

2^{ème} année Licence : Electrotechnique et Automatique

Module: Protection Electriques

Chapitre 2 : Les Risques Electriques

I. Les différents accidents

1) *l'électrisation* (c'est l'effet excito-moteur, c'est-à-dire l'action de stimulation du courant sur les muscles ou les nerfs); selon l'intensité du courant on distingue :

- la secousse électrique ($I > 0,5 \text{ mA}$)
- les contractions musculaires ($I > 10 \text{ mA}$)
- la téτανisation des muscles respiratoires ($I > 30 \text{ mA}$)
- la fibrillation ventriculaire($I > 100 \text{ mA}$)
- l'arrêt du cœur ($I > 1 \text{ A}$)

2) *les brûlures*

- par arc ou par projection
- électrothermiques : elles sont provoquées par l'énergie dissipée par effet Joule dans le corps ($W = U.I.t$)

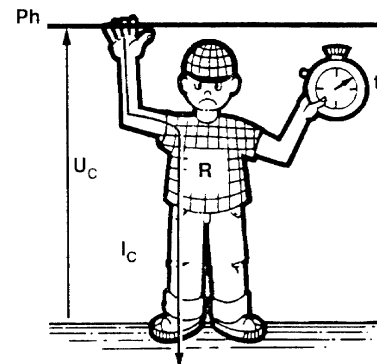
3) *Les effets secondaires*

- complications cardio-vasculaires
- complications rénales
- troubles psychiques ou organiques.

II. Paramètres à prendre en compte pour l'évaluation des risques.

Quatre paramètres interdépendants influent sur le niveau des risques :

- I_c : courant qui circule dans le corps humain,
- U_c : tension appliquée au corps,
- R : résistance du corps humain ($R_{\text{inteme}} + R_{\text{peau}}$)
- t : temps de passage du courant dans le corps.



III. Les données normalisées à appliquer pour la sécurité des personnes

1) Relation entre le temps de passage du courant et l'intensité de ce courant.

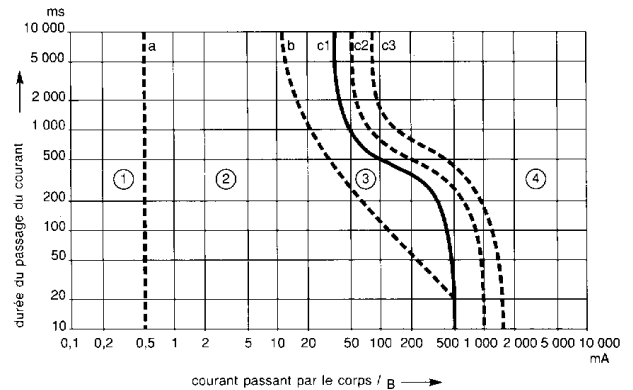
Les courbes ci-contre, issues de la norme CEI 479, illustrent la relation $t=f(I_c)$ et déterminent quatre zones.

Zone 1 : Le courant de choc est inférieur au seuil de perception ($I_c < 0,5$ mA). Il n'y a pas de perception du passage du courant dans le corps : aucun risque.

Zone 2 : Le courant est perçu sans réaction de la personne : habituellement, aucun effet physiologique dangereux.

Zone 3 : Le courant provoque une réaction : la personne ne peut plus lâcher l'appareil en défaut. Le courant doit être coupé par un tiers afin de mettre la personne hors de danger : habituellement sans dommage organique, mais probabilité de contractions musculaires et de difficultés respiratoires.

Zone 4 : En plus des effets de la zone 3, la fibrillation ventriculaire augmente de 5% des cas pour la courbe C_2 , 50 % des cas pour la courbe C_3 , et plus de 50% au-delà de cette dernière courbe, d'où des effets pathophysiologiques importants tels qu'arrêt du coeur, arrêt de la respiration, brûlures graves.



2. Relation entre le temps de passage du courant et la tension de contact.

Selon le type de local, la norme NFC 15-100 précise, pour une tension d'alimentation en courant alternatif, deux valeurs de tensions limites conventionnelles de sécurité U_L :

- $U_L = 25$ V pour les locaux mouillés,

- $U_L = 50$ V pour les locaux secs.

