

Inefficacité des Paratonnerres à Avance d'Amorçage

K.L. Chrzan¹, M. Tegar²

¹ Wroclaw University of Technology, Institute of Electrical Engineering Fundamentals, 50-370 Wroclaw, Poland

² Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, Laboratoire de Recherche en Electrotechnique, Alger, Algérie

Abstract– Tests on three early streamer emission (ESE) terminals, manufactured by different firms, were carried out. The main measure criterion was the breakdown voltage of the air gap consisted of the high voltage electrode (rod or plate) and a grounded ESE terminal. Additionally, the time to breakdown was estimated from the oscillograms. The breakdown voltage was measured at standard switching impulses or under lightning impulses of both polarities or under AC voltage. The used distance ranged from 5 cm up to 4 m and voltage magnitude from 30 kV up to 2.5 MV. Except only one ESE terminal showing an advantage at an air gap of a few centimetres under AC voltage, these careful measurements show that the air gaps with ESE terminals have the same breakdown voltages as the air gaps with Franklin rods. Therefore, the large protection zone of ESE terminals, as claimed by their manufactures, is practically impossible.

Résumé– Des essais sur 3 paratonnerres à avance d'amorçage (PAA), produits par différentes firmes, ont été effectués. Le principal critère de mesure était la tension de claquage de l'intervalle d'air composé de l'électrode de haute tension (tige ou plane) et d'un PAA mis à la terre. En outre, le temps au claquage a été estimé à partir des oscillogrammes. La tension de claquage a été mesurée sous impulsions normalisées de manœuvre et de foudre pour les deux polarités ou sous tension alternative. La distance utilisée a été variée de 5 cm à 4 m et l'amplitude de la tension de 30 kV à 2,5 MV. Excepté un seul PAA ayant montré un avantage à une distance d'air de quelques centimètres sous tension alternative, ces mesures méticuleuses montrent que les distances d'air avec des PAA ont les mêmes tensions de claquage que celles obtenues dans le cas des tiges de Franklin. En effet, la grande zone de protection de PAA, prétendue par leurs constructeurs, est pratiquement impossible.

I. INTRODUCTION

Les paratonnerres classiques de Franklin (PF) sont des éléments très simples sous forme de tiges métalliques. Ils interceptent la foudre et protègent la population et d'autres objets contre les coups directs. Le dimensionnement des zones de protection pour les différentes configurations de paratonnerres (tiges verticales, conducteurs horizontaux, ...) reste un problème scientifique non résolu. La nature stochastique de la foudre est un facteur important qui doit être pris en compte. Par conséquent, la précision du dimensionnement des zones de protection est

limitée et des cas de défaillances sont encore enregistrés.

Szilard, un assistant de Maria Curie-Sklodowska, a proposé en 1914 une amélioration de la tige de Franklin par l'ajout d'un élément radioactif à proximité de son bord [1]. Les tiges radioactives de foudre ont été installées dans les années cinquante et même plus tard, dans de nombreux pays. Certains documents ont signalé un incroyable domaine d'interception de 250 m [2]. Comme source radioactive, l'Américium Am 241, Radium Ra 226, Césium Cs 137, Cobalt Co 60, ou du Polonium Po 210 avec la radioactivité de 0.7 μ Ci jusqu'à 200 mCi (Curie), ont été utilisés.

L'ionisation de l'air a été souvent appliquée dans les parafoudres à intervalles d'air. Elle a été produite, par exemple, par de petites décharges partielles. Notons que le champ électrique dans l'intervalle d'air du paratonnerre est uniforme, la distance de l'intervalle d'air est très petite (de l'ordre de 1 mm) et la contrainte électrique est élevée. L'ionisation de l'air réduit le temps d'amorçage (réponse du parafoudre à une surtension rapide) ainsi que sa dispersion. Comme conséquence, l'amplitude de la tension d'amorçage est un peu plus basse. Toutefois, la faible source radioactive n'est pas capable d'accroître l'efficacité du paratonnerre, puisqu'elle ne peut pas réduire la contrainte électrique de l'air dans la gamme de 20 – 100 m (distance d'amorçage d'un leader descendant par pas). L'ionisation de la zone à la pointe des paratonnerres radioactifs est de l'ordre de 1 cm seulement. Les mesures de la tension de claquage effectuées par Baatz ont montré que les isotopes radioactifs n'améliorent pas la protection contre la foudre [2]. L'installation de tiges radioactives a été interdite dans de nombreux pays au cours des années quatre vingt, en raison de craintes du rayonnement.

