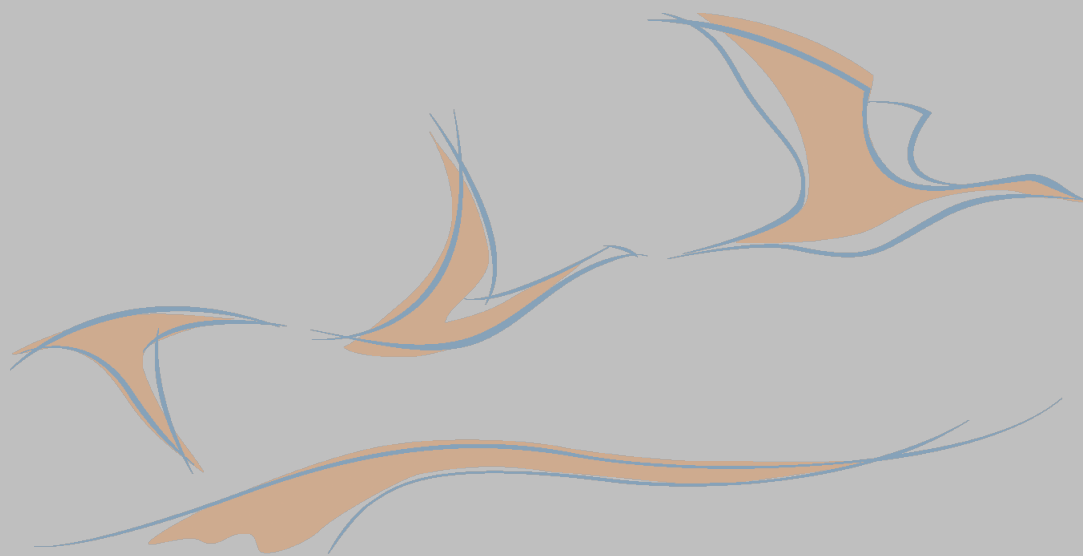


Électrotechnique

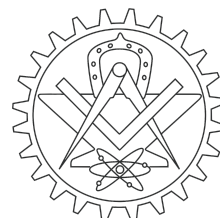
Schéma de liaison à la terre



Électrotechnique

Schéma de liaison à la terre

Bruno DOUCHY



Édition 2020.11
v0.1.13



Patrimoine
Culturel
Immatériel
en France



CONFÉRENCE DES
GRANDES
ÉCOLES



ISO
9001:2015
Certified
Management
F5652018



Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Table des matières | i |
| Liste des tableaux | ii |
| Liste des figures | iii |
| Liste des formules | iv |
| Liste des définitions | v |
| Liste des exemples | vi |
| 1 Les dangers de l'électricité | 1 |
| 1.1 Catégories de tension | 1 |
| 1.2 Action du courant électrique sur le corps humain | 1 |
| 1.3 Paramètres influençant les risques électriques | 3 |
| 1.4 Nature des contacts | 5 |
| 2 Principes de fonctionnement | 9 |
| 2.1 Généralités | 9 |
| 2.2 Définitions usuelles | 9 |
| 2.3 Désignations des différents SLT | 9 |
| 3 Schéma Terre-Terre | 11 |
| 3.1 Caractéristiques générales | 11 |
| 3.2 Schémas de principe | 11 |
| Annexes | 15 |
| A Informations complémentaires sur les dangers de l'électricité | 17 |
| A.1 État des lieux de la prévention des risques électriques | 17 |
| A.2 Statistiques | 17 |
| A.3 Différents effets du courant électriques | 18 |
| A.4 Descriptifs des moyens de protections contre les contacts directs | 19 |
| A.5 Descriptifs des moyens de protection contre les contacts indirects | 29 |
| Bibliographie | 39 |



Liste des tableaux

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Domaines de tensions | 1 |
| 1.2 | Moyen de protection contre les contacts directs | 6 |
| 2.1 | Désignation des différents schémas de liaisons à la terre | 9 |
| 2.2 | Temps de coupure maximal des circuits terminaux | 10 |
| A.1 | Types de Très Basse Tension | 20 |
| A.2 | Descriptif de l'indice contre les chocs mécanique IK | 21 |
| A.3 | Lettre additionnelle sur les informations supplémentaires | 21 |
| A.4 | Descriptif des indices de protection | 22 |
| A.5 | Classification des locaux | 24 |
| A.6 | Classe d'isolation électrique des appareils | 29 |
| A.7 | Valeur du seuil de $I_{\Delta n}$ fonction de R_A et U_L | 30 |
| A.8 | Différents types de DDR selon les composantes du courant de défaut | 31 |
| A.9 | Section des conducteurs de protection | 32 |
| A.10 | Caractéristiques des équipements électriques selon les volumes des salles d'eau | 37 |



Liste des figures

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Effets du courant alternatif sur le corps humain | 2 |
| 1.2 | Effets du courant continu sur le corps humain | 3 |
| 1.3 | Courbe de l'intensité de contact I_c en fonction du temps $t = f(I_c)$ ¹ | 3 |
| 1.4 | Courbe de la tension de contact U_c en fonction du temps de coupure maximal $t = f(U_c)$ | 4 |
| 1.5 | Courbe de la tension de contact U_c en fonction de la résistance du corps humain $R = f(U_c)$ | 5 |
| 3.1 | Installation Terre-Terre | 11 |
| 3.3 | Boucle de défaut du courant I_d sur L1 | 12 |
| A.1 | Matériel de classe d'isolation II | 30 |
| A.2 | Marquage d'un interrupteur différentiel | 31 |
| A.4 | Liaison équipotentielle | 33 |
| A.5 | Boucle à fond de fouille | 34 |
| A.6 | Câble en tranchée | 35 |
| A.7 | Piquet de terre | 35 |
| A.8 | Répartition des volumes dans une salle d'eau sans receveur | 36 |
| A.9 | Répartition des volumes dans une salle d'eau avec baignoire | 36 |



Liste des formules

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Loi de Joule | 1 |
| 1.2 | Probabilité d'électrocution | 1 |
| 3.1 | Courant de défaut I_d | 12 |
| 3.2 | Tension de défaut U_d | 12 |
| 3.3 | Calibre du DDR $I_{\Delta n}$ | 12 |
| A.1 | Valeur de la résistance de la prise de terre de l'installation électrique R_T | 33 |



Liste des définitions

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Contact direct | 5 |
| 1.2 | Contact indirect | 7 |
| 1.3 | Masse | 7 |
| 2.1 | Conducteur actif | 9 |
| 2.2 | Neutre | 9 |
| 2.3 | Terre | 9 |
| 3.1 | Schéma TT | 11 |
| A.1 | Dispositif Différentiel Résiduel | 30 |



Liste des exemples

| | | |
|-----|---|----|
| 3.1 | Calcul du calibre du DDR $I_{\Delta n}$ | 13 |
|-----|---|----|



1 Les dangers de l'électricité

1.1 Catégories de tension

TAB. 1.1: Domaines de tensions

| Domaine de tension | | Courant alternatif ¹ | Courant continu |
|----------------------------|-----|---------------------------------|-------------------------|
| Très Basse Tension | TBT | $U_n \leq 50V$ | $U_n \leq 120V$ |
| Basse Tension | BT | $50V < U_n \leq 1000V$ | $120V < U_n \leq 1500V$ |
| Haute Tension ² | HTA | $1000V < U_n \leq 50kV$ | $1500V < U_n \leq 75kV$ |
| | HTB | $U_n > 50kV$ | $U_n > 75kV$ |

¹ Tension nominale exprimée en *valeur efficace* U_n ;

² Les basses tensions ne sont plus divisées en deux catégories depuis 2010, seule la haute tension conserve cette caractéristique.

1.2 Action du courant électrique sur le corps humain

Les dégâts provoqués au corps humain par un choc électrique sont directement corrélés à l'énergie dissipée par ce choc. Cette énergie dissipée est définie par la *loi de Joule*.

Formule 1.1 (Loi de Joule)

$$W = R \cdot I^2 \cdot t \quad (1.1)$$

Avec :

| Grandeur dans l'ISQ | Unité SI de mesure | Description |
|--------------------------|--------------------|-------------|
| R : résistance | ohm (Ω) | |
| I : courant électrique | milliampère (mA) | |
| t : durée | seconde (s) | |

La présence d'une tension électrique entraîne toujours un risque de choc électrique mais il est peu aisé de déterminer un seuil de tension pour lequel le choc est dangereux car ce sont l'*intensité* du courant I traversant le corps et la *durée* t du choc électrique qui permettent de déterminer la probabilité de décès.

Formule 1.2 (Probabilité d'électrocution)

$$I = \frac{116}{\sqrt{t}} \quad (1.2)$$

Avec :



| Grandeur dans l'ISQ | Unité SI de mesure | Description |
|--------------------------|--------------------|--|
| I : courant électrique | milliampère (mA) | Courant traversant le corps |
| t : durée | seconde (s) | Durée du choc électrique d'une durée ($8\text{ms} < t \leq 5\text{s}$) |
| 116 : constante | / (/) | Constante empirique déterminée statistiquement ¹³ |

En plus de l'intensité du courant et de la durée de passage du courant dans le corps, la surface de contact et la susceptibilité spécifique à chaque personne sont d'autres facteurs de gravité d'un contact électrique. Plus de précisions sur la prévention du danger électrique en [section A.1 page 17](#).

1.2.1 Effet du courant alternatif

Les effets du courant alternatif entre 15Hz et 100Hz sont décrit en [figure 1.1](#).

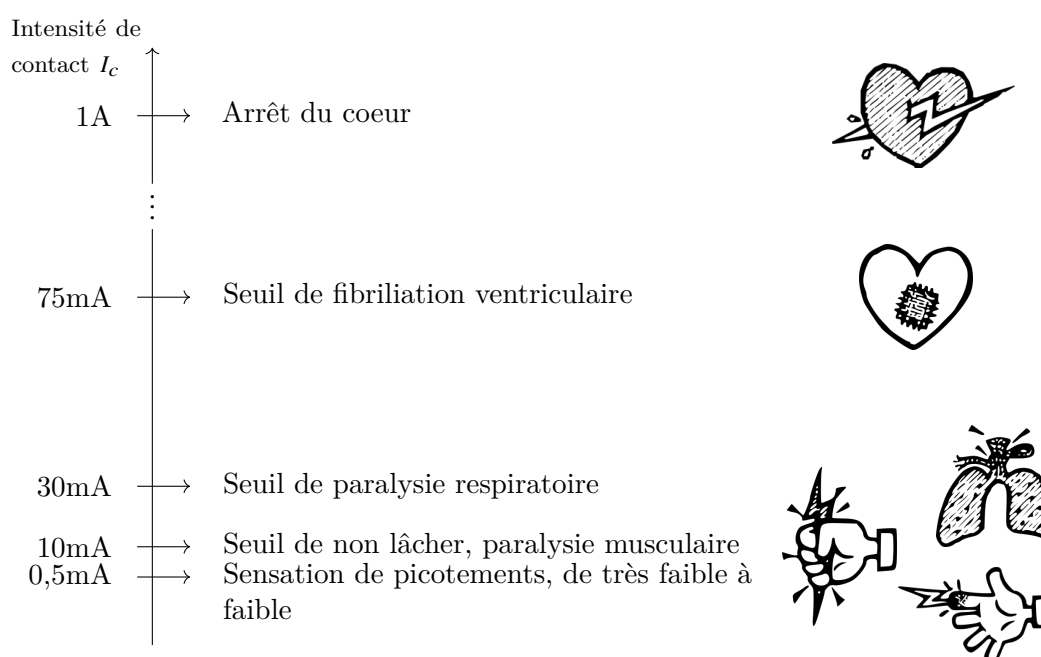


FIG. 1.1: Effets du courant alternatif sur le corps humain

1.2.1.1 Cas particuliers

Pour le courant alternatifs d'une fréquence supérieures à 100Hz :

- Plus la fréquence du courant augmente, plus les risques de fibrillation ventriculaire diminue ;
- Plus la fréquence du courant augmente, plus les risques de brûlures augmentent ;
- Plus la fréquence du courant augmente, plus l'impédance du corps humain diminue ;
- Il est généralement considéré que les conditions de protection contre les contacts indirects sont identiques que ça soit sous une fréquence de 50Hz (réseau électrique domestique en Europe) où 400Hz (réseau électrique des bateaux, avions, batmobile...).

1.2.2 Effet du courant continu

Les effets du courant continus sont décrits en [figure 1.2](#).



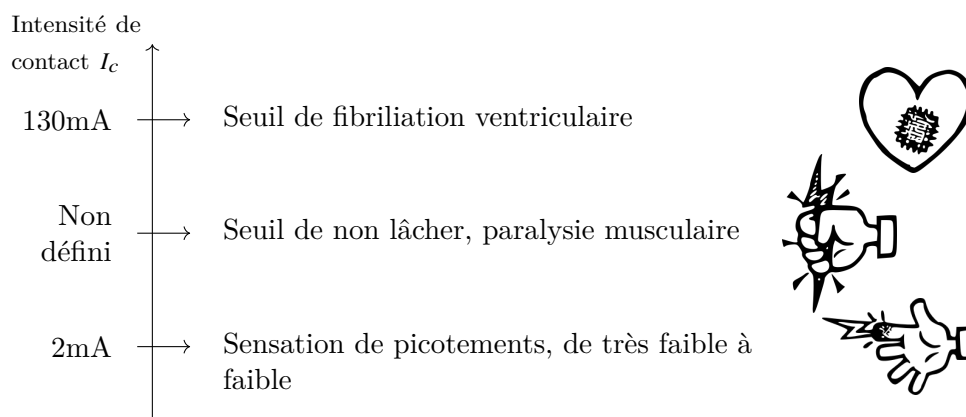


FIG. 1.2: Effets du courant continu sur le corps humain

- Il est moins difficile de lâcher les parties tenues à la main sous un courant continu ;
- Le seuil de fibrillation ventriculaire est plus élevé.

