

La protection des personnes et des circuits

Pourquoi ce cours ?

La loi (Décret n°88-1056 du 14 novembre 1988) impose que chaque personne susceptible de manipuler sur une installation électrique ou au voisinage de ce type d'installation même hors tension, doit recevoir un stage sur les risques électriques voir même une habilitation électrique.

I/ Les risques électriques.

11/ La sécurité électrique.

La sécurité, c'est pouvoir utiliser une installation électrique sans risques, ni pour les conducteurs et les appareils de commande, ni pour les personnes :

a) La protection des circuits :

Si le courant dans les conducteurs et les appareils de commande dépasse la valeur nominale fixée, il y aura SURINTENSITE. C'est le cas lorsque trop d'appareil sont branchés sur un même circuit, ou bien lorsque deux conducteurs de potentiels différents se touchent (court-circuit), cela se traduit par un échauffement de l'ensemble du circuit et un risque d'incendie

b) La protection des personnes :

Si le courant qui circule dans le corps humain dépasse quelques milliampères, il y aura risque d'ELECTROCUTION (choc électrique entraînant la mort), voir d'électrisation (choc électrique ne provoquant pas la mort). On distingue deux types d'électrisation :

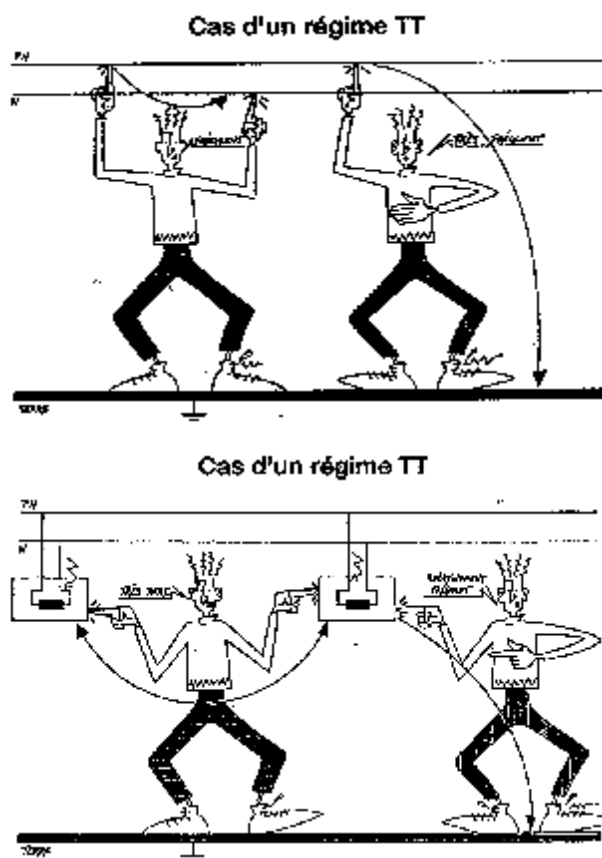
Electrisation par contact direct :

La personne rentre en contact avec un ou plusieurs éléments sous tension suite à une négligence ou au non respect des consignes de sécurité .

Electrisation par contact indirect :

La personne est en contact avec un élément sous tension par le fait d'un défaut d'isolement (vieillessement ou rupture des isolants). La responsabilité de la personne n'est pas mise en cause, il s'agit d'un défaut de l'appareil qui n'était pas prévisible.

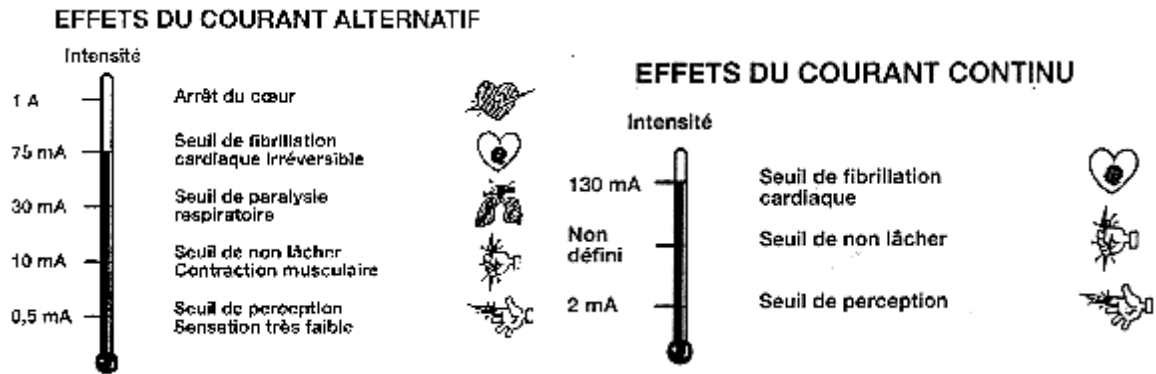
Conclusion :



12/ Le corps humain face au courant électrique.

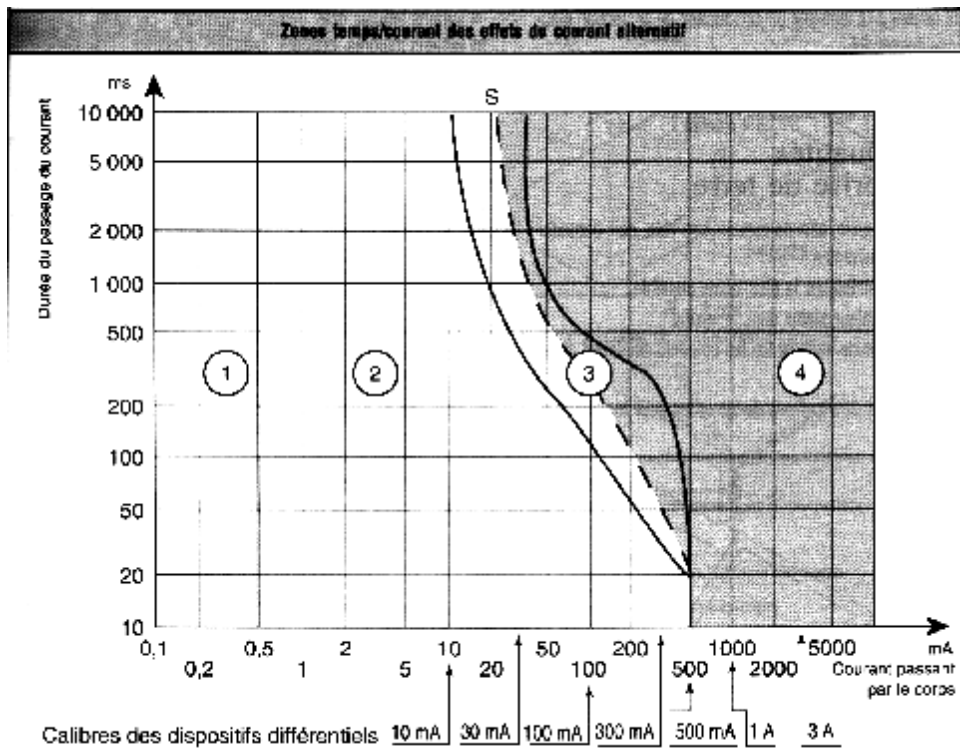
a) Effet du courant sur le corps.

