

---

**Cours d'Electricité 2 — Électrotechnique**  
**La sécurité et les risques électriques**

*IUT Mesures Physiques — Université Montpellier 2*

*Année universitaire 2008-2009*

---

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Le risque électrique</b>	<b>1</b>
1.1	L'électrisation et l'électrocution . . . . .	1
1.2	Les effets sur le corps humain . . . . .	2
1.3	Les accidents électriques par contact . . . . .	4
1.3.1	Les contacts directs . . . . .	4
1.3.2	Les contacts indirects . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Les schémas de liaison à la terre (SLT) ou régimes de neutre</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Les dispositifs de protection</b>	<b>7</b>
3.1	Le fusible . . . . .	7
3.2	Le disjoncteur . . . . .	8
3.3	Le dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) . . . . .	9

---

## 1 Le risque électrique

L'énergie électrique est largement utilisée, en particulier pour les applications domestiques et se trouve par conséquent à la portée de tout un chacun. Cependant, elle peut s'avérer **extrêmement dangereuse**. En effet, outre les risques de dégradation des installations suite à un défaut électrique il y a des risques de lésions, et même **danger de mort**, si un courant traverse le corps humain. Il est par conséquent **indispensable** de protéger non seulement les installations mais aussi les personnes contre les dangers électriques.

### 1.1 L'électrisation et l'électrocution

Avant d'aller plus loin, un petit peu de vocabulaire : il ne faut pas confondre **l'électrisation** avec **l'électrocution**. En effet, l'électrisation désigne l'ensemble des manifestations

---

Document disponible à l'adresse <http://web-mp.iutmontp.univ-montp2.fr>, rubrique "Le DUT", enseignement "Electricité, Electronique, Electrotechnique et Automatique".

Adresse e-mail : [Christophe.Palermo@univ-montp2.fr](mailto:Christophe.Palermo@univ-montp2.fr)

et lésions provoquées par le passage d'un courant électrique à travers le corps. Lorsque l'électrisation provoque le décès, et uniquement dans ce cas là, on parle d'électrocution.

## 1.2 Les effets sur le corps humain

La résistance électrique du corps humain n'est pas infinie : soumis à une tension, le corps va donc laisser passer un courant électrique, pouvant s'avérer dangereux pour lui. Même si cette résistance varie et dépend de plusieurs paramètres (qui sont la présence d'humidité, la transpiration, la tenue vestimentaire, la durée de contact, le courant traversant, etc.), on peut considérer que la résistance du corps humain est de l'ordre de  $2\text{ k}\Omega$ . Un simple calcul à partir de la loi d'Ohm permet alors d'évaluer le courant traversant une personne mise en contact avec une différence de potentiel de  $230\text{ V}$  à un peu plus de  $100\text{ mA}$ . Or, l'intensité d'un courant électrique est **dangereuse à partir de  $20\text{ mA}$**  : si elles ne sont pas protégées correctement, les installations domestiques sont potentiellement mortelles !

Le courant électrique qui parcourt le corps humain peut engendrer trois risques graves :

- **Le blocage musculaire** : celui-ci peut provoquer une projection de la personne ou bien sa tétanisation. En effet, le courant électrique maintient contractés les muscles traversés. De ce fait, la personne électrisée ne peut plus relâcher le contact. Au niveau de la cage thoracique, le phénomène peut entraîner un blocage respiratoire pouvant aller jusqu'à l'asphyxie.
- **La fibrillation ventriculaire**. L'action du courant désorganise complètement le rythme cardiaque et peut causer un arrêt cardiaque.
- **Les effets thermiques** : ceux-ci provoquent des lésions tissulaires plus ou moins graves, jusqu'à des brûlures profondes, en fonction de l'importance du courant. Des brûlures sur la peau et des brûlures internes sont possibles : on voit alors sur la peau des brûlures aux points d'entrée et de sortie du courant.

