

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° :



FILIERE : ELECTROMÉCANIQUE

OPTION : ELECTROMÉCANIQUE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique en Electromécanique

Présente Par : **Abderrezak KERMICHE**

THEME

**ETUDE ET CONCEPTION D'UN SYSTEME DE
PROTECTION CONTRE LA Foudre POUR
L'AEROPORT D'ALGER**

Soutenu devant le jury composé de :

Pr. Loutfi BENYETTOU
Dr. Abderrahim ZEMMIT
Dr. Salim DJERIOU
Dr. Hilal RAHALI

Université Mohamed Boudiaf de M'Sila
Université Mohamed Boudiaf de M'Sila
Université Mohamed Boudiaf de M'Sila
Université Mohamed Boudiaf de M'Sila

Président
Rapporteur
Co-rapporteur
Examineur

Année universitaire : 2023 / 2024

ملخص :

يمثل العمل الذي تم تنفيذه في هذه الأطروحة دراسة وأبعاد التركيب لنظام الحماية ضد الصواعق لبرج المراقبة لمطار الجزائر وفق المعايير الدولية NF C 15-100، NFC17-100 NFC17-102 ،
الكلمات المفتاحية : الصاعقة، نظام الحماية من الصاعقة ، معييير ، برج المراقبة مطار الجزائر

The work carried out in this thesis represents the study and installation dimensions of the lightning protection system for the control tower of the Algeria airport, NF C 15-100, NFC17-100, NFC17-102, according to international standards.

Keywords: lightning bolt, lightning protection system, standards, control tower, Algeria airport..

Keywords: lightning protection, lightning rod, Algiers airport control tower, OPR Designer software

Résumé :

Les travaux réalisés dans cette thèse représentent les dimensions d'étude et d'installation du système de protection contre la foudre pour la tour de contrôle de l'aéroport d'Algérie, NF C .15-100, NFC17-100, NFC17-102, selon les normes internationales

Mots clés : éclair, système de protection contre la foudre, normes, tour de contrôle, aéroport d'Algérie

Mots clés : la foudre la protection , paratonnerre , la tour de contrôle d'aéroport d'Alger , logiciel OPR Designer

Introduction générale

La protection des équipements contre toute perturbation dans l'utilisation de l'électricité (court-circuit, foudre, etc.) nécessite l'installation d'un système fiable de mise à la terre ainsi qu'un système de protection contre la foudre.

La mise à la terre d'un système ou d'un équipement implique la connexion à la masse générale de la terre; cette connexion à une résistance non supérieure à celle requise pour actionner des mécanismes de sécurité pour isoler l'alimentation électrique d'une situation de défaut, et être capable de supporter le courant de défaut maximal attendu. Par conséquent, les divers facteurs qui affectent la résistance à la terre et la capacité de courant de défaut du conducteur enterré, désigné comme électrode de terre, doivent être pris en compte

D'autre part, la foudre constitue une contrainte majeure dont il faut tenir compte. Nous allons dimensionner la protection contre la foudre conformément aux normeNF C 17-102 et la norme NF C 17-100.

Nous exposons dans le présent rapport trois grands chapitres décrivant les volets principaux de notre projet de fin d'études.

Nous allons commencer le premier chapitre consacré à la foudre sa définition, sa formation, ses différentes classifications, et la forme de son courant

Deuxième chapitre est consacré à l'étude des différents dispositifs de protection contre la foudre garde chacun son principe de fonctionnement, ainsi leurs avantages et inconvénients.

Le troisième chapitre application la méthode de protection contre la foudre sur la tour aéroport d'Alger.

GENERALITES SUR LA Foudre

CHAPITRE 01

GENERALITES SUR LA Foudre

GENERALITES SUR LA Foudre

1- Introduction:

Ce premier chapitre a pour but la connaissance de l'origine de la décharge naturelle, d'où en tenant compte leurs causes et conséquences.

La foudre constitue une source de perturbation majeure pour le bon fonctionnement des réseaux. En effet, on distingue deux types d'agressions de la décharge orageuse, selon que l'éclair touche directement l'ouvrage où tombe à proximité.

2-1 La foudre: est un phénomène naturel dont les effets sont spectaculaires et destructeurs. Il est important de remarquer que toutes les régions ne sont pas identiquement exposées à ce phénomène: il existe généralement une carte des niveaux kérauniques pour chaque pays pour une détermination plus précise de l'exposition d'un lieu, [1]

La foudre est liée à la formation de nuages orageux qui, avec le sol, constituent un véritable dipôle. Le champ électrique au sol peut alors atteindre 20 KV/m par bonds successifs, un traceur se développe entre le nuage et le sol créant le canal ionisé dans lequel circule l'arc en retour ou coup de foudre

2-2 Mécanisme de la formation de l'orage:

La foudre est définie comme une décharge électrique d'une longueur de plusieurs kilomètres associée à une impulsion de courant transitoire de très forte amplitude.

La source la plus commune de la foudre est la séparation des charges dans les nuages d'orage, les cumulo-nimbus. Les orages les plus fréquents font suite à des fronts froids. A l'arrivée d'un de ceux-ci,

la masse d'air froid s'infiltré sous l'air chaud et le soulève; ceci engendre des turbulences dans l'air chaud rejeté en altitude: ainsi se forment les nuages d'orage ou les cumulonimbus

L'électrisation de ces nuages résulte d'un processus complexe. La distribution des charges dans un nuage d'orage est présentée dans la figure ci-dessous. La partie supérieure, constituée de glace, est chargée positivement (région P), tandis que la partie inférieure constituée de gouttelettes d'eau est chargée négativement (région N). Souvent, un îlot de charges positives (région p) est enserré dans cette masse de charges négatives.

A l'approche d'un nuage orageux, le champ électrique atmosphérique au sol qui

GENERALITES SUR LA Foudre

est de l'ordre d'une centaine de volts par mètre par beau temps commence par s'inverser, puis croît dans de fortes proportions. Lorsqu'il atteint 10 à 20 kV/m, une décharge au sol Est. imminente [2].

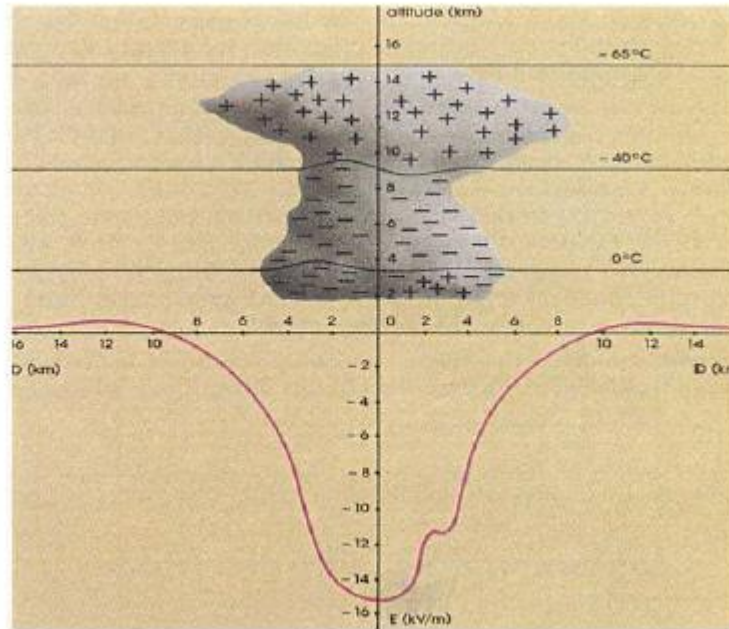


Figure I.1 La distribution des charges électriques dans la masse d'un nuage répartition du champ électriques au sol au moment au va éclater la foudre [2].

2-3 Mécanisme du coup de foudre

Le nuage orageux de type cumulus nimbus est à l'origine de la formation des foudres. Ce type de nuage s'étend sur plusieurs kilomètres carrés à 2-3 kilomètres au dessus du sol et se développe en hauteur. La partie supérieure de ce nuage, de charge généralement positive, est constituée de cristaux de glace, tandis que la partie inférieure, chargée négativement, est constituée de gouttelettes d'eau. Sous l'effet des turbulences atmosphériques, les charges électriques sont séparées d'où l'apparition de contraintes électriques entre les différentes couches intérieures. Lorsque le gradient limite de claquage dans l'air est atteint, il apparaît des décharges électriques entre les nuages ou deux zones du nuage, c'est l'éclair ; entre nuage et le sol : c'est la foudre. La première phase du coup de foudre est une pré-décharge, faiblement lumineuse, appelée «traceur», se formant au sein du nuage et progressivement, par bonds, vers le sol.