Au même titre qu'un récepteur classique, lorsque il est soumis à une tension, le corps humain est parcouru par un courant électrique.



b) Paramètres à prendre en compte dans l'évaluation des risques.

Le temps de passage du courant électrique :



Les dispositifs différentiels sont prévus pour provoquer la coupure très rapidement, environ 10 ms.

INTERPRÉTATION DES ZONES	
Zone 1	Zone 2
$I_d < 0,5 \text{ mA}$. Il n'y a pas de perception du passage du courant dans le corps.	Le courant est perçu sans réaction de la personne.
Zone 3	Zone 4
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, il n'y a pas de séquelles après la coupure du courant.	Le passage du courant peut provoquer une fibrillation cardiaque*, avec un risque d'arrêt du cœur, tétanisation des muscles**. Les séquelles graves sont fréquentes, les accidents peuvent être mortels.
* Fibrillation cardiaque, neutralisation des muscles du cœur, une réanimation est nécessaire. ** Tétanisation, un excès de contraction des muscles conduisant à une forme de paralysie.	

La tension limite conventionnelle de sécurité U_L :

C'est la tension maximale que peut supporter indéfiniment une personne sans courir de danger. On donne deux tensions limites conventionnelles suivant les degrés d'humidité des locaux :

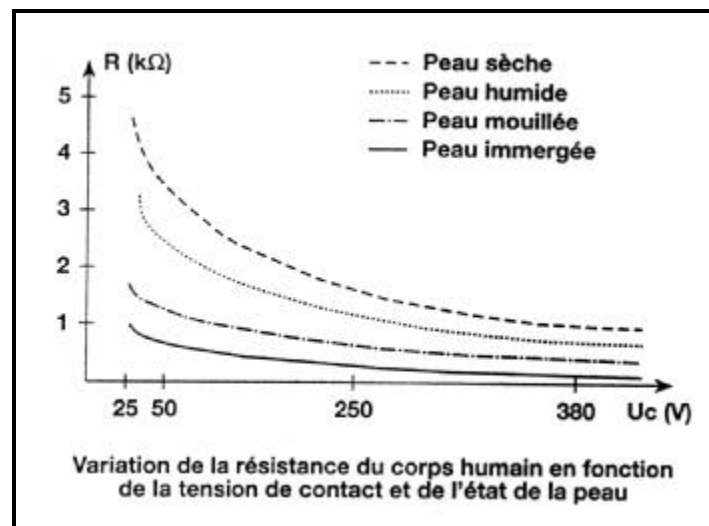
Locaux secs : $U_L = 50V$

Locaux mouillés $U_L = 25V$

Les tensions supérieures à ses limites sont dangereuses, mais la durée de mise sous tension du corps est à prendre en compte. Ainsi une durée maximale de contact fonction de la tension a été définie dans le tableau suivant :

Locaux secs $U_L = 50V$	Locaux secs $U_L = 50V$	Locaux mouillés $U_L = 25V$	Locaux mouillés $U_L = 25V$
Tension de contact en volts	Temps de contact maximal (s)	Tension de contact en volts	Temps de contact maximal (s)
50	5	25	5
75	0.6	50	0.48
90	0.45	75	0.30
120	0.34	90	0.25
150	0.27	120	0.18
220	0.17	150	0.12
280	0.12	220	0.05
350	0.08	280	0.02
500	0.04		

Ces deux limites ont été fixées à partir de la caractéristique donnant la résistance du corps humain en fonction de la tension de contact et du degré d'humidité du corps :



Conclusion :

14/ Domaine de tension TBT à HTB

Domaines de tension		Valeur efficace U_n de la tension en volts	
		en alternatif	en continu lissé
Très basse tension (TBT)	domaine TBT	$0 < U_n < 50$	$0 < U_n < 120$
	domaine BTA	$50 < U_n < 500$	$120 < U_n < 750$
Basse tension (BT)	domaine BTB	$500 < U_n < 1\ 000$	$750 < U_n < 1\ 500$
	domaine HTA	$1\ 000 < U_n < 50\ 000$	$1\ 500 < U_n < 75\ 000$
Haute tension (HT)	domaine HTB	$50\ 000 < U_n$	$75\ 000 < U_n$

13/ Les niveaux d'habilitation électrique dans le milieu industriel selon la nature des travaux effectués. C'est l'employeur qui signe le titre d'habilitation d'un travailleur, reconnaissant que celui-ci a reçu une formation adaptée aux travaux qu'il va effectuer pendant une durée limitée.

Les niveaux d'habilitation sont repérés par des lettres et des chiffres qui dépendent du domaine de tension et du niveau des interventions. :

B travaux en basse tension travaux en haute tension

T travaux sous tension

V travaux dits « au voisinage » : Cela impose une distance minimale de 30 cm en basse tension.

0 pour un non-électricien **1** pour un exécutant électricien **2** pour un chargé de travaux
L'habilitation d'un indice numérique donné entraîne celle des indices inférieurs dans le même domaine de tension

B0 désigne donc un non-électricien pouvant accéder sans surveillance à un local réservé aux électriciens. Il peut effectuer ou diriger des travaux non électriques dans l'environnement de pièces nues sous tension (nettoyage, peinture, maçonnerie, ...).

H0 le non-électricien pouvant accéder sans surveillance à un local haute tension. Il n'y a pas de hiérarchie entre BT et HT ; dans chaque cas, les risques sont spécifiques.

B1 désigne l'exécutant électricien ; il est responsable de sa propre sécurité lors **de** l'opération de câblage, de montage, le tout s'effectuant hors-tension.

B1V indique que l'électricien va devoir travailler « au voisinage » de conducteurs actifs sous tension. (Idem H1 V).

B2 désigne l'électricien dirigeant les travaux, assurant sa sécurité et celle des personnes placées sous sa responsabilité. Il peut désigner un surveillant de sécurité.

BR désigne le chargé d'intervention ou de dépannage (seulement en basse tension A). Il assure la recherche et la réparation d'un défaut, puis effectue les essais nécessaires.