En outre, des traumatismes secondaires peuvent être recensés du fait d'une chute ou de mouvements involontaires consécutifs à l'électrisation. Des troubles auditifs, de la vue, ou des troubles nerveux peuvent aussi être induits. Nous avons reporté sur la figure 1 les différents effets du courant alternatif en fonction de son intensité. Remarquons toutefois que si l'intensité du courant est un facteur important dans les risques électriques et ses conséquences, la **durée** pendant laquelle celui-ci traverse le corps humain, c'est à dire le **temps de contact** ou **de passage**, est tout aussi **déterminante**. En effet, il est par exemple potentiellement mortel d'établir un contact de  $5\text{ s}$  avec une tension alternative de  $50\text{ V}$  en milieu sec (et  $25\text{ V}$  en milieu humide) ; par contre, on augmente les chances de survie de la personne en diminuant la durée de contact. Nous avons reporté dans le tableau 1 différentes tensions de contact et, pour chacune d'entre elles, le temps de passage que ne doit pas dépasser le courant pour éviter tout risque.

Remarquons que les effets du courant alternatif sont plus importants que ceux du courant continu, en particulier parce que ces deux types de courant n'ont pas les mêmes

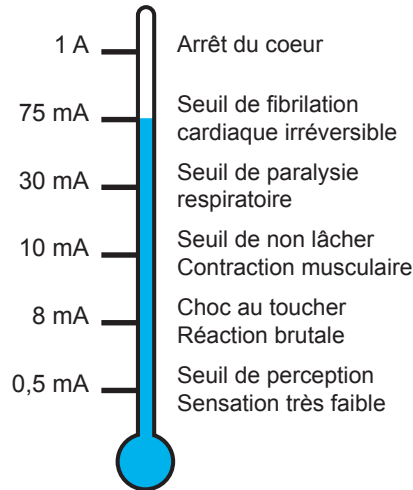



FIG. 1 : Effets du courant alternatif sur le corps humain.

Tension de contact (V)	Résistance électrique $R_n$ ( $\Omega$ )	Courant traversant le corps (mA)	Temps de passage maximal $T_n$ (s)
50	1725	29	5
75	1625	46	0,6
100	1600	62	0,4
150	1555	97	0,28
230	1500	153	0,17
300	1480	203	0,12
400	1450	276	0,07
500	1430	350	0,04

TAB. 1 : Temps de passage maximum et tensions de contact. Pour protéger l'utilisateur soumis à la tension de contact, le temps de passage du courant doit être inférieur à  $T_n$  : on doit couper le courant dans un laps de temps déterminé.

effets sur les muscles. Attention toutefois à ne pas sous-estimer les effets du courant continu : en régime continu, dans un milieu sec, toute tension supérieure à 120 V est considérée comme dangereuse. En alternatif, toujours dans un milieu sec, la tension est considérée comme dangereuse à partir de 50 V.



**Attention** En milieu sec et pour du courant alternatif, on définit la tension de sécurité à 50 V.

Comme le montre le tableau 1, sous une tension de 230 V (qui correspond à la tension disponible aux prises des maisons françaises) le contact avec un conducteur peut produire un courant de plus de 150 mA dans le corps humain. Ce courant doit être coupé en moins de 170 millisecondes pour éviter tout risque : cela nous amène à la notion de **protection des personnes** dans le cadre d'une installation électrique.

### 1.3 Les accidents électriques par contact

Avant de discuter des différents dispositifs de protection des installations et des personnes, nous allons expliciter les différents types de contacts possibles entre la personne et l'énergie électrique. Pour comprendre les dangers de ces contacts, nous devons remarquer le fait que les installations électriques domestiques françaises sont faites selon le schéma de liaison à la terre TT, dont nous parlerons à la section 2, et dont le principe de base est de relier le neutre du générateur à la terre. Si une telle approche permet une protection efficace contre les surtensions, pour un coût relativement faible et sans entretien, il donne toutefois au courant électrique délivré par la phase la possibilité de revenir au générateur soit par le neutre, soit par la terre. En effet, **le courant électrique revient toujours au générateur qui lui a donné naissance.**

Nous classons les risques électriques par contact en deux ensembles :

- les contacts directs, dont l'origine est la plupart du temps imputable à une imprudence ou une maladresse de l'utilisateur ;
- les contacts indirects, la plupart du temps indépendante de la personne et liés à un défaut du matériel.

