

\$

*Cours : Sécurité
Electrique*

I. Introduction

L'électricité ne sent pas, ne se voit pas et ne s'entend pas, ce qui la rend très dangereuse pour les utilisateurs. En effet, la mauvaise utilisation de l'électricité peut entraîner des accidents plus ou moins graves.

II. Effets physiologiques du courant électrique

II.1. Effet du courant sur le corps

Le courant agit sur le corps de trois façons différentes :

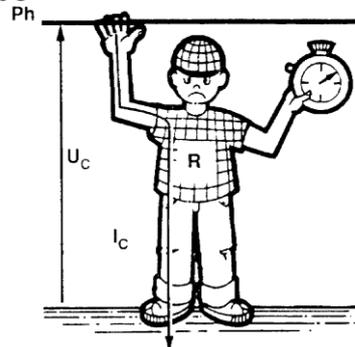
- par blocage des muscles, que ce soient ceux des membres ou de la cage thoracique (tétanisation),
- par brûlures : l'électricité produit par ses effets thermiques des lésions tissulaires plus ou moins graves selon la valeur du courant,
- par action sur le coeur : l'électricité provoque une désorganisation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

Intensité du courant	Effet sur le corps humain
0,5 mA	Sensation de passage du courant est très variable d'une personne à l'autre
10 mA	Contractions musculaires (tétanisation) empêchent à la personne de lâcher le conducteur
20 à 30 mA	Contraction des muscles respiratoires : les difficultés et l'arrêt respiratoire
100 mA	Fibrillation cardiaque
1 A	Arrêt du cœur

II.2. 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.



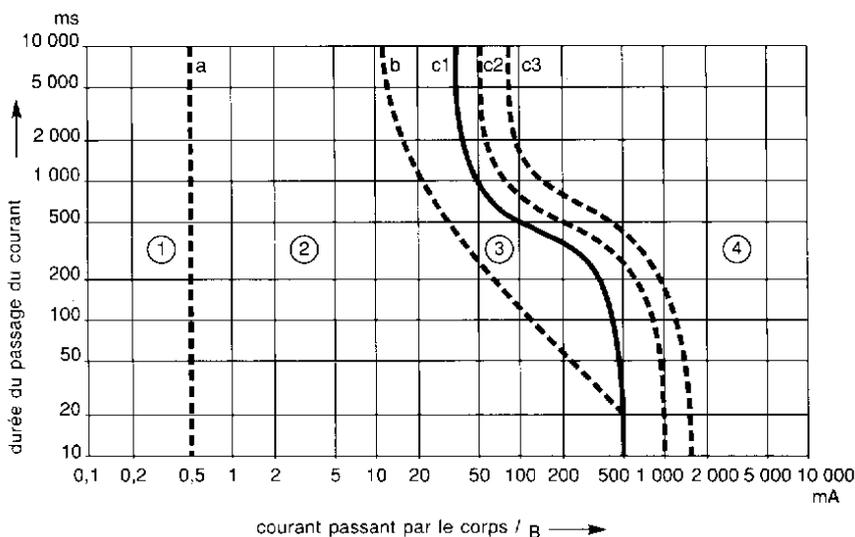
II.2.1. Relation entre le temps de passage du courant de choc dans le corps humain et l'intensité de ce courant

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 ($I_c < 0,5$ 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 C₂, 50 % des cas pour la courbe C₃, et plus de 50% au-delà de cette dernière courbe, d'où des effets pathophysiologies importants tels qu'*arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves.*

II.2.2. Relation entre le temps de passage du courant de choc dans le corps humain et la tension de contact

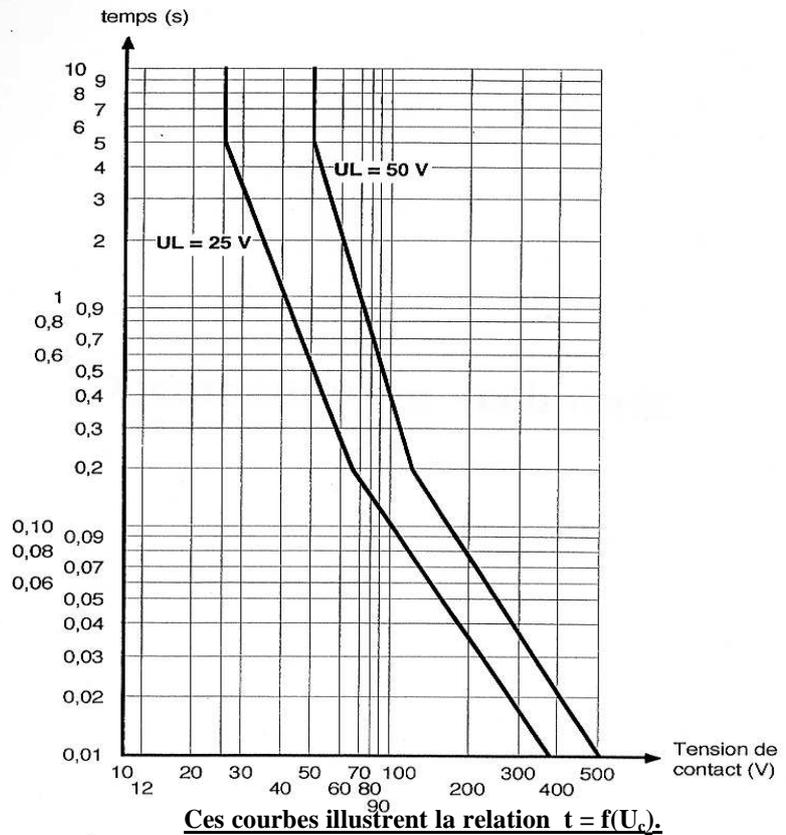
Selon le type de local, la norme NFC 15-100 précise, pour une tension d'alimentation en courant alternatif, deux valeurs de tensions limites conventionnelles de sécurité U_L :

- U_L = 25 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.

Exemple :

Lors d'un défaut dans un *local sec* (U_c = 50 V), si la tension de contact vaut 100 V, le dispositif de protection doit couper le circuit en moins de *0,4 secondes.*



III. Contacts directs

III.1. Qu'appelle-t-on un contact direct ?

C'est le contact d'une personne avec une partie d'un équipement ou d'une installation normalement sous tension.

Il existe deux cas de figure :

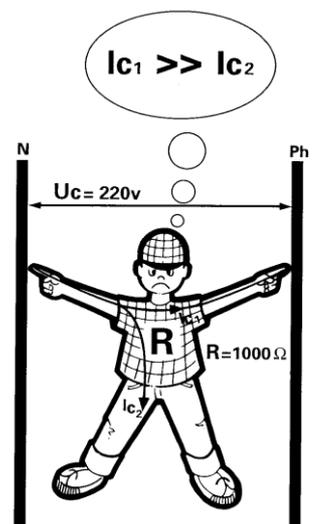
Cas n°1:

C'est le cas le moins fréquent et le plus défavorable pour la personne. La personne étant supposée isolée du sol le courant va circuler directement par la cage thoracique via le système respiratoire et cardiaque.