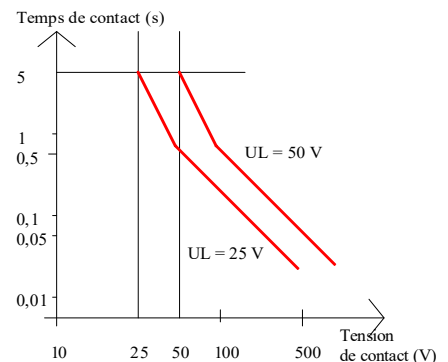
Ces tensions, non dangereuses dans des environnements précis, définissent des courbes où les risques sont contrôlés en fonction du temps de passage du courant dans le corps.

Pour des risques plus importants des alimentations en Très Basse Tension de Sécurité (TBTS) peuvent être requises : 12 V pour les endroits immergés, 25 ou 50 V pour les locaux humides ou secs.

Les courbes de la figure ci-contre illustrent la relation

$$t = f(U_c).$$

En courant continu lissé, les tensions limites conventionnelles sont respectivement 60V et 120V suivant qu'il s'agit de locaux ou emplacements de travail mouillés ou non.

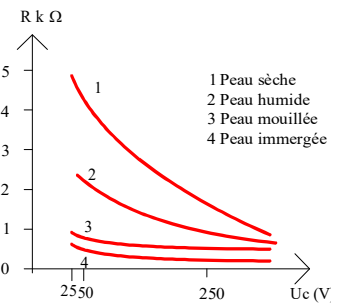


c. Relation entre la résistance du corps humain et la tension de contact.

La résistance du corps humain varie suivant que la peau est sèche ou humide, mouillée ou immergée.

La valeur minimale de la résistance du corps humain est 325Ω lorsque le corps est immergé, par exemple dans des salles de bains ou des piscines.

La figure ci-contre donne les courbes donnant la relation $R = f(U_c)$ entre la résistance du corps humain et la tension de contact.



Les quatre façons de s'électriser

Accidents liés à l'imprudence et à la maladresse de l'utilisateur.

CONTACTS DIRECTS

- Une personne travaille sur un câble et celui-ci est mis sous tension sans préavis.
- Utilisation d'un prolongateur mâle/mâle ou de cordons d'essais.
- Un enfant introduit des broches métalliques dans une prise de courant.

- Une personne rentre dans un poste de distribution et touche à une barre sous tension.
- Une personne touche une canalisation encastrée avec l'extrémité d'un outil.

Accidents liés seulement à l'état du matériel employé.

CONTACTS INDIRECTS

- Une personne touche la carcasse métallique d'un appareil électrique présentant un défaut d'isolement.
- Utilisation d'appareils anciens ou n'ayant pas fait l'objet d'une révision préventive.

- Comme dans le cas ci-contre, le récepteur est en défaut. Le retour vers la terre peut s'effectuer par un radiateur de chauffage central, par une huisserie métallique, par une autre carcasse reliée à la terre.

Chapitre 3 : Les Mesures De Protection

I. Contre les contacts directs

- mise en place d'enveloppes ou d'obstacles
- isolation des parties actives
- utilisation de la TRES BASSE TENSION.

D'autres mesures sont également recommandées :

- n'autoriser l'accès du local ou l'utilisation du matériel qu'à des personnes habilitées.
- utiliser un dispositif à courant différentiel résiduel haute sensibilité DDR ($I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$)

II. Contre les contacts indirects

- mise à la terre des masses ET dispositif de coupure automatique de l'alimentation (DDR). C'est le cas des salles de physique-chimie en régime de neutre TT.
- emploi de la double isolation ou l'isolation renforcée.
- emploi de la très basse tension
- par la séparation des circuits (transformateur de séparation n'alimentant qu'un seul appareil non relié à la terre : ex. prise rasoir dans les salles de bain)

III. Comment fonctionne un DDR

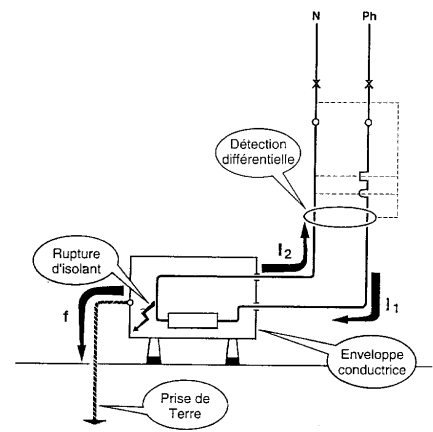
En l'absence de défaut (rupture d'isolant), on aura $I_1 = I_2$.

