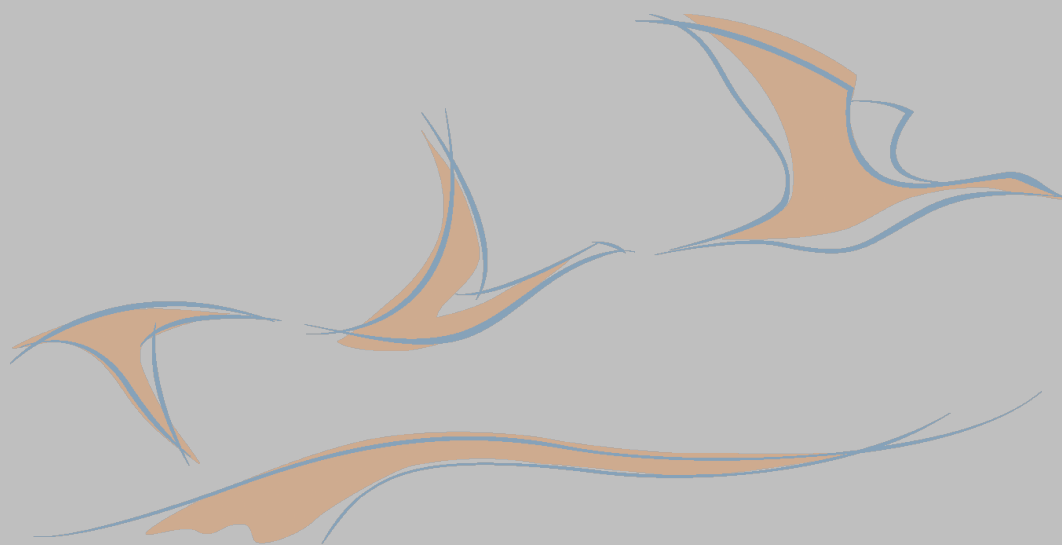


Électrotechnique

Schémas de liaison à la terre





Électrotechnique

Schémas de liaison à la terre



Bruno DOUCHY

Édition 2020.11



Patrimoine
Culturel
Immatériel
en France



CONFÉRENCE DES
**GRANDES
ÉCOLES**



F5652018



Association ouvrière des Compagnons du Devoir et du Tour de France
constituée selon la loi de 1901, reconnue d'utilité publique
82, rue de l'Hôtel-de-Ville - 75180 Paris Cedex 04 - Téléphone : 01 44 78 22 50
www.compagnons-du-devoir.com

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	43



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	36
A.10	Caractéristiques des équipements électriques selon les volumes des salles d'eau	41



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	Principe de fonctionnement d'un DDR	33
A.5	Sélectivité totale à trois niveaux	34
A.7	Cas d'une sélectivité à deux niveaux entre des DDR de type B	34
A.8	Liaison équipotentielle	36
A.9	Boucle à fond de fouille	37
A.10	Câble en tranchée	38
A.11	Piquet de terre	39
A.12	Répartition des volumes dans une salle d'eau sans receveur	39
A.13	Répartition des volumes dans une salle d'eau avec baignoire	40



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 $I_{\Delta n}$	13
A.1	Valeur de la résistance de la prise de terre de l'installation électrique R_T	37



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
A.2	Sélectivité des DDR	34



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 ¹⁵

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](#).

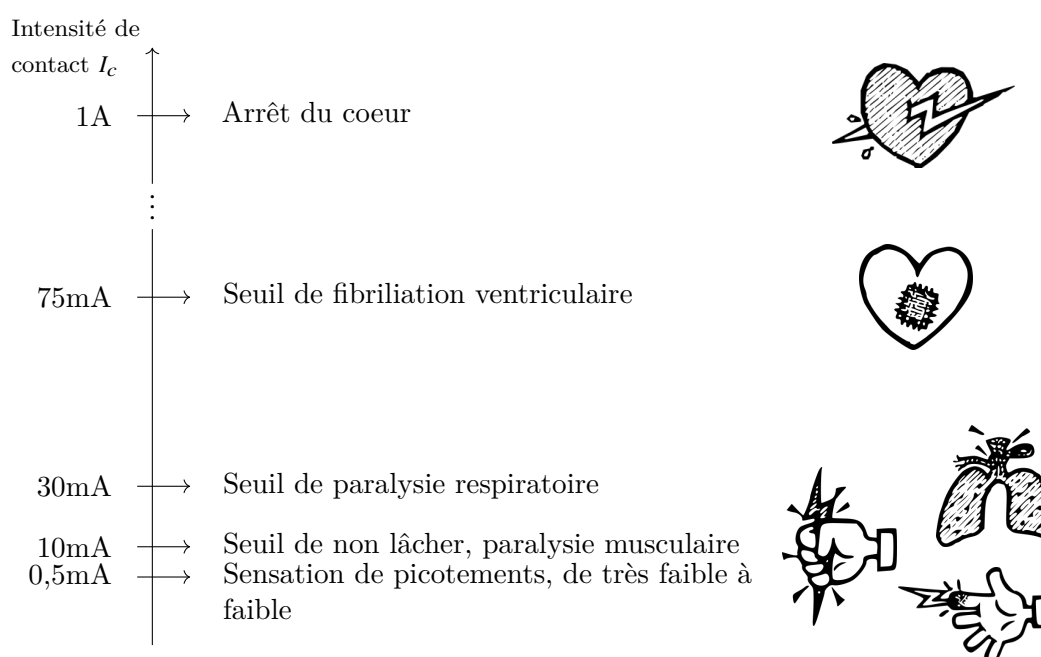


FIG. 1.1: Effets du courant alternatif sur le corps humain

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](#).



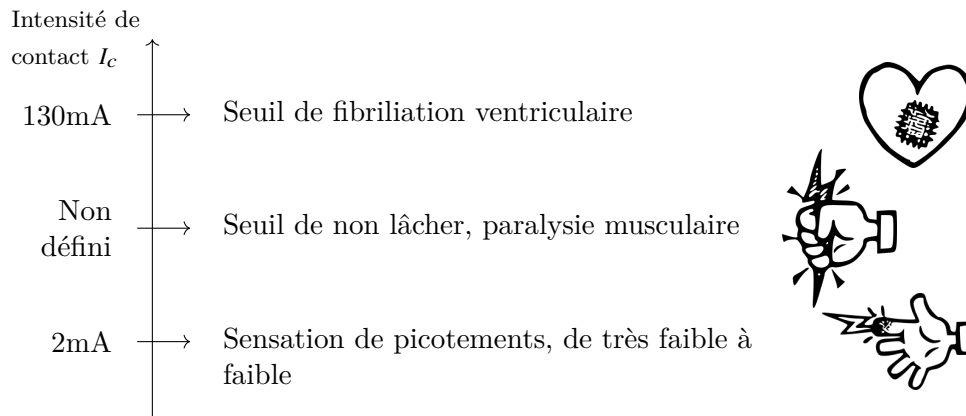


FIG. 1.2: Effets du courant continu sur le corps humain

- 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.