#### 1.3.1 Les contacts directs

Nous avons schématisé sur la figure 2 le risque par contact phase-terre, et sur la figure 3 celui par contact phase-neutre. En général, l'origine de ces risques est imputable à l'utili-

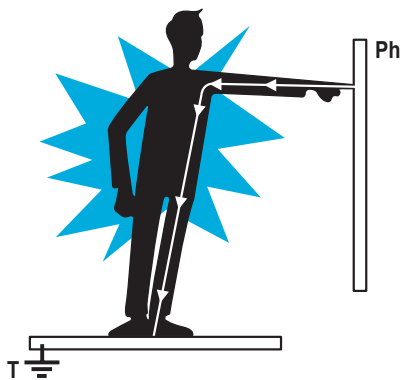


FIG. 2 : Risque électrique par contact direct **phase-terre**.



FIG. 3 : Risque par contact direct **phase-neutre**. Ce risque ne peut être prévenu par l'utilisation d'un dispositif différentiel.

sateur lui-même (utilisation de câbles dénudés par exemple) puisqu'il s'agit de toucher le câble de phase.

La protection des personnes contre les contacts directs passe essentiellement par des mesures d'isolation (gaines sur les câbles, prises à protections plastiques mécaniques, coffrage du tableau électrique, etc.). En effet, si un dispositif différentiel à courant résiduel (**DDR**, voir section 3) peut prévenir le risque phase-terre, il **ne permet pas a priori de**

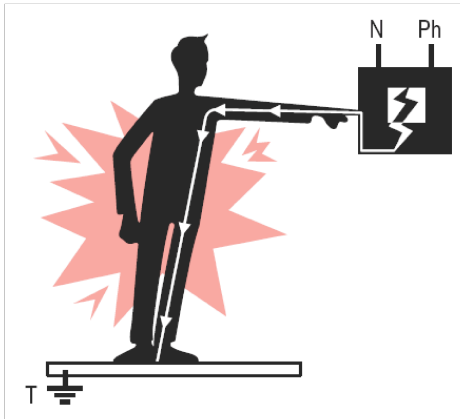


FIG. 4 : Risque électrique par contact accidentel d'une masse non-reliée à la terre et par fermeture du circuit entre cette **masse et la terre**.

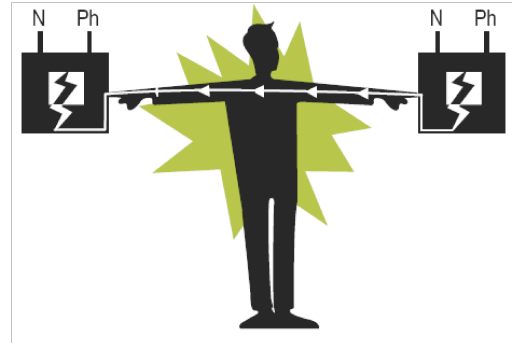


FIG. 5 : Risque électrique par contact entre **deux masses** non-relées à la terre.

**lutter contre les risques du contact phase-neutre** puisque celui-ci correspond au chemin normal du courant.

### 1.3.2 Les contacts indirects

Les contacts indirects mettent en jeu les masses des équipements. Ils sont associés à un défaut d'isolation du matériel et ne mettent généralement pas en cause l'utilisateur.

**Remarque :** En électrotechnique, on appelle *masse* d'une installation les parties conductrices accessibles d'un matériel électrique susceptibles d'être mises sous tension en cas de défaut.

Nous avons schématisé sur la figure 4 le risque électrique par contact d'une masse et fermeture du circuit entre cette masse et la terre. Ce risque est d'incidence courante, et peut être évité, en cas de défaut d'isolation, par la **liaison de la masse à la terre** et l'installation d'un DDR, capable de détecter les fuites de courant dans la terre. Le risque par contact indirect entre deux masses, schématisé sur la figure 5, est très rare mais peut s'avérer dangereux même en présence d'un dispositif différentiel. Il ne peut être évité qu'en **reliant les masses à la terre**.

## 2 Les schémas de liaison à la terre (SLT) ou régimes de neutre

Les réseaux de distribution sont caractérisés essentiellement par la nature du courant, le nombre de conducteurs actifs, mais aussi par la façon dont ils sont **reliés à la terre**, et

c'est ce dernier aspect que l'on appelle le **régime de neutre** ou encore **schéma de liaison à la terre (SLT)**. Le régime du neutre décrit la manière dont le neutre du générateur (qui est en général constitué par la "sortie" d'un transformateur EDF) est relié à la terre; il décrit aussi la situation des masses de l'installation par rapport à cette même terre. Il joue un rôle très important puisque, lors d'un défaut d'isolement ou de la mise accidentelle d'une phase à la terre, les valeurs prises par les courants de défaut, les tensions de contact et les surtensions sont étroitement liées à celui-ci.

