

La sécurité des personnes

1 LE RISQUE DE CHOC ÉLECTRIQUE

Les effets du courant électrique sur le corps humain dépendent de deux facteurs :

- le temps de passage du courant à travers le corps
- l'intensité du courant et sa fréquence.

Ces deux facteurs sont indépendants l'un de l'autre mais le niveau du risque sera plus ou moins élevé, en fonction de la valeur de chaque facteur. L'intensité du courant dangereux pour l'être humain va dépendre de la tension et de la tolérance du corps humain. Dans la pratique, on définit l'intensité du courant à partir d'une tension limite U_L généralement prise égale à 50 V. Cette tension tient compte du courant maximum que peut supporter un être humain ayant une résistance électrique interne minimum, dans des conditions déterminées. Elle tient également compte de la durée maximale admissible du temps de passage du courant à travers le corps, sans effets physiopathologiques dangereux (fibrillation cardiaque).

1 Aspect physiologique

Lorsqu'il est soumis à une tension, le corps humain réagit comme un récepteur classique ayant une résistance interne donnée.

Il est parcouru par un courant électrique avec trois risques graves :

- la téτανisation : le courant maintient contractés les muscles traversés, s'il s'agit de la cage thoracique, cela peut entraîner un blocage respiratoire
- la fibrillation ventriculaire : c'est une désorganisation complète du rythme cardiaque

- les effets thermiques provoquant des lésions tissulaires plus ou moins graves, voire des brûlures profondes dans le cas de courants plus importants.

Le tableau ci-dessous montre que, pour une tension de contact de 230 V, un courant de 153 mA traversera le corps humain. Ce courant devra alors être coupé en moins de 0,17 seconde pour éviter tout risque.

Relation temps de passage maximal/tensions de contact en conditions de contact normales ($U_L : 50 \text{ V}$)

Tension de contact	Impédance électrique du corps humain	Courant passant par le corps humain	Temps de passage maximal
$U_c \text{ (V)}$	$Z_n \text{ (}\Omega\text{)}$	$I_n \text{ (mA)}$	$t_n \text{ (s)}$
50	1 725	29	≥ 5
75	1 625	46	0,60
100	1 600	62	0,40
150	1 550	97	0,28
230	1 500	153	0,17
300	1 480	203	0,12
400	1 450	276	0,07
500	1 430	350	0,04

Considérant les deux paramètres à prendre en compte pour l'évaluation du risque, les normes définissent les courbes limites courant/temps.

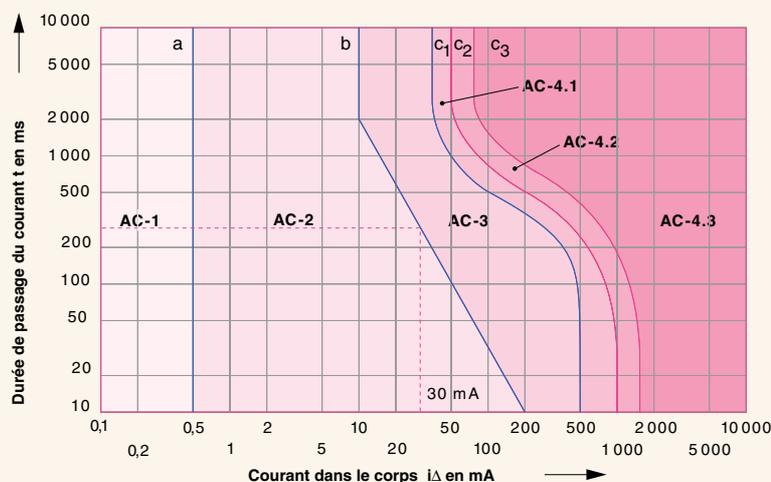
$i\Delta$: courant qui circule dans le corps
 t : temps de passage du courant dans le corps

Ces courbes, issues de la CEI 60479-1, donnent les différentes limites des effets du courant alternatif à 50 Hz sur les personnes et déterminent 4 zones principales de risque.



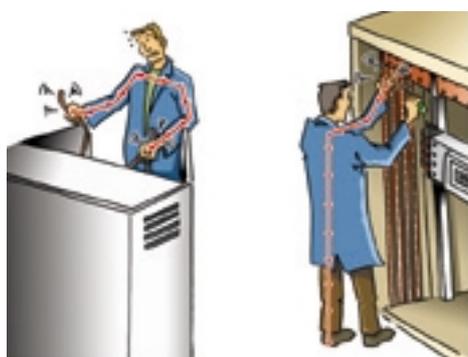
Les courbes courants/temps sont données pour une fréquence de 15 à 50 Hz. Le risque augmente notablement lorsque la fréquence augmente.

courbes courants/temps



Pour des durées de passage de courant inférieures à 10 ms, la limite du courant traversant le corps pour la ligne b reste constante et égale à 200 mA

Zone	Effets physiologiques
AC-1	Habituellement aucune réaction.
AC-2	Habituellement, aucun effet physiologique dangereux.
AC-3	Habituellement aucun dommage organique ; probabilité de contractions musculaires et de difficultés de respiration pour des durées de passage du courant supérieures à 2 s. Des perturbations réversibles dans la formation de la propagation des impulsions dans le cœur sans fibrillation ventriculaire, augmentant avec l'intensité du courant et le temps de passage.
AC-4	Augmentant avec l'intensité et le temps, des effets pathophysiologiques tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves peuvent se produire en complément avec les effets de la zone 3.
AC-4.1	Probabilité de fibrillation ventriculaire jusqu'à environ 5 %.
AC-4.2	Probabilité de fibrillation ventriculaire jusqu'à environ 50 %.
AC-4.3	Probabilité de fibrillation ventriculaire supérieure à 50 %.



2 → Le risque de contact direct

On parle de contact direct lorsqu'une personne vient toucher directement une partie nue sous tension d'un appareil, d'un équipement ou d'une installation (imprudence, maladresse, défectuosité...).

3 → Le risque de contact indirect

On parle de contact indirect lorsqu'une personne vient toucher une masse métallique mise accidentellement sous tension (défaut d'isolement d'appareil ou de machine électrique).

Il sera donc important de détecter et d'éliminer rapidement ce défaut avant qu'une personne entre en contact avec la masse métallique.



2 LE RISQUE DE BRÛLURES

1 Le contact de surfaces chaudes

Les températures atteintes par les surfaces accessibles des matériels électriques ne doivent pas être susceptibles de provoquer des brûlures à leur contact.

Si des surfaces doivent atteindre, même sur de courtes périodes, des valeurs plus élevées, elles doivent être protégées.



Valeurs des températures maximales de surface admissibles selon NFC 15-100

Parties accessibles	Matières des parties accessibles	Températures maximales (°C)
Organes de commande manuelle	Métallique	55
	Non métallique	65
Prévues pour être touchées mais non destinées à être tenues en main	Métallique	70
	Non métallique	80
Non destinées à être touchées en service normal	Métallique	80
	Non métallique	90



L'évaluation du risque effectif de brûlures doit être faite en considérant :

- la température de la surface
- le matériau constitutif de cette surface
- la durée du contact avec la peau.

Des données complémentaires comme la forme (rainures), la présence d'un revêtement ou la pression de contact peuvent être nécessaires. La norme EN 563 "température des surfaces tangibles" donne des indications de limites sur la base de données ergonomiques.

2 L'arc électrique

En dehors des conséquences matérielles très destructrices, les dangers d'un arc électrique accidentel sont surtout thermiques (brûlures directes par le plasma, projection de matière en fusion) et lumineux (flash intense). L'arc peut naître de la coupure ou de l'établissement d'un circuit ou d'un court-circuit. Dans ce second cas, il peut être extrêmement énergétique puisque uniquement limité par la puissance de la source.



Il n'existe pas de protections spécifiques contre l'arc électrique qui reste un phénomène imprévisible. Des écrans ou des cloisonnements peuvent en limiter les conséquences mais la meilleure prévention demeure le respect des "règles de l'art" et la conformité à la réglementation dans la réalisation des installations.

Les parties de celles-ci qui ne sont pas protégées (en amont des dispositifs de protection) doivent notamment faire l'objet de précautions particulières de manière à réduire la probabilité d'un court-circuit (voir précautions de câblage au chapitre III.5.B).

3 L'EXPOSITION AUX CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES BASSE FRÉQUENCE (HORS RADIO-FRÉQUENCES)

L'exposition professionnelle aux champs électromagnétiques n'est pas réglementée au plan national ni au plan international.

De nombreuses études épidémiologiques ont été menées et n'ont pas apporté de conclusions probantes sur les effets des champs électromagnétiques sur les humains.

L'évaluation de ce risque éventuel fait donc toujours l'objet de nombreuses recherches.

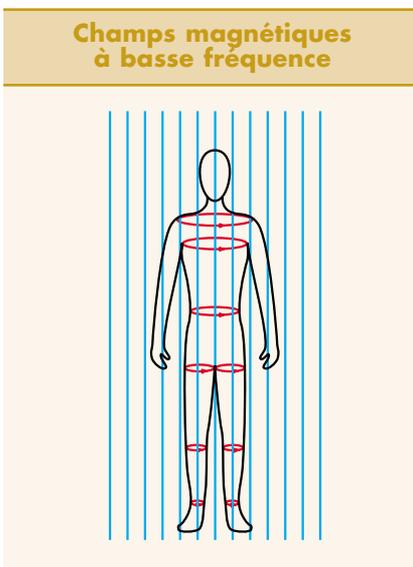


Les porteurs d'implants médicaux, actifs, mais aussi passifs, doivent signaler cette situation au médecin du travail afin que soient vérifiées les conditions d'exposition réelles (champ magnétique et champ électrique) et leur compatibilité.

1 Champs magnétiques à basse fréquence (en A/m)

Ils sont générés par les courants et sont proportionnels à leur intensité.

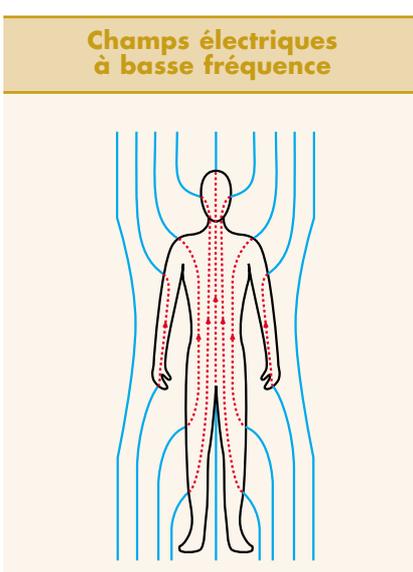
Ils induisent dans le corps des courants perpendiculaires au champ magnétique. Les valeurs du champ magnétique varient de quelques pT (picotesla) à quelques mT (millitesla). La valeur d'exposition décroît très rapidement avec le cube de la distance. Les expositions les plus fortes peuvent donc être atteintes avec des appareils domestiques très proches (sèche-cheveux, rasoir, couverture chauffante).



2 Champs électriques à basse fréquence (en V/m)

Le champ électrique est modifié à la surface du corps humain en fonction de la conductivité de celui-ci. C'est au niveau de la tête que l'intensité du champ est maximale. Le champ électrique induit des courants sensiblement dans l'axe du corps.

C'est à proximité des lignes d'énergie et transformateurs à haute tension, des soudeuses et fours à induction que les valeurs relevées sont les plus fortes (jusqu'à plusieurs kV/m). Le champ électrique décroît avec le carré de la distance.