En présence d'un défaut d'isolement, on aura

$$I_1 > I_2 \text{ avec } I_1 - I_2 = I_f.$$

Le circuit de détection du différentiel va enregistrer cet écart entre le courant entrant et le courant sortant ouvrant ainsi les contacts.

L'équipement sera automatiquement mis hors tension.



Le disjoncteur différentiel (type AC)

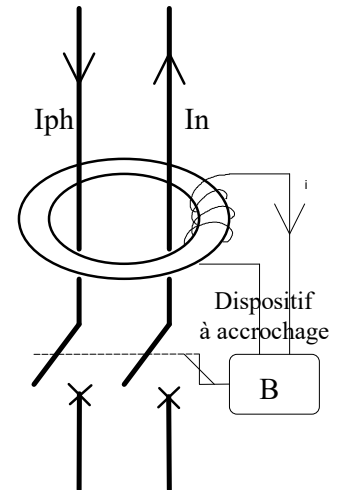
Th d'Ampère :

$$\mathcal{R} \cdot \Phi(t) = I_{ph}(t) - I_n(t)$$

si défaut I_d , I_{ph} et I_n différents et induisent un $\Phi(t)$ **variable**

Une **fém induite** apparaît et produit un courant suffisant pour exciter la bobine du relais et faire déclencher le contacteur .

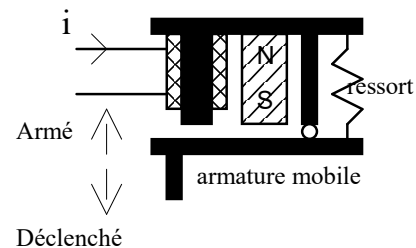
Remarque : Afin d'induire une fém suffisante , il faut que la réluctance du tore $R = l / (\mu_o \cdot \mu_r \cdot s)$ soit la plus faible possible . D'où le choix d'un matériau à haute perméabilité ($\mu_r = 50000$)



Remarque : Afin d'augmenter la sensibilité du

disjoncteur le relais comporte un aimant de pré polarisation
L'armature mobile est normalement attirée par l'aimant qui exerce une force d'attraction suffisante pour "coller"

L'apparition d'un courant induit alternatif modifie l'aimantation de façon variable, et, si l'aimantation diminue, l'armature mobile n'est plus suffisamment attirée, le ressort la rappelle et un dispositif mécanique fait déclencher le contacteur



Cependant , il faut remarquer que ce dispositif est sensible à une composante continue temporaire : Un impulsion de courant *unidirectionnelle* peut :

soit renforcer l'aimantation de l'armature, elle restera collée et le disjoncteur ne déclenchera pas

soit diminuer cette aimantation et le disjoncteur fonctionne

De plus la forte hystérésis du dispositif crée un effet de "**mémoire**" qui rend le fonctionnement asymétrique suivant le sens de l'impulsion de courant et de l'aimantation préexistante

ATTENTION : Il existe divers types de DDR

type AC sensible à un courant de défaut alternatif seulement (cf ci dessus)

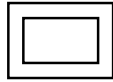
type A sensible à un courant de défaut continu fortement ondulé (à utiliser pour la protection des redresseurs et convertisseurs statiques)

type B sensible à un courant de défaut continu lissé (utilisé sur le réseau continu)

Protection Contre Les Contacts Indirects Sans Mise A La Terre Et Sans Coupure De L'alimentation

Double isolation ou isolation renforcée

Symbole



Exemple matériel à main : perceuses, appareils ménagers, appareils de mesure...

