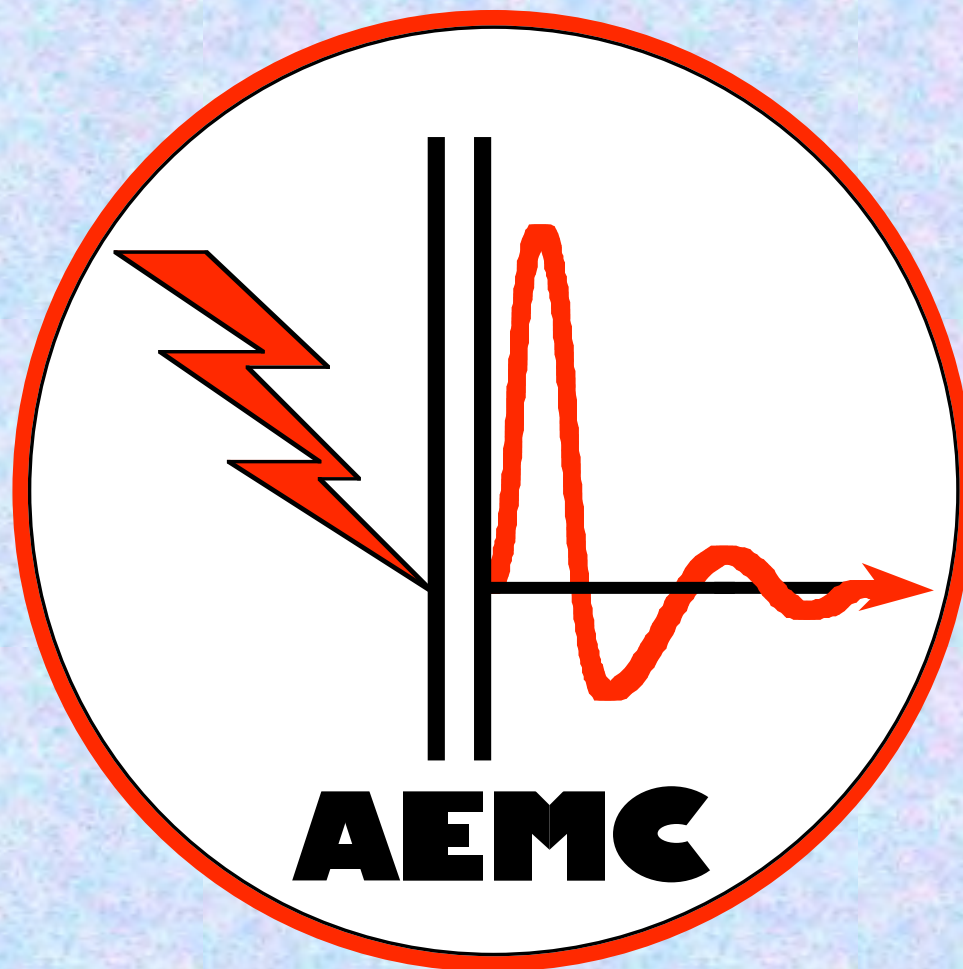
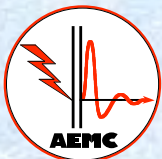


Les PDA (paratonnerres à dispositif d'amorçage) et leur normalisation



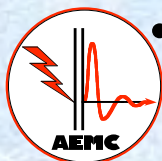
Alain CHAROY - a.charoy@aemc.fr

- **Historique du paratonnerre**
- Le modèle électrogéométrique
- La norme NF C 17-102
- Retours d'expériences
- Conclusions

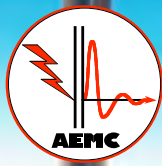
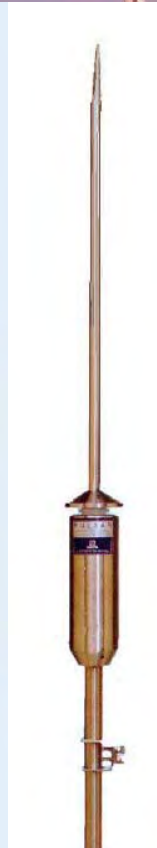


L'hérédité du paratonnerre...

- **Jallabert** (à **Genève**) observa en **1748** le « pouvoir des pointes ». Il mena des expériences d'électricité statique avec l'abbé **Nollet**.
- **Dalibard** (en fait le menuisier **Coiffier** et le curé **Raulet**), à **Marly-le-Roi**, avec une barre de fer, prouva la nature électrique des orages, le **10 mai 1752**.
- **Delor**, avec un « magasin d'électricité », perfectionna cette expérience que **Lemonnier** confirma le **7 juin 1752**. L'idée du cerf-volant électrique, émise en **août 1752** par **Romas**, fut mise en œuvre à **Nérac** le **7 juin 1753**.
- **Benjamin Franklin**, à **Philadelphie**, en **septembre 1752** expérimenta un cerf-volant (isolant !). Il commercialisa des paratonnerres à tige simple dits « **pointes de Franklin** » en prétendant qu'un paratonnerre « décharge les nuages à partir du sol » (mais le courant extrait d'une pointe est $< 100 \mu\text{A}$ alors que le courant de recharge d'un cumulo-nimbus est > 1 ampère).
- **Richmann** mourut foudroyé à **Saint-Pétersbourg**, le **6 août 1753**.
- Les paratonnerres radioactifs sont interdits en France depuis 23/10/1983.
- Désormais on installe souvent des « paratonnerres à dispositif d'amorçage », dits « **PDA** » ou « actifs » à la place des paratonnerres à tige simples (**PTS**).



