

## C11 - Circuits de puissance et sécurité électrique

### • Sécurité électrique - Norme C 15-100

#### *Dangers du courant électrique*

Chaque année en France : près de 2000 accidents, et près de 200 morts par électrocution.

Le courant électrique agit sur le corps de plusieurs façons :

- . Tétanisation : contraction musculaire (membres et cage thoracique notamment).
- . Brûlure : lésions par effet thermique externes ou internes (les plus graves).
- . Action sur le cœur : désorganisation complète (fibrillation ventriculaire)
- . Effets secondaires : complications cardio-vasculaires, neurologiques, rénales, etc...

Le danger d'électrocution est lié à l'intensité du courant, à sa nature et à sa durée.

<u>Courant alternatif 50-60 Hz</u>		<u>Courant continu</u>	
1A	▲	130 mA	▲
75mA	▲		▲
30 mA	▲	non défini	▲
10 mA	▲	2 mA	▲
0,5 mA	▲		▲
	▲		▲

NB : la sensibilité du corps humain au courant alternatif diminue avec la fréquence. Elle devient équivalente à la sensibilité en courant continu vers 10 kHz.

Paramètres à prendre en compte dans l'évaluation des risques : l'énergie absorbée par le corps est  $W = R.I_C^2.t$

- .  $I_C$  : courant circulant dans le corps
- .  $R$  : résistance du corps
- .  $t$  : temps de passage du courant dans le corps

⇒ 1) ce n'est pas la tension de contact  $U_C$  qui en soi représente un danger, mais le courant  $I_C$ .

La tension découle de la relation  $U_C = R.I_C$ .

2) l'énergie absorbée est proportionnelle au temps pendant lequel le corps est soumis au courant  $I_C$ .

(C'est pourquoi les décharges électrostatiques ou les clôtures électriques, qui mettent en jeu des impulsions courtes de tensions élevées sous des intensités faibles, sont sans danger pour les animaux et les humains).

⇒ les dispositifs de protection (disjoncteurs, fusibles) sont conçus pour limiter les deux paramètres  $I_C$  et  $t$ .

Des études ont été réalisées, qui établissent les courbes  $t = f(I_C)$ ,  $t = f(U_C)$ ,  $R = f(U_C)$  (voir compléments, graphes I, II et III). Conclusions :

- la résistance moyenne du corps humain varie de quelques dizaines de  $k\Omega$  (peau sèche + mauvais contact électrique) à quelques  $k\Omega$  (peau humide + bon contact). Par exemple, avec  $R = 5000 \Omega$  sous 230 V,  $I_C$  vaut 46 mA, courant qui n'est supportable que pendant une durée de l'ordre du dixième de seconde tout au plus.

- on définit la tension limite conventionnelle de sécurité  $U_L$  ou TBT (Très Basse Tension) : c'est la tension de contact  $U_C$  maximale admissible pendant au moins 5 secondes. De ces graphes on déduit le temps de coupure maximal du dispositif de protection :

TBT		
UL (volts eff)		locaux
AC	DC	
50	120	secs (habitations, ateliers,...)
25	60	mouillés (extérieur, chantier,...)
12	30	immergés (salles d'eau, piscines,...)

tension de contact (AC)	temps de coupure maxi (local sec)
120	0,34 s
220	0,17 s
280	0,12 s
350	0,08 s
500	0,04 s

### Risques électriques

**Contact direct** : accidents liés à la maladresse et/ou à l'imprudence de l'utilisateur. Dans ce cas, la totalité du courant de fuite traverse le corps humain. Exemples :

- . Toucher entre deux conducteurs actifs
- . Toucher entre un conducteur et la terre (cas le plus fréquent)

**Contact indirect** : Contact avec une masse métallique mise accidentellement sous tension : accidents liés seulement à l'état du matériel employé. Dans ce cas, seule une partie du courant de fuite traverse le corps humain. Exemples :

- . Contact avec une masse métallique mise sous tension par défaut d'isolement
- . Contact par l'intermédiaire d'un outil conducteur (ex. : échelle métallique)
- . Contact par l'intermédiaire d'un liquide (ex. : uriner sur un câble défectueux, arroser un moteur sous tension)
- . Contact accidentel avec une canalisation électrique (ex. : utilisation d'une perceuse).
- . etc...

### Protection contre les risques électriques (voir détails plus bas)

**Contact direct** :

- . **Prévention** (protection préventive) : Isolation des parties actives  
Enveloppes, coffrets et barrières  
Éloignement (ex.: lignes aériennes)  
Emploi de TBTS fournie par un transfo. de sécurité

. **Sanction** (protection complémentaire) : Disjoncteur différentiel (mise hors tension du circuit dans un temps inférieur à  $x$  ms).

 Un dispositif différentiel seul, c'est-à-dire non associé à une prise de terre est dangereux car il ne peut fonctionner !

**Contact indirect** :

- . **Prévention** (protection préventive) : Emploi de matériel classe II (double isolation)  
Liaison équipotentielle locale (non reliée à la terre)  
Séparation électrique (transformateur d'isolement)

. **Sanction** (protection complémentaire) : liaison des masses métalliques à la terre et coupure automatique de l'alimentation. Les règles de base sont les suivantes :

Toute masse doit être reliée à un conducteur de protection (PE) lui-même relié à la terre.  
Deux masses accessibles simultanément doivent être reliées à une même prise de terre.

Coupure automatique de l'alimentation par un dispositif de protection de la partie de l'installation où se produit le défaut, et ce en un temps d'autant plus court que la partie en défaut est portée à un potentiel plus élevé.



La connaissance des schémas de mise à la terre est indispensable (voir plus bas).

### **Prévention des risques thermiques**

Associés aux risques d'origine électrique, il existe des dysfonctionnements possibles du matériel susceptibles de provoquer des brûlures ou des incendies : mauvais contact, court-circuit, échauffement prolongé (exemple : moteur calé  $\Rightarrow$  augmentation de l'intensité absorbée  $\Rightarrow$  mise à feu des isolants).

La protection électrique des équipements doit prendre en compte les risques de cette nature : prévention des surtensions, surintensités, surcharges diverses.

La température limite des surfaces des équipements électriques à ne pas dépasser est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Surfaces accessibles	Température maximale (°C)	
	Métalliques	Non métalliques
Organes de commande manuel	55	65
Surfaces accessibles mais non destinées à être touchées en service normal	80	90

### **Mesures à prendre en cas d'accident électrique**

Si une personne est soumise à un choc électrique, il **FAUT** :

**1) Protéger** : couper le courant en manœuvrant l'arrêt d'urgence, l'interrupteur, ou ouvrir les fusibles. Si cela n'est pas possible, le sauveteur doit s'isoler pour dégager la victime.

