

ANALYSE DU RISQUE Foudre COGENERATION DBI

Egis Industries Agence de Lyon
Pôle Industrie – Département CEM/Foudre
170 avenue Thiers – 69455 Lyon Cedex 06 – France
Tél +33 (0) 4 37 72 21 00 - Fax +33 (0) 4 37 72 21 05

Egis Industries

4 rue Dolorès Ibaruri - TSA 50012 - 93188 Montreuil Cedex – France
Tél + 33 (0) 1 73 13 19 00 - Fax + 33 (0) 1 73 13 19 05 – contact.egis-industries@egis.fr – www.egis.fr
S.A.S au capital de 500.000 € - SIRET 652 030 677 00221 - SIREN 652 030 677 - R.C.S. Bobigny
N° identification intracommunautaire FR 34 652 030 677 - Code APE 7112 B

ANALYSE DU RISQUE Foudre COGENERATION DBI
--

Référence document
DCE EIPI TTZN FDE NTE 001
Affaire : ENMA017

Résumé : Cette note présente les résultats de l'Analyse du Risque Foudre (ARF) de la future Cogénération implantée sur le site des PAPETERIES PALM par DBI.

Mots clés : Foudre, paratonnerre, parafoudre, ICPE.

Etablissement	Vérification	Approbation	Rév
			B

TABLE DES MODIFICATIONS

Rév	Date	Objet
A	14/06/2016	Edition originale
B	24/06/2016	Prise en compte des remarques Client

SOMMAIRE

1.	OBJET DE L'ÉTUDE	6
2.	DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	6
2.1	Textes réglementaires	6
2.2	Normalisation pour la protection contre la foudre	6
2.3	Données d'entrée	7
3.	METHODOLOGIE	8
3.1	Méthodologie générale	8
3.2	Périmètre de l'arrêté ICPE	9
3.3	ICPE visés par l'arrêté	9
4.	PRESENTATION DU SITE	10
4.1	Activité du site	10
4.2	Localisation géographique	10
4.3	Densité de foudroiement	10
4.4	Protection foudre existante	10
4.5	Moyens de prévention incendie	11
4.6	Réseau de terre	11
5.	IDENTIFICATION DES RISQUES	12
5.1	Liste des ICPE	12
5.2	Installations ressortant de l'étude de dangers	12
5.2.1	<i>Événements vis-à-vis desquels la foudre peut être un phénomène initiateur</i>	13
5.2.2	<i>Équipements importants pour la sécurité/sûreté</i>	13
5.2.3	<i>Canalisations et racks</i>	14
5.4	Synthèse des installations prises en compte	15
7.	CALCULS PROBABILISTES DU RISQUE Foudre	16
7.1	Principe	16
7.2	Paramètres retenus pour le calcul du risque	17
7.2.1	<i>Risques calculés</i>	17
7.2.2	<i>Principales hypothèses des calculs</i>	17
7.2.3	<i>Données d'entrée pour l'évaluation du risque de la Cogénération</i>	19
7.3	Résultats des calculs probabilistes sans protection	23
7.4	Analyses et réévaluations du risque de dommages avec protections	23
7.4.1	<i>Cogénération</i>	23
8.	SYNTHESE DES BESOINS EN PROTECTION ET EN PREVENTION	25
8.1	Protections à mettre en œuvre	25
8.1.1	<i>Suite aux calculs probabilistes selon la norme NF EN 62305-2</i>	25
8.1.2	<i>Protection déterministe</i>	25
8.2	Prévention à mettre en œuvre	26
8.2.1	<i>Suite aux calculs probabilistes selon la norme NF EN 62305-2</i>	26
8.2.2	<i>Protection déterministe</i>	26
9.	CONCLUSION	26
10.	ANNEXE 1 : PRINCIPE DE LA NORME NF EN 62305-2	27
11.	ANNEXE 2 : TABLEAUX DE VALEURS DES COEFFICIENTS DE LA NORME NF EN 62305-2	32
12.	ANNEXE 3 : DETAILS DES CALCULS JUPITER	37

ACRONYMES

ARF	Analyse du Risque Foudre
ATEX	ATmosphère Explosive
BT	Basse Tension
CEM	Compatibilité ElectroMagnétique
CFA	Courants Faibles
CFO	Courants Forts
EDD	Etude De Dangers
EIS / EIPS	Equipement Important pour la Sécurité/Sûreté
ET	Etude Technique
HT	Haute Tension
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IEPF	Installation Extérieure de Protection contre la Foudre
IIPF	Installation Intérieure de Protection contre la Foudre
LIE	Limite Inférieure d'Explosivité
LSE	Limite Supérieure d'Explosivité
MALT	Mise à la terre
PDA	Paratonnerre à Dispositif d'Amorçage
SPF	Système de Protection contre la Foudre
ZPF	Zone de Protection Foudre

DEFINITIONS

Arc : Impulsion de courant dans un éclair nuage-sol.

Densité d'Arc (DA) : Nombre d'arc par km² et par an.

Densité de foudroiement (Ng) : Nombre de coups de foudre par km² et par an.

Parafoudre : Dispositif destiné à limiter les surtensions transitoires et à écouler les courants de foudre.

Paratonnerre : Dispositif destiné à protéger les bâtiments des effets de la foudre.

1. OBJET DE L'ÉTUDE

Ce document représente l'ARF de la future Cogénération implantée sur les PAPETERIES PALM par DBI.

2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

2.1 Textes réglementaires

- Arrêté du 4 octobre 2010 modifié relatif à la prévention des risques accidentels au sein des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation – section III : dispositions relatives à la protection contre la foudre.
- Arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées (abrogé par l'arrêté du 19 juillet 2011).
- Circulaire du 24 avril 2008 relative à l'arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées.

2.2 Normalisation pour la protection contre la foudre

Les textes de référence concernant la protection des installations contre la foudre sont :

- Norme NF EN 62305-1 : Protection contre la foudre - Partie 1 : Principes généraux (Juin 2006).
- Norme NF EN 62305-2 : Protection contre la foudre - Partie 2 : Evaluation des risques (Novembre 2006).
- Norme NF EN 62305-3 : Protection contre la foudre - Partie 3 : Dommages physiques sur les structures et risques humains (Décembre 2006).
- Norme NF EN 62305-4 : Protection contre la foudre - Partie 4 : Réseaux de puissance et de communication dans les structures (Décembre 2006).
- Norme NF EN 61643-11 : Dispositifs de protection contre les surtensions connectés aux réseaux de distribution basse tension : Partie 1 : Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essais.
- Norme NF EN 61643-12 : Parafoudres basse tension – Partie 12 : Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Principe de choix et d'application (Février 2002).
- Norme NF EN 61643-21 : Parafoudres basse tension – Partie 21 : Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essais (Septembre 2000).
- Norme NF EN 61643-22 : Parafoudres basse tension – Partie 22 : Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Principe de choix et application (Novembre 2004).
- Normes NF EN 50164 : Relatives aux composants utilisés dans les systèmes de protection contre la foudre (SPF) (partie 1 à 3).
- Normes NF EN 62561 : Relatives aux composants utilisés dans les systèmes de protection contre la foudre (SPF) (partie 4 à 7).

- Norme NF C 15-100 : Installations électriques basse tension (Compil Juin 2015).
- Norme NF C 17-102 : Protection contre la foudre - Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage.
- Guide UTE C 15-443, § 7 et 8 : Protection des installations électriques basse tension contre les surtensions d'origine atmosphérique ou dues à des manœuvres - Choix et installations des parafoudres (Août 2004).
- Guide UTE C 17-100-2 : Protection contre la foudre - Partie 2 : évaluation des risques (Janvier 2005).
- Guide UTE C 17-106 : Guide pratique – compteurs de coup de foudre.
- Guide INERIS DCE-10-109423-00628B : Protection contre la foudre des installations classées pour la protection de l'environnement - Appréciation des documents exigibles en application de l'arrêté foudre du 15 janvier 2008.
- Guide INERIS DRA-11-111777-04213A : Protection contre la foudre des installations classées pour la protection de l'environnement – formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs.
- Rapport n° 2013/01 du GESIP : Protection des Installations Industrielles contre les effets de la foudre (Juillet 2013).
- Document INERIS : Prise en compte du risque foudre en atmosphères explosibles.
- Rapport de l'INERIS : Evaluation de l'efficacité des PDA.

2.3 Données d'entrée

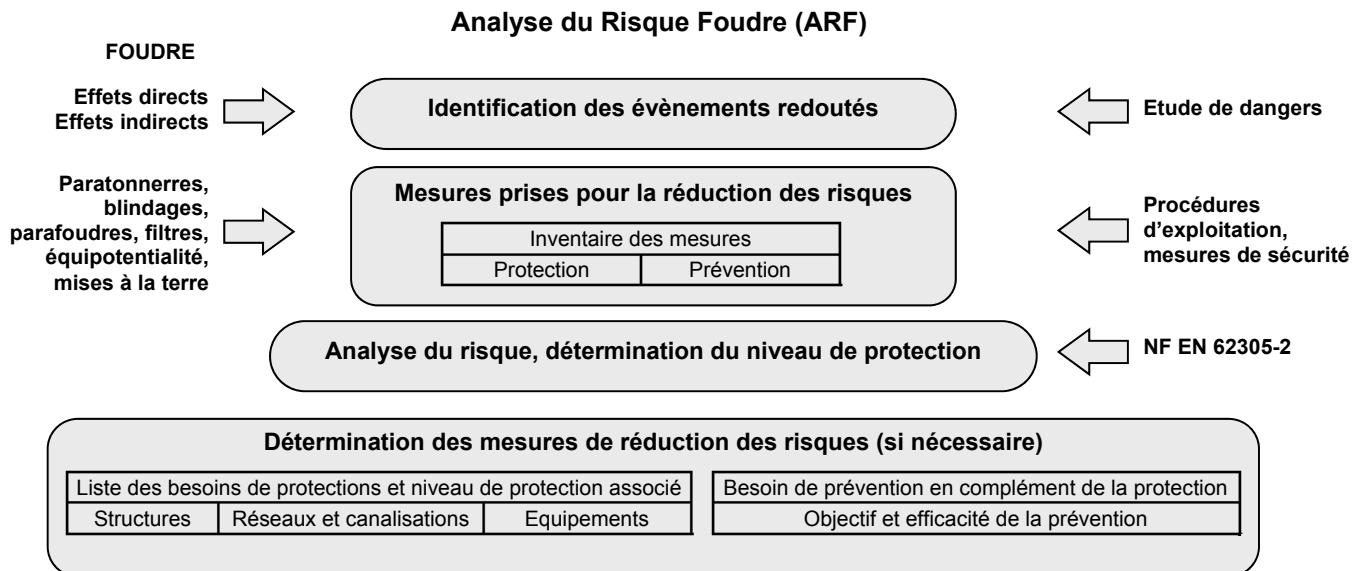
Libellé du document	Référence	Ind	Date
Etude foudre ALAIN MACE	-	-	-
Analyse du Risque Foudre APAVE	09256162_01_01	-	08/02/2010
Etude Technique Foudre : <ul style="list-style-type: none"> ◆ Vérification et Cahier des charges ◆ Notice de vérification et de maintenance 	11355861	-	08/06/2012

3. METHODOLOGIE

3.1 Méthodologie générale

La démarche adoptée, basée sur celle proposée par l'arrêté du 4 octobre 2010 modifié (voir schéma ci-dessous), comprend en particulier les points suivants :

- Description des structures et des mesures de protections existantes,
- Identification des structures à étudier et des risques associés,
- Évaluation probabiliste du risque pour ces structures et détermination du niveau de protection nécessaire,
- Conclusions sur les dispositions à prendre.