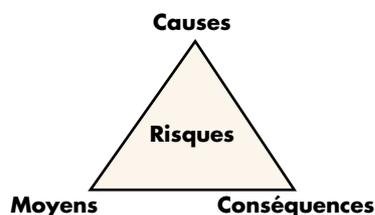


Preuve de la difficulté du sujet et des controverses qu'il alimente, l'édition de documents officiels (normes, règlements) reste limitée au regard du nombre d'études, thèses, rapports disponibles sur le sujet. On citera la norme IEEE 95-1-1991 d'origine américaine et la recommandation du Conseil de l'Union Européenne 1999/519/CE.

Le guide ED 785 de l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) fait une synthèse complète et accessible à l'usage des médecins du travail et services de prévention.

La sécurité des biens

Intimement liée à celle des personnes, la sécurité des biens nécessite une approche préventive qui s'appuie sur une analyse de type :



Le tableau ci-contre rappelle, à titre indicatif, les principaux éléments à considérer pour les facteurs de risque électrique sans toutefois se substituer à la nécessaire "analyse des risques" qui doit accompagner tout projet.

Analyse des risques électriques	
Facteurs de risque	<ul style="list-style-type: none"> - Surintensités (surcharges, courts-circuits) - Courants de défaut - Surtensions (foudre, décharges électrostatiques...) - Baisse de tension et interruption d'alimentation - Perturbations électromagnétiques - Dégradations, vieillissement, corrosion - ...
Conditions environnementales	<ul style="list-style-type: none"> - Structure des bâtiments - Matériaux de construction - Nature des matières traitées ou entreposées - Conditions d'évacuation des personnes - Lieux publics (vandalisme) - Conditions d'environnement climatique - Contraintes mécaniques, vibrations, séismes - Présence de faune et flore (moisissures...) - Exposition aux intempéries (vent, pluie, inondations...) - ...
Conséquences	<ul style="list-style-type: none"> - Incendie, - Explosion - Non-continuité d'exploitation - Dysfonctionnement (CEM) - Pollution de l'environnement - ...
Moyens	<ul style="list-style-type: none"> - Dispositifs de protection contre les surintensités - Limitation des courants de défaut - Utilisation de matériels, conduits et conducteurs conformes aux normes - Evaluation de la charge calorifique - Résistance et réaction au feu des éléments constructifs - Compartimentage, désenfumage - Détection, alarmes - Moyens de lutte - Dispositions anti-intrusion, anti-vandalisme - Protection adaptée aux conditions d'environnement (climatique, mécanique, chimique...) - ...



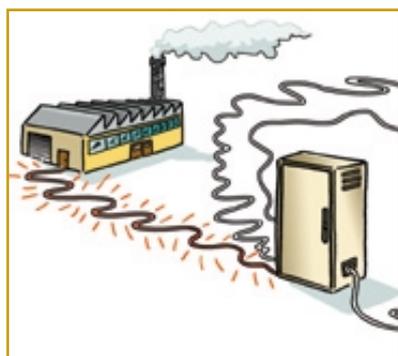
Il n'y a jamais de protection totale et la meilleure sécurité passe par la recherche de compromis raisonnables et raisonnés où la priorité est donnée à la sauvegarde des personnes. La réglementation française est extrêmement développée et de nombreux règlements et décrets fixent les règles à respecter dans cette recherche de sécurité globale des personnes et des biens : Le Code de la Construction, le Règlement de la Sécurité des Etablissements Recevant du Public (ERP), des Immeubles de Grande Hauteur (IGH)...

1 LE RISQUE DE SURINTENSITÉS

Tous les conducteurs actifs de l'installation (phases et neutre) doivent par principe être protégés contre les surcharges et contre les courts-circuits.

1 → La surcharge

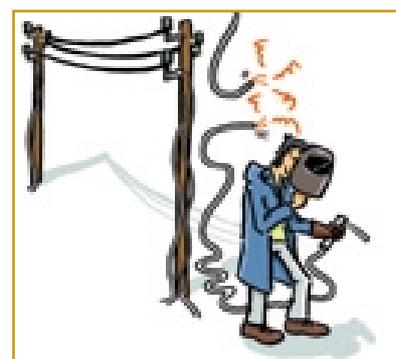
C'est une surintensité circulant en l'absence de défaut électrique dans un circuit. Elle est due à un sous-dimensionnement de la canalisation pour la charge alimentée (ou réciproquement à une charge trop importante pour la canalisation). Des dispositifs de protection doivent être prévus pour interrompre



tout courant de surcharge avant que l'échauffement du conducteur ne nuise à son isolation, à ses connexions et aux matériaux environnants. La protection contre les surcharges peut être assurée par des fusibles (type gG), des disjoncteurs avec relais thermique, des disjoncteurs avec relais électronique, des contacteurs avec relais de mesure. Attention, les fusibles aM ne protègent pas contre les surcharges. Les règles de détermination pour assurer la protection contre les surcharges sont décrites au chapitre II.A.1.

2 → Le court-circuit

C'est une surintensité produite par un défaut d'impédance négligeable entre conducteurs de potentiel différent. Il est d'origine accidentelle et peut être dû à une maladresse (chute d'outil, coupure d'un câble) ou à une défaillance du matériel. Des dispositifs de protection doivent être prévus pour limiter et couper les courants de courts-circuits avant que



leurs effets thermiques (échauffement des conducteurs, arc électrique) et mécaniques (efforts électrodynamiques) ne soient nuisibles et dangereux. La protection contre les courts-circuits peut être assurée par des fusibles (type gG ou aM), par des disjoncteurs avec relais magnétique, par des disjoncteurs avec relais électronique (maximum de courant). Leur pouvoir de coupure et leur temps d'ouverture du circuit doivent être adaptés au circuit protégé. Les règles de détermination pour assurer la protection contre les courts-circuits sont décrites au chapitre II.A.3.



Les dispositifs de protection des circuits de l'installation ne sont pas prévus pour assurer la protection des circuits internes des appareils ni celle des conducteurs souples (câbles d'alimentation d'appareils mobiles) connectés sur des prises de courant.

L'étude de protections indépendantes et adaptées peut être nécessaire si le risque de surintensités le nécessite (surcharge sur moteurs par exemple).



Par principe, toutes les lignes doivent être protégées contre les courts-circuits. Des associations d'appareils sont autorisées pour augmenter le pouvoir de coupure (voir chapitre II.B.2). Des dispenses de protection sont également possibles dans certains cas (voir chapitre II.C.2). La protection de conducteurs en parallèle (d'un même circuit) fait l'objet de précautions de câblage ainsi que la protection de l'installation en amont des dispositifs de protection (voir chapitre III.E.2).

2 LE RISQUE DE COURANTS DE DÉFAUT

Dans les matériels ou les installations, les courants de défaut entre parties actives et masses naissent généralement d'une défaillance ou d'un vieillissement de l'isolation. La circulation du courant peut, selon la valeur atteinte, créer des étincelles, voire enflammer les matériaux environnants. Le choix du régime de neutre détermine la valeur maximale des courants de défaut.

En cas de risque d'incendie :

- le schéma TN-C est interdit, les courants peuvent atteindre plusieurs kA et circuler dans les structures mêmes des bâtiments
- le schéma TN-S est déconseillé sauf s'il est complété par des dispositifs différentiels de sensibilité $I_{\Delta n} \leq 500$ mA
- le schéma TT est possible (limitation par différentiel)
- le schéma IT est recommandé en sécurité intrinsèque car le courant de 1^{er} défaut peut être limité à une valeur très faible (quelques mA), pour éviter le risque d'arc. Attention au 2^e défaut qui doit être protégé par différentiel $I_{\Delta n} \leq 500$ mA.



Dans les situations à risques, il est fortement recommandé d'effectuer une maintenance préventive basée sur le suivi de la valeur d'isolement de l'ensemble de l'installation : valeurs indiquées par le contrôleur permanent d'isolement (IT) ou campagnes régulières de mesures de résistance d'isolement.

La présence de contaminant, d'humidité ou le vieillissement des isolants, se traduit par des points faibles dans l'isolation. Si on augmente de manière significative la valeur de la tension d'essai, on observera alors une diminution sensible de la valeur de résistance. L'application de tensions croissantes de mesure, par exemple : 500 V, 1 000 V, 1 500 V, 2 500 V, 5 000 V, sera révélatrice de déficiences si la valeur d'isolement chute de plus de 25 % à chaque pas de tension.

Attention, la valeur d'essai doit rester nettement inférieure à la tenue diélectrique de l'installation (mini $2 U + 1\,000$).

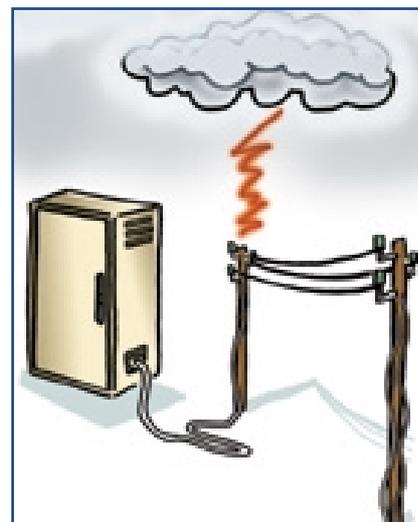
3 LE RISQUE DE SURTENSIONS

Les surtensions peuvent avoir plusieurs origines qu'il importe de discerner pour connaître leurs caractéristiques et adapter les moyens de protection.

1 Les surtensions d'origine atmosphérique

Les mécanismes de la foudre sont très complexes mais on peut dire de manière simplifiée qu'il s'agit d'une décharge électrique de très grande énergie provoquée par un rééquilibrage de potentiel entre nuages ou entre nuages et sol. Les courants de foudre atteignent de 10 à 100 kA avec des temps de montée de quelques microsecondes.

La foudre fait des dégâts considérables. En France, environ 2 millions de chocs de foudre frappent le sol, chaque année. Des centaines de bâtiments, des lignes téléphoniques et électriques sont mises hors d'usage. Des milliers d'animaux et plusieurs dizaines de personnes en sont les victimes.



Le risque local d'orage est déterminé par le niveau kéraunique qui est le nombre de jours où le tonnerre a été entendu dans une année. Les régions montagneuses sont les plus exposées.

Les effets de la foudre sont communément distingués en effets directs et effets indirects.

- Effets directs

Le foudroiement génère au point d'impact :

- des effets thermiques directs (fusion, incendie) dus à l'arc électrique
- des effets thermiques et électrodynamiques induits par la circulation du courant de foudre
- des effets de déflagration (onde de choc et souffle) produits par la chaleur et la dilatation de l'air.

La protection contre les effets directs de la foudre repose sur la captation et l'écoulement du courant à la terre (paratonnerre, tiges de capture...).

- Effets indirects

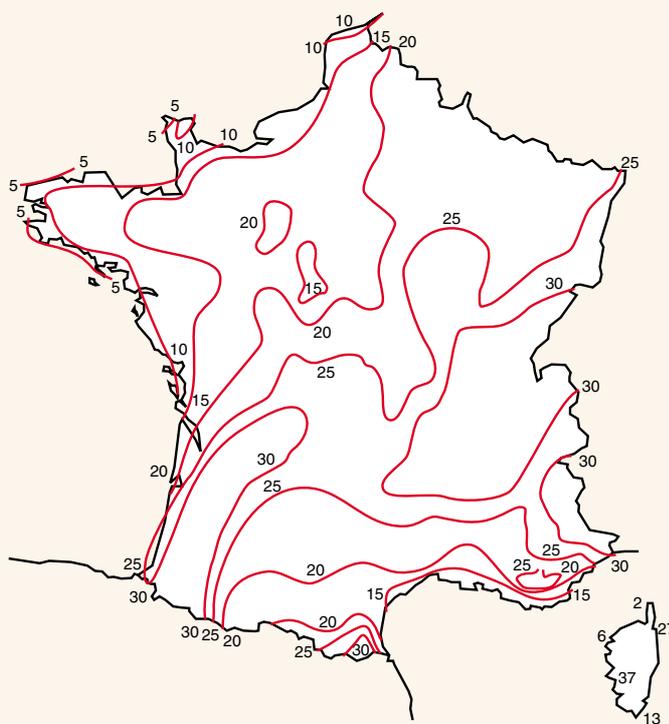
Un choc de foudre au sol provoque une montée en potentiel de la terre qui peut se propager à l'installation (remontée de terre).