**2) Secourir** : entreprendre la respiration artificielle et éventuellement un massage cardiaque.

Technique du bouche à bouche :
<p>1) Victime : tête renversée en arrière au maximum, mâchoire inférieure en avant (dents inférieures en avant des dents supérieures), nettoyage de la cavité buccale si nécessaire (pour cela mettre la victime sur le côté), pour dégager la gorge. Sauveteur : placé à côté de la victime. Inspire à fond (environ le double de l'inspiration normale)</p> <p>2) Inspiration de la victime (expiration du sauveteur): le sauveteur applique la bouche bien ouverte autour de la bouche de la victime et ferme avec sa main le nez de la victime. Puis il souffle : le thorax de la victime doit alors se soulever. 12 à 15 insufflations par minute.</p> <p>3) Expiration passive de la victime. Entre chaque insufflation, le sauveteur se redresse à fond. Pendant cette étape, il ne faut pas fermer le nez de la victime.</p>

**3) Alerter** : téléphoner au SAMU (15) ou, *à défaut*, aux pompiers (18). Ces numéros sont des appels gratuits. Ou, à défaut, appel d'urgence européen : 112.

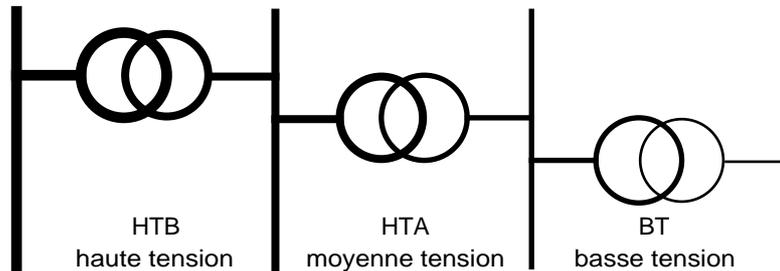
## • Structure générale d'un réseau de distribution électrique

*Nomenclature :*

Domaines	Courant alternatif (volts efficaces)	Courant continu lisse (ondulation < 15%)
HTB	$U > 50 \text{ kV}$	$U > 75 \text{ kV}$
HTA	$1 \text{ kV} < U \leq 50 \text{ kV}$	$1,5 \text{ kV} < U \leq 75 \text{ kV}$
BTB	$500 \text{ V} < U \leq 1 \text{ kV}$	$750 \text{ V} < U \leq 1,5 \text{ kV}$
BTA	$50 \text{ V} < U \leq 500 \text{ V}$	$120 \text{ V} < U \leq 750 \text{ V}$
TBT	$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 120 \text{ V}$

### Réseau de distribution de courant alternatif

Structure :



Fréquences : 50 Hz en Europe

60 Hz Angleterre - USA

400 Hz Bateaux, Avionique, ...

Tensions : HTB : 220 kV et 60 kV : transport et distribution

60 kV : alimentation des installations de puissance > 12 MW

HTA : 20 kV : alimentation des installations de puissance jusqu'à 12 MW

3 kV et 5,5 kV : alimentation des installations de puissance comprise entre 100 et 1500 kW

BTB :  $690 \approx 400\sqrt{3} \text{ V}$

BTA : 230 V et  $400 \approx 230\sqrt{3} \text{ V}$  : distribution à usage domestique ou artisanal

TBT : établie en relation avec la tension limite conventionnelle de sécurité  $U_L$ .

### Références de potentiel d'un réseau de distribution : Prise de terre

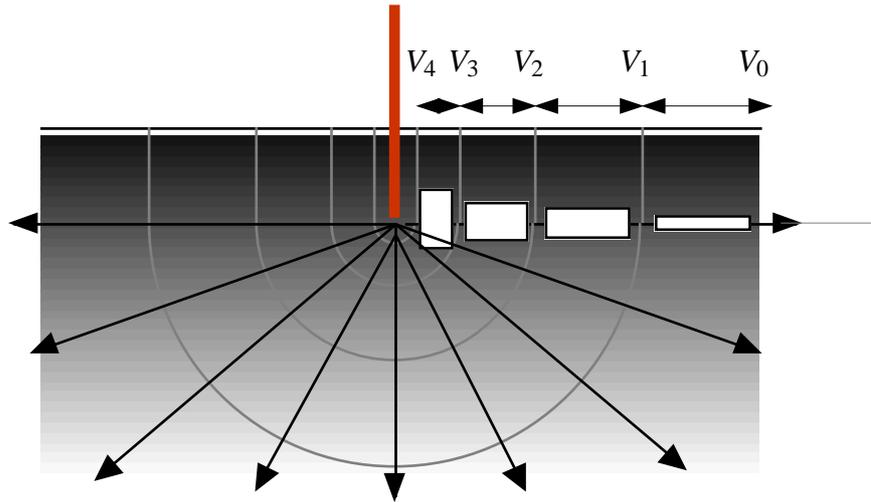
Une prise de terre est une électrode métallique enfoncée dans le sol (piquet, grillage) ou enfouie (par exemple câble ceinturant les fondations d'un bâtiment).

La masse terrestre se comporte comme un conducteur parfait de résistance nulle (mais présentant une réactance inductive lorsqu'il est inséré dans un circuit électrique).

Les couches géophysiques sont équivalentes à un ensemble de résistances en série. Mais les lignes de courant se dispersent dans le sol : en traversant des sections de sol de plus en plus grande, la résistance rencontrée est de plus en plus faible, et la ddp correspondante tend vers zéro. A partir d'une certaine limite (en général inconnue), le potentiel atteint est le potentiel de référence  $V_0$ .

Il existe donc autour d'une prise de terre une zone d'influence dont l'étendue dépend de la résistivité du sol et surtout de son taux d'humidité.

Toute connexion à ce conducteur se solde donc par une résistance de contact  $R_T$  appelée *résistance de prise de terre*, qui dépend de la surface de ce contact et de la nature du sol local.



Valeur de  $R_T$ :  $R_T = \frac{U_L}{I_A}$

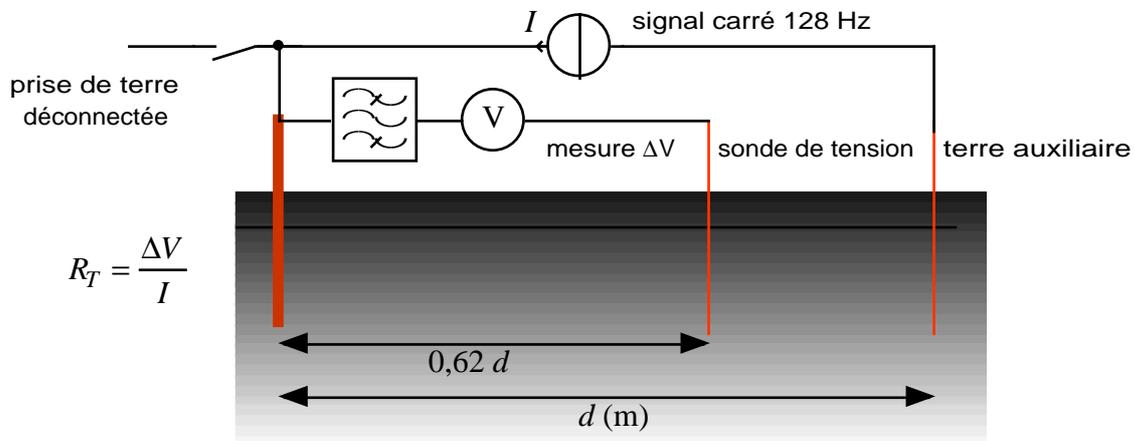
$U_L = 25$  ou  $50$  V (voir plus haut)

$I_A =$  courant de déclenchement du dispositif de protection (voir § C12)

Exemple :  $U_L = 25$  V ;  $I_A = 500$  mA  $\Rightarrow R_T = 50 \Omega$

La norme UTE impose  $R_T < 25 \Omega$  ; la norme DIN impose  $R_T < 10 \Omega$  ; les sociétés de télécommunications recommandent  $R_T < 5 \Omega$ .

