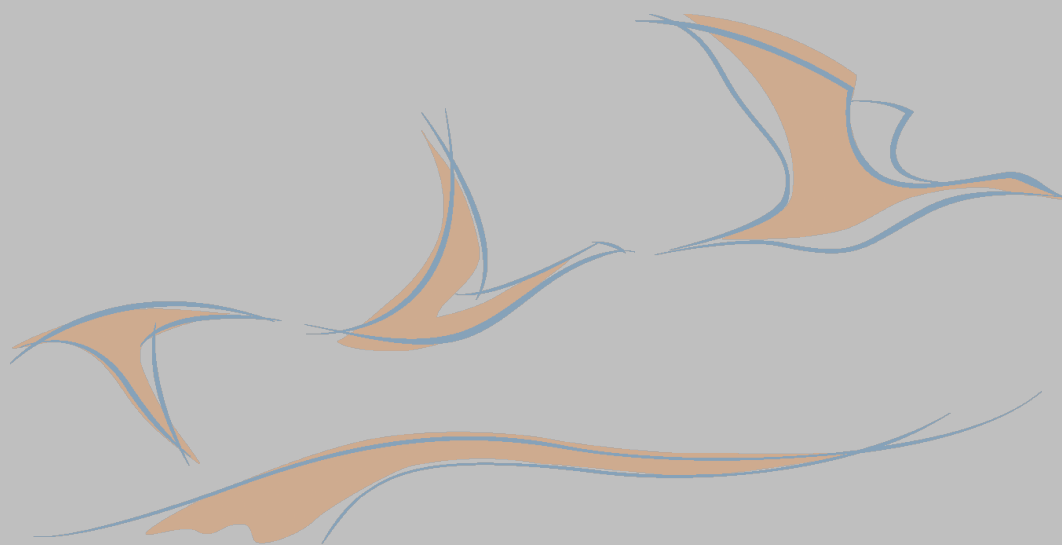


## Électrotechnique

---

### Schémas de liaison à la terre







---

## BTS ÉLECTROTECHNIQUE

---

# Électrotechnique

---

## Schémas de liaison à la terre



Bruno DOUCHY

Édition 2020.11



Patrimoine  
Culturel  
Immatériel  
en France



CONFÉRENCE DES  
GRANDES  
ÉCOLES



FS652018



**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](http://www.compagnons-du-devoir.com)

---

# Table des matières

---

<b>1</b>	<b>Les dangers de l'électricité</b>	<b>1</b>
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
<b>2</b>	<b>Principes de fonctionnement</b>	<b>9</b>
2.1	Généralités . . . . .	9
2.2	Définitions usuelles . . . . .	9
2.3	Désignations des différents SLT . . . . .	9
2.4	Temps de coupure maximal . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Schéma Terre-Terre</b>	<b>11</b>
3.1	Caractéristiques générales . . . . .	11
3.2	Schémas de principe . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Schéma Terre-Neutre</b>	<b>15</b>
4.1	Caractéristiques générales . . . . .	15
4.2	Schémas de principe . . . . .	16
4.3	Méthode de dimensionnement conventionnelle des protections et des sections de conducteurs . . . . .	17
4.4	Protection avec des DDR en schéma TN . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Schéma Impédant-Terre</b>	<b>21</b>
5.1	Caractéristiques générales . . . . .	21
5.2	Isolation de l'installation électrique en schéma IT . . . . .	22
5.3	Schémas de principe . . . . .	24
5.4	Contrôle permanent de l'installation en schéma IT . . . . .	31
5.5	Inconvénients du schéma IT . . . . .	32
<b>6</b>	<b>Choix d'un schéma de liaison à la terre</b>	<b>33</b>
6.1	Introduction . . . . .	33
6.2	Lois et décrets . . . . .	33
6.3	Protection des personnes contre les chocs électriques . . . . .	34
6.4	Protection des biens contre les incendies ou explosions d'origine électrique . . . . .	34
6.5	Continuité de service . . . . .	34
6.6	Protection contre les surtensions . . . . .	34
6.7	Compatibilité électromagnétique . . . . .	34
6.8	Le coût de revient . . . . .	35
6.9	Tableau récapitulatif des différents schémas de liaison à la terre . . . . .	35
	<b>Annexes</b>	<b>37</b>



<b>A Informations complémentaires sur les dangers de l'électricité</b>	<b>39</b>
A.1 État des lieux de la prévention des risques électriques . . . . .	39
A.2 Statistiques . . . . .	39
A.3 Différents effets du courant électriques . . . . .	40
A.4 Descriptifs des moyens de protections contre les contacts directs . . . . .	41
A.5 Descriptifs des moyens de protection contre les contacts indirects . . . . .	51
<b>B Informations complémentaires sur le SLT TN</b>	<b>65</b>
B.1 Méthodes de dimensionnement des protections et des sections des conducteurs . . . .	65
<b>Bibliographie</b>	<b>69</b>



---

# 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
4.1	Déclinaisons du SLT TN . . . . .	15
4.2	Section des conducteurs (schéma TN / méthode conventionnelle) . . . . .	18
4.3	Temps de coupure maximal des disjoncteurs en schéma TN . . . . .	19
5.1	Valeur de l'impédance de réseau $Z_{res}$ en fonction de la longueur du réseau électrique . .	24
5.2	Correspondance entre la capacité de fuite et le courant de premier défaut d'isolement . .	28
5.3	Temps de coupure maximal des disjoncteurs en schéma IT . . . . .	31
6.1	Législation encadrant le choix d'un SLT . . . . .	33
6.2	Comparaison des différents schémas de liaison à la terre . . . . .	36
A.1	Types de Très Basse Tension . . . . .	42
A.2	Descriptif de l'indice contre les chocs mécanique IK . . . . .	43
A.3	Lettre additionnelle sur les informations supplémentaires . . . . .	43
A.4	Descriptif des indices de protection . . . . .	44
A.5	Classification des locaux . . . . .	46
A.6	Classe d'isolation électrique des appareils . . . . .	51
A.7	Valeur du seuil de $I_{\Delta n}$ fonction de $R_A$ et $U_L$ . . . . .	52
A.8	Différents types de DDR selon les composantes du courant de défaut . . . . .	53
A.9	Section des conducteurs de protection . . . . .	58
A.10	Caractéristiques des équipements électriques selon les volumes des salles d'eau . . . . .	63
B.1	$L_{max}$ des circuits en mètre selon les sections des conducteurs en cuivre en schéma TN pour les disjoncteurs industriels <sup>16</sup> . . . . .	66
B.2	$L_{max}$ des circuits en mètre selon les sections des conducteurs en cuivre en schéma TN pour les disjoncteurs domestiques de type B <sup>16</sup> . . . . .	67
B.3	$L_{max}$ des circuits en mètre selon les sections des conducteurs en cuivre en schéma TN pour les disjoncteurs domestiques de type C <sup>16</sup> . . . . .	67
B.4	$L_{max}$ des circuits en mètre selon les sections des conducteurs en cuivre en schéma TN pour les disjoncteurs domestiques de type D <sup>16</sup> . . . . .	67



---

# 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 $t = f(I_c)$ <sup>1</sup> . . . . .	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 . . . . .	12
3.3	Boucle de défaut du courant $I_d$ sur L1 . . . . .	12
4.1	Installation Terre-Neutre Confondus . . . . .	16
4.3	Installation Terre-Neutre Séparés . . . . .	16
4.5	Installation Terre-Neutre Confondus-Séparés . . . . .	17
4.7	Boucle de défaut du courant $I_d$ sur L1 . . . . .	17
5.1	Résistance de fuite $R_{res}$ d'un réseau électrique de plusieurs km . . . . .	22
5.2	Capacité de fuite d'un réseau électrique de plusieurs km . . . . .	23
5.3	Réactance de fuite $X_{res}$ d'un réseau électrique de plusieurs km . . . . .	23
5.4	Impédance de fuite $Z_{res}$ d'un réseau électrique de plusieurs km . . . . .	24
5.6	Installation Isolé-Individuelle . . . . .	24
5.8	Boucle de courant de défaut $I_{d1}$ du premier défaut d'isolement sur L1 . . . . .	25
5.9	Installation Isolé-Individuelle . . . . .	26
5.11	Boucle de courant de défaut $I_{d2}$ du deuxième défaut d'isolement sur L2 . . . . .	27
5.12	Installation Isolé-Interconnectée . . . . .	29
5.14	Boucle de courant de défaut $I_{d2}$ du deuxième défaut d'isolement sur L2 . . . . .	30
5.15	Installation Isolé-Individuelle avec CPI . . . . .	32
A.1	Matériel de classe d'isolation II . . . . .	52
A.2	Marquage d'un interrupteur différentiel . . . . .	53
A.4	Principe de fonctionnement d'un DDR . . . . .	55
A.5	Sélectivité totale à trois niveaux . . . . .	56
A.7	Cas d'une sélectivité à deux niveaux entre des DDR de type B . . . . .	56
A.8	Liaison équipotentielle . . . . .	58
A.9	Boucle à fond de fouille . . . . .	60
A.10	Câble en tranchée . . . . .	60
A.11	Piquet de terre . . . . .	61
A.12	Répartition des volumes dans une salle d'eau sans receveur . . . . .	62
A.13	Répartition des volumes dans une salle d'eau avec baignoire . . . . .	62
B.1	Facteur de correction m à appliquer aux abaques des longueurs maximales des câbles $L_{max}$ . . . . .	65



---

# Liste des formules

---

1.1	Loi de Joule . . . . .	1
1.2	Probabilité d'électrocution . . . . .	1
3.1	Courant de défaut $I_d$ en schéma TT . . . . .	12
3.2	Tension de défaut $U_d$ en schéma TT . . . . .	13
3.3	Calibre du DDR $I_{\Delta n}$ . . . . .	13
4.1	Courant de défaut $I_d$ en schéma TN selon la méthode conventionnelle . . . . .	18
4.2	Tension de défaut $U_d$ en schéma TN selon la méthode conventionnelle . . . . .	18
4.3	Seuil de réglage du disjoncteur $I_m$ en schéma TN . . . . .	19
4.4	Longueur maximale d'un circuit $L_{max}$ . . . . .	19
5.1	Résistance de fuite du réseaux $R_{res}$ d'une installation neuve . . . . .	22
5.2	Réactance de fuite du réseaux $X_{res}$ d'une installation neuve . . . . .	23
5.3	Courant du premier défaut $I_{d1}$ en schéma Isolé-Individuel . . . . .	25
5.4	Tension de défaut $U_{d1}$ en schéma Isolé-Individuel . . . . .	25
5.5	Courant du deuxième défaut $I_{d2}$ en schéma Isolé-Individuel . . . . .	27
5.6	Tension de défaut $U_{d1}$ en schéma Isolé-Individuel . . . . .	27
5.7	Calibre du DDR $I_{\Delta n}$ . . . . .	28
5.8	Courant du deuxième défaut $I_{d2}$ en schéma Isolé-Interconnecté . . . . .	30
5.9	Tension de défaut $U_d$ en schéma Isolé-Individuel . . . . .	30
A.1	Valeur de la résistance de la prise de terre de l'installation électrique $R_A$ . . . . .	59
B.1	Courant de défaut $I_d$ en schéma TN selon la méthode des impédances . . . . .	68
B.2	Courant de court-circuit en schéma TN selon la méthode de composition . . . . .	68





---

# 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
4.1	Schéma TN . . . . .	15
5.1	Schéma IT . . . . .	21
A.1	Dispositif Différentiel Résiduel . . . . .	52
A.2	Sélectivité des DDR . . . . .	56



---

# Liste des exemples

---

3.1	Calcul du calibre du DDR $I_{\Delta n}$ . . . . .	13
4.1	Calcul du courant de défaut $I_d$ en schéma TN . . . . .	20
4.2	Calcul de la longueur maximale des conducteurs $L_{max}$ en schéma TN . . . . .	20
5.1	Tension de défaut $U_{d1}$ en schéma Isolé-Individuel au premier défaut . . . . .	26
5.2	Tension de défaut $U_{d1}$ en schéma Isolé-Individuel au deuxième défaut . . . . .	28





## 1.1 Catégories de tension

TAB. 1.1: Domaines de tensions

Domaine de tension		Courant alternatif <sup>1</sup>	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 <sup>2</sup>	HTA	$1000V < U_n \leq 50kV$	$1500V < U_n \leq 75kV$
	HTB	$U_n > 50kV$	$U_n > 75kV$

<sup>1</sup> Tension nominale exprimée en *valeur efficace*  $U_n$  ;

<sup>2</sup> 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)

$$W = R \cdot I^2 \cdot t$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$R$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	
$I$ : 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)

$$I = \frac{116}{\sqrt{t}}$$

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 <sup>19</sup>

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 39](#).

### 1.2.1 Effet du courant alternatif

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

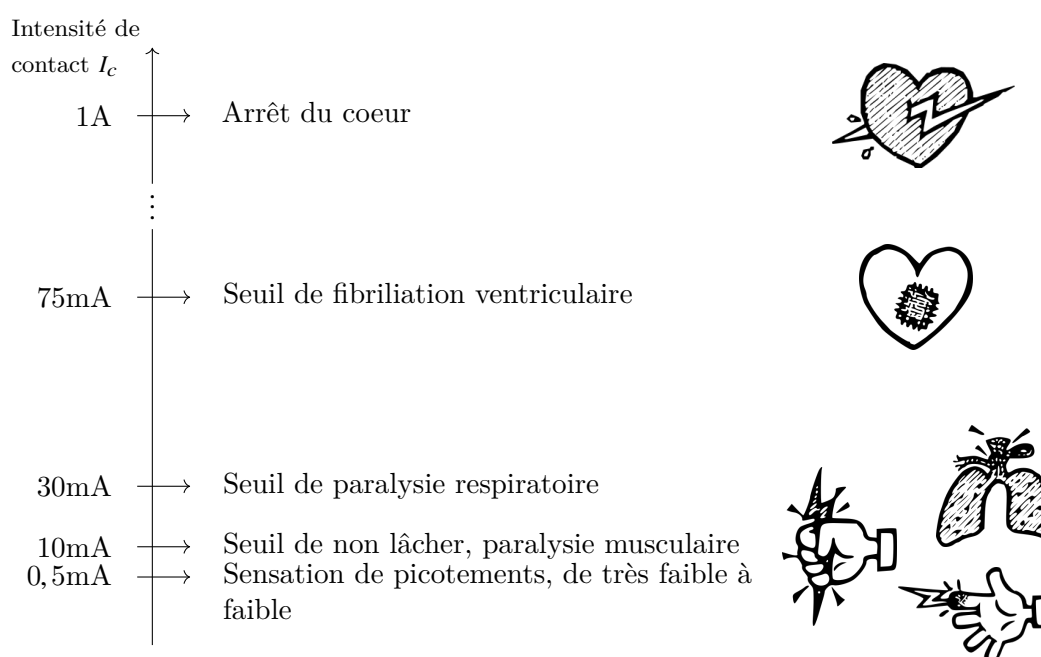


FIG. 1.1: Effets du courant alternatif sur le corps humain

#### 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](#).



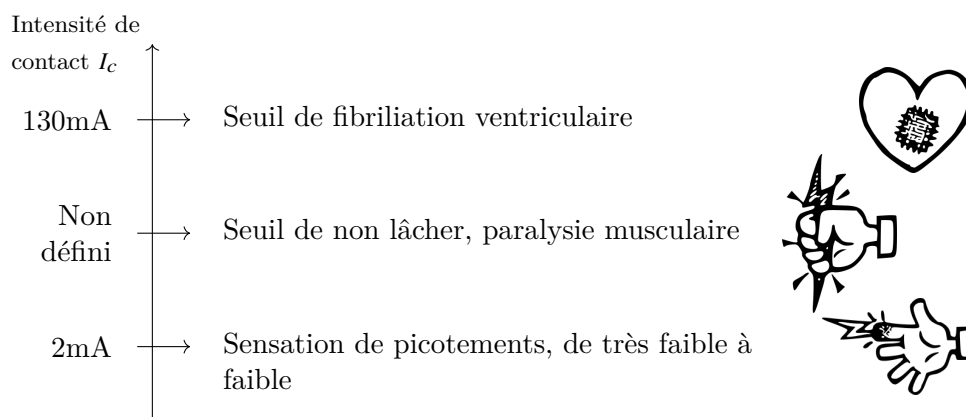


FIG. 1.2: Effets du courant continu sur le corps humain

- 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.