1.3 Paramètres influençant les risques électriques

L'intensité de contact I_c , la durée de contact t , la tension de contact U_c et la résistance du corps humain R sont autant de paramètres à prendre en compte lors de l'évaluation des risques électriques.

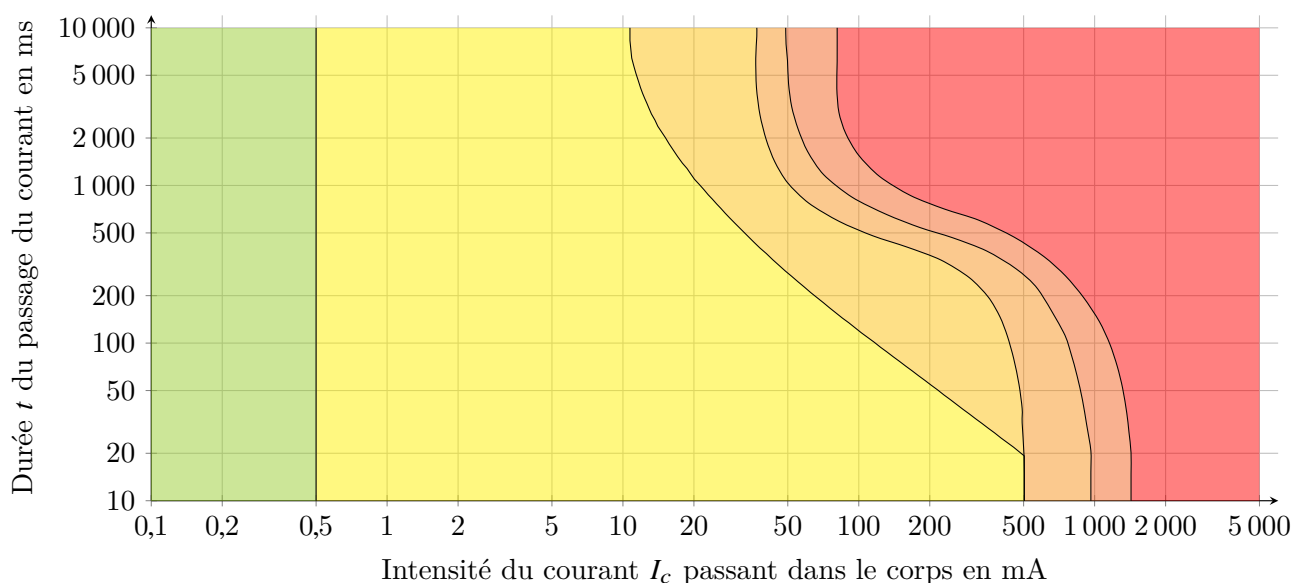


FIG. 1.3: Courbe de l'intensité de contact I_c en fonction du temps $t = f(I_c)$ ¹

- Aucune réaction physiologique ;
- Aucun effet physiologique dangereux ;
- Aucun dommage corporel. Possibilité de difficultés respiratoires et de contractions musculaires, de troubles réversibles de la formation et de la conduite des impulsions cardiaques (y compris fibrillation des oreillettes et arrêts cardiaques momentanés sans fibrillation ventriculaire). Phénomènes augmentant proportionnellement avec l'intensité du courant i_c et le temps t d'exposition ;
- Même effets que ceux de la zone ■ avec une probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 5%. Possibilité d'effets physiopathologiques, tels qu'un arrêt cardiaque,



un arrêt respiratoire ou des brûlures, augmentant proportionnellement avec l'intensité du courant i_c et le temps t d'exposition ;

- Même effets que ceux de la zone ■ avec une probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 50%. Possibilité d'effets physiopathologiques, tels qu'un arrêt cardiaque, un arrêt respiratoire ou des brûlures, augmentant proportionnellement avec l'intensité du courant i_c et le temps t d'exposition ;
- Même effets que ceux de la zone ■ avec une probabilité de fibrillation ventriculaire dépassant 50%. Possibilité d'effets physiopathologiques, tels qu'un arrêt cardiaque, un arrêt respiratoire ou des brûlures, augmentant proportionnellement avec l'intensité du courant i_c et le temps t d'exposition.

Si une personne subit un choc électrique sans en succomber, il s'agit d'une *électrisation*. Si la personne décède suite au choc électrique, il s'agit d'une *électrocution*.

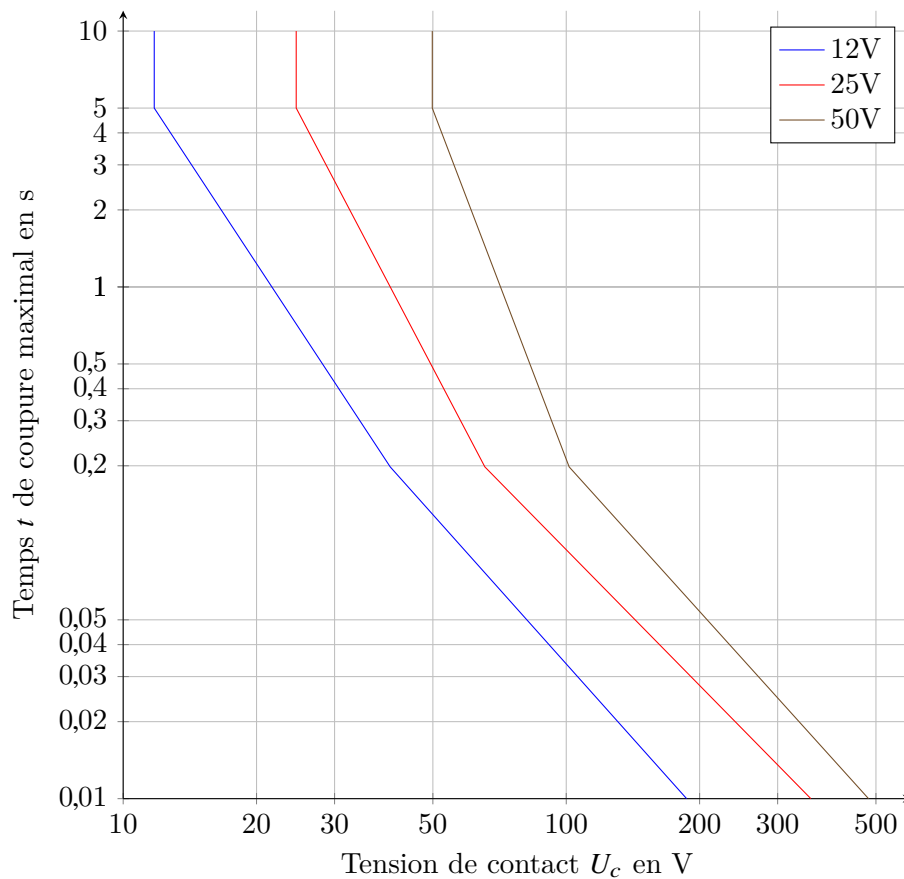


FIG. 1.4: Courbe de la tension de contact U_c en fonction du temps de coupure maximal $t = f(U_c)$

La peau constitue l'isolant contre la pénétration du courant dans le corps humain, et sa résistance électrique varie selon son état de surface et son épaisseur. Pour une peau sèche et fine, on peut estimer que la barrière isolante cède au-delà d'une tension d'environ 50V, et le courant pourra dès lors pénétrer de manière plus importante dans le corps humain.

En règle générale, on considère la résistance moyenne du corps humain entre 300Ω et 1000Ω mais cela peut varier selon les conditions de contact.⁵



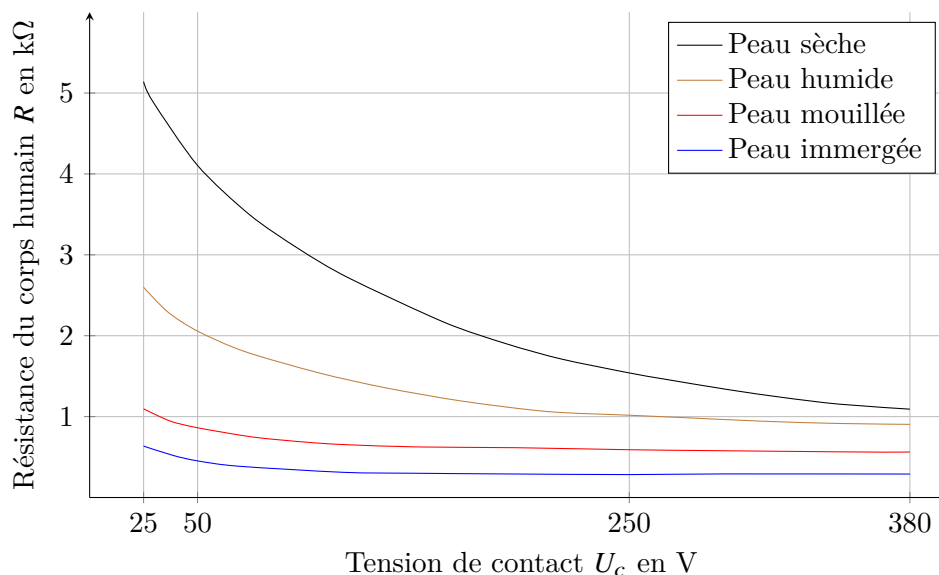


FIG. 1.5: Courbe de la tension de contact U_c en fonction de la résistance du corps humain $R = f(U_c)$

1.4 Nature des contacts

1.4.1 Contact direct

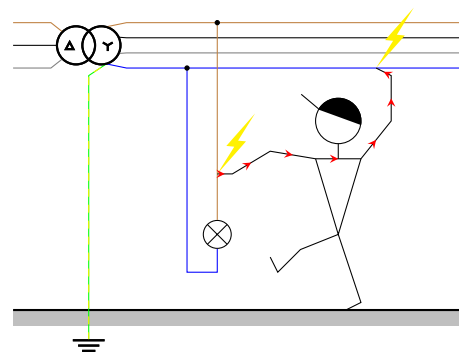
Définition 1.1 (Contact direct) *Contact des personnes avec les parties actives du matériel électrique (pièces ou conducteurs sous tension). La personne rentre en contact direct avec un élément sous tension suite à une négligence ou un non-respect des consignes de sécurité. Dans ce cas, l'électrocution ou l'électrisation sont la conséquence de cette maladresse ou négligence.*

1.4.1.1 Catégories

Contact entre deux phases ou la phase et le neutre

Contact le moins fréquent mais le plus dangereux car la résistance pied/sol n'intervient pas. La personne qui touche les deux est alors soumise à la tension simple V ou composée U du réseau. La résistance globale du corps devient alors très faible et le courant en est d'autant plus élevé.

Dans ce cas, le corps humain se comporte comme un récepteur et aucun appareil de coupure ne peut détecter ce contact comme provoquant un défaut, seule une intervention externe pourra couper le courant.



Si la personne est soumise à une tension de contact U_c de 230V et que l'on estime la résistance résultante R des résistance main/fil + résistance des bras à environ 1,5k Ω , on peut calculer l'intensité du courant traversant le corps comme suit :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{U_c}{R} \\
 &= \frac{230}{1500} \\
 &= 150\text{mA}
 \end{aligned}$$

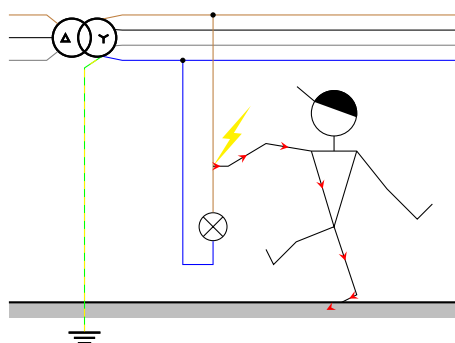


En se référant au tableau [figure 1.3 page 3](#), on peut constater que le temps de réaction de coupure (venant d'une intervention externe) doit être très court. Effectivement, après une seconde, le risque de fibrillation ventriculaire dépasse déjà les 50%, ce qui augmente sensiblement le risque d'arrêt cardiaque.

Contact entre la phase et la terre Contact relativement plus fréquent et moins dangereux que le précédent car la résistance pied/sol et la détection de courant de fuite interviennent. Ce contact direct est rendu possible lorsque le neutre est relié à la terre (*schéma TT* et *schéma TN*) et soumet la personne à la tension simple V du réseau.