$I_c = U_c / R = 0,22 \text{ A}$

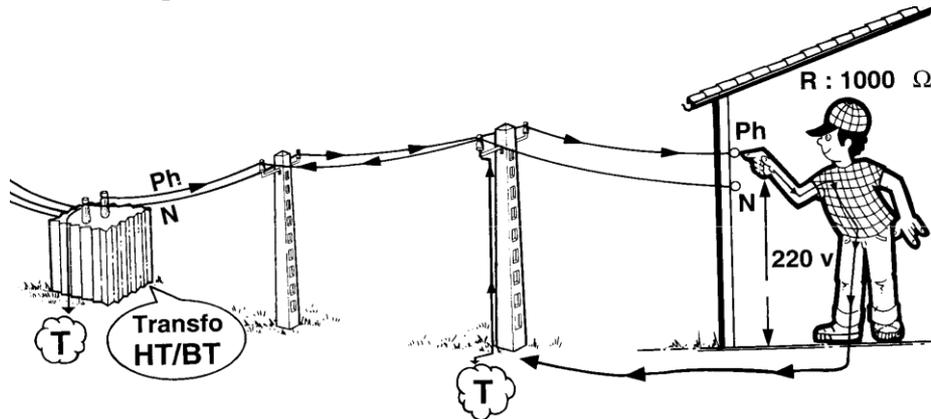
Au regard de la courbe $t = f(I_c)$ indiquer la durée maximale de cette situation pour cette personne :

$t_{max} = 50 \text{ ms.}$



Cas n°2 :

Les réseaux de distribution ont le neutre raccordé à la terre. Cette mise à la terre est réalisée au niveau du transformateur de distribution et relayée tous les 200 mètres environ. De ce fait toute personne qui rentrera en contact avec une phase du réseau se verra soumise à une tension de 220V.



Si on suppose les contacts pieds/sol de résistance nulle la personne se retrouve comme dans le cas n°1 traversé par un courant de 200mA.

III.2. Moyens de protection

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 :

- L'isolation des parties actives du matériel électrique (gaine, cache bornes, etc.).
- La protection au moyen d'enveloppes et de barrières (coffrets, tableaux, etc.) qui permettent de rendre le matériel électrique inaccessible.
- Mise hors de portée, par éloignement : C'est le cas des lignes aériennes à haute tension et basse tension.

IV. Contacts indirects

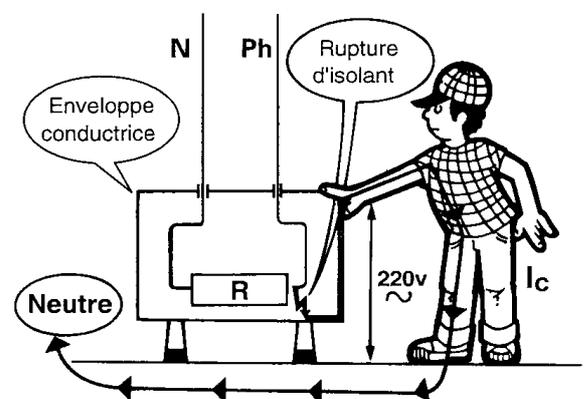
IV.1. Qu'appelle-t-on un contact indirect ?

C'est le contact d'une personne avec une masse métallique mise accidentellement sous tension par défaut d'isolement. Ce type de contact est très dangereux car, contrairement au contact direct, il n'est pas lié à l'imprudence ou à la maladresse de l'utilisateur.

En supposant que la résistance du défaut est faible, la personne placée dans cette condition sera soumise à un potentiel d'environ 220 V et traversée par un courant d'environ

$$220 / 1000 = 220 \text{ mA.}$$

Ce courant dépendra aussi du degré d'isolement pieds/sol. Ce défaut doit être détecté rapidement et éliminé avant qu'une personne entre en contact avec la masse métallique.



IV.2. Différents moyens de protection

IV.2.1. Utilisation de la Très Basse Tension (TBT)

La protection est assurée aussi bien contre les contacts directs qu'indirects lorsque la tension ne dépasse pas celle donnée dans le tableau .

Les installations en TBT doivent être alimentées à partir de sources de sécurité, c'est à dire parfaitement isolées des installations de tension supérieure (exemple: transformateurs d'isolement, piles, accumulateurs, ...)

Tension limite		Exemples d'utilisation
En alternatif	En continu	
50 V	120 V	Locaux d'habitation, bureaux, locaux non mouillés
25 V	50 V	Locaux mouillés, chantiers extérieurs secs
12 V	25 V	Piscines, volume dans salle de bain

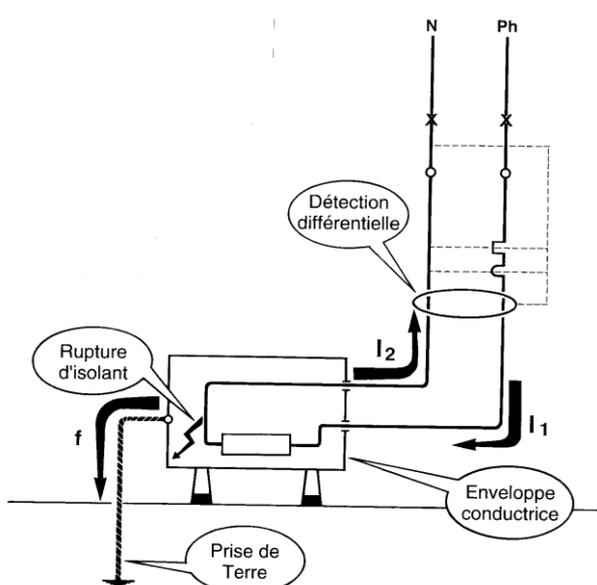
IV.2.1. Association de la mise à la terre avec des dispositifs de coupure automatique de l'alimentation

Dans le cas d'installations alimentées directement en BT par ONE (régime TT), on utilise un dispositif à coupure automatique de l'alimentation en cas de défaut : disjoncteur ou interrupteur à courant différentiel résiduel (**DDR**). Pour bien se protéger des contacts directs, trois conditions sont impératives :

- Utiliser un différentiel moyenne ou haute sensibilité
- Avoir une prise de terre de valeur correcte
- Avoir raccordé toutes les masses métalliques de l'installation à cette prise de terre.

Remarque :

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



En l'absence de défaut (rupture d'isolant) nous aurons : $I_1 = I_2$

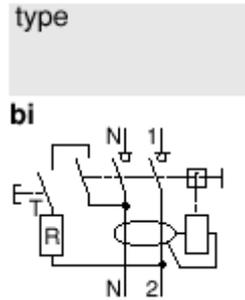
En présence d'un défaut d'isolement nous aurons : $I_1 > I_2$ avec $I_1 - I_2 = I_f$

Le circuit de détection va enregistrer cet écart entre le courant "sortant" et le courant "entrant" ouvrant ainsi les contacts. L'équipement sera automatiquement mis hors tension.