3.2 Périmètre de l'arrêté ICPE

L'arrêté ministériel du 4 octobre 2010 modifié stipule dans son article 16 qu'une agression par la foudre sur certaines installations classées pourrait être à l'origine d'événements susceptibles de porter atteinte, directement ou indirectement, aux intérêts visés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement (protection de l'environnement et des personnes).

Code de l'Environnement : Article L. 511-1 :

(Loi n° 2001-44 du 17 janvier 2001 art. 11 IV Journal Officiel du 18 janvier 2001)
Sont soumis aux dispositions du présent titre les usines, ateliers, dépôts, chantiers et, d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui **peuvent présenter des dangers ou des inconvénients** soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature et de l'environnement, soit pour la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique.

Les dispositions du présent titre sont également applicables aux exploitations de carrières au sens des articles 1er et 4 du code minier.

3.3 ICPE visés par l'arrêté

Les ICPE visées à la section III - article 16 de l'arrêté sont les installations soumises à autorisation dont le numéro de rubrique de la nomenclature des Installations Classées figure dans la liste ci-dessous :

- les rubriques 47, 70 ;
- toutes les rubriques de la série des 1000 et des 4000 ;
- les rubriques 2160, 2180, 2225, 2226, 2250, 2260, 2345, 2410, 2420 à 2450, 2531, 2541 à 2552, 2562 à 2670, 2680, 2681 et 2750 ;
- les rubriques 2714, 2717, 2718, 2770, 2771, 2782, 2790, 2791, 2795 et 2797 ;
- les rubriques 2910 à 2920, 2940 et 2950.

4. PRESENTATION DU SITE

4.1 Activité du site

Le site d'implantation (site « d'accueil ») de la Cogénération projetée est une papeterie de la société PALM.

4.2 Localisation géographique

La future Cogénération sera implantée en lieu et place de la cogénération existante dans l'enceinte de la papeterie PALM située sur la commune de Descartes (37160).

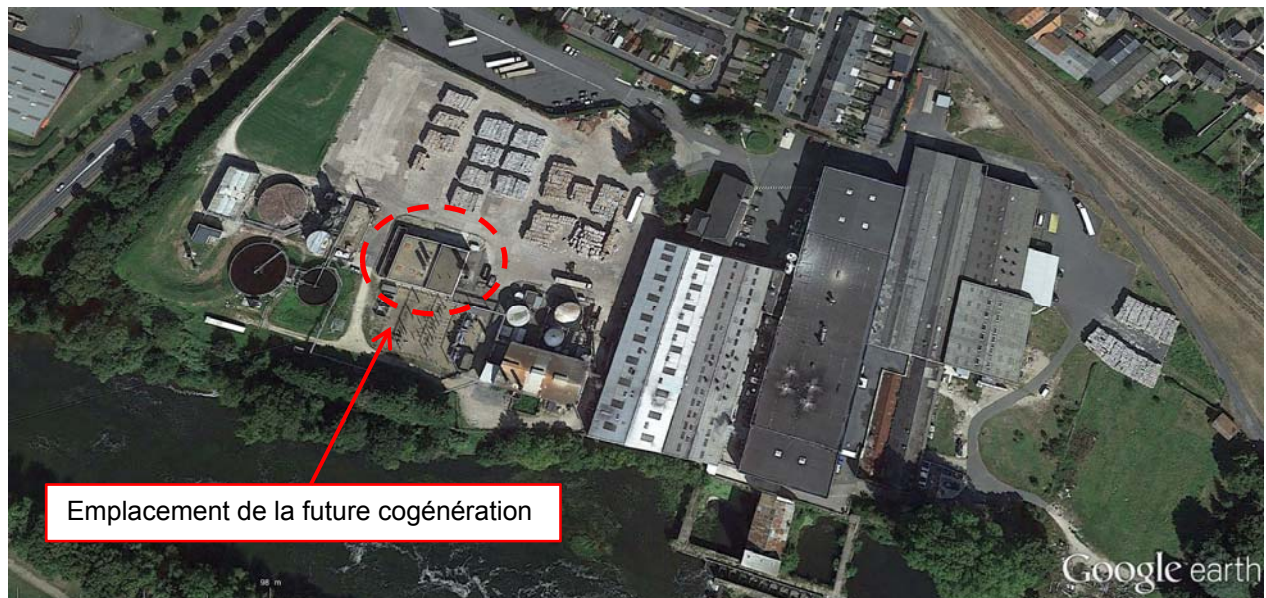


Figure 1 : Emplacement de la future cogénération au sein de la Papeterie Palm (vue GoogleEarth)

4.3 Densité de foudroiement

La densité de foudroiement N_g est fournie par Météorage à partir des données du réseau de détection des impacts de foudre pour la période 2006-2015.

Commune : Descartes (37)

Densité d'arcs : **1,17** arcs par an et par km^2 .

Nota : la valeur moyenne de la densité d'arcs, en France en 2016, est de 1,53 arcs / km^2 / an.

4.4 Protection foudre existante

La nouvelle cogénération sera implantée dans un bâtiment existant, déjà équipé d'une protection foudre (voir étude foudre ALAIN MACÉ et ARF APAVE en 2010).

Un PDA est implanté au sommet de la cheminée qui sera déposée dans le projet de remplacement de la cogénération.

4.5 Moyens de prévention incendie

Le projet implique la réorganisation de la DAI avec les installations existantes ou leur remplacement.

Il est prévu :

- ◆ une détection incendie dans le Hall chaufferie, les locaux techniques et la salle de contrôle de la Cogénération.
- ◆ La récupération des reports d'alarme et détections existantes des locaux 20kV (SPACIO 10 et DM6).
- ◆ L'interface de déclencheurs manuels, la détection incendie spécifique de la turbine à gaz, ...

4.6 Réseau de terre

Le maillage général des prises de terre selon le rapport APAVE de 2010, référencé 09256162_01_01, est ainsi constitué :

- Prise de terre de type fond de fouilles constituée par une boucle principale en conducteurs cuivre nu de 120mm² complétée par une boucle secondaire en conducteurs cuivre nu de 29mm².
- L'ensemble constitue un réseau maillé qui est interconnecté au poste de livraison et aux installations de la papeterie PALM.

5. IDENTIFICATION DES RISQUES

5.1 Liste des ICPE

Le tableau suivant regroupe les ICPE liées à la future cogénération.

Rub.	Désignation	Régime ⁽¹⁾
2910A	Combustion. Lorsque l'installation consomme exclusivement, seuls ou en mélange, du gaz naturel, des gaz de pétrole liquéfiés, du fioul domestique, du charbon, des fiouls lourds, de la biomasse telle que définie au a ou au b (i) ou au b (iv) de la définition de biomasse, des produits connexes de scierie issus du b (v) de la définition de biomasse ou lorsque la biomasse est issue de déchets au sens de l'article L. 541-4-3 du code de l'environnement, à l'exclusion des installations visées par d'autres rubriques de la nomenclature pour lesquelles la combustion participe à la fusion, la cuisson ou au traitement, en mélange avec les gaz de combustion, des matières entrantes.	A
3110	Combustion de combustibles dans des installations d'une puissance thermique nominale totale égale ou supérieure à 50 MW	A
⁽¹⁾ A : Autorisation D : Déclaration DC : Déclaration Soumis au Contrôle périodique prévu par l'article L.512-11 du code de l'environnement E : Enregistrement		

Nota : Les ICPE soumises à déclaration et non classées ne sont pas concernées par l'arrêté du 4 octobre 2010 modifié et les risques qu'elles présentent sont limités étant donné les faibles quantités.

5.2 Installations ressortant de l'étude de dangers

Conformément au document INERIS OMEGA 3 référencé DRA-11-111777-04213A, l'ARF doit s'appuyer sur l'étude de dangers réalisée sur le site et porter sur les installations vis-à-vis desquelles la foudre peut présenter un risque majeur. Les critères à retenir pour savoir si la méthode d'analyse du risque doit être appliquée pour une structure sont les suivants :

- Un scénario d'accident a été retenu et la foudre peut être un événement initiateur.
- Un matériel électrique ou électronique défini comme important pour la sécurité et dont la défaillance peut conduire au phénomène dangereux est situé dans la structure.

Sur un site industriel, la foudre peut avoir des interactions dangereuses avec de nombreux produits, équipements, structures ou substances.

Ainsi, les événements à considérer pouvant être initiés par la foudre pour les installations industrielles peuvent être de diverses natures :

- percement d'équipements métalliques au point d'impact de la foudre,
- incendie et/ou explosion suite à des amorçages,
- défaillance ou dysfonctionnement de matériels électriques ou électroniques.

Le but des paragraphes suivants est de définir quels sont les risques présentés par le site pouvant être initiés par le phénomène foudre.

