

La Protection des Personnes et des Biens

Introduction

L'éducation est la meilleure des préventions puisqu'elle se propose de donner à chaque individu les moyens propres à le rendre autonome pour maîtriser les risques.

Denis VEYRAT, enseignant à Toulouse

I. Les effets physiologiques du courant électrique

Le courant agit sur le corps de trois façons différentes :

- Par blocage des muscles, que se soient ceux des membres ou de la cage thoracique (tétanisation),
- Par brûlures: l'électricité produit par ses effets thermiques des lésions tissulaires plus ou moins graves selon la valeur du courant,
- par action sur le cœur: l'électricité provoque une désorganisation complète du fonctionnement du cœur, d'où fibrillation ventriculaire.

La **sensation de passage du courant** est très variable d'une personne à l'autre, **0,5 mA** peut être considéré comme une valeur moyenne.

Les **contractions musculaires** (tétanisation) empêchent à la personne de lâcher le conducteur, elles se produisent aux alentours de **10 mA** (cette valeur dépend de l'âge, du sexe, de l'état de santé, du niveau d'attention...)

Les difficultés et l'**arrêt respiratoire** qui se produisent pour des courants de **20 à 30 mA** est en fait une contraction des muscles respiratoires.

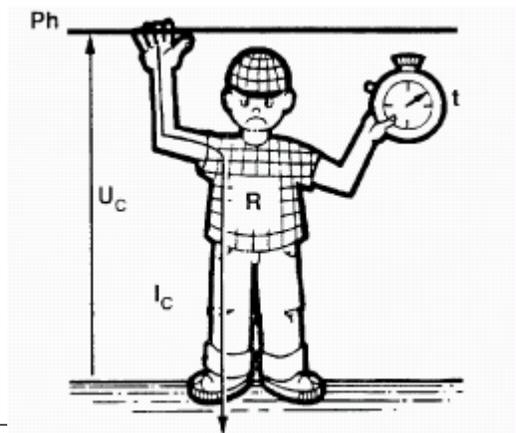
La **fibrillation cardiaque** se produit à partir de **50 à 100 mA** et 1 A provoque l'arrêt du cœur.

Les 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,
- t : temps de passage du courant dans le corps.

La tension U_c appliquée au corps humain peut être due :



- à deux contacts avec des parties actives, parties normalement sous tension, portées à des potentiels différents,
- à un contact avec la terre et une partie active,
- à un contact avec la terre et une masse métallique mise accidentellement sous tension.

1. Relation entre le temps de passage du courant de choc dans le corps humain et l'intensité de ce courant.

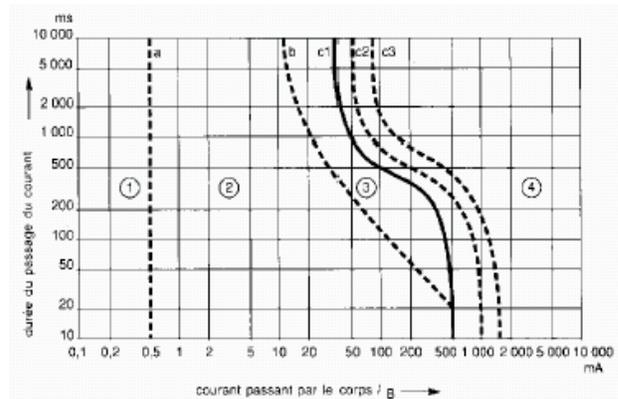
Les courbes ci-contre, issues de la norme CEI 479, illustrent la relation $t=f(I_c)$ et déterminent quatre zones.

Zone 1 : Le courant de choc est inférieur au seuil de perception ($I_c < 0,5 \text{ mA}$). 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 cœur, arrêt de la respiration, brûlures, graves.



2. Relation entre le temps de passage du courant de choc dans le corps humain 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 :

- $U_L = 25 \text{ V}$ pour les locaux mouillés,
- $U_L = 50 \text{ V}$ pour les locaux secs.