De nouveaux appareils sont apparus récemment. Les PAA sont équipés d'outils spéciaux qui émettent le streamer ascendant un peu plus tôt que les tiges classiques. Le principe physique des PAA et la zone de protection exigée n'ont jamais été prouvés et ne sont donc pas reconnus par les autorités scientifiques [3, 4]. Malgré cela, les PAA sont produits dans de nombreux pays et installés sur des milliers d'objets dans le monde entier.

Des expériences ont été effectuées à l'Université de Technologie de Darmstadt (Allemagne) et à l'Université de Technologie de Wroclaw (Pologne)

montrent que le concept des PAA est raté et leur zone de protection est exactement la même que celle des tiges de Franklin.

II. HYPOTHESES DECRIVANT LE FONCTIONNEMENT DES PAA

Il existe quelques types de PAA fonctionnant différemment:

- l'ionisation de l'air à la pointe est produite par l'élément piézo-électrique utilisant l'énergie éolienne,
- l'ionisation de l'air est causée par des impulsions électriques émises à partir d'un micro générateur. Le champ électrique d'un leader descendant charge une capacité qui alimente le micro générateur,
- l'impulsion électromagnétique induit une haute tension dans une bobine.

Notons que ces systèmes sont passifs, ils n'ont pas besoin de chargement externe, ils utilisent l'énergie éolienne ou l'énergie d'un champ électrique.

La norme NF C 17-102 décrit la condition d'essai et les critères d'évaluation pour les PAA. Une électrode plane est suspendue à une distance de 1 m au-dessus du paratonnerre (classique ou AA) mis à la terre. La tension de manœuvre est appliquée à la plaque et le temps d'initiation d'un streamer ascendant est mesuré. Dans ces conditions, les paratonnerres actifs émettent le streamer ascendant 10 – 120 μ s plus tôt que les paratonnerres classiques. Le temps moyen ΔT est calculé, selon l'équation 1, sur la base de 100 sondes de tension.

Il est supposé que le premier streamer se propage le long de la hauteur du PAA. De cette façon, la zone d'attraction des dispositifs actifs augmente d'une distance ΔL (équation 2). Si, la vitesse du streamer ascendant V_+ était de l'ordre de 10^6 m/s, la distance ΔL aurait été dans la gamme 10 à 120 m [5].

$$\Delta T = T_F - T_{PAA} \quad (1)$$

$$\Delta L = V_+ \cdot \Delta T \quad (2)$$

où : T_F et T_{PAA} - temps d'initiation d'un streamer ascendant pour les PF et les PAA (Fig. 1).

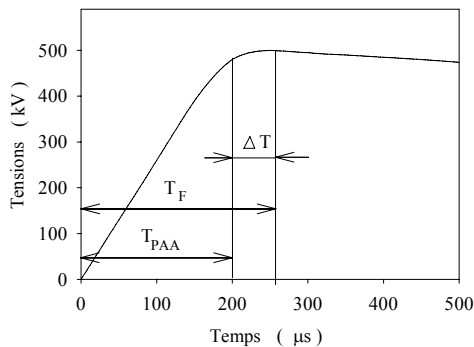


Fig. 1. Définition des temps T_F et T_{PAA} d'initiation d'un streamer ascendant

III. ERREURS ET DIFFICULTES

Les opposants aux PAA suggèrent que le même effet de protection peut être réalisé par un prolongement d'un paratonnerre de Franklin, et l'utilisation des PAA n'est donc pas économique. Ils montrent que la supposition d'une si grande vitesse constante du streamer ascendant est pratiquement fautive. De nombreuses expériences ont révélé que cette vitesse est faible, car la décharge avance seulement durant quelques ms avant la jonction du leader descendant avec le streamer ascendant, où cette vitesse augmente à 2 m/ms. la vitesse V_+ dans l'équation 2, est en fait 100 fois plus petite, elle est donc de l'ordre de $2 \cdot 10^4$ m/s [6]. Dans ces conditions, la distance ΔL évaluée varie seulement de 0.1 à 1.2 m. Le calcul de la distance d'attraction pour les PAA, conformément à l'équation 2, utilisant une valeur trop élevée de la vitesse du streamer ascendant, conduit à des résultats irréalistes. En outre, la configuration n'est pas plan-tige (recommandée par la norme NF C 17-102), mais plutôt comme tige-tige [7, 8].