5.2.1 Evénements vis-à-vis desquels la foudre peut être un phénomène initiateur

Le DDAE du remplacement de la cogénération implantée sur les PAPETERIES PALM identifie différents événements redoutés. Le but de ce paragraphe est d'analyser ceux qui peuvent avoir le phénomène foudre comme événement initiateur.

	Evènements redoutés	La foudre peut être un facteur déclenchant ou aggravant	commentaire
Partie aérienne hors bâtiment	Feu torche sur canalisation aérienne basse pression (9 barg)	Oui	Un impact de foudre peut être à l'origine d'un percement de canalisation quand l'épaisseur de celle-ci est inférieure à 4 mm.
	UVCE sur canalisation aérienne basse pression (9 barg)	Oui	Un impact de foudre peut être à l'origine d'un percement de canalisation quand l'épaisseur de celle-ci est inférieure à 4 mm.
	Feu torche sur canalisation aérienne moyenne pression (25 barg)	Oui	Un impact de foudre peut être à l'origine d'un percement de canalisation quand l'épaisseur de celle-ci est inférieure à 4 mm.
	UVCE sur canalisation aérienne moyenne pression (25 barg)	Oui	Un impact de foudre peut être à l'origine d'un percement de canalisation quand l'épaisseur de celle-ci est inférieure à 4 mm.
Bâtiment	Explosion confinée dans bâtiment cogénération	Non	Un impact de foudre ne peut être à l'origine directement d'une fuite de gaz à l'intérieur du bâtiment Cogénération engendrant l'explosion

5.2.2 Equipements importants pour la sécurité/sûreté

Une analyse de la sensibilité des équipements importants pour la sécurité/sûreté est présentée dans le tableau suivant :

Equipement	Sensibilité à la foudre	Besoin en protection
Détection gaz et incendie ; Automate de sécurité	Oui	Prévoir parafoudre adapté
Moyens d'extinction incendie	Non	Sans Objet

D'une manière générale, le besoin en protection des équipements sensibles à la foudre sera traitée de façon déterministe au niveau de l'étude technique car la méthode d'évaluation du risque proposée par la norme NF EN 62305-2 n'est pas adaptée dans ce cas.

5.2.3 Canalisations et racks

Il y a risque d'étincelage entre canalisations métalliques si une discontinuité électrique est présente. En effet, ces structures sont le siège, par effets directs ou indirects de la foudre, d'une élévation de potentiel causée soit par l'écoulement du courant de foudre dans la structure, soit par l'influence du champ électromagnétique rayonné.

En cas de coup de foudre sur les canalisations présentes en surface et sur les racks, il y a un risque d'échauffement ou de percement au point d'impact. Le nombre important de ces canalisations ainsi que leurs relatives proximités les unes par rapport aux autres engendrent un risque d'étincelage dû à l'apparition de fortes différences de potentiels.

L'utilisation de l'enveloppe métallique des canalisations comme éléments de capture et d'écoulement des courants de foudre est possible sous certaines conditions. Ces dernières sont liées :

- Aux caractéristiques mécaniques de l'enveloppe ;
En raison de leur conception, les canalisations constituent une cage de Faraday. Ces dernières sont, de par la nature et les caractéristiques de leur structure, notamment le mode d'assemblage des tôles et l'épaisseur de l'enveloppe d'acier, capable d'écouler la majorité des courants de décharge atmosphérique vers la terre sans provoquer un échauffement de l'enveloppe métallique suffisant pour atteindre la température d'auto inflammation du contenu. Les épaisseurs minimales à considérer dépendent de la nature du matériau et sont de l'ordre de à 4mm (acier galvanisé, inox) selon la norme NF EN 62305-3.
- Au niveau d'équipotentialité des masses métalliques composant les canalisations ;
L'utilisation de l'enveloppe métallique des canalisations comme structure de capture est possible à condition de s'assurer de l'équipotentialité de toutes les masses reliées à l'enveloppe des canalisations.
- Au niveau de courants impulsionnels de forte intensité pouvant transiter le long des canalisations vers les installations situées à l'une ou l'autre extrémité. Le risque à considérer est donc la propagation de surtensions vers les installations raccordées à ces canalisations qui sont soumises à autorisation.

Le montage classique d'un joint entre deux brides métalliques boulonnées ne présente aucun risque de détérioration en cas de passage d'un courant de foudre.

Les boulons, même si la tuyauterie est peinte, assurent le passage du courant.

Pour les réservoirs et tuyauteries enterrées sous protection cathodique, les moyens de protection contre la foudre doivent respecter cette protection qui reste prioritaire pour maîtriser les risques de corrosion.

Ainsi, des mesures de protection contre les effets de la foudre seront préconisées lors de l'étude technique.

5.4 Synthèse des installations prises en compte

Suite à l'analyse des paragraphes précédents, la protection contre les effets de la foudre de la future cogénération sera conduite. Une analyse des probabilités de dommages dus à la foudre sera effectuée au paragraphe suivant de manière globale (effets directs et indirects) en utilisant la norme NF EN 62305-2.

Par ailleurs une analyse déterministe sera menée pour les éléments suivants :

- Canalisations extérieures,
- Automate de sécurité.

7. CALCULS PROBABILISTES DU RISQUE Foudre

Dans le cadre de cette étude, les calculs probabilistes sont basés sur la norme NF EN 62305-2. La méthode proposée dans ces documents consiste à évaluer les probabilités des dommages liés aux effets de la foudre et à les comparer aux niveaux acceptables définis dans la norme. La nécessité de mettre en place des protections en découle.

Tous les calculs sont réalisés par le logiciel JUPITER version 2.0.1.

7.1 Principe

La norme NF EN 62305-2 propose une évaluation des risques de dommages dus à la foudre.

Ce guide, appliqué dans le cadre général, identifie 4 types de pertes dues à la foudre :

- L1: Perte de vie humaine ;
- L2: Perte de service public ;
- L3: Perte d'héritage culturel ;
- L4: Perte de valeurs économiques (structure et son contenu, service et perte d'activité).

Dans le cadre de l'application de l'arrêté du 4 octobre 2010 modifié, seule la perte de vie humaine L1 est retenue.

Le risque R1, lié à la perte de vie humaine L1, est la somme de plusieurs composantes. Dans une première formulation, ces composantes peuvent être regroupées en fonction de la source de dommage, c'est à dire en fonction du lieu de l'impact par rapport à la structure considérée :

$$\begin{array}{ccccccc}
 R1 & = & R_A + R_B + R_C & + & R_M & + & R_U + R_V + R_W & + & R_Z \\
 & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow \\
 & & \text{Impact sur la structure} & & & & \text{Impact sur le service} & & \\
 & & & & \Downarrow & & & & \Downarrow \\
 & & & & \text{Impact à proximité de la structure} & & & & \text{Impact à proximité du service}
 \end{array}$$

Dans la seconde formulation, présentée ci-dessous, les composantes élémentaires du risque R1 sont regroupées en fonction du type de dommage :

$$\begin{array}{ccccccc}
 R1 & = & R_A + R_U & + & R_B + R_V & + & R_C + R_M + R_W + R_Z \\
 & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow \\
 & & \text{Electrisation à l'intérieur ou à l'extérieur} & & & & \text{Dommages corporels par défaillance de matériel} \\
 & & & & \Downarrow & & \\
 & & & & \text{Dommages physiques incendie, explosion} & &
 \end{array}$$

Ces différentes composantes élémentaires sont calculées à partir de l'activité orageuse, de la nature et des dimensions de la structure, des produits stockés et des risques particuliers liés à l'activité. Les mesures de prévention et de protection existantes sont prises en compte (système de détection incendie, ...). Une présentation plus détaillée de ces composantes figure en annexe 1. Les valeurs des principaux paramètres permettant de calculer le risque R1 sont regroupées à l'annexe 2.

Le risque R_1 calculé est comparé à un risque tolérable R_T défini par la norme NF EN 62305-2.

Si $R_1 > R_T \Rightarrow$ Le risque n'est pas tolérable. Des mesures de protection appropriées doivent être mises en place afin d'obtenir après un nouveau calcul $R_1 \leq R_T$.

Si $R_1 \leq R_T \Rightarrow$ Le risque est tolérable. Aucune mesure complémentaire de protection ou de prévention n'est obligatoire.

Le seuil de risque tolérable R_T pour la perte de vie humaine est fixé à 10^{-5} par la norme NF EN 62305-2.

7.2 Paramètres retenus pour le calcul du risque

Les principales données d'entrée pour l'application de NF EN 62305-2 sont présentées dans les paragraphes qui suivent. L'annexe 3 rassemble l'ensemble des données d'entrée du logiciel JUPITER ainsi que le détail des calculs.

7.2.1 Risques calculés

Dans le cadre de cette étude, les composantes du risque R_1 retenues sont présentées dans le tableau suivant.

Source de dommage	Nature du risque		Retenu
Impact sur la structure	Blessures par tension de pas ou de contact à l'extérieur	R_A	✓
	Incendie ou explosion	R_B	✓
	Défaillance des réseaux internes	R_C	
Impact à proximité de la structure	Défaillance des réseaux internes	R_M	
Impact sur un service	Blessures par tension de contact à l'intérieur	R_U	✓
	Incendie ou explosion	R_V	✓
	Défaillance des réseaux internes	R_W	
Impact à proximité du service	Défaillance des réseaux internes	R_Z	

Les composantes liées aux défaillances des réseaux internes $R_C + R_M + R_W + R_Z$ n'ont pas été retenues car les structures étudiées :

- ne présentent pas de liaisons électriques pénétrant dans une zone ATEX de type 0 (risque d'explosion),
- ne contiennent pas de réseaux internes dont la défaillance mettrait immédiatement en danger la vie des personnes.

7.2.2 Principales hypothèses des calculs

- Choix de N_g

La valeur de la densité de foudroiement retenue est la valeur de densité d'arc donnée au paragraphe 4.3, soit

$$N_g = 1,17 \text{ coups de foudre / km}^2 \text{ / an}$$

- Choix de la résistivité du sol

N'ayant pas de données précises sur la résistivité globale du site, la résistivité retenue par défaut sera de 500 $\Omega \cdot m$.

