

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 45 (1954)  
**Heft:** 17

**Artikel:** La trajectoire des gouttelettes d'eau lors de l'aspersion d'isolateurs  
**Autor:** Kläy, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058826>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET  
DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

## La trajectoire des gouttelettes d'eau lors de l'aspersion d'isolateurs

Par H. Kläy, Langenthal

621.317.32 : 621.647.2 : 532.525

*Lors des essais on peut constater que la pluie artificielle est influencée par le champ électrique. La trajectoire de la gouttelette d'eau est calculée et il s'en suit, que le contrôle de la pluie devrait être fait sous tension.*

*Bei Berechnungsversuchen kann beobachtet werden, wie der Wassereinfall auf das Prüfobjekt beim Einschalten der Spannung verändert wird. Die Flugbahn der Wassertropfen wird berechnet, und es folgt daraus die Notwendigkeit, dass der Regen bei Spannung am Prüfobjekt nachkontrolliert werden muss.*

Pour les essais de rigidité diélectrique sous pluie artificielle d'isolateurs de lignes aériennes et de postes en plein air, il est prescrit que la pluie doit avoir une incidence d'environ 45°, ainsi qu'une in-

en gouttelettes de différentes grosseurs (fig. 1 et 2), dont la trajectoire peut être calculée, si l'on connaît les forces agissant sur ces gouttelettes. Nous ne considérerons tout d'abord que l'influence de la pesanteur et celle du frottement dans l'air.

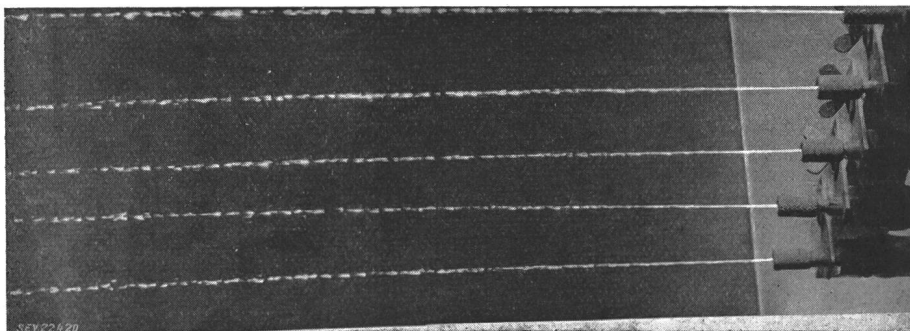


Fig. 1

Dispersion du jet en gouttelettes individuelles

Les gouttelettes se forment peu après la sortie du gicleur et, après un parcours d'environ 50 cm, les plus petites gouttelettes retombent déjà. La vitesse peut être estimée d'après la trajectoire éclairée plus ou moins longue. Durée d'exposition à l'éclair électronique, env.  $\frac{1}{10\,000}$  s

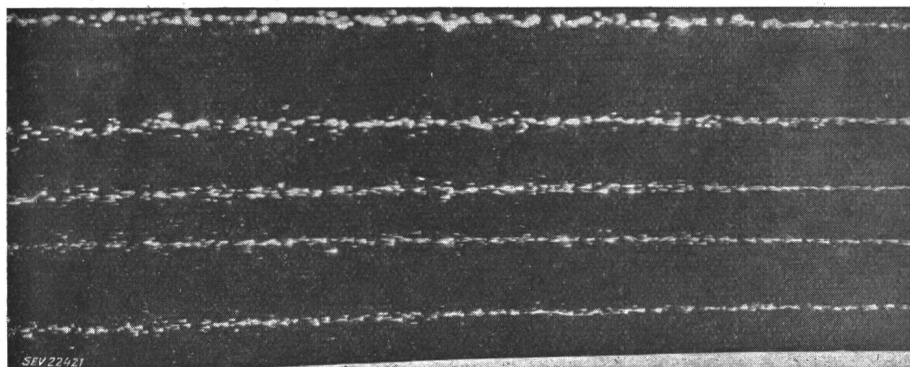


Fig. 2

Image du jet d'eau, à une distance d'environ 50 cm du gicleur

Pression de l'eau  $p = 1,5 \text{ kg/cm}^2$

En plateforme d'essais, on a constaté que la trajectoire se modifie lors de l'enclenchement de la haute tension. Le champ électrique exerce donc également une certaine influence.