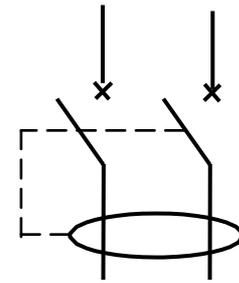
IV.2.1.1. Schéma de principe



ID si bi 63 A 30 mA



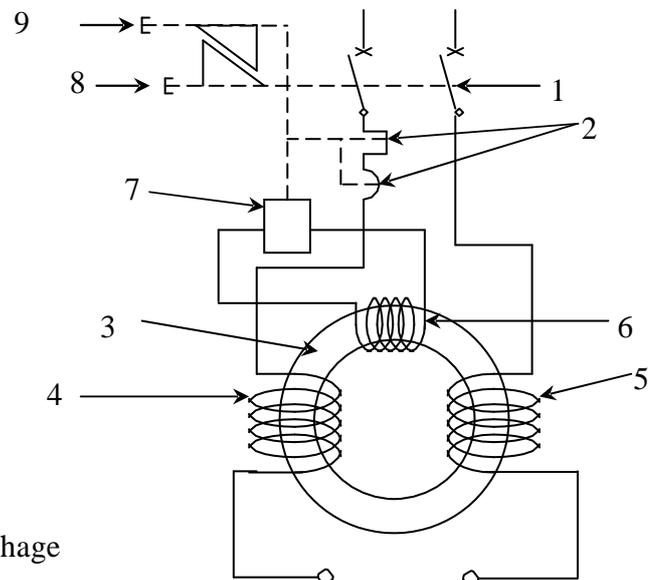
IV.2.1.2. Symbole électrique



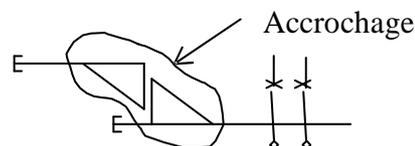
IV.2.1.3. Structure interne du disjoncteur différentiel magnétothermique

Disjoncteur en position ouverture

1	Contacts
2	Dispositif magnétothermique
3	Tore ferromagnétique
4	Bobine détectant I_1
5	Bobine détectant I_2
6	Bobine sonde
7	Relais de déclenchement
8	Bouton d'armement mise en route
9	Bouton arrêt
-----	Liaison mécanique



Disjoncteur en position fermeture



Pas de défaut $I_1=I_2$	Défaut d'isolement
Le flux ϕ_1 produit par la bobine 1 est égal au flux ϕ_2 produit par la bobine 2. Le flux résultant dans le tore = 0 donc $U = 0$ à la bobine sonde.	Le flux ϕ_1 produit par la bobine 1 est supérieur au flux ϕ_2 produit par la bobine 2 : apparition d'un flux variable dans le tore et d'une fem induite « e » aux bornes de la bobine sonde (loi de Lenz) qui va alimenter un relais, il y aura déclenchement du disjoncteur si le défaut est dangereux pour les personnes.

Remarque:

En fait le dispositif déclenche sur une plage, c'est à dire qu'il est susceptible de fonctionner entre $I\Delta n/2$ et $I\Delta n$.

$I\Delta n$ est la sensibilité du différentiel.

IV.2.1.4. Tableau: Sensibilité DDR / Résistance maxi prise de terre

	Valeur de DDR	Résistance maxi de la prise de terre pour une U_L de 25 V	Résistance maxi de la prise de terre pour une U_L de 50 V
Basse sensibilité	1000 mA	25 Ω	50 Ω
	650 mA	38 Ω	76 Ω
Moyenne sensibilité	500 mA	50 Ω	100 Ω
	300 mA	83 Ω	166 Ω
	100 mA	250 Ω	500 Ω
Haute sensibilité	30 mA	830 Ω	1660 Ω
	10 mA	2490 Ω	4980 Ω

$$R_{\text{terre}} \leq U_L / I_c$$

IV.2.2. Règles à respecter

Le neutre de l'installation doit être relié à la terre.

C'est le travail de L'ONE, quand le poste de transformation n'appartient pas à l'utilisateur (domestique, petite industrie,...)

Interconnecter les masses et les relier à une prise de terre différente de la prise de terre du neutre

C'est à la charge de l'utilisateur.

Mettre en place un dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) de calibre :

$$I\Delta n \leq \frac{U_L}{R_A}$$

U_L : Tension limite de sécurité du local

$I\Delta n$: Calibre du DDR (multiple de 3 ou de 1)

R_A : Résistance de terre de l'installation

C'est à la charge de l'utilisateur.

V. Exercices

- 1) Dans une habitation avec locaux mouillés et une résistance de la prise de terre de 37 Ω . Quelle devra être la sensibilité du disjoncteur différentiel à utiliser ?

$$U_L = 25 \text{ V}$$

$$\Delta I = 25 / 37 = 0,675 \text{ A}$$

On prendra le disjoncteur avec une sensibilité de $I\Delta n = 500 \text{ mA}$

- 2) Dans une habitation avec locaux mouillés, on place un disjoncteur différentiel ayant une sensibilité de 500mA.

Quelle devra être la résistance de la prise

$$\text{de terre ? } R_A = 25 / 0,5 = 50 \Omega$$

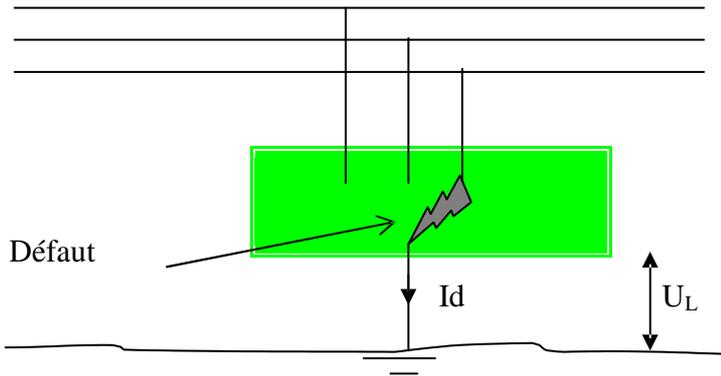
Peut-on augmenter cette résistance de terre?

.....

Protection des personnes et du matériel

I. Protection des personnes : Régimes de neutre

I.1. Défaut d'isolement.



Soit U_L : potentiel des masses.
 R_a : résistance de la prise de terre.
 I_d : courant de défaut.

$$\text{On a : } U_L = R_a \times I_d$$

Le potentiel U_L ne doit pas dépasser :
12 V en local très humide.
25 V en local humide.
50 V en local sec.

C'est un contact entre un ou plusieurs des conducteurs actifs (phase ou neutre) avec la masse ou la terre.

I.1.2. Les trois régimes de neutre.

Chaque régime est caractérisé par deux lettres :

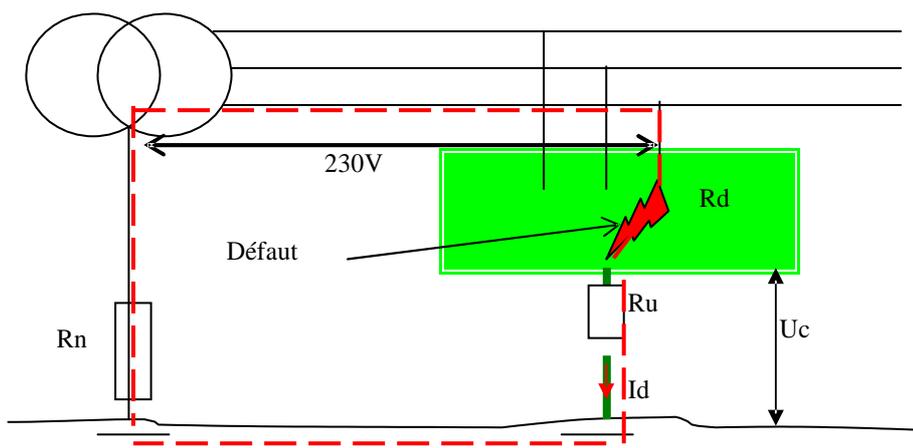
- 1^{er} lettre : **T** Neutre relié directement à la terre.
I Neutre isolé ou relié à la terre par une impédance.
- 2^e lettre : **T** Masse reliée directement à la terre.
N Masse relié au neutre.