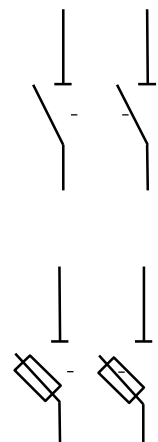
BC désigne le chargé de consignation qui assure les étapes incontournables de séparation des circuits, condamnation (pour éviter les remises sous tension accidentelles), identification de l'ouvrage (balisage, affichage, information ...), vérification de l'absence de tension VAT, mise à la terre MALT et CCT.

II/ Les différents organes de coupure du courant électrique.

21/ Les sectionneurs.

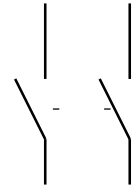
Ils permettent de séparer la portion d'installation en aval pour effectuer des travaux, par exemple de réparation ou de connexion. Ces appareils n'ont aucun pouvoir de coupure : il ne sont pas capables de couper l'arc dû à l'ouverture d'un circuit inductif. L'ouverture d'un sectionneur ne doit se faire qu'à vide. En charge, l'ouverture est dangereuse à cause de l'arc qui émet de fortes doses d'ultraviolets et qui peut provoquer des brûlures et projeter des matières en fusion.

Un sectionneur peut également porter des fusibles. Il doit pouvoir recevoir plusieurs cadenas de condamnation.



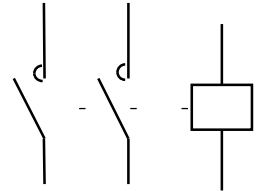
22/ Les interrupteurs.

Ils permettent les mises sous tension et hors tension manuelles des récepteurs. Ils ont un pouvoir de coupure suffisant pour couper le courant nominal mais pas pour couper un courant de court-circuit, comme peuvent le faire les disjoncteurs.



23/ Les contacteurs.

Ils sont aussi utilisés pour mettre des récepteurs sous tension et hors tension. Ils sont commandés à distance. Le circuit de commande, alimenté par le secteur ou par un transformateur de sécurité, comporte la bobine du contacteur en série avec une combinaison de contacts actionnés manuellement ou automatiquement. Il peut s'agir de boutons poussoirs, de coups de poing d'urgence, de contacts de sortie d'un automate programmable, de contacts de fin de course ou du contact d'état d'un variateur. On peut ainsi définir les conditions précises de l'ouverture ou de la fermeture du contacteur.



Par exemple, dans certaines situations, on peut empêcher la mise sous tension par l'opérateur ou obtenir une coupure automatique. Pour assurer les fonctions de sécurité, on utilise des contacteurs qui ne peuvent être fermés que si leur bobine est alimentée (à contacts normalement ouverts).

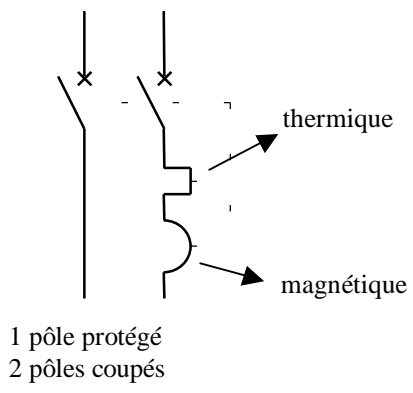
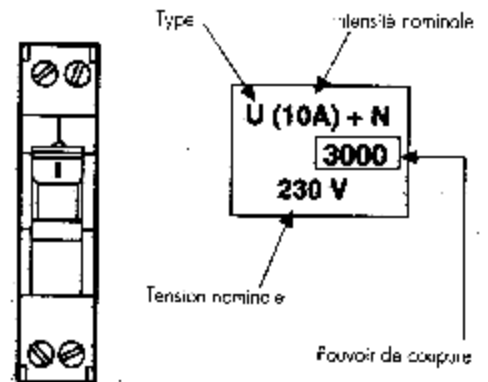
24/ Les disjoncteurs magnétothermiques.

Ils protègent l'installation contre les surcharges (déclenchement thermique) et les court-circuits (déclenchement magnétique). Ils protègent indirectement les personnes contre l'incendie et les brûlures. Ils ont un pouvoir de coupure élevé, c'est-à-dire qu'ils sont capables d'interrompre rapidement l'arc qui suit leur ouverture lors d'un court-circuit.

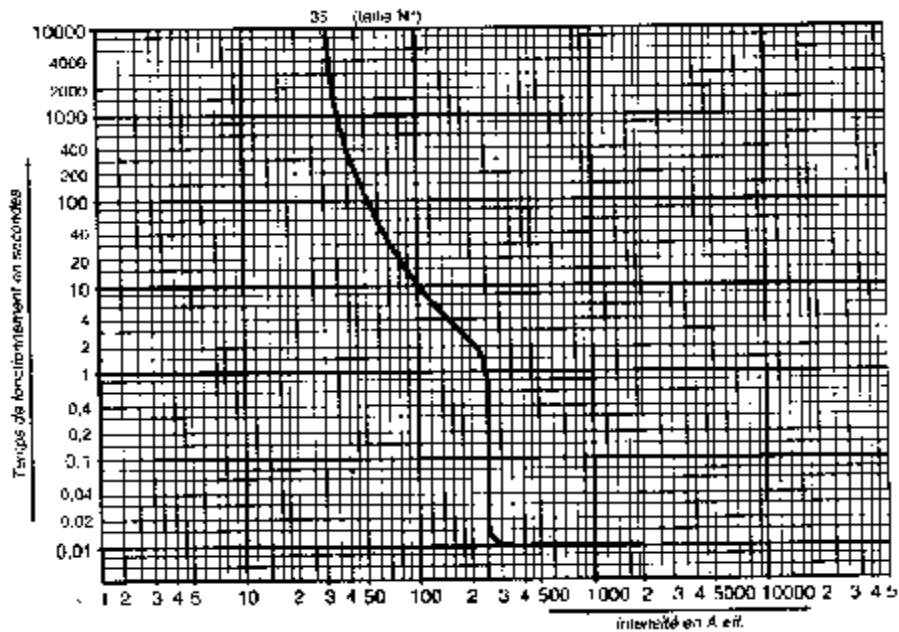
Type U ou D : sensibilité de déclenchement magnétique.

Intensité nominale : c'est la valeur qui correspond à 0.9 fois la valeur de non déclenchement

Pouvoir de coupure : c'est la plus grande intensité que peut couper le disjoncteur



Courbe de fonctionnement d'un disjoncteur de type U (Le déclenchement magnétique est réalisé autour de 6.I_n).