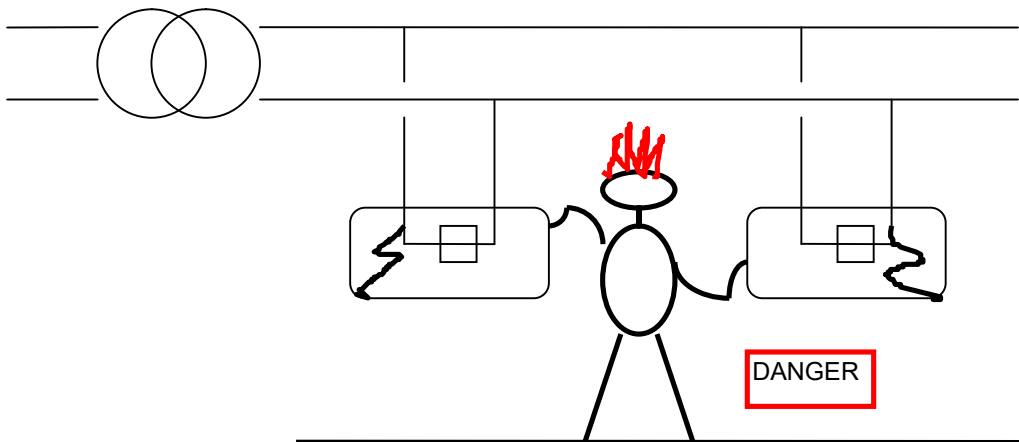
Impédances de protection

Le courant maximal que laisse passer une impédance de protection devra être dans tous les cas inférieur à 500 μA (seuil de sensibilité du corps humain au passage du courant)

La fiabilité (tenue aux surtensions) des composants utilisés devra être parfaite (classe Y) et le dispositif doit assurer une protection équivalente à celle d'une double isolation cf sondes différentielles, voltmètres, commandes par effleurement ...

Protection par séparation des circuits

Ce sont les "prises isolées" à " potentiel flottant" alimentées par un transformateur aux normes EN 60 742 (double isolation)



Dans le cas où 2 appareils à carcasse métallique, isolés du sol sont alimentés on peut se retrouver dans le schémas ci-dessus sans protection (c'est un faux régime IT).

Si les masses métalliques sont reliées entre elles , elles provoquent un court circuit !

Les prises isolées ne peuvent donc alimenter qu'un seul appareil

ATTENTION ! l'utilisation de prises isolées pour alimenter un oscilloscope est interdite

ATTENTION ! à l'utilisation de machines tournantes par alimentations comportant un transformateur d'isolement et un redresseur : le dispositif "isolé" ne devra alimenter qu'une seule machine

Dans le cas où 2 machines sont alimentées , on se retrouve dans la situation d'un régime IT sans protections. Danger !!

LES CAUSES DES INCIDENTS ELECTRIQUES

LES SURINTENSITES

Causes :

Le dysfonctionnement mécanique d'une machine :

Ex : calage d'un moteur à la suite d'une surcharge

La mise sous tension de circuits inductifs non chargés

Le défaut électrique : mise en court circuit

Attention ! *La plupart des surintensités ont pour cause initiale une faute, une imprudence de l'opérateur*

Effets :

Effet Joule : destruction ou fragilisation des isolants

Effets électrodynamiques : Les forces de répulsion s'exerçant sur de conducteurs parallèles et parcourus par des courants intenses et sens contraire, peuvent être très importantes et provoquer des désordres électriques

Les phénomènes ci-dessus peuvent provoquer une mise en défaut (à la masse) de l'appareil

Remèdes :

Protection contre les surintensités par disjoncteur magnétothermique

La durée de commutation empêche tout échauffement excessif des conducteurs

Mise sous tension de circuits inductifs au maxi de tension par commutateur "intelligent"

Frettage et maintien correct des conducteurs dans les appareillages

Les Surtensions

Les causes :

Coupure d'un circuit inductif $U_{surt} = L \cdot di/dt$

Remarque : la surtension est toutefois limitée par la tension d'arc qui apparaît aux bornes du contacteur

Coup de foudre : effet direct ==> surtension très importante : énergie à dissiper de quelques MJ
(Quelques centaines de kV et 10 à 50 kA pendant 1 à 2 ms)

effets indirects ==> une fém induite $E_{surt} = -d\Phi/dt$ apparaît

(quelques kV pendant quelque μs)

Ici l'énergie à dissiper est beaucoup plus faible de quelques J à 1kJ

Importance de l'état céramique du lieu (cf cartes céramiques)

Les effets :

Destruction des isolants et mise en défaut des appareils

Destruction des composants sensibles : électronique, automates ...