I.1.3. Régime TT

I.1.3.1. Caractéristiques.

- Déclenchement des protections au 1^{er} défaut.
- Le neutre du transformateur d'alimentation est relié à la terre.
- Les masses sont interconnectées et reliées à la terre.

I.1.3.2. Schéma.



R_d : résistance de défaut. **$R_d = 0,1\Omega$**
 R_n : résistance de prise de terre du neutre. **$R_n = 10\Omega$**
 R_u : résistance de prise de terre des masses. **$R_u = 10\Omega$**

$$I_d = \frac{U}{R_d + R_n + R_u} = \frac{230}{0,1 + 10 + 10} = 11,4 \text{ A}$$

$$U_c = R_u \times I_d = 10 \times 11,4 = 114 \text{ V}$$

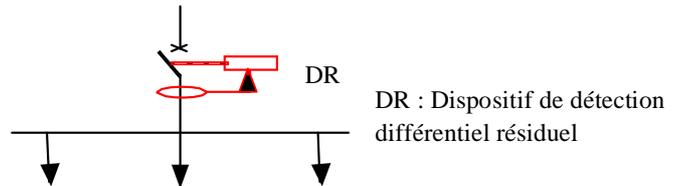
\Rightarrow **Tension mortelle**

I.1.3.3. Protection

- Toutes les masses des matériels protégés par un **même** dispositif de protection doivent être **interconnectées** et reliées par un conducteur de protection (PE) à une **même** prise de terre.
- La condition de protection doit satisfaire à la relation suivante : $R_u \cdot I_{\Delta n} \leq U_L$
 - $I_{\Delta n}$: Courant de fonctionnement du dispositif de protection ;
 - R_u : résistance de la prise de terre des masses ;
 - U_L : tension de contact limite : $U_L = 12V, 50V, 25V$ selon les locaux.
- Dans les schémas TT, on assurera la protection par un dispositif **différentiel à courant résiduel**. Dans ce cas, le courant $I_{\Delta n}$ est égal au courant différentiel résiduel du disjoncteur ou la sensibilité.

I.1.3.4. Emplacement des dispositifs différentiels

Toute installation TT doit être protégée par un dispositif différentiel résiduel placé à **l'origine** de l'installation.



I.1.4. Régime TN

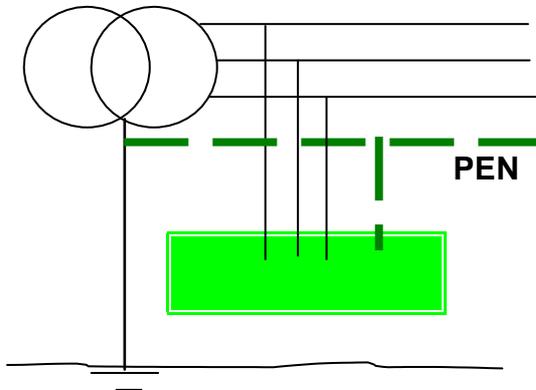
XI.1.4.1. Principe

Le **neutre** de l'alimentation est **relié à la terre** et les **masses** sont **reliées au neutre**.

Tout **défaut d'isolement** est transformé en un **défaut entre phase et neutre**.

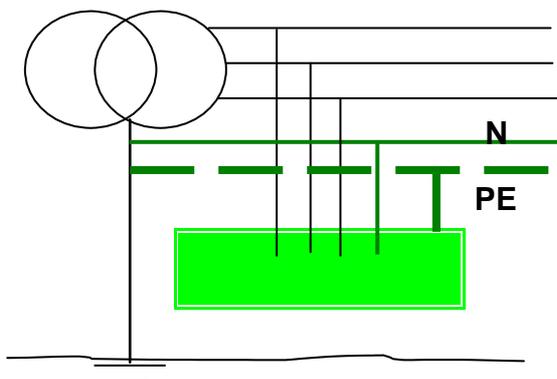
Ce qui se traduit par un **court-circuit phase neutre**.

I.1.4.2. Régime TNC :



Le conducteur de protection et le neutre sont **confondus** en un seul conducteur PEN :
Protection Electrique + Neutre
Section des conducteurs actifs $\geq 10 \text{ mm}^2$
On utilise l'appareillage **tripolaire**.

I.1.4.3. Régime TNS :

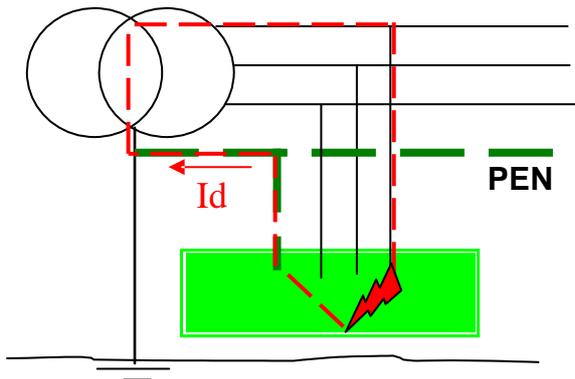


Le conducteur neutre est **séparé** du conducteur de protection électrique PE.

Utilisation de matériel tétra polaire.

Dans les deux cas, la protection doit être assurée par coupure au **premier** défaut.

I.1.4.4. Boucle de Défaut



Les prises de terre du neutre et des masses sont interconnectées.

En cas de défaut, un courant I_d circule dans le conducteur PE ou PEN.

⇒ Court circuit donc I_d est important.

⇒ Déclenchement des protections.

I.1.4.5. Caractéristiques :

- déclenchement au premier défaut.
- répartition des prises de terre dans toute l'installation (conducteur PEN).
- défaut d'isolement phase/masse est transformé en défaut phase/neutre.
- aucune élévation du potentiel des masses.

I.1.4.6. Protection

Un défaut d'isolement se traduit par un court-circuit

Le courant de défaut n'est limité que par la résistance des conducteurs : $I_d = 0,8V / (R_{ph} + R_{pe})$

Il faut vérifier que les dispositifs de protection réagissent en un temps **inférieur** à celui imposé par la norme, soit pour un disjoncteur : $I_{magnétique} \leq 0,8 \cdot V \cdot S_{ph} / \rho \cdot L \cdot (1+m)$ avec $m = S_{ph} / S_{pe}$

Soit $I_{magnétique} \leq I_d$: La condition de protection..

Tension nominale	Temps de coupure (s)	
	$U_L = 50 V$	$U_L = 25 V$
230 V	0,4	0,2
400 V	0,2	0,06

Remarque : Il faut pour les fusibles $I_f \leq I_d$ (courant de fusion du fusible).