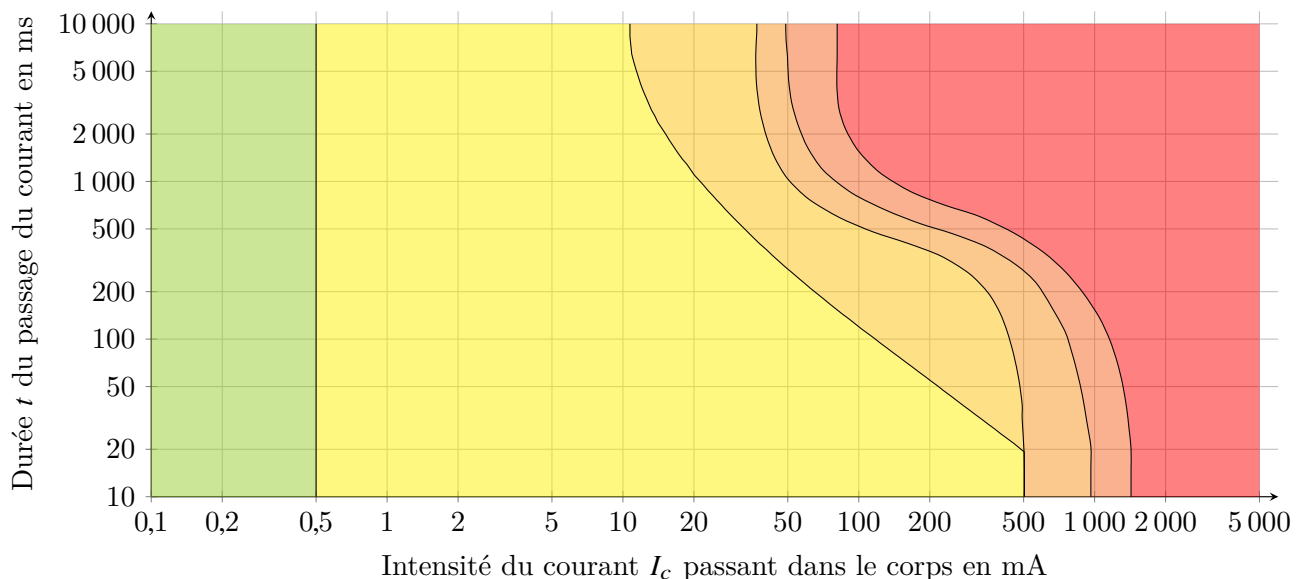


FIG. 1.3: Courbe de l'intensité de contact I_c en fonction du temps $t = f(I_c)$ ¹

- 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*.

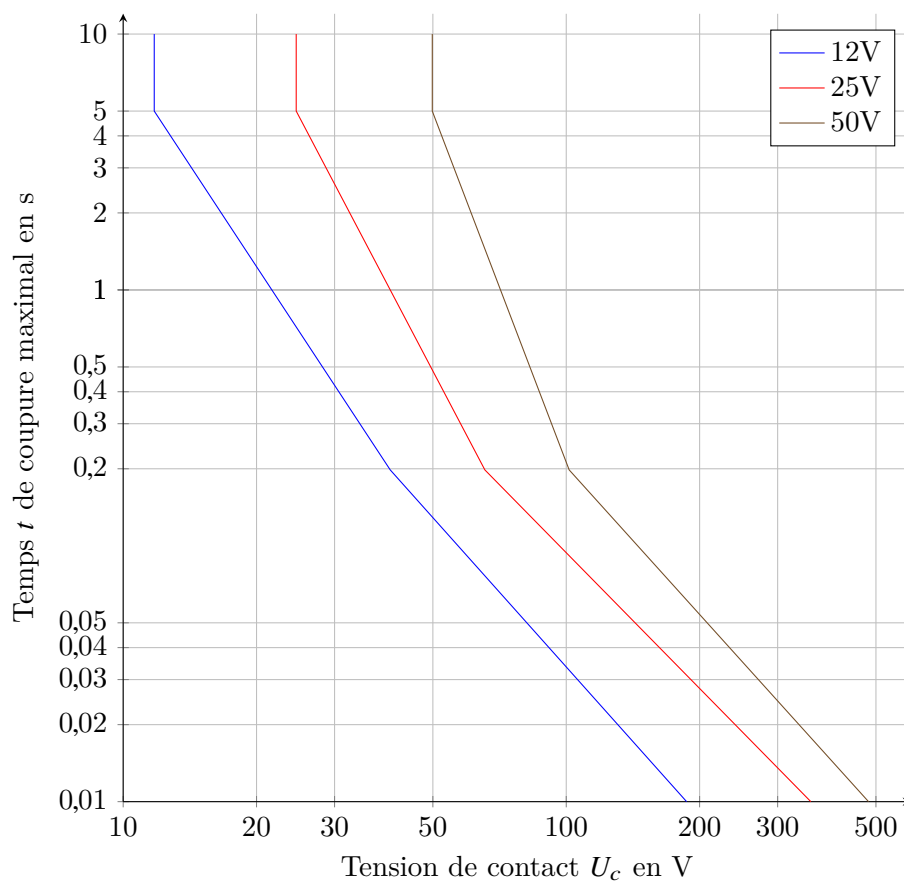


FIG. 1.4: Courbe de la tension de contact U_c en fonction du temps de coupure maximal $t = f(U_c)$

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.⁷



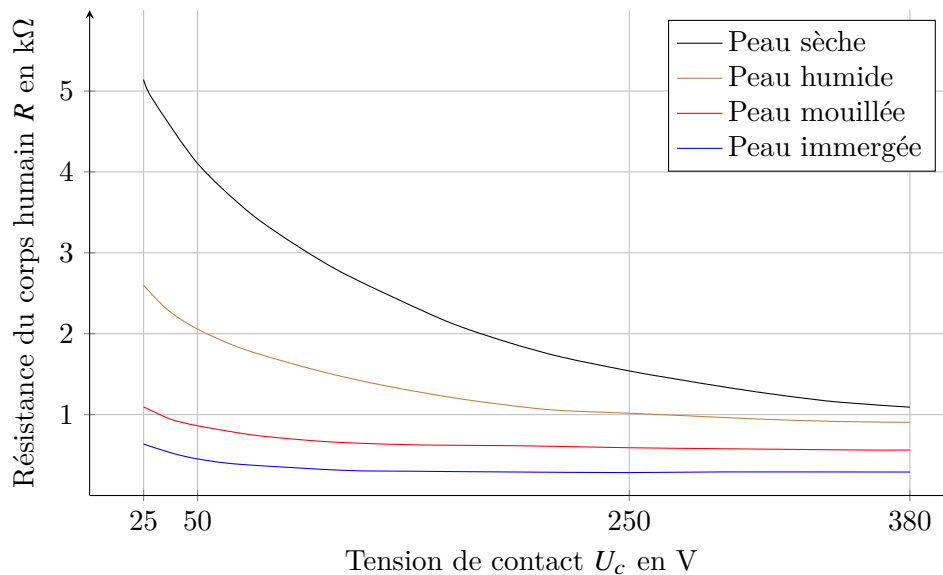


FIG. 1.5: Courbe de la tension de contact U_c en fonction de la résistance du corps humain $R = f(U_c)$

1.4 Nature des contacts

1.4.1 Contact direct

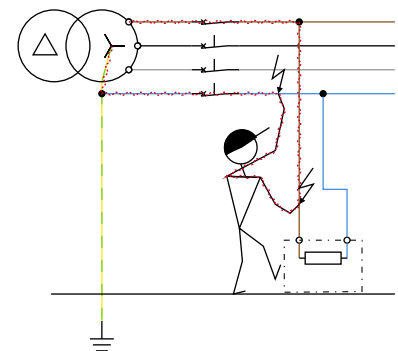
Définition 1.1 (Contact direct) *Contact des personnes avec les parties actives du matériel électrique (pièces ou conducteurs sous tension). La personne rentre en contact direct avec un élément sous tension suite à une négligence ou un non-respect des consignes de sécurité. Dans ce cas, l'électrocution 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 $1,5k\Omega$, 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.