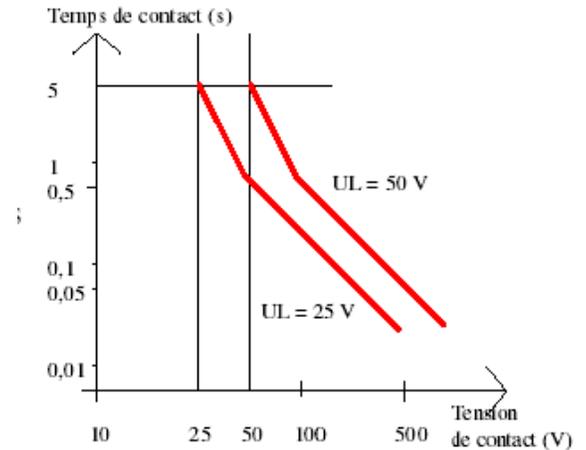
Ces tensions, non dangereuses dans des environnements précis, définissent des courbes où les risques sont contrôlés en fonction du temps de passage du courant dans le corps.

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

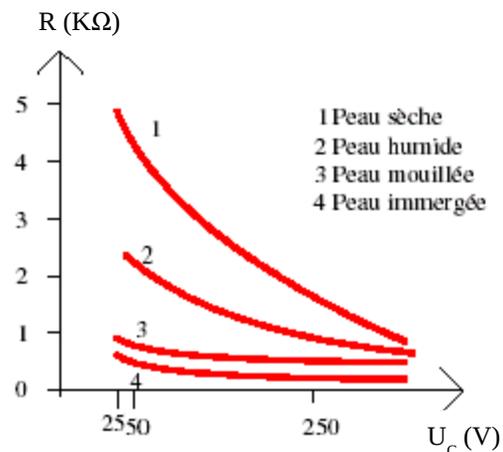


3. Relation entre la résistance du corps humain et la tension de contact.

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 325 Ω 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.

C'est à partir des trois relations $t = f(I_c)$, $t = f(U_c)$ et $R = f(U_c)$ que sont établies les règles de sécurité des personnes imposées par la norme NFC 15-100.



Protéger l'homme des effets dangereux du courant électrique est prioritaire, le risque d'électrisation est donc le premier à prendre en compte.

L'électrisation du corps humain peut se faire par deux types de contacts : les contacts directs et les contacts indirects.

II. La protection contre les contacts

On classe les contacts en deux: les contacts directs et les contacts indirects.

1. Les moyens de protection contre les contacts directs

1.1 Généralités

Les dispositions de protection contre les risques de contacts directs ont pour but d'assurer la mise hors de portée de pièces nues sous tension accessibles aux travailleurs.

La protection peut être obtenue par l'un des trois moyens suivants :

- éloignement
- obstacles
- isolation.

On retiendra deux critères essentiels pour garantir la qualité de la protection :

- l'efficacité
- la permanence.

1.2 Eloignement

L'éloignement doit être suffisant pour prévenir le risque d'accidents par contacts directs ou rapprochement à l'aide d'objets que les travailleurs manipulent ou transportent.

Permanence : La permanence de cet éloignement doit être garantie contre tout risque de relâchement ou de chute, par une résistance mécanique des pièces ou de leurs supports en rapport avec les contraintes auxquelles elles sont normalement exposées.

Distance : Les distances doivent être compatibles avec le matériel manutentionné.

1.3 obstacles

Efficacité

La protection doit être assurée compte tenu des contraintes auxquelles sont soumis les obstacles par leurs :

- nature, étendue, disposition, stabilité.

Constitution

Les obstacles sont constitués :

- soit de paroi pleine ou percée de trous,
- soit de grillage.

Tous les obstacles, coffrets d'appareillage, armoires de tableaux, cache-bornes de moteurs, portes en tôle ou en grillage dans les postes H.T., doivent être maintenus en place et en bon état.

Important : La suppression des obstacles, quelle qu'en soit la classe de tension, ne sera réalisée que par des électriciens.

1.4 Isolation

Efficacité - Permanence

L'isolation doit être adaptée à la tension de l'installation et conserver à l'usage ses propriétés, eu égard aux risques de détérioration auxquels elle peut être exposée.

Exemple : protection des conducteurs et câbles nus.

Prises de courant

Les prises de courant ou prolongateurs et connecteurs doivent être disposés de façon que leurs

Parties actives nues ne soient pas accessibles aussi bien lorsque leurs éléments sont séparés, que lorsqu'ils sont assemblés ou en cours d'assemblage

Les différents éléments doivent être maintenus en parfait état et entretenus par du personnel compétent. Il ne faut jamais laisser sur un socle de prise de courant un câble d'alimentation dont l'autre extrémité n'est pas reliée à un appareil électrique. Un câble d'alimentation doit tout d'abord être réunis à l'appareil et ensuite au socle de la prise de courant.