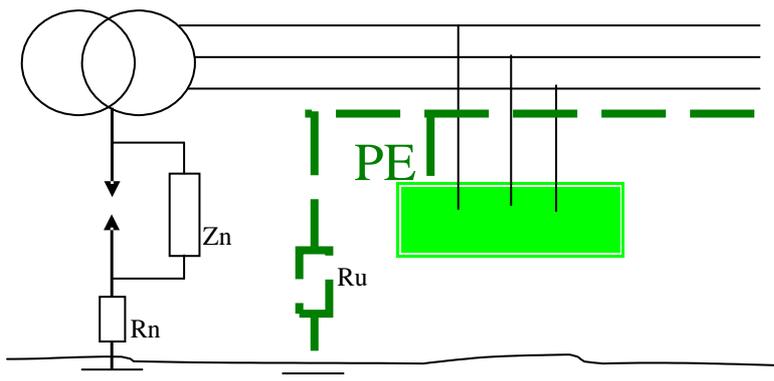
I.1.5. Régime IT :

I.1.5.1. Principe

Le neutre est isolé de la terre, ou relié à la terre par une impédance.

Les masses sont reliées à une prise de terre.

I.1.5.2. Schéma



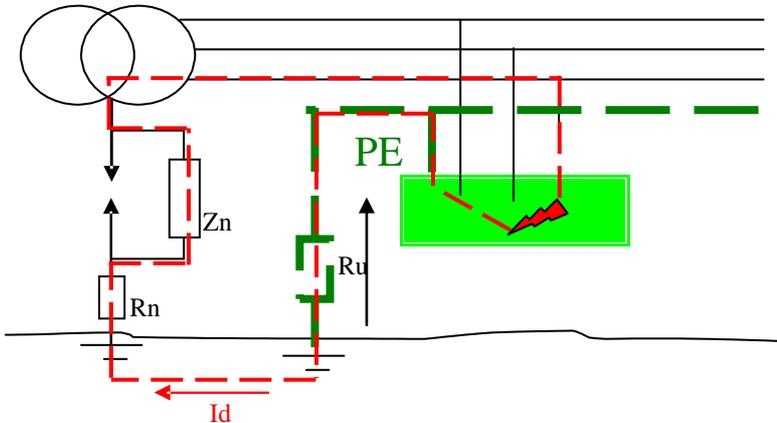
R_u : R de la prise de terre.

R_n : R de la terre du neutre.

Z_n : Impédance d'isolement.

I.1.5.3. Boucle de défaut

I.1.5.3.1. Premier défaut



Le premier défaut est inoffensif.

⇒ Id est très faible. Exemple de calcul :

$$Z_n = 2200 \Omega$$

$$R_n = 10 \Omega - R_u = 10 \Omega$$

$$I_d = V / Z_{total} = 220 / (2200 + 10 + 10)$$

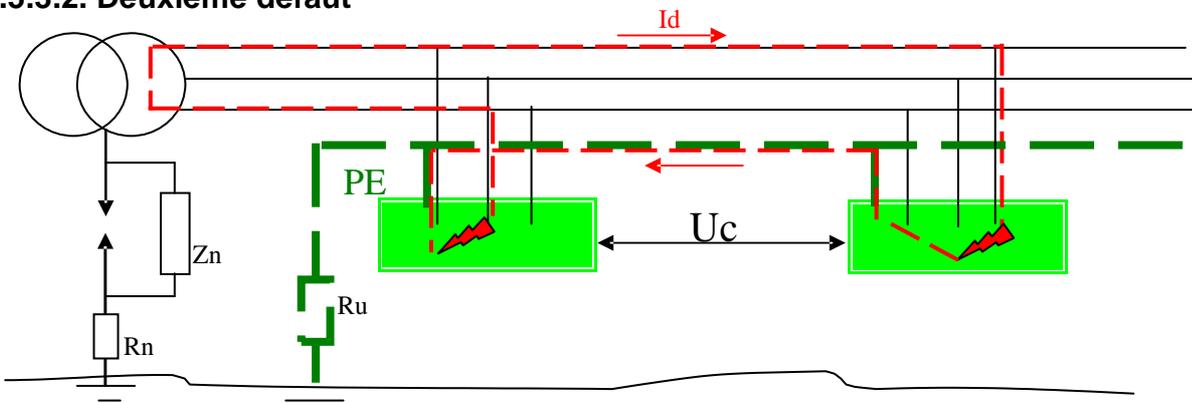
$$I_d = 0,1 \text{ A}$$

$$U_d = R_u \times I_d$$

$$U_d = 10 \times 0,1 = 1 \text{ V} \Rightarrow \text{Tension non dangereuse}$$

La coupure n'est pas impérative.

I.1.5.3.2. Deuxième défaut



En cas de double défaut, il y a présence d'un fort **courant de court circuit** (entre phase) et d'une **tension de contact (Uc) dangereuse**. ⇒ **Coupure automatique obligatoire.**

Deux cas se présentent :

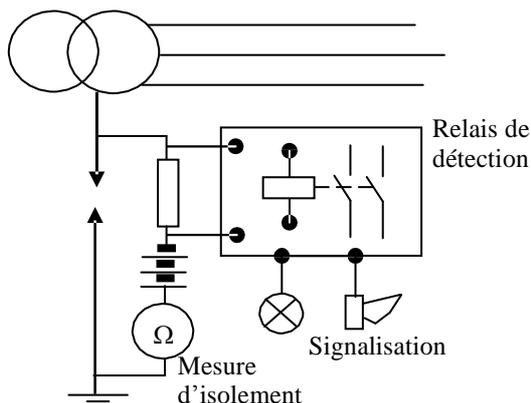
masses séparées : protection par dispositif différentiel : Régime TT.

masses communes : protection contre les surintensités : Régime TN.

I.1.5.4. Caractéristiques.

- le premier défaut doit être signalé par un contrôleur permanent d'isolement (CPI), par un signal sonore ou visuel.
- la coupure est obligatoire au deuxième défaut.
- un personnel de surveillance doit être capable de réparer au 1^{er} défaut.

I.1.5.5. Fonctionnement du CPI



Cet appareil contrôle en permanence l'isolement du réseau.

Un générateur injecte du courant continu entre le réseau et la terre.

- Absence de défaut : le courant continu ne circule pas entre le réseau et la terre.
- Présence de défaut : un faible courant est débité sur le réseau et le relais actionne les alarmes.

Cet appareil signale l'apparition du 1^{er} défaut.

I.1.6. Choix du régime de neutre.

Cas où le régime de neutre est imposé (exemples):

Type d'installation	RdN	Exemple
Bâtiment alimenté par un réseau de distribution publique	TT	Commerces Habitations
Etablissement d'enseignement avec ateliers	TT	Collège, LT, ...
Salle d'opération	IT	Bloc opératoire
Circuit de sécurité	IT	Eclairage de secours

Tous les régimes de neutre permettent de protéger les personnes, le matériel contre les contacts indirects par coupure automatique de l'alimentation.

I.1.7. Récapitulatif.

Désignation	Règles	Protection
Neutre à la terre TT Masses à la terre	Coupure automatique au 1 ^{er} défaut $I\Delta n \leq U_L / R_u$	Assurée par disjoncteur différentiel
Mise au neutre TN Masses reliées au neutre et neutre à la terre	Coupure automatique au 1 ^{er} défaut	Défaut transformé en court circuit, phase/neutre, protection par fusible ou disjoncteur
Neutre isolé IT Masses à la terre	Coupure automatique au 2 ^e défaut	Avertissement au 1 ^{er} défaut par CPI

Le régime de neutre TT est surtout utilisé dans la distribution publique d'énergie.