tensité et une résistivité déterminées. Cette pluie atteignant obliquement l'objet en essai s'obtient généralement par projection d'eau sous une pression de 1,0 à 2,0 kg/cm<sup>2</sup>, à l'aide de gicleurs disposés horizontalement ou légèrement inclinés. Peu après la sortie du gicleur, le jet d'eau compact se disperse

Soit une gouttelette d'eau de forme sphérique d'un diamètre  $d$ , soumise à la force constante  $mg$  due à la pesanteur, agissant verticalement vers le bas, et à un frottement dû à l'air  $W = -av^2$  s'opposant au déplacement de la gouttelette,  $v$  étant la vitesse relative de celle-ci par rapport à l'air

ambient. L'air étant en partie entraîné par le jet d'eau, cette vitesse relative est plus faible que la vitesse de la gouttelette dans l'espace. Une grande exactitude étant superflue, le calcul peut être simplifié en admettant que  $v$  est la vitesse dans l'espace. En outre, nous considérerons séparément le déplacement horizontal et le déplacement vertical dû à l'action de la pesanteur. Comme nous le verrons par la suite, cela n'introduit pas de grande erreur.

Du fait de la force de gravitation  $mg$  et de la résistance qu'exerce verticalement vers le haut le frottement de l'air, la gouttelette tombe avec une vitesse que l'on peut calculer à l'aide de la formule (selon Hütte, I., 24<sup>e</sup> éd. allemande, p. 305):

$$v = K \sqrt{1 - e^{-\frac{2gh}{K^2}}}$$

La durée de chute  $t$  pour une hauteur de chute  $h$  est:

$$t = \frac{K}{g} \operatorname{arcosh} e^{\frac{gh}{K^2}}$$

où

$$K = \sqrt{\frac{2gG}{\Psi \gamma F}}$$

Pour une gouttelette d'un diamètre  $d$ , on a:

$$G = d^3 \frac{\pi}{6} \gamma_2$$

où

$d$  est le diamètre en m,

$\gamma_2 = 1000 \text{ kg/m}^3$

$\Psi = 0,5$  (sphère)

$\gamma = 1,3 \text{ kg/m}^3$ , poids spécifique de l'air

$$F = d^2 \frac{\pi}{4}$$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , accélération due à la pesanteur

On a donc:

$$K = 4,5 \sqrt{d} \quad (d \text{ en mm})$$

La durée de chute pour une hauteur de 1 m, en tenant compte de la résistance de l'air pour des gouttelettes d'eau d'un diamètre  $d$ , est indiquée au tableau I.

Durée de chute  $t$  en fonction du diamètre  $d$  des gouttelettes pour une hauteur de chute  $h = 1 \text{ m}$

		Tableau I			
$d$	mm	0,1	0,5	1,0	3,0
$t$	s	>0,7	0,52	0,49	0,44

Ce tableau montre que les gouttelettes de différentes grosseurs exigent environ 0,5 s pour tomber d'une hauteur de 1 m, c'est-à-dire sans de grands écarts entre elles. Cela tient au fait que la résistance de l'air n'est notable, pour cette petite vitesse, que dans le cas de gouttelettes très fines (brouillard). Sans la résistance de l'air, la durée de chute serait de 0,451 s pour 1 m.