Le foudroiement des lignes aériennes entraîne la propagation sur les réseaux HT et BT de surtensions de plusieurs milliers de volts.

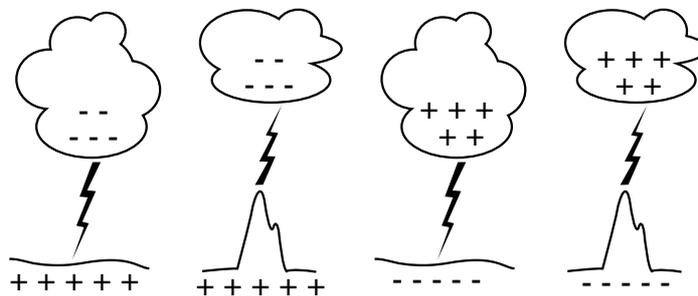
A la décharge de foudre est également associé un champ électromagnétique à large spectre de fréquence qui, en se couplant avec les éléments conducteurs (structures de bâtiment, installations électriques), va donner naissance à des courants induits destructeurs.

La protection contre les effets indirects repose essentiellement sur l'utilisation des parafoudres, sur l'équipotentialité des masses et le maillage des bâtiments.

Lignes de niveaux kéraoniques pour la France



Selon le sens de développement de la charge (descendant ou ascendant) et selon la polarité des charges (positive ou négative), on distingue quatre types de coup de foudre au sol.



Descendant négatif

Ascendant positif

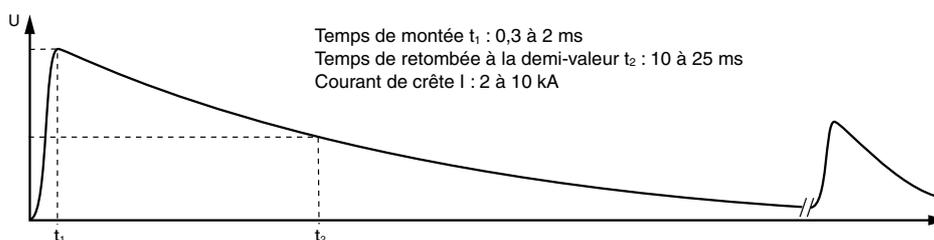
Descendant positif

Ascendant négatif



Les coups de foudre ascendants se développent à partir d'une proéminence naturelle ou artificielle. Les coups de foudre descendants négatifs sont les plus fréquents en zone de plaine. Une première décharge (précurseur) partant du nuage progresse vers le sol. A proximité de celui-ci, elle vient rencontrer un "leader ascendant" qui s'est établi à partir d'un point relié à la terre (arbre, paratonnerre, ou sol lui-même). Lors de la jonction précurseur/leader, le coup de foudre proprement dit se produit avec émission lumineuse (l'éclair), sonore (le tonnerre) et la décharge d'un courant intense pouvant atteindre 50 kA.

Allure type du courant de décharge d'un choc de foudre négatif (valeur pour 90 % des cas).



La norme NFC 17-100 fournit des informations pour la conception et la réalisation des systèmes de protection tels que paratonnerres, fils tendus, conducteurs maillés...

Le guide UTE C 443 donne les éléments nécessaires au choix et à l'installation des parafoudres fondés sur une évaluation du risque en fonction de la probabilité de foudroiement, de la topographie des lieux, de la nature et de la valeur des biens à protéger.



Les installations de protection contre la foudre ne garantissent jamais une protection absolue des personnes et des biens. Les dispositions prises visent à réduire statistiquement les risques en regard des éléments à protéger.

2 Les surtensions de manœuvres

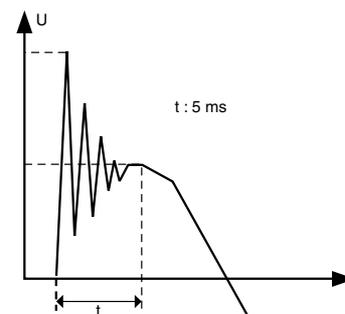
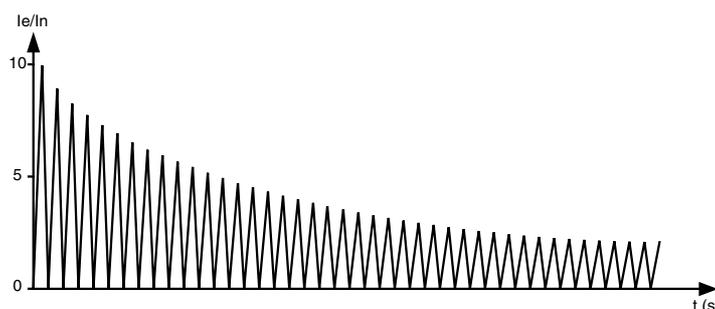
Pratiquement toutes les commutations sur les réseaux industriels, et particulièrement celles de forte puissance, produisent des surtensions. Elles sont provoquées par la rupture brusque du courant. Les lignes et les transformateurs se comportent alors comme des self-inductions. L'énergie mise en œuvre sous forme de transitoires dépend des caractéristiques du circuit commuté. Le temps de montée est de l'ordre de quelques dizaines de microsecondes et la valeur de quelques kV.



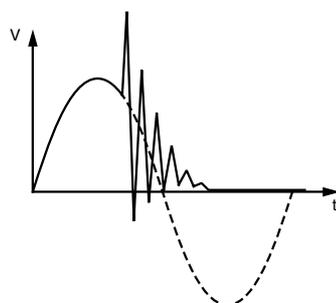
L'installation de parafoudres destinés à protéger contre les surtensions d'origine atmosphérique (foudre) permet en général de se prémunir contre les surtensions de manœuvre.



Les régimes transitoires, qui peuvent être sources de surtensions et de surintensités, peuvent naître à l'enclenchement des charges ou à leur déclenchement. Les transitoires les plus communs concernent les transformateurs, les moteurs, les condensateurs et les batteries.



L'enclenchement d'un transformateur provoque un courant d'appel de 10 à 20 In avec une composante apériodique amortie. Celle-ci provoque une surtension au secondaire par couplage capacitif et des effets oscillatoires dus aux capacités et aux inductances entre spires. Le déclenchement (ou l'ouverture) d'un transformateur crée une surtension transitoire due à la rupture du courant dans un circuit inductif. Cette surtension peut créer des réamorçages d'arc dans les dispositifs de coupure qui doivent être choisis en conséquence.



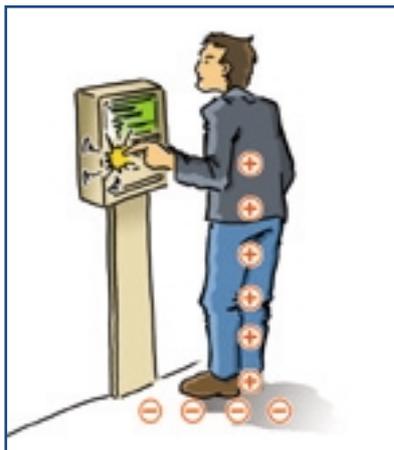
Surtension au déclenchement d'un transformateur

3 → Les surtensions par défaut d'isolement avec des installations à tension plus élevée

En règle générale, les surtensions de ce type ne sont considérées que pour des défauts entre la haute tension et les masses du poste HT/BT. La nature de la liaison entre ces dernières et la haute tension est déterminée par un schéma particulier R, N ou S (voir chapitre I.A.1).

4 → Les décharges électrostatiques

Même si elles ne sont pas à proprement parler transmises par le réseau électrique, puisque leur source en est extérieure, les décharges électrostatiques entrent néanmoins dans la catégorie des surtensions.



Cause importante de destruction de composants ou de matériels électroniques, elles sont aussi la source d'incendies ou d'explosions dans



Si le risque d'un défaut direct entre installations HT et BT n'est pas négligeable et que la prise de terre du poste et celle de l'installation sont distinctes (lettres N et S : TTN, TTS, ITN, ITS), on vérifiera que la valeur de la prise de terre du neutre R_{t1} (de l'installation) est suffisamment basse pour limiter la montée en potentiel de l'installation BT.

$$R_{t1} \leq \frac{U_{10} - U}{I_m}$$

R_{t1} : résistance de la prise de terre du neutre

U_{10} : tension de tenue diélectrique à 50 Hz (généralement prise à $2U + 1000$)

U : tension nominale de l'installation (tension simple ph/N en TT, tension composée ph/ph en IT)

I_m : courant maximal de défaut entre phase et terre de l'installation HT

les locaux traitant des matières pulvérulentes (farines), inflammables (solvants) ou dans des conditions poussiéreuses (silos à grains). Lorsque deux matériaux isolants sont frottés l'un sur l'autre, l'un des matériaux cède des électrons à l'autre. C'est l'effet de charge électrostatique.

Certains matériaux ont tendance à se charger positivement (perte d'électrons), d'autres à se charger négativement (gain d'électrons). Plus les matériaux sont éloignés sur l'échelle des potentiels et plus l'échange sera important.

De nombreuses associations de matériaux sont sources de charges électrostatiques.

Echelle des potentiels de quelques matériaux

+	↑	Air Main Verre Mica Cheveux humains Nylon Laine Fouurrure Plomb Aluminium Papier
charge positive		
	Référence 0	Coton (sec)
-	↓	Acier Bois Nickel, Cuivre Argent Or, Platine Acrylique Polyester Polyéthylène Polypropylène Polyuréthane Polychlorure de vinyle Silicium Téflon
charge négative		

• Electrification du corps humain

L'homme, en marchant ou en se mouvant, transmet des électrons aux surfaces en contact (moquette, mobilier...). Un équilibre s'établit après plusieurs mouvements et la charge peut alors atteindre quelques microcoulombs et plusieurs dizaines de kV.

Le contact avec un élément relié à la terre va provoquer une décharge brutale susceptible de perturber ou de détruire la plupart des composants électroniques.

Les effets sont directs (claquage diélectrique) ou indirects (champ magnétique induit par la circulation du courant de décharge pouvant atteindre plusieurs dizaines d'ampères).

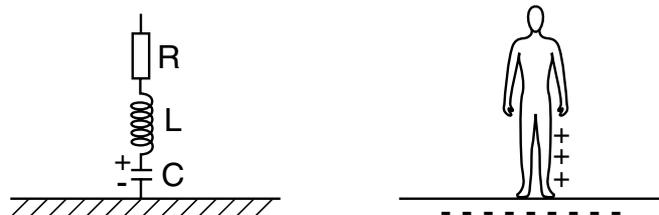
• Electrification des machines, des fluides, des particules

Les courroies de transmission sur les poulies, les bandes textiles sur des rouleaux, le papier sur les rotatives et tous les systèmes où des frottements permanents ont lieu, sont des sources de décharges électrostatiques. Leurs conséquences vont des désagréments ressentis par le personnel jusqu'au risque d'incendie ou d'explosion selon les matières traitées.

Les liquides peuvent également s'électrifier dans les canalisations, particulièrement si elles sont en matériau isolant. La détente de gaz comprimés ou de jets de vapeur peut également créer des charges électrostatiques.

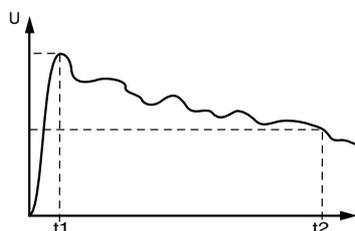


L'homme peut être modélisé comme un condensateur de quelques centaines de picofarads (pF) en série avec une résistance de quelques kΩ.