L'esthétique d'un PDA est très étudiée...

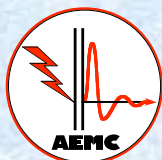


Les rôles d'un « bon » paratonnerre

- **Intercepter le courant de foudre avec une aussi grande probabilité que possible.**
- **Écouler ce courant au sol sans rien perturber (personnes, bâtiment, matériaux et systèmes).**

Quel que soit le type de paratonnerre:

- **Il n'évite pas le tonnerre !**
- **Il ne repousse pas la foudre !**
- **Il ne modifie pas la forme de son courant !**
- **L'énergie d'un choc (10^9 à 10^{10} J) est principalement rayonnée.**
- **L'induction magnétique pose un sérieux problème de CEM ($U > 100$ V/m²).**
- **La descente du courant est critique (avec amorçage inévitable aux fers à béton).**
- **Une « bonne terre » (R faible) réduit l'énergie dissipée dans le sol ($W = R \cdot \int I^2 dt$).**



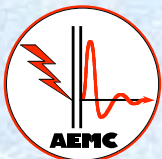
Le principe de l'avance à l'amorçage

Le champ électrique croît rapidement à l'approche d'un traceur descendant au parcours aléatoire (charges d'espace).

Dans la compétition entre plusieurs traceurs ascendants, celui issu d'un « bon » paratonnerre doit arriver en tête.

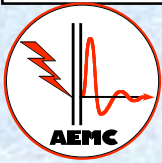
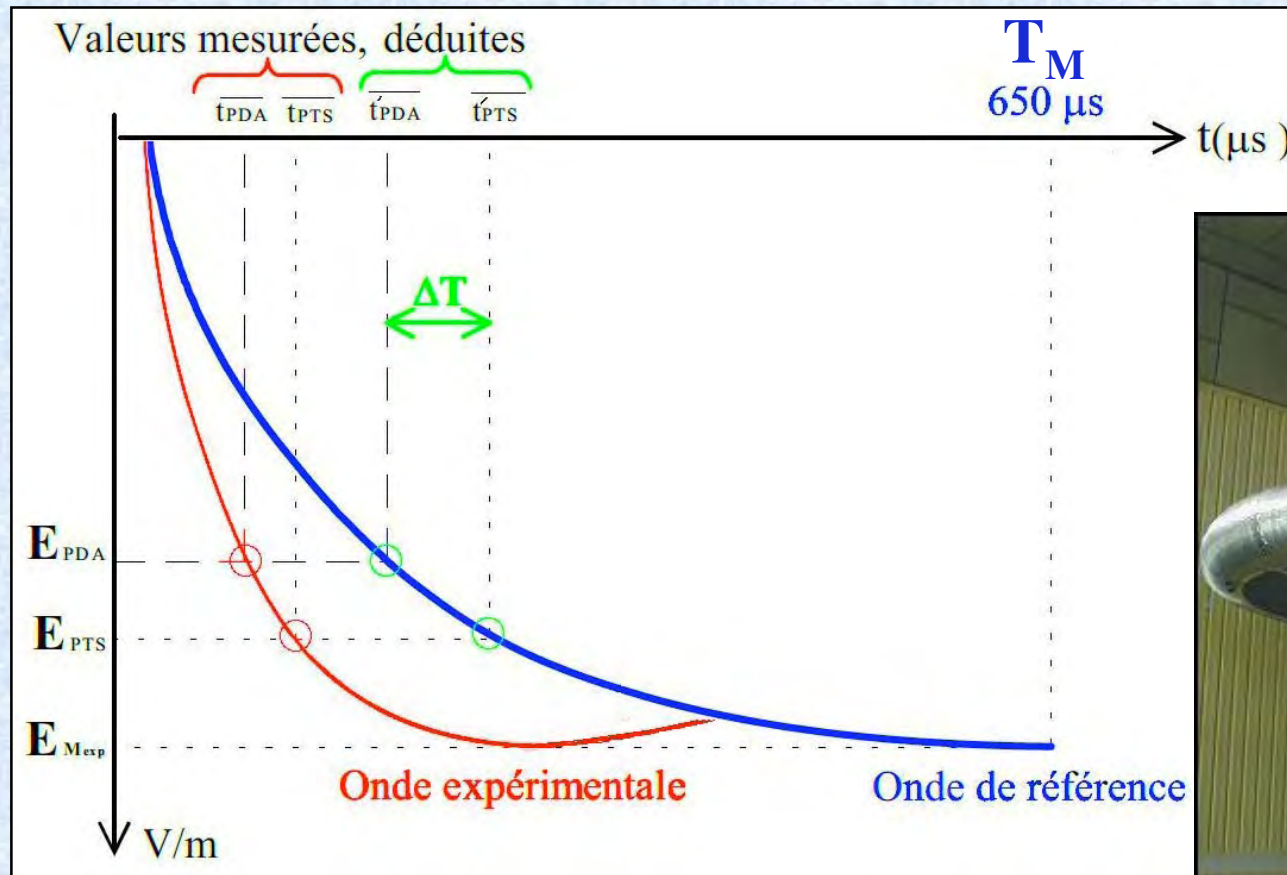
Le but d'un PDA est d'ioniser l'air avec assez d'avance par rapport aux autres traceurs. Cette avance, en μs , se mesure en labo par comparaison / PTS dans des conditions mal normalisées :