GENERALITES SUR LA Foudre

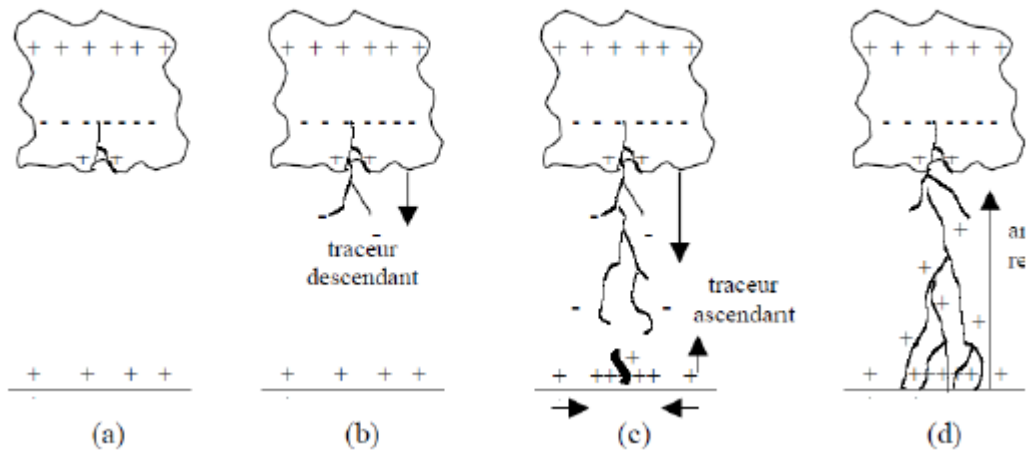


Figure.2. Mécanisme de la foudre

En même temps au niveau du sol, le champ électrique atmosphérique augmente rapidement et à la pointe de toute aspérité (paratonnerre, pylône, etc.) il y a une forte ionisation de l'air qui se manifeste sous forme d'effluve électrique connue sous le nom d'effet de pointe ou «effet couronne». L'approche du « traceur » du sol, fait augmenter beaucoup plus l'ionisation de l'air atmosphérique et lorsque le seuil est atteint, 25 kV/cm, la décharge ascendante apparaît. Lorsque la décharge ascendante et « le traceur » la décharge descendante, se rejoignent, il se crée un canal conducteur qui permet l'écoulement du courant de la foudre : c'est l'éclair. Le point d'impact de l'éclair est le point d'où est partie la décharge ascendante

2-4 Caractérisation et Modélisation de la foudre

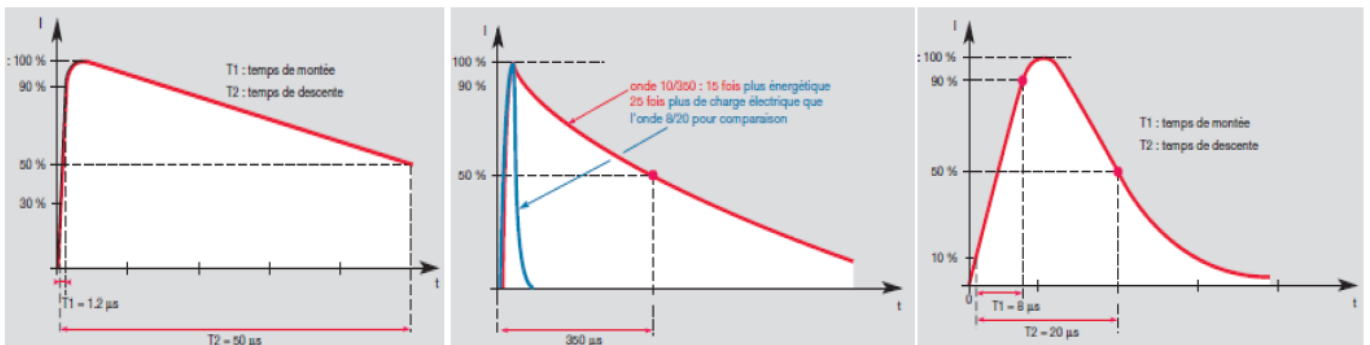


Figure.3 les modèles de la foudre

2-5 Les effets de foudre

La foudre est un courant électrique de haute fréquence qui entraîne les mêmes effets que tout autre courant circulant dans un conducteur électrique notamment. Dans ce paragraphe sont pris en considération les principaux effets, directs et indirects [3].

2-5 -1 Les effets électriques

Dans le chemin variés et complexe empruntés par la foudre pour s'écouler dans le sol apparaissent des différences de potentiel importantes sur de faibles distances provoquant des claquages locaux qui endommagent les conducteurs présents dans le sol. Ces tensions présentent un grave danger pour les êtres vivants en surface (tension de pas) [4].

2-5 -2 Les effets thermique

La décharge atmosphérique produit la fusion des parties métalliques. Les coups chauds peuvent enflammer du bois sec et provoquer des incendies. On assiste à l'éclatement explosif d'arbres, de mats mauvais conducteurs, de poutres et de murailles là où s'accumule l'humidité (forte densité de courant). Dans des sols mauvais conducteurs (silice) il y a vitrification au passage du courant (formation de fulgurites).

Sur des surfaces métalliques planes, si l'on suppose que la chute de tension anodique U à la racine de l'arc reste constante pendant la durée de la décharge, l'énergie dissipée localement vaut $W = Q U$. Par exemple un coup moyen ($Q=30$ C, $U=20$ V, $W = 600$ J) entraîne la fusion d'environ 60 m d'acier ce qui correspond à une pénétration de 0.15 à 0.25 mm dans ce métal (0.1 à 0.6 mm dans le cuivre ou l'aluminium) sur un diamètre de 25 mm en supposant qu'aucune chaleur ne soit dissipée dans la masse

GENERALITES SUR LA Foudre

du métal. Un coup exceptionnel ($Q = 300 \text{ C}$) perce des d'acier de 2 à 3 mm d'épaisseur.

2-5 -3 Les effets électromagnétique

Les effets électromagnétique se manifestent par différents processus de couplage sur une structure : le couplage résistif (conduction, résistance de blindage des câbles, ...), le couplage par champ magnétique (boucles d'induction dans l'installation , inductances de liaison,...), le couplage capacitif par champ électrique (antenne tiges isolées du sol,..). les couplages sont influencés par les mises à la terre, les liaisons d'équipotentialité, les blindages, le cheminement et la disposition des conducteurs métalliques [4].

Lorsqu'un coup de foudre tombe à proximité d'une ligne, le champ électromagnétique intense généré par l'arc en retour induit des surtensions, qui peuvent dans certains cas provoquer un amorçage. Les coups de foudre indirects représentent un danger plus important du fait que ce mécanisme de production de surtensions est bien plus fréquent que celui qui résulte des impacts directs.

Les réseaux aériens sont les plus affectés par les surtensions et surintensités d'origine atmosphérique. Une particularité des coups de foudre est leur polarisation : ils sont généralement négatifs (nuage négatif et sol positif). Environ 10 % sont de polarité inverse, mais ce sont les plus violents. A noter que le front de montée des chocs de foudre retenu par les normes, est de 1,2 ms pour la tension et 8 ms pour le courant. Une distinction est souvent établie entre :

- le coup de foudre «direct» touchant une ligne,
- et le coup de foudre «indirect» tombant à proximité d'une ligne, sur un pylône métallique, ou, ce qui revient au même, sur le câble de garde, (mis à la terre, ce câble relie les sommets des pylônes, il est destiné à protéger les conducteurs actifs des coups de foudre directs) [4].

2-5 -4 Les effets acoustiques

Le tonnerre est une onde de choc violente qui génère des pressions importantes

GENERALITES SUR LA Foudre

à courte distance (des centaines de mètres dans le plasma du canal de foudre) qui peuvent provoquer des bris de vitres à quelque mètres du point d'impact.

La perception des tonnerres ne dépasse guère 10 km dans les régions tempérées à grande densité de population ; elle atteint 30 à 40 km dans les régions tropicales naturelles [4].