Locaux et emplacements à risques particuliers de chocs électriques

Le chef d'établissement doit désigner ces locaux ou emplacements de travail et les délimiter clairement. Leurs accès ne sont autorisés qu'aux personnes averties des risques électriques ou aux personnes placées sur la surveillance d'une personne désignée à cet effet.

2. Les moyens de protection contre les contacts indirects.

2.1 Les différents moyens de protection

La protection contre les risques de contact indirect dans les installations alimentées par du courant alternatif peut être réalisée soit :

- en associant la mise à la terre des masses à des dispositifs de coupure automatique de l'alimentation (D.D.R.),
- par double isolation, par isolation renforcée,
- par la séparation des circuits,
- par l'utilisation de la Très Basse Tension de Sécurité (T.B.T.S.)

Les modalités pratiques de réalisation des différents types de mesures de protection sont définies par arrêtés.

2.2 Surveillance des installations

Une surveillance des installations électriques doit être assurée. L'organisation de cette surveillance doit être portée à la connaissance de l'ensemble du personnel. Cette surveillance doit être opérée aussi fréquemment que de besoin et provoquer dans les meilleurs délais, la suppression des défauts et anomalies constatées.

3. La Protection contre les brûlures

Un électricien intervenant sur une installation électrique peut par un geste malencontreux provoquer un court circuit. Cet incident entraînera des brûlures dues à l'arc électrique et aux projections de matière en fusion.

Pour prévenir ce type d'accident et ses conséquences, il y a lieu :

- d'utiliser des **outils isolants** ou isolés.
- de protéger contre les surintensités les circuits de mesure notamment par des dispositifs à **haut pouvoir de coupure**.
- de porter des protections individuelles telles que : **lunettes ou écrans faciaux** anti U.V., **gants isolants** adaptés à la tension.

Dans tous les cas, il sera préférable de travailler hors tension sur une installation ou un équipement consigné.

III. Les régimes de neutre

Egalement appelés "schémas de liaisons à la terre" (SLT). Ils sont définis par la norme CEI 364.

Le régime de neutre est représenté par deux lettres:

La première lettre indique la situation du point neutre du transformateur par rapport à la terre:

- T** pour une liaison directe à la terre
- I** pour une absence de liaison à la terre ou une liaison par impédance

La deuxième lettre indique la situation des masses du récepteur:

- T** masse reliée à la terre
- N** masse reliée au neutre.

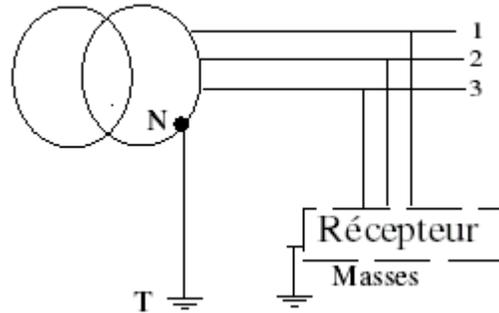
Régimes	neutre du transformateur	masses des récepteurs
TT	terre	terre
TN	terre	neutre
IT	isolé ou impédant	terre

Remarque: le régime TN comporte trois sous-schémas : TNC, TNS, TNCS

1. Schéma TT.

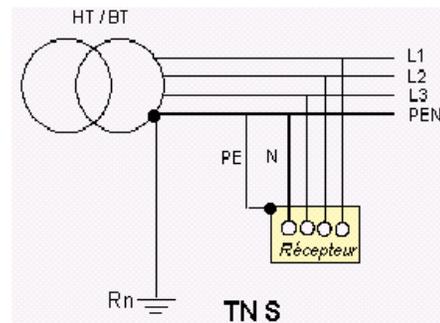
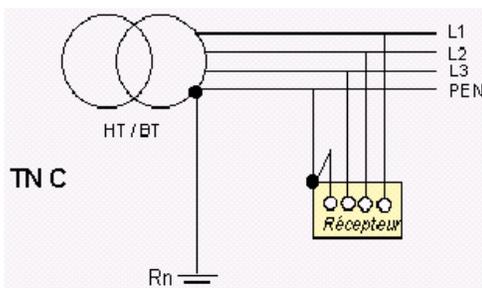
En présence d'un défaut d'isolement, le courant de défaut est essentiellement limité par les résistances de terre (si la prise de terre des masses et la prise de terre du neutre ne sont pas confondues). Le déclenchement des dispositifs de protection est obligatoire au premier défaut d'isolement et l'installation doit être entretenue par un personnel compétent.