Méthode de mesure de  $R_T$  ("méthode des 3 pôles") :



NB1 : l'appareil réunissant les différents éléments nécessaires à cette mesure s'appelle un *ohmètre de terre*.

NB2 : il existe d'autres méthodes qui ne nécessitent pas la déconnexion de la prise de terre pendant la mesure.

**Liaisons équipotentielles d'un réseau de distribution. Masses :** ou

**PE :** conducteur de protection (couleur vert et jaune). Conducteur reliant les masses métalliques à une prise de terre.

Doivent être reliés à la terre :

- les structures métalliques des bâtiments
- les enveloppes métalliques des appareils électrodomestiques

- les enveloppes métalliques des appareils électrodomestiques
- les masses des machines fixes ou mobiles de chantier, de bureau, d'atelier
- les éléments métalliques des salles d'eau, piscines, de tout équipement situé à l'extérieur ou en contact avec un liquide conducteur (dont l'eau).

NB 1 : il est interdit d'utiliser comme prise de terre ou comme conducteur de protection les canalisations de gaz, de vidange, de chauffage central, ainsi que les gaines métalliques des câbles. Mais il est important de mettre ces dispositifs à la terre.

NB 2 : aucun fusible, interrupteur ou disjoncteur ne doit être intercalé dans les conducteurs de protection PE.

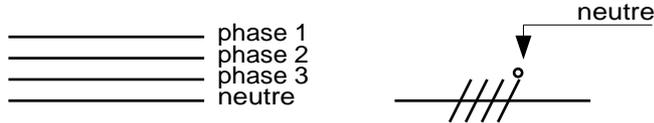
**Ligne équipotentielle** (couleur rouge) : mise au même potentiel de masses métalliques différentes.

Exemple : dans une salle de bains, liaison entre tous les éléments conducteurs (canalisations, corps métallique des appareils sanitaires, etc). Symbole : 

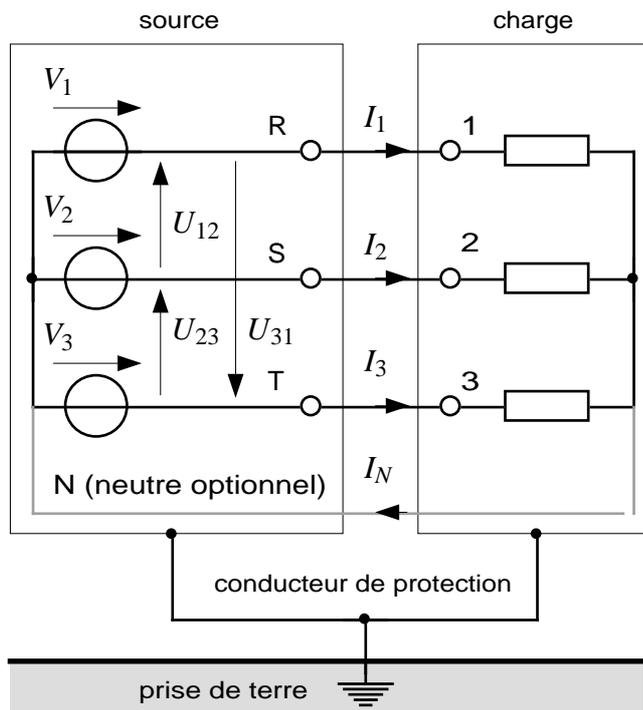
**Distribution électrique :**

- *monophasée* : pour des courants < 60 A
- *triphasée* :

Symbole :



Installation type :



Tensions simples :

$$V_1 = V_2 = V_3 = V$$

Tensions composées :

$$U_{12} = U_{23} = U_{31} = U$$

Courants de lignes :

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

Régime triphasé équilibré :

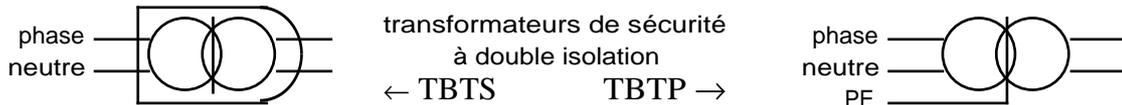
- les tensions de même type ont même valeur efficace
- le courant dans le neutre est nul  $\Rightarrow$  le fil de neutre n'est parcouru par un courant qu'en cas de régime triphasé déséquilibré. Mais même si ce courant est nul (régime équilibré) le fil de neutre sert à fixer le potentiel des phases qui sont référencées par rapport à lui.

• **Protections préventives des risques électriques**

**TBT : définitions**

TBTS : Très Basse Tension de Sécurité : par principe, sécurité assurée en toute circonstance, à l'aide d'une alimentation de sécurité à double isolation.

Les instruments utilisés en instrumentation doivent être préférentiellement réalisés dans ce mode. Le régime TBTS est nécessaire dès qu'il y a possibilité de contact avec des conducteurs nus : il est recommandé pour tous les circuits de commande et de mesure en instrumentation.



TBTP : Très Basse Tension de Protection : même dispositif qu'en TBTS mais avec une liaison supplémentaire à la terre. Remplace la TBTS par nécessité fonctionnelle, notamment en électronique lorsqu'une mise à la terre est indispensable au bon fonctionnement des circuits (par ex. : blindage HF, règles CEM, etc). Remarque :  $U_L(TBTP) = U_L(TBTS) / 2$ .

Aucune précaution n'est à prendre en TBTS et TBTP vis-à-vis des règles d'électrification. Il y a lieu toutefois de se prémunir des risque de court-circuits et de brûlures (publication UTE C 18-530).

TBTF : Très Basse Tension Fonctionnelle : utilisée à défaut de TBTP, lorsque le matériel ne répond à aucune spécification particulière (pas de transformateur de sécurité par exemple).

 En TBTF, toutes les règles de sécurité de la BT doivent être appliquées !

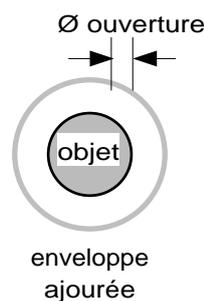
Voir tableau I.

**Protection des enveloppes de l'appareillage électrique BT : indices IP et IK**

Indice IP X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>(X<sub>3</sub>) ; indice IK X<sub>3</sub>

X<sub>1</sub> : 1er chiffre : protection contre les corps solides.

Spécifie la taille maximale des objets susceptibles de pénétrer l'enveloppe de protection de l'appareil.



X<sub>2</sub> : 2ème chiffre : protection contre les liquides

X<sub>3</sub> : 3ème chiffre ou indice IK : protection contre les chocs.

Exemple : IP66 = protection totale contre les poussières et protection contre les paquets de mer.

Indices courant : IP 2X (impossibilité de toucher un conducteur actif avec le doigt)

IP 3X (impossibilité de toucher un conducteur actif avec un outil)

IP X1 (protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau)

IP X4 (protégé contre les projections d'eau dans toutes les directions)

IP X7 (matériel utilisable en immersion)

Voir compléments, tableaux II, III et IV.