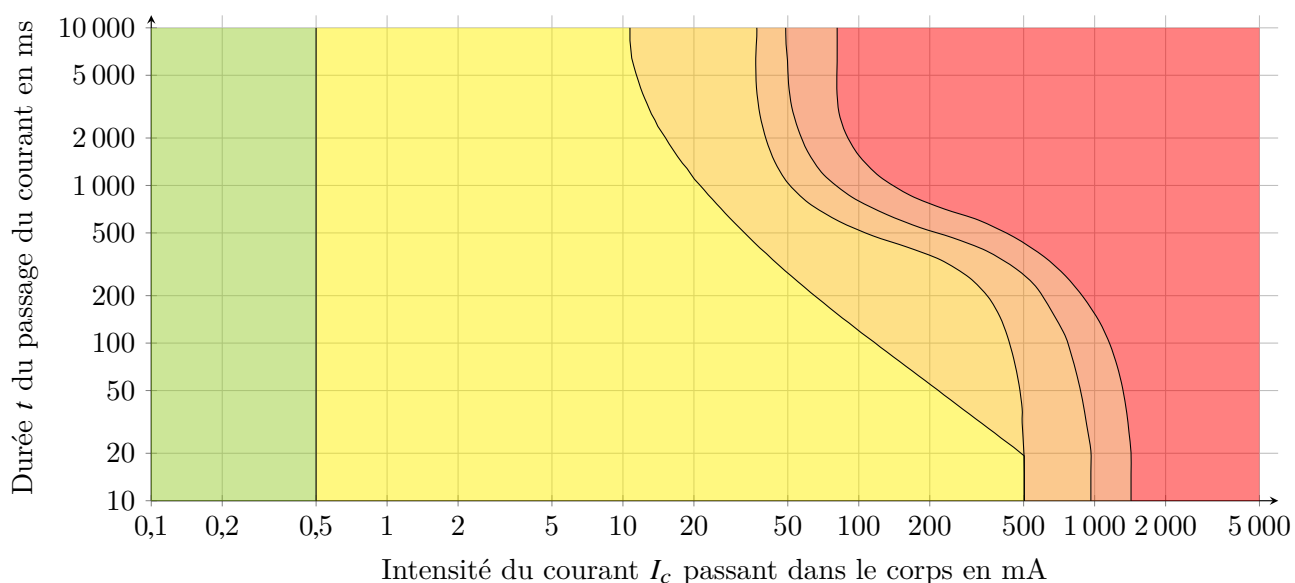


FIG. 1.3: Courbe de l'intensité de contact  $I_c$  en fonction du temps  $t = f(I_c)$ <sup>1</sup>

- 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*.

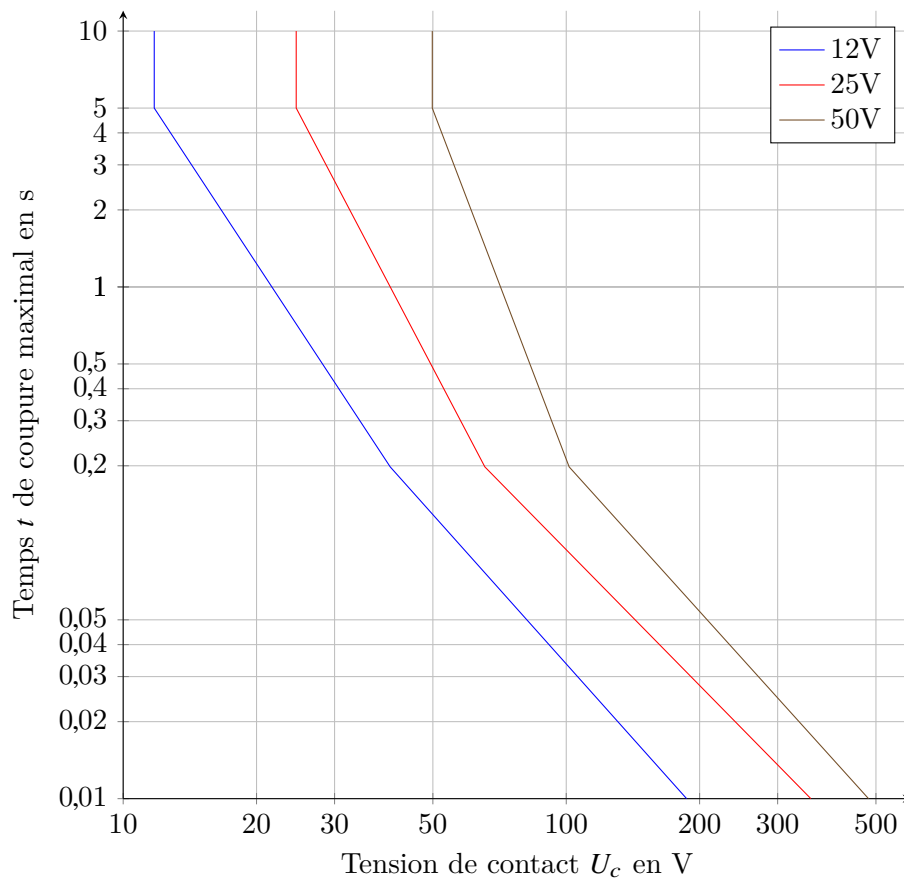


FIG. 1.4: Courbe de la tension de contact  $U_c$  en fonction du temps de coupure maximal  $t = f(U_c)$

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.<sup>9</sup>



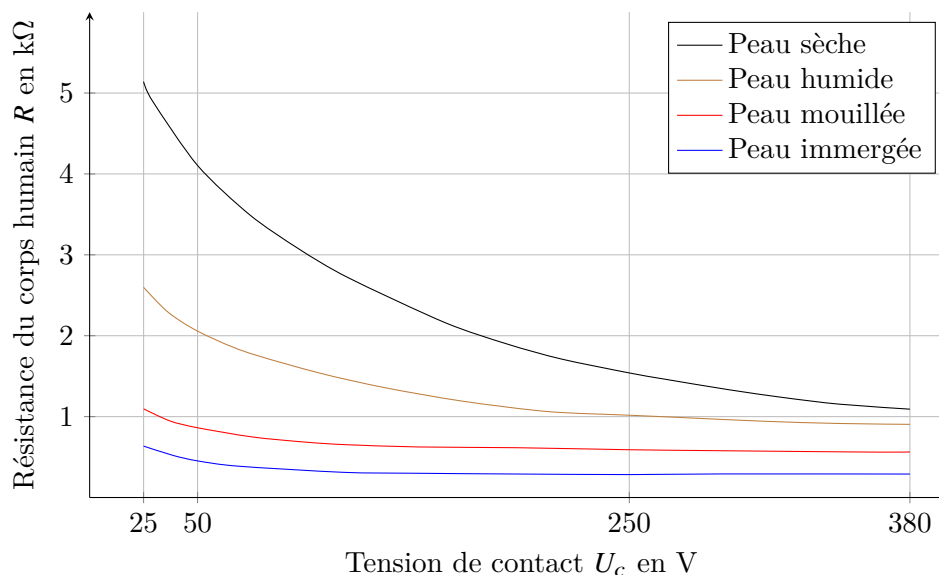


FIG. 1.5: Courbe de la tension de contact  $U_c$  en fonction de la résistance du corps humain  $R = f(U_c)$

## 1.4 Nature des contacts

### 1.4.1 Contact direct

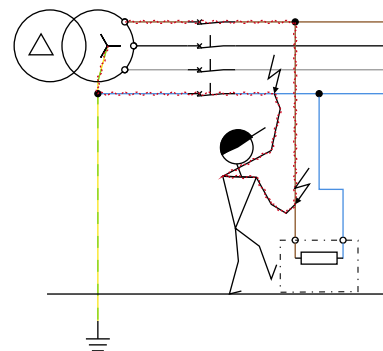
**Définition 1.1 (Contact direct)** *Contact des personnes avec les parties actives du matériel électrique (pièces ou conducteurs sous tension). La personne rentre en contact direct avec un élément sous tension suite à une négligence ou un non-respect des consignes de sécurité. Dans ce cas, l'électrocution 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  $U_0$  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  $U_0$  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  $230\text{V}$ , 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 exploité 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 pièce sous tensions	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Capotage, isolement, mise sous enveloppe... ;</li> <li>– Respect de l’indice de protection (IP) minimal<sup>1</sup>.</li> </ul>
	Utilisation d’une tension non dangereuse	Alimentation des circuits en TBT <sup>2</sup>
Contact phase/neutre et phase/terre	Isolement par rapport au réseau TT	Transformateur d’isolement <sup>3</sup>
	Contrôle du courant de défaut $I_d$ (ne devant pas dépasser quelques dizaines de mA)	DDR de basse sensibilité (10mA ou 30mA <sup>4</sup> )

<sup>1</sup> Informations complémentaires sur les IP en [sous-section A.4.2 page 43](#) ;  
<sup>2</sup> Informations complémentaires sur les différentes TBT en [sous-section A.4.1 page 41](#) ;  
<sup>3</sup> Informations complémentaires sur le transformateur d’isolement en [sous-section A.4.3 page 51](#) ;  
<sup>4</sup> Détails sur le DDR en [sous-section A.5.2 page 52](#).



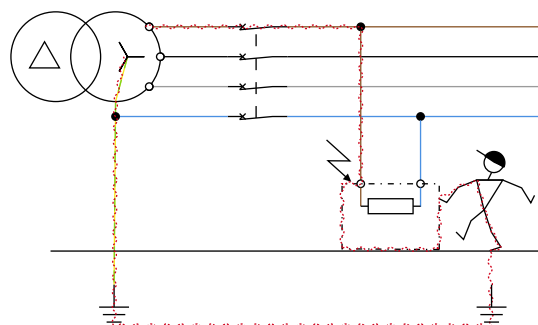
## 1.4.2 Contact indirect

**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 défaut*  $I_d$  va faire son apparition et sera potentiellement détecté par un DDR selon sa sensibilité (*schéma TN*) ou un disjoncteur (*schéma TT*), si celui-ci est présent et fonctionnel. À cause de la résistance de la prise de mise à la terre  $R_A$ , le courant de défaut  $I_d$  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 détaillés dans les chapitres suivants. Le principal moyen pour ce faire en schéma TT (et IT individuelles) est d'installer un DDR, associé obligatoirement à une *prise de terre* du transformateur de l'installation électrique. En schéma TN par contre, cette protection sera assurée par des disjoncteurs réglés pour ce type de défaut. Dans tous les cas, une *mise à la terre* (MALT) des matériels et structures conducteurs susceptibles d'être accidentellement mis sous tension devra être effectuée.

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. Selon le type de protection exigé, il 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 51](#).





## 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 du réseaux public ;

**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.

- SLT IT *Terres Individuelles* ;
- SLT IT *Terres Interconnectées* ?

## 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



## 2.4 Temps de coupure maximal

Le temps de coupure (ou de détection pour le schéma IT) des DDR et disjoncteurs 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 ;*

**Masses :** *reliées à la terre.*

Dans le SLT TT, le point 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  $15\Omega$ <sup>6</sup>.

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 58](#)).

Ce SLT présente les caractéristiques principales suivantes :

- entraînement d'une coupure de l'installation en défaut suite à une seule coupure ;
- simplicité à l'étude et à l'installation ;
- usage dans les installations alimentées directement par le réseau de distribution publique d'électricité ;
- protection assurée par des DDR permettant, en plus de la protection des personnes contre les contacts indirects, la prévention des risques d'incendie (lorsque leur sensibilité  $I_{\Delta n} \leq 300\text{mA}$ ).
- permanence de surveillance en exploitation non nécessaire seulement un contrôle périodique des DDR via leur bouton test ([sous-sous-section A.5.2.4 page 54](#)) ;
- possibilité de sélectivité de protection des circuits ([sous-sous-section A.5.2.5 page 56](#)) ;
- prise en compte d'appareils spécifiques pouvant provoquer des courants de défauts  $I_d$  par le choix de DDR adaptés.

## 3.2 Schémas de principe

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



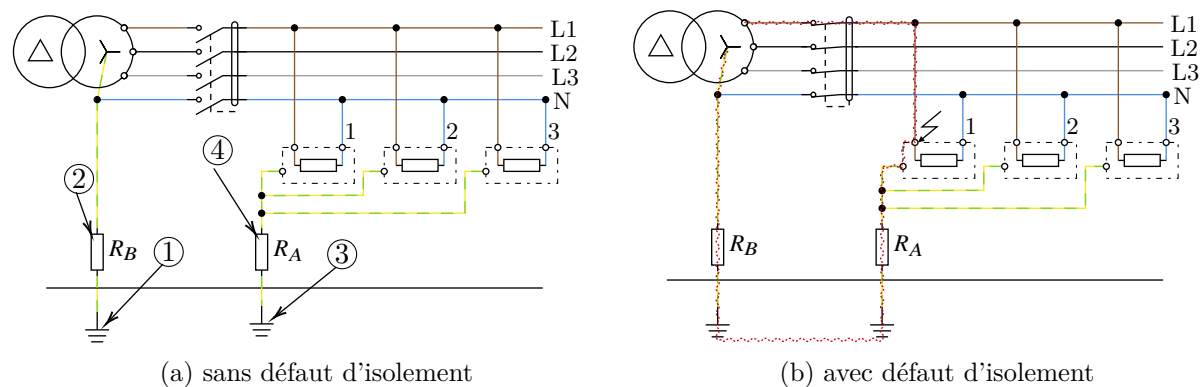


FIG. 3.1: Installation Terre-Terre

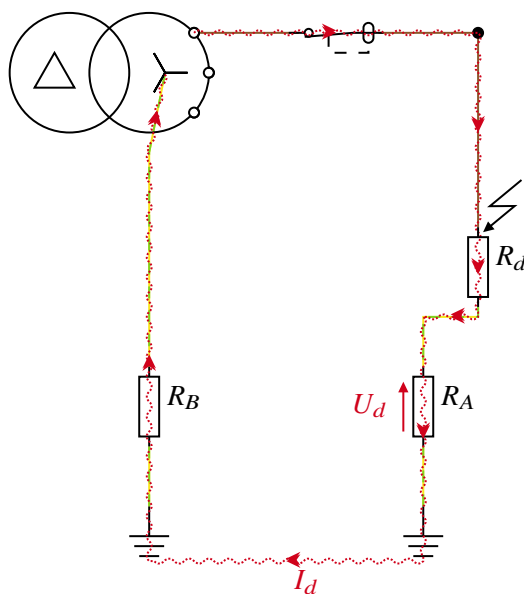


FIG. 3.3: Boucle de défaut du courant  $I_d$  sur L1

L'intensité de courant  $I_d$  vaut alors :

**Formule 3.1 (Courant de défaut  $I_d$  en schéma TT)**

$$I_d = \frac{U_0}{R_B + R_A + R_d}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$U_0$ : tension nominale simple	volt ( V )	Différence de potentiel entre les masses métalliques et la terre
$R_B$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de la prise de terre du neutre
$R_A$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de la prise de terre de l'installation électrique
$R_d$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	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 58](#)) :



**Formule 3.2 (Tension de défaut  $U_d$  en schéma TT)**

$$U_d = R_A \times I_d$$

$$< U_L$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$R_A$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	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 : <b>Local sec</b> : $U_L = 50V$ <b>Local humide</b> : $U_L = 25V$

Il est donc nécessaire de limiter  $U_d$  à la valeur suivante (voir [Formule A.1 page 59](#)) :

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

$$I_{\Delta n} < \frac{U_L}{R_A}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$U_L$ : tension	volt ( V )	Tension de sécurité du local avec : <b>Local sec</b> : $U_L = 50V$ <b>Local humide</b> : $U_L = 25V$
$R_A$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	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 :

$$I_d = \frac{U_0}{R_B + R_A}$$

$$= \frac{400}{20 + 10}$$

$$= 13,33A$$

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

$$U_d = R_A \times I_d$$

$$= 20 \times 13,33$$

$$= 266,6V$$

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 :

$$I_{\Delta n} < \frac{U_L}{R_A}$$

$$< \frac{50}{20}$$

$$< 2,5A$$

Dans le cas d'un local humide :

$$I_{\Delta n} < \frac{U_L}{R_A}$$

$$< \frac{25}{20}$$

$$< 1,25A$$

D'après le tableau situé en [section 2.4 page 10](#), le DDR doit présenter un temps de coupure de moins de 70ms avec une tension de défaut  $U_d$  de 266,6 V :

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



## 4.1 Caractéristiques générales

**Définition 4.1 (Schéma TN)** Schéma de liaison à la terre dans lequel :

**Neutre** : relié à la terre ;

**Masses** : reliées au neutre du transformateur HT/BT.

Dans le SLT TN, le point neutre du transformateur HT/BT (point commun) est relié à la terre via la *prise de terre du neutre*. Cette liaison présente une certaine résistance, la *résistance de la prise de terre du neutre*  $R_B$ . Sa mise en œuvre est à charge du fournisseur d'électricité et sa résistance globale doit être inférieure ou égale à  $15\Omega^6$ .

Les masses sont quant à elles reliées au point neutre du transformateur HT/BT (point commun), cela peut être réalisé via trois déclinaisons du SLT TN :

TAB. 4.1: Déclinaisons du SLT TN

Nom	Caractéristiques	Avantages	Inconvénients
Confondus (TN-C)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– conducteurs neutre et PE confondus ;</li> <li>– PE et neutre vert/jaune nommé conducteur Protection Équipotentielle Neutre (PEN).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– économie d'un câble.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– utilisation de canalisations fixes et rigides.</li> <li>– interdiction de pose : <ul style="list-style-type: none"> <li>– locaux à risques d'incendies ;</li> <li>– alimentation d'équipements de traitement de l'information (présence de courant harmonique dans le neutre).</li> </ul> </li> </ul>
Séparés (TN-S)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– conducteurs neutre et PE séparés ;</li> <li>– PE et neutre vert/jaune séparés (PE+N).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– usage de conducteurs souples autorisés ;</li> <li>– séparation et protection du neutre possibles dans les locaux pollués.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– solution plus coûteuse que le schéma TN-C.</li> </ul>

Page suivante



Nom	Caractéristique	Avantages	Inconvénients
Mixte (TN-C-S)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– combinaison des SLT TN-C et TN-S dans une même installation ;</li> <li>– usage du SLT TN-C formellement interdit en aval du SLT TN-S.</li> </ul>	– combinaison des avantages des deux SLT TN.	