Il est également intéressant de savoir avec quelle vitesse les gouttelettes de la pluie naturelle tombent. A cette vitesse limite, le frottement de l'air est égal au poids de la gouttelette. Selon le Hütte, on a:

$$v_{max} = K = \sqrt{\frac{2gG}{\Psi \gamma F}} = 4,5 \sqrt{d} \quad \text{m/s}$$

Dans cette formule,  $d$  doit également être indiqué en mm. Le tableau II indique les valeurs de la vitesse limite  $v_{max}$  de gouttelettes d'eau de différents diamètres  $d$ , tombant librement. Nous montrerons dans un instant que les gouttelettes d'une pluie artificielle atteignent les isolateurs avec une vitesse analogue.

Vitesse limite  $v_{max}$  de gouttelettes de différents diamètres  $d$ , tombant librement

		Tableau II			
$d$	mm	0,1	0,5	1,0	3,0
$v_{max}$	m/s	1,42	3,2	4,5	7,8

En admettant que le jet d'eau sorte horizontalement du gicleur, nous calculerons la portée des différentes gouttelettes. La vitesse initiale  $v_0$  est:

$$v_0 = \sqrt{2gH}$$

où  $H$  est supposé 10 m de colonne d'eau. En négligeant la perte de pression dans le gicleur, on a:

$$v_0 = \sqrt{196} = 14 \text{ m/s}$$

L'équation du mouvement s'écrit:

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} = -a \left( \frac{ds}{dt} \right)^2$$

$$\frac{d^2 s}{dt^2} = -\frac{a}{m} \left( \frac{ds}{dt} \right)^2$$

Par développement nous obtenons:

$$s = \frac{m}{a} \ln \left( 1 + \frac{a}{m} v_0 t \right)$$

où

$$a = \frac{\Psi \gamma F}{2g}$$

Le tableau III indique le chemin  $s$  qu'ont parcouru des gouttelettes de différents diamètres  $d$ , au bout d'un temps  $t = 0,5 \text{ s}$ .

Chemin  $s$ , que des gouttelettes de différents diamètres  $d$  ont parcouru durant le temps  $t = 0,5 \text{ s}$ , après leur sortie du gicleur

		Tableau III				
$d$	mm	0,1	0,5	1,0	2,0	3,0
$s$	m	0,72	2,08	3,0	4,06	4,62

La hauteur de chute des gouttelettes de 0,5 à 3 mm de diamètre est d'environ 1 m, au bout de 0,5 s. La position des gouttelettes à ce moment-là est donc connue. D'autre part, il est possible de calculer les composantes horizontale et verticale de la vitesse. Au bout de 0,5 s, les composantes de la vitesse des gouttelettes de différentes grosseurs sont:

$$v_h = \frac{v_0}{1 + \frac{a}{m} v_0 t}$$

$$v_v = K \sqrt{1 - e^{-\frac{2gh}{K^2}}}$$

En partant des conditions:

$$t = 0,5 \text{ s} \quad h \approx 1 \text{ m} \quad K = 4,5 \sqrt{d}$$

$$v_0 = 14 \text{ m/s} \quad \frac{a}{m} = \frac{0,5}{d}$$

$$\frac{2gh}{K^2} \approx \frac{1}{d}$$

on peut calculer:

$$v_h = \frac{14}{1 + \frac{d}{7}} \quad v_v = 4,5 \sqrt{d \left(1 - e^{-\frac{1}{d}}\right)}$$

La position et la vitesse de gouttelettes de différentes grosseurs, 0,5 s après la sortie du gicleur, sont indiquées au tableau IV et représentées sur la figure 3.