**Classes de protection contre les chocs électriques**

L'appareillage électrique de mesure est classé selon la norme CEI 1010 (ou norme européenne EN 61010-1) : on distingue les classes 0, I, II et III (voir compléments, tableau V). La classe I concerne les matériels reliés à la terre, la classe II les matériels non reliés à la terre bénéficiant d'une double isolation.

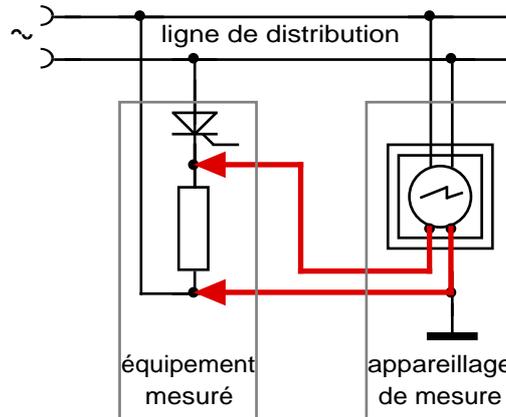
Exemple d'utilisation : cas d'une mesure à l'oscilloscope sur un circuit actif BT.

. Oscilloscope de classe II ( marquage :  ) :

Mesure "flottante" : mesurage d'une différence de potentiels dont aucun n'est potentiel d'origine.  
Aucune partie accessible n'est susceptible d'être dangereuse pour l'opérateur.

**Toutefois, il est impératif d'utiliser pour la mesure des sondes de sécurité de catégorie III**

(marquage :  ) .

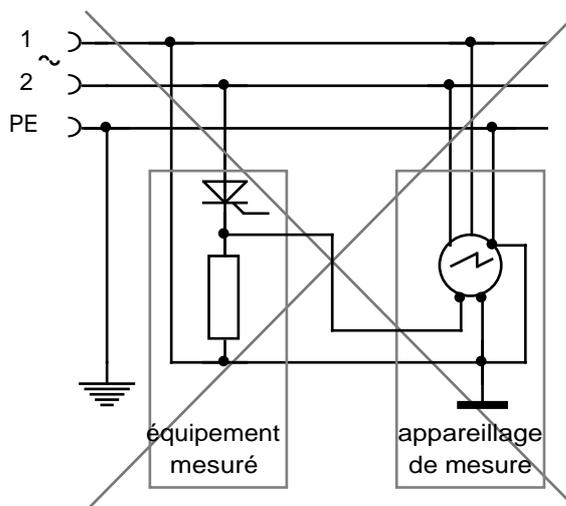


. Oscilloscope de classe I (marquage :  ) :

Par construction, un oscilloscope de catégorie I a sa masse et son enveloppe (si celle-ci est métallique) reliées à la terre. Il est donc impossible de réaliser des mesures flottantes (c'est-à-dire non référencées par rapport à la terre).

 **Il est strictement interdit** d'utiliser un transformateur d'isolement ou de couper la terre de l'appareil.

Mesure repérée par rapport à la terre : impossible, car **risque de court-circuit par la terre** si le conducteur 1 est un conducteur de phase



**Catégories de surtension**

Caractérise l'efficacité de l'isolation d'un matériel : surtension maximale admissible pour un matériel donné en cas d'incident technique (voir compléments, tableau VI).

### Marquage CE

La mise sur le marché de tout équipement électrique ou électronique impose de respecter les exigences essentielles des directives européennes.

La conformité à ces directives permet au fabricant ou au mandataire d'apposer le marquage **CE** sur ses produits et ainsi d'accéder à leur libre circulation dans la Communauté Européenne. Deux directives sont applicables à l'ensemble des produits intégrant de l'électronique :

- La directive Compatibilité Electromagnétique (CEM) 89/336/CEE obligatoire depuis le 01/01/1996. (voir § A15)
- La directive sécurité électrique ou Directive Basse Tension (DBT) 73/23/CEE obligatoire depuis le 01/01/1997

La DBT rassemble toutes les normes de sécurité électrique (indice de protection, classe, catégorie de surtension). Les principales normes sont les suivantes :

- EN 60950 : machines de bureau et de traitement de l'information
- EN 60335-1 : appareils électro-domestiques et analogues
- EN 61010-1 : appareils de tests et de mesures de laboratoire
- EN 60204-1 : équipement électrique des machines industrielles
- EN 60598-1 : luminaires
- EN 61131-2 : automates programmables, spécifications et essais d'équipement

...

Les quatre tests de base communs à la majorité des normes sont indiqués en compléments.

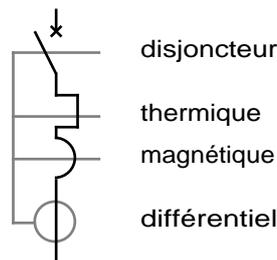
### • Régimes de neutre

Régime	Connexion du Neutre de l'installation	Connexion des Masses des équipements	Utilisation courante
TT	Neutre relié à la terre	Masses reliées à une prise de terre	Installation domestique
TN	Neutre relié à la terre	Masses reliées au neutre	Installation industrielle
IT	Neutre isolé ou relié à la terre par une impédance	Masses reliées à une prise de terre	Si continuité de service exigée

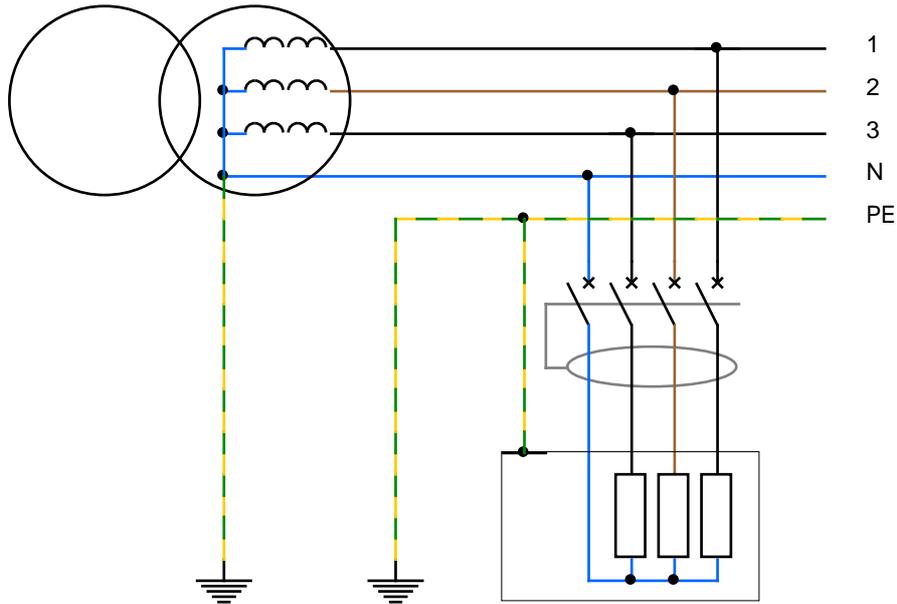
- NB : - si l'utilisateur n'est pas propriétaire du transformateur : régime TT imposé par EDF  
 - si l'utilisateur est propriétaire du transformateur : régime TT, TN ou IT

Exemples de situations où le régime IT est obligatoire : bloc opératoire, verrerie, nucléaire, immeuble de grande hauteur, ...