- Choix de du coefficient rf lié au risque incendie :

Ce choix a été fait en application du rapport GESIP selon le tableau suivant qui complète le tableau C4 de la norme :

Risque d'incendie	Charge calorifique MJ/m ²	rf
Explosion <i>ou</i> ATEX Z0/Z20		1
Elevée <i>ou</i> ATEX Z1/Z21	> 800	10 ⁻¹
Ordinaire	> 400 et < 800	10 ⁻²
Faible <i>ou</i> ATEX Z2/Z22	< 400	10 ⁻³
Aucun		0

7.2.3 Données d'entrée pour l'évaluation du risque de la Cogénération

7.2.3.1 Données générales

Lignes externes

Les lignes externes connectées à cette structure sont les suivantes :

1. Liaisons HTA et CFA avec le poste BM6
2. Liaisons BT et CFA avec le poste SPACIO 10
3. Liaisons CFA avec le bâtiment Usine Papeterie Palm
4. Liaisons CFA avec le poste de livraison Gaz
5. Liaisons CFA avec le bâtiment Chaudières 1 & 2 (chaufferie Palm)
6. Liaisons téléphoniques avec le bâtiment Administratif

Zones selon NF EN 62305-2

2 zones sont définies :

- Zone Z1 : Intérieur de la structure.
- Zone Z2 : Extérieur de la structure.

7.2.3.2 Paramètres pour la structure

Le tableau suivant présente les valeurs retenues pour la structure étudiée.

Paramètre	Symbole	Valeur retenue
Type de structure	-	Industriel
Dimensions (m)	L	35 m
	l	25 m
	h	9 m
Points hauts : Cheminées	h max	35 m
Nature de structure	-	Béton
Emplacement de la structure	C_d	Entourée d'objets plus petits
Protection contre la foudre de la structure	P_B	Aucune

Justification des choix de coefficients :

⇒ Facteur d'emplacement (C_d) : la structure est située à proximité d'autres installations de hauteurs plus petites.

⇒ Protection contre la foudre de la structure (P_B) : le calcul probabiliste du risque foudre sert à déterminer le niveau de protection contre la foudre nécessaire pour la structure étudiée. Le système de protection foudre existant sera pris en compte au niveau de l'étude technique.

7.2.3.3 Caractéristiques des lignes

Les tableaux suivants présentent les valeurs retenues pour les différentes lignes.

N° liaisons		1	2	3
PARAMETRES		Poste BM6	Poste SPACIO 10	Bât. Usine Palm
Type de ligne	-	Signal - Souterrain	Signal - Aérien	Signal - Aérien
Résistivité du sol ($\Omega.m$)	ρ	500	-	-
Longueur de la ligne (m)	L_C	5	15	100 ⁽²⁾
Hauteur de la ligne si aérienne (m)	H	-	9	9
Longueur de la structure adjacente (m)	A	6,5	10,5	200 ⁽¹⁾
Largeur de la structure adjacente (m)	B	2,5	3	180 ⁽¹⁾
Hauteur de la structure adjacente (m)	H_a	3	3	30 ⁽¹⁾
Position de la structure adjacente	C_{da}	Entourée d'objets plus hauts	Entourée d'objets plus hauts	Entourée d'objets plus petits
Facteur d'emplacement de la ligne	C_d	Entourée d'objets plus hauts	Entourée d'objets plus hauts	Entourée d'objets plus hauts
Correction dû à transformateur à l'entrée de la structure étudiée	C_t	Non	Non	Non
Facteur d'environnement de la ligne	C_e	Urbain (20m>h>10m)	Urbain (20m>h>10m)	Urbain (20m>h>10m)
Qualité de l'écran du câble extérieur	P_{LD}	Pas de protection	Pas de protection	Pas de protection
Système intérieur connecté à la ligne	-	HTA et CFA	BT et CFA	CFA
Type de câblage	K_{S3}	Boucle de 0,5 m ²	Boucle de 0,5 m ²	Boucle de 0,5 m ²
Tension de tenue du matériel électrique (kV)	K_{S4}	1,5	1,5	1,5
Parafoudres arrivée ligne	P_{SPD}	Absent	Absent	Absent
Parafoudres coordonnés	P_{SPD}	Absent	Absent	Absent

⁽¹⁾ : Dimensions estimées d'après photos et vue aérienne GoogleEarth®.

⁽²⁾ : Le cheminement exact des câbles n'étant pas encore déterminé, une valeur majorante est estimée.

N° liaisons		4	5	6
PARAMETRES		PdL Gaz	Chaufferie Palm	Bât. Admin.
Type de ligne	-	Signal - Souterrain	Signal - Aérien	Signal - Aérien
Résistivité du sol ($\Omega.m$)	ρ	500	-	-
Longueur de la ligne (m)	L_C	100	70	130 ⁽²⁾
Hauteur de la ligne si aérienne (m)	H	-	9	9
Longueur de la structure adjacente (m)	A	18	38	32
Largeur de la structure adjacente (m)	B	2,15	20	24
Hauteur de la structure adjacente (m)	H_a	3	17	21
Position de la structure adjacente	C_{da}	Entourée d'objets plus hauts	Entourée d'objets plus petits	Entourée d'objets plus hauts
Facteur d'emplacement de la ligne	C_d	Entourée d'objets plus hauts	Entourée d'objets plus hauts	Entourée d'objets plus hauts
Correction dû à transformateur à l'entrée de la structure étudiée	C_t	Non	Non	Non
Facteur d'environnement de la ligne	C_e	Urbain (20m>h>10m)	Urbain (20m>h>10m)	Urbain (20m>h>10m)
Qualité de l'écran du câble extérieur	P_{LD}	Pas de protection	Pas de protection	Pas de protection
Système intérieur connecté à la ligne	-	CFA	CFA	Téléphone
Type de câblage	K_{S3}	Boucle de 0,5 m ²	Boucle de 0,5 m ²	Boucle de 0,5 m ²
Tension de tenue du matériel électrique (kV)	K_{S4}	1,5	1,5	1,5
Parafoudres arrivée ligne	P_{SPD}	Absent	Absent	Absent
Parafoudres coordonnés	P_{SPD}	Absent	Absent	Absent

⁽²⁾ : Le cheminement exact des câbles n'étant pas encore déterminé, une valeur majorante est déterminée.

Justification des choix de coefficients :

- ⇒ Résistivité du sol : voir § 7.2.2
- ⇒ Position de la structure adjacente (C_{da}) : chaque structure du site est située à proximité d'autres structures.
- ⇒ Facteur d'emplacement de la ligne (C_d) : lignes cheminant en enterré ou en rack d'une hauteur de 9m environ.
- ⇒ Facteur d'environnement de la ligne (C_e) : toutes les structures du site sont regroupées et ont des hauteurs allant jusqu'à 20 m.
- ⇒ Qualité de l'écran du câble extérieur (P_{LD}) : en l'absence de précisions sur ce paramètre, le cas le plus pénalisant est retenu.
- ⇒ Type de câblage (K_{S3}) : ce coefficient permet d'intégrer le fait que les câbles sont non blindés, en général ; et que des précautions de cheminement ont été mises en œuvre afin d'éviter les boucles.
- ⇒ tension de tenue du matériel électrique (K_{S4}) : Voir tableau D.4 en annexe 2.
- ⇒ Protection contre la foudre de la structure (P_{SPD}) : le calcul probabiliste du risque foudre sert à déterminer le niveau de protection contre la foudre nécessaire pour la structure étudiée. Le système de protection foudre existant sera pris en compte au niveau de l'étude technique.

7.2.3.4 Caractéristiques des zones

Le tableau suivant présente les valeurs retenues pour les différentes zones.

Paramètre	Symbole	Zone Z1 : Intérieur	Zone Z2 : Extérieur
Valeurs du facteur h augmentant le montant relatif des pertes en présence d'un danger particulier	h_z	Pas de danger particulier	NA ⁽¹⁾
Risque d'incendie	r_f	Elevé	NA ⁽¹⁾
Dispositions prises pour réduire la conséquence du feu	r	Automatiques	NA ⁽¹⁾
Ecran de zone	$K_{S1}-K_{S2}$	Aucun	NA ⁽¹⁾
Type de sol	r_a	Béton	Asphalte
Protection contre les tensions de pas et de contact	P_A	Aucune	Aucune
Pertes dues aux blessures par tensions de pas ou de contact	L_t	10^{-4}	10^{-2}
Pertes dues aux dommages physiques	L_f	$5 \cdot 10^{-2}$	NA ⁽¹⁾
Pertes dues aux défaillances des réseaux internes	L_0	-	NA ⁽¹⁾
Lignes extérieures pénétrant dans la zone	-	1 à 6	NA ⁽¹⁾

⁽¹⁾ NA : Non Applicable.

Justification des choix de coefficients :

- ⇒ Coefficient lié au type de danger (h_z) : aucun scénario associé à ce bâtiment n'est initiable directement par la foudre. voir § 5.2.1.
- ⇒ Coefficient lié au risque incendie (r_f) : voir § 7.2.2
- ⇒ Coefficient lié aux dispositions anti-incendie (r) : bâtiment équipé d'une DAI. voir § 4.5.
- ⇒ Coefficient lié aux pertes dues aux blessures par tensions de pas ou de contact (L_t) : valeurs de la norme par défaut.
- ⇒ Coefficient lié aux pertes dues aux dommages physiques (L_f) : valeurs de la norme par défaut.
- ⇒ Coefficient lié aux pertes dues aux défaillances des réseaux internes (L_0) : sans objet car les composantes liées aux défaillances des réseaux internes n'ont pas été retenues (voir § 7.2.1).

7.3 Résultats des calculs probabilistes sans protection

Les détails des calculs du risque R1 sont présentés à l'annexe 3. Les valeurs du risque R1 pour les structures étudiées sont rassemblées dans le tableau suivant.

Structure	Risque R1	RT	Conclusion
Cogénération	$R1 = 1,12.10^{-4}$	10^{-5}	$R1 > R_T$: PROTECTION NECESSAIRE

Conformément aux résultats de l'évaluation probabiliste du risque selon la norme NF EN 62305-2, la future Cogénération nécessite d'être protégée contre la foudre.

7.4 Analyses et réévaluations du risque de dommages avec protections

Les paragraphes suivants présentent les analyses du risque de dommage du bâtiment.