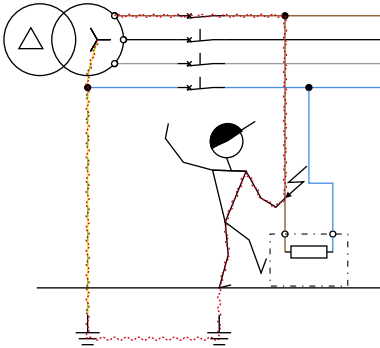
Dans cette configuration-là, le corps entraîne également une fuite du courant électrique vers la terre. Cette spécificité est exploitée par un appareil de protection dédié à la détection de fuite de courant, le dispositif différentiel résiduel (DDR), ou différentiel.

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 [sous-section A.4.3 page 29](#) ;
⁴ Détails sur le DDR en [sous-section A.5.2 page 30](#).



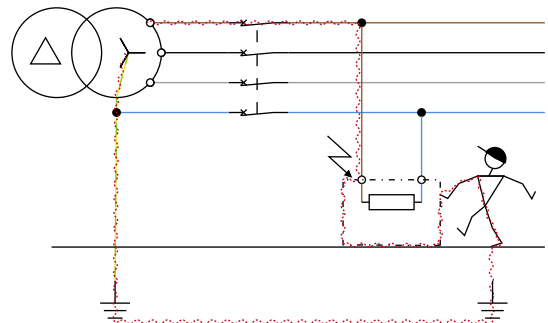
1.4.2 Contact indirect

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](#).



2.1 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 ou 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* ①. Cette liaison présente une certaine résistance, la *résistance de la prise de terre du neutre* R_B ②. Sa mise en œuvre est à charge du fournisseur d'électricité et sa résistance globale doit être inférieure ou égale à 15Ω ⁴.

Les masses sont quant à elles reliées à la terre via la *prise de terre de l'installation électrique* ③, qui présente aussi une certaine résistance, la *résistance de la prise de terre de l'installation électrique* R_A ④. Sa mise en œuvre est à charge du propriétaire de l'installation (voir [sous-sous-section A.5.3.3 page 36](#)).

3.2 Schémas de principe

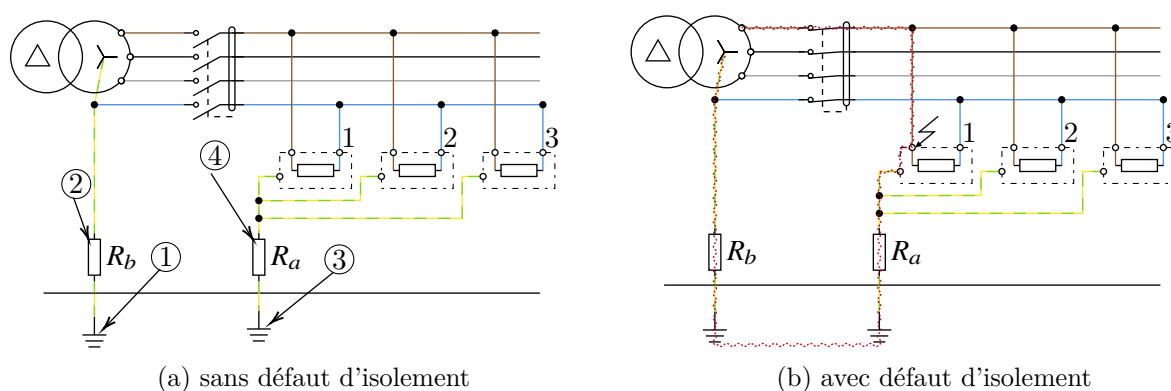


FIG. 3.1: Installation Terre-Terre

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 ① qui prend en compte la nature du défaut d'isolement (franc ou non-franc) et la résistance de la carcasse métallique.



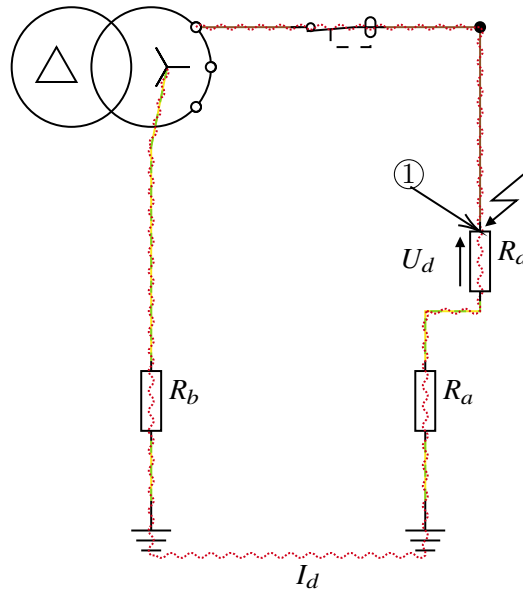


FIG. 3.3: Boucle de défaut du courant I_d sur L1

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 que la tension de défaut U_d ne dépasse pas la tension de sécurité du local U_L (voir [sous-sous-section A.5.3.3 page 36](#)) :

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 37](#)) :

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	$50V < U_0 \leq 120V$		$120V < U_0 \leq 230V$		$230V < U_0 \leq 400V$		$U_0 > 400V$	
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



Annexes



A Informations complémentaires sur les dangers de l'électricité

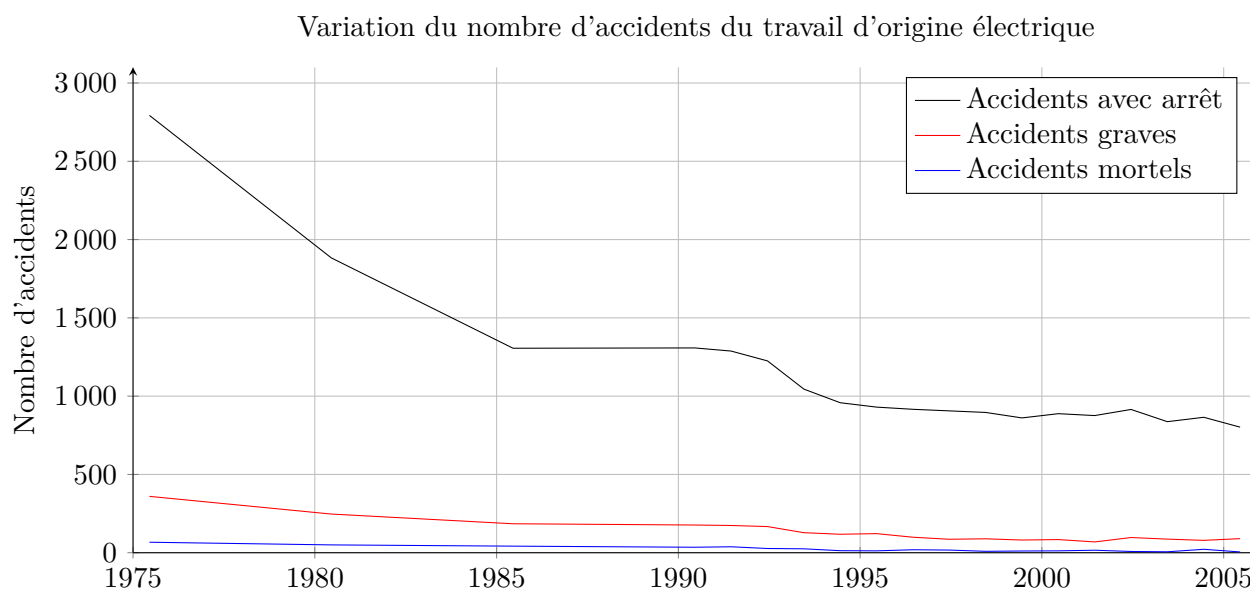
Cette annexe regroupe des données complémentaires mentionnées dans le [chapitre 1 page 1](#). Il n'est pas nécessaire de les retenir par cœur mais ces informations constituent un support appréciable pour toute précision concernant ce chapitre.