Les remèdes :

Eclateurs,

VDR, diodes Transil

Filtre en PI sur chaque conducteur actif à l'entrée des appareils sensibles

Les Appareils De Mesure

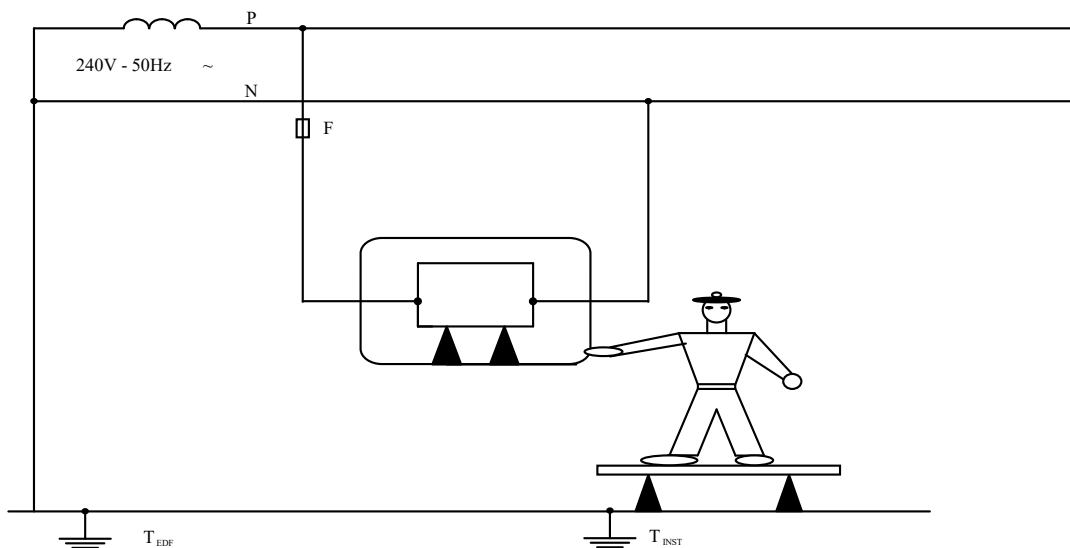
I. Classe d'un appareil.

Du point de vue de la protection contre les contacts indirects les matériels sont répertoriés en quatre classes :

1) Appareils de CLASSE 0

- le matériel possède une isolation principale mais pas de borne de terre (1ere protection).
- La sécurité est assurée par le sol qui doit être impérativement isolant (2° protection)
- il n'existe pas de symbole pour cette classe qui tend à disparaître.

Exemple: lampe de bureau métallique alimentée par un câble souple à 2 conducteurs avec une prise à 2 broches conductrices.

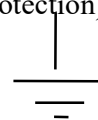


Il faut définir un volume de protection autour de l'appareil afin que la deuxième main ne risque pas de créer un danger