La résistance pied/sol augmente donc la résistante résultante R comprenant donc la résistance main/fil + résistance des bras + résistance pied/sol. Si l'on estime cette résistance à $16\text{k}\Omega$ et que l'on conserve la tension de contact U_c de 230V , on peut calculer l'intensité du courant traversant le corps comme suit :

$$\begin{aligned} I &= \frac{U_c}{R} \\ &= \frac{230}{16000} \\ &= 14,4\text{mA} \end{aligned}$$



En se référant au tableau [figure 1.3 page 3](#), on peut constater cette fois-ci que la situation présente moins de danger que précédemment si le contact ne dépasse toutefois pas les deux secondes. Cette résistance dépend évidemment de la nature des semelles, et dans le cas où la personne serait pied nu, la résistance pied/sol baissera au point de considérer le contact comme un contact phase/neutre.

Dans cette configuration-là, le corps entraîne également une fuite du courant électrique vers la terre. Cette spécificité est exploitée par un appareil de protection dédié à la détection de fuite de courant, le dispositif différentiel résiduel (DDR), ou différentiel.

1.4.1.2 Protection contre les contacts directs

TAB. 1.2: Moyen de protection contre les contacts directs

| Catégorie | Principe | Moyen |
|-------------------------------------|---|--|
| Contact phase/neutre | Mise hors de portée des pièces sous tensions | <ul style="list-style-type: none"> Capotage, isolement, mise sous enveloppe... ; Respect de l'indice de protection (IP) minimal¹. |
| | Utilisation d'une tension non dangereuse | Alimentation des circuits en TBT ² |
| Contact phase/neutre et phase/terre | Isolement par rapport au réseau TT | Transformateur d'isolement ³ |
| | Contrôle du courant de fuite I_f (ne devant pas dépasser quelques dizaines de mA) | DDR de basse sensibilité (10mA ou 30mA ⁴) |

¹ Informations complémentaires sur les IP en [sous-section A.4.2 page 21](#) ;

² Informations complémentaires sur les différentes TBT en [sous-section A.4.1 page 19](#) ;

³ Informations complémentaires sur le transformateur d'isolement en [?? page ??](#) ;

⁴ Détails sur le DDR en .



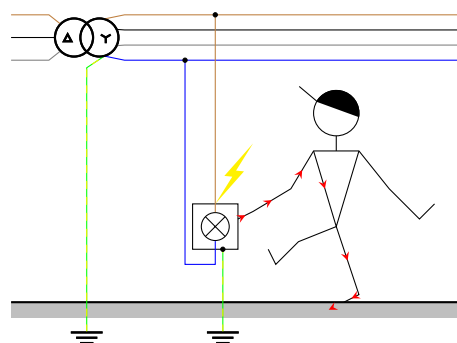
1.4.2 Contact indirect

Définition 1.2 (Contact indirect) *Contact des personnes avec les masses métalliques mises accidentellement sous tension, généralement suite à un défaut d'isolement (déconnexion des fils, vieillissement ou rupture des isolants...). Dans ce cas, la responsabilité de la personne n'est pas mise en jeu et l'électrisation (et électrocution) est la conséquence d'un défaut imprévisible.*

Définition 1.3 (Masse) *Une masse est la partie conductrice d'un appareil électrique susceptible d'être touchée par une personne, qui n'est normalement pas sous tension, mais qui peut le devenir en cas de défaut d'isolement des parties actives de ce matériel.*

1.4.2.1 Principe

Ce type de contact peut apparaître lorsque le neutre est relié à la terre (*schéma TT* et *schéma TN*) et qu'une masse métallique est mise accidentellement sous tension. Si cette masse est reliée à la terre, un courant de fuite I_f va faire son apparition et sera potentiellement détecté par un DDR selon sa sensibilité, si celui-ci est présent et fonctionnel. À cause de la résistance de la prise de mise à la terre R_t , le courant de fuite I_f et le potentiel des masses métalliques augmenteront progressivement avec le temps.



Le risque devient de plus en plus élevé, d'autant que le contact indirect est accidentel et les masses métalliques généralement manipulées franchement. À cela s'ajoute le fait que les conditions de contact peuvent également être défavorables (zones humides, pieds nus...), ce qui peut augmenter dangereusement l'intensité du courant traversant le corps.

1.4.2.2 Protection contre les contacts indirects

Il existe différents moyens de protections contre les contacts indirects qui varient selon les *schémas de liaisons à la terre* (SLT), qui seront détaillé en ?? page ??. Le principal moyen pour ce faire en schéma TT et TN est d'installer un DDR, associé obligatoirement à une *prise de terre* du transformateur de l'installation électrique et une *mise à la terre* (MALT) des matériels et structures conducteurs susceptibles d'être accidentellement mis sous tension. Ces deux spécificités de l'installation électrique permettront au courant de s'échapper vers la terre via la mise à la terre et former une boucle jusqu'à la prise de terre. Cela formera une boucle de *courant de défaut* I_d qui sera détectée par le DDR, qui, selon le type de protection exigé, jouera un rôle de protection des personnes (signalement de défaut et/ou coupure de l'installation en défaut).

En *schéma IT*, la protection contre les contacts indirects s'effectue de manière similaire mais elle est supervisée par un service technique.

L'usage d'appareils électriques de classe II ou III ou la mise hors de portée des carcasses conductrices sont également des moyens de protection contre les contacts indirects. Plus de détails sur ces différentes solutions en [section A.5 page 29](#).



2 Principes de fonctionnement

2.1 Généralités

La protection contre les contacts indirects dépend principalement des SLT (anciennement régime de neutre) qui sont fonction du branchement du neutre vis-à-vis de la terre et du branchement des masses conductrices vis-à-vis de la terre et du neutre.

Il existe trois SLT :

SLT Terre-Terre (TT) : distribution publique ;

SLT Terre-Neutre (TN) : généralement installé dans le secteur de l'industrie ;

— SLT Terre-Neutre *Séparé* (TN-S) ;

— SLT Terre-Neutre *Commun* (TN-C) ;

— SLT Terre-Neutre *Commun et Séparé* (TN-C-S) ;

SLT Isolé/Impédant-Terre (IT) : continuité de service en cas de défaut d'isolement.

2.2 Définitions usuelles

Définition 2.1 (Conducteur actif) *Conducteur électrique participant au transport de l'énergie électrique.*

Définition 2.2 (Neutre) *Point central où sont reliés les trois bobines du secondaire du transformateur HT/BT dans le cas d'un couplage étoile ou zig-zag. Il est considéré comme un conducteur actif et il doit pouvoir être sectionné et protégé selon les SLT.*

Définition 2.3 (Terre) *Masse conductrice de la terre, dont le potentiel électrique en chaque point est considéré comme égal à zéro. Sa résistivité est relativement élevée mais sa « section » théoriquement infinie.*

Définition 2.4 (Masse) *Partie conductrice d'un appareil électrique susceptible d'être touchée par une personne, qui n'est normalement pas sous tension, mais qui peut le devenir en cas de défaut d'isolement des parties actives de ce matériel (voir [Définition 1.3 page 7](#)).*

2.3 Désignations des différents SLT

- la première lettre donne la position du neutre de l'installation électrique par rapport à la terre (dans le poste de distribution HT/BT) ,
- la deuxième lettre donne la position des masses par rapport à la terre où au neutre.

TAB. 2.1: Désignation des différents schémas de liaisons à la terre

| Désignation | Branchement du neutre | Branchement des masses |
|-------------|-------------------------|---------------------------|
| Régime TT | Neutre relié à la Terre | Masses reliées à la Terre |
| Régime TN | Neutre relié à la Terre | Masses reliées au Neutre |
| Régime IT | Neutre Isolé/Impédant | Masses reliées à la Terre |



2.3.1 Temps de coupure maximal

Le temps de coupure (ou de détection pour le schéma IT) des DDR en cas de défaut doit être le plus court possible et diminue avec l'augmentation de la *tension nominale* U_0 entre phase et neutre.

TAB. 2.2: Temps de coupure maximal des circuits terminaux

| Tension nominale | $50V < U_0 \leq 120V$ | | $120V < U_0 \leq 230V$ | | $230V < U_0 \leq 400V$ | | $U_0 > 400V$ | |
|------------------|-----------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|---------|--------------|---------|
| Type de courant | alternatif | continu | alternatif | continu | alternatif | continu | alternatif | continu |
| Schéma TN/IT | 0,8s | 5s | 0,4s | 5s | 0,2s | 0,4s | 0,1s | 0,1s |
| Schéma TT | 0,3s | 5s | 0,2s | 0,4s | 0,07s | 0,2s | 0,04s | 0,1s |



3.1 Caractéristiques générales

Définition 3.1 (Schéma TT) Schéma de liaison à la terre dans lequel :

Neutre : relié à la terre ;

Masse : reliées à la terre.

Dans le SLT TT, le neutre du transformateur HT/BT (point commun) est relié à la terre via la prise de terre du neutre ②. Cette liaison présente une certaine résistance, la résistance de la prise de terre du neutre R_B ③. Sa mise en œuvre est à charge du fournisseur d'électricité et sa résistance globale doit être inférieure ou égale à 15Ω ¹.

Les masses sont quant à elles reliées à la terre via la prise de terre de l'installation électrique ④, qui présente aussi une certaine résistance, la résistance de la prise de terre de l'installation électrique R_A ⑤. Sa mise en œuvre est à charge du propriétaire de l'installation (voir sous-sous-section A.5.3.3 page 32).

3.2 Schémas de principe

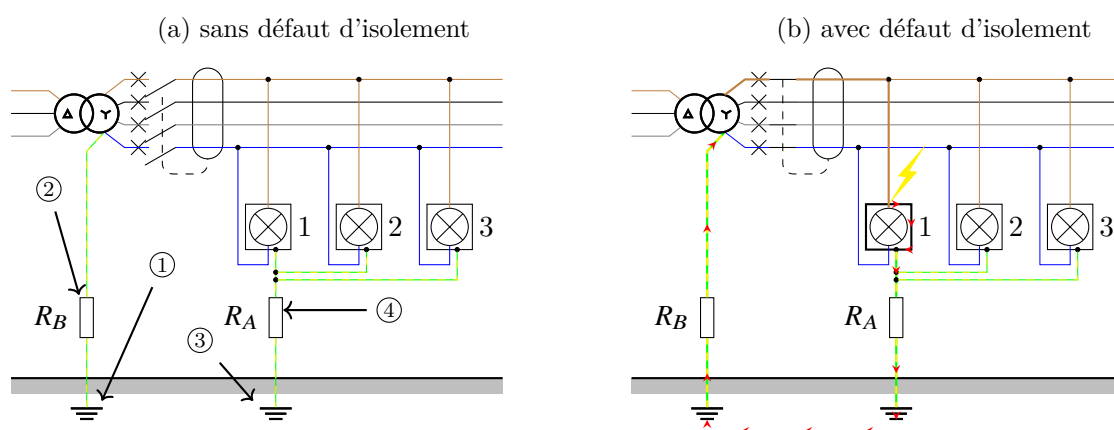


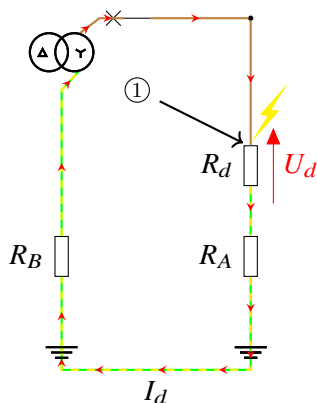
FIG. 3.1: Installation Terre-Terre

En cas de défaut d'isolement sur les masses métalliques, le courant de défaut I_d dispose d'un chemin, via la terre, pour revenir au poste de transformateur HT/BT. Cela forme la *boucle de défaut*.

Dans les calculs, il faut tenir compte de la résistance de défaut R_d ② qui prend en compte la nature du défaut d'isolement (franc ou non-franc) et la résistance de la carcasse métallique.

1. 3.



FIG. 3.3: Boucle de défaut du courant I_d sur L1

L'intensité de courant I_d vaut alors :

Formule 3.1 (Courant de défaut I_d)

$$I_d = \frac{V}{R_B + R_A + R_d} \quad (3.1)$$

Avec :

| Grandeur dans l'ISQ | Unité SI de mesure | Description |
|---------------------|--------------------|--|
| V : tension | volt (V) | Différence de potentiel entre les masses métalliques et la terre |
| R_B : résistance | ohm (Ω) | Résistance de la prise de terre du neutre |
| R_A : résistance | ohm (Ω) | Résistance de la prise de terre de l'installation électrique |
| R_d : résistance | ohm (Ω) | Résistance de défaut d'isolement |

Le courant de défaut I_d fera alors apparaître une *tension de défaut* U_d entre la masse métallique et la terre. Pour satisfaire aux normes de sécurité de la NF C15-100, il est imposé (voir [sous-sous-section A.5.3.3 page 32](#)) :

Formule 3.2 (Tension de défaut U_d)

$$U_d = R_A \cdot I_d \quad (3.2)$$

$$< U_L \quad (3.3)$$

Avec :

| Grandeur dans l'ISQ | Unité SI de mesure | Description |
|---------------------|--------------------|--|
| R_A : résistance | ohm (Ω) | Résistance de la prise de terre de l'installation électrique |
| I_d : intensité | ampère (A) | Courant de défaut d'isolement |
| U_L : tension | volt (V) | Tension de sécurité du local avec : Local sec : $U_L = 50V$ Local humide : $U_L = 25V$ |

Il est donc nécessaire de limiter U_d à la valeur suivante (voir [Formule A.1 page 33](#)) :

Formule 3.3 (Calibre du DDR $I_{\Delta n}$)

$$I_{\Delta n} < \frac{U_L}{R_A} \quad (3.4)$$



Avec :

| Grandeur dans l'ISQ | Unité SI de mesure | Description |
|---------------------|--------------------|--|
| U_L : tension | volt (V) | Tension de sécurité du local avec : Local sec : $U_L = 50V$ Local humide : $U_L = 25V$ |
| R_A : résistance | ohm (Ω) | Résistance de la prise de terre de l'installation électrique |

Exemple 3.1 (Calcul du calibre du DDR $I_{\Delta n}$) Si on considère que le transformateur est un transformateur 20kV/400V, que $R_A = 20\Omega$, que $R_B = 10\Omega$ et que R_d est négligée, on peut déduire que le courant de défaut I_d vaut :

$$\begin{aligned} I_d &= \frac{V}{R_B + R_A} \\ &= \frac{400}{20 + 10} \\ &= 13,33A \end{aligned}$$

Si une personne touche une masse des récepteurs en défaut, elle sera soumise à une tension de défaut U_d :

$$\begin{aligned} U_d &= R_A \cdot I_d \\ &= 20 \cdot 13,33 \\ &= 266,6V \end{aligned}$$

La tension de défaut U_d est dangereuse quelle que soit la tension limite choisie :

- coupure la plus rapide possible ;
- protection des personnes.