Ce SLT présente les caractéristiques principales suivantes :

- utilisation uniquement dans les installations électriques alimentées par un transformateur HT/BT (ou MT/BT ou BT/BT) ;
- requiert l'installation de prises de terre uniformément réparties dans l'installation ;
- requiert la vérification des déclenchements sur le premier défaut d'isolement, obtenue lors de l'étude par des calculs de dimensionnement et, lors de la mise en service par des mesures de test ;
- ne requiert pas de DDR dans l'absolu ;
- requiert un installateur qualifié pour toute installation, modification ou encore extension ;
- pouvant endommager de manière plus significative les bobinages et appareillages lors d'un défaut d'isolement, par rapport au SLT TT ;
- danger plus élevé dans les locaux à risque d'incendie du fait de courants de défaut plus importants.

## 4.2 Schémas de principe

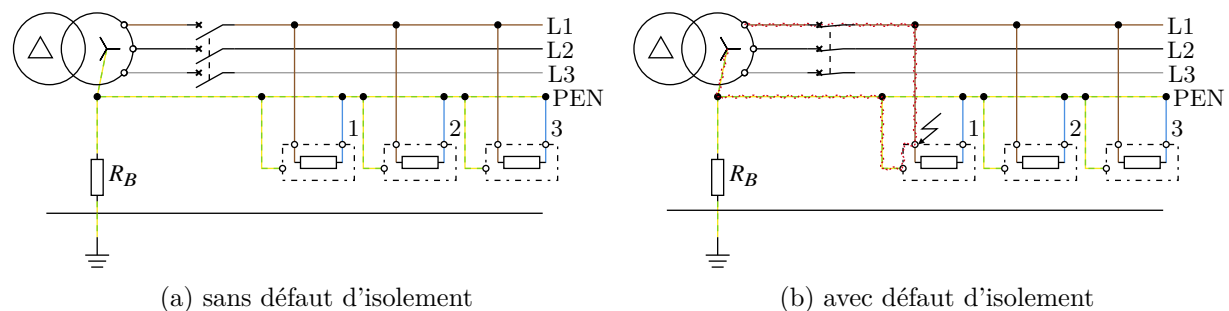


FIG. 4.1: Installation Terre-Neutre Confondus

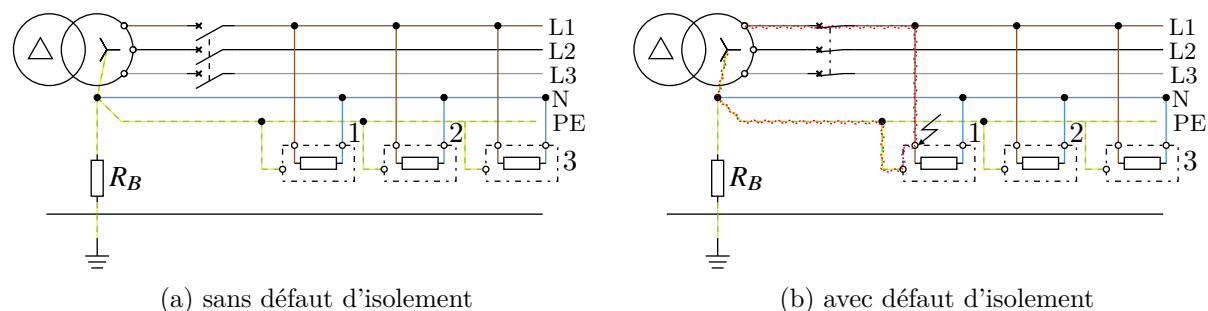


FIG. 4.3: Installation Terre-Neutre Séparés



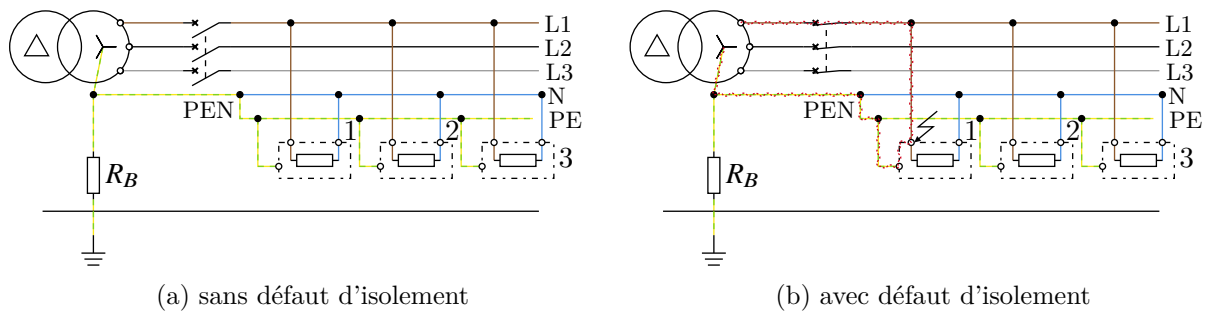


FIG. 4.5: Installation Terre-Neutre Confondus-Séparés

En cas de défaut d'isolement sur les masses métalliques, le courant de défaut  $I_d$  dispose maintenant d'un chemin, via le conducteur PEN, pour revenir au poste de transformateur HT/BT. Cela forme la *boucle de défaut* qui s'apparente à un court-circuit.

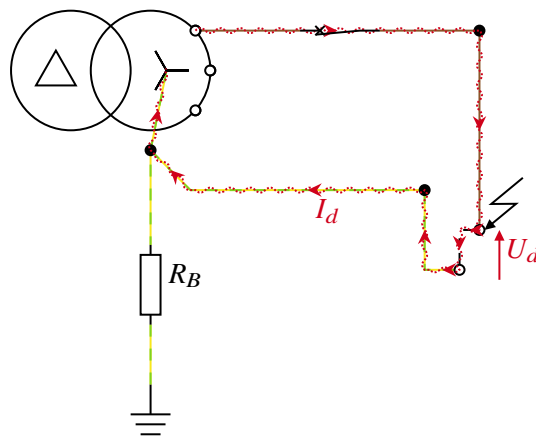


FIG. 4.7: Boucle de défaut du courant  $I_d$  sur L1

Pour calculer le courant de défaut  $I_d$ , il existe trois méthodes, mais ne sera détaillé dans ce chapitre que la première (plus de précisions sur les deux autres méthodes [annexe B page 65](#)) :

- Méthode conventionnelle ;
- Méthode des impédances ;
- Méthode de composition.

### 4.3 Méthode de dimensionnement conventionnelle des protections et des sections de conducteurs

Contrairement au SLT TT, il ne faut pas tenir compte de la *résistance de défaut*  $R_d$  qui prend en compte la nature du défaut d'isolement (franc ou non-franc) et la résistance de la carcasse métallique car il s'agit d'un court-circuit et elle sera donc très faible.

$I_d$  s'apparente donc à un courant de court-circuit et son calcul est basé sur l'hypothèse que la tension de défaut reste supérieure à 80% ou plus de la tension nominale simple. Cette valeur est issue d'une estimation de la chute de tension due à l'ensemble des impédances en amont de la protection du circuit en défaut. Elle est utilisée, avec l'impédance de la boucle de circuit, pour calculer ce courant de court-circuit.



Ce facteur est calculé par l'estimation de la chute de tension due à l'ensemble des impédances en amont de cette origine. Dans une majorité des types de pose, les réactances inductive interne et entres les conducteurs sont négligées, ce qui revient à ne considérer que les résistances des conducteurs dans les calculs d'intensité de court-circuit. Cette approximation est considérée comme valable pour les sections de câble jusqu'à 120mm<sup>2</sup>. Au-dessus de cette section, la résistance  $R$  des conducteurs est augmentée selon le tableau ci-dessous :

TAB. 4.2: Section des conducteurs (schéma TN / méthode conventionnelle)

Section des conducteurs	Ajustement de la résistance en $\Omega$
$S = 150\text{mm}^2$	$R + 15\%$
$S = 185\text{mm}^2$	$R + 20\%$
$S = 240\text{mm}^2$	$R + 25\%$

**Formule 4.1 (Courant de défaut  $I_d$  en schéma TN selon la méthode conventionnelle)**

$$I_d = \frac{0,8 \times U_0}{R_{PE} + R_{ph}}$$

$$I_d = \frac{0,8 \times U_0}{Z_c}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$U_0$ : tension	volt ( V )	Tension nominale simple
0,8 : facteur	( / )	facteur d'approximation de la tension de défaut $U_d$
$R_{PE}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance du conducteur de phase traversé par un courant de défaut $I_d$
$R_{ph}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance du conducteur PE traversé par un courant de défaut $I_d$
$Z_c$ : impédance	ohm ( $\Omega$ )	Impédance de boucle du circuit en défaut (selon la méthode conventionnelle)

Le courant de défaut  $I_d$  fera alors apparaître une *tension de défaut*  $U_d$  entre la masse métallique et la terre :

**Formule 4.2 (Tension de défaut  $U_d$  en schéma TN selon la méthode conventionnelle)**

$$U_d = R_{PE} \times I_d$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$R_{PE}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance du conducteur PE traversé par un courant de défaut $I_d$
$I_d$ : intensité	ampère ( A )	Courant de défaut d'isolement

La tension de défaut  $U_d$  dans le cas d'un défaut d'isolement en régime TN est *élevée* et donc *dangereuse* si elle est supportée trop longtemps. La norme NF C15-100 a défini des temps de coupure maximum à respecter :



TAB. 4.3: Temps de coupure maximal des disjoncteurs en schéma TN

Réseaux usuels	Temps de coupure maximal en ms	
	$U_L = 50V$	$U_L = 25V$
127V/230V	800	350
230V/400V	400	200
400V/690V	200	50
690V/1000V	100	20

**Formule 4.3 (Seuil de réglage du disjoncteur  $I_m$  en schéma TN)**

$$I_m > I_d$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$I_m$ : intensité	ampère ( A )	Intensité de seuil de déclenchement de la protection magnétique du disjoncteur

On peut calculer la longueur maximale d'un circuit d'une installation en schéma TN par la formule suivante

**Formule 4.4 (Longueur maximale d'un circuit  $L_{max}$ )**

$$L_{max} = \frac{0,8 \times U_0 \times S_{ph}}{\rho \times (1 + m) \times I_m}$$

$$m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$I_m$ : intensité	ampère ( A )	Intensité de seuil de déclenchement de la protection magnétique du disjoncteur
$U_0$ : tension	volt ( V )	Tension nominale simple
$S_{ph}$ : section	millimètre <sup>2</sup> ( mm <sup>2</sup> )	Section du conducteur de phase traversé par un courant de défaut $I_d$
$S_{PE}$ : section	millimètre <sup>2</sup> ( mm <sup>2</sup> )	Section du conducteur PE traversé par un courant de défaut $I_d$
$\rho$ : résistivité	( $\Omega$ mm <sup>2</sup> m <sup>-1</sup> )	Résistivité du conducteur (selon la température et le matériau choisi) : <b>aluminium</b> : $37,6 \times 10^{-3} \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$ <b>cuivre</b> : $22,5 \times 10^{-3} \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$
$m$ : facteur	( / )	Facteur de correction à appliquer aux valeurs données dans les abaques de détermination des longueurs selon la section et l'intensité de déclenchement ( <a href="#">sous-section B.1.1.1 page 65</a> )

Pour vérifier rapidement un dimensionnement, les constructeurs de protections ont établis des abaques permettant de déterminer rapidement les longueurs maximale des conducteurs selon l'intensité, la section des conducteurs ou en encore les réglages du seuil de courant de déclenchement du disjoncteur ou encore le type de disjoncteurs. Ces abaques sont issus des norme IEC 60947-2<sup>3</sup>



et IEC 60898<sup>2</sup>, qui concernent respectivement les disjoncteurs industriels et domestiques. Ils sont détaillés dans l'annexe [annexe B page 65](#).

**Exemple 4.1 (Calcul du courant de défaut  $I_d$  en schéma TN)** Si on considère que les conducteurs sont en cuivre, que  $U_0 = 230V$ , que  $L_{ph} = 50m$  et est équivalent à  $L_{PE}$ , que  $S_{ph} = 35mm^2$  et est équivalent à  $S_{PE}$ , on peut déduire que le courant de défaut  $I_d$  vaut :

$$\begin{aligned} Z_c &= 2 \times \rho \times \frac{L}{S} & I_d &= \frac{U_0 \times 0,8}{Z_c} \\ &= 2 \times 22,5 \times 10^{-3} \times \frac{50}{35} & &= \frac{230 \times 0,8}{64,3 \times 10^{-3}} \\ &= 64,3m\Omega & &= 2816A \end{aligned}$$

**Exemple 4.2 (Calcul de la longueur maximale des conducteurs  $L_{max}$  en schéma TN)** Si on considère que les conducteurs sont en cuivre, que  $U_0 = 230V$ , que  $L_{ph} = 50m$  et est équivalent à  $L_{PE}$ , que  $S_{ph} = 35mm^2$  et est équivalent à  $S_{PE}$ , on peut déduire que le courant de défaut  $I_d$  vaut :

$$\begin{aligned} Z_c &= 2 \times \rho \times \frac{L}{S} & I_d &= \frac{U_0 \times 0,8}{Z_c} \\ &= 2 \times 22,5 \times 10^{-3} \times \frac{50}{35} & &= \frac{230 \times 0,8}{64,3e \times 10^{-3}} \\ &= 64,3m\Omega & &= 2816A \end{aligned}$$

Il convient de croiser cette valeur de  $I_d$  avec les valeurs du seuil de déclenchement du disjoncteur Instantané et Court-retard et leurs temps de coupures respectifs (voir [tableau 4.3 page 19](#)) pour valider le dimensionnement et le choix de la protection.

## 4.4 Protection avec des DDR en schéma TN

La protection des circuits à l'aide de DDR en schéma TN est formellement interdite en schéma TN-C car le conducteur PE ne peut pas être sectionné. En schéma TN-C-S, son utilisation implique forcément que les conducteurs PE et N soient séparés en amont du DDR.

Les DDR en schéma TN-S sont requis lorsque :

- l'impédance de la boucle de défaut  $Z_c$  n'est pas précisément calculable ;
- le courant de défaut est trop faible pour que la protection détecte le défaut comme s'apparentant à un court-circuit dans le temps de déconnexion requis.

Un DDR se déclenchant avec un courant de déclenchement de l'ordre que quelques ampères maximum, il convient bien à un circuit terminal d'une installation BT conséquente en schéma TN.



## 5.1 Caractéristiques générales

**Définition 5.1 (Schéma IT)** *Schéma de liaison à la terre dans lequel la prise de terre du neutre du transformateur et la prise de terre des masses métalliques sont raccordées à la terre selon quatre variantes différentes :*

Neutre transformateur HT/BT		Masses conductrices	
Isolé ( $Z_{res}$ )	Impédant ( $Z_N$ )	Interconnectées	Individuelles
Neutre du transformateur pas raccordé du tout. Terme « isolé » à nuancer car l'installation électrique en aval du transformateur HT/BT ne sera jamais complètement isolée par rapport à la terre. Il subsistera toujours un courant de défaut $I_d$ plus ou moins minime due à une impédance de fuite $Z_{res}$ présente dans tous les réseaux électriques (voir <a href="#">section 5.2 page 22</a> ).	Neutre du transformateur raccordé à la prise de terre par une <i>impédance de limitation</i> dont la valeur dépend de la fréquence de la tension : – $F = 50\text{Hz} : 1500\Omega$ ; – $F = 2,5\text{Hz} : 2,5\Omega$ . Cette impédance fixe donc une différence de potentiel définie entre le neutre et la terre, elle est installée lorsque le réseau électrique est court et que l'impédance de fuite $Z_{res}$ est élevée.	Masses <i>interconnectées</i> au moyen d'un conducteur PE et raccordées à la terre au niveau du transformateur HT/BT. Raccordement similaire au schéma TN, à la différence que le neutre du transformateur n'est pas raccordé au conducteur PE et à la terre.	Masses mise à la terre <i>individuellement</i> ou par groupe à des prises de terre propres. Type de raccordement similaire au schéma TT avec installation de DDR en tête de chaque circuit.

Il s'agit d'un SLT un peu plus atypique ayant pour but d'assurer une *continuité de service* à l'installation électrique malgré un *premier défaut d'isolement* tout en assurant la protection des personnes contre les contacts indirects. Selon les quatre variantes de raccordement, le premier défaut entraînera un fonctionnement identique des protections mais à l'apparition d'un deuxième défaut entraînera un fonctionnement des protection différent.

Dans la pratique, le schéma IT présente les caractéristiques suivantes :

- continuité de service assurée après un premier défaut d'isolement ;
- contrôle permanent de l'isolement de l'installation par rapport à la terre avec signalisation de toute dépassement du seuil d'isolement défini à l'aide d'un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI) ;
- protection du neutre assurée ;
- raccordement possible d'un limiteur de tension (éclateur) entre la terre et le point neutre du transformateur HT/BT ;
- présence continue d'une équipe pour assurer rapidement la recherche du premier défaut d'isolement aussitôt signalé, facilitée avec du matériel de localisation automatique ;
- coupure automatique de l'installation dès l'apparition d'un second défaut d'isolement sur un conducteur actif différent de celui où le premier défaut d'isolement est apparu.





Le courant de défaut du premier défaut d'isolement va dépendre de l'impédance de limitation du neutre et de l'état d'isolement de l'installation électrique. Pour toutefois protéger les personnes, il doit être suffisamment bas pour satisfaire la règle  $I_d \times R_A \pm 50V$ , de sorte à ce que la tension de défaut  $U_d$  ne présente aucun danger.