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'électrification.

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.

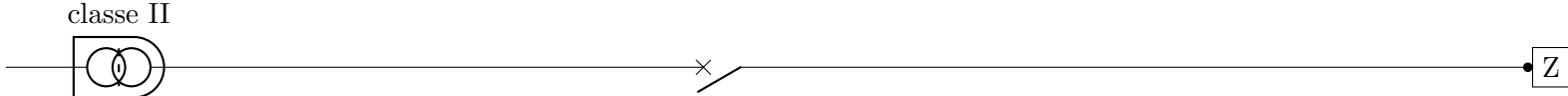
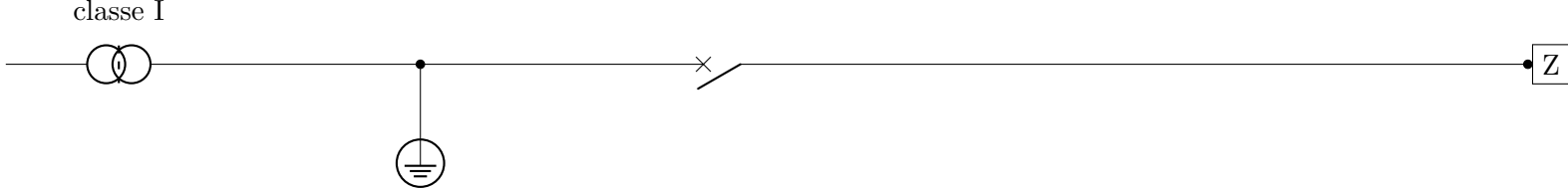
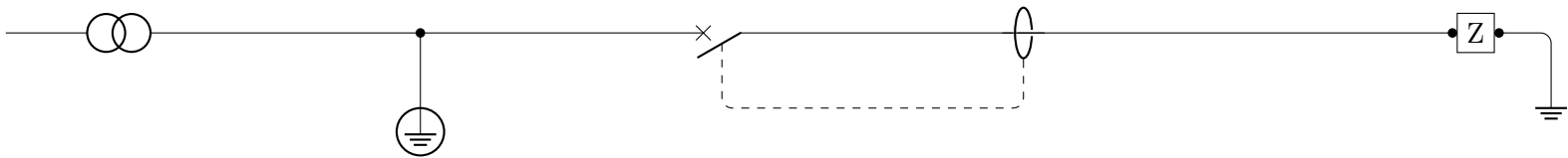
Très Basse Tension de Protection Alimentation basse tension ou il existe un point commun entre le commun du secondaire et le conducteur de protection, utilisée pour alimenter des machines-outils et automatisme. La liaison du commun au conducteur de protection du secondaire permet d'éviter les mises en 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

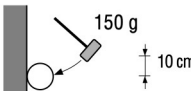
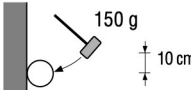
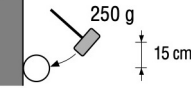
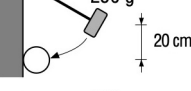
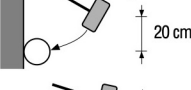

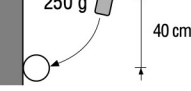
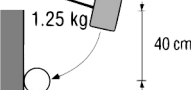
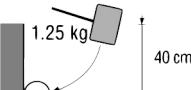
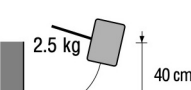
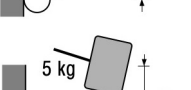
Domaine de tension	Alimentation	Liaison à la terre	Sectionnement et protection contre les court-circuits	Protection contre les contacts indirects	Protection contre les contacts directs	Récepteur
TBTS (Très Basse Tension de Sécurité)	Transformateur de sécurité conforme à la norme NF C 52 742	Interdite	De tous des conducteurs actifs	Non	Non	
	<div>classe II</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>classe I</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	

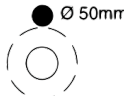
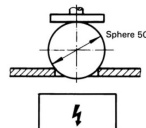


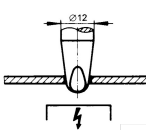
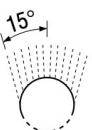
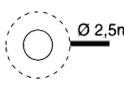
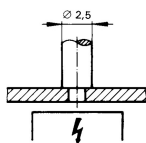
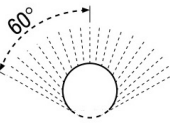
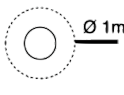
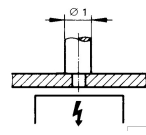


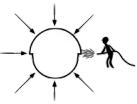

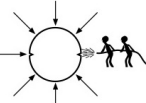
¹ Correspondances avec le code AG de la classification des influences externes issu de la norme NF C 15-100.

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

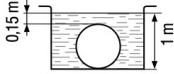
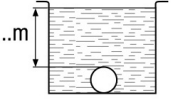


TAB. A.4: Descriptif des indices de protection

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 extérieurs, 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 (laverie)	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

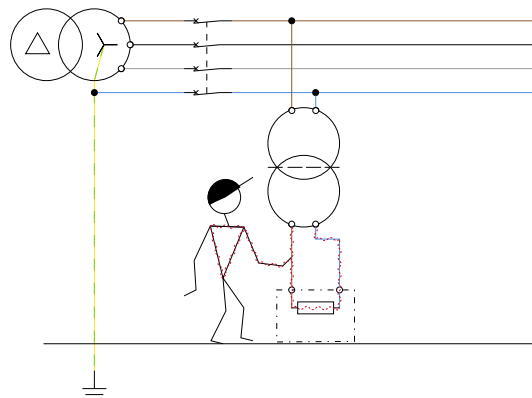
¹ IP24 - IK08 pour les luminaires ;² Se reporter au guide spécialisé UTE C15-201.

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, lampadaire, 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...		