- **Distance pointe - plateau définie** (≥ 1 m, par exemple 3 m)
- **Distance plateau - sol définie** (≥ 2 m, par exemple 5 m)
- **Amplitude du champ statique définie** (de 10 à 25 kV/m, par exemple 20 kV/m)
- **Temps de montée défini** (de 100 μs à 1 ms, par exemple 100 μs)
- **Pente de champ définie** (de $2 \cdot 10^8$ à $2 \cdot 10^9$ $\text{Vm}^{-1}\text{s}^{-1}$, par exemple $2 \cdot 10^9$ $\text{Vm}^{-1}\text{s}^{-1}$)
- **Avec ces valeurs, l'avance à l'amorçage est faible** (< 30 μs) **donc on « corrige »**



Augmentation de l'avance à l'amorçage...

Une « déduction » de l'avance à l'allumage s'obtient par projection graphique des moyennes mesurées (avec le PTS et le PDA) sur une « onde de référence » ayant un temps de montée T_M de... $650 \mu\text{s}$!



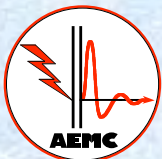
Problèmes des mesure d'avance à l'amorçage

Des grandeurs sont à spécifier, mais ne sont pas imposées :

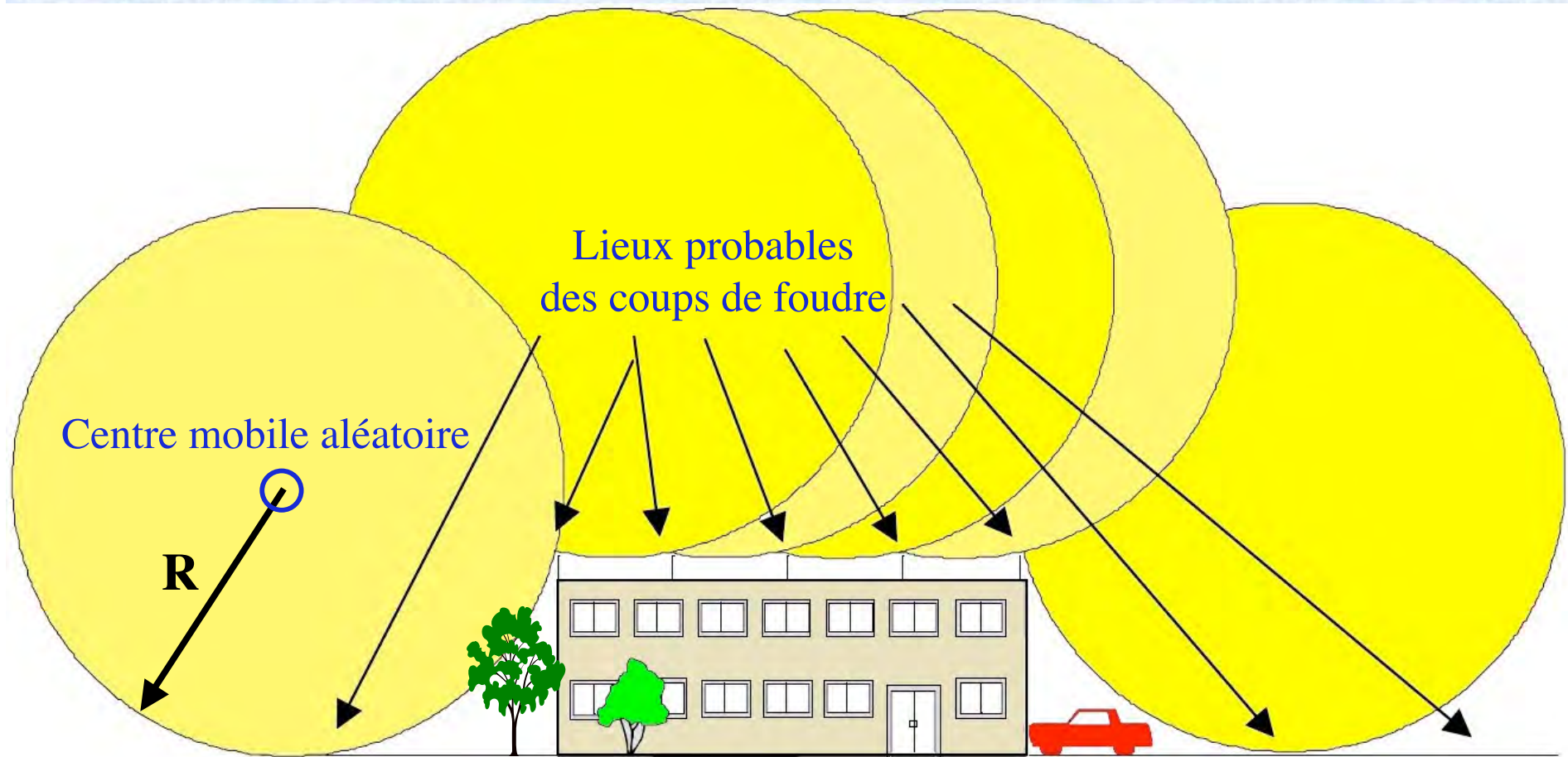
- **Choix du PTS de référence.**
- **Polarisation continue** (très sensible).
- **La pression atmosphérique.**
- **La température.**
- **L'humidité absolue** (la physique d'un traceur négatif change vers 8 g/m^3).
- **Le nombre de chocs** (la dispersion des résultats de mesures est toujours grande).
- **L'extrapolation d'un temps à une distance pose problème** (Vitesse inconstante).