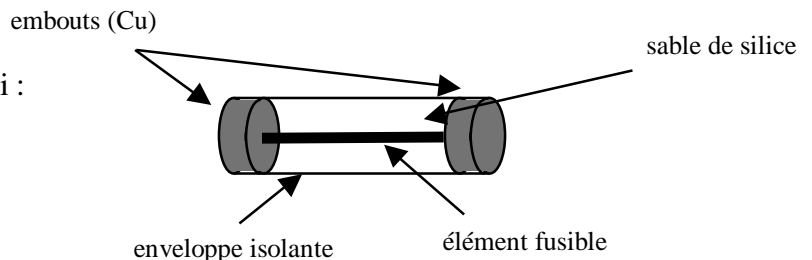


Ils permettent donc le passage d'une légère surcharge limitée dans le temps et une coupure rapide lors d'un court-circuit très élevé.

25/ Les fusibles.

Ils ont la même fonction que les disjoncteurs magnétothermiques. Ils n'ont cependant pas tous un haut pouvoir de coupure (HPC).

Une cartouche fusible est constituée ainsi :



Il existe plusieurs types de fusibles :

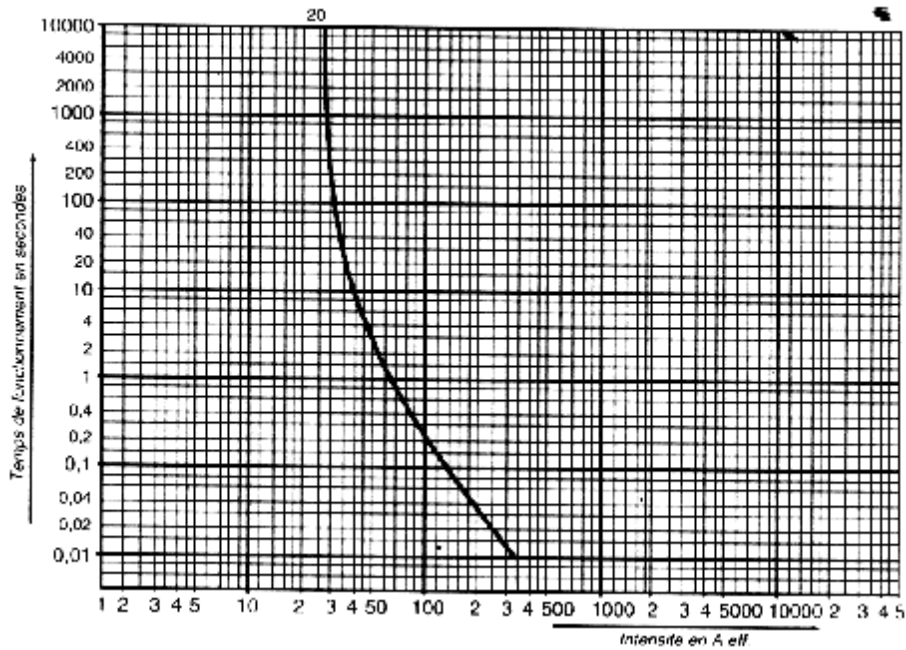
- type B : usage domestique ;
- type Am (accompagnement machine) : ces cartouches supportent une surcharge passagère et protègent seulement contre les courts-circuits. Ils ont un excellent pouvoir de coupure grâce à leur rapidité de fusion qui fait que le courant de défaut est éliminé avant d'atteindre sa valeur maximale ;
- type gG (anciennement gl) : ces cartouches sont prévues pour la protection des lignes de distribution contre les surcharges et les courts-circuits

Les fusibles sont repérés par :

leur intensité nominale : Intensité limite pour laquelle le fusible peut être traversé sans rupture du courant

leur tension nominale : tension « normale » de fonctionnement.

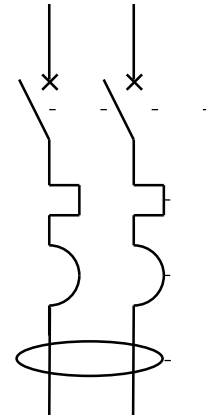
Exemple de courbe de fusion pour un fusible 20A type gG :



26/ Les disjoncteurs différentiels.

Associés à la mise à la terre des masses en régime TT, ils protègent les personnes contre les contacts indirects en cas de défaut d'isolement.

En général, ce que l'on appelle disjoncteur différentiel contient en fait une détection différentielle, une détection magnétique et une détection thermique qui agissent toutes sur le même mécanisme de coupure qui est capable de couper un court-circuit.

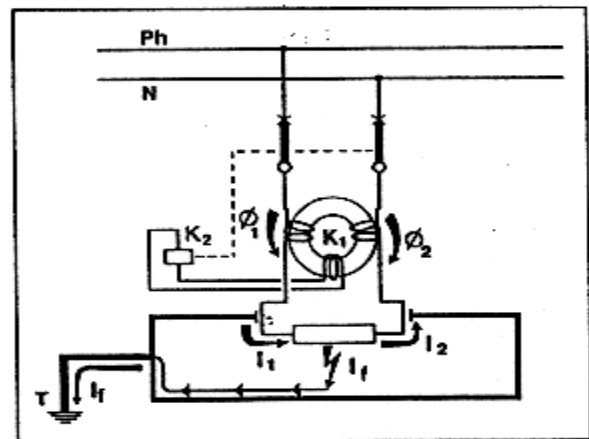
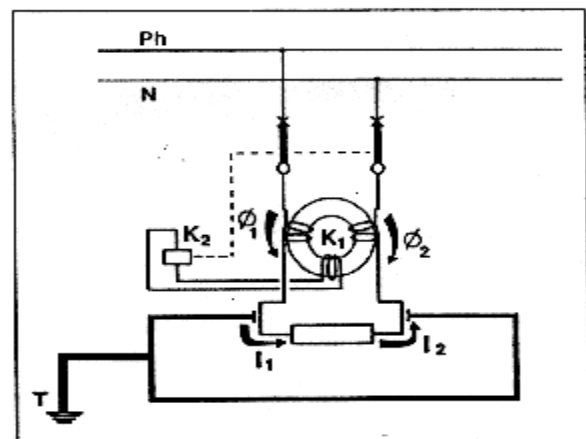
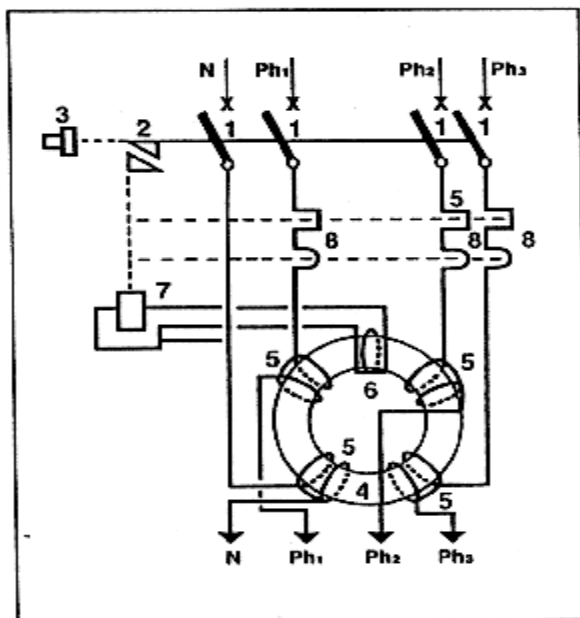
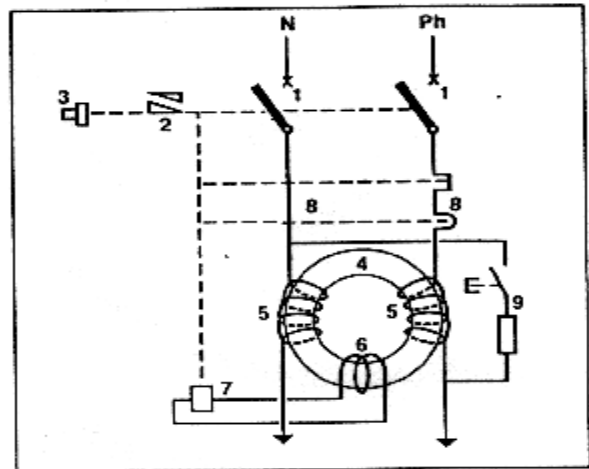