2) Appareils de CLASSE 1

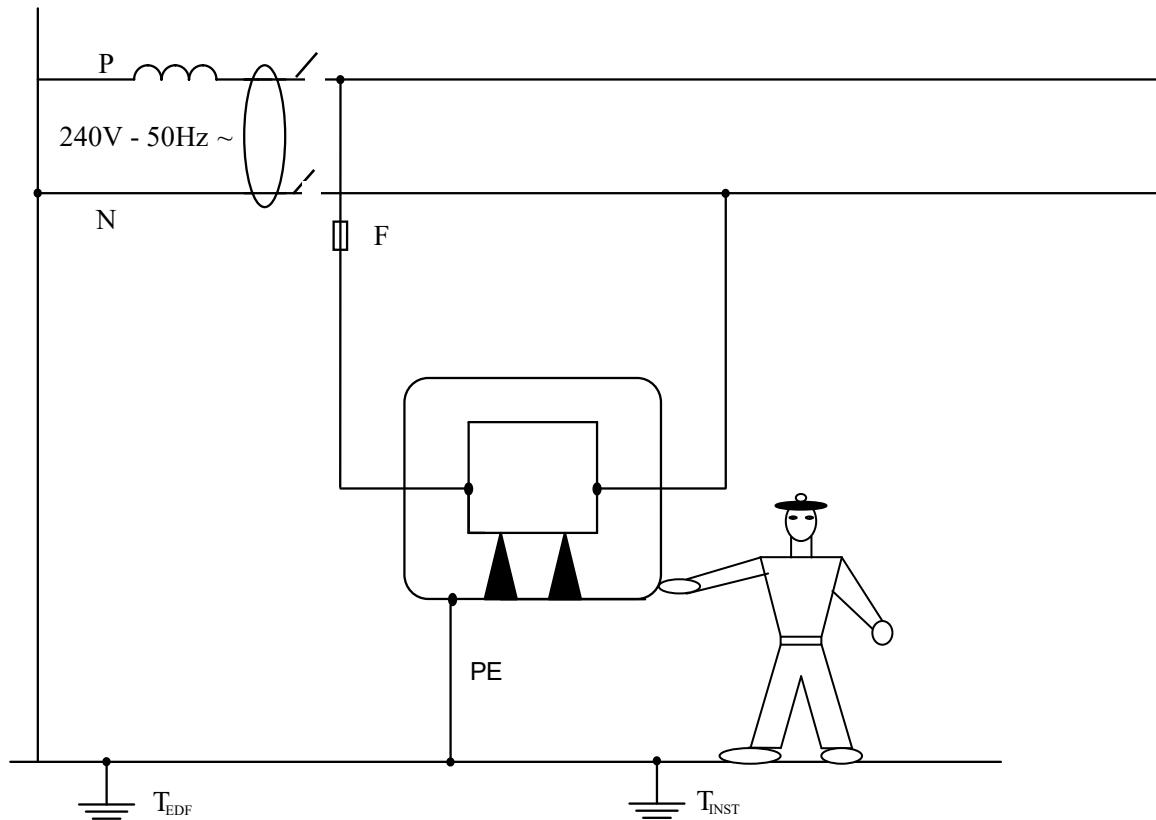
- le matériel possède une borne de terre et une isolation principale (1ere protection)
- la borne de terre est reliée à un conducteur de protection (PE), la sécurité est assurée par un dispositif de coupure qui agira à l'apparition du premier défaut (2° protection)
- Les appareils de classe 1 sont les plus répandus dans les laboratoires.

Le symbole officiel est le symbole de mise à la terre.




Exemples : -appareil domestique dont les parties métalliques accessibles sont reliées à un conducteur de protection vert-jaune.