Les conditions en labo diffèrent beaucoup de la réalité :

- **Poussières et charges d'espace** (le champ E réel n'est ni vertical, ni homogène).
- **Vent, surfaces mouillées, pollution, etc** (beaucoup de PDA marchent mieux à sec).
- **Distances en labo très inférieures au traceur réel** ($H < \text{rayon électrogéométrique}$).

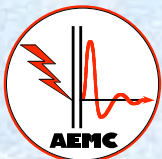


Modèle électrogéométrique et sa « sphère fictive »



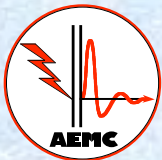
$$R = 10 I_{kA}^{2/3}$$

($R = 20, 30, 45$ ou 60 m, selon le niveau de protection choisi)

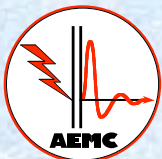
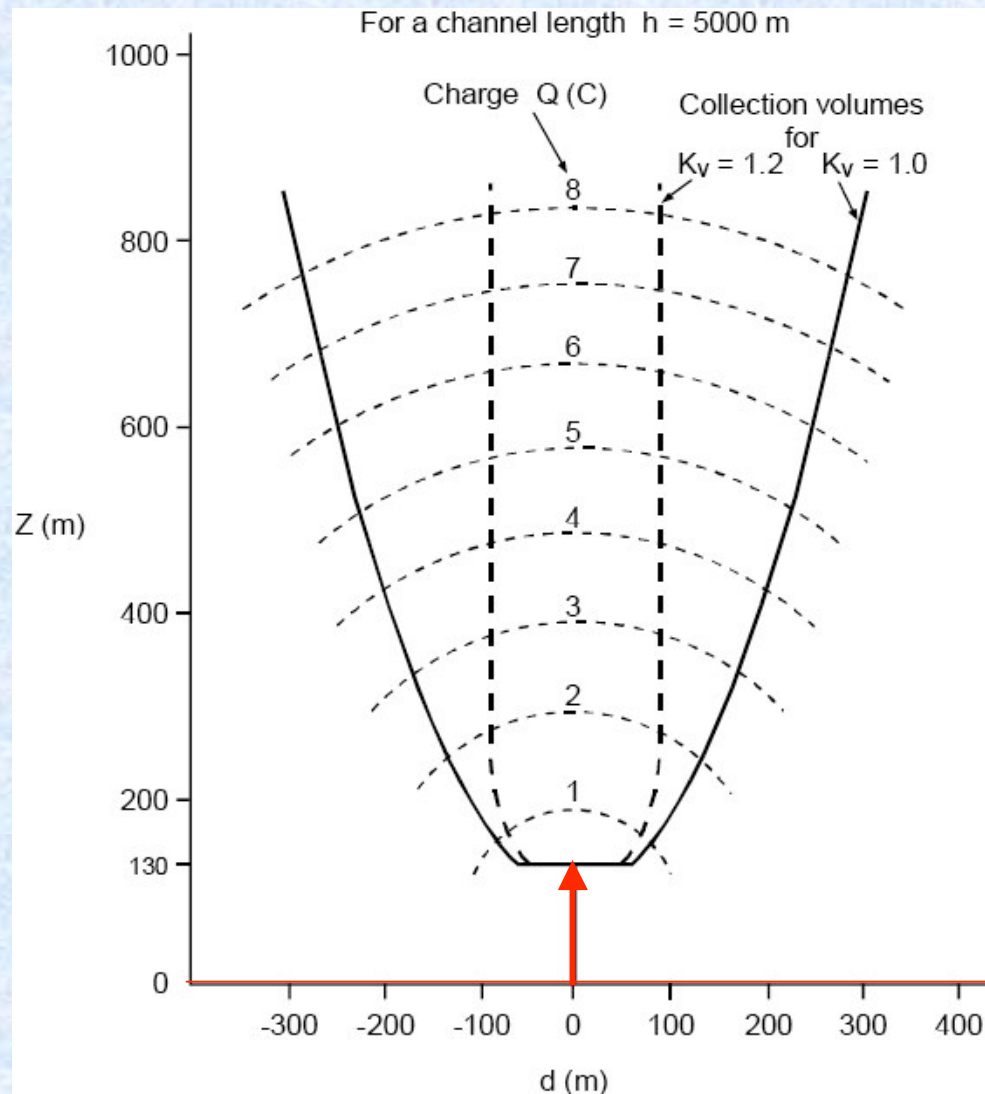


Les limites du modèle électrogéométrique

- **Ce modèle ne peut pas être validé en labo (R trop grand).**
- **Le modèle de la sphère fictive reste statistique.**
- **Ses prédictions sont aléatoires (intervalle de confiance ?).**
- **Il est invalide pour les chocs positifs (soit $\approx 10\%$ des coups).**
- **Un choc positif (de courant élevé) peut se glisser au sein des « réilluminations » d'un choc négatif (donc avec R petit).**
- **Il ne différencie pas un PDA d'un PTS, mais reste le modèle scientifiques le plus sérieux à ce jour. Les progrès récents de ce modèle ne le remettent pas fondamentalement en cause.**

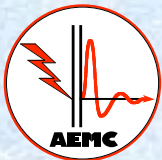


Conséquence du modèle électrostatique



Un modèle mathématique prédit qu'une sphère fictive touchera à coup sûr le paratonnerre si elle s'approche dans une « paraboloïde » ouverte vers le haut.