Au moment de la décharge, ce sont les éléments électriques R, L, C du circuit de décharge qui vont en déterminer les caractéristiques : temps de montée, durée, valeur de crête...

Allure type d'une décharge électrostatique.



t1 : temps de montée, 1 à 5 ns

t2 : temps de retombée à la demi valeur, 50 à 100 ns

U : Potentiel électrostatique, 15 kV (maxi 25 à 40 kV)

I : 5 à 20 A (maxi 70 A).

Les nuages de poussières sont susceptibles d'accumuler des charges importantes dont le potentiel peut dépasser 10 kV.

La quantité de charges électrostatiques augmente avec la concentration, la finesse, la vitesse de déplacement. L'inflammation ou plus souvent l'explosion peut naître d'une décharge spontanée dans le nuage de poussières ou d'une source

extérieure (bande transporteuse, personne...).

Le risque de décharges électrostatiques est également à considérer au premier chef dans les hôpitaux : mélanges inflammables, présence d'oxygène, humidité relative abaissée par le chauffage, nombreux frottements de tissus (litterie, vêtements...) en sont les principaux ingrédients.



L'effet de charge électrostatique dépend de nombreux paramètres comme la nature des matériaux en frottement (permittivité), les conditions de frottement et de séparation (vitesse relative), mais surtout des conditions de température et d'humidité ambiantes.

Selon les possibilités ou les exigences des processus ou des locaux, la réduction du risque de décharge électrostatique passera par :

- l'humidification de l'atmosphère (> 70 %)
- l'augmentation de la conductivité des isolants
- la mise à la terre et l'établissement de liaisons équipotentielles
- la réduction des frottements
- la neutralisation des charges (ionisation de l'air, éliminateurs à induction ou radioactifs...).

4 LES INTERRUPTIONS ET BAISES DE TENSION

La disparition de la tension d'alimentation et son rétablissement inopiné peuvent être une source de danger. De même certains matériels peuvent ne pas supporter une baisse de tension (en dehors des limites habituelles) et voir leur fonctionnement affecté : calage de moteurs, aléas dans des automatismes...

Les interruptions de tension doivent être analysées au niveau de toutes leurs conséquences : risque de panique, arrêt de machines, arrêt d'opérations pouvant mettre en cause la survie des personnes... Selon les exigences d'exploitation et/ou de sécurité, l'alimentation d'énergie pourra être assurée avec ou sans interruption (voir chapitre I.A.3 "Les groupes électrogènes").

Les disjoncteurs moteurs magnétothermiques Legrand...



... assurent la commande et la protection des moteurs triphasés. Ils peuvent être équipés d'un déclencheur de sécurité à manque de tension réf. 029 37/38 réglable de 0,35 à 0,7 Un



Des dispositifs à minimum de tension temporisés peuvent assurer une protection adaptée pour un niveau de baisse de tension prédéterminé ou pour un temps d'absence ou de baisse, ou pour les deux à la fois, mais ils ne doivent pas empêcher ou retarder toute manœuvre de commande d'arrêt ou d'arrêt d'urgence.



Le décret 93-40 du 11/01/93 traite des prescriptions techniques auxquelles doivent satisfaire les machines et équipements de travail conformément à la directive européenne 89/655.

Tout équipement de travail doit être muni des organes de service nécessaires permettant son arrêt général dans des conditions sûres.

Des moyens d'arrêt évitant toute remise en marche intempestive doivent être mis à disposition des opérateurs.

La coupure de l'alimentation doit couper les actionneurs en énergie : automaintien, bobine à manque de tension, contacts à ouverture.

L'ordre d'arrêt doit être prioritaire sur l'ordre de marche.

Une opération d'acquiescement volontaire (reset) avant remise en marche apporte un niveau de sécurité supplémentaire (art. R233-26).

5 LES PERTURBATIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Le développement accéléré de l'énergie électrique et de ses applications (électronique, informatique), la multiplication des appareils, fixes ou mobiles, la décentralisation des fonctions ont véritablement changé l'environnement naturel.

La compatibilité électromagnétique (ou CEM) se définit comme l'aptitude d'un matériel, d'un système ou d'une installation à fonctionner correctement dans son environnement, sans générer lui-même de perturbations intolérables pour les autres éléments de cet environnement. C'est une exigence incontournable qu'on ne peut ignorer dans les installations d'aujourd'hui.

Selon les cas, la CEM sera traitée au niveau de la source (réduction de l'émission) ou au niveau de la victime (amélioration de l'immunité ou "durcissement") ou les deux.

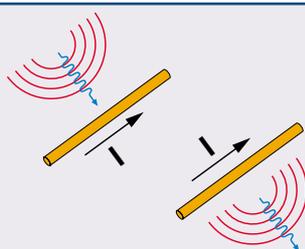
La complexité des problèmes de CEM est souvent liée au fait que les sources peuvent aussi être des victimes et les victimes des sources, et que le couplage se fait conjointement selon les deux modes : rayonné et conduit. La directive européenne 89/336 (J.O. du 23 mai 1989) ordonne à chaque Etat de mettre en œuvre et d'harmoniser les moyens nécessaires ; retranscrite dans les droits nationaux, elle n'a finalement été rendue d'application obligatoire qu'au 1^{er} janvier 1996.



Trois paramètres définissent la CEM :

Source ⇒ Couplage ⇒ Victime

- **La source est caractérisée par un niveau d'émission. Les principales sources de perturbations sont : la foudre, les émetteurs hertziens, les générateurs HF, les disjoncteurs et commutateurs de puissance, les fours à arc, à induction, les alimentations à découpage, l'éclairage à fluorescence, les relais, les moteurs électriques, l'outillage, l'électroméner, les décharges électrostatiques...**
- **La victime est caractérisée par un niveau d'immunité. Les principales victimes sont : la radio, la télévision, les télécommunications, les modems, l'informatique, les appareils contenant de l'électronique...**
- **Le couplage définit la voie de transmission de la perturbation. Il existe deux modes de transmission :**
 - le rayonnement (dans l'air, sans support matériel)
 - la conduction (par les éléments conducteurs : masses, terre, câbles...).



Les conducteurs sont des antennes qui reçoivent... mais qui émettent



La vérification de la conformité s'appuie désormais sur un ensemble conséquent de normes internationales (de la série CEI 61000).

- CEI 61000-1-1 : application et interprétation de définitions et termes fondamentaux**
- CEI 61000-2-1 : description de l'environnement électromagnétique**
- CEI 61000-2-2 : niveaux de compatibilité des perturbations - conduites BF et transmission des signaux sur les réseaux publics d'alimentation BT**
- CEI 61000-2-3 : description de l'environnement - phénomènes rayonnés et phénomènes conduits à des fréquences autres que celles du réseau**
- CEI 61000-2-4 : niveaux de compatibilité dans les installations industrielles pour les perturbations conduites BF**
- CEI 61000-2-5 : classification des environnements électromagnétiques**
- CEI 61000-2-6 : évaluation des niveaux d'émission dans l'alimentation des centrales industrielles tenant compte des perturbations conduites BF**
- CEI 61000-2-7 : champs magnétiques BF**
- CEI 61000-2-9 : description de l'environnement IEMN-HA⁽¹⁾ - perturbations radiantes**
- CEI 61000-2-10 : environnement IEMN-HA⁽¹⁾ - perturbations conduites**
- CEI 61000-2-11 : classification de l'environnement IEMN-HA⁽¹⁾**
- CEI 61000-3-2 : limites pour les émissions de courant harmonique (appareils < 16 A)**
- CEI 61000-3-3 : limitation des fluctuations et du flicker dans les réseaux BT (appareils < 16 A)**
- CEI 61000-3-4 : limites des émissions de courants harmoniques dans les réseaux BT (appareils > 16 A)**
- CEI 61000-3-5 : limitation des fluctuations de tension et du flicker dans les réseaux BT (appareils > 16 A)**
- CEI 61000-3-6 : évaluation des limites d'émission pour les charges déformantes raccordées aux réseaux MT et HT**
- CEI 61000-3-7 : évaluation des limites d'émission des charges fluctuantes sur les réseaux MT et HT**
- CEI 61000-3-8 : transmission des signaux dans les installations électriques BT**
- CEI 61000-4-1 : vue d'ensemble sur les essais d'immunité**
- CEI 61000-4-2 : essai d'immunité aux décharges électrostatiques**
- CEI 61000-4-3 : essai d'immunité aux champs EM rayonnés aux fréquences radioélectriques**
- CEI 61000-4-4 : essai d'immunité aux transitoires rapides en salves**
- CEI 61000-4-5 : essai d'immunité aux ondes de choc**
- CEI 61000-4-6 : essai d'immunité aux perturbations conduites induites par les champs radioélectriques**
- CEI 61000-4-7 : guide relatif aux mesures, appareillage, appareils raccordés aux réseaux d'alimentation pour les harmoniques et interharmoniques**
- CEI 61000-4-8 : essai d'immunité au champ magnétique à la fréquence du réseau**
- CEI 61000-4-9 : essai d'immunité au champ magnétique impulsionnel**
- CEI 61000-4-10 : essai d'immunité au champ magnétique oscillatoire amorti**
- CEI 61000-4-11 : essai d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations**
- CEI 61000-4-12 : essai d'immunité aux ondes oscillatoires**
- CEI 61000-4-14 : essai d'immunité aux fluctuations de tension**
- CEI 61000-4-15 : flickermètre - spécification fonctionnelle et conception**
- CEI 61000-4-16 : essai d'immunité aux perturbations conduites en mode commun (0 à 150 kHz)**
- CEI 61000-4-17 : essai d'immunité à l'ondulation résiduelle sur entrée de puissance à courant continu**
- CEI 61000-4-24 : essais des dispositifs de protection contre les perturbations conduites IEMN-HA⁽¹⁾**
- CEI 61000-4-28 : essai d'immunité à la variation de la fréquence d'alimentation**
- CEI 61000-5-1 : guide d'installation - considérations générales**
- CEI 61000-5-2 : guide : mise à la terre et câblage**
- CEI 61000-5-3 : guide : concepts de protection**
- CEI 61000-5-4 : guide : immunité à l'IEMN-HA⁽¹⁾**
- CEI 61000-5-5 : guide : dispositifs de protection contre les perturbations IEMN-HA⁽¹⁾**
- CEI 61000-6-1 : niveaux génériques - immunité pour les environnements résidentiels, commerciaux et industrie légère**
- CEI 61000-6-2 : niveaux génériques - immunité pour les environnements industriels**
- CEI 61000-6-4 : niveaux génériques - émission pour les environnements industriels**

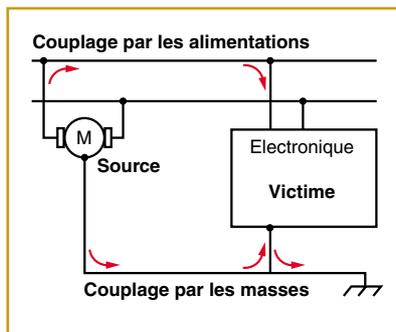
⁽¹⁾ Impulsion Electromagnétique Nucléaire à Haute Altitude.

Les problèmes de CEM naissent des "couplages" qui s'établissent entre les différents éléments d'un système ou d'une installation.

Ces phénomènes sont d'autant plus cruciaux que cohabitent des appareils de puissance avec des appareils électroniques, que leurs lignes d'alimentation (courants forts) et de transmission (courants faibles) sont proches et que l'environnement est perturbé du fait même de l'activité. Le couplage, qui transmet la perturbation, peut s'effectuer selon quatre modes.