2-5 -5 Les effets sur l'homme et l'être vivants

On peut classer les effets sur l'homme et l'être vivant selon deux classes :

- ceux qui sont directement liés au foudroiement et qui sont de nature thermique, électrique, auditif, oculaire etc. et qui sont très spécifiques à la foudre.
- ceux qui font suite aux conséquences des effets indirects d'un foudroiement ; brûlures liées à un incendie, courants électriques à fréquence industrielle de défauts, etc

2-5 -6 Les effets sur les structures [5]

Les coups de foudre peuvent engendrer tous les dégâts suivants :

- Incendies, des chutes d'arbre provoquant des accidents.
- Explosions de liquides ou de gaz inflammables.
- Dommages sur les réseaux électriques et téléphoniques.
- Dommage sur les sites industriels : installations portuaires, raffineries de pétrole.
- Dommage sur les sites agricoles : élevages, piscicultures [5]

3- Conclusion

À partir de cette étude sur la foudre on peut dire que ce phénomène cause un grand danger pour l'homme, les structures et les installations électriques, d'où le coup de foudre frappe directement la victime ou indirect par les rayons électromagnétiques

Dans le chapitre suivant nous allons présenter les différents des protections contre la foudre

CHAPITRE 02

Les méthodes de protection contre la foudre

Introduction : La protection contre la foudre, la mise à la terre, la liaison équipotentielle et la protection contre les surtensions sont des disciplines indissociables, la protection fiable du personnel et des structures demande une approche systématique et globale pour minimiser les risques liés aux surtensions transitoires et autres perturbations.

- Le principe de la protection

Pendant la formation d'un orage, de grandes quantités de charges électriques de polarités opposées sont produites. Ces charges créent des différences de potentiel électrique très importantes qui, à partir d'un certain niveau, provoquent un arc électrique à l'intérieur des nuages ou entre les nuages et la terre. Un coup de foudre au sol permet la neutralisation des charges électriques au niveau du sol. Il est illusoire de vouloir s'opposer à cette circulation de courant, elle est nécessaire à la neutralisation des charges au sol à l'approche du nuage orageux.

Bien que la durée d'un coup de foudre soit courte, son énergie est suffisante pour provoquer un incendie [3], déclencher une explosion ou tuer un homme ou un animal. Aussi, pour ne pas être frappé par la foudre plusieurs idées, parfois irréalistes, peuvent être avancées :

1. être capable de dévier les nuages orageux,
2. éviter la formation de charge au niveau du sol,
3. favoriser un lieu d'impact de foudre et canaliser le courant à l'extérieur de la zone à protéger.

L'observation du phénomène et le retour d'expérience ont permis de développer des dispositifs de protections qui reposent sur le principe de capter et canaliser la foudre plutôt que de vouloir s'y soustraire. Ainsi, tous les dispositifs de protection contre les coups de foudre sont conçus pour recevoir la foudre. Leur efficacité repose sur leur capacité à :

- attirer la foudre (lorsque le dispositif de protection est en un point précis),

- supporter les impacts (effets thermiques et mécaniques),
- canaliser la plus grande part possible d'énergie (limitation de la propagation du courant vers la zone protégée),
- diffuser le courant dans le sol (limitation de la propagation horizontale du courant au sol).

Différents dispositifs sont utilisés pour atteindre le but recherché (cage maillée, fils.

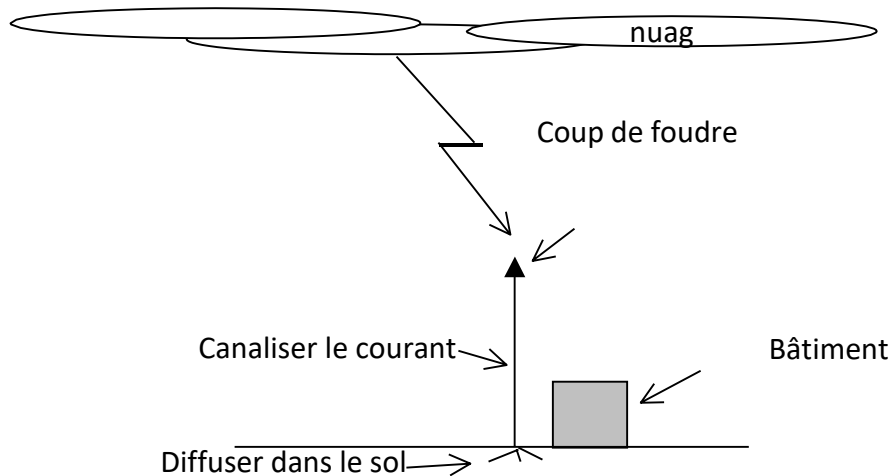


Figure 3 : Principe d'une protection par paratonnerre

3 - le rôle des paratonnerres

Il est connu depuis plusieurs siècles que la foudre frappe de préférence les endroits les plus hauts (les plus près des nuages). En particulier, des lieux d'impacts privilégiés sont les proéminences plus ou moins pointues. Cette prédisposition des objets effilés à être frappés par la foudre s'explique par l'effet de pointe

Le modèle électro géométrique a été imaginé à partir de l'observation du cheminement des traceurs des coups de foudre descendants. Il a été inventé pour

- tenter d'expliquer pourquoi la foudre frappe l'objet le plus haut
- évaluer la zone autour de l'objet dans laquelle le coup de foudre ne devrait pas tomber

4 - Système de protection contre la foudre (SPF) :

installation complète, permettant de protéger une structure contre les effets de la foudre.

Niveau de protection : Terme donnant la classification d'un système de protection contre la foudre vis-à-vis de son efficacité.

Conducteur de descente : Partie de l'installation extérieure destinée à conduire le courant de décharge atmosphérique du dispositif de capture à la prise de terre.

Paratonnerre à dispositif d'amorçage (PDA) : Paratonnerre à tige équipé d'un système générant une avance à l'amorçage mise en évidence lorsqu'il est comparé dans les mêmes conditions à un paratonnerre à tige simple (PTS).

Avance d'amorçage : Gain moyen en instant d'amorçage du traceur ascendant du PDA par rapport à celui d'un paratonnerre à tige simple, issu de l'essai d'évaluation. Elle s'exprime en μs

5 - Types des Systèmes de Protection contre la Foudre :

5 – 1 Paratonnerre à tige simple :

Ce type d'installation consiste en la mise en place d'un ou plusieurs paratonnerres à tiges, érigés en partie haute des structures à protéger. L'angle de protection concernant la zone protégée par ces tiges dépend du niveau de protection requis sur le bâtiment concerné et de la hauteur du dispositif de capture au-dessus du volume à protéger.

I.1. Modèle de paratonnerre électro géométrique ou tige simple

Il a pour objet la prédétermination des pointes d'impacts les plus probables de la foudre, afin de pouvoir apprécier l'ampleur des dégâts éventuels et le pouvoir des dispositifs de protections appropriés le problème à résoudre pour élaborer un modèle de foudroiement consiste à analyser les conditions de développement de la décharge ascendante puis de sa jonction avec le traceur descendant et introduire à cet effet des valeurs numériques.

Le modèle électro géométrique définit essentiellement une distance d dite « distance d'amorçage » ; qui s'exprime par la relation [2] :

$$d = \alpha I^\beta \quad \text{Où : } d: \text{ Distance d'amorçage exprimée en (m) .}$$

I : Courant de foudre donnée en (kA).

Il n'existe pas à l'heure actuelle de modèle universellement reconnu et les paramètres α et β varient dans d'assez grande proportions : β est compris entre 0,6 et 0,8, α est entre 6 et 10. Ce dernier étant parfois en fonction de la hauteur de la structure susceptible d'attirer la foudre [2]. Notons que dans la plupart des cas, la relation $d = 10 \cdot I^{2/3}$ est entièrement satisfaisante.

I.2. Mise en œuvre du modèle électro géométrique

I.2.1. Principe de la méthode

Selon le modèle électro géométrique, le point d'impact de la foudre se détermine par l'objet au sol qui se trouvera, le premier, à la distance d'amorçage du traceur descendant, même si cet objet est le sol plat lui-même. Tout se passe comme si la pointe du traceur était entourée d'une sphère fictive, de rayon, centrée sur elle. Cette sphère accompagne rigidement la pointe d'un traceur dont la trajectoire est aléatoire. A l'approche du sol, le premier objet que touchera la sphère déterminera le point d'impact du coup de foudre [2]. D'où le procédé : on imagine que la sphère fictive de rayon d est roulée au sol, dans toutes les directions, sans jamais perdre le contact soit avec le sol, ou un objet proéminent. Si au cours de ce mouvement, la sphère fictive entre en contact avec les dispositifs de protection (tige verticale, fil horizontale, cage de farady), sans jamais pouvoir toucher l'un des objets à protéger, la protection de ceux-ci est assurée. Dans le cas contraire où la sphère entre en contact avec l'objet à protéger, le dispositif de protection doit être remanié jusqu'à ce qu'aucun de ces contacts ne puisse se produire.