- Historique du paratonnerre
- Le modèle électrogéométrique
- **La norme NF C 17-102**
- Retours d'expériences
- Conclusions



Les textes réglementaires français :

La circulaire n° 93-17 du 28 janvier 1993 précise, au paragraphe 3.3.2 : **Paratonnerres à dispositif d'amorçage, dit « actifs »** :

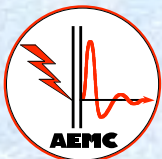
« Dans l'attente d'indications confirmées à ce sujet par un organisme habilité, il pourra être admis dans l'étude que ces dispositifs assurent une surprotection de l'installation sur laquelle ils sont mis en place. »

La circulaire du 28 octobre 1996 concerne l'application de l'arrêté du 28 janvier 1993 relatif à la protection de certaines installations classées contre les effets de la foudre et la modification de sa circulaire n° 93-17 du 28 janvier 1993 :

- **Protection contre les effets directs et indirects de la foudre.**
- **Pas de différence entre PDA et PTS.**

Une référence: NFPA 780 - Lightning Protection Code - Edition 2004

Les USA ont refusé une norme sur les ESE (Early Streamer Emissions) Systems

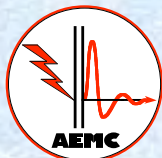


La norme française NF C 17-102

La norme NF C 17-102 traite de la **protection par PDA contre les coups de foudre directs** des structures de hauteur inférieure à 60 m et des zones ouvertes.

Elle définit **3 niveaux de protection** (contre **4** pour la NF C 17-100).

Le PDA doit surplomber d'au moins 2 m la zone qu'il protège.



Elle comprend **57 pages**

norme française

NF C 17-102

Juillet 1995

Indice de classement : C 17-102

protection contre la foudre

protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage

E : Protection of structures and of open areas against lightning using early streamer emission air terminals

D : Blitzschutz der Gebäude und der offenen Bereiche durch Blitzableiter mit Startvorrichtung

Norme française homologuée par décision du Directeur Général de l'afnor le 5 juin 1995 pour prendre effet à compter du 5 juillet 1995.

correspondance Aucune correspondance avec un document CEI ou CENELEC.

analyse Ce document décrit les principales dispositions destinées à assurer la protection des bâtiments contre les coups de foudre directs par paratonnerre à dispositif d'amorçage. Le principe de la protection des bâtiments contre la foudre est basé sur le modèle électro géométrique.

descripteurs Foudre, dispositifs de capture, conducteurs de descente, conducteurs de terre, prises de terre.

modifications

corrections

éditée et diffusée par l'Union technique de l'électricité - 33, av. du Général Leclerc - BP 23 - 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex - tél. : 01 40 93 62 00
diffusée également par l'association française de normalisation (afnor), tour europe, cedex 7, 92049 Paris la défense - tél. : 01 42 91 55 55

Impr. UTE

UTE 1999 - Reproduction interdite

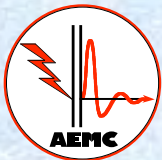
Le « calcul » de la distance de protection

Un problème est que la norme postule que la vitesse de propagation du traceur positif ascendant est de 10^6 m/s (alors que les mesures montrent que la vitesse d'un leader peut être 20 fois plus lente, avec une **moyenne de ≈ 1 à $2 \cdot 10^5$ m/s**).