Vitesse de gouttelettes de différentes grosseurs, 0,5 s après la sortie du gicleur

Tableau IV

d	mm	0,5	1,0	3,0
$v_h$	m/s	0,93	1,75	4,2
$v_v$	m/s	2,95	3,58	4,13
$\alpha$		72° 30'	64°	44° 30'
v	m/s	3,12	3,98	5,9

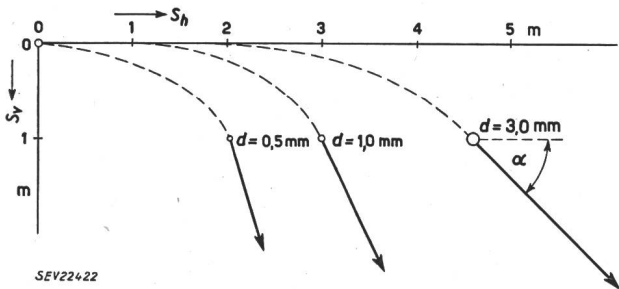


Fig. 3

Vitesse de gouttelettes de différents grosseurs 0,5 s après la sortie du gicleur

- $S_h$  Trajet parcouru horizontalement
- $S_v$  Trajet parcouru verticalement
- d Diamètre des gouttelettes
- $\alpha$  Angle d'incidence

En considérant la portée maximum du jet, on peut en tirer des conclusions quant à la grosseur maximum des gouttelettes. Dans le cas d'un gicleur de 0,5 mm d'ouverture, sous 10 m de colonne d'eau, la portée est de 4,2 m pour une chute de 1 m. Les plus grosses gouttelettes ont par conséquent un diamètre de 2 mm.

Comme nous l'avons dit au début, il faudrait tenir compte dans le calcul, de la résistance de l'air, de la vitesse relative  $v$ . Au lieu de cela, nous avons introduit la vitesse dans l'espace. Pour des gouttelettes dans le jet principal, la résistance de l'air est moins élevée que celle qui a été calculée (la portée est donc plus grande), car de l'air est en partie entraîné. Du fait de la résistance de l'air, le jet est sélectionné: les grosses gouttelettes vont le plus loin, tandis que les gouttelettes plus petites retombent avant, selon leur grosseur (fig. 3).

Lors de l'enclenchement de la tension d'essai, on peut constater que le jet redevient plus com-

plet (fig. 5). Le voile qui tombait sous le jet disparaît en partie. En outre, le jet est redressé et sa portée augmente. Ce phénomène prouve donc

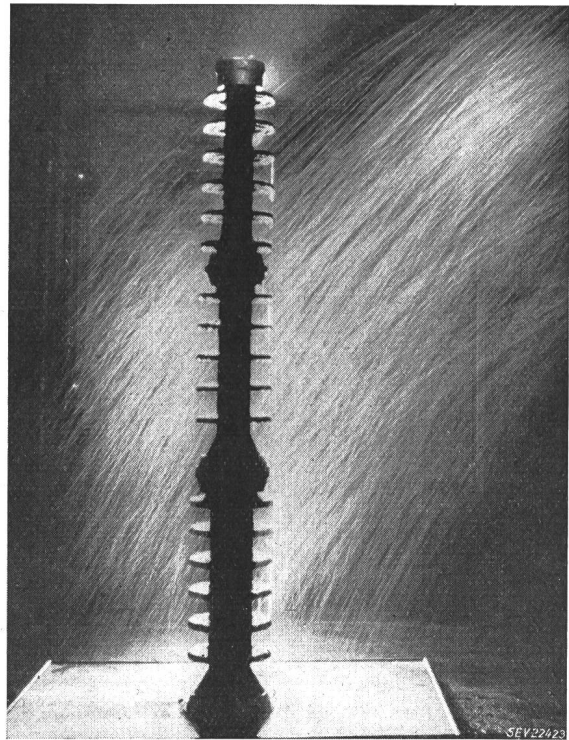


Fig. 4

Aspersion d'un isolateur vertical de 2,2 m de hauteur, sous tension d'essai nulle  
Durée d'exposition 1/25 s