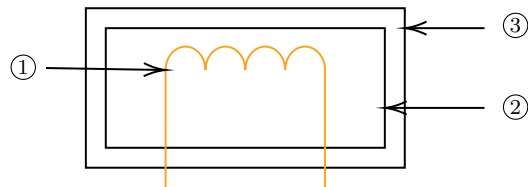


FIG. A.1: Matériel de classe d'isolation II

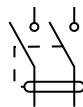
A.5.2 Dispositif Différentiel Résiduel

A.5.2.1 Caractéristiques générales

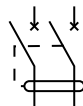
Définition A.1 (Dispositif Différentiel Résiduel) *Un Dispositif Différentiel Résiduel (DDR) est un appareil de protection chargé d'assurer la protection des personnes contre les défauts d'isolement provoquant potentiellement des contacts indirects (Définition 1.2 page 7). Son rôle est de surveiller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

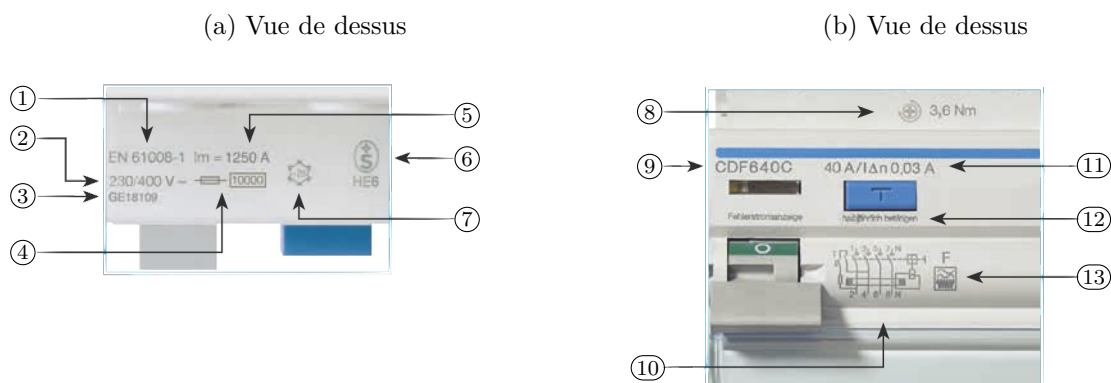


FIG. A.2: Marquage d'un interrupteur différentiel

- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| ① : norme du produit | ⑧ : couple de serrage N m |
| ② : tension assignée 230/400V ~ | ⑨ : désignation du type |
| ③ : code de production | ⑩ : schéma des connexions |
| ④ : signe « Courant assigné de court-circuit 10 000A » en combinaison avec un fusible en amont | ⑪ : courant assigné I_n de 40A et calibre du DDR $I_{\Delta n}$ |
| ⑤ : pouvoir assigné de coupure « 1250A » | ⑫ : note concernant le test « à effectuer tous les six mois » |
| ⑥ : signe de sécurité ESTI (équivalent de la norme NF pour la Suisse) | ⑬ : type de courant différentiel (type F) |
| ⑦ : signe « Flocon de neige » (utilisation pour une température ambiante jusqu'à -25°) | |

A.5.2.3 Composante du courant de défaut



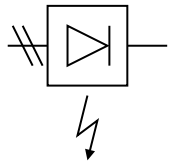
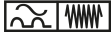
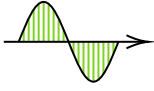
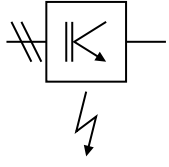

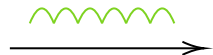
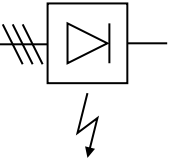
Les DDR peuvent détecter plusieurs composantes du courant de défaut. C'est un paramètre qui peut varier selon le type d'appareil électrique protégé par le DDR.

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 différentiels ; utilisation courante en domestique couvrant la plupart des besoin. 		 linéaire

Page suivante



Type	Symbole	Caractéristiques	Forme d'onde	Type de charge
Type A		<ul style="list-style-type: none"> détection des courants différentiels alternatifs et des courants différentiels continus pulsés ; utilisation spécifique pour les charges électriques monophasées de type 1. 		 redressée monophasée
Type F		<ul style="list-style-type: none"> détection des courants différentiels alternatifs, les courants différentiels continus pulsés et les courants différentiels de fréquences mixtes jusqu'à 1kHz ; utilisation spécifique pour circuits comportant des variateurs de vitesse monophasés. 		 convertie monophasée
Type B		<ul style="list-style-type: none"> détection des courants différentiels alternatifs, les courants différentiels continus pulsés, des courants différentiels de fréquences mixtes jusqu'à 1kHz et des courants différentiels continus lisses ; utilisation spécifique pour circuits comportant des variateurs de vitesse triphasés, un système photovoltaïque, une borne de recharge de véhicule électrique ou encore des équipements médicaux. 		 redressée triphasée

A.5.2.4 Principe de fonctionnement

Les éléments essentiels d'un DDR sont les suivants :

① : bouton test d'essai du DDR	I_1 : courant « d'arrivée » du récepteur
② : transformateur d'intensité (tore de détection)	I_2 : courant « de sortie » du récepteur
③ : relais de déclenchement	I_d : courant de défaut
④ : mécanisme à déclenchement libre sans retour automatique	I_c : courant de contact
	R_b : résistance de terre du neutre
	R_a : résistance de la prise de terre de l'installation électrique

Pour le fonctionnement d'un DDR, les conditions suivantes doivent être remplies :

- le point neutre du transformateur HT/BT doit être mis à la terre ;
- aucune liaison entre le conducteur de neutre et le conducteur de protection ne doit être réalisée en aval du DDR ;



- le conducteur de protection ne doit pas transiter dans le transformateur d'intensité ;
- le réseau doit être alternatif.

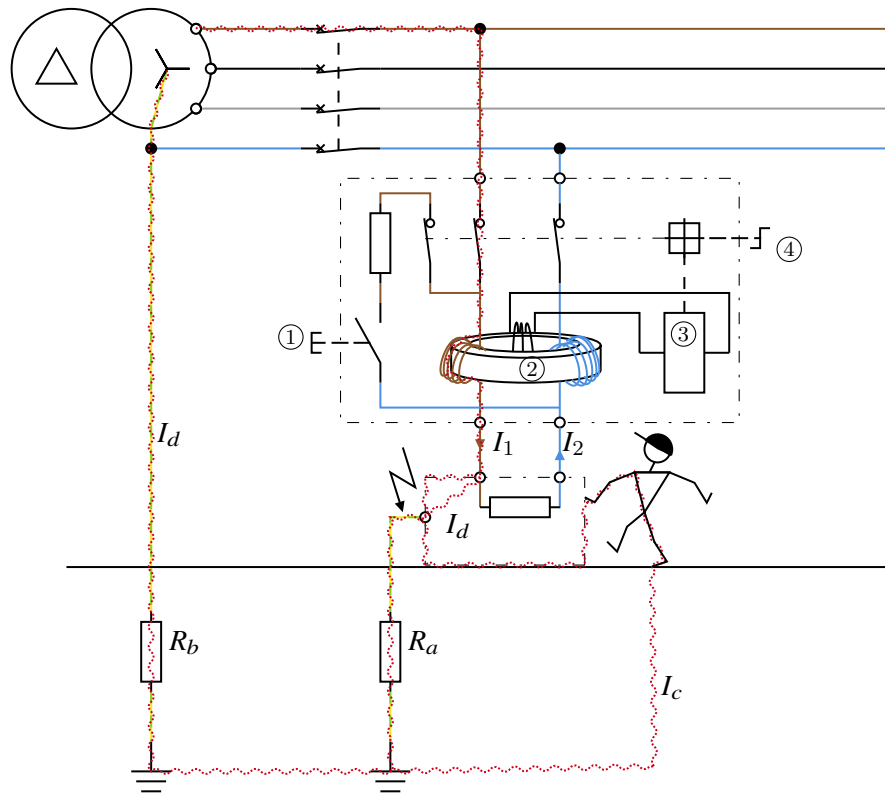


FIG. A.4: Principe de fonctionnement d'un DDR

Transformateur d'intensité Les conducteurs de phase et le conducteur neutre sont bobinés autour du transformateur d'intensité. Les champs magnétiques des différents conducteurs génèrent un flux magnétique à l'intérieur du transformateur d'intensité. Si la somme des courants entrants est égale à la somme des courants sortants (1^{re} loi de Kirchhoff), le flux magnétique s'annule.