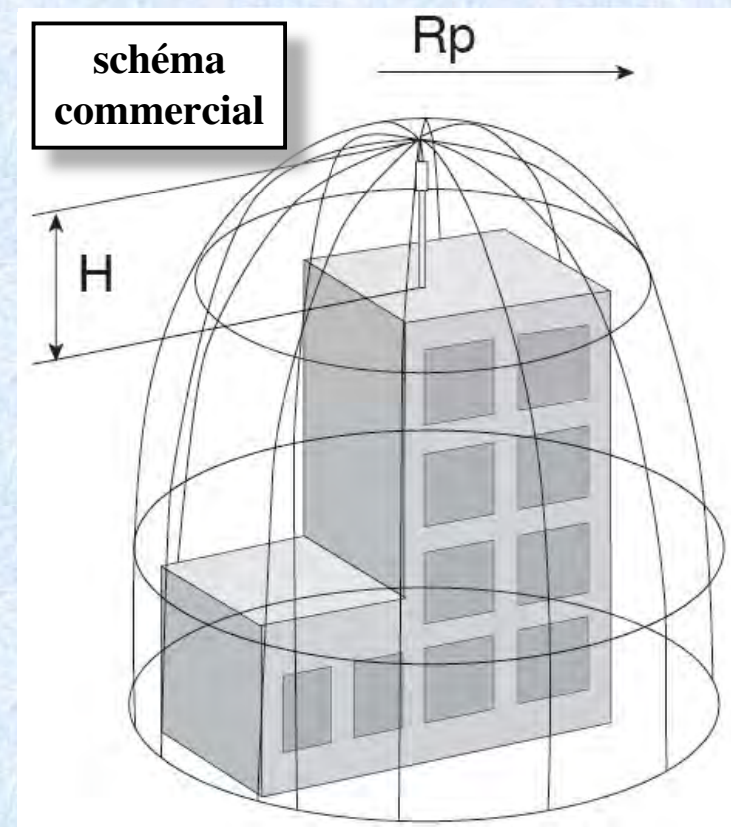
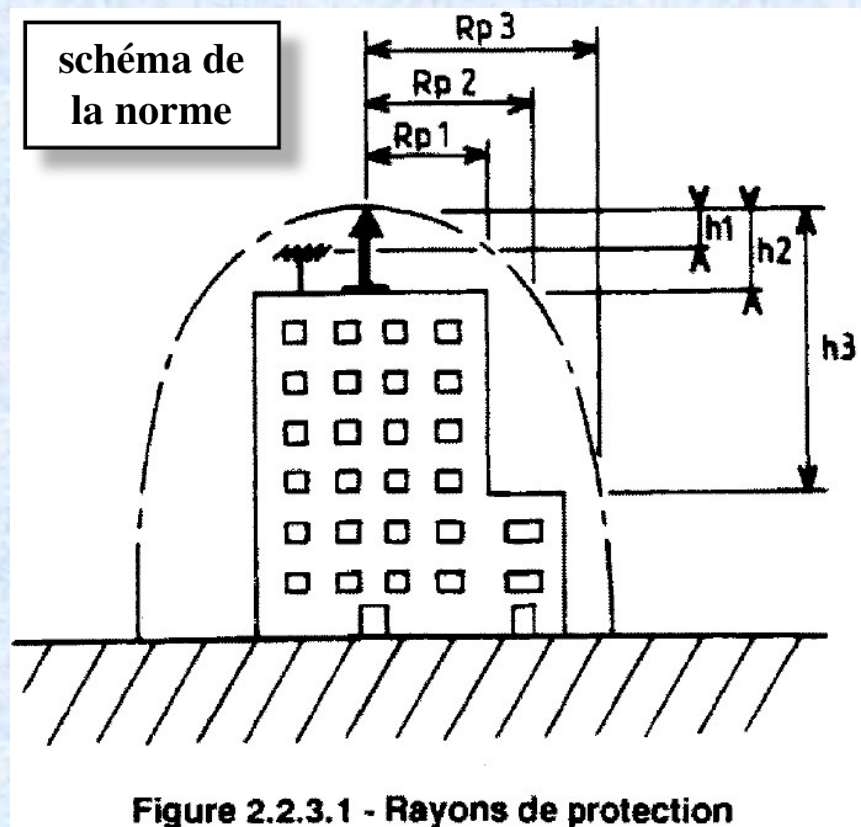
Même une toute petite variation (de $\pm 10\%$) de la valeur normalisée entraîne une variation significative de la « zone protégée » (ci-dessous, en mètres):

Avance à l'amorçage ΔT	Niveau de protection								
	$V=10^6$ $\Delta T-10\%$	I $V=10^6$ ΔT	$V=10^6$ $\Delta T+10\%$	$V=10^6$ $\Delta T-10\%$	II $V=10^6$ ΔT	$V=10^6$ $\Delta T+10\%$	$V=10^6$ $\Delta T-10\%$	III $V=10^6$ ΔT	$V=10^6$ $\Delta T+10\%$
Modèle 25 μ s	39	42	45	54	57	60	61	65	68
Modèle 40 μ s	54	58	62	70	75	80	83	84	88
Modèle 60 μ s	72	79	85	91	97	103	100	107	113

Avec $V \approx 10^5$ m/s, il n'y a plus de différence entre un PDA et un PTS

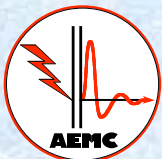


« Zone protégée » selon la norme NF C 17-102



Par un modèle impossible à justifier, la parabololoïde de capture ouverte vers le haut du modèle électrogéométrique est dessinée inversée vers le bas dans la norme française sur les PDA !

Et le « volume de capture certaine » devient, dans la NF C 17-102, une « cloche de protection certaine » !



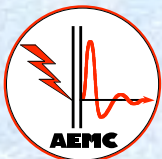
Comparaison PTS / PDA

Nous attendons encore les résultats de diverses études comparatives sur l'efficacité de paratonnerres installés en situation réelle. Nous devons nous contenter de la comparaison de paratonnerres en labo et des récentes études à long terme du retour d'expérience sur site.

Résultats de l'étude comparative de 3 PDA par Bryan, *et al.* (1999) :

	PTS (Franklin rod)	PDA (ESE Device)	Aucun
Σ Chocs	200	165	55

Note: La protection foudre des sites à risques majeurs (explosifs) utilise soit des réseaux de fils tendus au-dessus des installations à protéger, soit une cage maillée autour de tout bâtiment sensible.

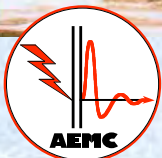


Cette cuve était protégée par six paratonnerres !