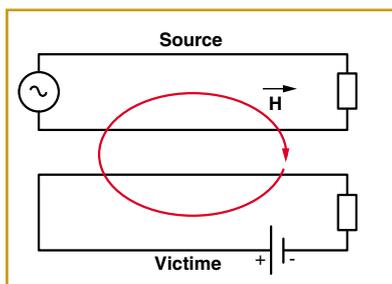
1 → Couplage par impédance commune

Les perturbations se transmettent par les circuits en commun à la source et à la victime : alimentation, masses circuits de protection, auxiliaires... Ce mode est également nommé "couplage galvanique".



2 → Couplage inductif

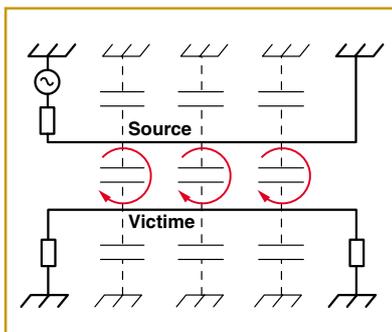
Les perturbations se transmettent par création d'un champ magnétique et induction d'une fem dans le conducteur victime.



3 → Couplage capacitif

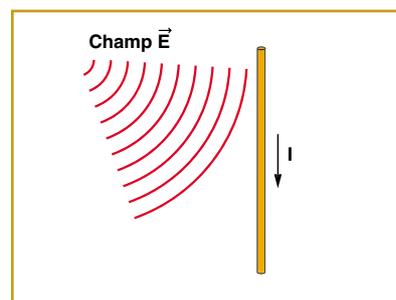
Les perturbations sont transmises par effet capacitif entre les lignes qui cheminent à proximité l'une de l'autre.

On nomme diaphonie les effets associés des couplages inductifs et capacitifs.



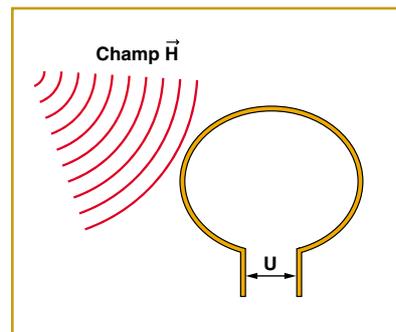
4 → Couplage champ électrique sur fil

Les variations de champ électromagnétique (composante électrique \vec{E}) induisent des courants dans les conducteurs qui se comportent comme des antennes.



5 → Couplage champ magnétique sur boucle

Les variations de champ magnétique \vec{H} induisent des tensions (fem) dans les boucles conductrices.



Comme dans tous les domaines, la meilleure protection contre les problèmes de CEM passe par la prévention. Pour chaque mode de couplage, et aux risques de transmission de perturbations qui s'y rapportent, il existe des précautions élémentaires. Celles-ci sont décrites aux chapitres I.B.3 "Moyens de protection" et I.B.4 "Construction des matériels". La prise en compte de la CEM implique des exigences nouvelles de mise en œuvre qui vont au-delà des règles de l'art habituelles.

6 LES PHÉNOMÈNES DE DÉGRADATION ET DE VIEILLISSEMENT

Les conditions d'exposition aux contraintes de l'environnement sont très variables selon les lieux d'installation.

En fait, les facteurs potentiels de dégradation peuvent être classés en deux grandes catégories :

- les facteurs climatologiques liés à la température, à l'ensoleillement, au vent, aux précipitations et à l'humidité
- les facteurs spécifiques à l'usage ou au lieu d'installation dont l'action est liée à la nature et la teneur des agents corrosifs et polluants, à la présence d'eau ou de poussière (caractérisée par le code IP), voire à l'action de la faune, de la flore ou des moisissures dans certains cas. Le matériel installé doit pouvoir supporter sans dommage, et avec une espérance de vie suffisante, les contraintes du lieu où il est installé. La protection peut être assurée :
 - directement par le matériel, qui devra alors posséder les caractéristiques adaptées (IP, IK, résistance à la corrosion...)
 - par une protection supplémentaire apportée par une enveloppe (coffret, armoire) adaptée
 - par une installation dans un emplacement où les contraintes sont réduites : abri, locaux électriques, gaines techniques...



Il existe plusieurs classifications normalisées des conditions d'environnements.

La NFC 15-100 propose une codification pour un certain nombre de facteurs.

- **Température ambiante : code AA (par exemple AA2, température très froide - 40 °C + 5 °C)**
- **Température et humidité combinées : code AB**
- **Altitude : code AC**
- **Présence d'eau : code AD (par exemple AD 5 = IP x5)**
- **Présence de corps solides : code AE**
- **Présence de substances corrosives : code AF**
- **Contraintes mécaniques : code AG (chocs), code AH (vibrations)**
- **Présence de flore et de moisissures : code AK**
- **Présence de faune : code AL**
- **Influences électromagnétiques, électrostatiques et ionisantes : code AM**
- **Rayonnements solaires : code AN**
- **Effets sismiques : code AP**
- **Foudre : code AQ**

Sur la base de cette classification, le guide UTE C 15-103 préconise les caractéristiques que doivent comporter les matériels et les canalisations en fonction des locaux ou emplacements considérés.

Les niveaux de performance et les essais liés à la présence d'eau, de corps solides et de risques de chocs sont bien définis et correspondent à une classification des matériels : code IP, code IK.

En revanche, les critères liés aux facteurs climatiques ou spécifiques (corrosion, rayonnements...) ne donnent pas lieu à une classification des matériels.

Dans une approche plus exhaustive, la norme NF C 20-000 (issue de la CEI 60721) propose à la fois une classification des agents d'environnement individuels : température, humidité, mais aussi vagues, éclaboussures, sable, boue ou gaz à action corrosive avec des valeurs ou des niveaux types.

Et une classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités, permettant de caractériser tous les lieux d'utilisation ou d'installation : stockage, transport, poste fixe abrité, poste fixe extérieur, véhicules, navires...

1 — Installations extérieures

Pour le choix des matériels et des enveloppes, il faudra en première approche considérer les conditions climatiques du lieu (voir encadré). Aux caractéristiques du climat type, il faudra superposer les facteurs spécifiques liés aux conditions mêmes d'utilisation ou d'installation qui peuvent varier pour un même climat. Malgré leur diversité et leur complexité, ceux-ci peuvent être classés en cinq grandes catégories ou "atmosphères".

- Atmosphère rurale qui correspond aux conditions d'exposition à la

campagne, sans agents corrosifs en quantité notable autre que l'humidité ambiante.

- Atmosphère urbaine qui désigne les conditions d'exposition en ville avec alternance d'humidité et de sécheresse, présence de suies, de poussières, d'hydrocarbures, d'oxydes d'azote, d'oxydes de carbone, de métaux lourds, de dioxyde de soufre produits par la circulation automobile. Les effets de la corrosion sont notablement augmentés.

- Atmosphère industrielle dont les conditions agressives sont

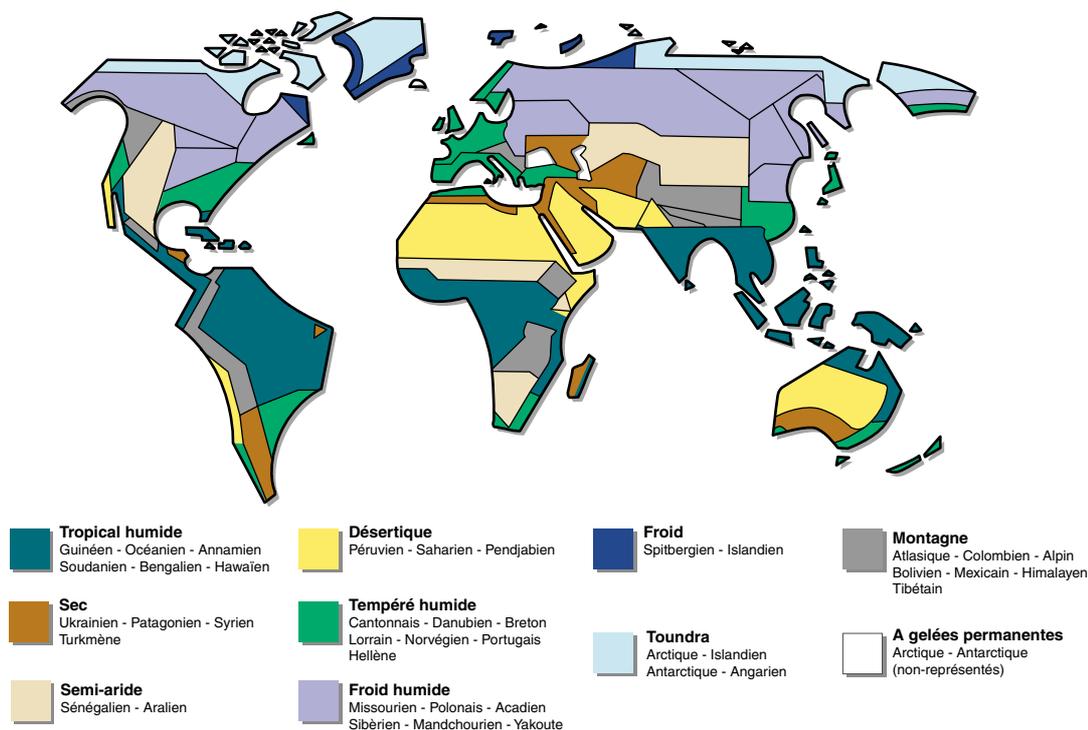
essentiellement dues à la teneur en composés soufrés (H_2S , SO_2) et halogénés (HCl).

- Atmosphère marine caractérisée par une attaque corrosive très importante du fait du sel (chlorures) et du fort taux d'humidité. Si ces conditions existent bien sûr en bord de mer (quais, jetées...) et a fortiori en pleine mer (navires, plates-formes...), elles ne doivent pas être négligées pour la frange côtière qui peut atteindre plusieurs kilomètres sous l'effet des vents dominants.



Plusieurs classifications des climats existent. Celle du géographe français Emmanuel de Martonne (1873-1955) qualifie chaque climat local par le nom de la région qui correspond à ce climat et pour lequel sont regroupées les données météorologiques concernant la température, l'insolation, les précipitations et l'humidité relative.

Les climats locaux peuvent être regroupés en grands types dont les ordres de grandeur des caractéristiques sont généralement suffisants : tropical humide, sec, semi-aride, désertique, tempéré humide (la majorité de l'Europe), froid humide, froid, extrêmement froid.



- Atmosphère tropicale dont les conditions réelles peuvent en fait être très variables mais où prédominent une température et une humidité élevées qui ne sont pas suffisantes à elles seules pour augmenter notablement la corrosion. D'autres facteurs devraient être considérés : moisissures, microorganismes, lichens, insectes, pollens... pour adapter au mieux les prescriptions de traitement. Leur connaissance restant souvent aléatoire, les conditions sont empiriquement considérées comme très sévères et les matériels choisis en conséquence (traitement de tropicalisation).

Pour tous les types d'expositions, le choix de l'indice IP du produit pourra se faire en discernant les utilisations à l'abri des précipitations directes de la pluie et/ou du soleil (auvent, larmier, hangar ouvert) de celles directement exposées aux intempéries.



Coffret Atlantic Inox : une réponse adaptée pour la protection dans les atmosphères les plus difficiles

2 — Installations intérieures

Les conditions intérieures peuvent être classées en de nombreux niveaux sur la base des critères de chauffage (hors gel, régulé, climatisé...), d'humidité, de ventilation (souterrain confiné, ventilé), d'effets d'absorption ou de serre...

Dans la pratique, on pourra retenir trois classes principales.