Relais de déclenchement Si, en cas de défaut, un courant s'écoule par la terre, il y a alors un déséquilibre dans le transformateur d'intensité et un courant est induit dans la bobine du relais de déclenchement. Le courant induit est proportionnel au courant de défaut et entraîne la coupure du circuit principal à l'aide du relais déclencheur.

La bobine de détection est dimensionnée sur son tore selon le calibre de détection souhaité.

Mécanisme de déclenchement Le mécanisme de déclenchement assure la coupure omnipolaire du circuit principal en cas de défaut. La caractéristique « libre » du mécanisme agit dans le cas où la manette reste bloquée en position enclenchée.

Bouton de test d'essai du DDR En appuyant sur le bouton test, un courant de défaut est généré à travers une résistance. Le circuit de courant du dispositif d'essai se trouve en dehors du transformateur d'intensité afin de pouvoir contrôler le fonctionnement de la bobine et du mécanisme de déclenchement. Le dispositif d'essai fonctionne seulement si la tension réseau est présente. L'essai est à réaliser régulièrement selon les normes en vigueur. Dans des installations mobiles, il est recommandé d'effectuer un essai tous les jours ouvrables.



A.5.2.5 Sélectivité et coordination des DDR

Dans le cas d'une installation électrique composée dont les DDR sont disposés en séries, il peut être nécessaire d'appliquer cette sélectivité sur les différents DDR. Elle fait appel à deux méthode :

- temporisation des DDR entre eux ;
- subdivision des circuits.

Définition A.2 (Sélectivité des DDR) *Méthode d'installation et de calcul des temps de déclenchement des DDR permettant d'éviter le déclenchement des DDR autres que celui situé immédiatement en amont du défaut d'isolement.*

La sélectivité est totale si :

- le rapport entre les courants de fonctionnement résiduels assignés doit être supérieur à 3 ;
- présence d'un retard de la temporisation du déclenchement du DDR situé en amont.

Elle peut toutefois être prescrite selon les exigences de sécurité ou d'exploitation et est obtenue sur base des différents calibres de sensibilité standardisés (30mA, 100mA, 300mA, 1A...) et de la temporisation des temps de déclenchement comme dans la figure située [figure A.5 page 34](#).

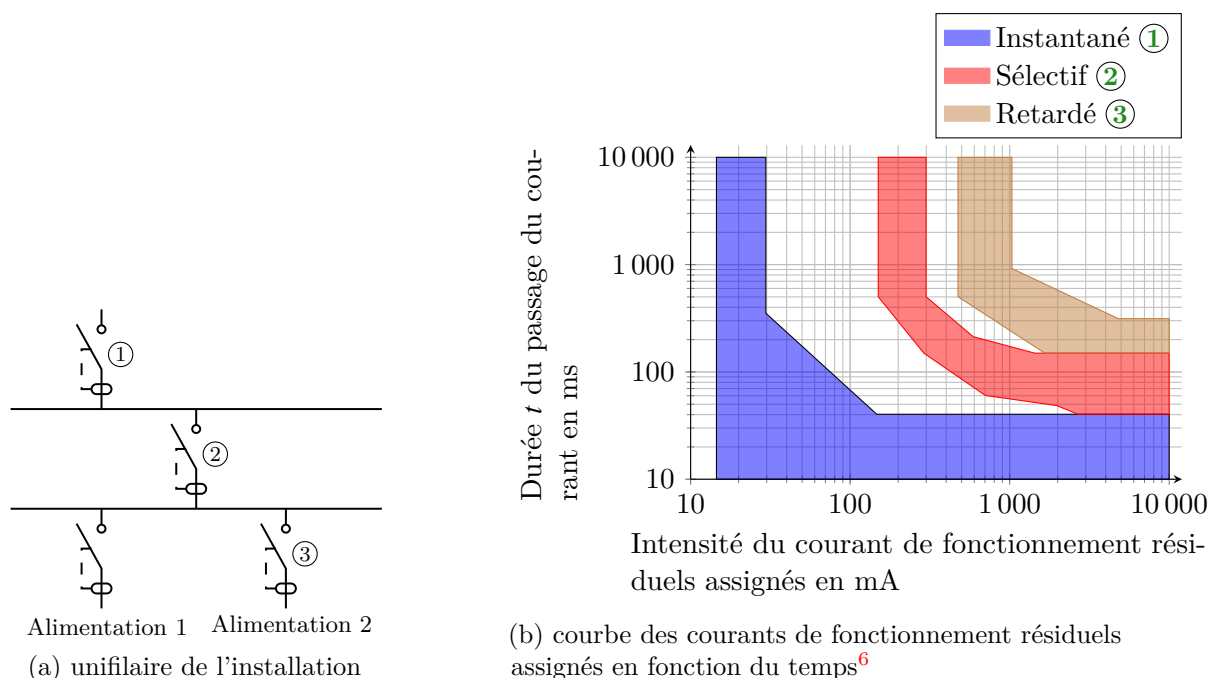


FIG. A.5: Sélectivité totale à trois niveaux

Cas particulier de coordination avec les DDR

de type B En présence d'un courant de fuite à la terre possible en courant continu (typiquement le cas pour les chargeurs de voiture), un DDR de type B doit être utilisé pour la protection contre les contacts indirects. Dans ce cas, le DDR en amont ne doit pas être aveuglé par le courant résiduel continu possible et doit assurer sa protection normale lorsqu'un courant de défaut apparaît dans une autre partie de l'installation.

Par exemple, dans le schéma en [figure A.7 page 34](#), le DDR $I_{\Delta n} = 30\text{mA}$ de type B au niveau 2 peut avoir un seuil de déclenchement courant continu maximum de $2 \times I_{\Delta n}$, selon la norme produit DDR CEI 62423². Cela signifie que ce DDR de

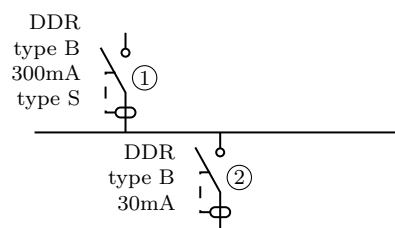


FIG. A.7: Cas d'une sélectivité à deux niveaux entre des DDR de type B



$I_{\Delta n} = 30\text{mA}$ de type B pourrait laisser passer un courant résiduel de presque 60mA = sans déclenchement et que le DDR en amont ne devrait perdre aucune de ses performances avec la présence de ce niveau élevé de courant résiduel *mathdirectcurrent*. C'est pourquoi il est souvent proposé d'utiliser un DDR de type B au niveau 1 pour éviter tout effet d'aveuglement par le courant continu.

Toutefois, certains constructeurs implémentent dans leurs DDR de type A la capacité de ne pas être sensibles au courant résiduel = en dessous d'un certain seuil de courant de défaut (60mA pour la marque Schneider⁶). Cela permet d'éviter la pose d'un DDR de type B en amont, plus coûteux qu'un DDR de type A, tout en conservant les capacités de détection des DDR de types A et AC.

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 ③ au moyen de fiches 2P + T ④. 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'encastrement appropriés.