La mise au neutre TN est surtout employée dans l'industrie.

Le neutre isolé IT est installé pour des raisons de continuité de fonctionnement.

II. Protection du matériel

II.1. Défauts dans les installations électriques

Les principales perturbations sur une installation électrique se traduisent par :

- Les surintensités : surcharges ou courts-circuits
- Les surtensions ou les baisses de tension

Perturbation	Causes	Effets	Moyens de protection
Surcharges	Dès que l'appareil d'utilisation demande une puissance plus importante. Ex: moteur électrique bloqué	Accroissement anormal du courant absorbé, d'où échauffement lent mais pouvant entraîner la détérioration de l'installation.	Fusible Relais thermique Disjoncteur avec déclencheur thermique
Court-circuit	Élévation brutale du courant absorbé due à un contact électrique entre 2 conducteurs de polarités différentes	Création d'un arc électrique, échauffement très important pouvant entraîner la fusion des conducteurs, création d'effets électrodynamiques	Fusible Disjoncteur avec déclencheur magnétique

Surtensions	Augmentation brutale de la tension due : <ul style="list-style-type: none"> • à des contacts accidentels avec la H.T, • à des conditions atmosphériques : coup de foudre. 	Destruction des isolants.	Relais de surtension, Parafoudre.
Baisses de tension	Chute de tension trop importante due à un déséquilibre du réseau.	Mauvais fonctionnement des récepteurs (moteurs, matériels informatiques, ...).	Relais à minimum de tension.

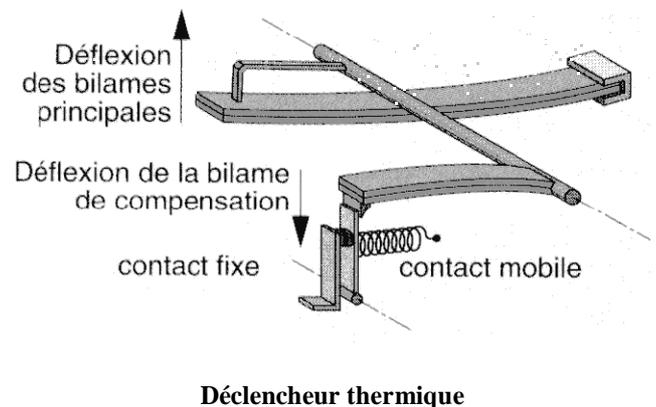
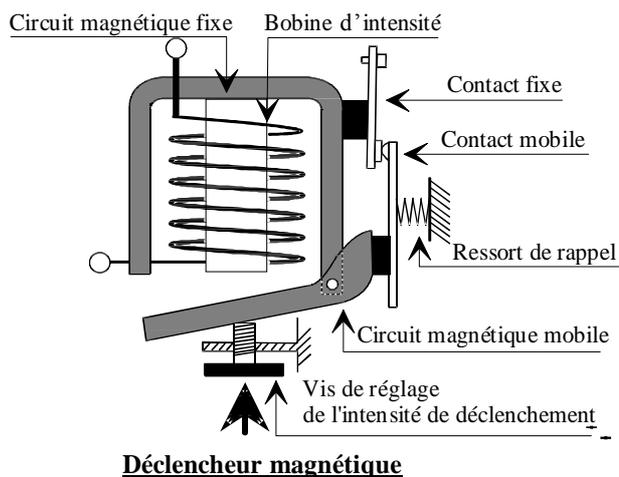
II.2. Dispositifs de protection.

II.2.1. Présentation générale.

La détection des défauts des différents dispositifs de protection peut être liée:

- à un effet thermique comme la fusion d'un fusible ou la rupture d'un contact d'un bilame (Ferro-nickel/invar).
- à un effet magnétique: une surintensité provoque la fermeture d'un circuit magnétique ce qui entraîne l'ouverture d'un contact.

La détection permet, par la même occasion, l'élimination des défauts.



Remarque : la séparation de deux pièces sous tension lors d'une coupure de courant entraîne l'apparition d'un arc électrique. Pour réellement interrompre le courant, il va falloir couper cet arc. C'est ce qu'on appelle le soufflage de l'arc.

II.2.2. Fusibles.

II.2.2.1. Définition

Appareil de connexion dont la fonction est d'ouvrir par la fusion d'un de ses éléments calibrés à cet effet, le circuit dans lequel il est inséré et d'interrompre le courant lorsque celui-ci dépasse pendant un temps suffisant une valeur précise.

II.2.2.2. Constitution

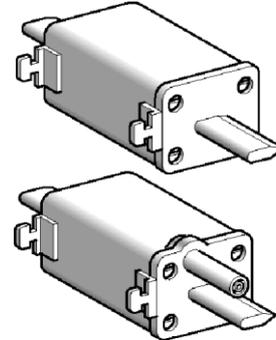
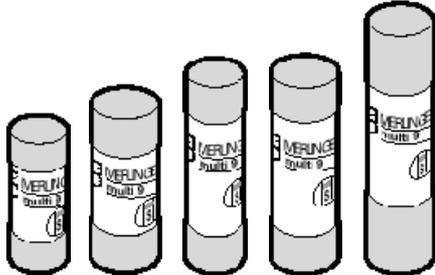
Le principe du fusible est basé sur la création d'un point faible dans un circuit avec un conducteur dont la nature, la section et le point de fusion sont parfaitement connus. Cet élément se trouve noyé dans de la silice (sable) qui a pour but de refroidir l'arc électrique lors de la fusion de l'élément fusible.

II.2.2.3. Différents types de fusibles

On distingue plusieurs classes de fusibles:

- classe **gI** et **gG** : protègent contre les surcharges et les courts circuits (usage général).
- classe **aM** : fusibles d'accompagnement moteur qui protègent contre les courts-circuits

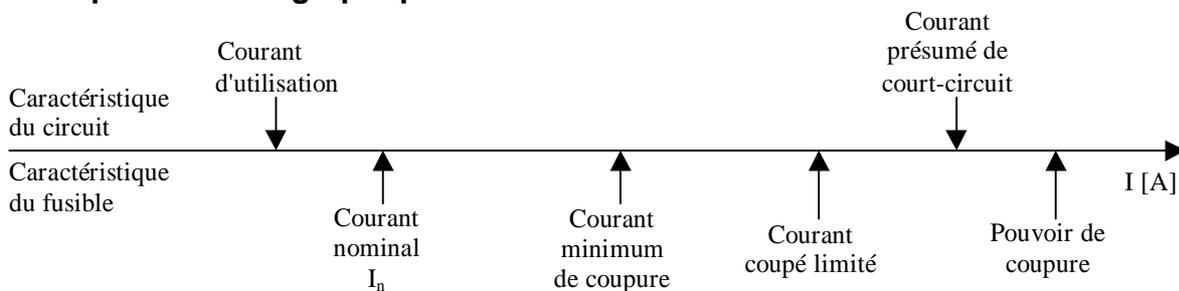
Les éléments fusibles peuvent se présenter sous forme de cartouches cylindriques ou de cartouches à couteau.