Les schémas de liaison à la terre sont repérés par deux lettres :

- la première lettre rend compte de la situation du neutre par rapport à la terre du côté du fournisseur de l'énergie : on donne la lettre **T** lorsque le neutre est directement lié à la terre et la lettre **I** lorsque le neutre est isolé ou bien relié à la terre par l'intermédiaire d'une impédance ;
- la seconde lettre décrit la situation des masses de l'installation : on donne la lettre **T** lorsque celles ci sont reliées à la terre et la lettre **N** lorsque celles-ci sont reliées au neutre.

Il existe trois types de régimes de neutre : le SLT TT, le SLT TN et le SLT IT. Chaque schéma a ses avantages et ses inconvénients et par conséquent ses utilisations. Si le régime TN est préféré pour les installations industrielles, les locaux demandant une continuité de service tels que les blocs opératoires ou les centrales nucléaires nécessitent le schéma IT, qui ne provoque pas une coupure du circuit au premier défaut mais assure cependant la protection des personnes.

Dans les installations domestiques, on utilise le régime TT dont le schéma de principe est reporté sur la figure 6. Ce SLT a en effet l'avantage d'empêcher les surtensions, réduisant

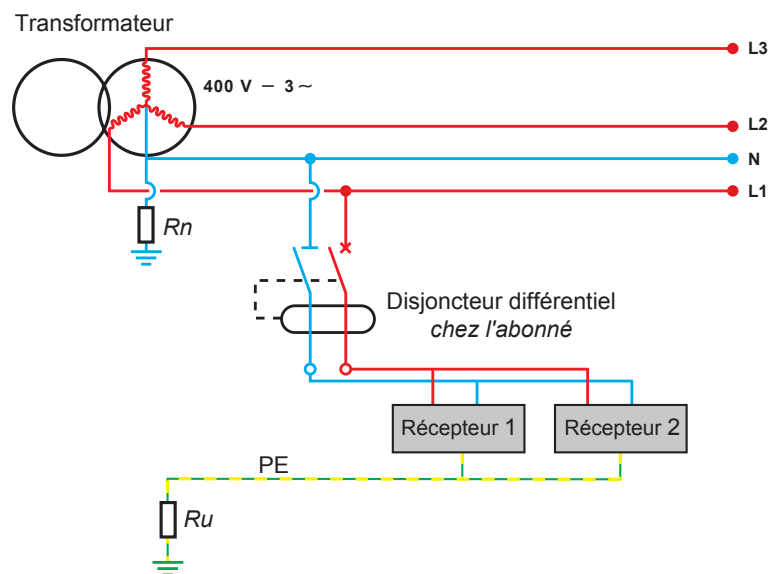


FIG. 6 : Le schéma de liaison à la terre TT. Les masses sont reliées à la terre par le biais de la Protection Equipotentielle (PE : le câble jaune et vert des installations modernes).

ainsi les risques d'incendie. De plus, il est simple à mettre en oeuvre et à contrôler, et il ne demande pas d'entretien. Il permet la coupure au premier défaut, ce qui facilite la détection de celui-ci (mais qui s'avère un inconvénient dans le domaine industriel). En revanche, de par sa nature même, il induit des courants de fuite en cas de défaut, et c'est d'ailleurs la détection de ces courants qui permet l'ouverture du circuit. Or, si une protection différentielle de type 300 ou 500 mA telle que celle effectuée dans les disjoncteurs abonnés que fournit EDF (le gros disjoncteur situé avant le tableau électrique) suffit à protéger les installations, il faut ajouter dans le schéma TT un organe de protection des personnes : un dispositif différentiel sensible aux courants de 30 mA. En effet, nous pouvons aisément comprendre d'après ce que nous avons vu précédemment qu'un courant de 500 mA présente un danger colossale pour l'utilisateur.

### 3 Les dispositifs de protection

Une installation électrique doit être en mesure d'assurer la protection des conducteurs, des équipements, et des personnes. Différents organes de protection sont disponibles : nous abordons ici les cas du fusible, du disjoncteur et du dispositif différentiel.