I.2.2. Définition de la zone de protection

Pour mieux mettre en évidence les propriétés des paratonnerres, nous assimilerons celui-ci à une tige verticale de hauteur H placée sur un sol plan (XoY). Au cours de la trajectoire de coup de foudre, la sphère fictive pourra atteindre le sol suivant trois possibilités (**figure III.**).

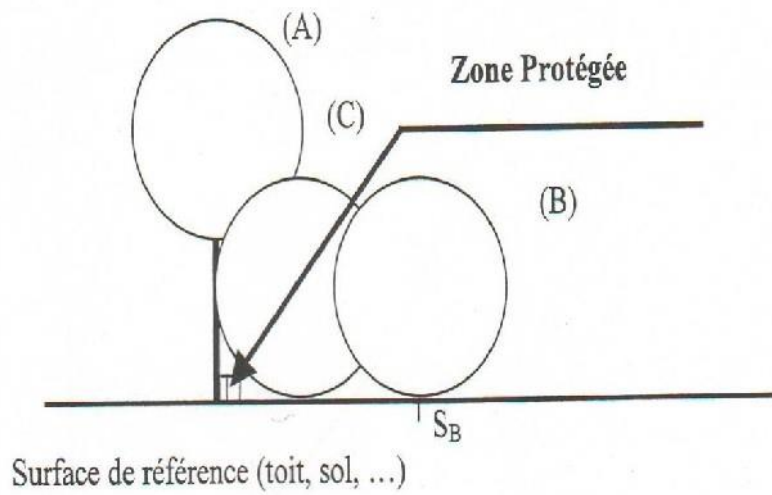


Figure III. : Principe du modèle électro géométrique [2].

. Cas A: si la sphère entre en contact avec uniquement la tige verticale, celle-ci constituera le point d'impact du coup de foudre.

. Cas *B*: si la sphère entre en contact avec le sol, sans toucher la tige, le coup de foudre touchera le sol au point S_B .

. Cas *C*: si la sphère entre en contact simultanément avec la tige et le sol, le coup de foudre pourra toucher soit l'une soit l'autre, mais l'impact ne pourra jamais se produire dans la zone de protection de la tige verticale.

La zone de protection assurée par une tige verticale, dépendra de la sphère de rayon D_1 , de hauteur H , correspondant à un courant de foudre I_1 (**figure**).

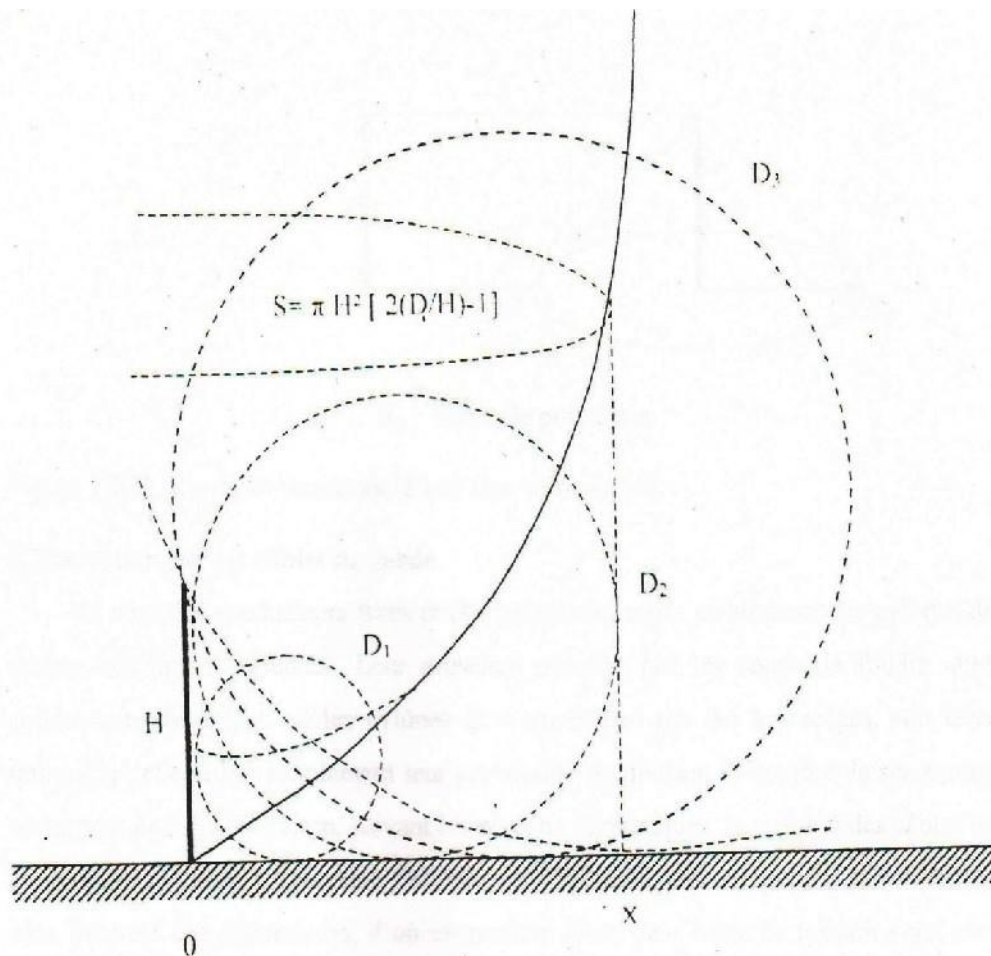


Figure III.8 : Méthode électro géométrique [2].

En particulier, si D est inférieur à H hauteur de la tige, le courant avec celle-ci peut avoir lieu bien au-dessus de la pointe. Considérons alors l'ensemble des sphères qui touchent simultanément la tige et le sol : le lieu des centres de ces sphères déterminera la zone d'attraction de la tige. On constate que, tant que $D < H$, le lieu est une droite issue du pied de la tige et inclinée à 45° . A l'instant où D

atteint la valeur H , et pour $D_1 >$, ce lieu devient une parabole P , M étant un point de cette parabole, et X sa projection à la surface du sol. La distance

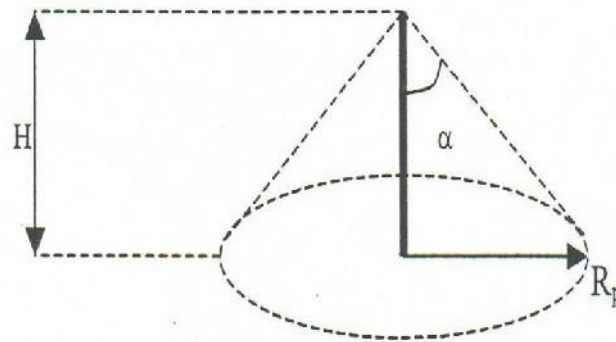
OX constituera le rayon de protection de la tige (**figure III.9**), relative à un coup de foudre d'une intensité donnée. Cette distance est donnée par l'expression :

$$OX = H\sqrt{(2D/H) - 1}$$

Avec : OX : Rayon de protection de la tige (m).

H : Hauteur de la tige (m).

D : Rayon de la sphère (m).



R_p : rayon de protection

Figure III.9 : Rayon de protection d'une tige verticale [2].

5 – 2 Conducteurs maillés :

La protection par cage maillée consiste en la réalisation sur le bâtiment d'une cage à mailles reliées à des prises de terre. Le système à cage maillée répartit l'écoulement des courants de foudre entre les diverses descentes, et ceci d'autant mieux que les mailles sont plus serrées. La largeur des mailles en toiture et la distance moyenne entre deux descentes dépendent du niveau de protection requis sur le bâtiment, [11].