Structure interne et principe de fonctionnement :

Lors de l'apparition d'un défaut, les courants I_1 et I_2 circulant dans les bobinages principaux (5) sont différents, ce qui a pour effet de créer une variation de flux magnétique $\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$ dans le tore (4). La bobine de détection (6) est donc le siège d'une f.é.m. induite qui sert à commander le relais (7) agissant directement sur l'ouverture des deux contacts de puissance (1) provoquant ainsi une isolation de l'installation en présence du défaut.

Structure interne d'un disjoncteur différentiel monophasé

1. Contacts de puissance
2. Accrochage mécanique ou serrure
3. Élément de réarmement
4. Tore magnétique
5. Bobinages principaux
6. Bobine de détection
7. Relais sensible de détection
8. Détection thermique et magnétique
9. Bouton de test et résistance de test



III/ Les régimes de neutre et les protections associées.

Ils caractérisent le mode de raccordement à la terre du neutre du secondaire du transformateur HT/BT ou de la source et les moyens de mise à la terre des masses de l'installation.

Le choix de ces liaisons conditionne les mesures de protection des personnes contre les contacts indirects.

Il existe trois régimes de neutre qui se distinguent par :

- la situation du neutre par rapport à la terre ;
- la situation des masses par rapport à la terre ou au neutre.

Régime	Endroit où est relié le neutre	Endroit où est relié la masse
TT		
TN		
IT		

31/ Définitions.

Prise de terre :

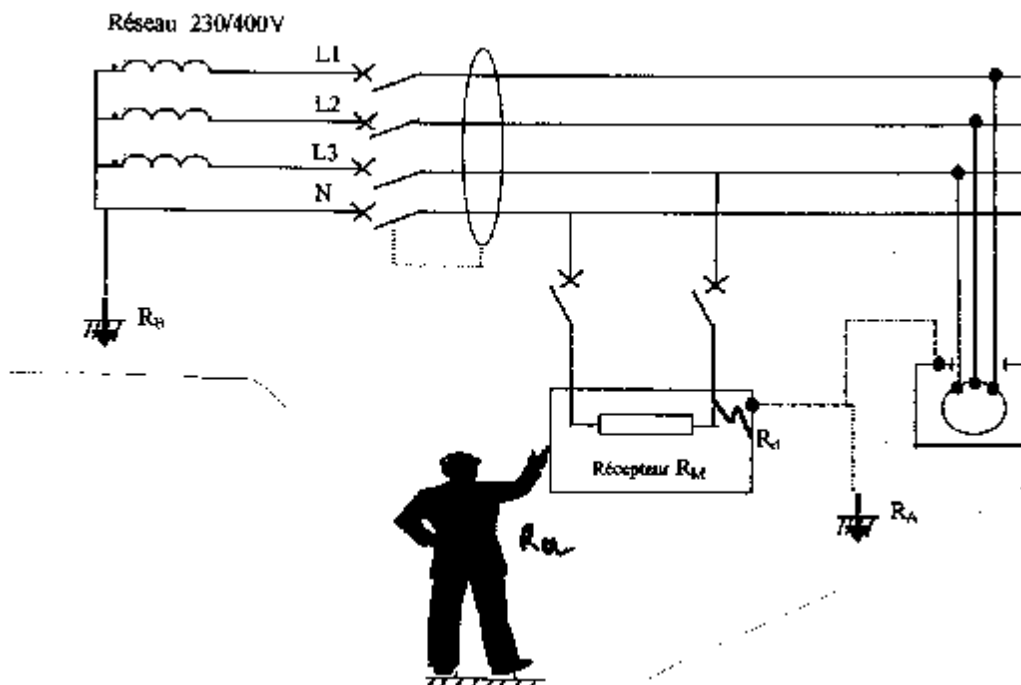
Terre :

Résistance de terre :

Masse :

32/ Régime TT. T :neutre à la terre T :masse à la terre (cas des établissements recevant du public).

Description :



Exemple de défaut :

L'installation décrite ci-dessus utilise un disjoncteur différentiel de sensibilité. On donne les indications suivantes :

La résistance de la prise de terre de la liaison équipotentiel vaut $R_A = 30\Omega$.

La résistance de la terre du neutre R_B a la même valeur.

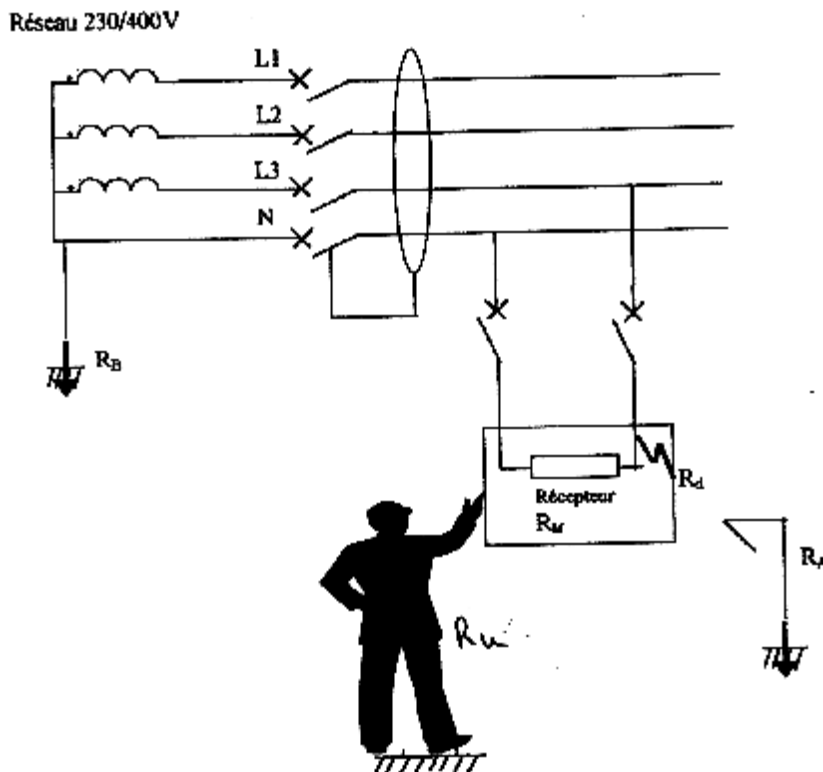
Le récepteur est une résistance $R_M = 200\Omega$