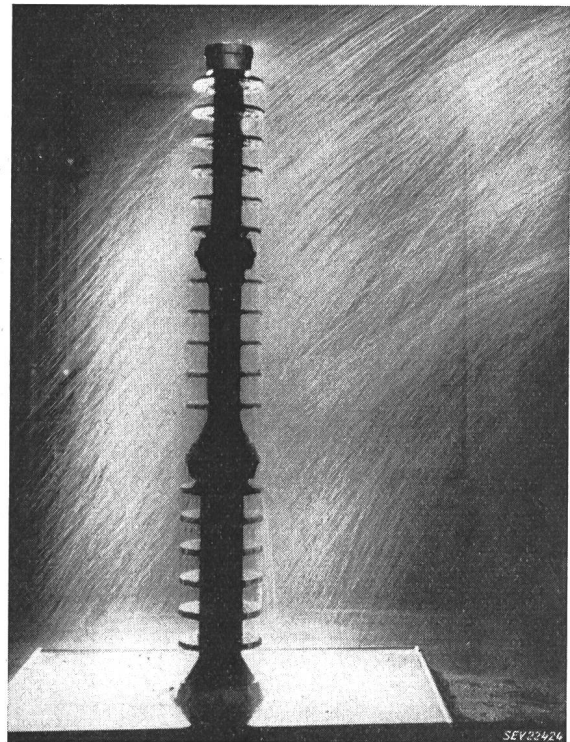


Fig. 5

Aspersion du même isolateur vertical de 2,2 m de hauteur, que sur la figure 4, mais sous tension d'essai de 500 kV  
Le jet est soulevé

que la dispersion du jet est différente sous l'influence du champ électrique qui s'établit entre l'objet aspergé et les gicleurs mis à la terre, lors de l'essai de rigidité diélectrique. C'est comme s'il se formait des gouttelettes plus grosses. Bien que les 60 premiers centimètres du jet soient protégés par les écrans de l'installation de pluie artificielle, un regroupement du jet peut se produire plus loin. Il n'est toutefois pas possible d'éliminer l'effet de la tension d'essai en prolongeant les écrans, car la distance disruptive envers l'objet en essai serait alors trop réduite. Il faut donc tenir compte de cet effet perturbateur en procédant au contrôle de la densité d'eau incidente lorsque l'objet est sous tension. Pour cela, le récipient de mesure fixé devant l'objet doit être isolé. La mesure doit être poursuivie sous tension suffisamment longtemps pour que le temps durant lequel la tension n'était pas encore appliquée n'ait plus d'influence. Quelques mesures fondamentales avec et sans tension montreront quelle est l'influence de celle-ci. Cette influence dépend de la disposition générale des électrodes et diffère par conséquent selon les plateformes d'essais.

Outre le relèvement du jet, la concentration due à l'influence de la tension d'essai provoque une aspersion irrégulière de l'objet. Il faut donc également observer ce phénomène, afin d'obtenir des valeurs reproductibles lors des essais sous pluie artificielle. L'influence du champ électrique, qui regroupe les gouttelettes, est un phénomène général, dont il y a lieu de tenir compte pour chaque essai sous pluie.

Pour contrôler l'uniformité de l'aspersion, on fixe devant l'objet en essai un récipient de mesure appropriée et mesure l'intensité de la pluie sous tension durant un temps suffisamment long (5 minutes environ).

La figure 6 indique la répartition des composantes horizontales dans une hauteur de mesure de 2,4 m. Le récipient est subdivisé de telle sorte que l'on peut mesurer simultanément sur 50 cm de hauteur, de 5 en 5 cm. La répartition de la pluie sans et avec une tension d'essai de 500 kV est dif-

férente, malgré la présence des grilles-écrans. Sous tension, la pluie porte plus haut, de sorte que dans

la zone supérieure la composante horizontale est nettement plus grande. Néanmoins, en procédant au contrôle sous tension, l'intensité de la pluie peut être réglée à la valeur désirée. En tenant correctement compte de ce phénomène, il devrait être possible d'effectuer des mesures vraiment reproductibles, avec la nouvelle installation à gicleurs capillaires de l'ASE<sup>1)</sup>. Avec d'autres installations de pluie artificielle des résultats concordants pourraient également être obtenus lorsque la composante horizontale et la résistivité de l'eau sont conformes aux prescriptions, et que la grosseur des gouttelettes de la pluie est également analogue.