En cas de défaut, les courants sont très importants et les risques d'incendie accrus. Les mesures de déclenchement représentent la seule garantie de bon fonctionnement de l'installation. Le courant de défaut au-delà duquel il y a risque est très largement inférieur aux réglages des dispositifs de protection maximum de courant, il est nécessaire de mettre en œuvre en tête d'installation au moins un Dispositif Différentiel Résiduel (DDR).



2. Schéma TN.

Tout défaut d'isolement entre phase et masse devient un défaut phase-neutre. Le courant de défaut devient donc un courant de court circuit qui n'est plus que limité par les impédances de la source et des câbles. Les dispositifs de protection contre les surintensités devraient donc être capables de l'éliminer en un temps minime.



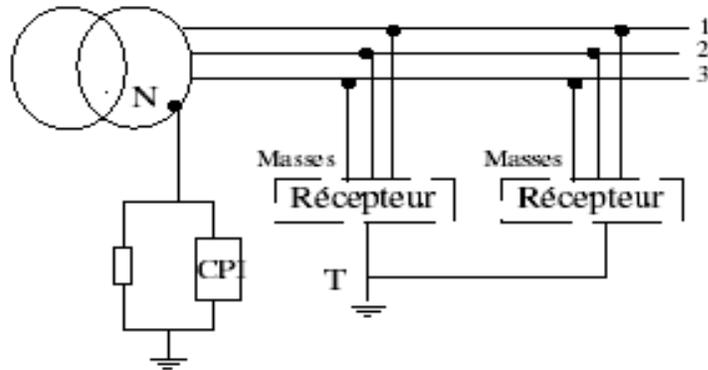
3. Schéma IT.

En fonctionnement normal (sans défaut d'isolement), le réseau est mis à la terre par l'impédance de fuite du réseau. La signalisation du premier défaut d'isolement est obligatoire mais le déclenchement n'est pas exigé. Cependant, il faut savoir qu'il y a défaut, le rechercher rapidement (à l'aide de localisateurs de défaut) et l'éliminer avant qu'un deuxième défaut intervienne.

A l'apparition du deuxième défaut et si le premier défaut n'a pas été éliminé, trois cas sont à examiner :

- le défaut concerne le même conducteur actif : rien ne se passe et l'exploitation peut continuer,
- le défaut concerne deux conducteurs actifs différents : si toutes les masses sont interconnectées, le défaut double est un court-circuit,
- le défaut concerne deux conducteurs actifs différents mais toutes les masses ne sont pas interconnectées : pour des masses mises à la terre individuellement ou par groupe, chaque circuit ou groupe de

être un



circuits doit être protégé par DDR.

Le choix du régime de neutre et les protections

Régime	Technique d'exploitation	Technique de protection	Caractéristiques
TT	Coupure au premier défaut	Mise à la terre des masses Emploi de dispositifs différentiels	Solution simple d'exploitation
TN	Coupure au premier défaut	Mise au neutre des masses Coupure au premier défaut par dispositif de surintensité. Emploi de dispositifs différentiels	Répartition des prises de terre Nécessité de personnel d'entretien Risque d'incendie
IT	Signalisation du premier défaut Coupure au deuxième défaut Recherche du premier défaut	Mise à la terre des masses Surveillance du premier défaut et recherche de ce défaut sous tension. Coupure par la protection des surintensités lors du second défaut Protection contre les surtensions	Solution assurant la continuité d'exploitation Nécessité d'un personnel d'entretien

Remarque:

Pour les locaux d'habitation, les établissements d'enseignement secondaire et technique avec des locaux de travaux pratiques : régime TT.

IV. Les moyens de protection contre les risques du courant électrique.

1. Le fusible

Depuis son invention, le fusible a été utilisé dans la protection contre les surintensités. Cependant, ses inconvénients, en particulier l'obligation de le remplacer après fusion, avec le risque que l'élément remplacé ne corresponde pas toujours au calibre d'origine et parfois ne soit même pas d'un métal de fusion à basse température, le dérangement causé lors de son remplacement, etc. ont incité les constructeurs à rechercher un dispositif non rechargeable et de calibre constant après chaque fonctionnement.

2. Le disjoncteur

Le disjoncteur est un appareil coûteux, dont le volume est plus important que celui d'une coupe circuit, son système mécanique est déclenché très durement lors des déclenchements sur court circuit et si ces derniers sont fréquents, les pôles finissent par se détériorer.

Le disjoncteur est un appareil électromécanique capable de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales mais surtout dans des conditions anormales comme les courts-circuits et les surcharges. Sous certaines conditions, il peut aussi assurer la protection des personnes contre les dangers du courant électrique et il peut aussi assurer le sectionnement.