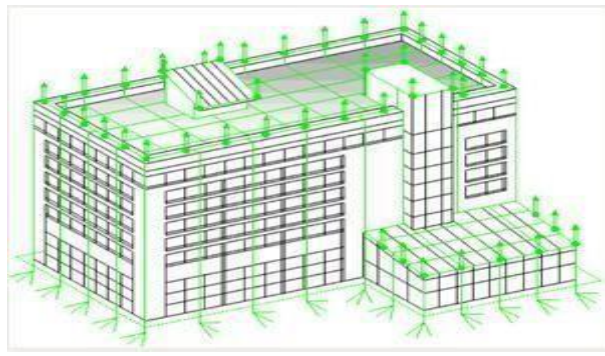


Fig 5.3. SPF de type conducteurs maillés

5-3 Fils tendus :

Ce système est composé d'un ou plusieurs fils conducteurs tendus au-dessus des installations à protéger. La zone de protection se détermine par application du modèle électro géométrique. Les conducteurs doivent être reliés à la terre à chacune de leur extrémité. L'installation de fils tendus nécessite une étude particulière tenant compte notamment de la tenue mécanique, de la nature de l'installation et des distances d'isolement. Le paratonnerre à fils tendus est plus particulièrement utilisé pour protéger des zones ouvertes lorsqu'il n'existe pas de support architectural, (figure 6.4), [11].

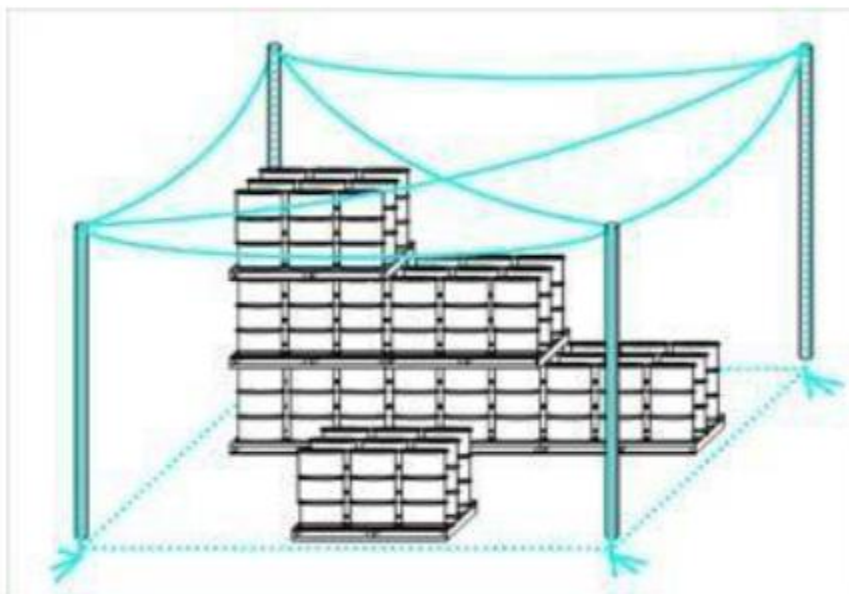


Fig 5.4. SPF type fils tendus

5 – 4 Paratonnerre à dispositif d'amorçage (PDA) :

Le principe du paratonnerre à dispositif d'amorçage est de générer artificiellement à l'aide d'un dispositif d'ionisation un traceur ascendant plus précoce que les autres traceurs ascendants naturels, et donc d'établir un point d'impact privilégié sur sa pointe,

La capture du coup de foudre étant plus rapide qu'avec un paratonnerre à tige simple, cette technologie permet de bénéficier de zones de protection plus étendues, assurant la protection de structures de grandes dimensions.

Le rayon de protection généré est fonction de la valeur de l'avance à l'amorçage du paratonnerre (Δt en μs), de sa hauteur, et de l'efficacité de la protection.

Conception d'un PDA :

Composition :

Un paratonnerre à dispositif d'amorçage est composé d'une pointe caprice, d'un dispositif d'amorçage et d'une tige support sur laquelle se trouve un système de connexion du conducteur de descente.

Le PDA est installé préférentiellement à l'endroit le plus élevé de la structure qui le supporte. Il est toujours le point élevé de la zone qu'il protège

Avance d'amorçage :

Un PDA est caractérisé par son avance à l'amorçage. Elle est mise en évidence lors d'essais d'évaluation.

C'est l'avance à l'amorçage Δt qui sert dans le calcul des rayons de protection. Elle s'exprime par

:

$$\Delta t = TPTS - TPDA$$

Avec :

TPTS : instant d'amorçage moyen d'un traceur ascendant d'un paratonnerre à tige simple (PTS). TPDA : instant d'amorçage moyen d'un traceur ascendant d'un paratonnerre à dispositif d'amorçage (PDA).

Zone protégée :

La zone protégée protection correspondant aux différentes hauteurs h considérées, [10].

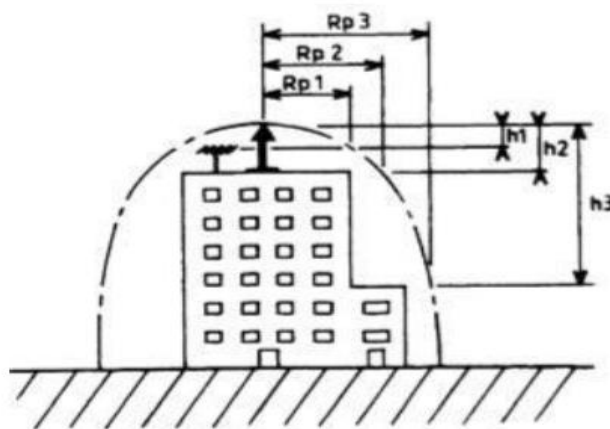


Fig.. Rayon de protection d'un PDA en fonction de la hauteur h

h_n est la hauteur de la pointe du PDA par rapport au plan horizontal passant par le sommet de l'élément à protégé considéré.

R_{pn} est le rayon de protection du PDA pour la hauteur considérée.

Rayon de protection :

Le rayon de protection d'un PDA dépend de sa hauteur (h) par rapport à la surface à protéger, de son avance à l'amorçage et du niveau de protection choisi.

$R_p = \sqrt{(H \times (2D - \Delta L) + \Delta L \times (2D + \Delta L))}$ pour $h \geq 5\text{m}$. R_p : rayon de protection.

H : hauteur de la pointe du PDA par rapport au plan horizontal passant par le sommet de l'élément à protéger.

D : 20 m pour le niveau 1. 45 m pour le niveau 2. 60 m pour le niveau 3.

ΔL : $\Delta L(\text{m}) = V(\text{m}/\mu\text{s}) \times \Delta t(\mu\text{s})$ avec :

Δt : avance à l'amorçage issue des essais d'évaluation des PDA.

Pour $h \leq 5\text{ m}$, on utilise la méthode graphique présentée dans la norme NF C 17-102

Avantages et inconvénients:

Un PDA présente les avantages suivants :

- Implantation possible du paratonnerre en dehors d'une zone dangereuse.
- Possibilité de protéger un ensemble de bâtiments avec le même paratonnerre.
- Économiquement intéressant
- Possibilité de protéger ensemble une structure et son environnement.
- Protection des zones ouvertes.

Il y'a quelques inconvénients d'un PDA comme la nécessité d'avoir une hauteur de paratonnerre minimale de 2 mètres et une contrainte de tenue mécanique des mâts.

Conclusion

Dans ce chapitre, il est présente les méthodes utilisé pour la protection contre la foudre , Après on proposé la méthode Sphère fictive pour la protection installation Dans le chapitre suivant, nous allons dimensionner Dimensionnement du système de protection contre la foudre

CHAPITRE 03

Étude et dimensionnement de système de protection sur la tour aéroporté d'Alger

1 – Introduction :

Dans ce dernier chapitre nous présentons quelques applications que nous avons réalisées dans notre mémoire de fin d'études.

Nous commençons par un exemple de validation de cette étude sur projet de la tour contrôle Aéro port d'Alger et choisie la méthode de protection contre la foudre .(la méthode sphère fictive , tige simple)

partir de ces résultats nous allons proposer des solutions pour la paratonnerre adéquate pour le cas concrets .

2 – 1. - DESCRIPTION DU TOUR DE CONTROLE D'AEROPORT D'ALGER

Le bâtiment est la Tour de Contrôle de l'aéroport d'Alger. Il s'agit d'un bâtiment de forme de tour circulaire, sur son sommet est située une salle de contrôle, depuis laquelle on dirige et on contrôle le trafic de l'aéroport, c'est-à-dire où est contrôlé le roulement, décollage, l'approximation et l'atterrissage des avions. La base du bâtiment est sensiblement rectangulaire avec une longueur d'environ 80 m et une largeur d'environ 50 m, avec une hauteur totale de 72,84 m.