Le champ électrique au paratonnerre dû à la décharge de foudre descendante, varie différemment par rapport au champ obtenu durant les essais conformément à la norme NF C 17-102. En appliquant l'impulsion de manœuvre, le champ électrique augmente pour environ 350 μ s selon une fonction racine carrée. Par ailleurs, la variation du champ électrique engendrée par la foudre est similaire à une fonction exponentielle (Fig. 2).

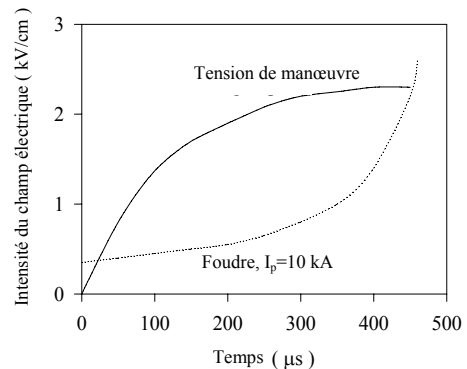


Fig. 2. Comparaison entre le champ électrique suite à une tension de manoeuvre au laboratoire et celui produit par un leader descendant, conformément à la publication [9]

IV. PROCEDURE EXPERIMENTALE

Les expériences ont été effectuées sur trois PAA, produits par différentes firmes. La tension de claquage et le temps au claquage ont été mesurés, pour une configuration d'électrodes constituée d'une tige mise à la terre et une électrode de haute tension sous forme d'une tige ou d'un plan. La distance inter électrodes a été variée de 5 cm à 4 m. Une tension alternative ou

des impulsions normalisées de foudre 1.2/50 μ s, et de manœuvre 250/2500 μ s, avec une polarité positive ou négative, ont été appliquées. Comme tiges mises à la terre, les PAA ou les PF ont été utilisés. Ces derniers ont été formés en connectant les pointes des PAA à la terre. Une telle procédure a permis de garder la même configuration pour les deux types de paratonnerres (PAA et PF). Le diamètre de l'électrode plane utilisée dans les essais sous tension impulsionnelle égal à 1.9 m. L'électrode disque utilisée dans les essais sous tension alternative a un diamètre de 40 cm. L'électrode tige de haute tension utilisée dans les essais impulsionnels se composait d'un tuyau cylindrique de 4 m de longueur et de 5 cm de diamètre, terminé par un cône de 45°.

Sous tension impulsionnelle, le claquage a été estimé conformément à la méthode de séries. Chaque série est constituée de 10 tensions impulsionnelles de même amplitude. L'amplitude des prochaines séries est plus élevée d'environ 1% pour les impulsions de foudre, et 1.5% pour celles de manœuvre. Lorsque le claquage se produisait, le temps au claquage a été mesuré à partir des oscillogrammes, par le biais d'un logiciel LabView. La tension maximale $U_{0\%}$ pour laquelle 10 tenues ont été enregistrées, est nommée « tension de tenue », et la tension correspondant à 10 claquages est notée $U_{100\%}$. Lorsque les tensions de claquage et les temps au claquage étaient évalués pour la configuration d'électrodes avec un PAA, la pointe du PAA était immédiatement mise à la terre et les essais ont été répétés pour ainsi obtenir un PF. Ce cycle de mesures pour les PAA et les PF (pour de mêmes distance inter électrodes et polarité de la tension) a duré environ 2 heures. Au court de si peu de temps, les conditions d'essais ont été pratiquement les mêmes, et une correction des valeurs de la tension était inutile.

En outre, les décharges partielles dans le petit disque-tige sous tension alternative pour un PAA et une tige de Franklin, ont été mesurées conformément à la CEI 60270.

V. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

V.1. Essais sous tension impulsionnelle

La table 1 présente la tension de claquage pour une distance inter électrodes de 1 m. La différence moyenne entre le temps au claquage pour des électrodes avec tige de Franklin et celui pour des électrodes avec PAA est illustrée dans la Table 2. D'autres résultats relatifs aux essais sous tension impulsionnelle pour la gamme 1 – 4 m, ont été publiés dans [10].

La table 1 montre que la contrainte électrique de l'air pour les configurations d'électrodes avec des PAA est identique à celle obtenue pour les configurations d'électrodes avec des PF. Les temps au

claquage mesurés avec des PAA peuvent être plus courts à ceux obtenus dans le cas des tiges de Franklin ($\Delta T > 0$) ou plus grands ($\Delta T < 0$, Tab. 2).

Tab. 1. Tension de claquage dans le cas de la configuration plan-tige, pour une distance inter électrodes de 1 m et une tension impulsionnelle de manœuvre

	\oplus IM		\ominus IM	
	$U_{0\%}$ (kV)	$U_{100\%}$ (kV)	$U_{0\%}$ (kV)	$U_{100\%}$ (kV)
PAA1	1060	1180	470	530
PAA1S	1060	1180	470	550
PAA2	1150	1180	445	500
PAA2S	1150	1180	460	500
PAA3	1150	1180	460	500
PAA3S	1150	1180	460	500

PAA1, PAA2, PAA3 : paratonnerres actifs, PAA1S, PAA2S, PAA3S : paratonnerres actifs avec pointes mises à la terre = paratonnerres de Franklin, IM : impulsions de manœuvre

Tab. 2. Temps au claquage ΔT (en μ s) dans le cas de la configuration plan-tige avec des PAA, pour une tension impulsionnelle de manœuvre

	\oplus IM			\ominus IM			
	Distance (m)			Distance (m)			
	0.5	1	2	0,5	1	2	3
PAA1		32			9		
PAA2	-122	2	-29	20	-2	19	15
PAA3	-38	1	37	-36	-46	6	-14

Si, les paratonnerres actifs avaient les propriétés prétendues par leurs constructeurs, les tensions de claquage des configurations d'électrodes contenant des PAA devraient être inférieures à celles en utilisant les mêmes configurations avec des PF. Dans ce cas, le temps au claquage mesuré pour le dispositif contenant des PAA devrait donc être plus court ($\Delta T > 0$). Les dispersions des temps au claquage, pour des configurations d'électrodes à champ non uniforme, sont généralement grandes. Pour une série, il y a possibilité de claquage sur le front (par exemple, temps au claquage $T = 84 \mu$ s) ou sur la queue (par exemple, $T = 720 \mu$ s). La grande valeur $\Delta T = -122 \mu$ s dans la Table 2, résulte du bref temps au claquage pour une configuration d'électrodes contenant une tige de Franklin et du grand temps au claquage pour même une configuration avec des PAA, ce qui contredit les propriétés prétendues des PAA.

En dépit des brefs temps au claquage pour la configuration avec tige de Franklin, ce dispositif avait la même contrainte électrique ; les tensions $U_{0\%}$ et $U_{100\%}$ sont très similaires. Cet exemple montre que le temps au claquage n'est pas un paramètre qui permet la prédiction de la valeur de la tension de claquage.

Le temps au claquage se compose, en fait, de deux éléments principaux : le temps statistique de retard de l'amorçage de cette décharge et le temps de développement de la décharge. Dans la configuration plan-tige, la décharge se développe à partir de la tige. Pour une distance relativement petite, le temps statistique de retard de l'amorçage de la décharge doit être court, notamment pour le PAA. En réalité, nous n'avons pas mesuré ce temps, du fait qu'il n'est pas très important. Le critère du choix est, par conséquent, la tension de claquage.

V.2. Essais sous tension alternative

Un PAA contient une bobine L à l'intérieur d'un boîtier métallique. Ce dernier se compose de deux parties représentées par une capacité C_i . Le modèle électrique du PAA est montré sur la figure 3. Les capacités C_a et C_o représentent respectivement les capacités de fuite par rapport au nuage orageux et par rapport au sol, et la résistance R représente celles de la bobine et de terre. Le paratonnerre est situé dans un champ électrique E_0 généré par le nuage orageux. La capacité C_i collecte une charge Q . La rupture de l'intervalle d'air associée à cette capacité génère un régime transitoire. La valeur maximale du rapport des surtensions sera égale à deux.