L'utilisateur présente entre le sol et sa main une résistance $R_U = 1000\Omega$.

Un défaut franc apparaît sur la masse métallique du récepteur ($R_d = 0\Omega$) :

- Etablir le schéma électrique du défaut (il doit contenir L_3 ; R_D ; R_A ; R_U et R_B).
- Déterminer en fonction des résistances, l'intensité du courant de défaut I_d , l'intensité du courant traversant l'utilisateur I_U , et la tension de contact U_C . Faire les applications numériques.
- Le dispositif de protection fonctionne-t-il ?
- Pour que l'utilisateur ne soit pas en danger, déterminer le temps maximum de coupure du disjoncteur différentiel.
- Quelle est la valeur de R_A imposant une tension de contact limite de sécurité en milieu sec lors du défaut ?

Cas d'un dysfonctionnement : la masse n'est plus reliée à la terre :



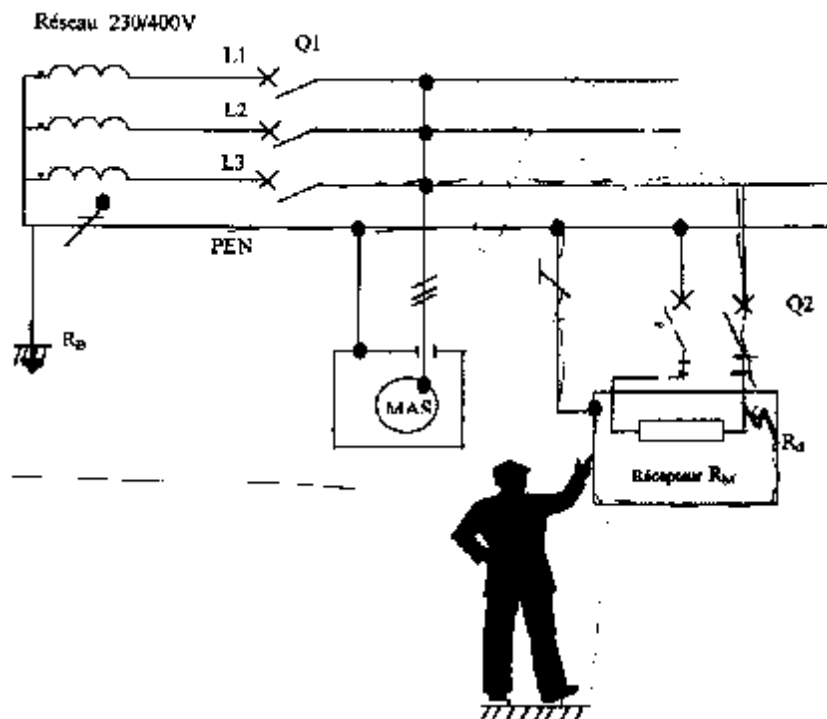
Le conducteur PE de mise à la terre des masses n'assure plus le contact avec la carcasse du récepteur (cosse dévissée)

- Modéliser à nouveau le circuit.
- Calculer les nouvelles expressions de I_d et U_C .
- Calculer I_d et U_C dans le cas où l'utilisateur n'est pas en contact avec la carcasse métallique de l'appareil et dans le cas contraire. Le disjoncteur se déclenche-t-il ? Conclure sur l'opportunité d'intercaler un disjoncteur différentiel de 30 mA.

Conclusion sur le régime TT :

33/ Régime TN : T :neutre à la terre et N :masse au neutre

Description :



Les disjoncteurs Q1 et Q2 sont respectivement de type C32N U 15A et C32N L 5A, leurs caractéristiques sont sur la page suivante .

Etude simplifiée :

Le câble alimente le récepteur $R_M = 200\Omega$ à partir de Q2 et a une résistance $r = 0.7\Omega$ par conducteur.

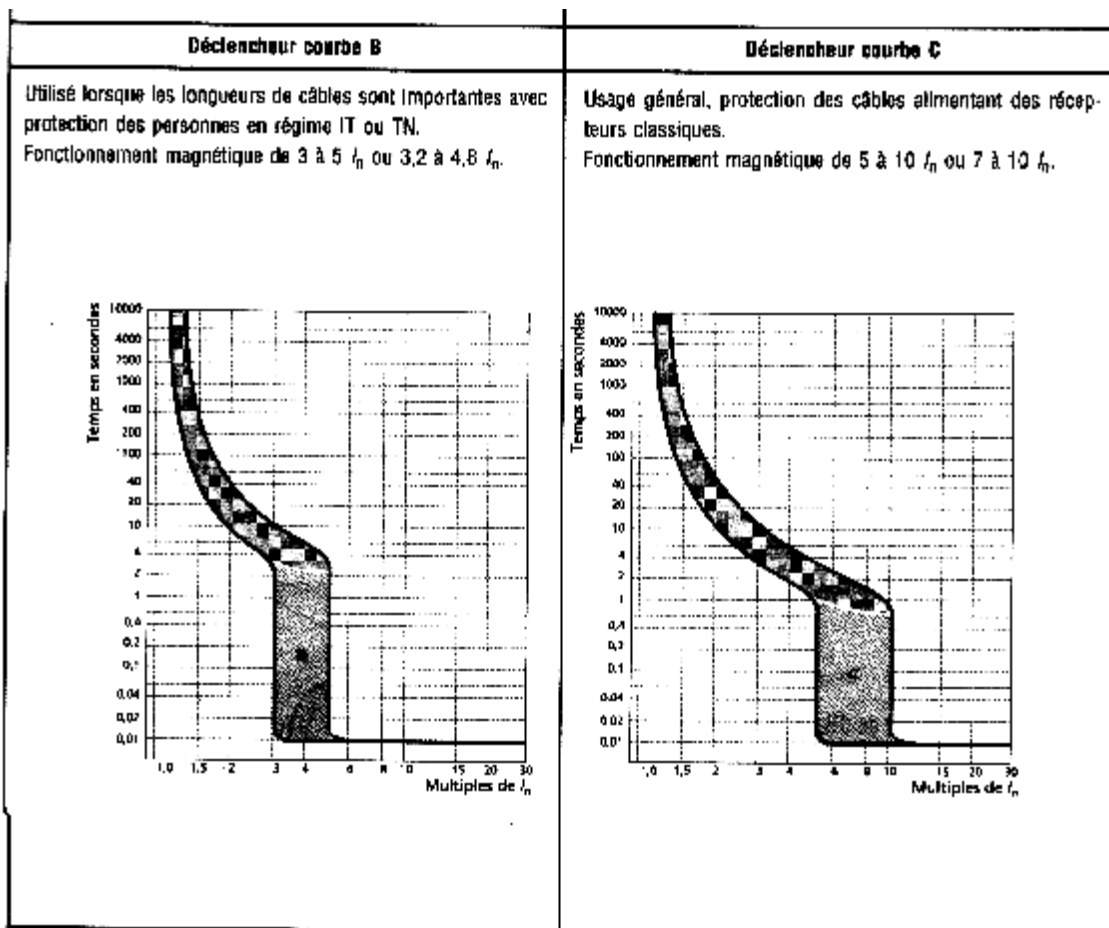
La liaison masse-PEN a pour résistance $r' = 0.7\Omega$.