Pour les structures ayant besoin d'une protection, les paragraphes suivants vont définir les niveaux nécessaires.

7.4.1 Cogénération

7.4.1.1 Analyse des composantes du risque R1 - Etat sans protection

Sans protection, l'histogramme présenté à la Figure 2 montre que ce sont essentiellement les composantes de risque R_B (dommages physiques dus aux impacts directs sur la structure) et R_V (dommages physiques dus aux impacts directs sur les services) qui augmentent le risque R1.

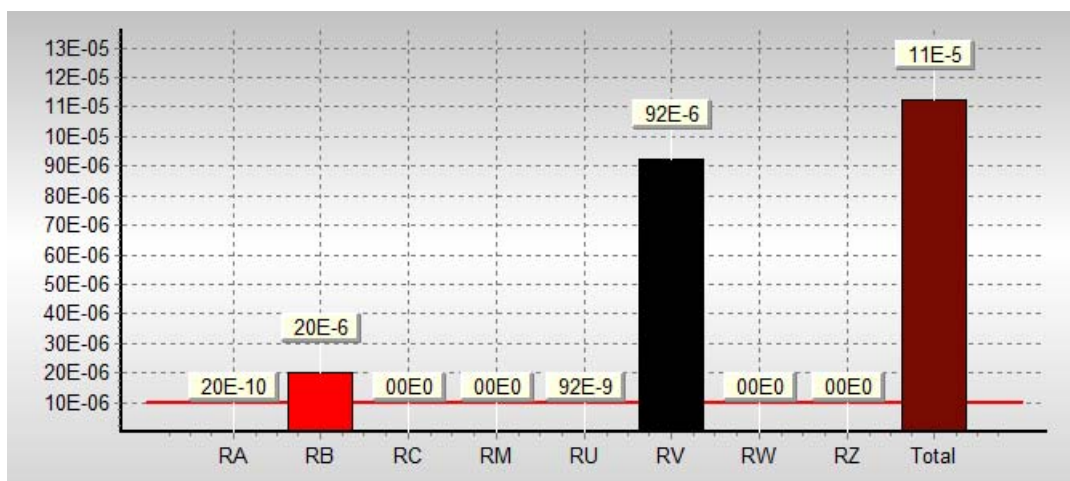


Figure 2 : Valeurs des composantes du risque R1 par rapport à 10^{-5} (ligne rouge)
Cogénération - Etat sans protection

7.4.1.2 Préconisations pour la réduction du risque R1

Les calculs sont repris avec le Logiciel JUPITER afin de ramener le risque R1 en dessous de la valeur 10^{-5} . Les préconisations nécessaires pour la réduction du risque R1 sont présentées dans le tableau suivant.

Composante à réduire	Protection à mettre en œuvre
R_B liée à un impact direct sur la structure	Protection de la structure contre les effets directs de la foudre de niveau IV.
R_V liée à un impact à sur un service connecté à la structure	Mise en place de protections de Niveau IV à l'entrée des lignes extérieures connectées à la structure : <ul style="list-style-type: none"> - Liaisons HTA et CFA avec le poste BM6 - Liaisons BT et CFA avec le poste SPACIO 10 - Liaisons CFA avec le bâtiment Usine Palm - Liaisons CFA avec le poste de livraison Gaz - Liaisons CFA avec le bâtiment Chaudières 1 & 2 (chaufferie Palm) - Liaisons téléphoniques avec le bâtiment Administratif

7.4.1.3 Calcul du risque R1 avec protections

En supposant que les protections décrites dans le tableau ci-dessus ont été mises en œuvre, les calculs des risques ont été repris (voir également l'annexe 3).

L'histogramme présenté à la Figure 3 montre que le risque R1 avec les protections est ramené en dessous de la valeur 10^{-5} .

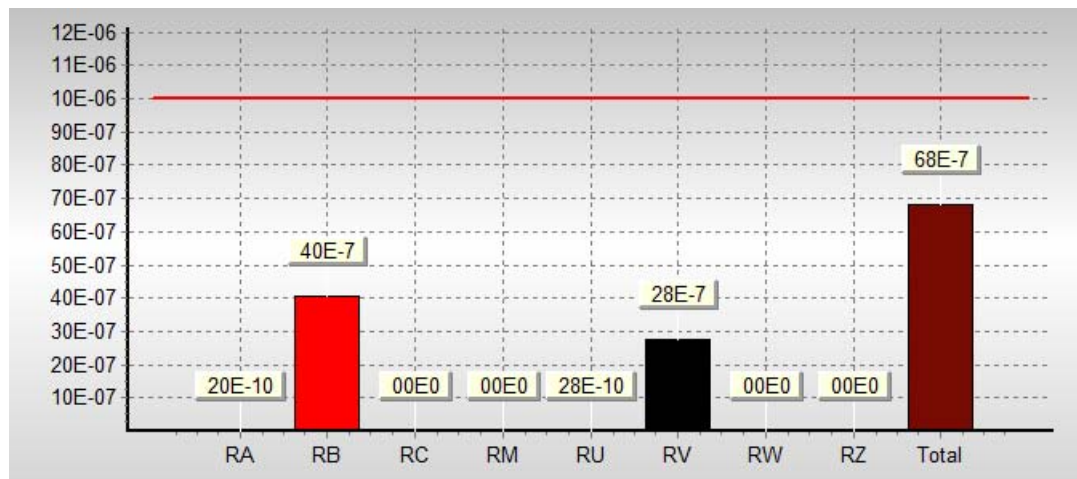


Figure 3 : Valeurs des composantes du risque R1 par rapport à 10^{-5} (ligne rouge)
Cogénération - Avec protections

8. SYNTHÈSE DES BESOINS EN PROTECTION ET EN PRÉVENTION

8.1 Protections à mettre en œuvre

8.1.1 Suite aux calculs probabilistes selon la norme NF EN 62305-2

Selon la norme NF EN 62305-3, les niveaux de protection nécessaires et les préconisations pour les structures étudiées sont regroupés dans le tableau suivant.

Structure	Protection effets directs	Protection effets indirects
Cogénération	Niveau IV	<p>Mise en place de protections de Niveau IV à l'entrée des lignes extérieures connectées à la structure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Liaisons HTA et CFA avec le poste BM6 - Liaisons BT et CFA avec le poste SPACIO 10 - Liaisons CFA avec le bâtiment Usine Palm - Liaisons CFA avec le poste de livraison Gaz - Liaisons CFA avec le bâtiment Chaudières 1 & 2 (chaufferie Palm) - Liaisons téléphoniques avec le bâtiment Administratif

8.1.2 Protection déterministe

Certaines installations font l'objet de prescriptions déterministes ou de moyens de prévention :

- Canalisations extérieures,
- Automate de sécurité.

8.2 Prévention à mettre en œuvre

8.2.1 Suite aux calculs probabilistes selon la norme NF EN 62305-2

Néant.

8.2.2 Protection déterministe

Néant.

9. CONCLUSION

Cette Analyse du Risque Foudre (ARF) a permis d'évaluer le besoin en protection et en prévention contre la foudre de la future Cogénération implantée sur le site des PAPETERIES PALM, selon la norme NF EN 62305-2.

Cette analyse doit systématiquement être mise à jour à l'occasion de modifications substantielles au sens de l'article R. 512-33 du code de l'environnement et à chaque révision de l'étude de dangers ou pour toute modification des installations qui peut avoir des répercussions sur les données d'entrée de l'ARF.

Le détail des préconisations doit faire l'objet d'une étude technique de protection contre la foudre conformément l'arrêté du 4 octobre 2010 modifié.

L'installation des dispositifs de protection et la mise en place des mesures de prévention sont réalisées, par un organisme compétent, à l'issue de l'étude technique, au plus tard deux ans après l'élaboration de l'analyse du risque foudre.

10. ANNEXE 1 : PRINCIPE DE LA NORME NF EN 62305-2

La norme NF EN 62305-2 propose une procédure d'évaluation du risque foudre sur une structure.

Cette procédure est basée sur le principe du calcul d'un risque foudre qui sera comparé à un risque tolérable (R_T). Si le risque est supérieur à R_T , alors la procédure permet de choisir les mesures de protection appropriées pour réduire le risque à une valeur inférieure ou égale à cette limite.

La description qui suit est limitée aux informations utiles à l'application du guide pour les études du risque foudre sur les sites industriels.

1 Principe

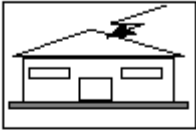
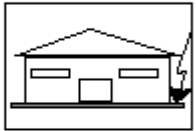
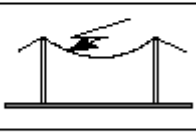
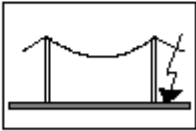
Trois grandes notions permettent de calculer le risque foudre :

- La notion de **sources de dommages**. Quatre sources peuvent être distinguées en fonction du point d'impact de la foudre par rapport à la structure ou au service considéré :
 - S1: impacts sur une structure;
 - S2: impacts à proximité d'une structure;
 - S3: impacts sur un service;
 - S4: impacts à proximité d'un service.
- La notion de **types de dommages**. Les dommages consécutifs à l'une des sources énumérées ci-dessus peuvent varier en fonction des structures, des contenus ou des mesures de protection prises. Trois types de dommages peuvent être considérés :
 - D1 : blessures d'être vivants;
 - D2 : Dommages physiques;
 - D3 : Défaillance des réseaux électriques et électroniques.
- Enfin, la notion de **pertes**. Les dommages peuvent finalement conduire à l'une des pertes suivantes :
 - L1: Perte de vie humaine;
 - L2: Perte de service public;
 - L3: Perte d'héritage culturel;
 - L4: Perte de valeurs économiques (structure et son contenu, service et perte d'activité).

Le tableau ci-après, extrait du document NF EN 62305-2, présente toutes les combinaisons possibles de ces trois notions.

Dans le cadre de la mise en conformité des installations aux sites industriels vis-à-vis du risque foudre, seule la perte de vie humaine L1 est retenue. Elle englobe :

- le risque d'électrisation du personnel à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments (dans une zone de 3 m),
- les risques encourus par le personnel en cas d'accident industriel provoqué par la foudre (incendie par exemple),
- les risques de danger pour l'environnement et de contamination de l'environnement, pouvant nuire aux activités humaines et à la santé des populations.