Dans le cas d'un local sec :

$$\begin{aligned} I_{\Delta n} &< \frac{U_L}{R_A} \\ &< \frac{50}{20} \\ &< 2,5A \end{aligned}$$

Dans le cas d'un local humide :

$$\begin{aligned} I_{\Delta n} &< \frac{U_L}{R_A} \\ &< \frac{25}{20} \\ &< 1,25A \end{aligned}$$

D'après le tableau situé en [sous-section 2.3.1 page 10](#), le DDR doit présenter un temps de coupure de moins de 70ms avec une tension de défaut U_d de 266,6V :

| Tension nominale | 50V < U_0 ≤ 120V | | 120V < U_0 ≤ 230V | | 230V < U_0 ≤ 400V | | U_0 > 400V | |
|------------------|--------------------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|--------------|---------|
| Type de courant | alternatif | continu | alternatif | continu | alternatif | continu | alternatif | continu |
| Schéma TN/IT | 0,8s | 5s | 0,4s | 5s | 0,2s | 0,4s | 0,1s | 0,1s |
| Schéma TT | 0,3s | 5s | 0,2s | 0,4s | 0,07s | 0,2s | 0,04s | 0,1s |



Annexes



A Informations complémentaires sur les dangers de l'électricité

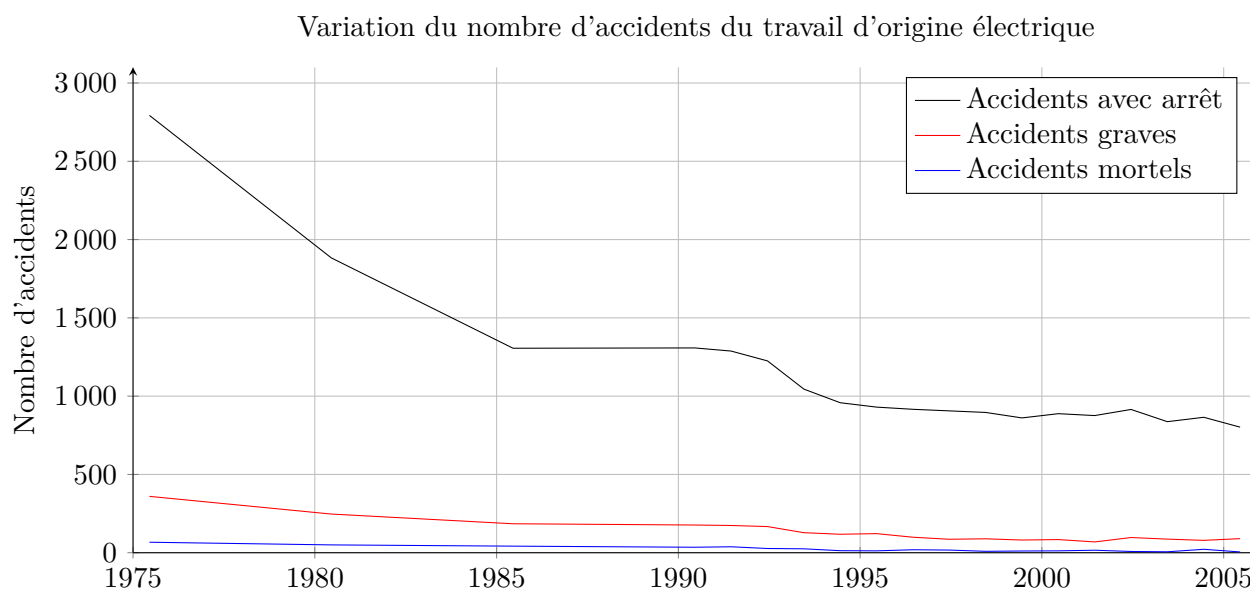
Cette annexe regroupe des données complémentaires mentionnées dans le [chapitre 1 page 1](#). Il n'est pas nécessaire de les retenir par cœur mais ces informations constituent un support appréciable pour toute précision concernant ce chapitre.

A.1 État des lieux de la prévention des risques électriques

A.2 Statistiques

A.2.1 Accidents d'origine électrique

Les accidents du travail d'origine électrique diminuent depuis la mise en place du décret du 14 novembre 1962 qui attribue à la protection des travailleurs contre les dangers de l'électricité. Entre 1962 et 2000, le nombre d'incidents a baissé de 74%.



A.2.2 Secteurs les plus atteints

Durant l'année 2008, on dénombrait 771 accidents d'origine électrique. Les secteurs les plus touchés sont :

- 30%** : bâtiment et travaux publics,
- 17%** : métallurgie,
- 16%** : service et travail temporaire,
- 11%** : alimentation.



A.2.3 Facteurs principaux

Les principaux facteurs ayant causé l'accident sont :

31% : mode opératoire inapproprié ou dangereux ;

15% : application incomplète ;

12% : formation insuffisante ;

12% : état du matériel ;

11% : état du sol.

A.2.4 Type de contact

75% : contact direct ;

20% : contact indirect ;

5% : non précisé.

A.2.5 Type de dommages

Ces statistiques sur plusieurs années sont relativement constantes. Elles précisent que :

60% : brûlures ;

≈ **33%** : localisation multiples (les yeux, les membres supérieurs et les mains sont les plus touchés) ;

5% : lésions internes.

A.2.6 Conclusion

On peut conclure de ces statistiques que depuis une trentaine d'années, le nombre d'accidents dus à l'électricité :

- diminue régulièrement ;
- demeurent particulièrement graves.

Le risque d'accidents est certes mieux maîtrisé qu'auparavant mais il reste toujours présent.

A.3 Différents effets du courant électriques

A.3.1 Effet thermique

Il est admis que les brûlures électriques peuvent apparaître à des intensités relativement faibles ($\approx 10\text{mA}$), si le contact est maintenu quelques minutes

A.3.2 Effet téтанisant

Lorsque la tension est alternatif, les muscles se situant sur le trajet du courant électrique se contractent. Cet effet, surtout s'il s'agit des muscles de la main, peuvent empêcher tout dégagement volontaire de la victime. Pour l'extraire de cette situation, il convient de stopper le contact crispé en la poussant à l'aide d'un objet non conducteur.

A.3.3 Effets respiratoires et circulatoires

Les muscles respiratoires pouvant également être crispés par le courant, il suffit de 60s pour bloquer la respiration. Cela provoque une asphyxie, appelée également *syncope blanche*.

Une fibrillation ventriculaire se manifeste également pour les mêmes ordres de grandeurs. C'est le résultat de la contraction anarchiques des fibrilles du muscle cardiaque. Ces battements du cœur



rapides et désordonnés ne permettent plus d'assurer une circulation sanguine adéquate et provoque ainsi une syncope cardiaque, appelée aussi *syncope blanche*. Une défibrillation devient indispensable pour stopper cet effet du courant.

Au-delà d'un 1A, le courant entraîne un arrêt cardiaque par asystolie, une absence de battements cardiaques sur laquelle une défibrillation n'est pas recommandée.

Les lésions cardiaques diffèrent selon certains paramètres, ces informations peuvent aider les premiers secours à axer leurs interventions en situation d'extrême urgence :

basse tension : effet excito-moteur et fibrillation ventriculaire ;

haute tension : effet joule et asystolie ;

foudre : sidération myocardique (dysfonction des contractions du cœur difficilement prise en charge).

Lors de la prise en charge d'un patient électrisé, il convient de bien suivre celui-ci sur plusieurs jours car les risques de malaises cardiaques dus au choc électrique peuvent ressurgir durant une période plus ou moins longue selon les conditions d'électrisation.

A.4 Descriptifs des moyens de protections contre les contacts directs

Les différents moyens de protections sont ici décrits en profondeur à titre informatif.

A.4.1 Très basse tension

Il existe trois types de TBT selon la classification du lieu et la nature du courant.

A.4.1.1 Principe

Très Basse Tension de Sécurité (ou Séparation) Alimentation basse tension ou il n'existe aucun point commun entre le primaire et le secondaire du transformateur, utilisée pour alimenter des appareillages situés dans des locaux humides.


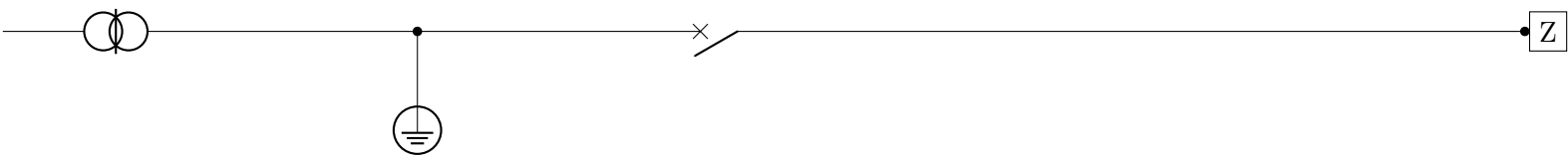
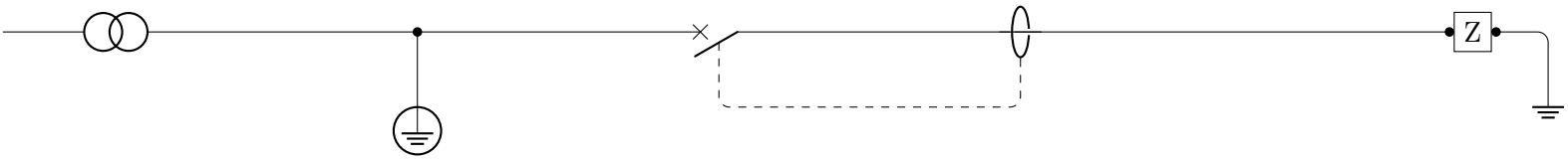
Très Basse Tension de Protection Alimentation basse tension ou il existe un point commun entre le commun du secondaire et le conducteur de protection, utilisée pour alimenter des machines-outils et automatisme. La liaison du commun au conducteur de protection du secondaire permet d'éviter les mises en marche intempestives pouvant survenir après deux défauts de masse consécutifs dans une commande de machine (alimentation possible d'une bobine de contacteur via la carcasse de l'armoire de commande).

Très Basse Tension Fonctionnelle Alimentation basse tension ou il existe plusieurs points communs entre le primaire et le secondaire du transformateur (autotransformateur), utilisée pour alimenter des appareillages ne requérant pas d'exigences de sécurité autre qu'une tension nominale de fonctionnement spécifique.

A.4.1.2 Architecture



TAB. A.1: Types de Très Basse Tension

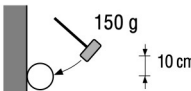
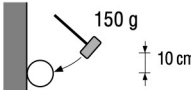
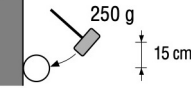
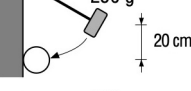
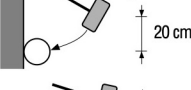

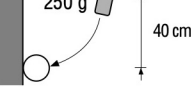
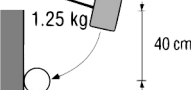
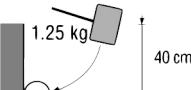
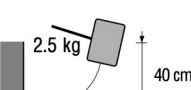
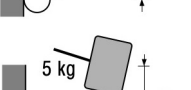
| Domaine de tension | Alimentation | Liaison à la terre | Sectionnement et protection contre les court-circuits | Protection contre les contacts indirects | Protection contre les contacts directs | Récepteur |
|--|--|-----------------------------------|---|--|--|-----------|
| TBTS (Très Basse Tension de Sécurité) | Transformateur de sécurité conforme à la norme NF C 52 742 | Interdite | De tous des conducteurs actifs | Non | Non | |
| | <div> <div>classe II</div>  </div> | | | | | |
| TBTP (Très Basse Tension de Protection) | Transformateur de sécurité conforme à la norme NF C 52 742 | Conducteur actif relié à la terre | De tous des conducteurs actifs | Non | Non | |
| | <div> <div>classe I</div>  </div> | | | | | |
| TBTF (Très Basse Tension de Fonctionnelle) | Transformateur de sécurité d'origine indéterminée | Conducteur actif relié à la terre | De tous des conducteurs actifs | Oui (DDR) | Oui (appareil IP2X) | |
| |  | | | | | |

A.4.2 Indice de protection

L'indice de protection (IP) est composé de deux chiffres (et parfois d'une ou deux lettres) et caractérise le degré de protection procuré par une enveloppe contre la pénétration de corps étrangers (1^{er} chiffre) et d'eau (2^e chiffre). Cet indice est souvent accompagné d'un indice contre les chocs mécaniques IK.