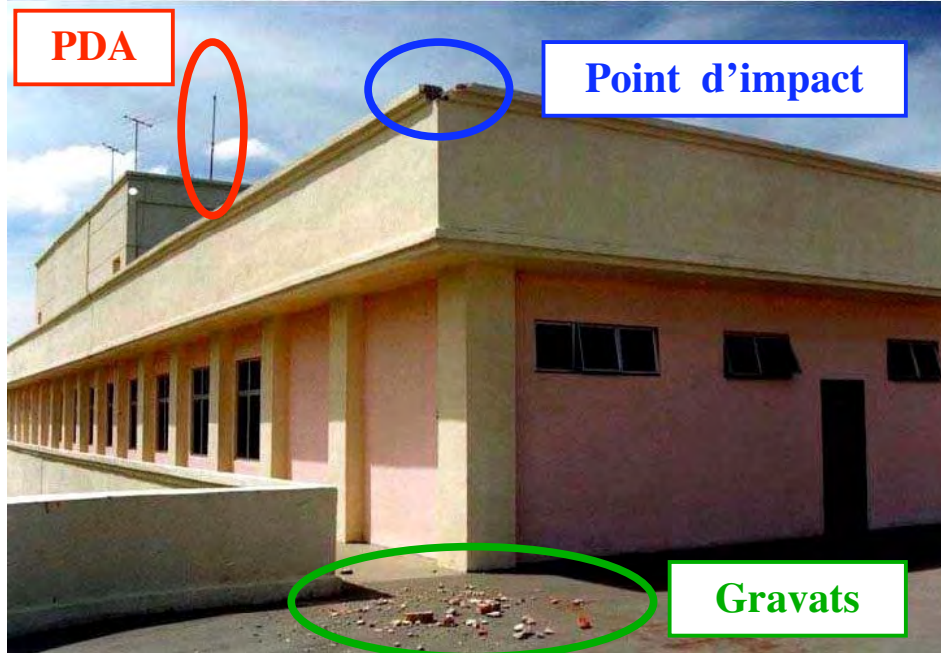
La foudre frappa un des 6 paratonnerres de ce réservoir de pétrole de 10 000 m³.

La normalisation polonaise sur la mise en œuvre des paratonnerres reste perfectible (il n'y avait qu'un seul câble de terre).



**Résultat d'un choc de foudre
le 5 mai 2002 près de Cracovie**

Preuves de la fausseté de la NF C 17-102



Que penser des compteurs de coups de foudre ?



Les effets d'un coup sur un pylône...

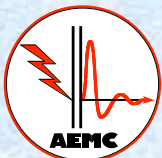


Son compteur après le choc
(conforme à l'UTE C 17-106)

L'amplitude était-elle trop faible pour que ce coup soit compté ?

Qu'aurait-on fait - ou su - de plus si le compteur avait fonctionné ?

Qu'aurait-on fait - ou su - de moins sans compteur de coups de foudre ?



Un jugement intéressant aux USA

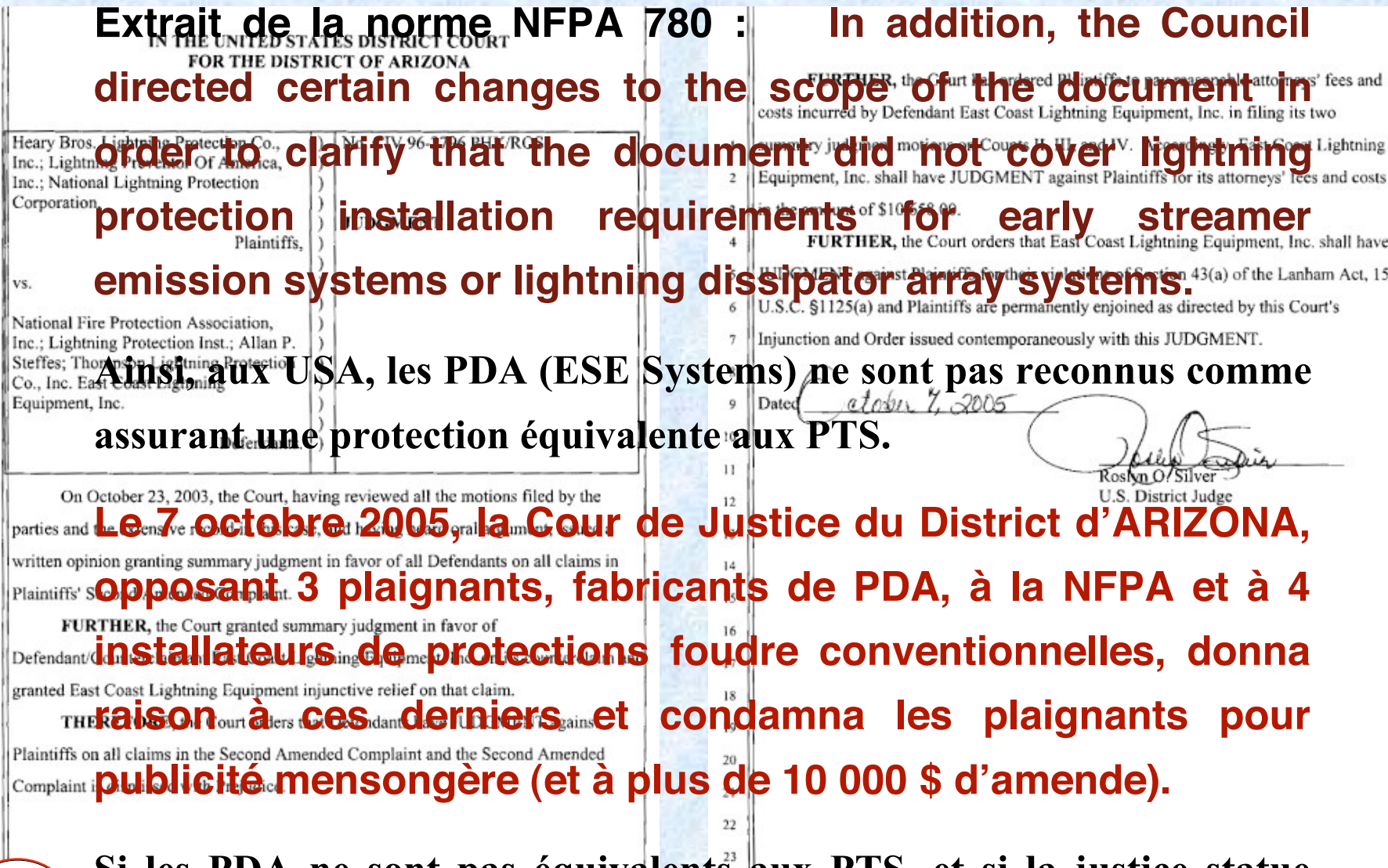
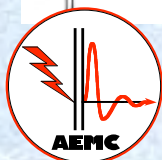
Extrait de la norme NFPA 780 :