La singularité de l'image de la tour vient définie par son concept structurel : le fût est circulaire, avec 12 ailettes en béton qui sont prolongées par sa base en parcourant tout le bloque technique en rez-de-chaussée, et qui supportent le fanal, aussi circulaire et les éléments de communication verticale. Les niveaux depuis lesquels démarre cette voyante structure, conformant une vaste base pour l'ensemble. (figure)



Fig 1 la tour de contrôle Aéroport d'Alger

3- Conception d'un système de protection tige simple :

3-1 Volume protégé par un dispositif de capture

La position du dispositif de capture est appropriée si la structure à protéger est complètement incluse dans le volume protégé par ce dispositif de capture.

3-2 Application de la méthode de la sphère fictive

Lors de l'utilisation de cette méthode, la position du dispositif de capture est appropriée si aucun point du volume à protéger ne vient en contact avec la sphère de rayon R , fonction du niveau de protection (voir tableau 3), roulant sur le sol, autour et sur la structure dans toutes les directions possibles.

C'est pourquoi la sphère ne pourra toucher que le sol et/ou le dispositif de capture (voir figure A1).

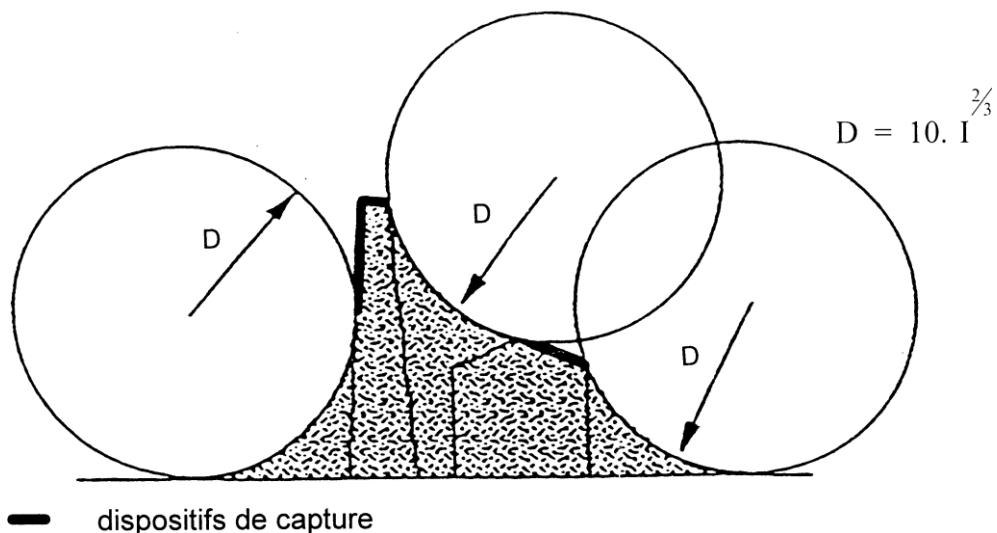


Figure 2 - Conception d'un dispositif de capture selon la méthode de la sphère fictive.

Les conducteurs de capture sont disposés en tout point ou segment en contact avec la sphère fictive. Le rayon de la sphère fictive devra correspondre au niveau de protection choisi.

Volume protégé par une tige de capture verticale

Le volume protégé par une tige de capture verticale est considéré comme ayant la forme d'un cône droit, d'axe la tige de capture et de demi-angle conforme aux valeurs du tableau 3 (fonction du niveau de protection et de hauteur la hauteur du dispositif de capture telle qu'indiquée au tableau 1).

Un exemple de volume protégé est donné en figure -3

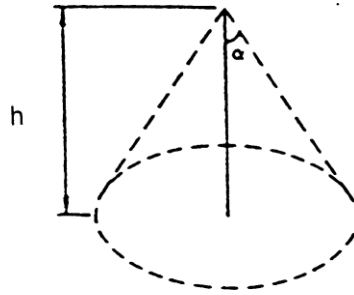


Figure 3 - Volume protégé par une tige de capture verticale

4-Dimensionnement du système de protection contre la foudre

a. Méthodologie de calcul :

Dans cette partie, on va déterminer les différents paramètres du calcul du risque foudre tels que :

- Niveau de protection requis.
- Le choix du système de protection.

Selon la norme NF C 17-102, le niveau de protection est évalué suivant deux paramètres :

- N_d : fréquence attendue des coups de foudre sur la structure.
- N_c : fréquence acceptée des coups de foudre sur la structure.

Si $N_d \leq N_c$ le système de protection contre la foudre n'est pas systématiquement nécessaire. Si $N_d > N_c$ un système de protection contre la foudre d'efficacité E doit être installé, sachant que :

$$E = 1 - N_c / N_d$$

Calcul de la fréquence attendue de coups de foudre N_d :

Le calcul de la fréquence attendue de coups de foudre directs sur une structure dépend des données suivantes :

- La surface de captation équivalente de la structure
- La densité de foudre locale
- L'environnement proche autour de la structure considérée.

La fréquence annuelle moyenne N_d de coups directs sur une structure est évaluée à partir de l'expression :

$$N_d = N_g \max. A_e \cdot C1 \cdot 10^{-6}$$

- N_g : densité de foudroiement locale (concernant la région où se situe la structure avec : $N_g \max = 0,04 N_k^{1,25}$ (voir Tab1.3, [10])

- N_k : niveau céramique (obtenue de la base de données METEORAGE).

N_k	5	10	15	20	25	30	35	40	45
N_{gmax}	0.3	0.7	1.2	1.7	2.2	2.8	3.4	4	4.7

tab 1.3. les valeurs de n_g max*

Calcule surface de captation :

-Pour un bâtiment rectangulaire, la surface de capture est :

A_e : surface équivalente de captation (en m^2).

$$A_e = L.l + 6.h1 (L+l) + 9 \pi.(h1)^2$$

Avec :

- L : longueur de la structure à protéger.

- l : largeur de la structure à protéger.

- h1 : hauteur de la structure à protéger.

-Pour bâtiment ayant une partie proéminente .La surface équivalente de la partie proéminente englobe tout ou partie de celle de la partie plus basse

$$A_e = 9\pi H^2$$

C_1 : Coefficient d'environnement (autour de la structure), défini dans le tableau ci-dessous

Situation relative de la structure	C_1
Structure située dans un espace où il y a des structures ou des arbres de même hauteur ou plus élevés	0,25
Structure entourée de plus petites structures	0,5
Structure isolée : pas d'autres structures à moins d'une distance 3H	1
Structure isolée au sommet d'une colline ou sur un promontoire	2

Détermination du coefficient d'environnement C_1

Calcule Fréquence acceptée de coups de foudre (N_C) sur une

structure :

Généralités:

Les valeurs de N_C sont estimées à travers l'analyse du risque de dommage en prenant en compte des facteurs appropriés tels que :

- le type de construction, C_2 ,
- le contenu de la structure, C_3
- l'occupation de la structure, C_4
- les conséquences du foudroiement C_5

Détermination de N_C :

Selon ce qui a été dit plus haut, quatre facteurs déterminants, donnés par les coefficients C_2 , C_3 , C_4 et C_5 doivent être évalués à l'aide des tableaux

Posons $C = C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$ par suite

$$N_C = \frac{5.5 \times 10^{-3}}{C}$$

C_2, coefficient structurel			
Toiture Structure	Métal	Commune	Inflammable
Métal	0,5	1	2
Courante	1	1	2,5
Inflammable	2	2,5	3

Tab 5.5. Determination du coefficient C_2

C_3, contenu de la structure	
Sans valeur et ininflammable	0,5
Valeur courante ou normalement inflammable	1
Forte valeur ou particulièrement inflammable	2
Valeur exceptionnelle, irremplaçable ou très inflammable, explosible	3

Determination du coefficient C_3

C_4, occupation de la structure	
Inoccupée	0,5
Normalement occupée	1
Evacuation difficile ou risque de panique	3

Determination du coefficient C_4

C_5, conséquences d'un foudroiement	
Pas de nécessité de continuité de service, et aucune conséquence sur l'environnement	1
Nécessité de continuité de service et aucune conséquence sur l'environnement	5
Conséquences pour l'environnement	10

Determination du coefficient C_5

La valeur de la fréquence acceptée de coups de foudre N_c sera comparée avec la valeur de la fréquence attendue de coups de foudre sur la structure N_d .