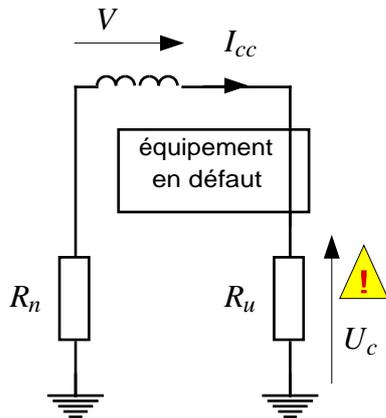
Dispositif de protection (voir §C12), symbole :



**TT (Terre - Terre)**



Courant de défaut :



$V$  : tension entre phase et neutre  
 $R_{n,u}$  : résistances des prises de terre

$I_{cc}$  : courant de défaut (court-circuit) :

$$I_{cc} = \frac{V}{R_n + R_u}$$

$U_c$  : tension de contact entre la masse de l'équipement et le sol :

$$U_c = R_u \cdot I_{cc}$$

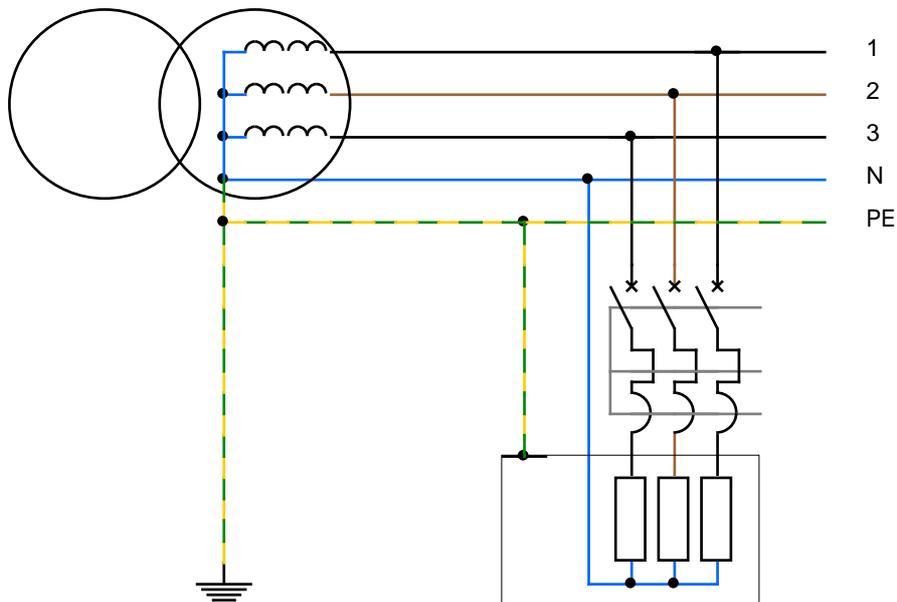
Il faut :

$$U_c < U_L$$

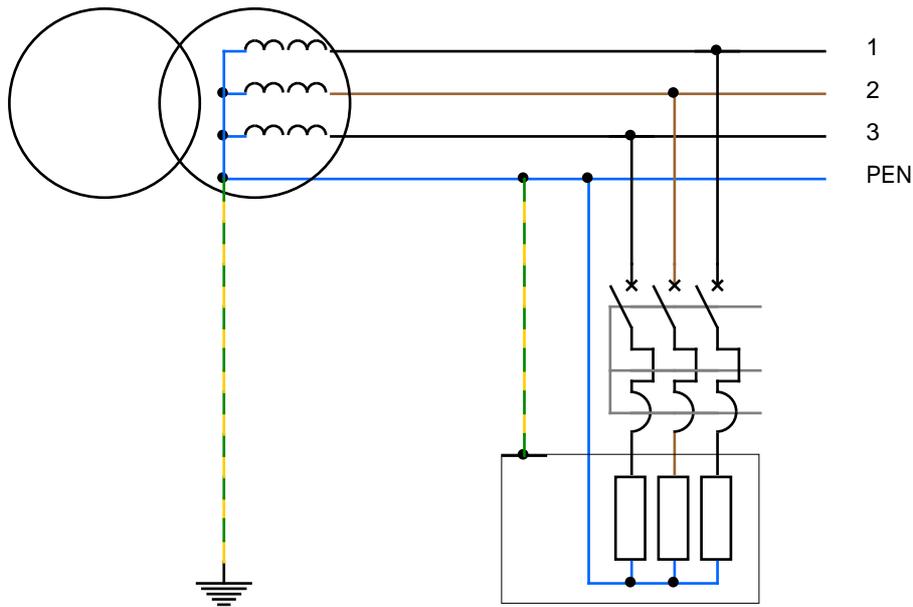
$I\Delta n$  : seuil de déclenchement du DDR

(dispositif différentiel de protection) :  $I\Delta n < \frac{U_L}{R_u}$

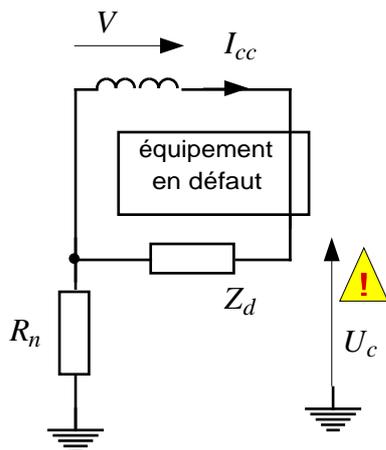
**TNS (Terre - Neutre avec N et PE Séparés)**



**TNC (Terre - Neutre avec N et PE communs)**



Courant de défaut :



$V$  : tension entre phase et neutre

$Z_d$  : impédance de la boucle de défaut (dépend essentiellement de la longueur de la ligne)

$I_{cc}$  : courant de défaut (court-circuit) :  $I_{cc} = \frac{V}{Z_d}$

$U_c$  : tension de contact entre la masse de l'équipement et le sol :

$U_c = V$

Il faut :

$t(U_c) < t_{limite}$

$I_f$  : courant de fonctionnement du dispositif

de protection dans le temps limite  $I_f < I_{cc}$

Temps maximal de coupure (norme C 15-100) :

tension nominale (AC)	temps de coupure maxi
120 - 127	0,8 s
220 - 230	0,4 s
380 - 400	0,2 s
> 400	0,1 s