Il comporte :

- un circuit principal, qui comprend l'ensemble des parties conductrices insérées dans le circuit à protéger,
- un circuit de commande, qui regroupe les parties conductrices insérées dans un circuit utilisé pour commander les manœuvres d'ouverture et de fermeture,
- un circuit auxiliaire éventuel, destiné à assurer des fonctions annexes telles que la signalisation ou le verrouillage.

La position de repos du disjoncteur est fermée par intervention manuelle à l'aide d'un levier ou d'une manette.

La position de travail du disjoncteur est l'ouverture automatique.

Ainsi lors d'un déclenchement, un simple regard sur le panneau permet de repérer immédiatement le disjoncteur dont le levier est en position inverse des autres. Une fois le défaut éliminé, il suffit de remettre le levier en place pour réenclencher le disjoncteur.

3. Le disjoncteur différentiel résiduel.

Le dispositif le plus approprié pour protéger les circuits et les personnes est le disjoncteur différentiel.

En effet, il protège contre :

- les courants de court-circuit,
- les surcharges,
- les défauts à la terre.

Le disjoncteur différentiel appartient à la famille des dispositifs différentiels résiduels (DDR).

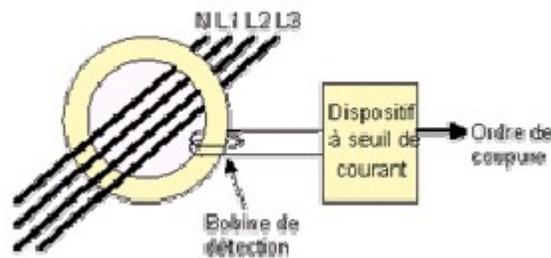
Le type de protection assuré par un disjoncteur dépend essentiellement de la nature du déclencheur :

- thermique
- magnétique
- magnéto-thermique
- à tore de détection du courant résiduel

C'est ce dernier modèle qui est couramment utilisé pour protéger contre un défaut d'isolement entre un conducteur actif et une masse ou la terre.

Principe:

Le DDR est conçu autour d'un transformateur d'intensité qui enserre les conducteurs actifs (phases et neutre).



Dans le cas d'un circuit sans défaut, la somme vectorielle,

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_N = 0$$

⇒ il n'y a donc pas de courant dans la bobine de détection.

Lors d'un défaut la somme vectorielle,

$$\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_N = \vec{I}_d$$

⇒ il apparaît donc un courant dans la bobine de détection proportionnel au courant de défaut **I_d** . La bobine alimente un dispositif à seuil de courant qui donnera l'ordre de déclenchement à l'appareil de coupure (interrupteur, disjoncteur).

Le seuil de réglage est appelé **$I_{\Delta n}$** . La norme de construction des DDR (NF C 61-140) tolère une zone dans laquelle, le système différentiel peut ou non déclencher. Cette zone est fonction du courant de défaut **I_d** et du seuil du DDR **$I_{\Delta n}$** .

V. Les domaines de tension.

Aucun travail sur un ouvrage électrique ou au voisinage d'un ouvrage normalement sous tension ne peut être entrepris sans considérer **les consignes de sécurité** dépendantes des différents **domaines de tension** :

Domaines de tension		Valeur de la tension nominale U_n exprimée en volts	
		en courant alternatif (A.C.)	en courant continu (D.C.)
Très Basse Tension (domaine T.B.T)		$U_n < 50$	$U_n < 120$
Basse Tension (Domaine B.T)	Domaine B.T.A	$50 < U_n < 500$	$120 < U_n < 750$
	Domaine B.T.B	$500 < U_n < 1\ 000$	$750 < U_n < 1\ 500$
Haute Tension (Domaine H.T.)	Domaine H.T.A	$1\ 000 < U_n < 50\ 000$	$1\ 500 < U_n < 75\ 000$
	Domaine H.T.B	$U_n > 50\ 000$	$U_n > 75\ 000$

Dans le cas particulier de la Très Basse Tension, il y a lieu de distinguer les opérations :

- en Très Basse Tension de Sécurité (**T.B.T.S**)
- en Très Basse Tension de Protection (**T.B.T.P**)
- en Très Basse Tension Fonctionnelle (**T.B.T.F**)

Aucune précaution n'est à prendre en **T.B.T.S** et en **T.B.T.P** pour les risques d'électrisation (attention aux courts-circuits et aux brûlures)

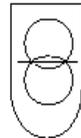
En **T.B.T.F**, toutes les règles de la B.T doivent être appliquées comme en cas d'incertitude sur sa nature.