Cette comparaison permet de décider si un système de protection contre la foudre est nécessaire, et si oui, à quel niveau de protection :

- Si $N_d \leq N_c$, le système de protection contre la foudre n'est pas systématiquement nécessaire.

- Si $N_d \geq N_c$, un système de protection contre la foudre d'efficacité

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

est installé et le niveau de protection correspondant sélectionné selon le tableau suivant, [

E : Efficacité calculée	Niveau de protection correspondant	Courant crête I (KA)	Distance d'amorçage D (m)
$E > 0.98$	Niveau 1 + mesures complémentaires	-	-
$0.95 < E < 0.98$	Niveau 1	2.8	20
$0.80 < E < 0.95$	Niveau 2	9.5	45
$0 < E < 0.80$	Niveau 3	14.7	60

Niveaux de protection contre la foudre

b. Application numérique:

Dans notre cas, on a supposé (obtenue de la base de données météorologie d'Alger)

- $N_k = 10$, alors la valeur correspondante de $N_g \max = 0.7$

Pour déterminer la surface de capture de la tour il ya deux calcule surface :

1 - partie rectangulaire

- La surface équivalente $A_e = L.l + 6.h_1 (L+l) + 9 \pi.(h_1)^2$: On a :

□ $L = 80m$.

□ $l = 50 m$.

□ $h_1 = 72,84 m$.

Pour un bâtiment rectangulaire, la surface:

$$A_e = 80 \times 50 + 6 \times 72,84 (80 + 50) + 9 \times 3,14 \times (72,84)^2 = 377,69 \text{ m}^2$$

partie proéminente

$$A_e = 9 \pi \cdot (h)^2$$

$$A_e = 9 \cdot 3.14 (72,84)^2 = 149.93 \text{ m}^2$$

- La valeur de coefficient **C1 = 0.25.**

Alors, la valeur de $N_d = N_g \max. A_e \cdot C1 \cdot 10^{-6} = 0.016.$ (rectangulaire)

Application numérique $N_d = 3.14$ (proéminente)

Les valeurs de C2, C3, C4, C5:

$$\mathbf{C2 = 1}$$

$$\mathbf{C3 = 2}$$

$$\mathbf{C4 = 3}$$

$$\mathbf{C5 = 5}$$

$$C = C2 \times C3 \times C4 \times C5 = 30$$

Et la valeur de N_c est :

$$N_c = \frac{5.5 \times 10^{-3}}{C} = 0,18 \times 10^{-3}$$

Comme N_c est inférieur à N_d , alors la valeur de E égale :

$$E = 1 - N_c / N_d = 0.99$$

Et d'après le tableau, le niveau de protection contre la foudre correspondant au

$E = 0.99$ est : le niveau 1 avec un courant de crête de 2,8 KA

2- Choix de système de protection :

Pour dimensionner le paratonnerre tige simple , il faut avant calculer le rayon de protection R_P et hauteur h il faut utilisée Le logiciel OPR Designer produit (ABB)

Définition Le logiciel OPR Designer d'ABB :

Ce logiciel est idéal pour les consultants et les entrepreneurs travaillant dans le domaine de la protection contre la foudre, car il a été conçu pour fournir la solution optimale et modifiable pour la protection contre la foudre utilisant des PDA en un temps record.

Ce logiciel détermine le type et l'emplacement des paratonnerres sur une structure, ainsi qu'une liste détaillée des accessoires d'installation, des fixations et des composants de mise

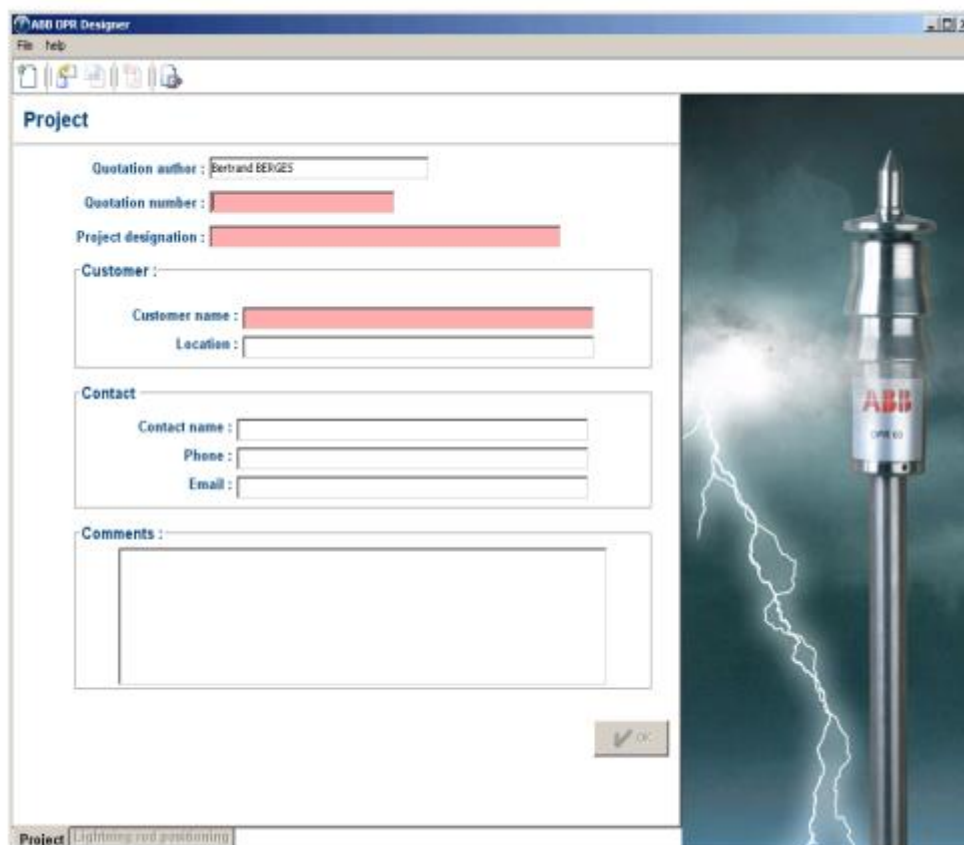
à la terre nécessaires. La mise en œuvre d'un système de protection contre la foudre comprenant des pylônes autoportants sur le site est également possible.

Les nomenclatures relatives à chaque étude de protection contre la foudre sont accessibles à tout moment dans le logiciel, et peuvent également être exportées vers un fichier Excel. Les détails de colisage des produits sont également inclus.

De plus, le logiciel permet de générer une étude complète et une nomenclature au format PDF en tenant compte de l'ensemble du projet, soit :

- Positionnement des paratonnerres sur un plan importé avec le rayon de protection défini dans l'étude (un plan qui peut être importé à partir d'une image, d'un fichier PDF, d'un fichier Autocad ou même d'une vue Google Earth) ,
- Liste complète et détaillée des composants nécessaires à la mise en œuvre,
- Les pages de catalogue décrivant les produits utilisés dans la conception de la protection,















Les certificats de test des paratonnerres PDA utilisés





Résultats :