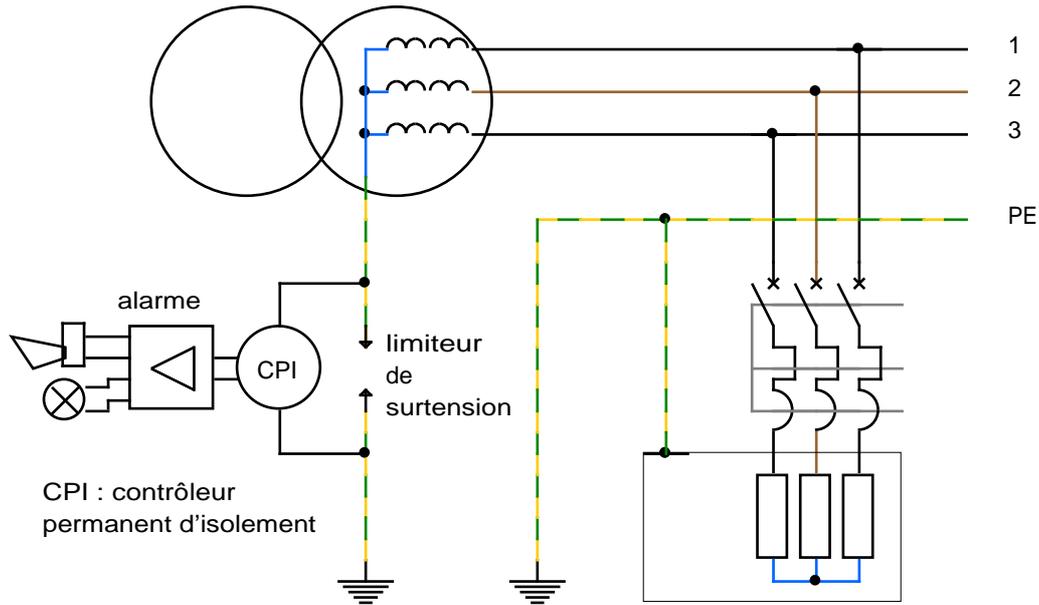
Norme concernant la longueur maximale de la ligne d'alimentation de l'équipement :

$$l_{max} = \frac{0,8 V S_{ph}}{\rho \left( 1 + \frac{S_{ph}}{S_{PE}} \right) I_f}$$

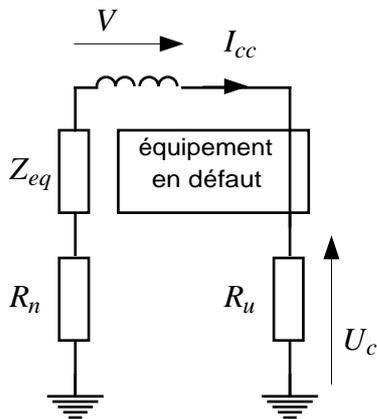
$\rho$  : résistivité des conducteurs de phase  
 $S_{ph}$  : section des conducteurs de phase  
 $S_{PE}$  : section du conducteur de protection (N ou PEN)

Une installation TN est économique (TNC notamment), mais doit d'abord être calculée avant d'être installée, puis vérifiée.

**IT (Isolation - Terre)**



Courant de 1er défaut :

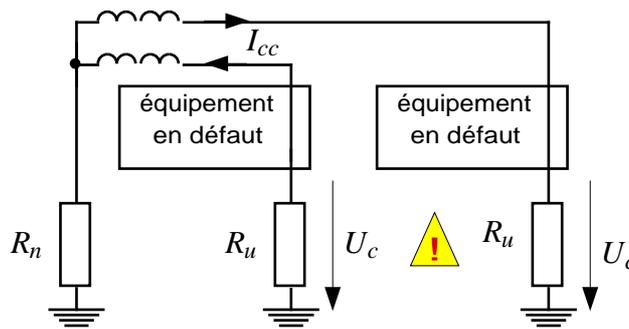


- $V$  : tension entre phase et neutre
- $Z_{eq}$  : impédance équivalente entre la ligne d'alimentation et la terre (voir § C13) ; en général très grande.
- $R_{n,u}$  : résistances des prises de terre  $R_n + R_u \ll Z_{eq}$
- $I_{cc}$  : courant de défaut (court-circuit) :  $I_{cc} \approx \frac{V}{Z_{eq}}$
- $U_c$  : tension de contact entre la masse de l'équipement et le sol :  $U_c = R_u \cdot I_{cc}$
- Il faut (vrai en général) :  $U_c < U_L$

Le limiteur de surtension a pour but d'éliminer les surtensions par rapport à la terre en cas de claquage entre enroulements du transformateur : il transforme le régime IT en régime TN en cas de surtension importante.

Le premier défaut est signalé par le CPI. Il faut disposer d'un système de localisation du défaut pour pouvoir intervenir sur le champ.

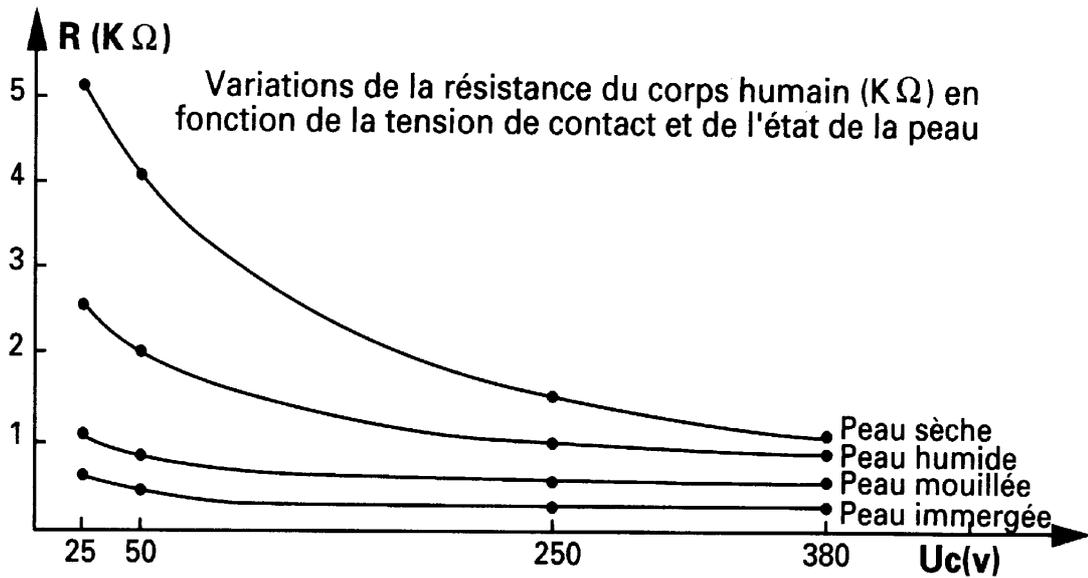
Dans le cas contraire, dans l'hypothèse de la survenue d'un deuxième défaut, la sécurité est assurée comme en régime TN par le disjoncteur magnéto-thermique – ce qui entraîne une interruption de service. Exemple de deux défauts simultanés :



Comme en régime TN, une installation IT doit être calculée et vérifiée.

