | 147 | 151 | 151 | 151 | 151 | 151 | |
| 60 | | | | | 155 | 158 | 163 | 164 | 164 | 164 | 164 | |
| 65 | | | | | | 168 | 175 | 177 | 177 | 177 | 177 | |
| 70 | | | | | | 178 | 187 | 189 | 190 | 190 | 190 | |
| 75 | | | | | | 187 | 199 | 202 | 203 | 203 | 203 | |
| 80 | | | | | | | 211 | 214 | 215 | 215 | 215 | |
| 90 | | | | | | | 233 | 239 | 240 | 241 | 241 | |
| 100 | | | | | | | 254 | 263 | 265 | 266 | 266 | 266 |
| 110 | | | | | | | 273 | 287 | 290 | 292 | 292 | 292 |
| 120 | | | | | | | 291 | 311 | 315 | 318 | 318 | 318 |
| 130 | | | | | | | | 334 | 339 | 342 | 342 | 342 |
| 140 | | | | | | | | 357 | 363 | 366 | 366 | 366 |
| 150 | | | | | | | | 380 | 387 | 390 | 390 | 390 |
| 160 | | | | | | | | 402 | 411 | 414 | 414 | 414 |
| 170 | | | | | | | | 422 | 435 | 438 | 438 | 438 |
| 180 | | | | | | | | 442 | 458 | 462 | 462 | 462 |
| 190 | | | | | | | | 461 | 482 | 486 | 486 | 486 |
| 200 | | | | | | | | 480 | 505 | 510 | 510 | 510 |
| 220 | | | | | | | | 510 | 545 | 555 | 560 | 560 |
| 240 | | | | | | | | 540 | 585 | 600 | 610 | 610 |
| 260 | | | | | | | | 570 | 620 | 645 | 655 | 660 |
| 280 | | | | | | | | | 660 | 685 | 700 | 705 |
| 300 | | | | | | | | | 695 | 725 | 745 | 750 |
| 320 | | | | | | | | | 725 | 760 | 790 | 795 |
| 340 | | | | | | | | | 755 | 795 | 835 | 840 |
| 360 | | | | | | | | | 785 | 830 | 880 | 885 |
| 380 | | | | | | | | | | 865 | 925 | 935 |
| 400 | | | | | | | | | | 900 | 965 | 980 |
| 450 | | | | | | | | | | 980 | 1060 | 1090 |
| 500 | | | | | | | | | | 1040 | 1150 | 1190 |
| 550 | | | | | | | | | | | 1240 | 1290 |
| 600 | | | | | | | | | | | 1310 | 1380 |
| 650 | | | | | | | | | | | 1380 | 1470 |
| 700 | | | | | | | | | | | 1430 | 1550 |
| 750 | | | | | | | | | | | 1480 | 1620 |

* Valeur différente de celle qui s'applique aux chocs négatifs