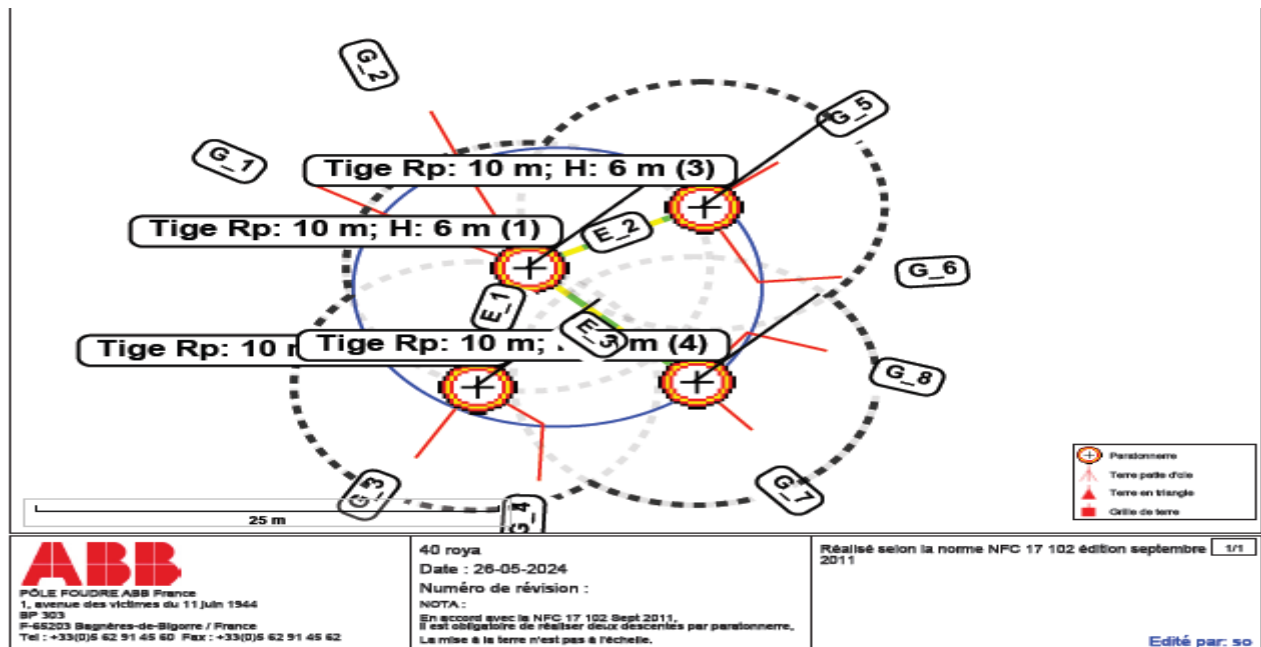
Après les données calculée :

Niveau de protection 1 et les dimensionnes de la tour (hateur , largeur , langue)
applique sur logiciel OPR **Designer**

	Référence	type	Désignation	Quantité
	2CTH010004R0000	B752182	Pointe et connecteur pour paratonnerre tige simple	4
	2CTH010002R0000	B752132	Hampe paratonnerre inox 2m	4
	2CTH050026R0000	B752177	Kit fixation mat inox d35/42	8
	2CTH070005R0000	B752169	Rallonge inox d.35mm lg.2m	4
	2CTH070007R0000	B752171	Rallonge inox d.42mm lg.2m	4
	2CTHCTSH4525	HCTSH4525	Trépied pour tube de 30 à 50 mm	4
	2CTH040002R0000	B752187	Ruban cuivre étamé 30 x 2 (50 m)	17
	2CTH040001R0000	B752186	Ruban cuivre étamé 30 x 2 (25 m)	1
	2CTH0BRH2779	H0BRH2779	Barrette "spéciale ruban" en cuivre	4
	2CTHCHPB2772	HCHPB2772	Plot support conducteur (clip)	216
	2CTH050032Z0000	B752185	Crampon maçonnerie 30mm (x20)	87
	2CTH050030Z0000	B752183	Cheville plomb pour crampon svt (x20)	87
	2CTH0TPH2705	H0TPH2705	Tube de protection pour ruban 30 x 2 mm	8
	2CTH0BRC2780	H0BRC2780	Barrette de raccordement cuivre	8

	2CTH0PSH2009	H0PSH2009	Plaque signalétique	8
	2CTH0CCF2004	H0CCF2004	Compteur de coups de foudre	4

Paratonnerre Tige simple



Schema de postponement des paratonnerres

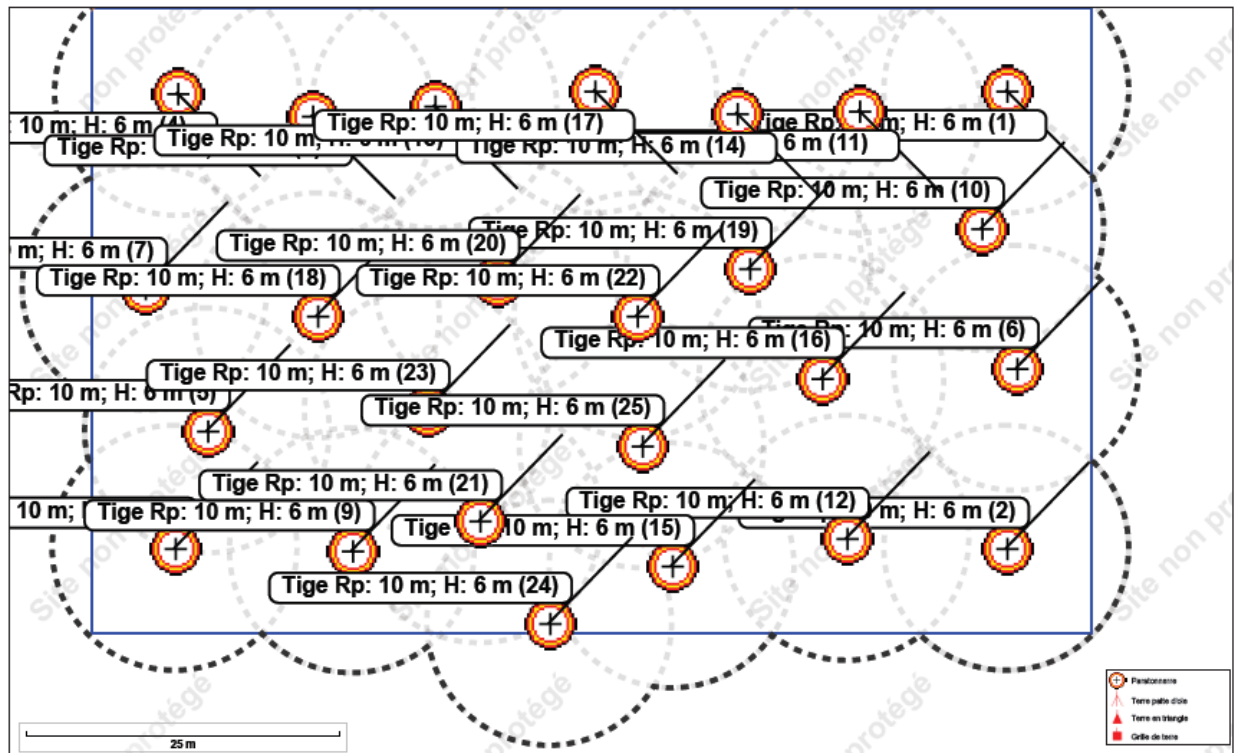


ABB
 PÔLE Foudre ABB France
 1, avenue des Victimes du 11 Juin 1944
 BP 303
 F-45200 Bagères-de-Bigorre / France
 Tel : +33(0)5 62 91 45 60 Fax : +33(0)5 62 91 45 62

40 la tour
 Date : 04-06-2024
 Numéro de révision :
 NOTA :
 En accord avec le NFC 17 102 Sept 2011,
 il est obligatoire de réaliser deux descentes par paratonnerre.
 La mise à la terre n'est pas à l'échelle.

Réalisé selon la norme NFC 17 102 édition septembre 2011
 1/1
 Édité par: so

Schéma de positionnement des paratonnerres tige simple

Conclusion :

Le dimensionnement d'un système de protection contre la foudre paratonnerre nécessite un calcul qui n'est pas vraiment très complexe, mais un calcul qui se répète plusieurs fois pour arriver à des résultats conformes aux normes internationales concernées.

Conclusion générale

Nous avons effectué notre stage de fin d'études en Electrotechnique, en tant qu'un ingénieur d'étude au sein de l'entreprise SOMAFE ELECTRIQUE. Nous avons mis en pratique nos connaissances théoriques acquises durant notre formation, tout en étant confronté aux difficultés réelles au monde du travail et management d'équipes. Après notre rapide intégration au sein de l'entreprise, nous avons eu l'occasion de réaliser un projet réel et une étude complète et pratique dans tous les niveaux.

Nous pouvons considérer que ce travail de fin d'études, s'est articulé autour de concerne le système de protection contre la foudre. On a fait une étude de foudre pour cette région, pour qu'on puisse faire un système de protection contre la foudre efficace et en respectant les normes internationales.

Ce stage a été très enrichissant ; il nous a permis de découvrir le domaine de l'étude et l'ingénierie, ses acteurs et ses contraintes. Il nous a permis de participer concrètement à ses enjeux à travers notre projet. Ce stage nous a permet comprendre la partie administratives et réglementaire à travers ses études de normes et des réglementations.

En conclusion, notre stage nous a permis de mettre en oeuvre des compétences scolaires, professionnelles et humaines pour un sujet intéressant, et il a vraiment confirmé nos ambitions futures d'exercer dans un domaine pareil, même s'il nous reste encore beaucoup à apprendre.