II.2.2.4. Caractéristiques

- Tension nominale : U_n : 250, 400, 500, 660 V
- Courant nominal : I_n : c'est le calibre du fusible
- Courant de non fusion : I_{nf} : Valeur du courant qui peut être supporté par l'élément fusible, pendant un temps conventionnel, sans fondre.
- Courant de fusion : I_f : Valeur du courant qui provoque la fusion du fusible avant le temps conventionnel.
- Durée de coupure : temps qui s'écoule entre le moment où commence à circuler un courant suffisant pour provoquer la fusion et la fin de fusion.

II.2.2.5. Représentation graphique des courants



Pouvoir de coupure : Courant maximal qu'un fusible peut couper sans que la tension de rétablissement ne provoque un réamorçage, les pouvoirs de coupures des fusibles sont élevés.

Exemple: Fusibles gG calibre 16 A, $U_n = 500$ V PC = 80 kA
Fusible aM calibre 63 A, $U_n = 500$ V PC = 170 kA

II.2.2.6. Choix d'un fusible

On choisit le calibre du fusible égal au courant :

- À pleine charge de l'installation à protéger pour la classe gG.
- Nominal du moteur à pleine charge pour la classe aM.

II.2.2.7. Fusibles moyenne tension.

Fusibles MT Fusarc de chez Schneider Electric .

Caractéristiques

- tension assignée : 3,6 - 7,2 - 12 - 17,5 - 24 - 36 kV;
- pouvoir de coupure : 20 – 32 – 40 – 50 - 63 kA ;
- courant assigné: 6,3 - 10 - 16 – 20 – 25 - 31,5 – 40 - 50 – 63 - 80 -100 –125 - 160 - 200 - 250 A.



II.2.3. Sectionneurs.

II.2.3.1. Définition

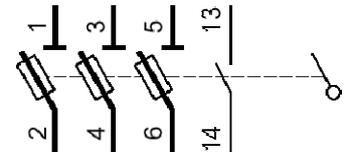
Le sectionneur est un appareil mécanique de connexion qui satisfait, en position d'ouverture, aux prescriptions spécifiées pour la fonction sectionnement. Le sectionnement consiste à séparer et à isoler électriquement, suivant les critères de sécurité définis par les normes, une installation de son réseau d'alimentation.

La fonction sectionnement est réalisée au moyen de :

- Sectionneurs
- Interrupteur Sectionneurs
- Disjoncteurs et discontacteurs

II.2.3.2. Constitution générale

- Les contacts principaux (Pôles) : Contacts à fermeture.
Position ouverte : ils assurent le sectionnement de l'installation.
Position fermée : ils supportent le courant du circuit principal.
- Les contacts auxiliaires : 1 ou 2 contacts à fermeture (contact de pré coupure).



Le contact auxiliaire de pré coupure se raccorde en série avec la bobine du contacteur (Généralement, il est placé dans l'en-tête du circuit de commande)

- Manœuvre d'ouverture : le contact auxiliaire s'ouvre avant le contact principal.
- Manœuvre de fermeture : le contact auxiliaire se ferme après le contact principal.

En cas de manœuvre accidentelle en charge, il interrompt donc l'alimentation des bobines de contacteurs avant l'ouverture des pôles du sectionneur.

II.2.3.3. Caractéristiques fonctionnelles

Le sectionneur est un appareil à rupture lente qui ne doit jamais être manœuvré en charge.

Les sectionneurs peuvent être munis de coupe-circuit fusibles en remplacement des tubes ou barrettes de sectionnement, dans ce cas, le sectionneur portera le nom de sectionneur porte fusibles.

- Caractéristiques des contacts principaux :
Tension nominale assignée : 600 V, 1000 V
Courant permanent maximal : 25, 50 ... 500 A
- Caractéristiques des contacts auxiliaires :
Tension nominale assignée : 500 V
Courant nominal thermique : 10 A

Remarque :

Le sectionneur peut comporter un dispositif de condamnation par cadenas empêchant toute manœuvre non autorisée. Verrouillage en position d'ouverture interdisant toute fermeture intempestive.



L'interrupteur
L'interrupteur est un appareil de connexion capable et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, ainsi que d'établir, de supporter pendant une durée spécifiée et d'interrompre des courants dans des conditions anormales spécifiées telles que celles du court-



sectionneur
appareil mécanique de d'établir, de supporter courants dans les conditions du circuit, y compris spécifiées de service, ainsi que de supporter pendant une durée spécifiée les conditions du circuits telles que celles du circuit.

Un mécanisme lié au dispositif de commande manuelle assure l'ouverture et la fermeture brusque des contacts indépendamment de la rapidité de manœuvre de l'opérateur.

II.2.4. Disjoncteurs.

II.2.4.1. Définition.

Un disjoncteur est un appareil de connexion électrique capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, ainsi que d'établir, de supporter pendant une durée spécifiée et d'interrompre des courants dans **des conditions anormales spécifiées** telles que celles du court-circuit ou de la surcharge.

II.2.4.2. Approche matérielle

C'est l'association d'un ensemble de contacts avec un grand pouvoir de coupure et d'un système de détection et de protection contre les surcharges et les courts-circuits.

II.2.4.3. Association avec d'autres fonctions

On peut associer un disjoncteur à :

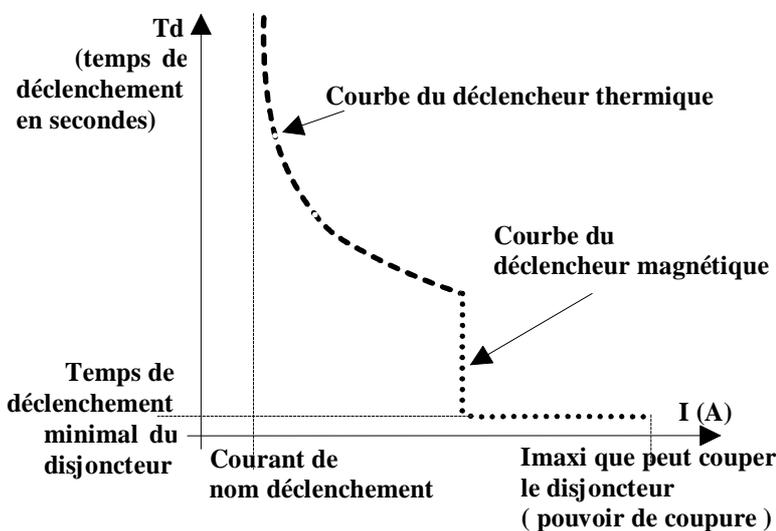
- La fonction du sectionneur
- La fonction du différentiel
- Au déclenchement sur cc

Distribuer
Protéger les personnes
Sécurité des personnes

II.2.4.4. Caractéristiques de déclenchement

II.2.4.4.1. Courbe de déclenchement.

C'est l'association de la courbe de déclenchement du relais thermique et de la courbe de déclenchement du relais magnétique



Courbe B.

Protection des générateurs, des lignes de grande longueur, où il n'y a pas de pointes de courant. (Elle remplace la courbe L)

Réglage de I_m : 3 à 5 I_n .

Courbe C.

Protection générale des circuits ; (elle remplace la courbe U)

Réglage de I_m : 5 à 10 I_n .