CLASSE DES APPAREILS

Le matériel est classé en fonction de sa conception et de la tension d'alimentation. Un symbole doit permettre de le reconnaître :

CLASSE	SYMBOLE	UTILISATION
0	Pas de symbole	Interdite dans l'industrie
I		Matériel devant être relié obligatoirement à la terre
II		Matériel à double isolation, jamais relié à la terre
III		Lampe baladeuse alimentée en T.B.T.S. non reliée à la terre

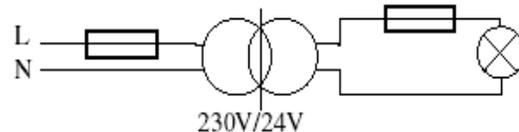
On doit en outre utiliser les symboles :
Pour les transformateurs de sécurité.
(Selon la norme)



La Très Basse Tension de Sécurité (T.B.T.S.)

Les sources de sécurité peuvent être soit :

- un transformateur de sécurité conforme à la norme.
- un groupe moteur-générateur.
- des accumulateurs (piles) indépendantes.



Alimentation en TBTS par transformateur de sécurité

L'utilisation de ces sources dépendra des locaux et des emplacements où sera utilisé le matériel, les tensions maximums à mettre en œuvre seront :

- dans les locaux secs : U alternatif = 50 V
 U continu = 120 V
- dans les locaux mouillés : U alternatif = 25 V
 U continu = 60 V

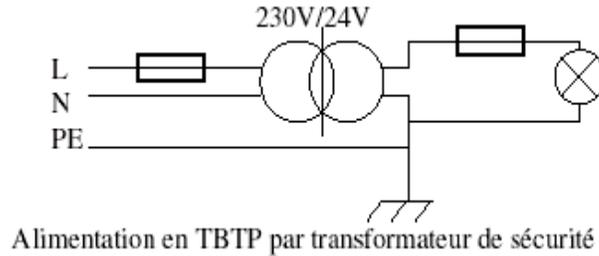
Au secondaire du transformateur (côté utilisation), les conducteurs ne doivent en aucun cas être reliés à la terre.

Les masses des matériels électriques devront :

- ne pas être reliés à la terre, ni à un conducteur de protection.
- être isolés de toutes les autres masses.

La Très Basse Tension de Protection (T.B.T.P.)

La conception des installations dites T.B.T.P. est identique à celle de T.B.T.S. mais il y a liaison entre les parties actives et la terre coté utilisation.

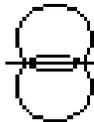


Les tensions maximums ne sont plus les mêmes qu'en T.B.T.S. suivant les emplacements:

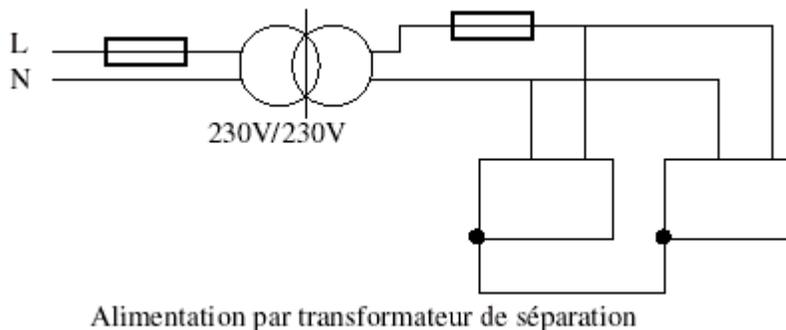
- dans les locaux secs : U alternatif = 25 V
U continu = 60 V
- dans les locaux mouillés : U alternatif = 12 V
U continu = 30 V

La séparation des circuits

La séparation des circuits s'applique dans le domaine BTA et s'établit à partir d'un transformateur de séparation conforme à la norme (NF EN 60 742 ou NF C 52 742) :



Le transformateur possède des enroulements séparés par une double isolation ou une isolation renforcée; le circuit séparé (côté utilisation) doit présenter un niveau d'isolement élevé, aucun point du circuit ne doit être relié à la terre. Il en est de même pour les masses.



Conclusion

Il n'y a **pas de mesure anodine** !!

L'appareil de mesure présente un **double danger** :

- branchement sur le réseau
- on lui envoie un potentiel qui peut être dangereux.

Veiller au **bon état des cordons** de mesure