#### 3.1 Le fusible

Le fusible est un objet qui a pour rôle d'assurer la sécurité d'une installation en interrompant la circulation du courant électrique. Lorsque l'intensité qui traverse cet élément est supérieure à une valeur donnée, il ouvre le circuit en se détruisant par une fusion du filament conducteur qui le compose (d'où son nom de fusible). La section du filament est calculée en fonction de l'intensité maximale du courant à laisser passer. En effet, la section des câbles dépend de l'intensité du courant à transporter : plus un courant est important, plus le fil conducteur doit avoir une section élevée si l'on ne veut pas qu'il fonde. La norme NFC 15-100 donne les sections que doivent avoir les conducteurs en fonction du courant assigné.

Il existe essentiellement trois types de fusibles :

1. les fusibles à usage général (gG) qui offrent une protection contre les surcharges et les court-circuits et qui sont couramment utilisés dans les applications domestiques ;
2. les fusibles accompagnement moteur (aM) utilisés pour la protection des court-circuits uniquement en cas de forts courants de pointe (en présence de moteurs par exemple ou de primaires de transformateur) ; ils sont par exemple utilisés pour protéger les climatiseurs ;
3. les fusibles à fusion ultra rapide qui permettent la protection des semi-conducteurs.

Remarquons que les fusibles **ne sont pas adaptés pour la protection des personnes**, que par ailleurs seul un dispositif différentiel permet d'assurer.

Nous avons reporté sur la figure 7 le symbole électrique du fusible.

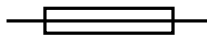


FIG. 7 : Symbole électrique du fusible.

### 3.2 Le disjoncteur

Le **disjoncteur** a pour vocation la **protection des conducteurs et des équipements**. C'est un dispositif capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales, mais aussi dans des conditions de surcharge et/ou de court-circuit. Sa différence avec un interrupteur est qu'il peut ouvrir un circuit traversé par un courant très grand (c'est à dire de l'ordre de 1000 A), ce qu'un interrupteur ne peut pas faire : il a un **fort pouvoir de coupure**. Il remplace de plus en plus le fusible, en particulier parce qu'il ne se détruit pas lors de l'ouverture du circuit : c'est un **dispositif réarmable**.

Il existe plusieurs types de disjoncteurs :

1. le disjoncteur magnétique, qui assure la protection contre les court-circuits ;
2. le disjoncteur thermique, qui assure la protection contre les surcharges ;
3. le disjoncteur magnéto-thermique, qui cumule les deux fonctions et qui assure la protection contre les court-circuits et contre les surcharges. C'est ce type de disjoncteurs qui équipe nos tableaux électriques domestiques.

Nous donnons sur la figure 8 les symboles électriques correspondant aux différents éléments de protection ainsi que celui du disjoncteur magnéto-thermique.

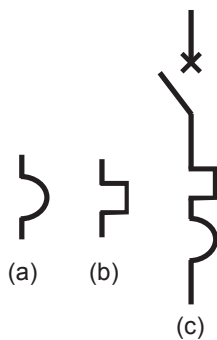


FIG. 8 : Élément de protection magnétique (a), thermique (b) et disjoncteur muni d'un déclencheur sur surcharge (thermique) et court-circuit (magnétique) (c).



Attention à ne pas confondre disjoncteur et disjoncteur différentiel ! Le disjoncteur est un dispositif assurant la fermeture et l'ouverture d'un circuit. Il n'est différentiel que lorsqu'il assure une fonction de protection particulière.

### 3.3 Le dispositif différentiel à courant résiduel (DDR)

Dans une installation monophasée ou triphasée (voir cours “*Systèmes triphasés équilibrés*”), un dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) est un appareil de **protection des personnes** dont la fonction est de comparer les intensités traversant les fils de phase et de neutre. En cas de différence, il coupe immédiatement le courant. En effet, si l’on prend l’exemple d’une installation monophasée domestique, le courant électrique qui arrive dans un récepteur par le fil de phase doit ressortir dans sa totalité par le fil de neutre. De fait, si le courant dans le conducteur de phase au départ d’un circuit électrique est différent de celui du conducteur neutre, c’est qu’il y a une fuite de courant : un défaut.