Lorsqu'un des deux indice n'est pas déterminé, il est remplacé par la lettre " x ".

TAB. A.2: Descriptif de l'indice contre les chocs mécaniques IK

| IK | Tests | Énergie | AG ¹ | Ancien IP |
|----|---|---------|-----------------|-----------|
| 00 | | 0J | | 0 |
| 01 |  | 0,15J | | |
| 02 |  | 0,20J | AG1 | 1 |
| 03 |  | 0,35J | | |
| 04 |  | 0,50J | | 3 |
| 05 |  | 0,70J | | |
| 06 |  | 1J | | |
| 07 |  | 2J | AG2 | 5 |
| 08 |  | 5J | AG3 | |
| 08 |  | 5J | AG3 | |
| 09 |  | 10J | AG3 | |
| 10 |  | 20J | AG4 | |

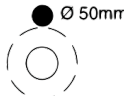
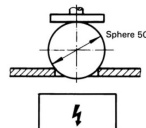


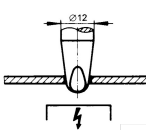
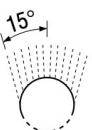
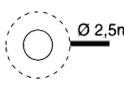
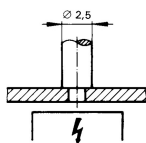
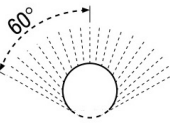
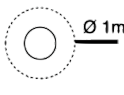
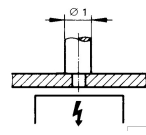


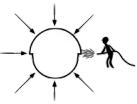

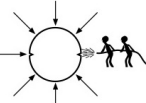
¹ Correspondances avec le code AG de la classification des influences externes issu de la norme NF C 15-100.

TAB. A.3: Lettre additionnelle sur les informations supplémentaires

| Lettre | Signification |
|--------|--|
| f | Résistant aux huiles |
| H | Appareil à haute tension |
| M | Appareil en déplacement durant le test à l'eau |
| S | Appareil immobile durant le test à l'eau |
| W | Conditions environnementales spécifiées |

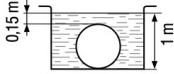
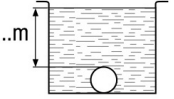


TAB. A.4: Descriptif des indices de protection

| Protection contre les corps solides | | Lettre additionnelle Contact direct avec les parties dangereuses | | Protection contre les liquides | | |
|-------------------------------------|--|---|--|---|---|--|
| 0 | Aucune protection | | | 0 | Aucune protection | |
| 1 |  Ø 50mm | Protégé contre les corps solides Ø ≥ 50mm | A  | Le dos de la main reste éloigné des parties dangereuses. | 1  | Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation) |
| 2 |  Ø 12,5mm | Protégé contre les corps solides Ø ≥ 12,5mm | B  | L'introduction d'un doigt ne permet pas de toucher les parties dangereuses. | 2  | Protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale |
| 3 |  Ø 2,5mm | Protégé contre les corps solides Ø ≥ 2,5mm | C  | L'introduction d'un outil ne permet pas de toucher les parties dangereuses. | 3  | Protégé contre l'eau de pluie jusqu'à 60° de la verticale |
| 4 |  Ø 1mm | Protégé contre les corps solides Ø ≥ 1mm | D  | L'introduction d'un outil fin ne permet pas de toucher les parties dangereuses. | 4  | Protégé contre les projections d'eau dans toutes les directions |
| 5 |  | Protégé contre la poussière (pas de dépôt nuisible) | | | 5  | Protégé contre les jets d'eau dans toutes les directions à la lance |
| 6 |  | Totalement protégé contre la poussière | | | 6  | Protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer |

Page suivante



| Protection contre les corps solides | Lettre additionnelle Contact direct avec les parties dangereuses | Protection contre les liquides |
|-------------------------------------|---|--|
| | | <div>7</div> <div></div> <div>Protégé contre les effets d'une immersion temporaire dans l'eau</div> |
| | | <div>8</div> <div></div> <div>Protégé contre les effets d'une immersion prolongée dans l'eau dans des conditions spécifiées</div> |
| | | <div>9</div> <div></div> <div>Protégé contre les jets d'eau haute pression et haute température mais pas nécessairement submersible</div> |

A.4.2.1 Classification des locaux selon l'IP

Selon les locaux à équiper, leurs emplacements et les conditions particulières d'installation, la norme NF C 15-100 indique une protection minimale spécifiée par les indices IP et IK.

TAB. A.5: Classification des locaux

| Type de local | IP | IK | Type de local | IP | IK |
|--|---------------------|-------|---|-------|-------|
| Locaux (ou emplacements) domestiques et analogues | | | Locaux (ou emplacements) domestiques et analogues | | |
| Auvents | 24 | 07 | Sous-sols | 21 | 02/07 |
| Bains (salle de) | (voir salles d'eau) | | Terrasses couvertes | 21 | 02 |
| Bicyclettes, cyclomoteurs, voitures pour enfants (locaux pour) | 20 | 07 | Toilettes (cabinets de) | 21 | 02 |
| Branchement eau, égout, chauffage | 23 | 02 | Vérandas | 21 | 02 |
| Buanderies | 23 | 02 | Vides sanitaires | 23 | 02-07 |
| Caves, celliers, garage, local avec chaudière | 20 | 02-07 | Locaux techniques | | |
| Chambres | 20 | 02 | Accumulateurs (salles d') | 23 | 02-07 |
| Collecte des ordures (locaux pour) | 25 | 07 | Ascenseurs (locaux des machines et locaux des poulies) | 20 | 07-08 |
| Couloirs de cave | 20 | 07 | Service électrique | 20 | 07 |
| Cours | 24-25 | 02-07 | Salles des commandes | 20 | 02 |
| Cuisines | 20 | 02 | Ateliers | 21-23 | 07-08 |
| Douches | (voir salles d'eau) | | Laboratoires | 21-23 | 02-07 |
| Escaliers intérieurs, coursives intérieures | 20 | 02-07 | Laveurs de conditionnement d'air | 24 | 07 |
| Escaliers extérieures, coursives extérieures non couvertes | 24 | 07 | Garages (servant exclusivement au stationnement des véhicules) d'une surface n'excédant pas 100m ² | 21 | 07 |
| Coursives extérieures couvertes | 21 | 02 | Laveurs de conditionnement d'air | 24 | 07 |
| Greniers (combles) | 20 | 02 | Machines (salles de) | 31 | 07-08 |
| Abris de jardins | 24-25 | 02-07 | Surpresseurs d'eau | 23 | 07-08 |
| Lieux d'aisances | 20 | 02 | Chaudières et locaux annexes : | | |
| Locaux à poubelles | 25 | 02-07 | à charbon | 51-61 | 07-08 |
| Lingerie, salles de repassage | 21 | 02 | autres combustibles | 21 | 07-08 |
| Rampes d'accès au garage | 25 | 07 | électriques | 21 | 07-08 |
| Salles d'eau, locaux contenant une baignoire ou une douche : | | | Garages et parcs de stationnement couverts d'une surface supérieure à 100m ² | | |
| volume 0 | 27 | 02 | Aires de stationnement | 21 | 07-20 |
| volume 1 | 24 | 02 | Zones de lavage (à l'intérieur du local) | 25 | 07 |
| volume 2 | 23 | 02 | Zones de sécurité : | | |
| volume 3 | 21 | 02 | à l'intérieur | 21 | 07 |
| Salles de séjour | 20 | 02 | à l'extérieur | 24 | 07 |
| Séchoirs | 21 | 02 | Zones de graissage | 23 | 08 |

Colonne suivante

Page suivante



| <i>Page précédente</i> | | | <i>Colonne précédente</i> | | |
|---|----|-------|--|-------|-------|
| Type de local | IP | IK | Type de local | IP | IK |
| Garages et parcs de stationnement couverts d'une surface supérieure à 100m ² | | | Locaux (ou emplacements) dans les exploitations agricoles | | |
| Locaux de recharge de batteries | 23 | 07 | Bergeries fermées | 35 | 07 |
| Ateliers | 21 | 08 | Buanderies | 24 | 07 |
| Locaux sanitaires à usage collectif | | | Battages de céréales | 50 | 07 |
| Salles de lavabos individuels | 21 | 07 | Bûchers | 30 | 10 |
| Salles de WC à cuvettes (à l'anglaise) | 21 | 07 | Caves de distillation | 23 | 07 |
| Salles d'urinoirs | 21 | 07 | Chais (vin) | 23 | 07 |
| Salles de lavabos collectifs | 23 | 07 | Cours | 35 | 07 |
| Salles de WC à la turques, de douches à cabines individuelles, de douches collectives | 23 | 07 | Élevages de volailles | 35 | 07 |
| Buanderies collectives | 24 | 07 | Écuries | 35 | 07 |
| Bâtiments à usage collectif (autre que ERP) | | | Engrais (dépôts d') | 50 | 07 |
| Bureaux | 20 | 02 | Étables | 35 | 07 |
| Bibliothèques | 20 | 02 | Fumière | 24 | 07 |
| Salles d'archives | 20 | 02 | Fenils | 50 | 07 |
| Salles d'informatiques | 20 | 02 | Fourrage (entrepôts de) | 50 | 07 |
| Salles de dessin | 20 | 02 | Greniers, granges | 50 | 07 |
| Locaux regroupant les machines de reproduction de plans et de documents | 20 | 02 | Paille (entrepôts de) | 50 | 07 |
| Salles de tri | 20 | 07 | Serres | 23 | 07 |
| Salles de restaurant et de cantine, grandes cuisines | 21 | 07 | Silos à céréales | 50 | 07 |
| Salles de sports | 21 | 07-08 | Traies (salle de) | 35 | 07 |
| Locaux de casernement | 21 | 07 | Porcherie | 35 | 07 |
| Salles de réunion | 20 | 02 | Poulaillers | 35 | 07 |
| Salles d'attentes, salons, hall | 20 | 02 | Installations diverses | | |
| Salles de consultation à usage médical, ne comportant pas d'équipements spécifiques | 20 | 02 | Terrains de camping et caravaning | 34 | 07 |
| Salles de démonstration et d'exposition | 20 | 02 | Quais de ports de plaisance | 34 | 08 |
| Locaux (ou emplacements) dans les exploitations agricoles | | | Chantiers | 44 | 08 |
| Alcools (entrepôts de) | 23 | 07 | Quais de chargement | 35 | 08 |
| | | | Rues, cours, jardins et autres emplacements extérieurs | 34-35 | 07 |
| | | | Établissement forains | 33 | 08 |
| | | | Piscines : | | |
| | | | volume 0 | 28 | 02 |
| | | | volume 1 | 25 | 02 |
| | | | volume 2 | 22-24 | 02 |
| | | | Saunas | 34 | 02 |
| | | | Bassins de fontaines | 37 | 02 |
| | | | Traitements des eaux (local de) | 24-25 | 07-08 |
| | | | Installations thermodynamiques, chambres climatisées et chambres froides | | |