Point d'impact	Source de dommages	STRUCTURE	
		Type de dommages	Type de pertes
	S1	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1', L2, L4
	S2	D3	L1', L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1', L2, L4
	S4	D3	L1', L2, L4
(*) Dans le cas des hôpitaux et des structures présentant des risques d'explosion ou d'autres structures où la défaillance d'un système interne met immédiatement en danger la vie humaine. (**) Dans le cas des domaines agricoles (pertes d'animaux).			

2 Calcul du risque vis à vis de la perte de vie humaine

Dans le cadre de l'étude du risque foudre, le risque à évaluer est le risque R1, mesurant la perte de vie humaine et les conséquences sur l'environnement.

Risque R1

Ce risque est la somme de plusieurs composantes et peut être décomposé comme suit :

Dans la première formulation, présentée ci-dessous, les composantes élémentaires du risque R1 sont regroupées en fonction de la source de dommage, c'est à dire en fonction du lieu de l'impact par rapport à la structure considérée.

$$\begin{array}{ccccccc} \mathbf{R1} & = & \mathbf{RA + RB + RC} & + & \mathbf{RM} & + & \mathbf{RU + RV + RW} & + & \mathbf{RZ} \\ & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow \\ & & \text{Impact sur la structure} & & & & \text{Impact sur le service} & & \\ & & & & \Downarrow & & & & \Downarrow \\ & & & & \text{Impact à proximité de la} & & & & \text{Impact à proximité du service} \\ & & & & \text{structure} & & & & \end{array}$$

Dans la seconde formulation, présentée ci-dessous, les composantes élémentaires du risque R1 sont regroupées en fonction du type de dommage.

$$\begin{array}{ccccccc} \mathbf{R1} & = & \mathbf{RA + Ru} & + & \mathbf{RB + RV} & + & \mathbf{RC + RM + Rw + RZ} \\ & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow \\ & & \text{Blessures d'êtres vivants} & & & & \text{Défaillances des réseaux internes} \\ & & & & \Downarrow & & \\ & & & & \text{Dommages physiques} & & \end{array}$$

La nature des différents risques élémentaires est explicitée dans le paragraphe suivant.

Composantes des risques pour une structure

La définition complète de chaque composante est détaillée dans le document NF EN 62305-2.

Composantes des risques dus aux impacts sur la structure :

R_A : composante liée aux blessures d'êtres vivants dues aux tensions de contact et de pas dans les zones jusqu'à 3 m à l'extérieur de la structure :

⇒ Pertes de type L1

R_B : composante liée aux dommages physiques d'un étincelage dangereux dans la structure entraînant un incendie ou une explosion pouvant produire un danger ou une contamination pour l'environnement :

⇒ Pertes de type L1, L2, L3, L4

R_C : composante liée aux défaillances des réseaux internes causées par l'IEMF :

⇒ Pertes de type L2, L4,

⇒ Pertes de type L1 dans le cas des structures présentant un risque d'explosion, des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

Composantes des risques dus aux impacts à proximité de la structure :

R_M : composante liée aux défaillances des réseaux internes causées par l'IEMF

⇒ Pertes de type L2, L4,

⇒ Pertes de type L1 dans le cas des structures présentant un risque d'explosion, des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

Composantes des risques dus aux impacts sur un service connecté à la structure :

R_U : composante liée aux blessures d'être vivants dues aux tensions de contact à l'intérieur de la structure en raison du courant de foudre injecté dans une ligne entrante :

⇒ Pertes de type L1

R_V : composante liée aux dommages physiques (incendie ou explosion dus à un étincelage dangereux entre une installation extérieure et les parties métalliques généralement situées au point de pénétration de la ligne dans la structure) dus au courant de foudre transmis dans les lignes entrantes :

⇒ Pertes de type L1, L2, L3, L4

R_w : composante liée aux défaillances des réseaux internes en raison des surtensions induites sur les lignes entrantes et transmises à la structure :

⇒ Pertes de type L2, L4,

⇒ Pertes de type L1 dans le cas des structures présentant un risque d'explosion, des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

Composantes des risques dus à un impact à proximité d'un service connecté à la structure :

R_z : composante liée aux défaillances des réseaux internes en raison des surtensions induites sur les lignes entrantes et transmises à la structure :

⇒ Pertes de type L2, L4,

⇒ Pertes de type L1 dans le cas des structures présentant un risque d'explosion, des hôpitaux ou d'autres structures dans lesquelles des défaillances des réseaux internes mettent immédiatement en danger la vie des personnes.

NOTE – Les services pris en compte dans cette évaluation sont seulement les lignes entrant dans la structure. Les coups de foudre sur ou à proximité de canalisations n'entraînent pas de dommages dans la structure si elles sont connectées à la borne principale de terre de la structure. Quand ce n'est pas le cas cette source de dommage doit également être prise en compte.

Calcul d'un risque élémentaire

Chaque composante R_A, R_B, R_C, R_M, R_U, R_V, R_W et R_Z est explicitée par la relation de base suivante :

$$R_x = N_x P_x L_x$$

dans laquelle :

N_x : nombre annuel d'événements dangereux attendus,

P_x : probabilité que l'événement conduise à un dommage,

L_x : perte engendrée par le dommage.

Le calcul de N_x est détaillé dans l'annexe A de la NF EN 62305-2.

Le calcul de P_x est détaillé dans l'annexe B de la NF EN 62305-2.

Le calcul de L_x est détaillé dans l'annexe C de la NF EN 62305-2.

11. ANNEXE 2 : TABLEAUX DE VALEURS DES COEFFICIENTS DE LA NORME NF EN 62305-2

Tableau A.1 - Facteur d'emplacement C_d

Emplacement relatif	C_d
Objet entouré par des objets plus hauts ou des arbres	0,25
Objets entourés par des objets ou des arbres de la même hauteur ou plus petits	0,5
Objet isolé : pas d'autres objets à proximité	1
Objet isolé au sommet d'une colline ou sur un monticule	2

Tableau A.3 - Facteur de transformateur C_t

Transformateur	C_t
Service avec transformateur à 2 enroulements	0,2
Service uniquement	1

Tableau A.4 - Facteur d'environnement C_e

Environnement	C_e
Urbain avec bâtiments de grande hauteur (> 20m)	0
Urbain avec bâtiments de hauteur entre 10 et 20m	0,1
Suburbain avec bâtiments de hauteur < 10m	0,5
Rural	1

Tableau B.2 - Valeurs de P_B en fonction des mesures de protection pour réduire les dommages physiques

Caractéristiques de la structure	Niveau de protection	P_B
Structure non protégée par SPF		1
Structure protégée par un SPF	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Structure avec dispositif de capture de niveau I et avec armatures en métal continues ou en béton armé agissant comme un système de conducteurs de descente naturel		0,01
Structure avec toiture métallique ou avec un dispositif de capture de niveau I, incluant éventuellement des composants naturels avec protection complète des matériels sur le toit contre les coups de foudre directs et avec armatures en métal continues ou en béton armé agissant comme un système de conducteurs de descente naturel		0,001

Quatre niveaux de protection sont définis par la norme NF EN 62305-1 : I, II, III et IV.

Pour chaque niveau de protection, des paramètres minimum et maximum de courant de foudre sont définis.

Pour le Niveau de protection I, les valeurs maximales des paramètres du courant ne seront pas dépassées, avec une probabilité de 99 %. Les valeurs maximales du Niveau de protection I sont réduites de 75 % pour le Niveau II et de 50 % pour les Niveaux III et IV.

Une probabilité moyenne est alors définie et l'efficacité d'une mesure de protection est supposée égale à la probabilité pour que les paramètres soient dans ce domaine. Le tableau suivant donne l'efficacité attendue de la protection en fonction du niveau de protection retenu.

Probabilité pour que les paramètres de foudre soient	Niveau de protection			
	I	II	III	IV
Inférieurs aux valeurs maximales définies dans le Tableau 5 de la norme NF-EN 62305-1	0,99	0,98	0,97	0,97
Supérieurs aux valeurs minimales définies dans le Tableau 6 de la norme NF-EN 62305-1	0,99	0,97	0,91	0,84

Selon la norme NF EN 62305-2, la valeur de probabilité P_b pour qu'un impact sur une structure entraîne des dommages physiques dépend du niveau de protection requis.

 Tableau B.3 - Valeur de probabilité P_{SPD} en fonction des niveaux de protection pour lesquels le parafoudre est conçu

Niveau de protection	P_{SPD}
Pas de parafoudres coordonnés	1
IV	0,03
III	0,03
II	0,02
I	0,01
(1)	0,005-0,001

(1) : des valeurs plus faibles de P_{SPD} sont possibles si les parafoudres présentent des caractéristiques supérieures à celles d'un niveau de protection I pour la même installation.

Tableau B.4 - Valeur de probabilité P_{MS} (composante de la probabilité P_M qu'un impact à proximité d'une structure entraîne des défaillances des réseaux internes) en fonction du facteur K_{MS}

K_{MS}	P_{MS}
$\geq 0,4$	1
0,15	0,9
0,07	0,5
0,035	0,1
0,021	0,01
0,016	0,005
0,015	0,003
0,014	0,001
$\leq 0,013$	0,0001

Tableau B.5 - Valeur du facteur K_{S3} (composante du facteur K_{MS}) en fonction du câblage interne

Type de câblage interne	K_{S3}
Câble non blindé - Pas de précaution de cheminement afin d'éviter des boucles ⁽¹⁾	1
Câble non blindé - Précaution de cheminement afin d'éviter des boucles de grande taille ⁽²⁾	0,2
Câble non blindé - Précaution de cheminement afin d'éviter des boucles ⁽³⁾	0,02
Câble blindé avec résistance d'écran ⁽⁴⁾ $5 < R < 20 \Omega/\text{km}$	0,001
Câble écrané avec résistance d'écran ⁽⁴⁾ $1 \leq R < 5 \Omega/\text{km}$	0,0002
Câble blindé avec résistance d'écran ⁽⁴⁾ $R < 1 \Omega/\text{km}$	0,0001

(1) Boucles avec différents cheminements dans de grands bâtiments (surface de boucle de l'ordre de 50m²).