- Intérieur sec qui caractérise les locaux chauffés l'hiver et exempts de condensation et d'humidité. Sont généralement inclus dans cette classe les locaux résidentiels, tertiaires, et les ateliers de montage.
- Intérieur humide applicable aux locaux ou emplacements soumis à l'humidité et à des condensations répétées (intérieurs de hangars, entrepôts fermés non chauffés, magasins avec quais ouverts, sous-sols...). Le volume intérieur des enveloppes fermées (coffrets, containers, cabines) placées à l'extérieur est assimilé à ce niveau.



Armoires Altis et XL-A pour tous les locaux industriels secs et humides

- Intérieur agressif dont les conditions sont caractérisées par la présence de polluants ou d'agents de corrosion éventuellement combinés à une humidité ou à des projections d'eau importantes (agroalimentaire, traitements chimiques, locaux d'élevage...).



Pour les conditions extrêmes de résistance ou d'hygiène : la solution armoire Altis et coffrets Inox



Simulation de l'exposition en atmosphère industrielle dans une étuve SO₂ (dioxyde de soufre)

3 — Rayonnement solaire

Les phénomènes de vieillissement provoqués par le rayonnement solaire sont extrêmement complexes et difficiles à recréer en laboratoire. S'ajoutent d'autres facteurs comme la température, l'humidité, les agents chimiques dont les effets agissent en synergie avec le soleil.

Les dégradations observées vont du changement de couleur ou de brillance jusqu'à l'altération des caractéristiques physiques des matériaux.



Différents documents normatifs traitent du rayonnement solaire et des essais applicables, on peut citer :

- NF C 20-540** : essai de vieillissement climatique des matériels et matériaux à usage extérieur
- CEI 60068-2-5** : rayonnement solaire artificiel au niveau du sol
- CEI 60068-2-9** : guide pour l'essai de rayonnement solaire
- NF T 51-056** : méthodes d'exposition à une lampe à arc au xénon
- NF T 51-185** : détermination des changements de couleur ou de caractéristiques après exposition
- NF T 30-057** : évaluation de la solidité à la lumière artificielle des peintures d'intérieur
- NF T 30-055** : méthode d'exposition sous verre à la lumière du jour
- NF T 30-036** : action alternée d'un rayonnement UV et de l'eau.



Dans la pratique, les matériaux constituant les produits sont choisis pour résister au rayonnement solaire des emplacements pour lesquels ils sont prévus.

Des vérifications peuvent néanmoins s'avérer nécessaires pour certains cas extrêmes :

- installations en montage au-dessus de 2 000 m
- conditions d'insolation élevées (> 2 400 h/an)
- installations à proximité de sources d'éclairage riches en rayonnement UV (fluorescence, luminescence).



Le rayonnement solaire est caractérisé par son niveau d'énergie (exprimé en W/m^2) et par le spectre de son émission (longueurs d'ondes λ).

L'énergie rayonnée varie selon les régions (latitude), selon la turbidité de l'air (au-dessus des villes), et bien sûr selon la présence de nuages.

Elle est caractérisée en valeur instantanée en W/m^2 ou pondérée sur la durée d'exposition qui peut être journalière, mensuelle ou annuelle.

Hormis sous les climats tropicaux ou désertiques, les valeurs types maximales, à midi, sans nuage, sont de 1 050 W dans les grandes villes, 1 120 W en plaine et 1 180 W en montagne.

La valeur de l'exposition énergétique journalière sous 45° de latitude Nord est de 7,45 kWh/m².

Le rayonnement électromagnétique du soleil couvre, au niveau de la surface de la terre, un spectre assez large dans une bande de longueurs d'ondes comprises entre 0,3 μm à 4 μm avec un maximum dans la bande visible entre 0,4 et 0,8 μm .

Le rayonnement peut affecter les matériaux essentiellement par échauffement (effet des infrarouges, $\lambda > 0,8 \mu m$) ou par photo dégradation (effet des ultraviolets $\lambda < 0,4 \mu m$). Cette dernière se traduit par des décolorations, farinages de surface, voire des craquelures ou des désagrégations.

7 LES CONTRAINTES D'EXPOSITION : POUSSIÈRES, EAU ET HUMIDITÉ

Le matériel ou les enveloppes destinés à le protéger doivent être choisis pour s'affranchir des effets nuisibles qu'aurait la pénétration de corps solides (poussières, sable) ou d'eau sous forme liquide mais aussi sous forme gazeuse : l'humidité.



1 Les poussières

De très nombreuses activités humaines (circulation, industrie, agriculture, travaux publics...) mais aussi la nature (terre, sable, pollens...) génèrent des poussières conductrices ou qui peuvent le devenir en combinaison avec l'humidité.

A terme, des pénétrations importantes dans les matériels électriques peuvent provoquer des dysfonctionnements, des défauts d'isolation, voire initier des courts-circuits.



Le code IP (indice de protection) définit le niveau de protection apporté. La norme CEI 60529 (NF C 20-010) prescrit les essais à effectuer pour sa vérification

1 ^{er} chiffre : protection contre les corps solides		
IP	Tests	
0		Pas de protection
1		Protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm
2		Protégé contre les corps solides supérieurs à 12,5 mm
3		Protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm (outils, vis)
4		Protégé contre les corps solides supérieurs à 1 mm (outils fins, petit fils)
5		Protégé contre les poussières (pas de dépôt nuisible)
6		Totalement protégé contre les poussières

2 ^e chiffre : protection contre les corps liquides		
IP	Tests	
0		Pas de protection
1		Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation)
2		Protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale
3		Protégé contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale
4		Protégé contre les projections d'eau de toutes directions
5		Protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance
6		Totalement protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer
7		Protégé contre les effets de l'immersion
8		Protégé contre les effets de l'immersion prolongée dans des conditions spécifiées

Le niveau d'accessibilité aux parties dangereuses également donné par le 1^{er} chiffre ou par une lettre additionnelle n'est pas traité dans ce tableau. Voir chapitre III.G.1.

Souvent sournois et insidieux, ces défauts naissent avec le temps et le manque d'entretien.

Des périodes de marche et d'arrêt, créant des pressions/dépressions dans les enveloppes, favorisent la pénétration des poussières. Les systèmes de ventilation transportent énormément de poussières. Les filtres ne peuvent tout arrêter et doivent être nettoyés régulièrement.



Les locaux de service électrique, les tableaux, les gaines techniques doivent faire l'objet d'un nettoyage régulier par aspiration au titre de la maintenance préventive. La périodicité est à définir en fonction des conditions locales, mais ne devrait pas excéder douze mois.



Essai de pénétration contre les solides : ici, essai à la poussière de talc



Les échangeurs de chaleur Legrand (4 modèles de 25 W/°C à 81,5 W/°C) permettent un refroidissement très efficace dans les ambiances les plus poussiéreuses



Règles générales pour le choix du 1^{er} chiffre de l'IP selon les emplacements (voir guide UTE C 15-103 pour plus de précisions).

- **IP 2x** : emplacements ou locaux à usage domestique et tertiaire où il n'existe aucune quantité appréciable de poussières et où ne sont pas manipulés de petits objets. De nombreux locaux techniques de service et de commande sont concernés.
- **IP 3x** : emplacements ou locaux à usages industriels et assimilés (garages, bricolage) où sont manipulés de petits objets (visseries, outils...) - salles de machines, ateliers de montage, de fabrication, de mécanique - emplacements extérieurs : camping, chantiers, rues, cours, jardins, établissements forains, piscines...
- **IP 4x** : conditions identiques à sévérité 3 mais avec présence de corps étrangers plus petits (fils, paille...) (locaux agricoles d'élevage, ateliers de précision...).
- **IP 5x et 6x** : emplacements ou locaux où il existe des quantités importantes (5) ou très importante (6) de poussières (entrepôts de foin, greniers, granges, silos, ateliers de textile, de travail du bois, carrières, cimenteries, engrais, matières plastiques, sucreries...).

2 — L'eau

Au même titre que la poussière, l'eau ne doit pas pénétrer dans les matériels électriques : corrosion, dégradation des contacts, diminution de l'isolation... Autant d'effets néfastes dont il faut se préserver pour assurer la pérennité des équipements.

Bien évidemment, il faut choisir des matériels et enveloppes dont l'indice de protection est adapté au lieu d'installation, pour éviter la pénétration directe de l'eau sous forme liquide.



Essai de protection contre les projections d'eau IP x6



Les essais d'étanchéité prescrits par la norme EN 60529 sont adaptés aux cas d'installations les plus courants des climats tempérés.

Des applications spécifiques peuvent requérir des exigences différentes ou plus sévères qu'il importera de bien identifier pour s'assurer des performances des produits choisis, par exemple : marnage ou déluge pour les installations offshore, lavage à haute pression (Karcher™), formation de glace, voire fonctionnement sous glace, charge de neige...



Règles générales pour le choix du 2^e chiffre de l'IP selon les emplacements (voir guide UTE C 15-103 pour plus de précisions)

- **IP x1** : emplacements ou locaux dans lesquels l'humidité se condense occasionnellement sous forme de gouttes d'eau. Le taux d'humidité (vapeur d'eau) peut être élevé sur de longues périodes (caves, celliers, lingerie, toilettes, séchoirs, sous-sol, vérandas, laboratoires, chaufferies, ateliers, garages, salles de lavabos individuels, entrepôts de combustible, certains magasins de stockage...).
- **IP x2** : cette sévérité n'est pas spécifiée pour des emplacements ou locaux types. On pourra néanmoins l'appliquer lorsqu'il existe des risques que les gouttes d'eau ne tombent pas verticalement suite à l'effet du vent (terrasses couvertes par exemple) ou que le produit ne soit pas installé dans les conditions de position pour lequel il est prévu (faux aplomb, sol en pente...).
- **IP x3** : emplacements ou locaux dans lesquels l'eau ruisselle sur les murs et le sol (buanderies, vides sanitaires, chambres frigorifiques, surpresseurs, station de vapeur ou d'eau chaude, locaux de recharge de batterie, salles de lavabos collectifs, entrepôts d'alcools, chais, caves de distillation, serres, établissements forains, divers entrepôts, fabrication d'engrais, de détergents, de colles, de peintures, de spiritueux, de vernis...).
- **IP x4** : emplacements ou locaux dans lesquels les matériels sont soumis à des projections d'eau (boucheries, charcuteries, crémeries, fabrication de pâte à papier, raffineries...). Cette sévérité et celles au-dessus sont applicables pour les emplacements extérieurs non couverts (rues, cours, jardins, terrasses...).
- **IP x5** : emplacements ou locaux qui sont couramment lavés à l'aide de jets (locaux à pouelles, cours, jardins, plages de piscines, élevages de volailles, porcheries, étables, salles de traite, écuries, carrières, chaînes d'embouteillage, laiteries, laveries, lavoirs publics, fromageries, abattoirs, teintureries, sucreries, tanneries, poissonneries, chantiers, quais de déchargement...).
- **IP x6** : emplacements ou locaux qui sont soumis à des vagues d'eau ou des paquets de mer (jetées, plages, quais, pontons, aires de lavage...).

3 — L'humidité

Si les modes de transport de l'eau (chute de gouttes, pluie, jets...) sont faciles à identifier et les moyens pour s'en protéger bien codifiés, il n'en est pas de même de l'humidité de l'air dont la condensation peut entraîner des dommages imprévisibles. A terme, l'eau condensée peut représenter des quantités insoupçonnées avec les conséquences que l'on devine. Ceci est particulièrement vrai pour les matériels soumis à des varia-

tions cycliques de température. A l'extérieur, ce sont les variations saisonnières, le refroidissement nocturne, un orage par temps chaud, le passage à l'ombre après l'ensoleillement... A l'intérieur, ce sont les cycles de marche et d'arrêt, le lavage à l'eau froide, la coupure du chauffage en période d'inoccupation, les écarts de température importants dans certains locaux (papeterie, agroalimentaire...).