Colonne suivante

Page suivante



| Type de local | IP | IK | Type de local | IP | IK |
|--|-------|----|--------------------------------------|-------|----|
| Installations thermodynamiques, chambres climatisées et chambres froides | | | Établissements industriels | | |
| Température < −10°C | 23 | 07 | Charbon (entrepôts de) | 54 | 08 |
| Hauteur au dessus du sol : | | | Charcuteries | 24 | 07 |
| 0 à 1,10m | 24 | 07 | Chaudronneries | 30 | 08 |
| 1,10 à 2m | 21 | 07 | Chaux (fours à) | 50 | 08 |
| au-dessus de 2m | 21 | 07 | Chiffons (entrepôts de) | 30 | 07 |
| sous l'évaporateur ou tube | 21 | 07 | Chlore (fabrication et dépôts) | 33 | 07 |
| écoulement d'eau | 21 | 07 | Chromage | 33 | 07 |
| Plafond et jusqu'à 10cm en-dessous | 23 | 07 | Cimenterie | 50 | 08 |
| Compresseur : | | | Cokerie | 53 | 08 |
| local | 21 | 08 | Colle (fabrication de) | 33 | 07 |
| monobloc placé à l'extérieur | 34 | 08 | Chaines d'embouteillage | 35 | 08 |
| ou en terrasse | | | Combustibles liquides (dépôts de) | 31-33 | 08 |
| Établissements industriels | | | Corps gras (traitement de) | 51 | 07 |
| Abattoirs | 55 | 08 | Cuir (fabrication et dépôts de) | 31 | 08 |
| Accumulateurs (fabrication d') | 33 | 07 | Cuivre (traitement des minéraux) | 31 | 08 |
| Acide (fabrication et dépôts) | 33 | 07 | Décapage | 54 | 08 |
| Alcool (fabrication et dépôts) | 33 | 07 | Détergents (fabrication de produits) | 53 | 07 |
| Aluminium (fabrication et dépôts) | 51-53 | 08 | Distillerie | 33 | 07 |
| Animaux (élevage et engraissement) | 45 | 07 | Électrolyse | 03 | 08 |
| Asphaltes, bitume (dépôts d') | 53 | 07 | Encre (fabrication d') | 31 | 07 |
| Battage et cardage des laines | 50 | 08 | Engrais (fabrication et dépôts de) | 53 | 07 |
| Blanchisseries | 23-24 | 07 | Explosifs (fabrication et dépôts de) | 55 | 08 |
| Bois (travail du) | 50 | 08 | Fer (fabrication et traitement de) | 51 | 08 |
| Boucheries | 24-25 | 07 | Filatures | 50 | 07 |
| Boucheries | 24-25 | 07 | Fourrures (battage) | 50 | 07 |
| Brasseries | 24 | 07 | Fromageries | 25 | 07 |
| Briqueteries | 53-54 | 08 | Gaz (usines et dépôts de) | 31 | 08 |
| Caoutchouc (fabrication et transformation) | 54 | 07 | Goudron (traitement de) | 33 | 07 |
| Carbure (fabrication et dépôts) | 51 | 07 | Graineteries | 50 | 07 |
| Cartoucherie | 53 | 08 | Gravures de métaux | 33 | 07 |
| Cartons (fabrication de) | 33 | 07 | Huile (extraction de) | 31 | 07 |
| Carrières | 55 | 08 | Hydrocarbures (fabrication de) | 33-34 | 08 |
| Celluloïd (fabrication d'objets) | 30 | 08 | Imprimeries | 20 | 08 |
| Cellulose (fabrication) | 34 | 08 | Laiteries | 25 | 07 |
| | | | Laveries, lavoirs publics | 25 | 07 |
| | | | Liqueurs (fabrication de) | 21 | 07 |



| <i>Page précédente</i> | | | <i>Colonne précédente</i> | | |
|--|-------|----|---|----|-------|
| Type de local | IP | IK | Type de local | IP | IK |
| Établissements industriels | | | Établissements industriels | | |
| Liquides halogénés (emploi de) | 21 | 08 | Teintureries | 35 | 07 |
| Liquides inflammables (dépôts, ateliers ou l'on emploie des) | 21 | 08 | Textiles et tissus (fabrication de) | 51 | 08 |
| Magnésium (fabrication, travail et dépôts de) | 31 | 07 | Vernis (fabrication et application de) | 33 | 08 |
| Machines (salle des) | 20 | 08 | Verreries | 33 | 08 |
| Matières plastiques (fabrication de) | 51 | 08 | Zinc (travail du) | 31 | 08 |
| Menuiseries | 50 | 08 | Établissements recevant du public (ERP) | | |
| Métaux (traitement de) | 31–33 | 08 | L Salles d'audition, de conférence, de réunion, de spectacles ou à usages multiples : | | |
| Moteurs thermiques (essai de) | 30 | 08 | salles | 20 | 02–07 |
| Munitions (dépôts de) | 33 | 08 | cages de scènes | 20 | 08 |
| Nickel (traitement des minerais) | 33 | 08 | magasin de décors | 20 | 08 |
| Ordures ménagères (traitement d') | 53–54 | 07 | locaux des perruquiers et des cordonniers | 20 | 07 |
| Papiers (fabriques de) | 33–34 | 07 | M Magasins de vente, centres commerciaux : | | |
| Papiers (dépôts de) | 31 | 07 | locaux de ventes | 20 | 08 |
| Parfum (fabrication et dépôts de) | 31 | 07 | stockages et manipulations de matériels d'emballages | 20 | 08 |
| Pâte à papiers (préparation de) | 34 | 07 | N Restaurants et débits de boissons | 20 | 02 |
| Peinture (fabrication et dépôts de) | 33 | 08 | O Hôtels et pensions de familles | 20 | 02 |
| Plâtre (broyage et dépôts de) | 50 | 07 | P Salles de danse et salles de jeux | 20 | 07 |
| Poudreries | 55 | 07 | R Établissements d'enseignement, colonies de vacances : | | |
| Produits chimiques (fabrication de) | 30–50 | 08 | salles d'enseignement | 20 | 02 |
| Raffinerie de pétrole | 34 | 07 | dortoirs | 20 | 07 |
| Salaisons | 33 | 07 | S Bibliothèques, centres de documentation | 20 | 02 |
| Savons (fabrication de) | 31 | 07 | T Expositions : | | |
| Scieries | 50 | 08 | halls et salles | 21 | 07 |
| Serrureries | 30 | 08 | locaux de réceptions de matériels et de marchandises | 20 | 08 |
| Silos à céréales ou à sucre | 50 | 07 | U Établissements sanitaires : | | |
| Soies et crins (préparation de) | 50 | 08 | chambres | 20 | 02 |
| Soude (fabrication et dépôts de) | 33 | 07 | incinérations | 21 | 07–08 |
| Soude (traitement de) | 51 | 07 | blocs opératoires | 20 | 07 |
| Spiritueux (entrepôts de) | 33 | 07 | | | |
| Sucreries | 55 | 07 | | | |
| Tanneries | 35 | 07 | | | |

Colonne suivante

Page suivante



| Type de local | IP | IK | Type de local | IP | IK |
|---|---|----------------------|--|----|-------|
| Établissements recevant du public (ERP) | | | Locaux commerciaux, boutiques et annexes | | |
| U | Établissements sanitaires : stérilisations centrali- sées | 24-25 02-07 | Boucherie : Boutique | 24 | 07 |
| | pharmacies et labora- toires avec plus de 10L de liquides inflamma- toires | 21-23 02-07 | Chambre froide | 23 | 07 |
| V | Établissement de cultes | 20 02 | Boulangerie-pâtisserie (four- nil) | 50 | 07 |
| W | Administrations et banques | 20 02 | Brûlerie cafés | 21 | 02 |
| X | Établissements sportifs couverts : Salles | 21 07-08 | Charbon, bois, mazout | 20 | 08 |
| | Locaux contenant des installations frigori- fiques | 21 08 | Charcuterie (fabrication de) | 24 | 07 |
| Y | Musées | 20 02 | Confiserie (fabrication de) | 20 | 02 |
| PA | Établissement de plein air | 25 08-10 | Cordonnerie | 20 | 02 |
| CT | Chapiteaux et tentes | 44 ⁽¹⁾ 08 | Crèmerie, fromagerie | 24 | 02 |
| SG | Structures gonflables | 44 08 | Droguerie, peinture (réserve de) | 33 | 07 |
| PS | Parc de stationnement couvert | 21 07-10 | Ébenisterie, menuiserie | 50 | 07 |
| Locaux communs aux établissements recevant du public | | | Exposition, galerie d'art | 20 | 02-07 |
| | Dépôts, réserve | 20 08 | Fleuriste | 24 | 02 |
| | Locaux d'emballage | 20 08 | Fourrure | 20 | 02 |
| | Locaux d'archive et de sto- ckage | 20 02 | Fruits et légumes | 24 | 07 |
| | Films et supports magné- tiques | 20 08 | Graineterie | 50 | 07 |
| | Lingerie | 21 02 | Librairie, papeterie | 20 | 02 |
| | Blanchisseries | 24 07 | Mécanique, accessoires de motos et vélos | 20 | 08 |
| | Ateliers divers | 21 07-08 | Messageries | 20 | 08 |
| | Cuisines (grandes) ² | | Meuble (antiquités et bro- cantes de) | 20 | 07 |
| Locaux commerciaux, boutiques et annexes | | | Miroiterie (atelier de) | 20 | 07 |
| | Armuries (réserves et ateliers d') | 31-33 08 | Papiers peints (réserve de) | 21 | 07 |
| | Blanchisseries (laveries) | 24 07 | Parfumerie (réserve de) | 31 | 02 |
| | | | Pharmacie (réserve de) | 20 | 02 |
| | | | Photographie (laboratoire de) | 23 | 02 |
| | | | Plomberie et sanitaire (ré- serve de) | 20 | 07 |
| | | | Poissonnerie | 20 | 07 |
| | | | Pressing et teinturerie | 23 | 02 |
| | | | Quincaillerie | 20 | 07 |
| | | | Serrurerie | 20 | 07-08 |
| | | | Spiritueux, vins et alcools (caves de stockages de) | 23 | 07 |
| | | | Tapissier (cardage de) | 50 | 07 |
| | | | Tailleur, vêtement (réserve de) | 20 | 02 |
| | | | Toilette animaux, clinique vé- térinaire | 35 | 07 |

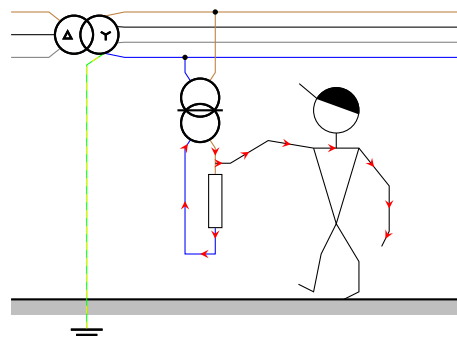
¹ IP24 - IK08 pour les luminaires ;² Se reporter au guide spécialisé UTE C15-201.

A.4.3 Transformateur d'isolement

Le *transformateur d'isolement* a pour but d'isoler l'utilisateur du réseau électrique. On le retrouve généralement dans les salles de bains d'ERP tels que les hôtels, intégré aux sèche-cheveux et rasoirs muraux.

Le secondaire de ce type de transformateur ne doit pas être relié à la terre et isolé *galvaniquement* du primaire, c'est-à-dire qu'il n'y a aucune liaison électrique entre les deux bobinages du transformateur. Le tout afin que le corps humain n'offre pas de chemin pour que le courant effectue une boucle et revienne au transformateur d'où il vient, la différence de potentiel entre la terre et les conducteurs de phase et neutre est alors nulle.

Cette situation est analogue à celle d'un oiseau perché sur une ligne électrique, tant qu'il ne touche pas deux conducteurs électriques en même temps, celui-ci ne risque rien.



A.5 Descriptifs des moyens de protection contre les contacts indirects

Pour protéger les biens et les personnes contre les contacts indirects, on associe trois spécificités de l'installation électrique qui sont la MALT des appareils et structures conductrices, la prise de terre du poste de distribution électrique et l'usage d'un DDR. Cette association, selon le type de branchement, formera les *schémas de liaisons à la terre* (SLT). En outre, le choix des *classe d'isolation* d'un appareil électrique ou la mise hors de portée des appareils peuvent également constituer un moyen de protection contre les contacts indirects.



A.5.1 Classe d'isolation des appareils électriques

TAB. A.6: Classe d'isolation électrique des appareils

| Classe | Définition | Exemple | Symbole | Raccordement |
|--------|---|--|-----------------------|--------------|
| 0 | Matériel ayant une simple isolation et ne présentant pas de dispositif de mise à la terre (interdit) | Lampe de chevet ancienne en bois | <i>pas de symbole</i> | |
| I | Matériel ayant une simple isolation mais présentant un dispositif de mise à la terre | Ordinateur, lampe, fer à repasser, fer à souder... | | |
| II | Matériel présentant une double isolation de la partie active ① (isolation fonctionnelle ② et isolation supplémentaire ③) ne nécessitant donc pas de mise à la terre | Chaîne hi-fi, sèche-cheveux, rasoir électrique... | | |

Page suivante



| Classe | Définition | Exemple | Symbole | Raccordement |
|--------|--|---|---|---|
| III | Matériel ne fonctionnant qu'en très basse tension (12V ou 24V) et ne présentant pas de dangers pour les personnes (aucune précaution particulière à prendre) | Circuits électriques, sonnette, smartphone... |  |  |

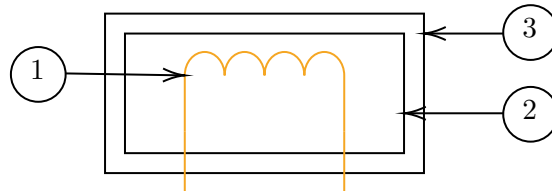


FIG. A.1: Matériel de classe d'isolation II

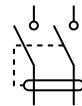
A.5.2 Dispositif Différentiel Résiduel

A.5.2.1 Caractéristiques générales

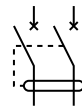
Définition A.1 (Dispositif Différentiel Résiduel) *Un Dispositif Différentiel Résiduel (DDR) est un appareil de protection chargé d'assurer la protection des personnes contre les défauts d'isolement provoquant potentiellement des contacts indirects (Définition 1.2 page 7). Son rôle est de surveiller les fuites de courant d'une installation électrique vers la terre.*

Il convient de bien différencier deux type de DDR :

Interrupteur différentiel : protection des personnes contre les contacts indirects dont le symbole est :



Disjoncteur différentiel : protection des personnes contre les contacts indirects et protection des circuits contre les surintensités et les court-circuits dont le symbole est :

TAB. A.7: Valeur du seuil de $I_{\Delta n}$ fonction de R_A et U_L

| U_L | R_A (Ω) | $I_{\Delta n}$ (A) | U_L | R_A (Ω) | $I_{\Delta n}$ (A) | U_L | R_A (Ω) | $I_{\Delta n}$ (A) |
|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|
| 50V | ≥ 1660 | 0,030 | 25V | ≥ 500 | 0,030 | 12V | ≥ 400 | 0,030 |
| | ≥ 166 | 0,300 | | ≥ 83 | 0,300 | | ≥ 40 | 0,300 |
| | ≥ 100 | 0,500 | | ≥ 50 | 0,500 | | ≥ 24 | 0,500 |
| | ≥ 16 | 3 | | ≥ 8 | 3 | | ≥ 4 | 3 |



A.5.2.2 Marquage normalisé

Comme tout appareil de protection, le DDR respecte des normes de qualité strictes (Conformité Européenne) et doivent présenter plusieurs marquages réglementaires, ainsi qu'un bouton « TEST » pour informer l'installateur et l'utilisateur des caractéristiques du DDR. Cela informe de la conformité de l'appareil de protection.