(2) Boucles dans le même conduit ou boucles avec différents cheminements dans de petits bâtiments (surface de boucle de l'ordre de 10m²).

(3) Boucles dans le même câble (surface de boucle de l'ordre de 0,5m²).

(4) Câble avec écran de résistance R (Ω/km) relié à la liaison équipotentielle à ses deux extrémités et matériel connecté à la même liaison.

Tableau B.6 - Valeur de probabilité P_{LD} en fonction de la résistance R de l'écran du câble et de la tension de tenue aux chocs U_W du matériel.

U_W (kV)	$20 > R_S \geq 5$ (Ω/km)	$5 > R_S \geq 1$ (Ω/km)	$R_S < 1$ (Ω/km)
1,5	1	0,8	0,4
2,5	0,95	0,6	0,2
4	0,9	0,3	0,04
6	0,8	0,1	0,02

R_S (Ω/km) : résistance de l'écran du câble

Pour un service non blindé prendre $P_{LD} = 1$

Tableau C.1 - Valeurs moyennes types de L_t , L_f et L_o

Type de structure	L_t
Tout type - Intérieur des bâtiments	10^{-4}
Tout type - Extérieur des bâtiments	10^{-2}

Type de structure	L_f
Hôpitaux, Hôtels, bâtiments civils	10^{-1}
Industrielle, commerciale, scolaire	5.10^{-2}
Publique, églises, musées	2.10^{-2}
Autres	10^{-2}

Type de structure	L_o
Risque d'explosion	10^{-1}
Hôpitaux	10^{-3}

 Tableau C.2 - Valeurs du facteur de réduction r_a en fonction du type de sol ou de plancher

Type de sol ou de plancher	Résistance de contact ($k\Omega$)*	r_a
Agricole, béton	< 1	10^{-2}
Marbre, céramique	1- 10	10^{-3}
Gravier, moquette, tapis	10 - 100	10^{-4}
Asphalte, Linoléum, bois	> 100	10^{-5}

* Valeurs mesurées entre une électrode de 400 cm² comprimée avec une force de 500N et un point à l'infini.

 Tableau C.3 - Valeurs du facteur de réduction r en fonction des dispositions prises pour réduire la conséquence du feu

Dispositions	r
Pas de disposition (ou risque d'explosion)	1
Une des dispositions suivantes : extincteurs, installations d'extinction fixes déclenchées manuellement, installations manuelles d'alarme, prises d'eau, compartiments étanches, voies d'évacuation protégées.	0,5
Une des dispositions suivantes : installations d'extinction fixes déclenchées automatiquement, installations d'alarmes automatiques*.	0,2

* Seulement si elles sont protégées contre les surtensions ou d'autres dommages et si le temps d'intervention des pompiers est $t < 10$ min.

Tableau C.4 - Valeurs du facteur de réduction r_f en fonction du risque d'incendie de la structure

Risque d'incendie	r_f	Commentaires
Explosion	1	Structures contenant des matériaux explosifs solides ou des zones de type 0
Elevé	10^{-1}	Structures avec une charge calorifique particulière supérieure à 800 MJ/m ² .
Ordinaire	10^{-2}	Structures avec une charge calorifique comprise entre 800 MJ/m ² et 400 MJ/m ²
Faible	10^{-3}	Structures avec une charge calorifique particulière inférieure à 400 MJ/m ²
Aucun	0	

Tableau C.5 - Valeurs du facteur h augmentant le montant relatif des pertes en présence d'un danger particulier

Type de danger particulier	h
Pas de danger particulier	1
Faible niveau de panique (structures limitées à deux étages et nombre de personnes inférieur à 100)	2
Niveau de panique moyen (structures destinées à des événements culturels ou sportifs avec un nombre de personnes compris entre 100 et 1000)	5
Difficulté d'évacuation (structures avec personnes immobilisées)	5
Niveau de panique élevé (structures destinées à des événements culturels ou sportifs avec un nombre de personnes supérieur à 1000)	10
Danger pour l'environnement	20
Contamination de l'environnement	50

Note 1 - « danger pour l'environnement » signifie émission de substances biologiques, chimiques et/ou radioactives dans le périmètre immédiat de la structure (ou du site).

Note 2 - « contamination pour l'environnement » signifie émission de substances biologiques, chimiques et/ou radioactives dans une zone débordant largement du périmètre immédiat de la structure (ou du site) au-delà des valeurs autorisées.

Note 3 - l'application du guide 17-100-2 est complémentaire des études de danger mais ne se substitue pas à celles-ci

 Tableau D.4 – Tension de tenue aux chocs U_w en fonction du type de matériel

Type de matériel	U_w (kV)
Electronique	1,5
Matériel d'utilisation électrique ($U_n < 1kV$)	2,5
Matériel d'utilisation électrique ($U_n < 1kV$)	6

12. ANNEXE 3 : DETAILS DES CALCULS JUPITER

Cogénération

Calcul de R1

Les valeurs des composantes du risque et la valeur du risque R1 sont listées ci-dessous.

Z1: Intérieure

RB: 2,02E-05

RU(Poste BM6): 1,27E-10

RV(Poste BM6): 1,27E-07

RU(Poste SPACIO 10): 1,55E-10

RV(Poste SPACIO 10): 1,55E-07

RU(Usine PALM): 7,60E-08

RV(Usine PALM): 7,60E-05

RU(PdL Gaz): 6,10E-10

RV(PdL Gaz): 6,10E-07

RU(Chaufferie PALM): 8,68E-09

RV(Chaufferie PALM): 8,68E-06

RU(Bât. Administratif): 6,57E-09

RV(Bât. Administratif): 6,57E-06

Total: 1,12E-04

Z2: extérieure

RA: 2,02E-09

Total: 2,02E-09

Valeur du risque total R1 pour la structure : 1,12E-04

Afin de protéger la structure les mesures de protection suivantes sont sélectionnées:

- installer un Paratonnerre de niveau IV ($P_b = 0,2$)
- Pour la ligne Ligne1 - Poste BM6:
 - Parafoudre d'entrée - niveau: IV
- Pour la ligne Ligne2 - Poste SPACIO 10:
 - Parafoudre d'entrée - niveau: IV
- Pour la ligne Ligne3 - Usine PALM:
 - Parafoudre d'entrée - niveau: IV
- Pour la ligne Ligne4 - PdL Gaz:
 - Parafoudre d'entrée - niveau: IV
- Pour la ligne Ligne5 - Chaufferie PALM:
 - Parafoudre d'entrée - niveau: IV
- Pour la ligne Ligne6 - Bât. Administratif:
 - Parafoudre d'entrée - niveau: IV

Les mesures de protection sélectionnées modifient les paramètres et composantes du risque.

Les valeurs des paramètres du risque liées à la structure protégée sont énumérées ci-dessous.

Zone Z1: Intérieure

$P_a = 1,00E+00$

$P_b = 0,2$

P_c (Poste BM6) = 1,00E+00

P_c (Poste SPACIO 10) = 1,00E+00

P_c (Usine PALM) = 1,00E+00

P_c (PdL Gaz) = 1,00E+00

P_c (Chaufferie PALM) = 1,00E+00

P_c (Bât. Administratif) = 1,00E+00

$P_c = 1,00E+00$

P_m (Poste BM6) = 9,00E-03

P_m (Poste SPACIO 10) = 9,00E-03

P_m (Usine PALM) = 9,00E-03

P_m (PdL Gaz) = 9,00E-03

P_m (Chaufferie PALM) = 9,00E-03

P_m (Bât. Administratif) = 9,00E-03

$P_m = 5,28E-02$

P_u (Poste BM6) = 3,00E-02

P_v (Poste BM6) = 3,00E-02

P_w (Poste BM6) = 1,00E+00

P_z (Poste BM6) = 1,00E+00

P_u (Poste SPACIO 10) = 3,00E-02

P_v (Poste SPACIO 10) = 3,00E-02

P_w (Poste SPACIO 10) = 1,00E+00

P_z (Poste SPACIO 10) = 1,00E+00

P_u (Usine PALM) = 3,00E-02

P_v (Usine PALM) = 3,00E-02

P_w (Usine PALM) = 1,00E+00

P_z (Usine PALM) = 1,00E+00

P_u (PdL Gaz) = 3,00E-02

P_v (PdL Gaz) = 3,00E-02

P_w (PdL Gaz) = 1,00E+00

P_z (PdL Gaz) = 1,00E+00

P_u (Chaufferie PALM) = 3,00E-02

P_v (Chaufferie PALM) = 3,00E-02

P_w (Chaufferie PALM) = 1,00E+00

P_z (Chaufferie PALM) = 1,00E+00

P_u (Bât. Administratif) = 3,00E-02

P_v (Bât. Administratif) = 3,00E-02

P_w (Bât. Administratif) = 1,00E+00

P_z (Bât. Administratif) = 1,00E+00

$r_a = 0,01$

$r_p = 0,2$

$r_f = 0,1$

$h = 1$

Zone Z2: extérieure

$P_a = 1,00E+00$

$P_b = 0,2$

$P_c = 1,00E+00$

$P_m = 1,00E+00$

$r_a = 0,00001$

$r_p = 1$

$r_f = 0$

$h = 1$

Risque R1: pertes en vies humaines

Les valeurs des composantes de risque pour la structure protégées sont énumérées ci-dessous.