Sont particulièrement concernés par cette connexion vers la terre les appareils combinant électricité et eau (lave-vaisselle, lave-linge, cafetière... ⑤). 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 ⑥ :

- 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 ⑦ (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* ⑩ dans le Tableau Général Basse Tension (TGBT) et sont séparés de la *prise de terre de l'installation électrique* ⑪ par une *barrette de mesure* ⑫ (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.



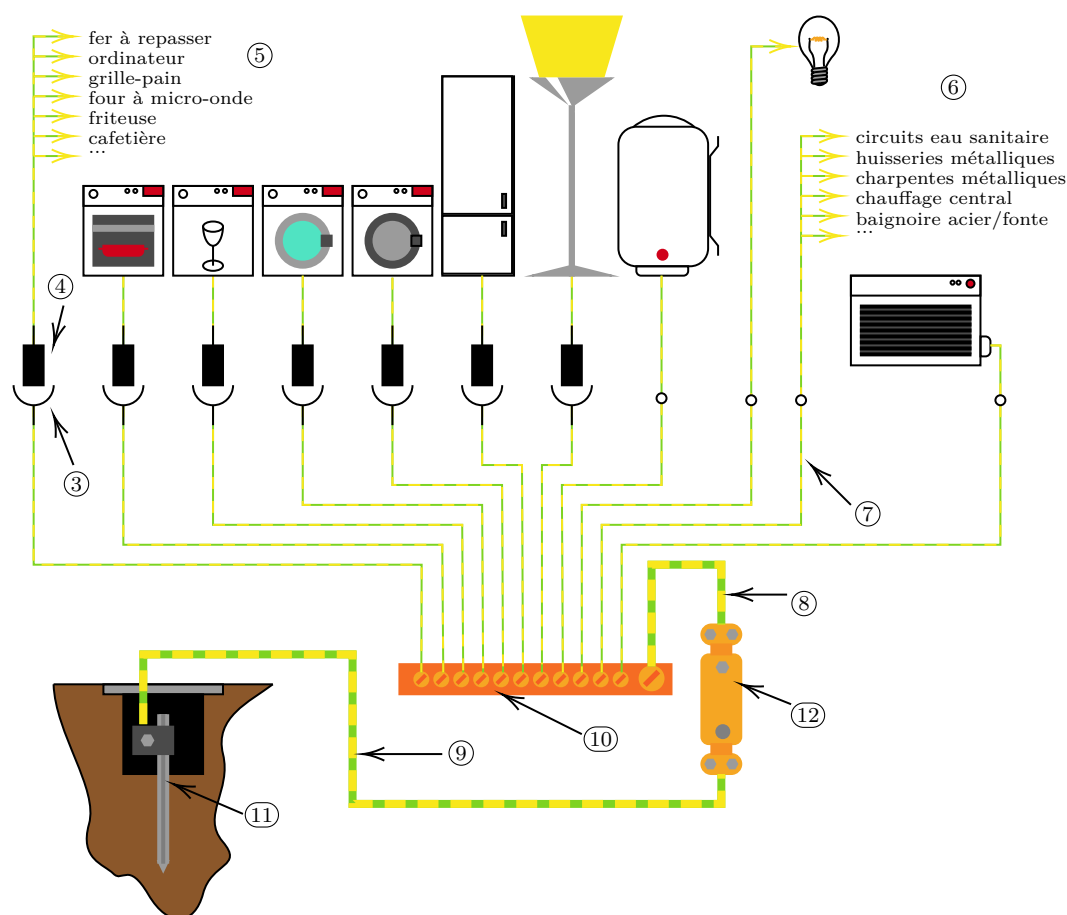


FIG. A.8: Liaison équipotentielle

TAB. A.9: Section des conducteurs de protection

Schéma	Type de conducteur	Section
⑦	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
⑧	Conducteur principal de protection	16mm ² en cuivre isolé
⑨	Conducteur de terre	Selon les caractéristiques : – 16mm ² en cuivre isolé ; – 25mm ² en cuivre nu ; – 50mm ² 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* (11) qui est simplement un électrode métallique 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 25mm² ;
- câble en acier de 95mm² ;
- feuillard en acier de 100mm² et de 3mm d'épaisseur.

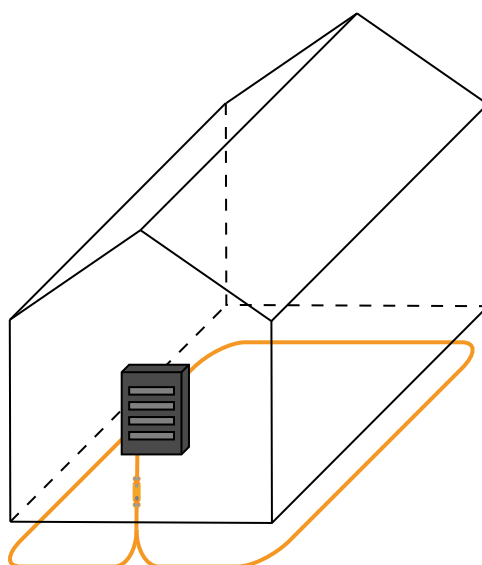


FIG. A.9: Boucle à fond de fouille



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.10 page 38](#). 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 .

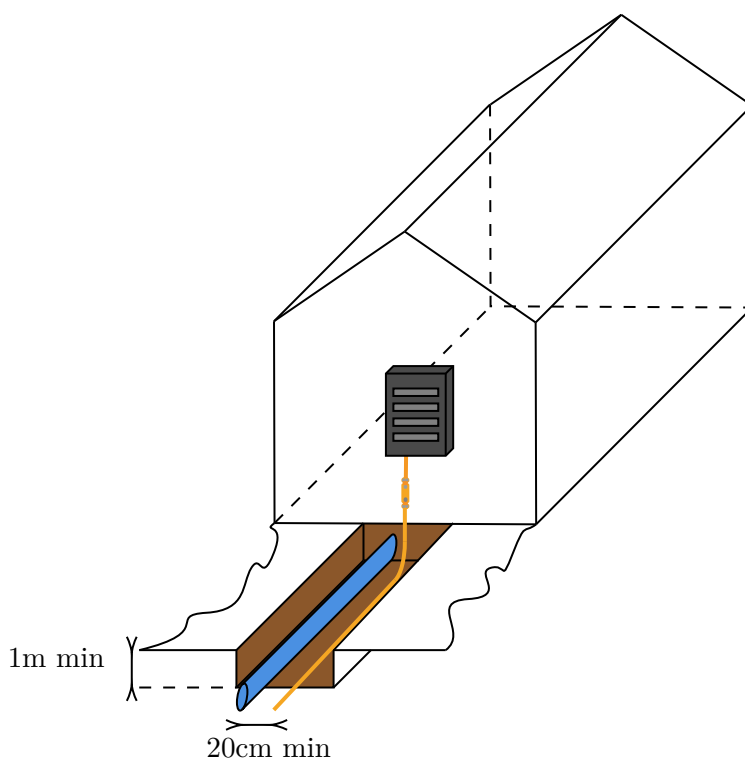


FIG. A.10: Câble en tranchée

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.11 page 39](#).

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 60mm^2 de diamètre ;
- une barre de cuivre ou d'acier cuivré de 15mm^2 de diamètre.