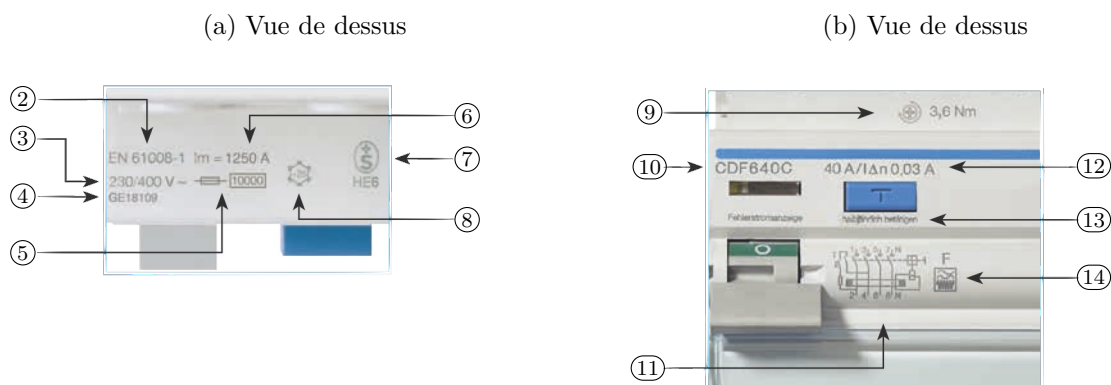


FIG. A.2: Marquage d'un interrupteur différentiel

- | | |
|--|---|
| ② : norme du produit | ⑨ : couple de serrage N m |
| ③ : tension assignée 230/400V ~ | ⑩ : désignation du type |
| ④ : code de production | ⑪ : schéma des connexions |
| ⑤ : signe « Courant assigné de court-circuit 10 000A » en combinaison avec un fusible en amont | ⑫ : courant assigné I_n de 40A et calibre du DDR $I_{\Delta n}$ |
| ⑥ : pouvoir assigné de coupure « 1250A » | ⑬ : note concernant le test « à effectuer tous les six mois » |
| ⑦ : signe de sécurité ESTI (équivalent de la norme NF pour la Suisse) | ⑭ : type de courant différentiel (type F) |
| ⑧ : signe « Flocon de neige » (utilisation pour une température ambiante jusqu'à -25°) | |

A.5.2.3 Composante du courant de défaut

Les DDR peuvent détecter plusieurs composantes du courant de défaut. C'est un paramètre qui peut varier selon le type d'appareil électrique protégé par le DDR.

TAB. A.8: Différents types de DDR selon les composantes du courant de défaut

| Type | Symbole | Caractéristiques | Forme d'onde | Type de charge |
|---------|---------|---|--------------|----------------|
| Type AC | | <ul style="list-style-type: none"> détection des courants alternatifs résiduels utilisation courante en domestique couvrant la plupart des besoin | | |

A.5.3 Mise à la terre des appareils et structures conductrices



A.5.3.1 Mise à la terre des appareils électriques

Les appareils de classe d'isolation I doivent être raccordés à des prises 2P + T ① au moyen de fiches 2P + T ②. Ces prises équipent maintenant tous les logements dont l'installation respecte la norme NF C15-100. Si ces appareils ne présentent pas de fiches, elles sont raccordées au moyen de boîtiers d'encastements appropriés.

Sont particulièrement concernés par cette connexion vers la terre les appareils combinant électricité et eau (lave-vaisselle, lave-linge, cafetière... ③). Les fuites d'eau peuvent effectivement provoquer relativement facilement la mise sous tension de la carcasse métallique de l'appareil.

A.5.3.2 Liaison équipotentielle

Pour protéger les biens et les personnes des contacts indirects, en plus de connecter toutes les carcasses métalliques des appareils de classe d'isolation II vers la terre, il convient de connecter toutes les structures métalliques du bâtiment susceptibles d'être en contact avec un individu *et* d'être mise sous tension accidentellement. Sont concernés par la mise à la terre ④ :

- tuyauterie (même non conductrice car l'eau y transitant l'est) ;
- baignoire et bac de douche (fonte, métal...) ;
- charpente métallique ;
- autres structures métalliques (pouvant varier selon les exigences de sécurité).

Cette connexion, effectuée par un *conducteur de protection* PE ⑤ (obligatoirement en jaune-vert), de toutes les structures conductrices et appareils de classe I constitue la *liaison équipotentielle*. Tous ces conducteurs sont connectés sur une *barrette de terre* ⑧ dans le Tableau Général Basse Tension (TGBT) et sont séparés de la *prise de terre de l'installation électrique* ⑨ par une *barrette de mesure* ⑩ (dénommé également *couteau de terre*).

Afin d'assurer la meilleure protection possible, les conducteurs de protection doivent présenter une section de câble et des raccordements dimensionnés à même de garantir une résistance de la liaison équipotentielle d'une valeur inférieure à 2Ω . Cette résistance est contrôlée au moyen d'un *testeur de continuité* spécifique.

TAB. A.9: Section des conducteurs de protection

| Schéma | Type de conducteur | Section |
|--------|--|---|
| ⑤ | Conducteur de protection transitant dans la même canalisation que les phase(s) et neutre | identique à celle des phase(s) et neutre |
| | Conducteur de protection protégé mécaniquement | 2,5mm ² |
| | Conducteur de protection non protégé mécaniquement | 4mm ² |
| ⑥ | Conducteur principal de protection | 16mm ² en cuivre isolé |
| ⑦ | Conducteur de terre | Selon les caractéristiques : <ul style="list-style-type: none">– 16mm² en cuivre isolé ;– 25mm² en cuivre nu ;– 50mm² en aluminium ou en fer. |

A.5.3.3 Prise de terre de l'installation électrique

Le courant de défaut I_d transite par les conducteurs de la liaison équipotentielle et s'échappe vers la terre via la *prise de terre de l'installation électrique* ⑨ qui est simplement un électrode métallique



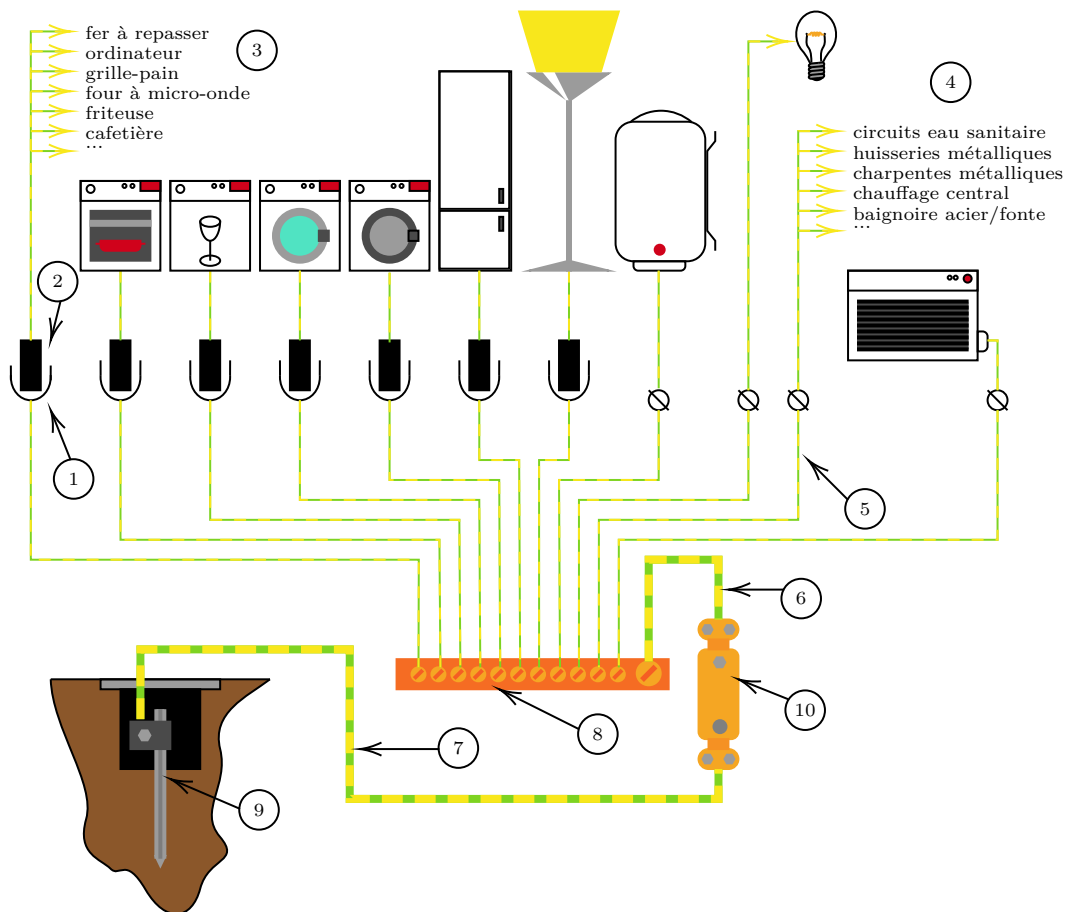


FIG. A.4: Liaison équipotentielle

en contact avec la terre.

Cet électrode doit présenter également la plus faible *résistance de terre* R_A pour permettre au courant de défaut I_d de s'échapper sous une *tension de sécurité* U_L la plus faible possible. Cette valeur doit être régulièrement contrôlée par un *contrôleur de terre*. Les paramètres U_L et $I_{\Delta n}$ (calibre du DDR) étant des constantes déterminées par le DDR, le seul paramètre variable est donc la R_A , selon les conditions environnementales (géologie, humidité, corrosion...).

Elle ne doit jamais dépasser :

50Ω : locaux humides ;

100Ω : locaux secs.

Formule A.1 (Valeur de la résistance de la prise de terre de l'installation électrique R_T)

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_{\Delta n}} \quad (\text{A.1})$$

Avec :

| Grandeur dans l'ISQ | Unité SI de mesure | Description |
|----------------------------|--------------------|---|
| R_A : résistance | ohm (Ω) | résistance de la prise de terre |
| U_L : tension | volt (V) | tension de sécurité du local |
| $I_{\Delta n}$: intensité | ampère (A) | intensité de sensibilité du DDR (calibre) |

Il existe trois méthode de mesure de R_A :

mesure en ligne (des 62%) : un ou deux piquets selon les variantes ;



mesure en triangle : deux piquets disposés de façon à former un triangle équilatéral avec le piquet de terre.

La terre est un conducteur offrant une résistance bien plus élevée que le cuivre mais sa « section » est théoriquement infinie, on va donc maximiser la surface de contact de la prise de terre de l'installation électrique. Il existe trois technique courant pour la réaliser :

Boucle à fond de fouille Cette technique consiste en un conducteur noyé dans les fondations et raccordée à la boucle. Elle est réalisée lors du terrassement précédant la construction de l'immeuble et constitue la solution privilégiée pour minimiser la résistance de terre R_A . Elle sera donc préférée aux deux solutions suivantes.

Le conducteur utilisé doit cependant présenter une section minimale selon le matériau choisi :

- câble de cuivre nu de 25mm^2 ;
- câble en acier de 95mm^2 ;
- feuillard en acier de 100mm^2 et de 3mm d'épaisseur.

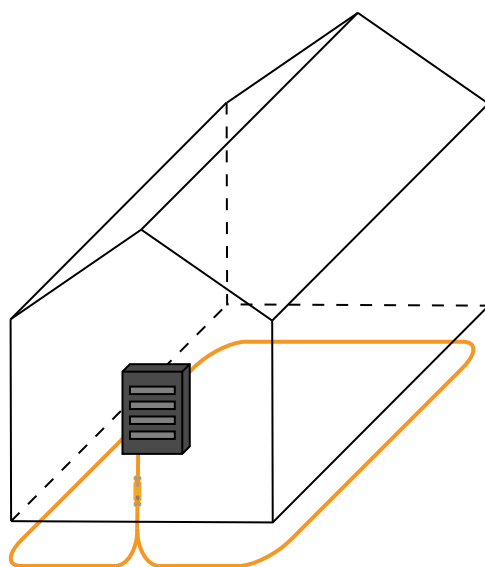


FIG. A.5: Boucle à fond de fouille

Câble en tranchée Si la mise en œuvre de la boucle à fond de fouille n'est pas possible (bâtiment existant par exemple), on peut réaliser la mise à la terre de l'installation électrique par l'installation d'un câble en tranchée en respectant les règles de pose explicité dans le schéma [figure A.6 page 35](#). Le conducteur utilisé doit aussi présenter une section minimale selon le matériau choisi :

- câble de cuivre nu de 25mm^2 ;
- câble en acier de 95mm^2 .