## 5.2 Isolation de l'installation électrique en schéma IT

Dans le cas d'un schéma IT ou le neutre est isolé, l'isolement de l'installation de l'installation électrique n'est pas infini par rapport à la terre car les isolants ne présentent jamais une résistance infinie. Une résistance de fuite du de l'installation électrique apparaîtra toujours et dépendra de plusieurs facteurs :

- nature des isolants (PVC, air...) ;
- âge de l'installation
- degré d'humidité ;
- longueur de l'installation.

Pour une installation neuve, on considère que la résistance de fuite est estimée à  $3,3M\Omega$  pour 1km de réseau électrique.

**Formule 5.1 (Résistance de fuite du réseaux  $R_{res}$  d'une installation neuve)**

$$R_{res} = \frac{3,3}{n}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$R_{res}$ : résistance	méga-ohm ( $M\Omega$ )	Résistance de fuite du réseaux électrique
$n$ :	( / )	Nombre de km de réseaux électrique

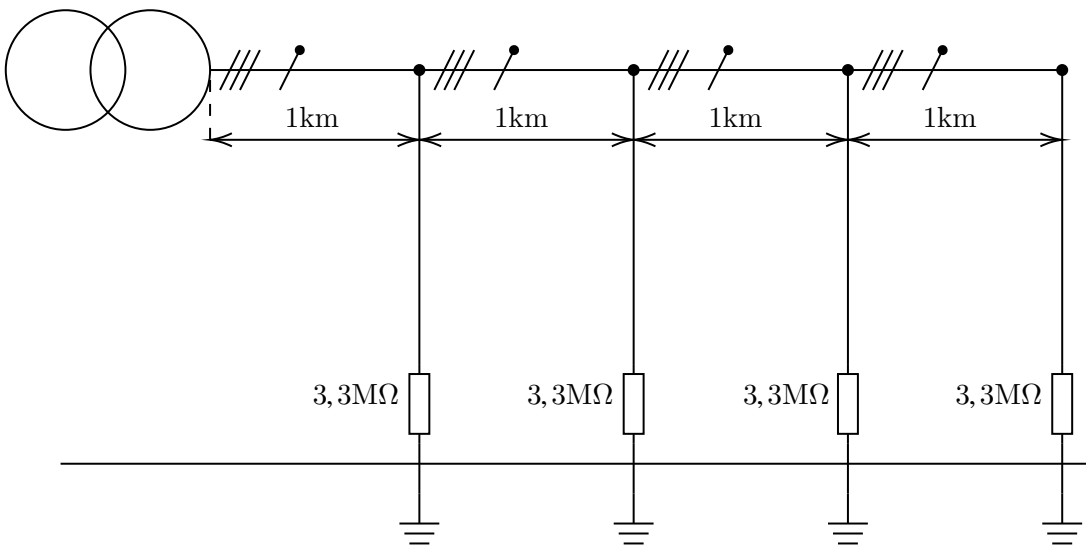


FIG. 5.1: Résistance de fuite  $R_{res}$  d'un réseau électrique de plusieurs km

Un réseau électrique présente également une capacité de fuite de par sa constitution (conducteur sous tension + isolant + terre). Celle-ci est estimée à  $0,9\mu F$  pour 1km de réseau électrique.



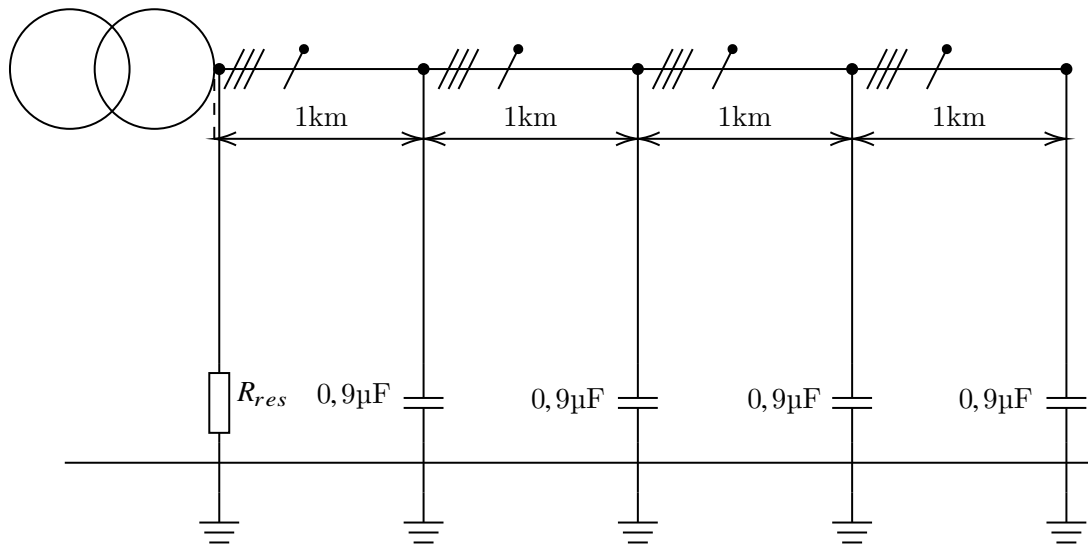


FIG. 5.2: Capacité de fuite d'un réseau électrique de plusieurs km

Une capacité de  $0,9\mu F$  par km de réseau électrique équivaut, à une fréquence de 50Hz, à une réactance de fuite  $X_{res}$  de  $3500k\Omega$  par km de réseau électrique neuf.

**Formule 5.2 (Réactance de fuite du réseaux  $X_{res}$  d'une installation neuve)**

$$X_{res} = \frac{3,5}{n}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$X_{res}$ : résistance	kilo-ohm ( $k\Omega$ )	Réactance de fuite du réseaux électrique
$n$ :	( / )	Nombre de km de réseaux électrique

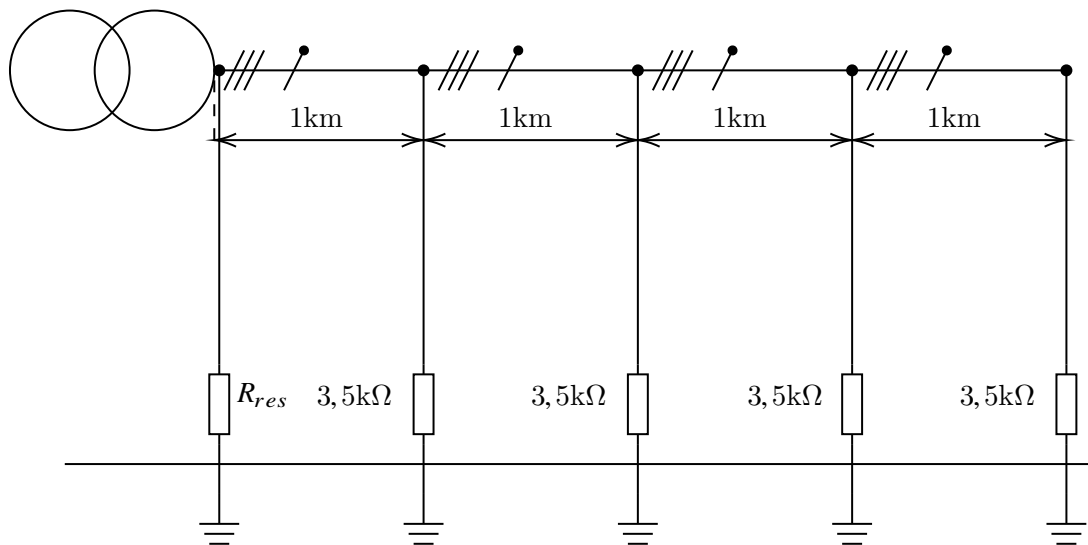


FIG. 5.3: Réactance de fuite  $X_{res}$  d'un réseau électrique de plusieurs km

La valeur de la réactance de fuite  $X_{res}$  est bien plus faible que celle de la résistance de fuite  $Z_{res}$  de l'installation. C'est donc la réactance qui va être le facteur limitant dans le calcul de l'impédance de réseau  $Z_{res}$ .



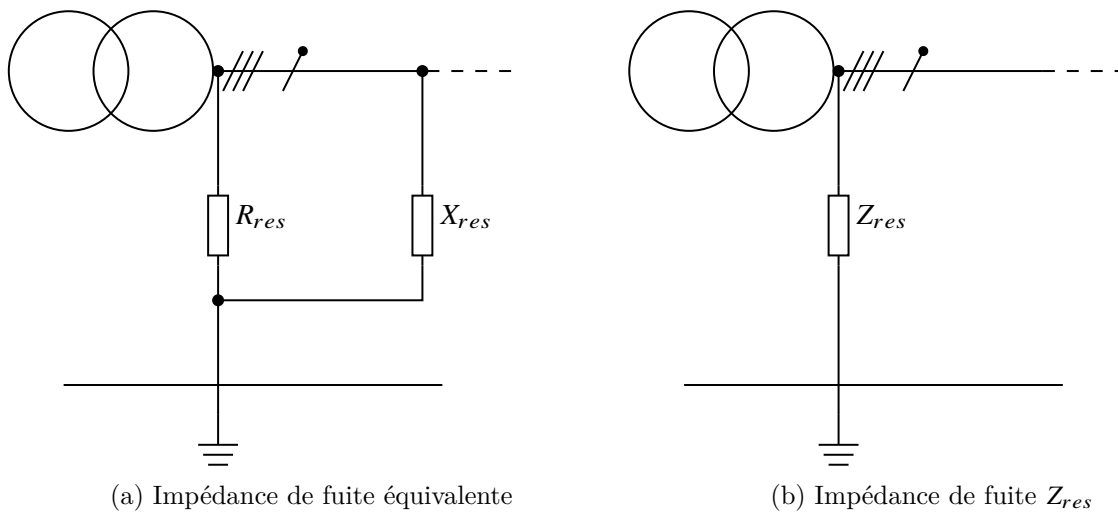


FIG. 5.4: Impédance de fuite  $Z_{res}$  d'un réseau électrique de plusieurs km

L'impédance de réseau  $Z_{res}$  (appelée aussi impédance capacitive  $Z_C$ ) dépend donc de la longueur du réseau électrique et va en s'abaissant au fur et à mesure que celle-ci augmente.

TAB. 5.1: Valeur de l'impédance de réseau  $Z_{res}$  en fonction de la longueur du réseau électrique

Longueur $L$ (km)	1	2	3	4	5	6
Impédance $Z_{res}$ ( $\Omega$ )	3538	1770	1180	884	707	590

## 5.3 Schémas de principe

### 5.3.1 Neutre isolé et masses mises à la terre individuellement

Le neutre du transformateur HT/BT est isolé de la prise de terre, mais protégé par un limiteur de surtension ① contre les surtensions à fréquence industrielle, et les masses conductrices sont reliées à la terre par des prises de terre propres à chaque masse. Il subsiste néanmoins une impédance de fuite  $Z_{res}$  présente dans toutes les installations électriques (voir [section 5.2 page 22](#)).

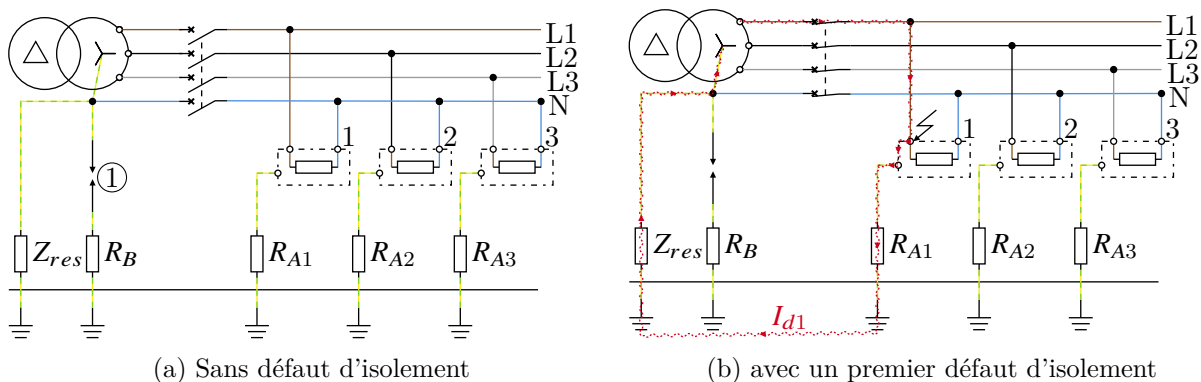


FIG. 5.6: Installation Isolé-Individuelle

En cas de premier défaut d'isolement de la phase 1 sur les masses métalliques, un premier courant de défaut  $I_{d1}$  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*  $R_d$  qui prend en compte la nature du défaut d'isolement (franc ou non-franc) et la résistance de la carcasse métallique de l'appareil 1.

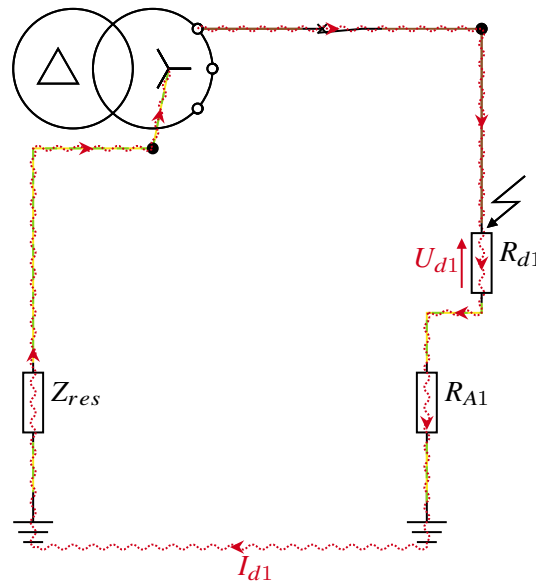


FIG. 5.8: Boucle de courant de défaut  $I_{d1}$  du premier défaut d'isolement sur L1

L'intensité de courant  $I_{d1}$  vaut alors :

**Formule 5.3 (Courant du premier défaut  $I_{d1}$  en schéma Isolé-Individuel)**

$$I_d = \frac{U_0}{Z_{res} + R_{A1} + R_{d1}}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$U_0$ : tension nominale simple	volt ( V )	Différence de potentiel entre les masses métalliques et la terre
$Z_{res}$ : impédance	ohm ( $\Omega$ )	Impédance de fuite $Z_{res}$ du réseau électrique
$R_{A1}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de la prise de terre de l'appareil 1
$R_{d1}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de défaut d'isolement de l'appareil 1

Le courant de défaut  $I_{d1}$  fera alors apparaître une *tension de défaut*  $U_{d1}$  entre la masse métallique de l'appareil 1 et la terre. Cette tension, limitée par l'impédance de fuite, sera très largement inférieure à  $U_L$  et ne sera donc pas dangereuse. La situation sera similaire avec un schéma Impédant-Individuel  $Z_N$ , ou l'impédance de limitation limitera également le courant de défaut :

**Formule 5.4 (Tension de défaut  $U_{d1}$  en schéma Isolé-Individuel)**

$$U_{d1} = R_{A1} \times I_{d1} \\ \ll U_L$$

Avec :



Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$R_{A1}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de la prise de terre de l'appareil 1
$I_{d1}$ : intensité	ampère ( A )	Courant de défaut de l'appareil 1
$U_L$ : tension	volt ( V )	Tension de sécurité du local avec : <b>Local sec</b> : $U_L = 50V$ <b>Local humide</b> : $U_L = 25V$

Le fonctionnement d'un schéma IT sera également identique au premier défaut, que les masses soient interconnectées ou individuellement raccordées à la terre.

**Exemple 5.1 (Tension de défaut  $U_{d1}$  en schéma Isolé-Individuel au premier défaut)** Si on considère que le transformateur est un transformateur 20kV/400V, que  $Z_{res} = 3500\Omega$ ,  $R_{A1} = 40\Omega$  et que  $R_d = 2\Omega$ , on peut déduire que le courant de défaut  $I_d$  vaut :

$$\begin{aligned}
 I_{d1} &= \frac{U_0}{Z_{res} + R_{A1} + R_{d1}} \\
 &= \frac{400}{3500 + 40 + 2} \\
 &= 64,9\text{mA}
 \end{aligned}$$

Si une personne touche à la masse du récepteur 1, elle sera soumise à une tension de défaut  $U_{d1}$  :

$$\begin{aligned}
 U_{d1} &= R_{A1} \times I_{d1} \\
 &= 40 \times 0,0649 \\
 &= 2,6V
 \end{aligned}$$

Lors de l'apparition d'un deuxième défaut d'isolement sur un autre conducteur actif, un courant de défaut  $I_{d2}$  va apparaître. Celui-ci va s'apparenter à un court-circuit et de ce fait,  $I_{d1}$  sera négligé. Dans les calculs, il faut encore tenir compte de la *résistance de défaut*  $R_d$  qui prend en compte la nature du défaut d'isolement (franc ou non-franc) et les résistances des carcasses métalliques des appareils 1 et 2.