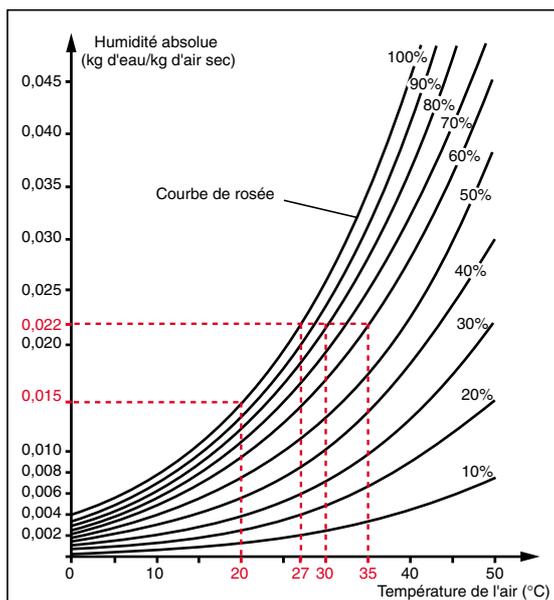


Essai en enceinte climatique permettant de recréer les conditions d'humidité et de condensation



Parmi ses nombreux composants (azote, gaz carbonique, oxygène...), l'air contient aussi de l'eau sous forme de gaz : c'est la vapeur d'eau qu'il ne faut pas confondre avec l'eau en suspension comme le brouillard ou la buée.

On appelle humidité absolue Q , la masse d'eau sous forme de gaz (vapeur) contenue dans une quantité d'air donnée. Q est exprimé en kg d'eau par kg d'air sec. Une masse d'air donnée ne peut contenir, pour une température donnée, qu'une quantité maximale d'eau appelée humidité absolue maximale Q_M . Au-delà de cette quantité, l'air est saturé et la vapeur passe à l'état liquide, c'est la condensation. Ce point de saturation est nommé point de rosée (par assimilation à la rosée de l'herbe).



Plus l'air est chaud et plus il peut contenir d'eau sous forme de vapeur. On définit ainsi une courbe dite courbe de rosée qui caractérise la quantité d'eau sous forme de vapeur que peut contenir l'air en fonction de la température.

Dans la pratique, le terme d'humidité relative HR (ou degré hygrométrique) est souvent utilisé ; il exprime le rapport (en %) de la quantité Q de vapeur d'eau présente dans l'air à une température donnée (humidité absolue) sur la quantité maximale Q_M que peut contenir l'air à cette température.

$$HR (\%) = Q/Q_M \times 100$$

Connaissant Q_M (courbe de rosée), on peut calculer l'humidité relative pour différentes températures et définir un réseau de courbes, dit diagramme de Mollier.

On constate sur ce réseau que pour une humidité absolue donnée, l'humidité relative est inversement proportionnelle à la température.

Sur l'exemple de la courbe : 1 kg d'air (soit environ 1 m³) à 30 °C et 80 % HR contient 0,022 kg de vapeur d'eau. Si cet air est chauffé à 35 °C, la quantité d'eau ne change pas, mais l'humidité relative n'est plus que de 60 %.

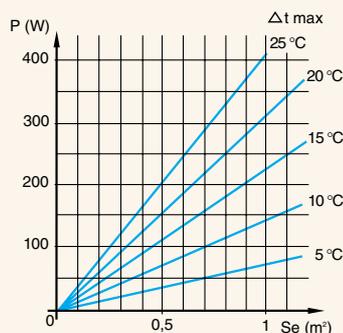
Si ce même volume d'air est refroidi à 27 °C, l'humidité relative est de 100 %, le point de rosée est atteint. La différence de température (3 °C dans l'exemple) est nommée "écart psychométrique".

Si ce même air est maintenant refroidi à 20 °C, l'humidité absolue maximale sera maintenant de 0,015 kg. Il y aura donc condensation d'une masse d'eau égale à 0,022 - 0,015 = 0,007 kg, et qui sera passée sous forme liquide.

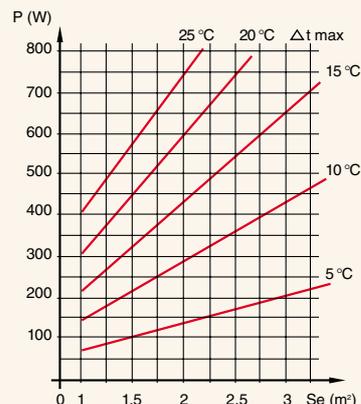
Les courbes ci-contre permettent de déterminer la puissance de chauffage à installer en fonction de Δt et de la surface de dissipation équivalente Se de l'enveloppe (voir calcul de Se au chapitre II.E.1).
 Les résistances réf. 348 00/ 01/02 sont autorégulées (PTC). Elles peuvent être asservies à un thermostat d'ambiance (réf. 348 47), à un inter crépusculaire, à l'arrêt de fonctionnement.

Courbes de détermination de la puissance de chauffage

Se jusqu'à 1 m²



Se au-delà de 1 m²



L'offre de résistances de chauffage Legrand permet une véritable gestion thermique des enveloppes.
 Des puissances de 20, 60, 120 et 350 W permettent de répondre à tous les cas de figure



Pour éviter la condensation, il faut maintenir l'humidité relative à une valeur inférieure à 100%. La température ne doit donc pas descendre en dessous du point de rosée. Pour chaque application, il faudrait connaître avec précision les différents paramètres influents, ainsi que l'apport de chaleur dû à l'appareillage. On pourra, à titre indicatif, retenir les valeurs suivantes pour le climat français.

Saison	Hiver	Printemps Automne	Été
Température de condensation (point de rosée) HR : 100 %	+ 4 °C	+ 18 °C	+ 28 °C
Température minimale nocturne	- 5 °C	0 °C	+ 20 °C
Δt	+ 9 °C	+ 18 °C	+ 8 °C

La valeur Δt indique la différence entre la température minimale nocturne et la température du point de rosée. C'est donc la valeur de l'échauffement minimum à maintenir pour éviter la condensation.



Règle de calcul approché pour déterminer la puissance de chauffage.
Locaux fermés non chauffés :
Prévoir 0,4 W/dm³ de volume de l'enveloppe.
Installations extérieures :
Prévoir 1 W/dm³ de volume de l'enveloppe.

8 LES CONTRAINTES MÉCANIQUES

Hormis les exigences normales de fonctionnement mécanique que doivent assurer les matériels (ouverture des portes, débrouillage, verrouillage...), il importe de vérifier que leur choix et leur mise en œuvre prennent bien en compte les contraintes mécaniques liées à l'environnement ; et celles-ci, souvent indirectes, ne sont pas toujours faciles à identifier.

1 Les substances mécaniquement actives

Au-delà du risque de pénétration dans les équipements (voir contraintes d'exposition), la présence de sable ou de poussières en grande quantité peut affecter les équipements par sédimentation (coincement des mécanismes) ou par abrasion (usure et corrosion).

De telles conditions peuvent se rencontrer dans certaines activités (carrières, cimenteries...) et dans les régions désertiques et subdésertiques. Le sable, essentiellement constitué de



particules de quartz de 100 à 1 000 µm de grosseur, raje la plupart des matériaux y compris le verre.

2 La pression mécanique du vent

Les effets mécaniques liés aux mouvements de l'air sont essentiellement pris en compte pour les lignes aériennes.

Les tableaux électriques, les enveloppes et leurs fixations peuvent

également être soumis à des efforts non négligeables et proportionnels à leurs dimensions.

Dans les zones très venteuses, sur les navires, sur des jetées, sur des plates-formes, des interventions peuvent être effectuées dans des conditions extrêmes.



Selon la destination des installations, les contraintes mécaniques sont diverses et variables :

- utilisation à poste fixe protégée des intempéries (installations intérieures)
- utilisation extérieure non protégée (grues, ponts)
- utilisations difficiles (chantiers)
- installations sur véhicules (compresseurs, groupes...).

Les contraintes mécaniques doivent être évaluées avec soin et testées en conséquence.



Les contraintes mécaniques, chocs, vibrations et séismes font l'objet d'une codification, en tant qu'influences externes, au chapitre 32 de la NF C 15-100.

La NF C 20-000 (CEI 60721-3) propose une classification très précise (jusqu'à 8 niveaux) avec des valeurs caractéristiques d'amplitude, d'accélération et de fréquences.



La force exercée par le vent sur une surface peut être calculée par la formule :

$$F = 0,62 v^2 S$$

F : force en newtons (N)
v : vitesse du vent en m/s

S : surface perpendiculaire au vent en m²

A titre d'exemple, une porte de coffret de 1 000 x 800 ouverte sous une rafale de 30 m/s sera soumise à une force de 468 N (environ 50 kg).

3 — Les précipitations solides

Grêle, givre et verglas peuvent nécessiter des précautions particulières au niveau de leurs effets mécaniques.

- La grêle est à considérer essentiellement du point de vue des impacts mécaniques. En règle générale, on considérera la chute de grêlons n'excédant pas un diamètre de 20 mm, soit une énergie de 1 joule.

Une protection complémentaire (toit, déflecteur) pourra être envisagée pour les régions à risque élevé : des grêlons de 50 mm (énergie de choc de 40 joules) sont envisageables.

- La neige est à considérer du point de vue de la charge mécanique et de l'eau qu'elle représente une fois fondue. Le risque de pénétration (poudreuse) est normalement couvert par l'indice de protection minimum (IP x4) pour les produits extérieurs.

La densité de la neige récemment tombée est d'environ un dixième de celle de l'eau. Elle augmente avec le tassement, mais cela ne modifie pas la charge.

Une hauteur de neige de 1 m représente donc une pression de 1 kPa (10 g/cm²).

- Le givre et le verglas sont deux phénomènes qui ne diffèrent que par les conditions de leur formation. Dans les deux cas, il s'agit de gouttelettes en "surfusion", le verglas se forme sur un film d'eau alors que le givre est une accumulation liée au vent. Les dépôts qu'ils représentent doivent être considérés sous les aspects de la charge et de risque de blocage des mécanismes.

La densité du verglas est proche de celle de l'eau et bien que les épaisseurs soient limitées, l'adhérence de la glace est telle que la charge représente un risque très réel pour les lignes aériennes.



Les risques d'obturation et de blocage liés au givre ou à la glace devront être évalués notamment au niveau des zones creuses où peuvent se produire des rétentions. Les joints de fermeture non drainés, les mécanismes pouvant se bloquer par suite de pénétration d'eau devront être protégés. Une couche de graisse ou un film à base de silicone peuvent être suffisants, les fermetures à clé restent souvent difficiles à protéger efficacement.

Les toits rapportés débordants représentent une solution simple et efficace de protection.



Les produits et enveloppes ayant une résistance aux chocs au moins égale à 5 joules (IK > 07) sont considérés résister aux impacts de grêle les plus probables.

La charge potentielle de la neige devra être prise en compte au niveau de la surface supérieure des équipements et de leurs dispositifs de fixation. Une valeur standard de 20 g/m² (2 m de hauteur) pourra être retenue pour les régions tempérées.

Une protection complémentaire pour les régions à fort enneigement (montagne) devrait considérer une hauteur de 10 m (100 g/cm²) en prenant en compte la neige transportée par le vent (congères).



Pattes de fixation réf. 364 01 pour coffrets XL-A et Altantic. Charge nominale 300 kg pour résister à toutes les contraintes d'installation

4 Les vibrations

Le terme de vibrations recouvre de nombreux phénomènes oscillatoires dont les caractéristiques et les effets sont très variables. On distingue ainsi les vibrations stationnaires sinusoïdales, les vibrations aléatoires mais stationnaires ou les vibrations aléatoires à spectre spécifique (chocs, impacts, freinage...).

Le matériel électrique, notamment de forte puissance, génère lui-même des vibrations liées à la fréquence 50 Hz du secteur ; cette donnée est prise en compte dans la conception même des produits.