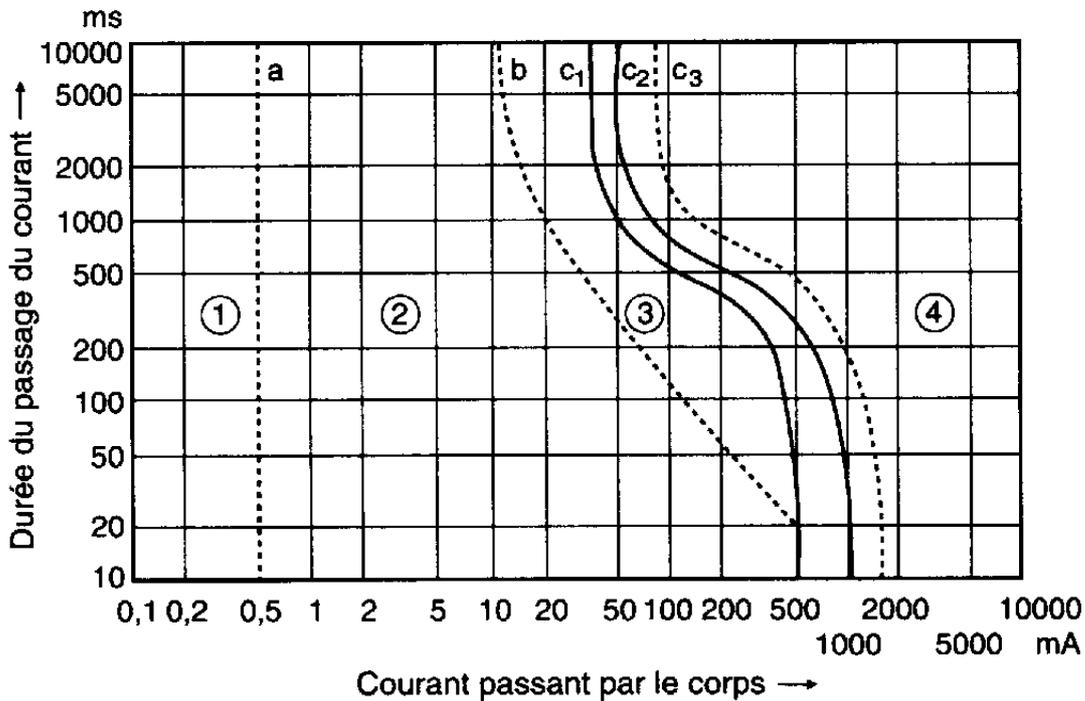
\*\*\*\*\* COMPLEMENTS \*\*\*\*\*

Grappe I :  $R = f(U_c)$



NB : cette résistance doit être augmentée des résistances de contact qui peuvent être très variables.

Grappe II :  $t = f(I_c)$



- . Zone 1 : aucune réaction
- . Zone 2 : aucun effet physiologique dangereux
- . Zone 3 : aucun dommage organique. Probabilité de contractions musculaires et de difficultés de respiration, de perturbations réversibles du fonctionnement cardiaque.
- . Zone 4 : Probabilité de fibrillation cardiaque (courbe  $c_2$  : 5% ; courbe  $c_3$  : 50%), arrêt cardiaque, arrêt respiratoire, brûlures graves, augmentant avec l'intensité et le temps.

Grphe III :  $t = f(U_c)$

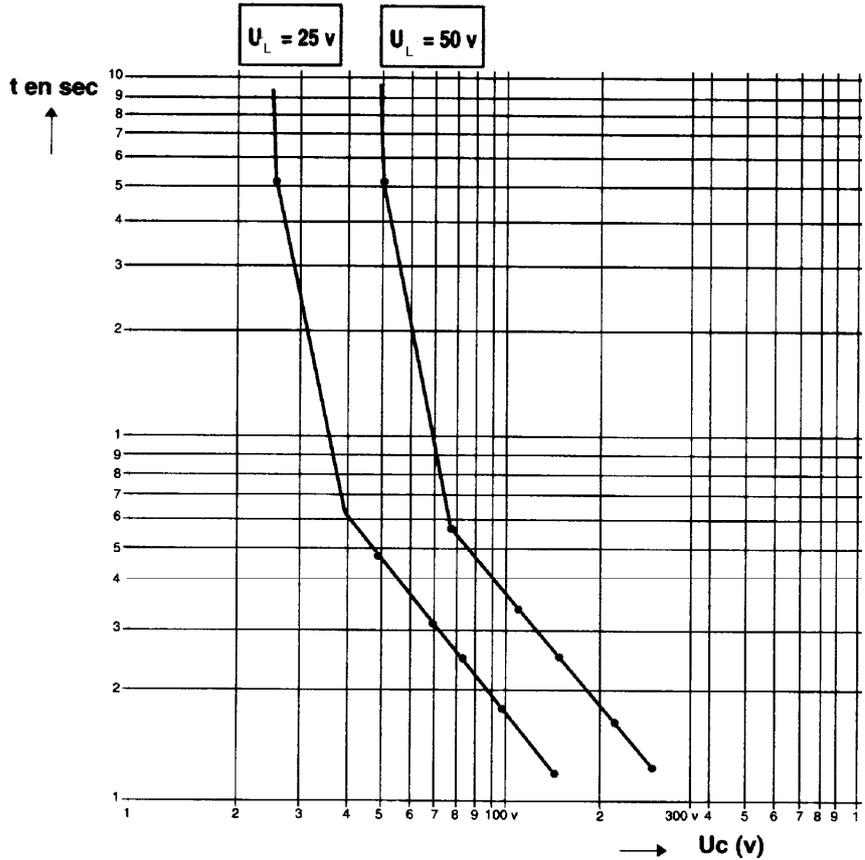


Tableau I : Définition de la TBT ↓

Catégorie	Tension limite $U_L$ (Veff)				Transfo ( $U < U_L$ )	Liaison à la terre des parties actives	Sectionnement et protection contre les courts-circuits	Protection contre les contacts indirects	Protection contre les contacts directs	Récepteur
	mouillé		sec							
	AC	DC	AC	DC						
TBTS	25	60	50	120	Tr. de sécurité norme CEI 742	Interdite	tous conducteurs actifs	NON	NON	
TBTP	12,5	30	25	60	Tr. de sécurité norme CEI 742	OUI	tous conducteurs actifs	NON	NON	
TBTF	50	120	50	120	Transfo. quelconque	OUI	tous conducteurs actifs	OUI	OUI (IP 2X)	

**Tableau II : Indices de protection des appareils**

Indice	protection contre les corps solides
IP 0X	pas de protection
IP 1X	protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm ex. : contacts involontaires de la main
IP 2X	protégé contre les corps solides supérieurs à 12 mm (doigt d'épreuve longueur 80 mm) ex. : doigt de la main
IP 3X	protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm ex. : outils (tournevis,...), fils, vis
IP 4X	protégé contre les corps solides supérieurs à 1 mm ex. : outils fins, petits fils
IP 5X	protégé contre les poussières (pas de dépôt nuisible)
IP 6X	Totalement protégé contre les poussières

**Tableau III**

Indice	protection contre les corps liquides
IP X0	pas de protection
IP X1	protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (ex. : condensation)
IP X2	protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale
IP X3	protégé contre l'eau de pluie jusqu'à 60° de la verticale
IP X4	protégé contre les projections d'eau de toutes directions
IP X5	protégé contre les jets d'eau de toutes direction à la lance
IP X6	protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer
IP X7	protégé contre les effets de l'immersion
IP X8	protégé contre les effets de l'immersion prolongée dans des conditions spécifiées

**Tableau IV**

Indice	protection mécanique (résistance à un choc d'énergie donnée)
IK 0	pas de protection
IK 1	0,225 joule ( $\approx$ chute de 15 cm d'une masse de 150 g)
IK 3	0,500 joule ( $\approx$ chute de 20 cm d'une masse de 250 g)
IK 5	2,00 joules ( $\approx$ chute de 40 cm d'une masse de 500 g)
IK 7	6,00 joules ( $\approx$ chute de 40 cm d'une masse de 1,5 kg)
IK 9	20,00 joules ( $\approx$ chute de 40 cm d'une masse de 5 kg)

**Tableau V : Classes de protection contre les chocs électriques**

Classe	Symbole	Description	Utilisation, exemples
0		Parties actives isolées, mais pas de liaison possible des masses métalliques à la terre	Interdit dans l'industrie. Ex. : lampe de chevet
I		Parties actives isolées, liaison obligatoire des masses métalliques à la terre	Moteur électrique
II		Double isolation des parties actives. Jamais de liaison des masses métalliques à la terre	Perceuse portable, bloc d'alimentation TBT
III		Matériel alimenté en TBTS. Masses métalliques non reliées à la terre.	Lampe baladeuse

Tableau VI : Catégories de surtension

Catégorie	Symbole	Surtension	Description
IV	CAT IV	6000 V	Lignes aériennes, postes EDF 400 V, barres de distribution et matériels associés de protection contre les surintensités
III	CAT III	4000 V	Installations industrielles 230 / 400 V.
II	CAT II	2500 V	Appareils et matériels portatifs ou domestiques. Prises monophasées 230 V.
I	CAT I	500 V	Matériels spéciaux : télécommunications, électronique, etc. Transformateur d'isolement. Batterie 60 V.