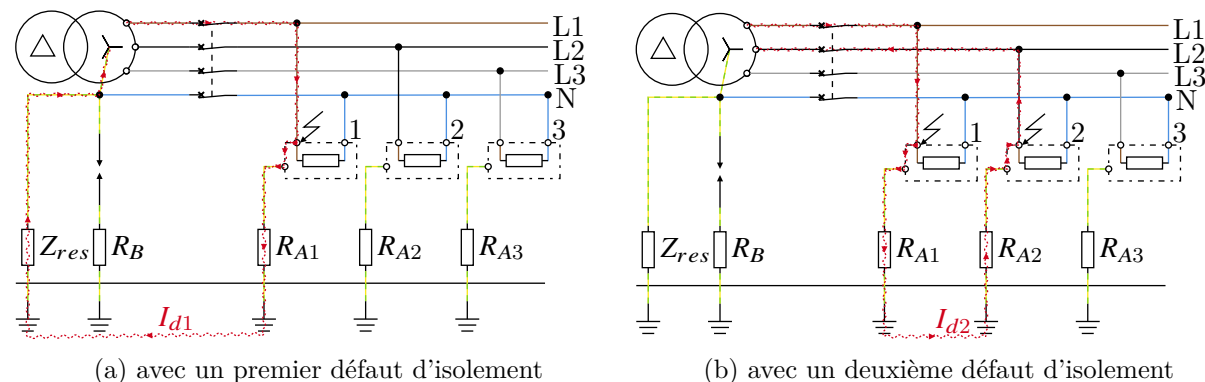


FIG. 5.9: Installation Isolé-Individuelle



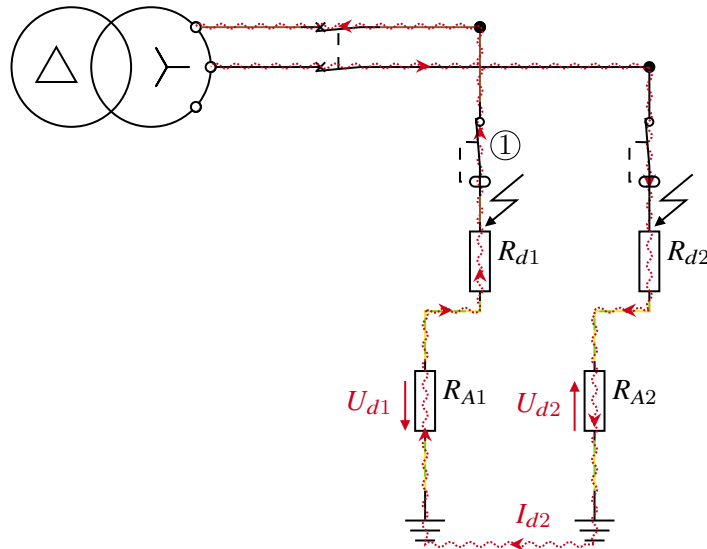


FIG. 5.11: Boucle de courant de défaut  $I_{d2}$  du deuxième défaut d'isolement sur L2

L'intensité de courant  $I_{d2}$  vaut alors :

**Formule 5.5 (Courant du deuxième défaut  $I_{d2}$  en schéma Isolé-Individuel)**

$$I_{d2} = \frac{U}{R_{d1} + R_{A1} + R_{A2} + R_{A2}}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$U$ : tension nominale composée	volt ( V )	Différence de potentiel entre deux conducteurs actifs (à préciser s'il s'agit du conducteur neutre)
$R_{d1}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de défaut d'isolement de l'appareil 1
$R_{A1}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de la prise de terre de l'appareil 1
$R_{A2}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de la prise de terre de l'appareil 2
$R_{d2}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de défaut d'isolement de l'appareil 1

Le courant de défaut  $I_{d1}$  fera alors apparaître une *tension de défaut*  $U_{d1}$  entre la masse métallique de l'appareil 1 et la terre. Cette tension, limitée par l'impédance de fuite, sera très largement inférieure à  $U_L$  et ne sera donc pas dangereuse. La situation sera similaire avec un schéma Impédant-Individuel  $Z_N$ , ou l'impédance de limitation limitera également le courant de défaut :

**Formule 5.6 (Tension de défaut  $U_{d1}$  en schéma Isolé-Individuel)**

$$U_{d1} = R_{A1} \times I_{d2} < U_L$$

Avec :



Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$R_{A1}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de la prise de terre de l'appareil 1
$I_{d2}$ : intensité	ampère ( A )	Courant de défaut de l'appareil 2
$U_L$ : tension	volt ( V )	Tension de sécurité du local avec : <b>Local sec</b> : $U_L = 50V$ <b>Local humide</b> : $U_L = 25V$

Le cas est similaire à ceux rencontrés en schéma TT, on procèdera de la même manière en protégeant chaque groupe de masses par un DDR au calibre adapté ①. Il est donc nécessaire de limiter  $U_{d1}$  à la valeur suivante (voir [Formule A.1 page 59](#)) :

#### Formule 5.7 (Calibre du DDR $I_{\Delta n}$ )

$$I_{\Delta n} < \frac{U_L}{R_{A1}} \quad (5.1)$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$R_{A1}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de la prise de terre de l'appareil 1
$U_L$ : tension	volt ( V )	Tension de sécurité du local avec : <b>Local sec</b> : $U_L = 50V$ <b>Local humide</b> : $U_L = 25V$

$R_{A1}$  : résistance ohm (  $\Omega$  ) Résistance de la prise de terre de l'appareil 1

L'usage de DDR implique de tenir du courant du premier défaut d'isolement  $I_{d1}$  afin que la protection ne coupe pas le circuit dès le premier défaut :

TAB. 5.2: Correspondance entre la capacité de fuite et le courant de premier défaut d'isolement

Capacité de fuite ( $\mu F$ )	Courant de premier défaut (A)
1	0,07
5	0,36
30	2,17

**Exemple 5.2 (Tension de défaut  $U_{d1}$  en schéma Isolé-Individuel au deuxième défaut)** Si on considère que le transformateur est un transformateur 20kV/400V, que  $R_{A1} = R_{A2} = 40\Omega$  et que  $R_{d1} = R_{d1} = 2\Omega$ , on peut déduire que le courant de défaut  $I_{d2}$  vaut :

$$\begin{aligned}
 I_{d2} &= \frac{U}{R_{d1} + R_{A1} + R_{A2} + R_{A2}} \\
 &= \frac{400}{2 + 40 + 40 + 2} \\
 &= 4,76A
 \end{aligned}$$

Si une personne touche à la masse du récepteur 1, elle sera soumise à une tension de défaut  $U_{d1}$  :

$$\begin{aligned}
 U_{d1} &= R_{A1} \times I_{d2} \\
 &= 40 \times 4,76 \\
 &= 190,4V
 \end{aligned}$$

La tension de défaut  $U_{d1}$  est dangereuse quelle que soit la tension limite choisie :



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

Dans le cas d'un local sec :

$$I_{\Delta n} < \frac{U_L}{R_{A1}} \\ < \frac{50}{40} \\ < 1,25A$$

Dans le cas d'un local humide :

$$I_{\Delta n} < \frac{U_L}{R_{A1}} \\ < \frac{25}{40} \\ < 0,625A$$

D'après le tableau situé en [section 2.4 page 10](#), le DDR protégeant la carcasse de l'appareil 1 doit présenter un temps de coupure de moins de 200ms avec une tension de défaut  $U_d$  de 190,4 V :

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

### 5.3.2 Neutre isolé et masses interconnectées et mise à la terre

Les situations saines et au premier défaut d'isolement d'une installation en schéma IT avec les masses conductrices interconnectées et reliés en un seul point seront similaires au schéma IT avec les masses mise à la terre individuellement. Au deuxième défaut d'isolement, la situation sera différente, la prise en charge du défaut va s'apparenter à celle qu'on rencontre en schéma TN avec l'apparition d'un court-circuit.

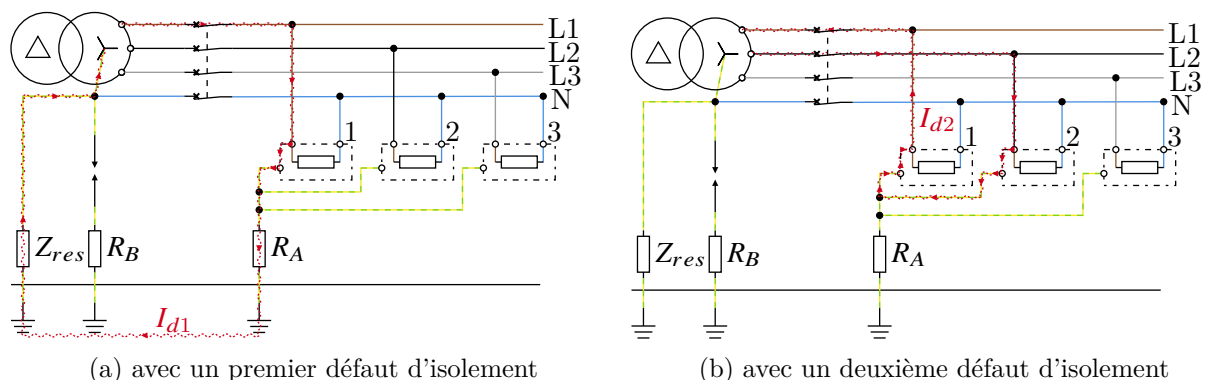


FIG. 5.12: Installation Isolé-Interconnectée

Contrairement au SLT IT avec les masses isolées, il ne faut pas tenir compte des *résistances de défaut*  $R_{d1}$  et  $R_{d2}$  qui prend en compte la nature du défaut d'isolement (franc ou non-franc) et la résistance de la carcasse métallique car il s'agit d'un court-circuit et elle sera donc très faible.





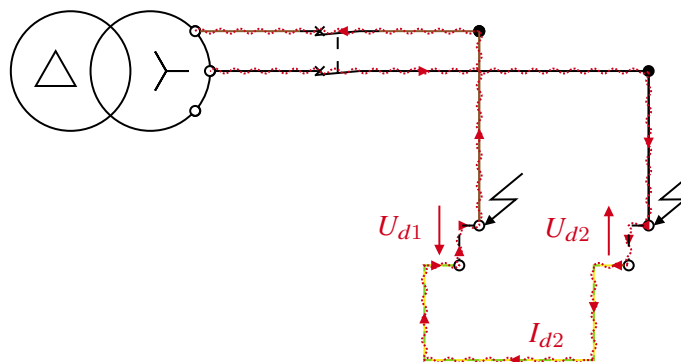


FIG. 5.14: Boucle de courant de défaut  $I_{d2}$  du deuxième défaut d'isolement sur L2

L'intensité de courant  $I_{d2}$  vaut alors :

**Formule 5.8 (Courant du deuxième défaut  $I_{d2}$  en schéma Isolé-Interconnecté)**

$$I_{d2} = \frac{0,5 \times U}{R_{ph1} + R_{ph2}}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$U$ : tension nominale composée	volt ( V )	Différence de potentiel entre deux conducteurs actifs (à préciser s'il s'agit du conducteur neutre)
$R_{ph1}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de du conducteur actif alimentant l'appareil 1
$R_{ph2}$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance de du conducteur actif alimentant l'appareil 2

Le courant de défaut  $I_{d1}$  fera alors apparaître une *tension de défaut*  $U_d$  entre la masse métallique de l'appareil 1 et la masse métallique de l'appareil 2.

On néglige également la résistance du conducteur PE devant celle des phases. Dans ce contexte-là, la tension de défaut  $U_d$  vaut alors :

**Formule 5.9 (Tension de défaut  $U_d$  en schéma Isolé-Individuel)**

$$U_d = \frac{0,5 \times U}{2}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$U$ : tension nominale composée	volt ( V )	Différence de potentiel entre deux conducteurs actifs (à préciser s'il s'agit du conducteur neutre)
$I_{d2}$ : intensité	ampère ( A )	Courant de défaut de l'appareil 2
$U_L$ : tension	volt ( V )	Tension de sécurité du local avec : <b>Local sec</b> : $U_L = 50V$ <b>Local humide</b> : $U_L = 25V$



Cette tension de défaut est dangereuse et il faut obligatoirement couper l'alimentation en protégeant les circuits par des disjoncteurs magnéto-thermique, qui doivent respecter les temps de coupure suivant :

TAB. 5.3: Temps de coupure maximal des disjoncteurs en schéma IT

Réseaux usuels	Temps de coupure maximal (ms)	
	$U_L = 50V$	$U_L = 25V$
Neutre non distribué		
127V/230V	800	400
230V/400V	400	200
400V/690V	200	60
690V/1000V	100	20
Neutre distribué <sup>1</sup>		
127V/230V	5000	1000
230V/400V	800	500
400V/690V	400	200
690V/1000V	200	80

<sup>1</sup> les installations monophasées sont considérées comme des installations à neutre distribué.

La longueur maximale des conducteurs en schéma IT avec les masses interconnectées se calculent avec les mêmes méthodes que pour les installations en schéma TN (voir [section 4.3 page 17](#)).

## 5.4 Contrôle permanent de l'installation en schéma IT

Quand l'installation électrique est en schéma IT, il est nécessaire d'avoir une équipe de maintenance à disposition pour intervenir rapidement en cas de premier défaut. Pour les détecter au plus vite, il faut installer un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI). Il s'agit d'un appareil placé en dérivation qui va calculer en permanence deux paramètres de l'installation :

- ① **niveau d'isolement général  $Z_{res}$**  : injection d'une tension (continue ou alternative de basse fréquence) entre le neutre et la terre, générant un *courant de fuite*  $I_f$  dont l'intensité sera proportionnellement inverse au niveau d'isolement général de l'installation électrique. Au-dessous d'un certain seuil d'isolement réglable (généralement entre 0,7 à 100kΩ), le CPI déclenche une alarme.
- ② **apparition d'un défaut franc sur un circuit** : installation de tores de détection sur les circuits à surveiller, calculant la différence entre le courant entre et sortant (mécanisme similaire à ceux des DDR). Cela permet de localiser précisément les circuits en défaut.



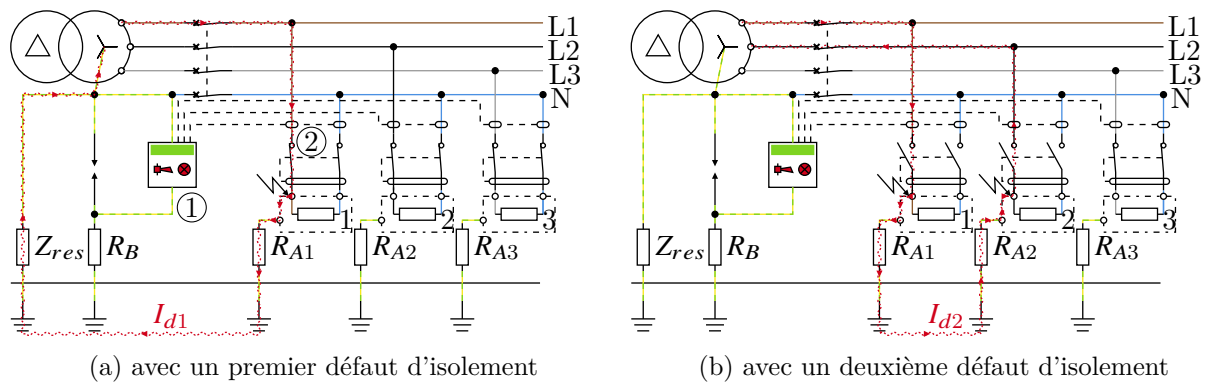


FIG. 5.15: Installation Isolé-Individuelle avec CPI

## 5.5 Inconvénients du schéma IT

Le schéma IT présente l'inconvénient majeur de nécessiter une installation dont le niveau d'isolement doit être toujours au-dessus du seuil défini par le CPI. Dans la pratique, les réseaux IT présenteront relativement rapidement des défauts d'isolement et la présence d'une équipe de maintenance et d'un matériel de détection seront coûteuses. De plus, certains équipements peuvent polluer le réseau électrique et perturber ainsi le bon fonctionnement des CPI, il conviendra d'alimenter ceux-ci par un transformateur d'isolement et cela peut ajouter un coût non négligeable à l'ensemble de l'installation.

Les installations neuves dont la continuité de service doit être assurée (équipement médical, événementiel, zone militaire...) présentent actuellement une répartition fragmentée du réseau et une multiplication des sources principales et de secours pour que le défaut puisse être isolé.

# 6 Choix d'un schéma de liaison à la terre

## 6.1 Introduction

Les différents schémas de liaison à la terre présentent chacun des avantages et des inconvénients, ils sont recommandés selon les critères suivants pour le choix d'un SLT ou de plusieurs SLT imbriqués les uns dans les autres :

- lois et décrets ;
- protection des personnes contre les chocs électriques ;
- protection des biens contre les incendies ou explosions d'origine électrique ;
- continuité de service ;
- protection contre les surtensions ;
- compatibilité électromagnétique ;
- coût de revient de l'installation.

## 6.2 Lois et décrets

Le choix d'un SLT est parfois fortement recommandé voire imposé par la législation en vigueur :

TAB. 6.1: Législation encadrant le choix d'un SLT

Utilisation	Type de SLT	Textes de lois
Bâtiment alimenté par un réseau de distribution publique (habitat, petit tertiaire, petit atelier, commerce...)	neutre à la terre (TT)	Arrêté interministériel du 13/02/1970
Établissement Recevant du Public (ERP)	neutre isolé (IT)	Règlement de sécurité contre les risques de panique et d'incendie dans les ERP
Circuits d'éclairage de sécurité soumis au décret de protection des travailleurs	neutre isolé (TT)	Arrêté interministériel du 10/11/1976 relatifs aux circuits et installations de sécurité (J.O. n° 102 NC du 01/12/1976)
Mines et carrières	neutre isolé (IT) ou neutre à la terre (TT)	Décret n° 76-48 du 09/01/1976, circulaire du 09/01/1976 et règlement sur la protection du personnel dans les mines et carrières, annexée au décret 76-48



## 6.3 Protection des personnes contre les chocs électriques

Pour ce critère, les trois SLT assurent une protection des personnes considérée comme équivalente si les principes d'installation sont bien respectés. Toutefois, le SLT TN exige des compétences techniques en électricité lors des calculs des impédances de boucles de court-circuit à l'installation mais également lors d'extensions de l'installation. Il conviendra d'être vigilant lors des installations de ces extensions et spécialement pour la re-calibration des protections.