-alimentation double Métrix, oscilloscope Hameg HM303

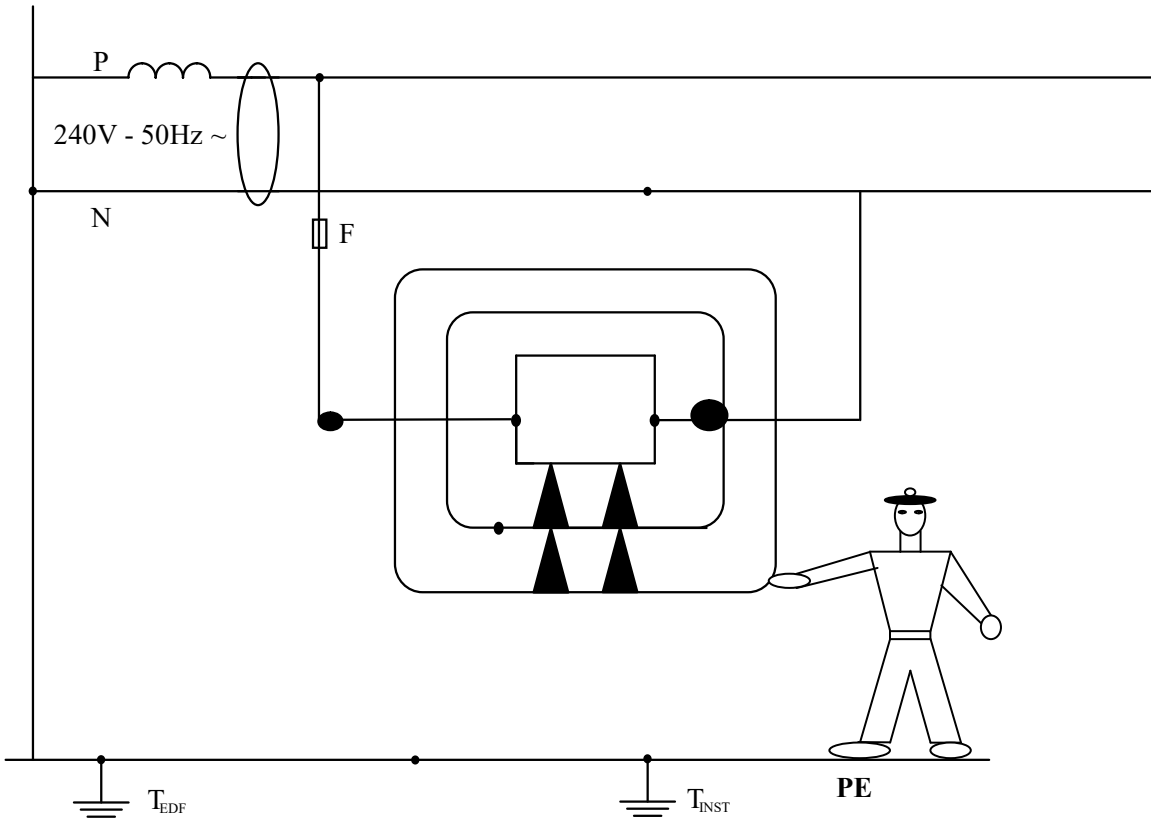


3) Appareils de CLASSE 2

- le matériel est sans borne de terre avec une isolation principale (1ere protection)
- la sécurité est assurée par une deuxième isolation (2° protection)
- le symbole des appareils de classe 2 est le suivant : 

Exemples : -outillage portatif

-les mutimètres portatifs, certains multimètres de table (MX 579..), certains oscilloscopes (OX709, OX711...), certaines alimentations $\pm 15V$ (Jeulin)