**Marquage CE**

(Source : Française d'Instrumentation)

- Tests de tenue en tension

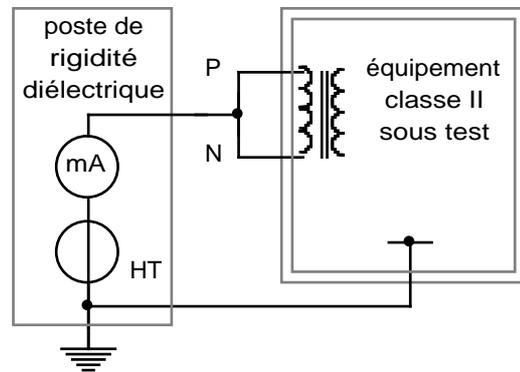
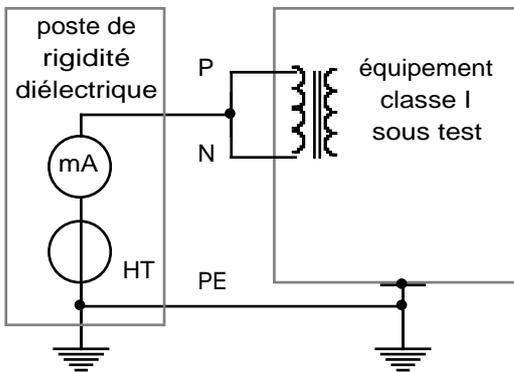
Sous haute tension, des courants appelés *courants de fuite* peuvent traverser des parties normalement isolantes (claquages de diélectriques par ex.) ou même former des arcs électriques entre deux points conducteurs séparés mais trop proches l'un de l'autre.

Ce test permet de vérifier que les lignes de fuite et les distances dans l'air respectent les conditions de sécurité.

On applique une tension entre l'alimentation de l'équipement sous test (conducteurs phase et neutre reliés ensemble)

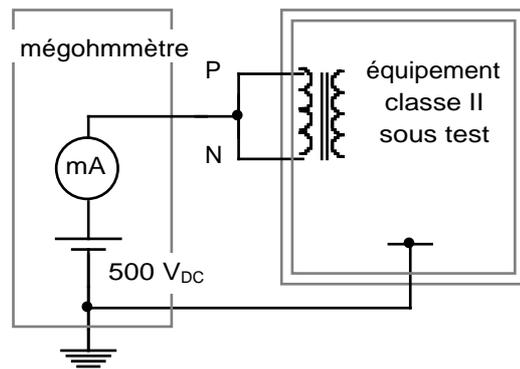
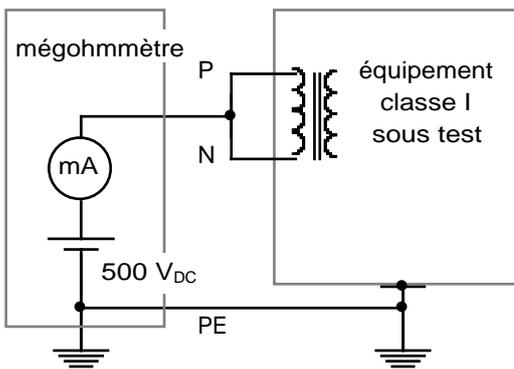
et :

- le conducteur de protection s'il s'agit d'un appareil de classe I
- divers points critiques s'il s'agit d'un appareil de classe II.



- Test d'isolement

La résistance d'isolement d'un équipement de classe I ou II ne doit pas être inférieure à 2 MΩ. La méthode de mesure, selon la classe de l'appareil, est similaire au test précédent.

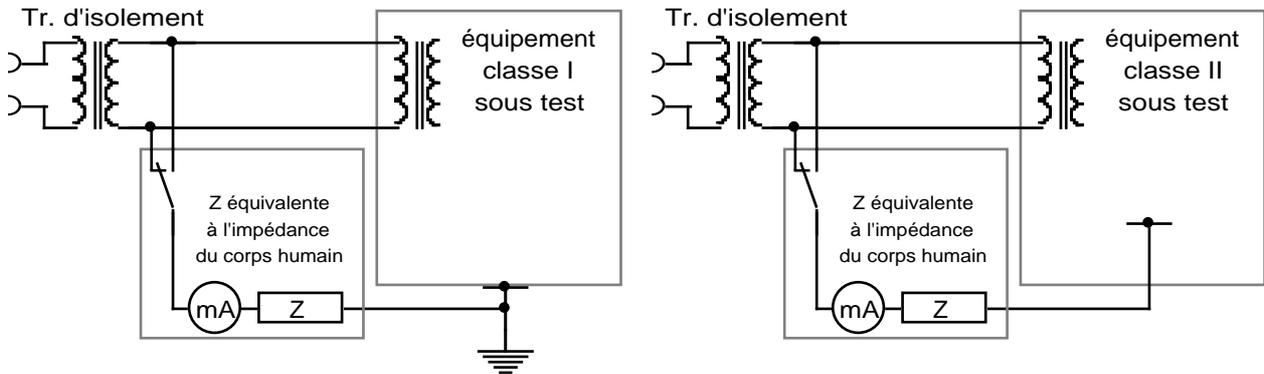


- Mesurage des courants de fuite

Dans les conditions normales de fonctionnement, le courant de fuite *maximal* depuis la source d'alimentation vers les parties accessibles doit être compris entre 0,01 mA et 10 mA selon la norme.

Un défaut relevé par ce test met en évidence une détérioration de certains composants ou une connexion défectueuse de l'équipement.

Ce test est effectué en condition normale de fonctionnement. L'équipement sous test est alimenté à tension nominale par l'intermédiaire d'un transformateur d'isolement. Le circuit de mesure du courant de fuite simule l'impédance du corps humain.



- Contrôle des continuités de terre

Toutes les parties accessibles d'un appareil de classe I doivent être correctement reliées au conducteur de protection de l'équipement.

Test : un courant électrique circule entre chaque partie conductrice accessible et la prise de terre de l'équipement. On mesure la chute de tension qui en résulte, et on en déduit la résistance résiduelle, qui doit être inférieure aux prescriptions de la norme (par ex. 0,5  $\Omega$  pour un luminaire).