## 6.4 Protection des biens contre les incendies ou explosions d'origine électrique

De part l'installation de DDR, une exploitation correcte des installations en schéma IT et TT conduit à un risque d'incendie quasi-nul. Le SLT IT est même recommandé dans les installations à fort risque explosif. Pour autant, le SLT TN-C présente un risque d'incendie plus élevé.

## 6.5 Continuité de service

La continuité de service caractérise l'aptitude d'une installation électrique à assurer un fonctionnement le plus longtemps possible sans coupure. Cette caractéristique est primordiale dans les installations dites *sensibles* où la sécurité des personnes est en jeu (médical, militaire, éclairage de secours...) ou dans les installations dont les arrêts peuvent engendrer des pertes financières importantes (ligne de production, événementiel...).

Dans ces cas-là, le SLT IT est le choix de prédilection parce qu'il permet cette continuité de service lors d'un premier défaut d'isolement. Toutefois, du fait de la propension naturelle des installations à accumuler les défauts d'isolement avec l'âge et les conditions, et du fait de l'obligation d'avoir une équipe de maintenance qualifiée et disponible pour prospecter au premier défaut, on se tourne vers d'autres solutions techniques permettant d'assurer une continuité de service (multiplication des sources principales et de secours...).

## 6.6 Protection contre les surtensions

Une surtension peut apparaître sur l'installation basse tension lors d'un claquage sur la partie HT de l'installation, ou plus fréquemment en raison de la foudre. Lorsque celle-ci frappe le sol, le potentiel des prises de terre va s'élever de manière significative à proximité de l'impact et mettre à mal l'équipotentialité des masses conductrices.

Pour palier à cette problématique, et sur tous les SLT dans les zones à haut niveau kéraunique AQ2 (classification de densité d'impact de foudre), il est nécessaire d'installer un parafoudre.

En schéma TT et TN-S, il doivent être installés en *mode commun* et en *mode différentiel* (un parafoudre au plus proche de chaque équipement). En schéma IT et TN-C, ils ne doivent être installés qu'en *mode commun*.

## 6.7 Compatibilité électromagnétique

Les appareils électriques de type *courants faibles* (informatique, électronique...) sont sensibles aux perturbations électromagnétiques engendrés par le passage du *courant fort* dans les conducteurs à proximité. Le schéma TN-C provoquant des courants de court-circuit à chaque défaut d'isolement, il est fortement déconseillé d'alimenter des appareils sensibles sous ce schéma.



## 6.8 Le coût de revient

Ce critère est décisif dans le choix d'un SLT car les trois SLT ne sont pas équivalents d'un point de vue économique. Différents coûts sont à prendre en compte lors de la conception (calculs), de l'installation (prix du matériel spécifique) et d'exploitation (entretien par un personnel qualifié ou non). Le moins onéreux sera le SLT TN, suivi du TT et le SLT IT sera le plus coûteux.

## 6.9 Tableau récapitulatif des différents schémas de liaison à la terre



TAB. 6.2: Comparaison des différents schémas de liaison à la terre

Critères de comparaison		TT	TN-S	TN-C	IT individuelles	IT interconnectées
Protection des personnes contre les chocs électriques	contacts directs	+	+	+	+	+
	contacts indirects	+	+	+	+	+
Protection des biens contre les risques d'incendie ou d'explosion d'origine électrique	incendie et explosion	-	- -	interdit	+	- -
Continuité de service	creux de tension	+	-	-	++	-
	sélectivité	-	+	+	++	+
	déclenchement	-	-	-	+	-
	temps de recherche	-	+	+	-	+
	temps de réparation	--	-- -	-- -	-	-- -
Protection contre les surtensions	foudre sur la HT	-	+	+	+	+
	claquage du transformateur	-	+	+	+	+
Compatibilité électromagnétique	rayonnements	+	-	--	++	-
	chute de tension	+	-	-	++	-
	harmoniques	+	+	--	+	+
Coût à la conception	étude la sélectivité	-	+	+	++	+
	calcul de $L_{max}$	+	-	-	++	-
Coût à l'installation	nombre de câbles	+	+	++	+	+
	nombre de pôles	+	+	++	+	+
	pose des câbles	-	--	--	++	--
	matériel spécifiques	-	+	+	-	+
Coût à l'exploitation	recherche de défauts	-	+	+	--	+
	coûts des réparations	--	-- -	-- -	-	-- -
	vérifications des connexions	+	-	-	++	-
	facilité d'extension	+	-	-	+	-

# Annexes







# A Informations complémentaires sur les dangers de l'électricité

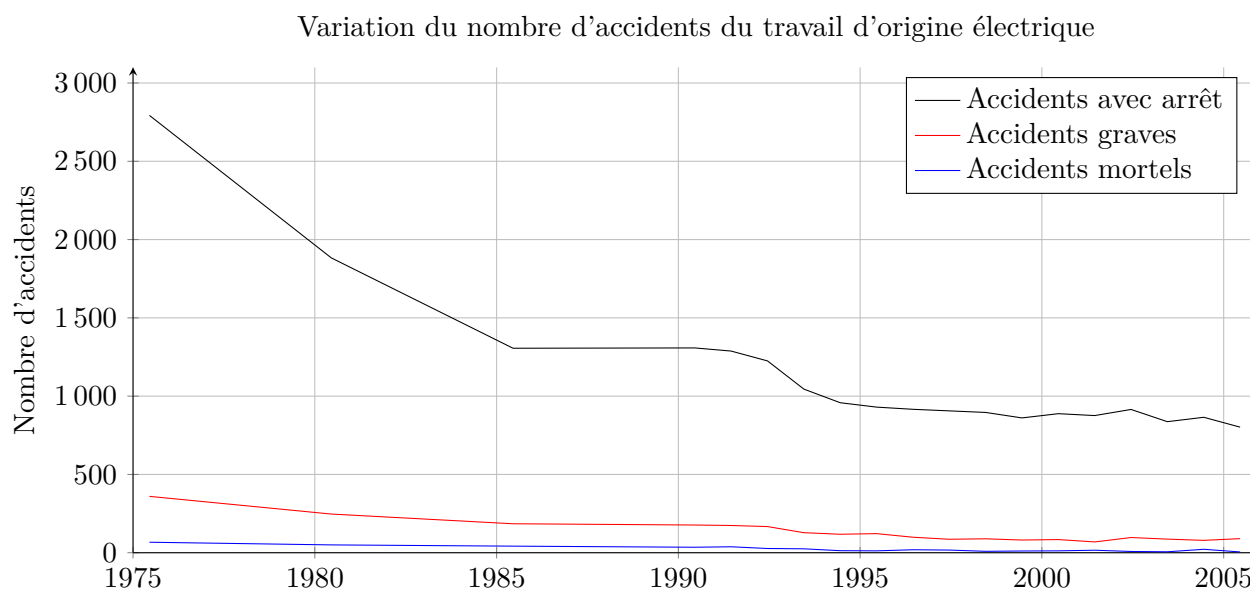
Cette annexe regroupe des données complémentaires mentionnées dans le [chapitre 1 page 1](#). Il n'est pas nécessaire de les retenir par cœur mais ces informations constituent un support appréciable pour toutes précisions concernant ce chapitre.

## 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.

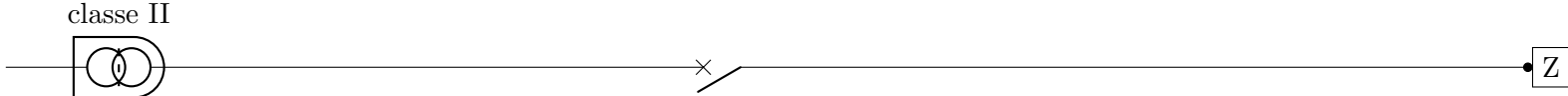
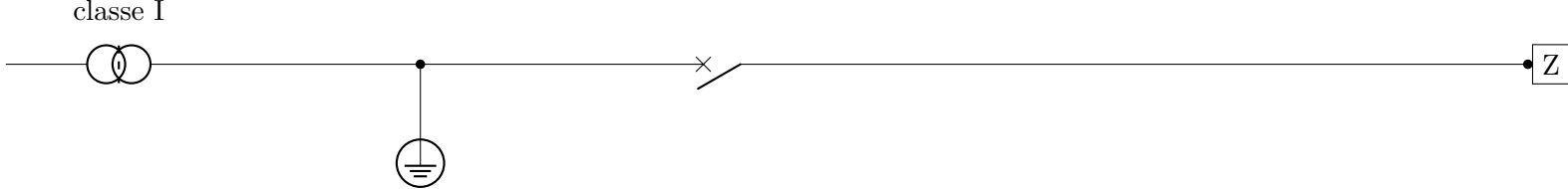
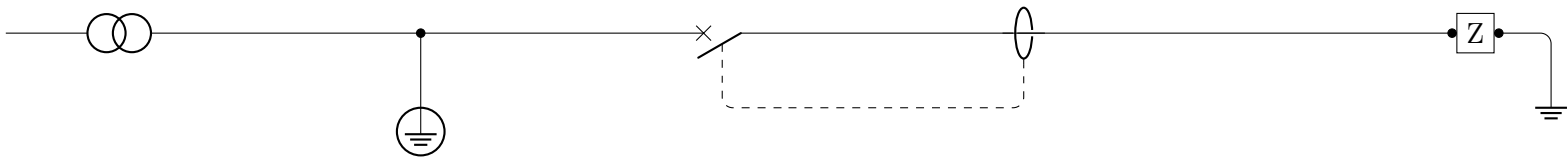
**Très Basse Tension de Protection** Alimentation basse tension ou il existe un point commun entre le commun du secondaire et le conducteur de protection, utilisée pour alimenter des machines-outils et automatisme. La liaison du commun au conducteur de protection du secondaire permet d'éviter les mises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

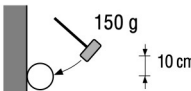
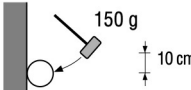
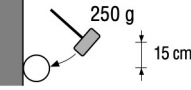
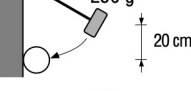
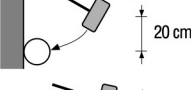

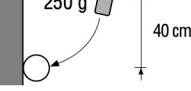
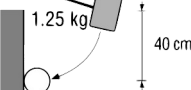
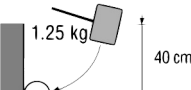
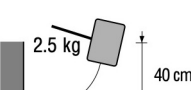
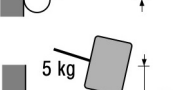


## A.4.2 Indice de protection

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<sup>er</sup> chiffre) et d'eau (2<sup>e</sup> 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 <sup>1</sup>	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	

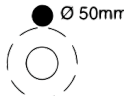
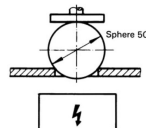


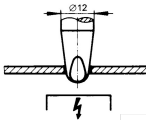
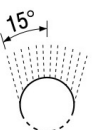
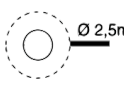
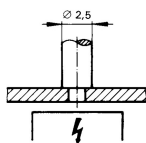
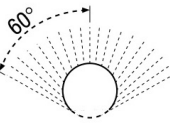
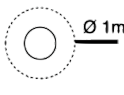
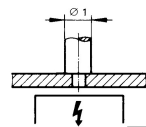


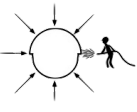

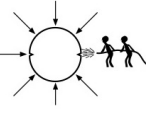
<sup>1</sup> Correspondances avec le code AG de la classification des influences externes issu de la norme NF C 15-100.

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

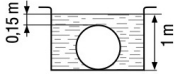
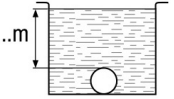


TAB. A.4: Descriptif des indices de protection

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  Sphere 50	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  Ø 12	L'introduction d'un doigt ne permet pas de toucher les parties dangereuses.	2  15°	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  Ø 2,5	L'introduction d'un outil ne permet pas de toucher les parties dangereuses.	3  60°	Protégé contre l'eau de pluie jusqu'à 60° de la verticale
4	 Ø 1mm	Protégé contre les corps solides Ø ≥ 1mm	D  Ø 1	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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>		
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 <sup>2</sup>			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	Détergifs (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 :		
	pharmacies et labora- toires avec plus de 10L de liquides inflamma- toires	21-23 02-07	Boutique	24	07
V	Établissement de cultes	20 02	Chambre froide	23	07
W	Administrations et banques	20 02	Boulangerie-pâtisserie (four- nil)	50	07
X	Établissements sportifs couverts : Salles	21 07-08	Brûlerie cafés	21	02
	Locaux contenant des installations frigori- fiques	21 08	Charbon, bois, mazout	20	08
Y	Musées	20 02	Charcuterie (fabrication de)	24	07
PA	Établissement de plein air	25 08-10	Confiserie (fabrication de)	20	02
CT	Chapiteaux et tentes	44 <sup>(1)</sup> 08	Cordonnerie	20	02
SG	Structures gonflables	44 08	Crèmerie, fromagerie	24	02
PS	Parc de stationnement couvert	21 07-10	Droguerie, peinture (réserve de)	33	07
Locaux communs aux établissements recevant du public			Ébenisterie, menuiserie	50	07
	Dépôts, réserve	20 08	Exposition, galerie d'art	20	02-07
	Locaux d'emballage	20 08	Fleuriste	24	02
	Locaux d'archive et de sto- ckage	20 02	Fourrure	20	02
	Films et supports magné- tiques	20 08	Fruits et légumes	24	07
	Lingerie	21 02	Graineterie	50	07
	Blanchisseries	24 07	Librairie, papeterie	20	02
	Ateliers divers	21 07-08	Mécanique, accessoires de motos et vélos	20	08
	Cuisines (grandes) <sup>2</sup>		Messageries	20	08
Locaux commerciaux, boutiques et annexes			Meuble (antiquités et bro- cantes de)	20	07
	Armuries (réserves et ateliers d')	31-33 08	Miroiterie (atelier de)	20	07
	Blanchisseries (laveries)	24 07	Papiers peints (réserve de)	21	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

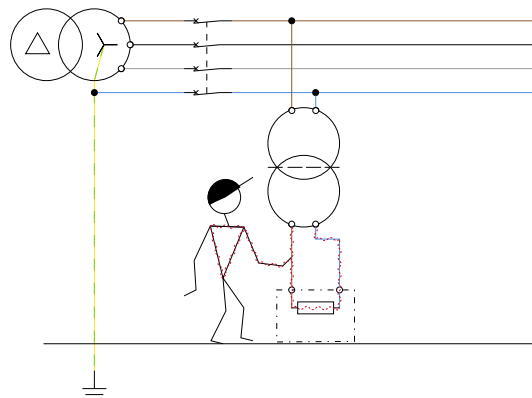
<sup>1</sup> IP24 - IK08 pour les luminaires ;<sup>2</sup> Se reporter au guide spécialisé UTE C15-201.

### 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...		

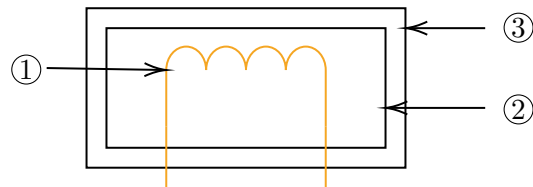


FIG. A.1: Matériel de classe d'isolation II

## A.5.2 Dispositif Différentiel Résiduel

### A.5.2.1 Caractéristiques générales

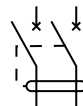
**Définition A.1 (Dispositif Différentiel Résiduel)** *Un Dispositif Différentiel Résiduel (DDR) est un appareil de protection chargé d'assurer la protection des personnes contre les défauts d'isolement provoquant potentiellement des contacts indirects (Définition 1.2 page 7). Son rôle est de surveiller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

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

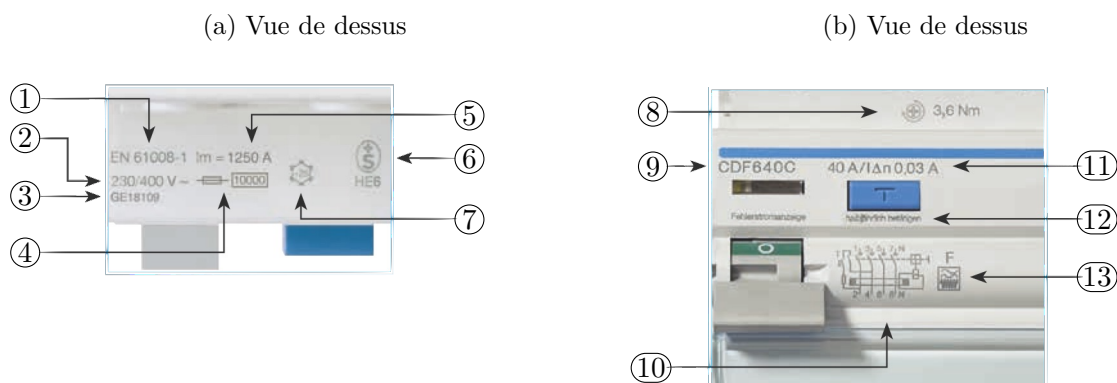


FIG. A.2: Marquage d'un interrupteur différentiel

- |  |   |
|--|---|
| 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 10000A » 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 $-25^\circ$ ) |   |

### 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.



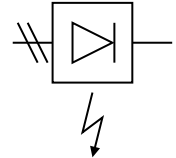

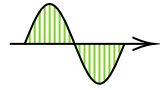
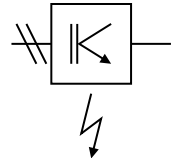


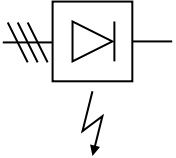
TAB. A.8: Différents types de DDR selon les composantes du courant de défaut

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

Page suivante





Type	Symbole	Caractéristiques	Forme d'onde	Type de charge
Type A		<ul style="list-style-type: none"> <li>– détection des courants différentiels alternatifs et des courants différentiels continus pulsés ;</li> <li>– utilisation spécifique pour les charges électriques monophasées de type 1.</li> </ul>		 redressée monophasée
Type F		<ul style="list-style-type: none"> <li>– détection des courants différentiels alternatifs, les courants différentiels continus pulsés et les courants différentiels de fréquences mixtes jusqu'à 1kHz ;</li> <li>– utilisation spécifique pour circuits comportant des variateurs de vitesse monophasés.</li> </ul>		 convertie monophasée
Type B		<ul style="list-style-type: none"> <li>– 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 ;</li> <li>– 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.</li> </ul>		 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.