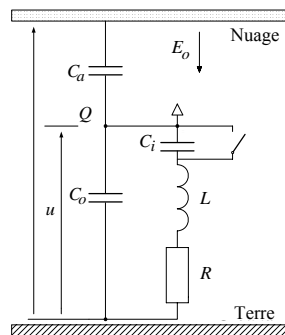


Fig. 3. Modèle électrique du PAA [11]

Les décharges partielles ont été mesurées en utilisant une configuration d'électrodes plan-tige en cuivre. L'électrode de haute tension est un disque. Dans le cas des PAA, le plan est distant de l'électrode tige de 15 cm. La première mesure a été effectuée avec un PAA. Avant la deuxième mesure, la capacité C_i a été court-circuitée par le biais un fil métallique relié à la terre. De cette manière, le PAA a été transformé en simple tige de Franklin ayant la même configuration.

Les décharges partielles générées à partir de la pointe du PAA sont légèrement plus grandes que celles obtenues dans le cas d'un PF (Fig. 4). Dans les deux cas, la forme de décharges sur l'oscilloscope cathodique est typique pour la configuration plan-tige. Les décharges s'amorcent dans la demi période négative de la tension alternative (Fig. 5). La largeur

de la décharge partielle augmente avec la tension, alors que la valeur maximale de la charge apparente reste à peu près la même. A 27 kV, la charge apparente émise à partir de la pointe du PAA augmente rapidement. Par ailleurs, la charge apparente à partir de la pointe de Franklin augmente légèrement, et vaut seulement 250 pC à 32 kV.

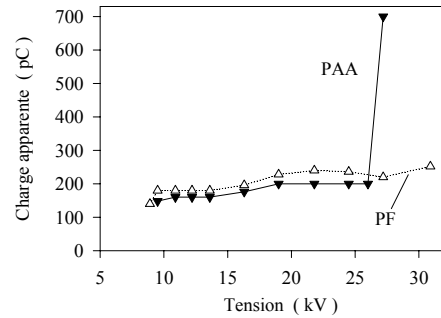


Fig. 4. Charge apparente en fonction de la tension, dans le cas d'un PAA et d'un PF



Fig. 5. Forme des décharges partielles

La variation de la tension de claquage pour les deux configurations et pour différentes distances, est illustrée sur la figure 6.

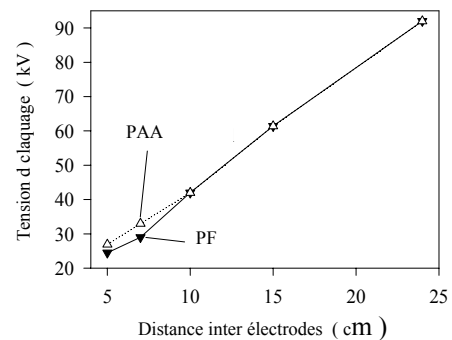


Fig. 6. Tension de claquage de l'intervalle d'air avec une électrode plane de haute tension et celle de terre sous forme de PAA ou PF

Uniquement pour les petites distances, la tension de claquage de l'intervalle d'air utilisant un PAA est plus petite que celle utilisant un PF. Par exemple, pour une distance de 7 cm, la tension de claquage est de 29 kV cas d'un PAA et 33 kV cas d'un PF. Malheureusement, pour les distances de 10 cm, les tensions de claquage sont égales pour les deux configurations d'électrodes. Les différences dans les

tensions de claquage sont engendrées par les transitoires produits par le PAA. Cependant, la propriété prétendue du PAA est inutile, en général, dans les conditions où les distances sont de l'ordre de dizaines de mètres. Le même essai effectué avec deux autres PAA a montré que ces paratonnerres ne sont pas mieux que ceux de Franklin, dans l'intervalle d'air de 5 – 15 cm.