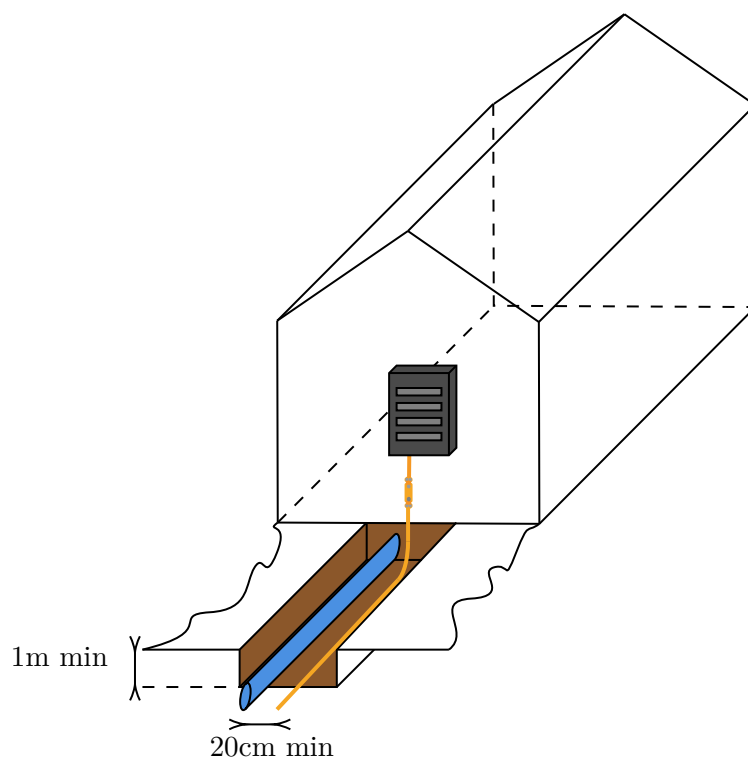


FIG. A.6: Câble en tranchée

Piquet de terre Si aucune des deux solutions précédentes n'est envisageable, on peut réaliser la prise de terre au moyen d'un piquet enfoncé dans le sol en respectant les règles de pose explicité dans le schéma [figure A.7 page 35](#).

Le piquet utilisé doit aussi présenter une section ou une surface minimale selon le matériau choisi :

- tube en acier de 25mm de diamètre ;
- profilé en acier de 60mm² de diamètre ;
- une barre de cuivre ou d'acier cuivré de 15mm² de diamètre.

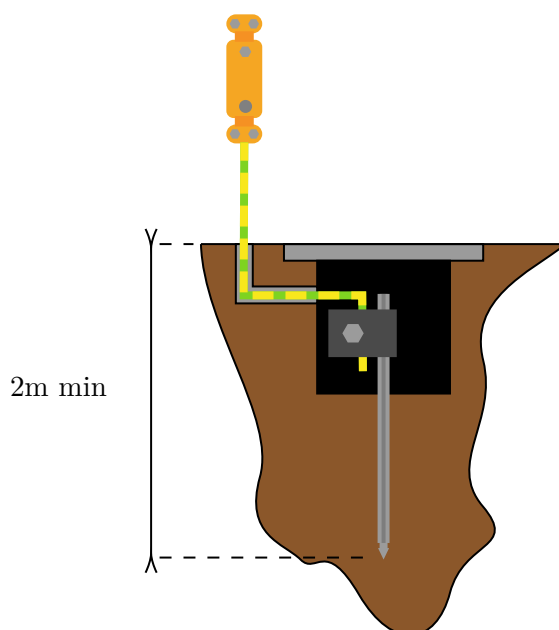


FIG. A.7: Piquet de terre



A.5.4 Mise hors de portée des appareils électriques

Un dernier moyen de protection contre les contacts indirects est de mettre hors de portée les appareils électriques ou du moins installer des appareils présentant des indices de protections adaptés à l'environnement. Cette solution est obligatoirement appliquée dans les pièces humides comme les salles de bain ou de douches, et les règles d'installations sont régies par la norme NF-C15 100⁴. L'eau étant conductrice, si l'on se retrouve immergé ou simplement mouillé, le risque d'électrocution lors de la manipulation d'appareils est plus important. Les zones humides font donc l'objet d'une attention particulière :

- réglementation de pose des appareils électrique ;
- calibre du DDR plus faible ($I_{\Delta n} < 30\text{mA}$) ;
- liaison équipotentielle *secondaire* (huisseries, tuyauterie, baignoire métallique, plancher chauffant, crépine...).

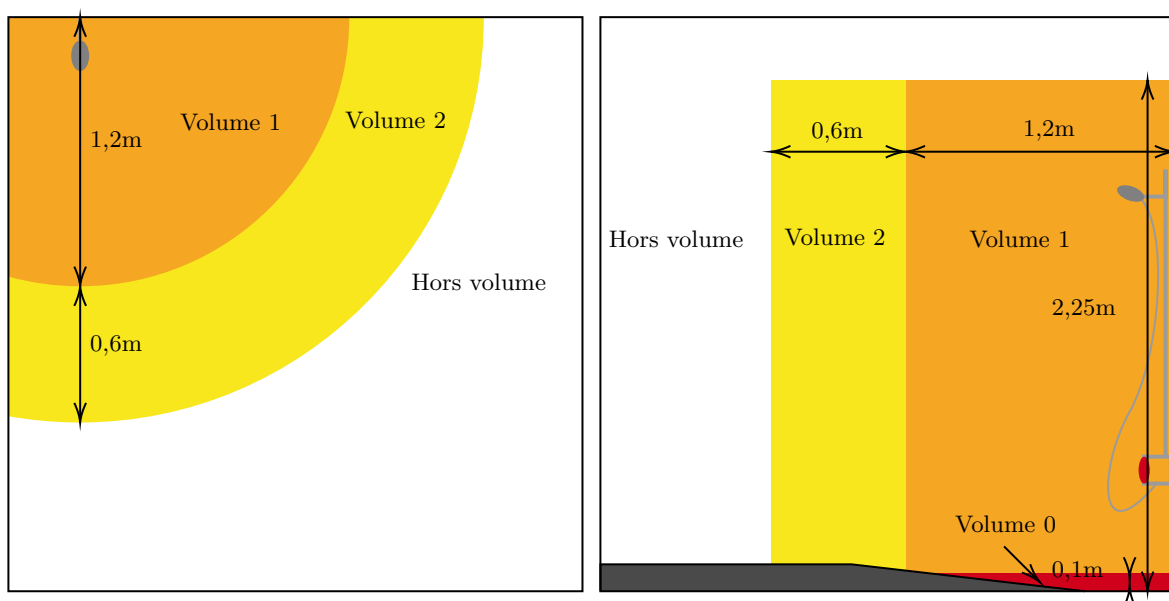


FIG. A.8: Répartition des volumes dans une salle d'eau sans receveur

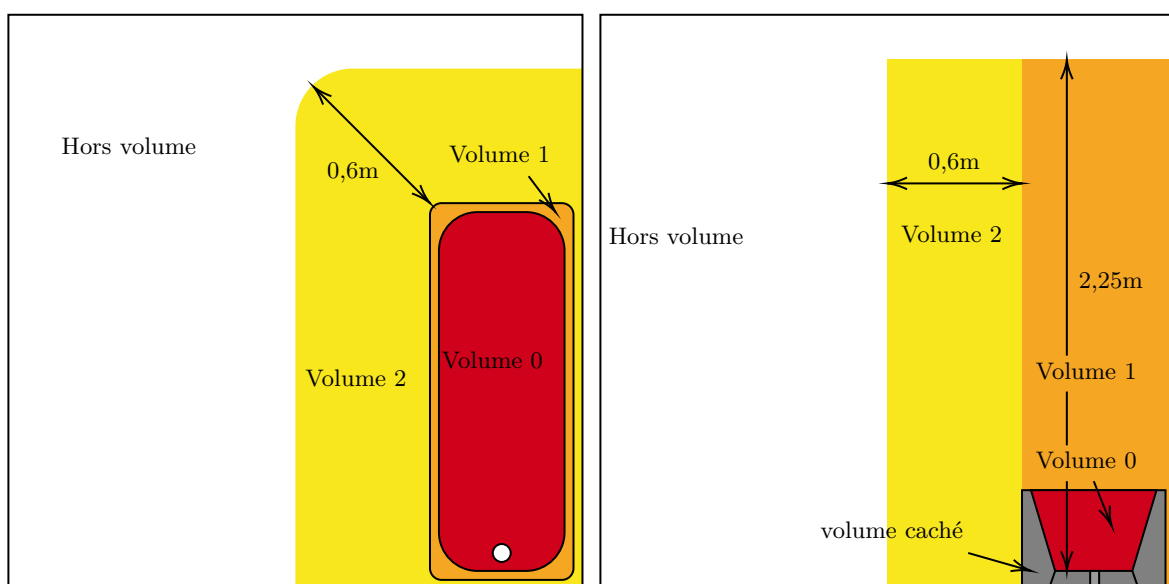


FIG. A.9: Répartition des volumes dans une salle d'eau avec baignoire



TAB. A.10: Caractéristiques des équipements électriques selon les volumes des salles d'eau

| Appareils | Mesure de protection | Volume 0 IPX7 | Volume 1 IPX4 ¹ | Volume 2 IPX4 ¹ | Hors volume |
|------------------------------|---|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Lave-linge, sèche-linge | classe I | interdit | interdit | interdit | autorisé |
| Appareils de chauffage | classe I | interdit | interdit | interdit | autorisé |
| | classe II | interdit | interdit | autorisé | autorisé |
| Éclairage | classe I | interdit | interdit | interdit | autorisé |
| | classe II | interdit | interdit | autorisé | autorisé |
| | TBTS (12V \Rightarrow ou 30V \sim) | autorisé ² | autorisé ² | autorisé ² | autorisé ³ |
| Chauffe-eau instantané | classe I | interdit | autorisé ⁴ | autorisé ⁴ | autorisé |
| Chauffe-eau à accumulation | classe I | interdit | autorisé ⁵ | autorisé ⁴ | autorisé |
| Interrupteur | | interdit | interdit | interdit | autorisé |
| | TBTS (12V \Rightarrow ou 30V \sim) | interdit | autorisé ² | autorisé ² | autorisé ³ |
| Prise de courant avec terre | | interdit | interdit | interdit | autorisé |
| Prise rasoir (10 à 50W) | transformateur de séparation | interdit | interdit | autorisé | autorisé |
| Transformateur de séparation | | interdit | interdit | interdit | autorisé |
| Canalisation | | interdit | autorisé ⁶ | autorisé ⁶ | autorisé |
| Boîtier de connexion | | interdit | interdit ⁷ | interdit | autorisé |

¹ IP X5 si le volume est soumis à des jets d'eau pour des raisons de nettoyage (piscines, bains publics...) ;

² Le transformateur de séparation doit être installé en dehors des volumes 1, 2 et 3 ;

³ La tension peut être portée à 230V ;

⁴ Si l'appareil est alimenté directement sans boîte de connexion ;

⁵ Chauffe-eau horizontal installé le plus haut possible ;

⁶ Limité à l'alimentation des appareils autorisés dans ces volumes ;

⁷ Pour l'alimentation en direct d'un appareil et avec le respect de l'IP exigée par le volume ou elle se situe.



Bibliographie

- [1] *Effets du courant sur les êtres humains et les animaux domestiques*. Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale. 1998-2016.
- [2] René BOURGEOIS et Denis COGNIEL. « Électrotechnique ». In : *Mémotech Plus*. Casteilla, 2005.
- [3] *Postes de livraison alimentés par un réseau public de distribution HTA (jusqu'à 33 kV)*. Association française de normalisation. 2015. Chap. 7.
- [4] *Installations électriques à basse tension*. Association française de normalisation. 2002-2015.
- [5] Arnaud DELAHAYE. « Électrification ». In : *Congrès Aquitain de Médecine d'Urgence*. 2015.
- [6] *Dispositifs Différentiels Résiduels (DDR)*. Schneider. URL : [https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Dispositifs_Diff%C3%A9rentiels_%C3%A0_courant_R%C3%A9siduel_\(DDR\)](https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Dispositifs_Diff%C3%A9rentiels_%C3%A0_courant_R%C3%A9siduel_(DDR)).
- [7] Philippe JUGUET. *Guide des métiers de l'électrotechnique*. Ingerea, 2017. URL : <http://www.ingerea.com/GdME.html>.
- [8] *Les points clés de la norme NF C15-100*. URL : <http://docdif.fr.grpleg.com/general/ouidoo/pdf/infographie-nfc15100-grand-public.pdf>.
- [9] *Manuel technique - principes de protection*. URL : www.hager.ch/files/Handbuch_Schutz_2018_FR_web.
- [10] Mickael PIEKARZ. *Prévention des risques électriques*. BAC Pro ELEEC. Lycée Jean-Caillaud, 2013. URL : http://ww2.ac-poitiers.fr/electrotechnique/sites/electrotechnique/IMG/pdf/prevention_des_risques_electriques.pdf.
- [11] Jean-Louis TIMIN. *Schéma de liaison à la terre*. CNED, 2003. URL : <http://jltimin.free.fr/TGE/cours/SLT.pdf>.
- [12] *Très Basses Tensions*. AFPA. 2000.
- [13] Théodore WILDI et Gilbert SYBILLE. « Électrotechnique ». In : *Physique*. De Boeck, 2014.