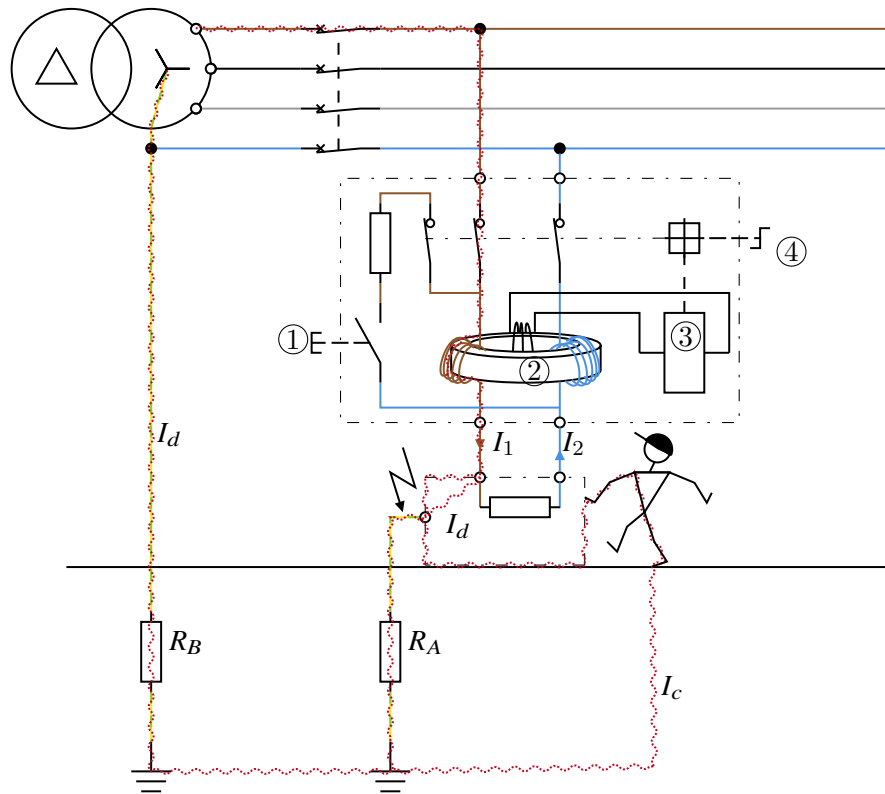


FIG. A.4: Principe de fonctionnement d'un DDR

**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<sup>re</sup> 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 méthodes :

- 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 56](#).

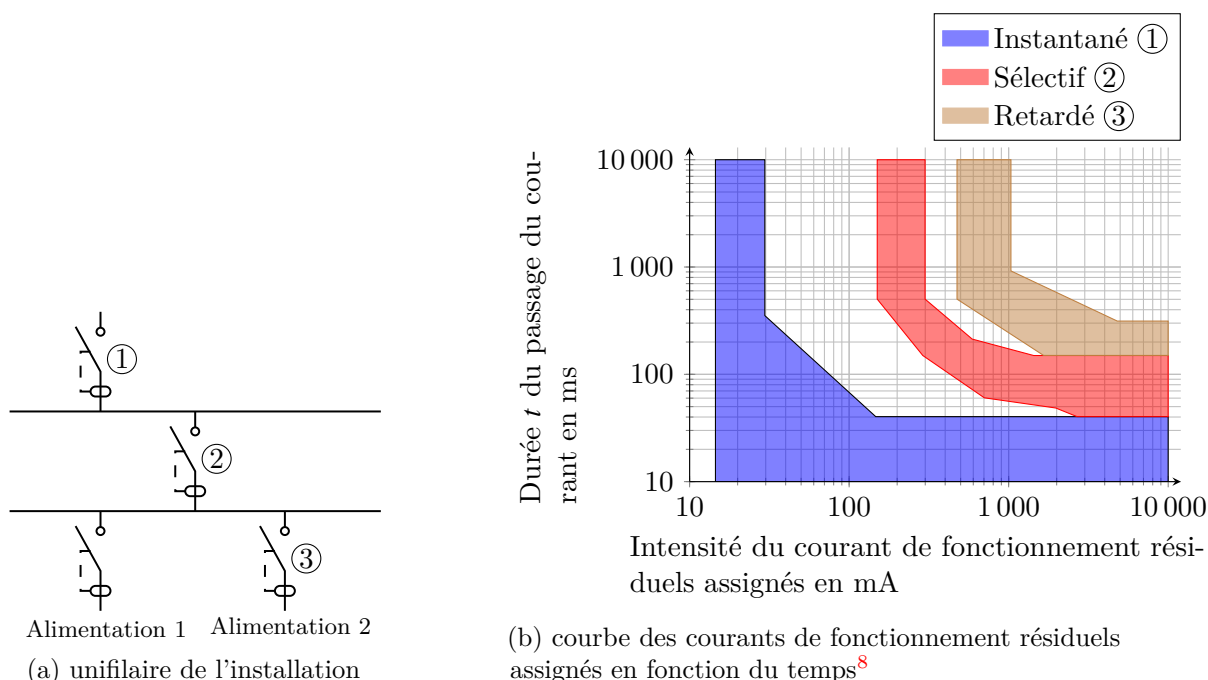


FIG. A.5: Sélectivité totale à trois niveaux

#### 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 56](#), 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 62423<sup>4</sup>. Cela signifie que ce DDR de

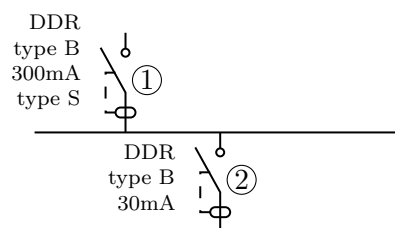


FIG. A.7: Cas d'une sélectivité à deux niveaux entre des DDR de type B



$I_{\Delta n} = 30\text{mA}$  de type B pourrait laisser passer un courant résiduel de presque  $60\text{mA}$  = 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 ( $60\text{mA}$  pour la marque Schneider<sup>8</sup>). 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 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'encastrement 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* Circled10 (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  $2\Omega$ . Cette résistance est contrôlée au moyen d'un *testeur de continuité* spécifique.



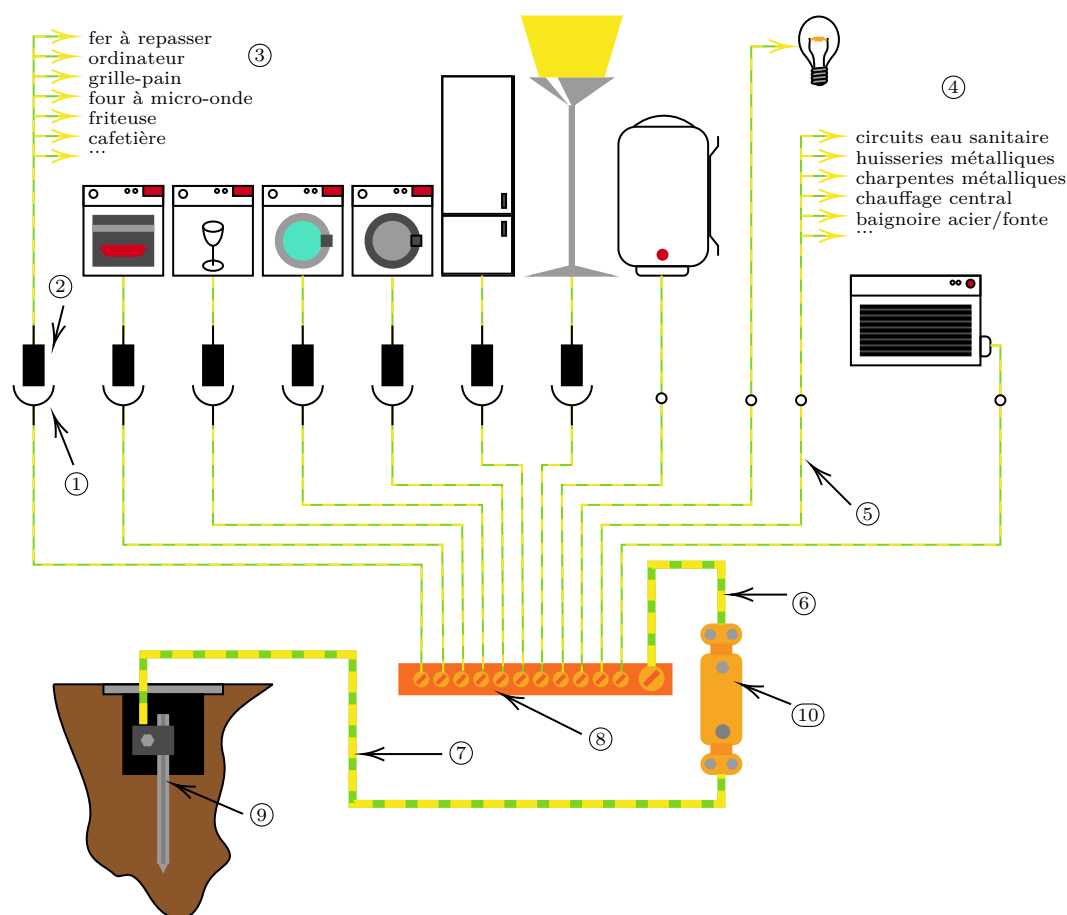


FIG. A.8: Liaison équipotentielle

TAB. A.9: Section des conducteurs de protection

Schéma	Type de conducteur	Section
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 <sup>2</sup>
	Conducteur de protection non protégé mécaniquement	4mm <sup>2</sup>
⑥	Conducteur principal de protection	16mm <sup>2</sup> en cuivre isolé
⑦	Conducteur de terre	<b>Selon les caractéristiques :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 16mm<sup>2</sup> en cuivre isolé ;</li> <li>– 25mm<sup>2</sup> en cuivre nu ;</li> <li>– 50mm<sup>2</sup> en aluminium ou en fer.</li> </ul>

### 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 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 $R_A$ )

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

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<sup>2</sup> ;
- câble en acier de 95mm<sup>2</sup> ;
- feuillard en acier de 100mm<sup>2</sup> et de 3mm d'épaisseur.



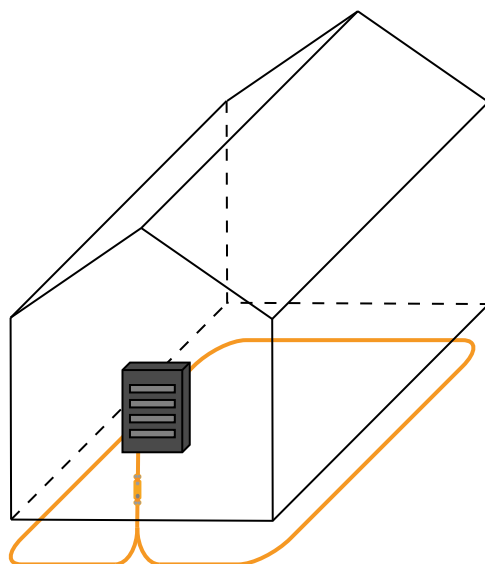


FIG. A.9: Boucle à fond de fouille

**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 60](#). Le conducteur utilisé doit aussi présenter une section minimale selon le matériau choisi :

- câble de cuivre nu de  $25\text{mm}^2$  ;
- câble en acier de  $95\text{mm}^2$ .

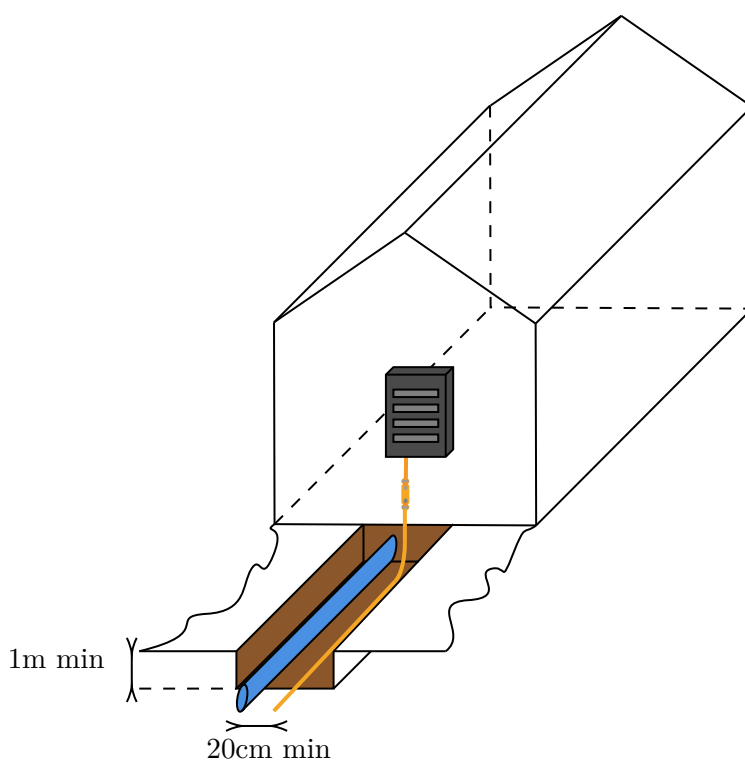


FIG. A.10: Câble en tranchée

**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 61](#).

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<sup>2</sup> de diamètre ;
- une barre de cuivre ou d'acier cuivré de 15mm<sup>2</sup> de diamètre.

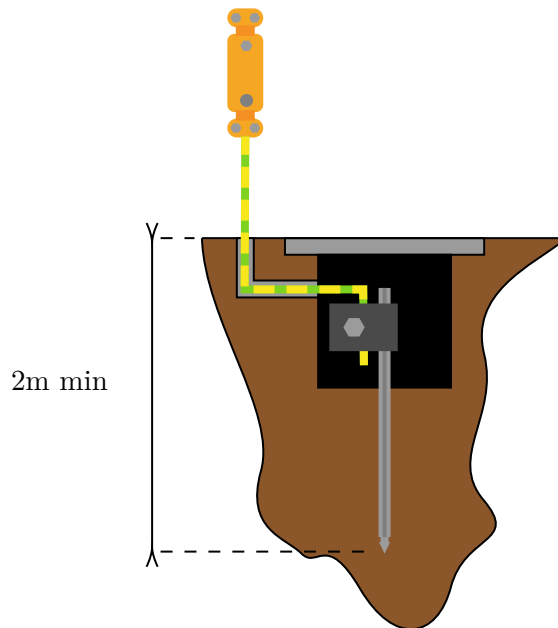


FIG. A.11: Piquet de terre

#### 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 100<sup>7</sup>.

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...).