directed certain changes to the scope of the document in order to clarify that the document did not cover lightning protection installation requirements for early streamer emission systems or lightning dissipator array systems.

Ainsi, aux USA, les PDA (ESE Systems) ne sont pas reconnus comme assurant une protection équivalente aux PTS.

Le 7 octobre 2005, la Cour de Justice du District d'ARIZONA, opposant 3 plaignants, fabricants de PDA, à la NFPA et à 4 installateurs de protections foudre conventionnelles, donna raison à ces derniers et condamna les plaignants pour publicité mensongère (et à plus de 10 000 \$ d'amende).

Si les PDA ne sont pas équivalents aux PTS, et si la justice statue qu'il est illégal d'affirmer qu'ils fonctionnent mieux, qu'en conclure?



Petit quiz avant de conclure...

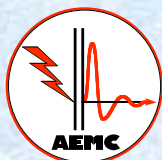


Photo de Kevin AMBROSE, le 1^{er} juillet 2005



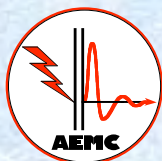
Gymnase d'Alcobondas, foudroyé le 8 octobre 2005

- | | | |
|--|-------------|-------------|
| Le modèle de la « cloche » cloche | Vrai | Faux |
| Un paratonnerre peut recevoir la foudre | Vrai | Faux |
| Une bonne norme doit prendre compte les réalités | Vrai | Faux |
| Aucun paratonnerre ne remplace une bonne assurance | Vrai | Faux |



Il est possible de retenir...

- Un paratonnerre peut réduire certains risques de la foudre.
- Le modèle électrogéométrique s'applique à tout paratonnerre.
- Le modèle de « cloche à fromage » de la NF C 17-102 est faux.
- La norme NF C 17-102 sur les PDA mériterait d'être abrogée.
- Les bons PDA sont aussi robustes qu'un PTS.
- Un PDA économique est à peine plus coûteux qu'un PTS.
- Aucun paratonnerre n'empire beaucoup les risques de la foudre.
- Aucun PDA n'a démontré de supériorité en terme de rayon de protection (seules de petites avances à l'amorçage sont prouvées).
- La descente et son maillage important plus que le type de pointe.
- Fils tendus et cages maillées sont des solutions sûres.
- Veillons au (bon) **choix** et au (bon) **montage** des parafoudres !



Documents gratuits à télécharger sur la toile...

- **Etude des Paratonnerres à Dispositif d'Amorçage**

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

P. GRUET - Laboratoire d'Evaluation des Equipements Electriques Direction de la Certification.

Octobre 2001 - INERIS - DCE – 2000 - 25265f.doc - 88 Pages - Gentil, mais très bon !

- **La foudre – Risques et prévention**

Plaquette de 64 pages de la CRAM Rhône-Alpes.

Juin 2004 - SP 1076 - site inrs.fr - 64 Pages - Très bon document général.

- **Evaluation of Early Streamer Emission Air Terminals**

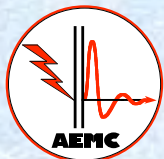
By Scott D. McIvor, Roy B. Carpenter, Jr., Mark M. Drabkin, Ph.D.

Résumé de 10 Pages en anglais, avec importante bibliographie - Scientifiquement robuste.

- **A Critical Review of Nonconventional Lightning Protection**

By M. A. Uman and V. A. Rakov - Uman&Rakov%20(2002).pdf -

Article de 12 Pages en anglais, avec bonne bibliographie sur de la vitesse des leaders.



- **[www.lightningsafetyalliance.com/documents/acem air terminals.pdf](http://www.lightningsafetyalliance.com/documents/acem_air_terminals.pdf)**

acem_air_terminals.pdf : Étude à long terme, étayée par de nombreuses photos.