Les résistances autres que celles des conducteurs sont négligées.

La résistance de mise à la terre du neutre vaut $R_b = 30\Omega$.

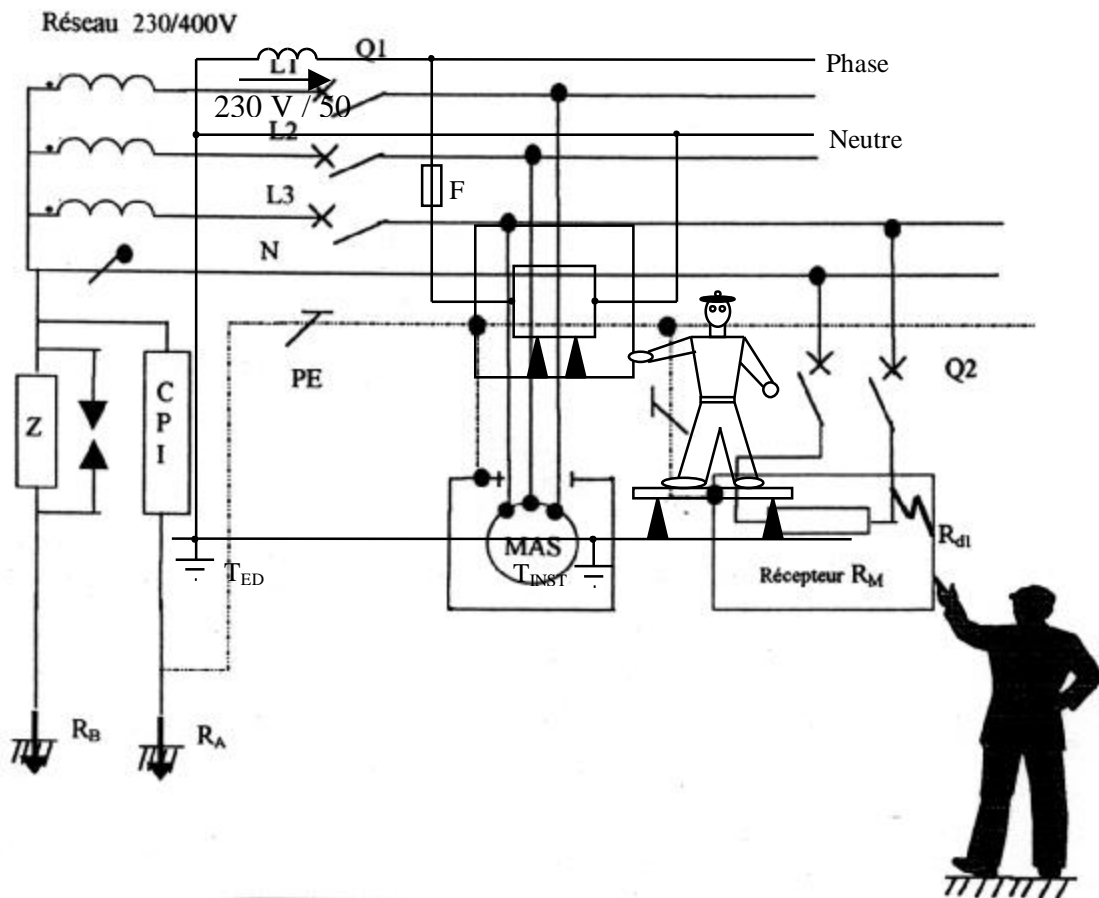
- Faire un schéma équivalent du montage.
- Vérifier que le défaut franc $R_d = 0\Omega$ conduit à un court-circuit, quelles simplifications peut-on faire sur le schéma précédent.

- c) Calculer le courant de défaut I_d , la tension de contact U_C et en déduire le courant dans l'utilisateur I_U si $R_U = 1000\Omega$. Utiliser les courbes fournies pour prévoir la réaction des disjoncteurs. Conclure sur la protection de l'utilisateur
- d) Reprendre l'étude en multipliant par huit la longueur des câbles. Quelle sera la conséquence sur la protection de l'utilisateur ?



34/ Régime IT

Description :



Détection du premier défaut :

Le contact franc R_{D1} se produit. L'impédance Z vaut 1000Ω et est assimilable à une résistance . Les résistances de prise de terre R_A et R_B valent 20Ω .

- Calculer le courant de défaut I_d et la tension de contact U_C . Conclure sur la protection de la personne.
- Représenter un deuxième défaut entraînant un court-circuit et le déclenchement de $Q1$ et $Q2$.

Conclusion sur le régime IT.