En revanche, de nombreuses vibrations liées à l'activité ou à l'environnement extérieur peuvent se transmettre aux installations et créer à terme des dysfonctionnements.

La NFC 20-000 propose de nombreuses classes d'exposition, mais on peut retenir de manière simple et réaliste trois niveaux pour les matériels installés à poste fixe.

- 1^{er} niveau

Les sources de vibrations sont absentes ou momentanées, les structures sont rigides et le matériel électrique n'est pas soumis à des vibrations significatives.

- 2^e niveau

La proximité de machines, convoyeurs, le passage de véhicules, sont sources de vibrations qui se propagent par les éléments de structure (murs, charpente) jusqu'aux matériels et appareillages électriques. Dans ces conditions, les valeurs caractéristiques au niveau de la source n'excèdent pas : 3 mm pour l'amplitude des déplacements, 10 m/s² pour l'accélération ($\approx 1 g$) et de 2 à 200 Hz pour la fréquence. L'amplitude résultante compte tenu de l'amortissement n'excède pas 0,2 mm au niveau des matériels.

Une mise en œuvre soignée, le respect des couples de serrage préconisés, la fixation correcte des appareils et du câblage pour éviter résonances ou amplifications permettent normalement de se prémunir d'éventuels problèmes dans ces conditions.

- 3^e niveau

Les matériels électriques sont directement fixés sur les machines ou sur des bâtis communs. Les vibrations ou les chocs sont importants et répétitifs. Au niveau de la source, l'amplitude peut atteindre 15 mm, et l'accélération 50 m/s² (5 g). Des valeurs qui peuvent engendrer des déplacements de 1 mm et plus des matériels.



Coffret Atlantic sur le bâti d'une presse

Des précautions sont indispensables dans ces conditions :

- utiliser des rondelles freins, du "frein-filet"... contre le desserrage des connexions, et celui des fixations. Dans tous les cas, le repérage (vernis craquelant ou peinture) des systèmes vissés est recommandé dans le cadre d'une maintenance prédictive

- utiliser des conducteurs souples et protéger ceux-ci de tout contact pouvant être ou devenir blessant
- guider et attacher les conducteurs (goulottes, gaines)
- respecter impérativement la position recommandée d'installation des appareils
- fixer si nécessaire les enveloppes sur amortisseurs (silent-blocs, élastomères...).



Altis inox intégrée au châssis d'une machine automatique



Pour les utilisations en déplacement, des spécifications particulières doivent être appliquées : accélérations verticales de type choc pour les véhicules, déplacements angulaires permanents et oscillants pour les navires...

5 — Chocs avec impacts

Comme pour le code IP, le niveau de protection contre les chocs (code IK) doit être choisi en fonction des risques de l'emplacement d'installation. Le guide UTE C 15-103 donne des indications sur ce choix. En règle générale, IK 02 est requis pour les applications domestiques, mais certains emplacements (caves, greniers, escaliers...) peuvent nécessiter IK 07.

IK 07 est nécessaire pour la plupart des locaux techniques, dans les exploitations agricoles, dans certains ERP.

IK 08 est également nécessaire dans certains ERP, dans les établissements industriels et dans des emplacements à risque (réserves, chantiers, quais...).

IK 10 est applicable aux emplacements situés à moins de 1,5 m au-dessus du sol et où circulent des engins de manutention.



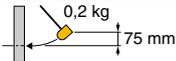
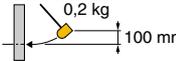
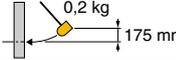
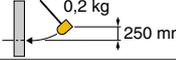
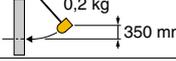
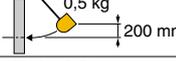
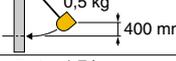
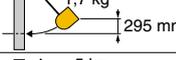
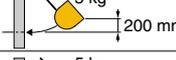
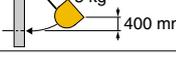
Protection spécifique contre les chocs pour coffrets mobiles



Niveaux de protection contre les chocs

Degrés de protection IK contre les impacts mécaniques selon la norme EN 50102

Anciennes appellations équivalentes

Degré IK	Tests	Energie en Joules	IP 3 ^e chiffre	code AG
IK 00		0		
IK 01		0,15		
IK 02		0,2	1	1
IK 03		0,35		
IK 04		0,5	3	
IK 05		0,7		
IK 06		1		
IK 07		2	5	2
IK 08		5	7	3
IK 09		10		
IK 10		20	9	4

Le choc généré par le marteau IK est un choc de type contondant. Il est possible d'effectuer, selon les modalités de la norme, des chocs jusqu'à 50 joules en portant la hauteur de la chute à 1 mètre.

Des chocs perforants peuvent être effectués, notamment sur les emballages, avec le marteau spécifique défini par la norme NF H 00-059.

6 — Les mouvements

Certains équipements installés sur des dispositifs de manutention notamment (grues, ponts roulants, ascenseurs...) sont soumis à des mouvements de grande amplitude. Ceux-ci ne génèrent pas forcément de vibrations, mais des précautions doivent néanmoins être prises sous deux aspects.

- Les contraintes appliquées aux conducteurs qui subissent des déformations répétées.

Ces derniers doivent être correctement choisis (Buflex TM, câbles méplats H07 VVH6-F, câbles H05 WD3H6-F pour ascenseurs...) pour l'usage. Des dispositifs (trolley, attaches en festons...) permettent d'assurer leurs déplacements.

- Les efforts appliqués aux composants et surtout à leur fixation dans les phases d'accélération et de freinage.



Installations d'enveloppes et de transformateurs sur un pont roulant

Ces efforts sont proportionnels à la masse des éléments fixés, et plus ceux-ci sont lourds (transformateurs, tableaux câblés), plus les efforts sont importants du fait de l'inertie. Des fixations complémentaires (équerres, goujons...) doivent être envisagées.

7 — Les séismes

La compréhension des tremblements de terre et surtout leurs conséquences dramatiques ont conduit à une meilleure prise en compte de ce risque dans la construction des ouvrages et des bâtiments dans les régions les plus exposées. Mais le génie parasismique ne s'arrête pas aux constructions. Une véritable analyse doit prendre en compte les services minimaux qu'il faut maintenir pendant et après le séisme (sau-

vegarde). Les dégâts admissibles, les coûts de reconstruction seront comparés aux surcoûts de construction en regard du risque statistique de magnitude des séismes (répétés, d'intensité modérée à exceptionnellement élevée).

Dans cette approche, les équipements, notamment électriques peuvent faire l'objet d'exigences parasismiques quand leur pérennité touche à la sécurité. Les installations nucléaires en sont l'objet au premier chef, mais d'autres industries sensibles (chimie, sidérurgie, pharmacie...) ou des établissements recevant du public (hôpitaux, salles de spectacle...) peuvent être concernés au moins pour leur partie systèmes de sécurité et énergie de remplacement.

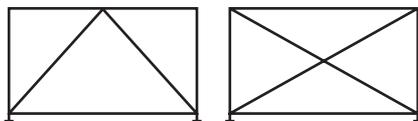


Les qualifications parasismiques des équipements s'appuient sur des essais effectués sur des tables vibrantes. La difficulté est bien sûr de simuler au mieux des conditions réelles hypothétiques, sachant en plus que les séismes sont souvent accompagnés de phénomènes secondaires (incendies, inondations, vagues d'eau...) encore plus difficiles à prévoir. Au-delà des essais, une sensibilité certaine au risque sismique est réellement nécessaire pour concevoir des équipements adaptés.

La réponse sismique d'une structure nécessite la compréhension des facteurs fondamentaux, mais surtout le respect de règles d'installation :

- les ancrages au sol doivent supporter les effets de cisaillement (chevilles spéciales)
- éviter les entrechocs entre équipements ou entre équipements et ouvrages par solidarisation ou éloignement
- placer les appareils les plus sensibles (par exemple relais) en partie basse, l'accélération augmentant avec la hauteur de l'équipement
- les structures légères (panneaux de grande dimension, portiques) provoquent des effets accélérateurs
- se prémunir des chutes d'objets non fixés et des éléments de plafond
- fixer les équipement au sol et au mur...

Exemple : contreventements de portiques.



Classique : concentration de contraintes sur les nœuds.



Excentré : mieux adapté aux effets de cisaillements horizontaux.

La consultation d'organisme spécialisé est un préalable recommandé dans les installations parasismiques : Association Française de Génie Parasismique, CEA, EDF, SOPEMEA (laboratoire d'essais), bureaux d'études spécialisées (diagnostic)...

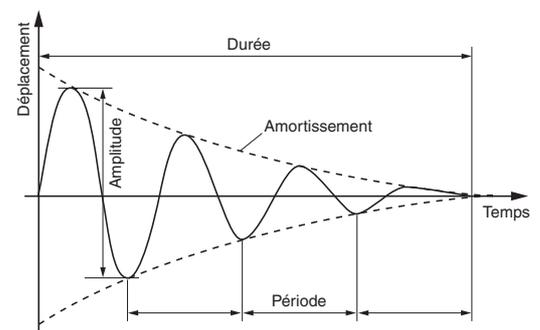


Le tremblement de terre est lié à une libération brutale d'énergie dans les profondeurs terrestres. La théorie de la "tectonique des plaques" explique que les séismes naissent le long des failles par soulèvement ou glissement relatif de ces plaques.

La croûte terrestre externe est constituée d'une dizaine de plaques majeures (plaque sud-américaine, plaque eurasiatique, plaque pacifique, plaque africaine, plaque antarctique...) et de plaques plus petites.

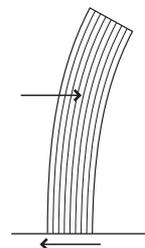
Relation entre le déplacement et le temps d'une onde amortie.

Les ondes sismiques principales se propagent dans toutes les directions à travers la croûte terrestre. Leur direction et leur cheminement sont complexes, leur



fréquence variable mais les effets les plus destructeurs sont dus aux ondes lentes (inférieures à 10 Hz) et transversales.

L'attention la plus grande est généralement portée sur les forces horizontales générées par les séismes. Les valeurs d'accélération prescrites par les tests sont 2 fois plus élevées en horizontal qu'en vertical.





L'approche normative s'appuie sur deux voies :

- La première consiste à effectuer un essai conventionnel (balayage sinusoïdal, sinusoïde modulée, essai à fréquences multiples avec recherche de fréquence critique) pour qualifier un matériel à un niveau codifié donné. Trois classes sont retenues pour séisme faible à moyen, moyen à fort, fort à très fort. Des facteurs d'amplification (liés à la hauteur, à la rigidité du bâtiment) peuvent être appliqués ainsi que des facteurs de direction (horizontal ou vertical). On parle alors de "classe sismique générale".

- La seconde, plus précise, plus réaliste aussi, consiste à appliquer un accélérogramme spécifique (temps, amplitude, accélération). Celui-ci a pu être obtenu par calcul, par simulation ou par relevé sur des séismes précédents.

A ce spectre d'essai, peuvent être superposés des essais conventionnels (sinusoïdes modulées) et appliqué un facteur de sécurité ; c'est la "classe sismique spécifique".

Des méthodes et essais sismiques sont décrits dans un certain nombre de documents. Leur portée n'est souvent que nationale, voire sectorielle, et les résultats obtenus dans un cas de figure pratiquement jamais transposables à un autre cas.

UTE C 20-420 : guide pour les méthodes d'essais sismiques applicables aux matériels

HN 20 E 53 : spécification EDF

EN 60068-3-3 : méthode d'essais sismiques (UTE C 20-420)

IEEE Std 693 : IEEE recommended practices for seismic design of substations

ETG -1-015 : especificaciones técnicas generales diseño sísmico.