VI. DÉFAILLANCES DES PAA

Les résultats d'essais effectués dans des conditions pleinement maîtrisées montrent que les PAA ont les mêmes propriétés que celles des tiges de Franklin. Les défaillances observées de ces dispositifs suggèrent que les PAA ne sont pas mieux que ceux de Franklin. Plus de deux douzaines de cas des défaillances des PAA ont été enregistrés l'année précédente en Malaisie [12]. Les défaillances à Kuala Lumpur ont souvent été détectées sur des buildings dépassant 60 m. Ces cas ont été également enregistrés sur des maisons familiales en Pologne. La maison de la famille Wiczorkowski à Kamieniec de Wroclaw a été foudroyée au cours de l'été 2002. Cette maison était équipée d'un PAA sur l'endroit le plus élevé ; point A sur la figure 7. Malgré le rayon prétendu de 30 m de la zone de protection, la foudre a foudroyé le point B distant uniquement de 18 mètres du point A. En conséquence, le constructeur était obligé d'installer un PAA additionnel de 3 m au point B, du fait que le rayon de protection des PAA a été réduit de 30 m à 9 m seulement.



Fig. 7. Maison de famille Wiczorkowski protégée par des PAA

VII. CONCLUSIONS

- La tension impulsionnelle de claquage pour les configurations contenant des PAA mis à la terre, est la même que celle obtenue dans le cas des configurations avec des tiges de Franklin. Cela montre que la zone de protection des PAA est la même que celle des PF, pour les petites distances de laboratoire.
- Un sur trois PAA possédait de meilleures propriétés que celles des PF, pour les très petites distances de l'ordre de quelques centimètres. Le PAA est inutile dans des conditions où les distances sont de l'ordre de dizaines de mètres.

- Le concept des PAA basé sur le temps d'initiation d'un streamer ascendant est trompeur.
- Les défaillances observées dans le domaine suggèrent que dans des conditions naturelles, la zone de protection des PAA est pratiquement la même que celle des PF.

REFERENCES

- [1] H. Baatz, "Radioactive isotopes do not improve lightning protection", *Elektrotechnische Zeitschrift A*, Vol. 93, Feb. 1972, pp. 101-104.
- [2] R.H. Golde, "Lightning", vol. 2, *Lightning Protection*, Academic Press 1977, pp.569-576.
- [3] M.A. Uman, V.A. Rakov, "A critical review of nonconventional approaches to lightning protection", *American Meteorological Society*, December 2002, pp. 1809-1819.
- [4] R.J. Van Brunt, T.L. Nelson, K.L. Stricklett, "Early streamer emission lightning protection systems: an overview", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Jan/Feb 2000, pp. 5-24.
- [5] G. Berger, "The application of upward leader initiation time advantage in an electrogeometrical model", *Lightning Protection Workshop*, Hobart, Nov. 1992.
- [6] D. Mackerras, M. Darveniza, A.C. Liev, "Review of claimed enhanced lightning protection of buildings by early streamer emission air terminals", *IEE Proc. Science Measurement Technol.*, Jan. 1997, pp. 1-9.
- [7] R.H. Golde, "The validity of lightning tests with scale models", *Journal IEE*, Vol. 88, Part II, 1941, pp. 67-68.
- [8] A.C. Liev, A.M. Mousa, Discussion of the paper written by K.P. Heary, A.Z. Chaberski, S. Gumley, J.R. Gumley, F. Richens, J.H. Moran, "An experimental study of ionizing air terminal performance", *IEEE Trans. On Power Delivery*, Vol. 4, No. 2, 1989, pp. 1175-1184.
- [9] M. Becerra, V. Cooray, "Early streamer emission principle does not work under natural lightning", *29th International Conference on Lightning Protection*, Uppsala 2008, paper 4-3.
- [10] K.L.Chrzan, "Inefficacy of early streamer emission terminals under laboratory conditions (in Polish)", *Przegląd Elektrotechniczny*, No. 5, 2003, pp. 350-352.
- [11] A. Skopec, E. Smycz, C. Stec, "Transient initiation as a main cause of greater efficacy of active terminals (in Polish)", *Wiadomosci Elektrotechniczne* No. 8/2008, pp. 8-11.
- [12] Z.A. Hartono, I. Robiah, "A study of non-conventional air terminals and stricken points in a high thunderstorm region", *25th International Conference on Lightning Protection*, Rhodes 2000, pp. 357-361.