IV/ Protections au niveau des appareils

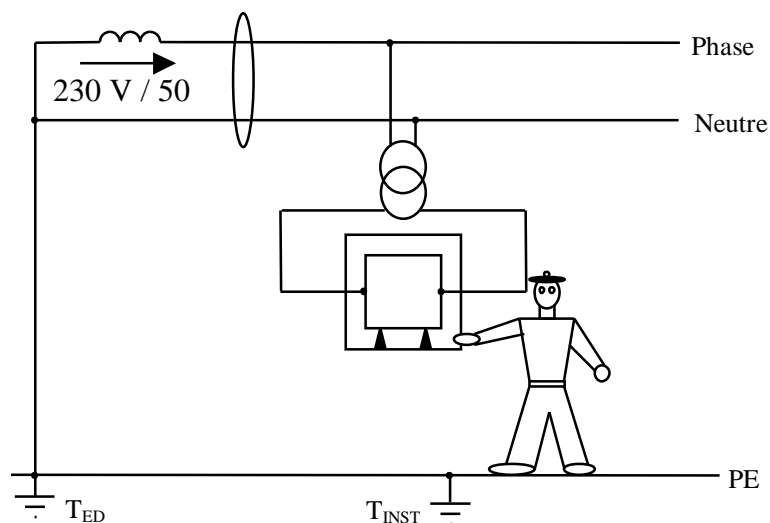
Du point de vue de la protection contre les contacts indirects les matériels sont répertoriés en quatre classes :

41) Appareils de classe 0.

Le matériel est sans borne de terre avec une isolation principale (▲) (1^{ère} protection).

La sécurité est assurée par le sol qui doit être impérativement isolant (2^{ème} protection).

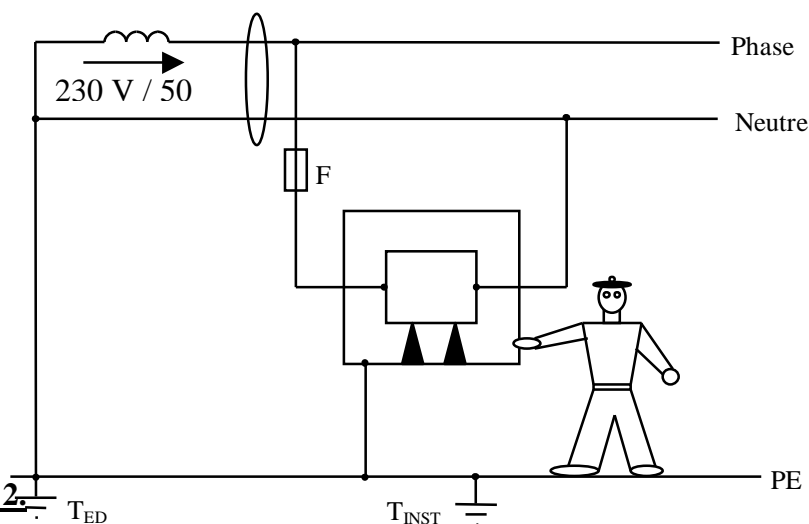
Il n'existe pas de symbole pour cette classe qui tend à disparaître.



42/appareils de classe 1.

Le matériel possède une borne de terre et une isolation principale (▲) (1^{ère} protection).

La borne de terre est reliée à un conducteur de protection PE (mise à la terre), la sécurité est assurée par un dispositif de coupure qui agira à l'apparition du premier défaut (2^{ème} protection). Il n'existe pas de symbole pour les appareils de classe 1.



43/ Appareils de classe 2.

Le matériel est sans borne de terre avec une isolation principale.

La protection est assurée par une deuxième isolation (ou une isolation renforcée) l'apparition d'un deuxième défaut interne restera localisé dans l'appareil même pour le cas de non-fonctionnement.

Le symbole des appareils de classe 2 est le suivant :

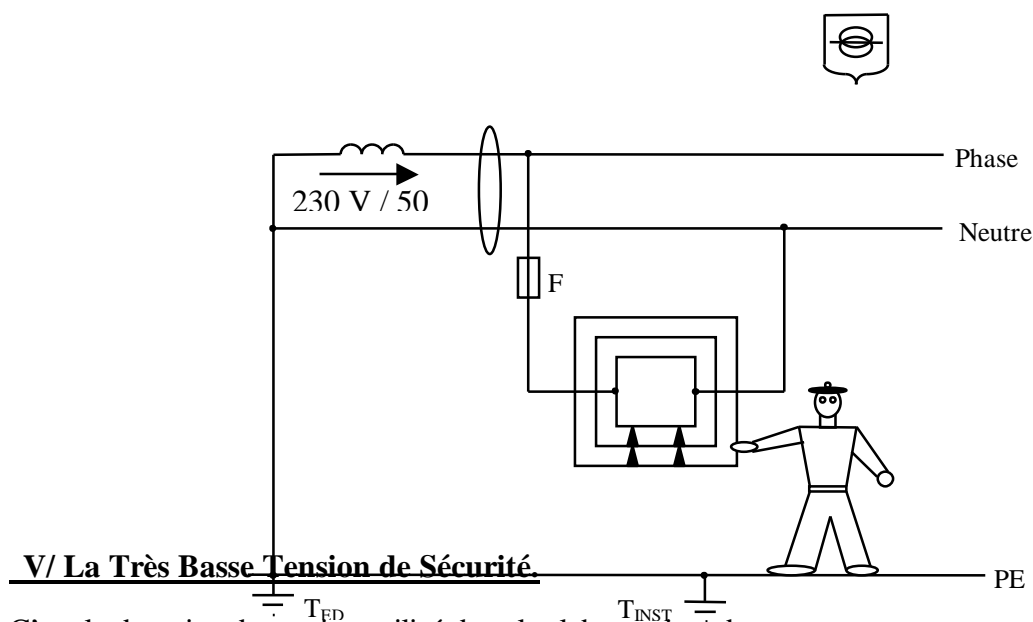


44/ appareils de classe 3.

Le matériel possède une isolation principale sans prise de terre (1^{ère} protection).

L'appareil est alimenté à très basse tension de sécurité (TBTS) sans borne de terre (2^{ème} protection, tension inférieure à 50V) par un transformateur de sécurité.

Le transformateur de sécurité est représenté par le symbole :



V/ La Très Basse Tension de Sécurité.

C'est le domaine de tension utilisé dans les laboratoires de mesure.

51/ Avantage de ce domaine de tension.

Aucune protection contre les contacts indirects et directs n'est à envisager ; par conséquent la mise à la terre est inutile.

Par contre le circuit doit être protégé contre les court-circuits par un fusible ou un disjoncteur.

52/ Source d'alimentation.

Elle doit être indépendante du réseau (piles, alternateur, dynamo...) ou bien liée au réseau par un transformateur de sécurité (classe II) dont les enroulements primaires et secondaires sont séparés par une double isolation ou par une isolation renforcée.

Pour que l'isolement soit total, il ne doit y avoir aucun lien entre les masses du réseau TBTS et la terre du secteur.

53/ Tensions maximale.

Ces tensions sont les suivantes :

50V en alternatif et 120V en continu pour les locaux secs

25V en alternatif et 60V en continu pour les locaux humides

12V en alternatif et 30V en continu pour les locaux immergés.