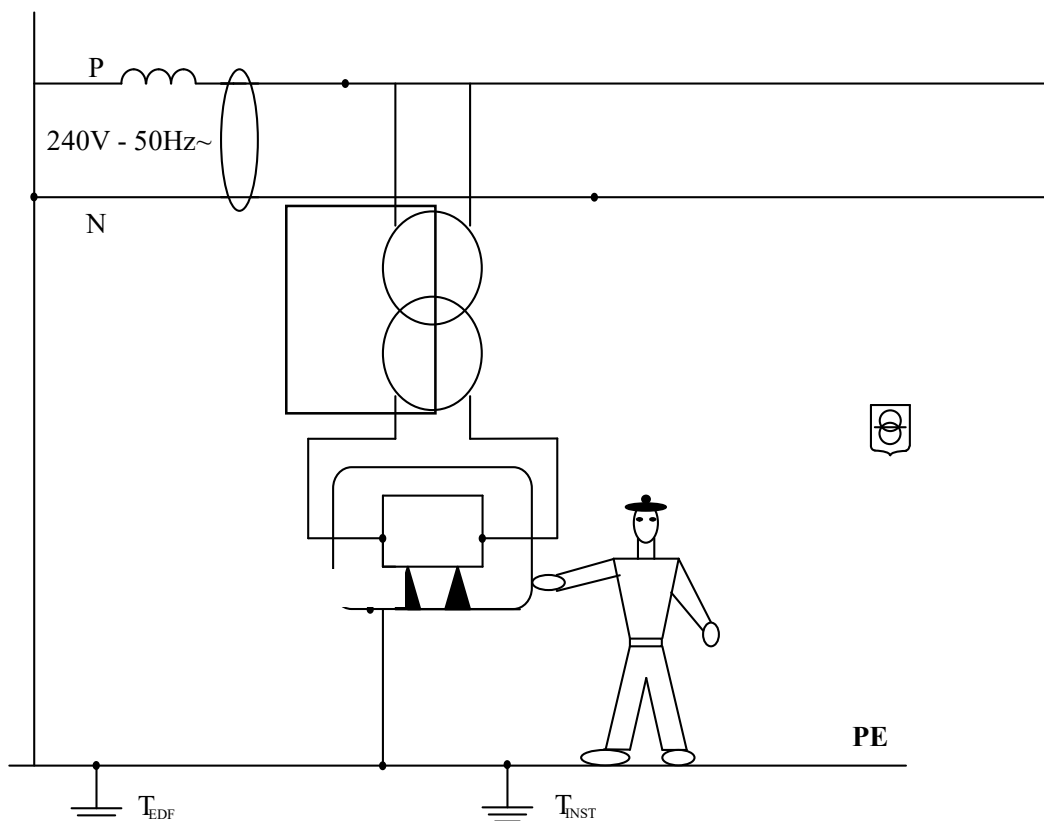
4) Appareils de CLASSE 3

- la protection est assurée par l'alimentation en très basse tension ($< 50\text{ V}$)
- le transformateur d'alimentation possède une isolation principale renforcée sans prise de terre.
- le symbole est le suivant :



Exemples : - train électrique

-certaines maquettes d'autofabrication



Le transformateur doit être un transformateur de sécurité conforme à la norme NF C 52-742; les enroulements sont isolés entre eux et isolés du circuit magnétique et des masses de façon **sûre**.

II. Les catégories de surtensions

Elles sont au nombre de 4 et elles dépendent de la nature de la mesure.

- **Catégorie IV** : mesures sur le réseau triphasé (380 V) avant le compteur : ne nous concernent pas; les surtensions peuvent aller jusqu'à 6000 V .
- **Catégorie III** : mesure sur le réseau triphasé après le compteur ; les surtensions peuvent aller jusqu'à 4000V ; ce sont des mesures que nous ne sommes normalement pas appelés à effectuer.
- **Catégorie II** : mesure sur le réseau domestique (230 V) ; les surtensions peuvent aller jusqu'à 2500V ; ce sont des mesures que nous ne sommes normalement pas appelés à effectuer.

- **Catégorie I** : mesure sur appareillage électrique très basse tension (< 50V); les surtensions peuvent aller jusqu'à 500 V. Cette catégorie correspond aux mesures que nous effectuons couramment dans les laboratoires.

Remarque 1: Ne pas confondre CLASSE d'un appareil et CATEGORIE de surtension.

Remarque 2: Attention , avec un "voltmètre à 3 sous" (classe 2, CAT I) il ne faut pas mesurer la tension du réseau domestique car c'est une catégorie II . Il convient cependant très bien pour faire des mesures sur un montage alimenté par une pile, un GBF ou une alimentation stabilisée.

Ne jamais couper la liaison à la terre si elle existe.
Vérifier périodiquement le fonctionnement du DDR
Utiliser le bon appareil de mesure
Veiller au bon état des cordons

Les Dix Commandements De La Sécurité

- 1) Identifier le régime de neutre de l'installation et vérifier l'état de fonctionnement des voyants de mise sous tension et des dispositifs d'arrêt d'urgence.
- 2) Vérifier périodiquement la résistance de terre de chaque prise et vérifier le bon déclenchement du DDR
- 3) Respecter le régime de tension dans lequel on travaille
- 4) Respecter les classes d'isolement des appareils et éliminer tous les appareils de classe 0
- 5) Respecter les catégories de surtension des appareils
- 6) Réparer ou faire réparer immédiatement tout appareil qui tombe en panne (fusible..)
- 7) Relier TOUTES les masses métalliques au PE de l'installation
- 8) Câbler méthodiquement, maille par maille, du récepteur vers la source de tension.
- 9) Les voltmètres et les oscilloscopes seront toujours munis de leurs cordons de mesure.
- 10) En cas de mesure sur un appareillage présentant un danger, c'est à dire en BTA, respecter TOUTES les consignes de sécurité :
 - balisage de la zone dangereuse
 - casque, vêtements et chaussures adéquats
 - gants isolants
 - tapis isolant
 - feuille isolante de protection
 - outils adéquats et isolés