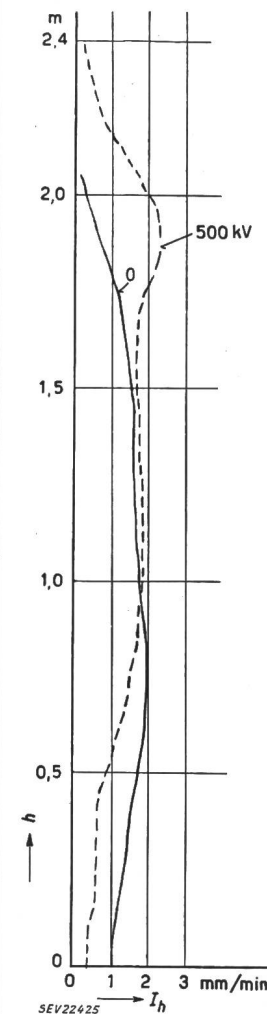


Fig. 6

Répartition de la composante horizontale de la pluie dans une hauteur de mesure de 2,4 m

$h$  Hauteur de mesure  
 $I_h$  Intensité horizontale

<sup>1)</sup> Voir «La nouvelle installation à gicleurs capillaires de l'ASE pour les essais de rigidité diélectrique sous pluie artificielle et son utilisation». Bull. ASE t. 45(1954), n° 14, p. 561...570.

Adresse de l'auteur:

D<sup>r</sup> ès sc. techn. H. Kläy, ing. dipl., Fabrique de porcelaine de Langenthal S. A., Langenthal (BE).

## Zur Theorie der Spannungshaltung auf Höchstspannungsleitungen

Von D. Oehler, Zürich

621.315.051 : 621.316.722.1

In den folgenden Darlegungen wird zuerst eine kurze Beschreibung der theoretischen Grundlagen für Quer- und Längskompensation gegeben. Anschliessend wird an einem Beispiel gezeigt, dass der Ohmsche Widerstand auf die Erscheinungen der Spannungshaltung bei Querkompensation keinen prinzipiellen Einfluss hat, bei Längskompensation jedoch unbedingt berücksichtigt werden muss. Da keines der beiden Verfahren allein den Anforderungen der Praxis genügen dürfte, wird zum Schluss eine Kombination der beiden erwähnt, die erlaubt, grosse Übertragungsleistungen unter der Bedingung der Spannungshaltung stabil über lange Höchstspannungsleitungen zu transportieren.

An der Diskussionsversammlung des SEV vom 5. Dezember 1952 berichtete A. Hauser u. a. über die Hilfsmittel zur Erhaltung der Spannungskonstanz längs langer Starkstromleitungen im Fall des

<sup>1)</sup> siehe Hauser, W.: Spannungshaltung und Kurzschluss-Schutz im Betrieb mit 380-kV-Anlagen. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 4, S. 137...141.

L'exposé suivant traite d'abord des bases théoriques de la compensation en parallèle et en série. Il montre ensuite par un exemple que la résistance ohmique n'a pas de principe une influence sur le maintien de la tension d'une ligne compensée en parallèle, mais qu'il faut par contre absolument en tenir compte lors de la compensation en série. Comme ni l'un ni l'autre des deux procédés satisfait aux exigences de l'exploitation pratique, l'article finit par indiquer une combinaison des deux procédés, permettant la transmission de très grandes puissances sur des lignes à très haute tension d'une manière satisfaisante du point de vue de la stabilité et du maintien de la tension.

Betriebs mit über- bzw. unternatürlicher Leistung<sup>1)</sup>. In seinen Deduktionen verzichtete er (wie allgemein üblich) auf die Berücksichtigung des Leitungswiderstandes. Nun ist bekannt, dass diese Vernachlässigung im Fall der Querkompensation keine grundsätzliche Abweichung vom Verhalten der ver-