Le DDR peut être un interrupteur ou un disjoncteur. La différence entre ces deux dispositifs réside essentiellement dans leurs pouvoirs de coupure (noté PdC sur le dispositif) : un disjoncteur peut couper des courants bien plus élevés qu’un interrupteur. En effet, un interrupteur peut couper un courant équivalent à sa valeur nominale quand un disjoncteur peut couper des courants bien plus élevés que celle-ci : par exemple, un interrupteur différentiel de courant nominal 40 A ouvrira un circuit dans lequel circule environ 40 A mais pas beaucoup plus, tandis qu’un disjoncteur différentiel de même valeur nominale s’ouvrira sous des courants de 3000 A, voire de 6000 A. De fait, un interrupteur différentiel n’est pas capable de protéger d’un court-circuit, ce-dernier risquant de détruire ses contacts. Notons toutefois qu’un grand intérêt des interrupteurs différentiels est qu’il sont moins onéreux que les disjoncteurs différentiels (environ deux fois moins cher).

La différence d’intensité du courant à laquelle réagit un disjoncteur est appelée la *sensibilité différentielle du disjoncteur*, notée  $I\Delta n$ . Elle est obligatoirement de 30 mA sur les circuits terminaux domestiques, mais il peut y avoir d’autres sensibilités suivant les applications. Nous avons reporté sur la figure 9 le schéma d’un dispositif différentiel à courant résiduel dans le cas d’une installation monophasée. Nous pouvons voir que la

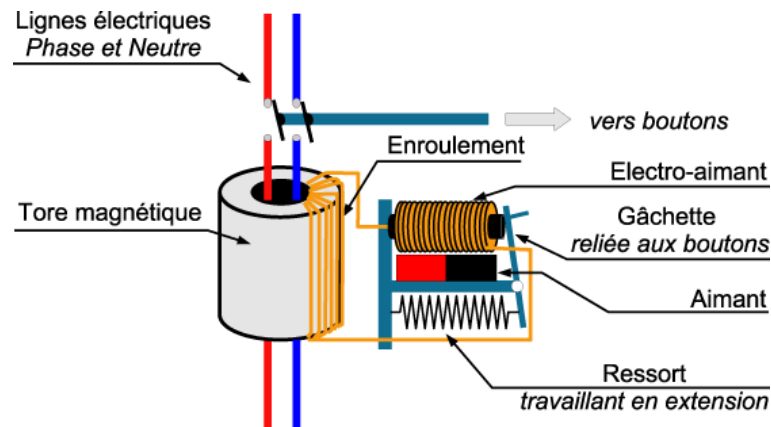


FIG. 9 : Schéma de fonctionnement d’un dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) pour une installation monophasée. Un relai sensible permet d’évaluer la différence entre les courants de phase et de neutre et d’ouvrir le circuit par mouvement de la gâchette.

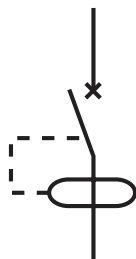


FIG. 10 : Symbole électrique du disjoncteur différentiel

phase et le neutre traversent un tore magnétique. Ils y induisent deux champs magnétiques de même direction mais de sens opposés. Lorsqu'il n'y a pas de défaut dans le circuit, le courant qui traverse le conducteur de phase est égal à celui qui traverse le fil relié au neutre du générateur et, par conséquent, les champs magnétiques présents dans le tore ont un même module, une même direction mais un sens opposé : ils s'annulent. Il n'y a donc pas de courant qui circule dans le relais sensible : la gâchette est maintenue dans une position fermée par l'aimant permanent, en dépit des efforts du ressort. Par contre, si les valeurs des courants de phase et de neutre sont différentes, les champs magnétiques créés dans le tore ne peuvent plus s'annuler : il apparaît alors au sein du tore un champ magnétique alternatif qui va engendrer à son tour un courant dans l'enroulement alimentant l'électro-aimant. Ce dernier induit alors un champ magnétique qui s'oppose à celui de l'aimant permanent, ce qui permet à la gâchette de se libérer de l'emprise de l'aimant. Celle-ci subit alors la force de rappel du ressort et bascule dans la position ouverte, provoquant ainsi la coupure du courant. Nous avons reporté sur la figure 10 le symbole électrique du disjoncteur différentiel.



**Attention**

Un DDR ne **permet pas de protéger** contre le risque électrique par contact direct **phase-neutre** puisque ce circuit correspond au fonctionnement normal de l'installation.