Z1: Intérieure

RB: 4,05E-06

RU(Poste BM6): 3,80E-12

RV(Poste BM6): 3,80E-09

RU(Poste SPACIO 10): 4,64E-12

RV(Poste SPACIO 10): 4,64E-09

RU(Usine PALM): 2,28E-09

RV(Usine PALM): 2,28E-06

RU(PdL Gaz): 1,83E-11

RV(PdL Gaz): 1,83E-08

RU(Chaufferie PALM): 2,60E-10

RV(Chaufferie PALM): 2,60E-07

RU(Bât. Administratif): 1,97E-10

RV(Bât. Administratif): 1,97E-07

Total: 6,81E-06

Z2: extérieure

RA: 2,02E-09

Total: 2,02E-09

Valeur du risque total R1 pour la structure : 6,81E-06

Type de structure

Dimensions: A (m): 35 B (m): 25 H (m): 9 Hmax (m): 35
Facteur d'emplacement: Entouré d'objets plus petits (Cd = 0,5)
Blindage de structure :Aucun bouclier équence de foudroiement
(1/km² an) Ng = 1,17

Caractéristiques électriques des lignes

Caractéristiques des lignes: Poste BM6

L'ensemble de la ligne a des caractéristiques uniformes. de ligne: Signal enterrée

Longueur (m) Lc = 5

résistivité (ohm.m) ρ = 500

Facteur d'emplacement (Cd): Entouré d'objets plus hauts

Facteur environnemental (Ce): urbain (10 <h <20 m)

Dimensions de la structure adjacente: A (m): 6,5 B (m): 2,5

H (m): 3

Facteur d'emplacement de la structure adjacente (Cd): Entouré d'objets plus hauts

Caractéristiques des lignes: Poste SPACIO 10

L'ensemble de la ligne a des caractéristiques uniformes. de ligne: Signal aérienne

Longueur (m) Lc = 15

Hauteur par rapport au sol (m) Hc = 9

Facteur d'emplacement (Cd): Entouré d'objets plus hauts

Facteur environnemental (Ce): urbain (10 <h <20 m)

Dimensions de la structure adjacente: A (m): 10,5 B (m): 3

H (m): 3

Facteur d'emplacement de la structure adjacente (Cd): Entouré d'objets plus hauts

Caractéristiques des lignes: Usine PALM

L'ensemble de la ligne a des caractéristiques uniformes. de ligne: Signal aérienne

Longueur (m) Lc = 100

Hauteur par rapport au sol (m) Hc = 9

Facteur d'emplacement (Cd): Entouré d'objets plus hauts

Facteur environnemental (Ce): urbain (10 <h <20 m)

Dimensions de la structure adjacente: A (m): 200 B (m): 180

H (m): 30

Facteur d'emplacement de la structure adjacente (Cd): Entouré d'objets plus petits

Caractéristiques des lignes: PdL Gaz

L'ensemble de la ligne a des caractéristiques uniformes. de ligne: Signal enterrée

Longueur (m) Lc = 100

résistivité (ohm.m) ρ = 500

Facteur d'emplacement (Cd): Entouré d'objets plus hauts

Facteur environnemental (Ce): urbain (10 <h <20 m)

Dimensions de la structure adjacente: A (m): 18 B (m): 2,15

H (m): 3

Facteur d'emplacement de la structure adjacente (Cd): Entouré d'objets plus hauts

Caractéristiques des lignes: Chaufferie PALM

L'ensemble de la ligne a des caractéristiques uniformes. de ligne: Signal aérienne

Longueur (m) Lc = 70

Hauteur par rapport au sol (m) Hc = 9

Facteur d'emplacement (Cd): Entouré d'objets plus hauts

Facteur environnemental (Ce): urbain (10 <h <20 m)

Dimensions de la structure adjacente: A (m): 38 B (m): 20

H (m): 17

Facteur d'emplacement de la structure adjacente (Cd): Entouré d'objets plus petits

Caractéristiques des lignes: Bât. Administratif

L'ensemble de la ligne a des caractéristiques uniformes. de ligne: Signal aérienne

Longueur (m) Lc = 130

Hauteur par rapport au sol (m) Hc = 9

Facteur d'emplacement (Cd): Entouré d'objets plus hauts

Facteur environnemental (Ce): urbain (10 <h <20 m)

Dimensions de la structure adjacente: A (m): 32 B (m): 24

H (m): 21

Facteur d'emplacement de la structure adjacente (Cd): Entouré d'objets plus hauts

Caractéristiques des zones

Caractéristiques de la zone: Intérieure

Type de zone: Intérieur

Type de surface: Béton (ru = 0,01)

Risque d'incendie: élevé (rf = 0,1)

Danger particulier: Pas de risque particulier (h = 1)

Protections contre le feu: actionnés automatiquement (rp = 0,2)

zone de protection: Aucun bouclier

Protection contre les tensions de contact: aucune des mesures de protection

Réseaux interne Poste BM6

Connecté à la ligne Poste BM6

câblage: superficie de boucle de l'ordre de 0,5 m² (Ks3 = 0,02)

Tension de tenue: 1,5 kV

Parafoudre coordonnés - niveau: aucun (Pspd =1)

Réseaux interne Poste SPACIO 10

Connecté à la ligne Poste SPACIO 10

câblage: superficie de boucle de l'ordre de 0,5 m² (Ks3 = 0,02)

Tension de tenue: 1,5 kV

Parafoudre coordonnés - niveau: aucun (Pspd =1)

Réseaux interne Usine PALM

Connecté à la ligne Usine PALM

câblage: superficie de boucle de l'ordre de 0,5 m² (Ks3 = 0,02)

Tension de tenue: 1,5 kV

Parafoudre coordonnés - niveau: aucun (Pspd =1)

Réseaux interne PdL Gaz

Connecté à la ligne PdL Gaz

câblage: superficie de boucle de l'ordre de 0,5 m² (Ks3 = 0,02)

Tension de tenue: 1,5 kV

Parafoudre coordonnés - niveau: aucun (Pspd =1)

Réseaux interne Chaufferie PALM

Connecté à la ligne Chaufferie PALM

câblage: superficie de boucle de l'ordre de 0,5 m² (Ks3 = 0,02)

Tension de tenue: 1,5 kV

Parafoudre coordonnés - niveau: aucun (Pspd =1)

Réseaux interne Bât. Administratif

Connecté à la ligne Bât. Administratif

câblage: superficie de boucle de l'ordre de 0,5 m² (Ks3 = 0,02)

Tension de tenue: 1,5 kV

Parafoudre coordonnés - niveau: aucun (Pspd =1)

Valeur moyenne des pertes pour la zone: Intérieure

Pertes dues aux tensions de contact (liées à R1) Lt =0,0001

Pertes en raison des dommages physiques (liées à R1) Lf =0,05

Risque et composantes du risque pour la zone: Intérieure

Risque 1: Rb Ru Rv

Caractéristiques de la zone: extérieure

Type de zone: Extérieur

Type de surface: Asphalte (ra = 0,00001)

Mesures de protection pour réduire les tensions de pas et de contact: aucune des mesures de protection

Valeur moyenne des pertes pour la zone: extérieure

Pertes dues aux tensions de pas et de contact (liées à R1) Lt

=0,01

Risque et composantes du risque pour la zone: extérieure

Risque 1: Ra

Surface d'exposition et nombre annuel d'événements dangereux.

Structure

Surface d'exposition due aux coups de foudre directes sur la structure Ad =3,46E-02 km²

Surface d'exposition due aux coups de foudre à proximité de la structure Am =2,27E-01 km²

Nombre annuel d'événements dangereux à cause des coups de foudre directes sur la structure Nd =2,02E-02

Nombre annuel d'événements dangereux en raison de coups de foudre à proximité de la structure Nm =2,45E-01

Lignes électriques

Surface d'exposition due aux coups de foudre directes (AI) et aux coups de foudre à proximité (Ai) des lignes:

Poste BM6

AI = 0,000000 km²

Ai = 0,002795 km²

Poste SPACIO 10

AI = 0,000000 km²

Ai = 0,015000 km²

Usine PALM

AI = 0,000000 km²

Ai = 0,100000 km²

PdL Gaz

AI = 0,001431 km²

Ai = 0,055902 km²

Chaufferie PALM

AI = 0,000000 km²

Ai = 0,070000 km²

Bât. Administratif

AI = 0,002160 km²

Ai = 0,130000 km²

Nombre annuel d'événements dangereux dû aux coups de foudre directes (NI), et aux coups de foudre à proximité (Ni) des lignes:

Poste BM6

NI = 0,000000

Ni = 0,000327

Poste SPACIO 10

NI = 0,000000

Ni = 0,001755

Usine PALM

NI = 0,000000

Ni = 0,011700

PdL Gaz

NI = 0,000419

Ni = 0,006540

Chaufferie PALM

NI = 0,000000

Ni = 0,008190

Bât. Administratif

NI = 0,000632

Ni = 0,015210

Probabilité d'endommagement de la structure non protégée

Zone Z1: Intérieure

Pa = 1,00E+00

Pb = 1,0

Pc (Poste BM6) = 1,00E+00

Pc (Poste SPACIO 10) = 1,00E+00

Pc (Usine PALM) = 1,00E+00

Pc (PdL Gaz) = 1,00E+00

Pc (Chaufferie PALM) = 1,00E+00

Pc (Bât. Administratif) = 1,00E+00

Pc = 1,00E+00

Pm (Poste BM6) = 9,00E-03

Pm (Poste SPACIO 10) = 9,00E-03

Pm (Usine PALM) = 9,00E-03

Pm (PdL Gaz) = 9,00E-03

Pm (Chaufferie PALM) = 9,00E-03

Pm (Bât. Administratif) = 9,00E-03

Pm = 5,28E-02

Pu (Poste BM6) = 1,00E+00

Pv (Poste BM6) = 1,00E+00

Pw (Poste BM6) = 1,00E+00

Pz (Poste BM6) = 1,00E+00

Pu (Poste SPACIO 10) = 1,00E+00

Pv (Poste SPACIO 10) = 1,00E+00

Pw (Poste SPACIO 10) = 1,00E+00

Pz (Poste SPACIO 10) = 1,00E+00

Pu (Usine PALM) = 1,00E+00

Pv (Usine PALM) = 1,00E+00

Pw (Usine PALM) = 1,00E+00

Pz (Usine PALM) = 1,00E+00

Pu (PdL Gaz) = 1,00E+00

Pv (PdL Gaz) = 1,00E+00

Pw (PdL Gaz) = 1,00E+00

Pz (PdL Gaz) = 1,00E+00

Pu (Chaufferie PALM) = 1,00E+00

Pv (Chaufferie PALM) = 1,00E+00

Pw (Chaufferie PALM) = 1,00E+00

Pz (Chaufferie PALM) = 1,00E+00

Pu (Bât. Administratif) = 1,00E+00

Pv (Bât. Administratif) = 1,00E+00

Pw (Bât. Administratif) = 1,00E+00

Pz (Bât. Administratif) = 1,00E+00

Zone Z2: extérieure

Pa = 1,00E+00

Pb = 1,0

Pc = 1,00E+00

Pm = 1,00E+00