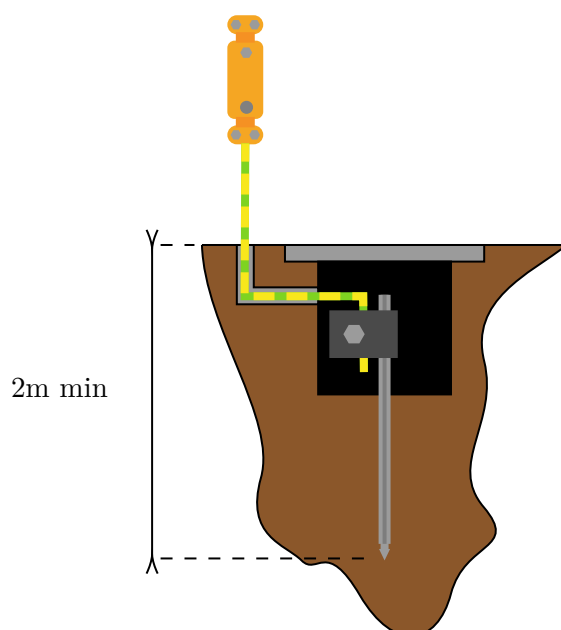


FIG. A.11: Piquet de terre

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 100⁵. 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...).

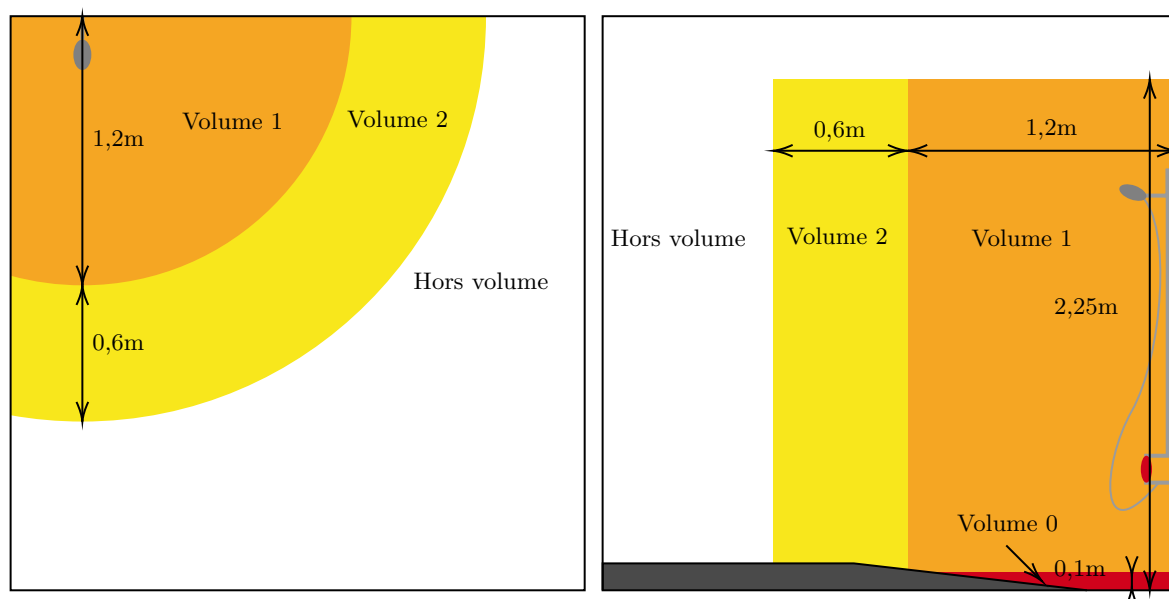


FIG. A.12: Répartition des volumes dans une salle d'eau sans receveur



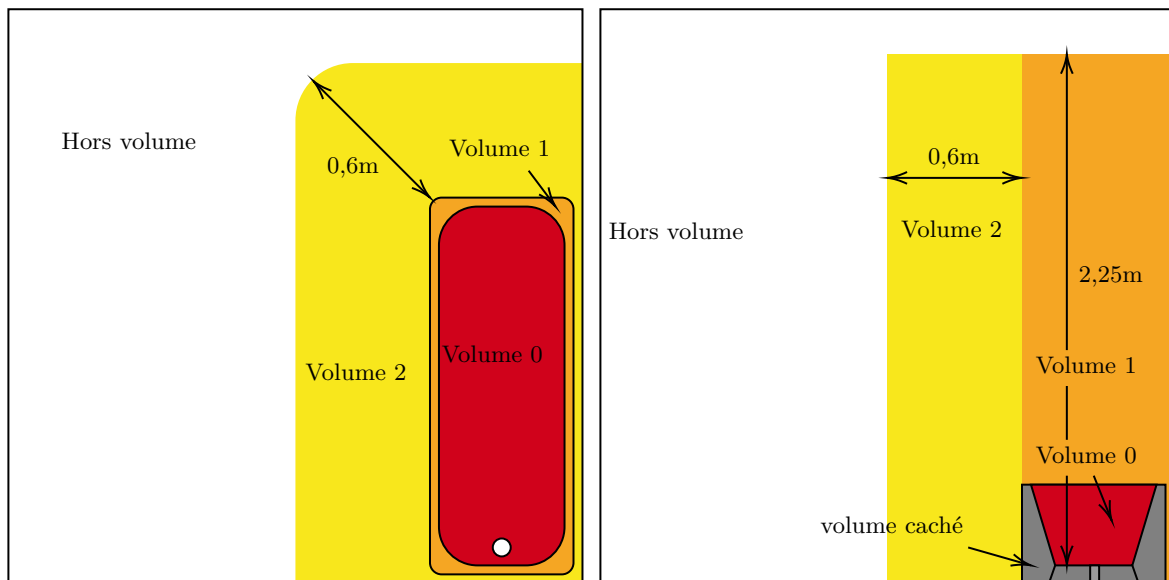


FIG. A.13: Répartition des volumes dans une salle d'eau avec baignoire

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] *Interrupteurs automatiques à courant différentiel résiduel de type B et de type F avec et sans protection contre les surintensités incorporée pour usages domestiques et analogues*. Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale. 2009.
- [3] René BOURGEOIS et Denis COGNIEL. « Électrotechnique ». In : *Mémotech Plus*. Casteilla, 2005.
- [4] *Postes de livraison alimentés par un réseau public de distribution HTA (jusqu'à 33 kV)*. Association française de normalisation. 2015. Chap. 7.
- [5] *Installations électriques à basse tension*. Association française de normalisation. 2002-2015.
- [6] *Coordination des protections différentielles (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] Arnaud DELAHAYE. « Électrisation ». In : *Congrès Aquitain de Médecine d'Urgence*. 2015.
- [8] *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)).
- [9] Philippe JUGUET. *Guide des métiers de l'électrotechnique*. Ingerea, 2017. URL : <http://www.ingerea.com/GdME.html>.
- [10] *Les points clés de la norme NF C15-100*. URL : <http://docdif.fr.grpleg.com/general/ouidoo/pdf/infographie-nfc15100-grand-public.pdf>.
- [11] *Manuel technique - principes de protection*. URL : www.hager.ch/files/Handbuch_Schutz_2018_FR_web.
- [12] 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.
- [13] Jean-Louis TIMIN. *Schéma de liaison à la terre*. CNED, 2003. URL : <http://jltimin.free.fr/TGE/cours/SLT.pdf>.
- [14] *Très Basses Tensions*. AFPA. 2000.
- [15] Théodore WILDI et Gilbert SYBILLE. « Électrotechnique ». In : *Physique*. De Boeck, 2014.