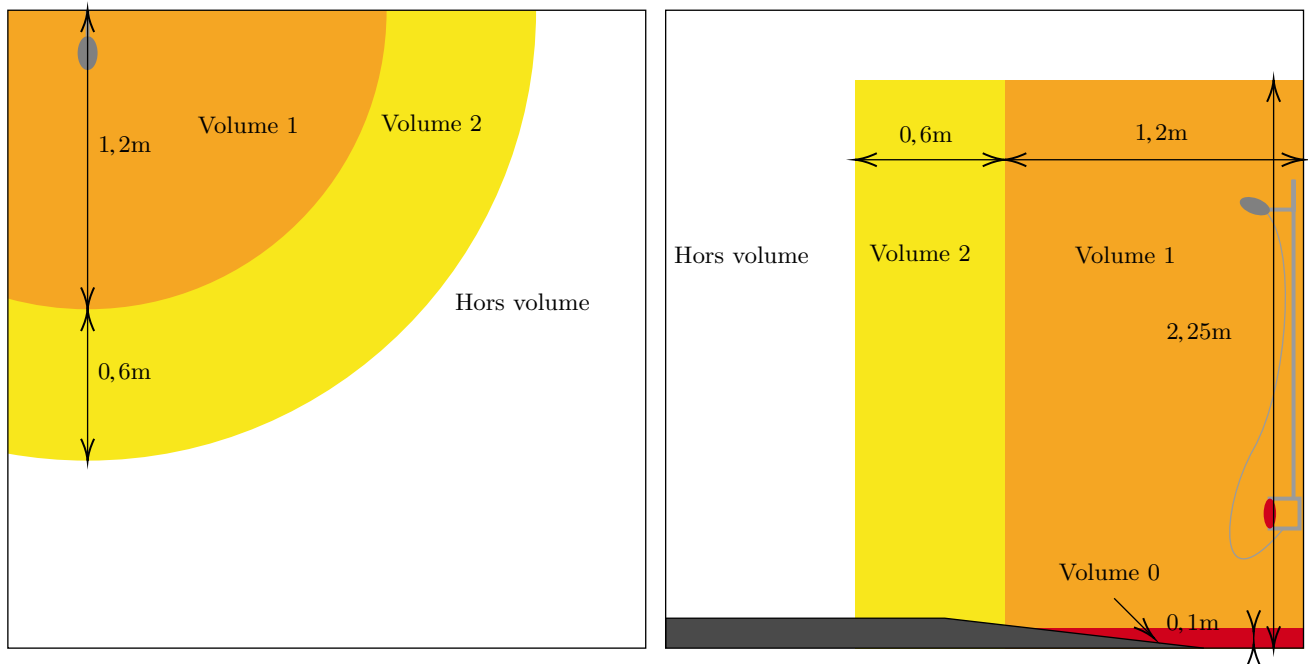


FIG. A.12: Répartition des volumes dans une salle d'eau sans receveur

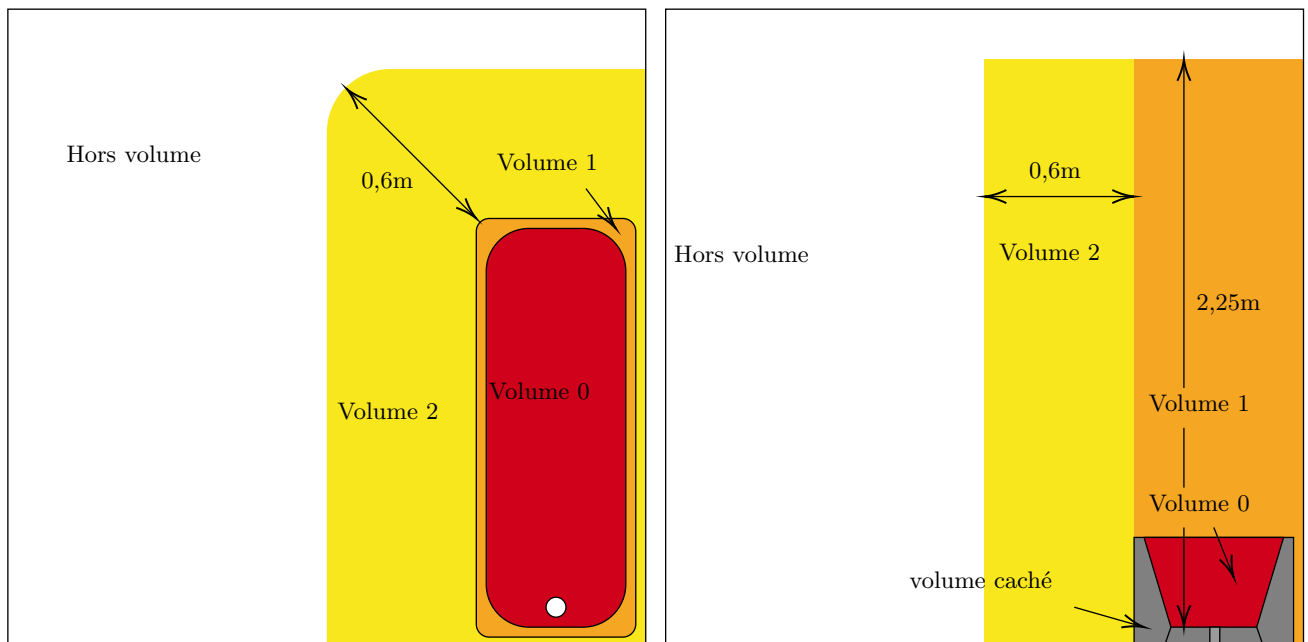


FIG. A.13: Répartition des volumes dans une salle d'eau avec baignoire

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

Appareils	Mesure de protection	Volume 0 IPX7	Volume 1 IPX4 <sup>1</sup>	Volume 2 IPX4 <sup>1</sup>	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 <sup>2</sup>	autorisé <sup>2</sup>	autorisé <sup>2</sup>	autorisé <sup>3</sup>
Chauffe-eau instantané	classe I	interdit	autorisé <sup>4</sup>	autorisé <sup>4</sup>	autorisé
Chauffe-eau à accumulation	classe I	interdit	autorisé <sup>5</sup>	autorisé <sup>4</sup>	autorisé
Interrupteur		interdit	interdit	interdit	autorisé
	TBTS (12V $\Rightarrow$ ou 30V $\sim$ )	interdit	autorisé <sup>2</sup>	autorisé <sup>2</sup>	autorisé <sup>3</sup>
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 <sup>6</sup>	autorisé <sup>6</sup>	autorisé
Boîtier de connexion		interdit	interdit <sup>7</sup>	interdit	autorisé

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

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

<sup>3</sup> La tension peut être portée à 230V ;

<sup>4</sup> Si l'appareil est alimenté directement sans boîte de connexion ;

<sup>5</sup> Chauffe-eau horizontal installé le plus haut possible ;

<sup>6</sup> Limité à l'alimentation des appareils autorisés dans ces volumes ;

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





# B Informations complémentaires sur le SLT TN

Cette annexe regroupe des données complémentaires mentionnées dans le [chapitre 4 page 15](#). Il n'est pas nécessaire de les retenir par cœur mais ces informations constituent un support appréciable pour toutes précisions concernant ce chapitre.

## B.1 Méthodes de dimensionnement des protections et des sections des conducteurs

### B.1.1 Méthode conventionnelle

La série de tableaux suivants, applicables au SLT TN, ont été calculés selon la méthode conventionnelle ([section 4.3 page 17](#)). Si les longueurs détaillées ci-dessus sont dépassées pour un seuil de déclenchement donné, la résistance du conducteur limitera l'appel d'intensité à un niveau inférieur à celui nécessaire pour déclencher le disjoncteur protégeant le circuit dans les conditions de rapidité requises pour assurer la protection des personnes.

Ces tableaux prennent compte de différents critères :

- type de protection (disjoncteur ou fusible) ;
- réglages des seuils de courants de déclenchements ;
- section des conducteurs de phase et des conducteurs de protection ;
- type de SLT ;
- courbe de déclenchement des disjoncteurs (B, C ou D).

#### B.1.1.1 Facteur de correction $m$

Le facteur de correction  $m$  est à appliquer sur les données des tableaux suivants et correspond au rapport entre la section du conducteur de phase  $S_{ph}$  et la section du conducteur de protection  $S_{PE}$  (voir [Formule 4.4 page 19](#)).

Circuit	Matériau conducteur	$m = S_{ph}/S_{PE(N)}$			
		$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$	$m = 4$
3P + N ou P + N	cuivre	1	0,67	0,50	0,40
	aluminium	0,62	0,42	0,31	0,25

FIG. B.1: Facteur de correction  $m$  à appliquer aux abaques des longueurs maximales des câbles  $L_{max}$

#### B.1.1.2 $L_{max}$ des conducteurs protégés par des disjoncteurs industriels

Pour les disjoncteurs industriels, on peut appliquer une tolérance de  $\pm 20\%$  pour le calcul du seuil de déclenchement réel  $I_a$  par rapport au seuil de déclenchement magnétique  $I_m$  du disjoncteur.



Dans les abaques, cette tolérance est incluse dans les calculs prenant en compte le cas le plus défavorable, à savoir  $I_a = I_m \times 1,2$ .

TAB. B.1:  $L_{max}$  des circuits en mètre selon les sections des conducteurs en cuivre en schéma TN pour les disjoncteurs industriels<sup>16</sup>

Section des conducteurs (mm <sup>2</sup> )	Réglage du seuil de déclenchement magnétique $I_m$ des disjoncteurs (A)															
	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	560	630	700	800	875
1,5	100	79	63	50	40	31	25	20	16	13	10	9	8	7	6	6
2,5	167	133	104	83	67	52	42	33	26	21	17	15	13	12	10	10
4	267	212	167	133	107	83	67	53	42	33	27	24	21	19	17	15
6	400	317	250	200	160	125	100	80	63	50	40	36	32	29	25	23
10			417	333	267	208	167	133	104	83	67	60	53	48	42	38
16					427	333	267	213	167	133	107	95	85	76	67	61
25							417	333	260	208	167	149	132	119	104	95
35								467	365	292	233	208	185	167	146	133
50									495	396	317	283	251	226	198	181
70												417	370	333	292	267
95														452	396	362
120																457
	1000	1120	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500			
1,5	5	4	4													
2,5	8	7	7	5	4											
4	13	12	11	8	7	5	4									
6	20	18	16	13	10	8	6	5	4							
10	33	30	27	21	17	13	10	8	7	5	4					
16	53	48	43	33	27	21	17	13	11	8	7	5	4			
25	83	74	67	52	42	33	26	21	17	13	10	8	7			
35	117	104	93	73	58	47	36	29	23	19	15	12	9			
50	158	141	127	99	79	63	49	40	32	25	20	16	13			
70	233	208	187	146	117	93	73	58	47	37	29	23	19			
95	317	283	263	198	158	127	99	79	63	50	40	32	25			
120	400	357	320	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32			
150	435	388	348	272	217	174	136	109	87	69	54	43	35			
185		459	411	321	257	206	161	128	103	82	64	51	41			
240				400	320	256	200	160	128	102	80	64	51			

### B.1.1.3 $L_{max}$ des conducteurs protégés par des disjoncteurs domestiques

Pour les disjoncteurs domestiques, on n'applique pas cette tolérance de  $\pm 20\%$  pour le calcul du seuil de déclenchement réel  $I_a$  par rapport au seuil de déclenchement magnétique  $I_m$  du disjoncteur.

La valeur du courant de court-circuit est donc égale à  $I_m$  sans aucune tolérance.



TAB. B.2:  $L_{max}$  des circuits en mètre selon les sections des conducteurs en cuivre en schéma TN pour les disjoncteurs domestiques de type B<sup>16</sup>

Section des conducteurs (mm <sup>2</sup> )	Courant assigné (A)															
	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	1200	600	400	300	200	120	75	60	48	37	30	24	19	15	12	10
2,5		1000	666	500	333	200	125	100	80	62	50	40	32	25	20	16
4			1066	800	533	320	200	160	128	100	80	64	51	40	32	26
6				1200	800	480	300	240	192	150	120	96	76	60	48	38
10						800	500	400	320	250	200	160	127	100	80	64
16							800	640	512	400	320	256	203	160	128	102
25									800	625	500	400	317	250	200	160
35										875	700	560	444	350	280	224
50												760	603	475	380	304

TAB. B.3:  $L_{max}$  des circuits en mètre selon les sections des conducteurs en cuivre en schéma TN pour les disjoncteurs domestiques de type C<sup>16</sup>

Section des conducteurs (mm <sup>2</sup> )	Courant assigné (A)															
	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	600	300	200	150	100	60	37	30	24	18	15	12	9	7	6	5
2,5		500	333	250	167	100	62	50	40	31	25	20	16	12	10	8
4			533	400	267	160	100	80	64	50	40	32	25	20	16	13
6				600	400	240	150	120	96	75	60	48	38	30	24	19
10					677	400	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32
16						640	400	320	256	200	160	128	101	80	64	51
25							625	500	400	312	250	200	159	125	100	80
35							875	700	560	437	350	280	222	175	140	112
50									760	594	475	380	301	237	190	152

TAB. B.4:  $L_{max}$  des circuits en mètre selon les sections des conducteurs en cuivre en schéma TN pour les disjoncteurs domestiques de type D<sup>16</sup>

Section des conducteurs (mm <sup>2</sup> )	Courant assigné (A)															
	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	429	214	143	107	71	43	27	21	17	13	11	9	7	5	4	3
2,5	714	357	238	179	119	71	45	36	29	22	18	14	11	9	7	6
4		571	381	286	190	114	71	57	46	36	29	23	18	14	11	9
6		857	571	429	286	171	107	86	69	54	43	34	27	21	17	14
10			952	714	476	286	179	143	114	89	71	57	45	36	29	23
16					762	457	286	229	183	143	114	91	73	57	46	37
25						714	446	357	286	223	179	143	113	89	71	57
35							625	500	400	313	250	200	159	125	100	80
50								679	543	424	339	271	215	170	136	109



## B.1.2 Méthode des impédances

Cette méthode consiste en la détermination de toutes les résistances et réactances présentes dans la boucle de défaut, pour pouvoir calculer le courant de court-circuit selon la formule suivante :

**Formule B.1 (Courant de défaut  $I_d$  en schéma TN selon la méthode des impédances)**

$$I_d = \frac{U_0}{\sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2}}$$
$$I_d = Z_S$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$U_0$ : tension	volt ( V )	Tension nominale simple
$R$ : résistance	ohm ( $\Omega$ )	Résistance présente dans le circuit en défaut
$X$ : réactance	ohm ( $\Omega$ )	Réactance présente dans le circuit en défaut
$Z_S$ : impédance	ohm ( $\Omega$ )	Impédance totale de la boucle de défaut

L'application de cette méthode n'est pas forcément évidente car il faut impliquer de connaître toutes les caractéristiques électriques de chaque élément de la boucle de défaut. Dans la pratique, cela est réalisé par des logiciels qui vont certifier le dimensionnement.

## B.1.3 Méthode de composition

Cette méthode permet la détermination du courant de court-circuit en fin de circuit  $I$  en connaissant le courant de court-circuit  $I_{cc}$  à l'origine du même circuit selon la formule suivante :

**Formule B.2 (Courant de court-circuit en schéma TN selon la méthode de composition)**

$$I = \frac{U_0 \times I_{cc}}{U_0 + Z_S \times I_{cc}}$$

Avec :

Grandeur dans l'ISQ	Unité SI de mesure	Description
$I$ : intensité	ampère ( A )	Intensité de court-circuit à l'extrémité du circuit en défaut
$U_0$ : tension	volt ( V )	Tension nominale simple
:		
$I_{cc}$ : intensité	ampère ( A )	Intensité de court-circuit à l'origine du circuit en défaut
$Z_S$ : impédance	ohm ( $\Omega$ )	Impédance totale de la boucle de défaut

Cette méthode consiste à ajouter les impédances, ce qui abaisse la valeur du courant de défaut  $I_d$  par rapport à la méthode des impédances. Ainsi, si les paramètres de surintensité sont basés sur cette valeur calculée, le fonctionnement du disjoncteur est assuré car plus  $I_d$  calculé est plus faible qu'en réalité.



---

# Bibliographie

---

- [1] *Effets du courant sur les êtres humains et les animaux domestiques*. Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale. 1998-2016.
- [2] *Disjoncteurs pour la protection contre les surintensités pour installations domestiques et analogues*. Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale. 2003-2015.
- [3] *Appareillage à basse tension - Partie 2 : Disjoncteurs*. Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale. 2016.
- [4] *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.
- [5] René BOURGEOIS et Denis COGNIEL. « Électrotechnique ». In : *Mémotech Plus*. Casteilla, 2005.
- [6] *Postes de livraison alimentés par un réseau public de distribution HTA (jusqu'à 33 kV)*. Association française de normalisation. 2015. Chap. 7.
- [7] *Installations électriques à basse tension*. Association française de normalisation. 2002-2015.
- [8] *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)).
- [9] Arnaud DELAHAYE. « Électrisation ». In : *Congrès Aquitain de Médecine d'Urgence*. 2015.
- [10] *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)).
- [11] Philippe JUGUET. *Guide des métiers de l'électrotechnique*. Ingerea, 2017. URL : <http://www.ingerea.com/GdME.html>.
- [12] *Les points clés de la norme NF C15-100*. URL : <http://docdif.fr.grpleg.com/general/ouidoo/pdf/infographie-nfc15100-grand-public.pdf>.
- [13] *Les schémas de liaisons à la terre*. Schneider. URL : [https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Les\\_sch%C3%A9mas\\_des\\_liaisons\\_%C3%A0\\_la\\_terre](https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Les_sch%C3%A9mas_des_liaisons_%C3%A0_la_terre).
- [14] *Manuel technique - principes de protection*. URL : [www.hager.ch/files/Handbuch\\_Schutz\\_2018\\_FR\\_web](http://www.hager.ch/files/Handbuch_Schutz_2018_FR_web).
- [15] 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](http://ww2.ac-poitiers.fr/electrotechnique/sites/electrotechnique/IMG/pdf/prevention_des_risques_electriques.pdf).
- [16] *Schéma TN – Calcul du courant de défaut à la terre*. Schneider. URL : [https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Sch%C3%A9ma\\_TN\\_-\\_Calcul\\_du\\_courant\\_de\\_d%C3%A9faut\\_%C3%A0\\_la\\_terre](https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Sch%C3%A9ma_TN_-_Calcul_du_courant_de_d%C3%A9faut_%C3%A0_la_terre).
- [17] Jean-Louis TIMIN. *Schéma de liaison à la terre*. CNED, 2003. URL : <http://jltimin.free.fr/TGE/cours/SLT.pdf>.
- [18] *Très Basses Tensions*. AFPA. 2000.
- [19] Théodore WILDI et Gilbert SYBILLE. « Électrotechnique ». In : *Physique*. De Boeck, 2014.