Courbe D.

Protection des circuits à fort courant d'appel (primaires transformateurs BT/BT, moteurs,...).

Réglage de I_m : 10 à 14 I_n .

II.2.4.5. Classification des disjoncteurs

II.2.4.5.1. Disjoncteur divisionnaire.

La tendance est au remplacement des fusibles sur les tableaux de distribution d'abonnés par des disjoncteurs magnétothermiques

II.2.4.5.2. Disjoncteur de distribution B.T.

Pour la commande et la protection des circuits de moteurs et de distribution, il existe deux types de construction de disjoncteurs.

- Les disjoncteurs sous boîtier moulé de 32 à 1250 A équipés de relais thermiques
- Les disjoncteurs sur châssis métallique de 800A à 6300A.

Ils sont le plus souvent à commande motorisée et munis de relais de protection électroniques.



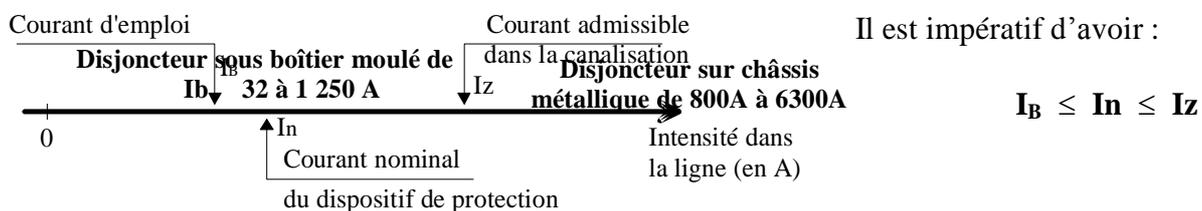
II.2.4.5.3 Disjoncteur moyenne et haute tension.

Destinés à la protection des réseaux de distribution, et des postes de transformation, ces disjoncteurs utilisent la coupure dans l'hexafluorure de soufre (SF6) pour l'isolement et la coupure.

Remarque : Pour les disjoncteurs HTA. et HTB (jusqu'à 400KV) un pôle de disjoncteur est constitué de une ou plusieurs chambres de coupures.

II.2.4.6. Critères de choix.

- **Type (B, C ou D) :** le choix se fait en fonction du type d'installation (domestique, distribution, moteur...).
- **Calibre :** L'intensité du calibre I_n (en A) doit comprise entre I_b et I_z .



I_b : Courant d'emploi : Il s'agit du courant nominal ou maximal de la charge.

I_n : Courant nominal du dispositif de protection : Il s'agit du calibre en Ampères de la cartouche fusible.

I_z : Courant admissible dans la canalisation : Il s'agit de l'intensité maximale autorisée dans la ligne.

Elle est fonction de différents paramètres tels que mode de pose de la ligne, température, etc.

- **Nombre de pôles (4P, 3P,..) :** IL est fonction du réseau et de la charge.
- **Modèle (modulaire, compact,..) :** Le modèle est principalement imposé par I_n .
- **Tension nominale :** Elle doit être supérieure ou égale à la tension du réseau.
- **Pouvoir de coupure (kA) :** IL doit être supérieur au courant de court-circuit que l'on peut atteindre sur la ligne.

Exercice N° 1 :

Soit le schéma de liaison à la terre de la figure 1 page 19.

- 1) Identifier le régime de neutre de l'installation.
- 2) Supposant un premier défaut d'isolement survient entre la phase 1 et la masse du récepteur :
 - 2.1. Tracer le circuit de la boucle de défaut.
 - 2.2. Calculer le courant de défaut (de court circuit) I_{cc} selon la norme NF C15-100.
 - 2.3. Calculer le potentiel de contact U_c . Conclure.
 - 2.4. Quel appareil de protection (A) adapté dans ce cas. Justifier votre réponse.
 - 2.5. D'après les courbes de sécurité document (page 20) déterminer le temps de déclenchement t_s de l'appareil de Protection.
 - 2.6. On donne $I_{mag} = 8.I_n$. Vérifier si la condition de protection est assurée. I_{mag} : Courant de réglage.
 - 2.7. Calculer la longueur maximale L_{MAX} de la canalisation.
 - 2.8. Si L dépasse L_{MAX} quel sera le problème. Donner la solution.

Exercice N° 2 :

Soit le schéma de liaison à la terre de la figure 2 page 19.

- 1) Identifier le régime de neutre de l'installation.
- 2) Supposant un défaut d'isolement survient entre la phase 1 et la masse du récepteur2 :
 - 2.1. Tracer le circuit de la boucle de défaut.
 - 2.2. Calculer le courant de défaut I_d .
 - 2.3. Calculer le potentiel de masse V_o . Conclure.
 - 2.4. Quels appareils de protection (B et C) adaptés pour protéger les récepteurs dans ce cas. Justifier votre réponse.
 - 2.5. Quel est le rôle de l'appareil CPI.
 - 2.6. Quel est le rôle de l'appareil (LS).

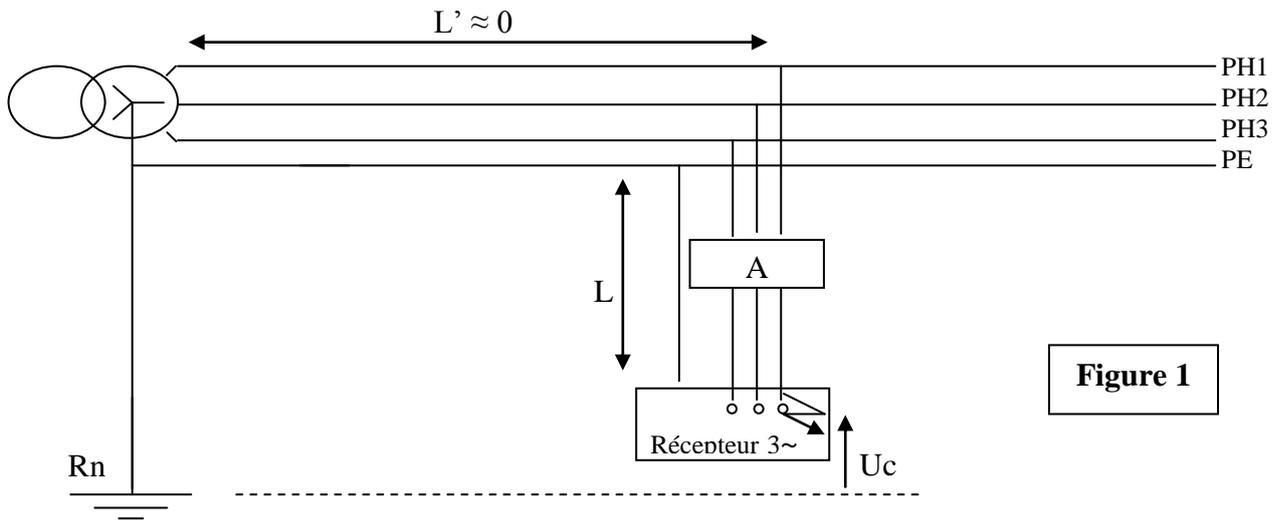


Figure 1

Données :

- Local : Humide.
- Réseau : 220 / 380V – 50HZ.
- $R_d = 0 \Omega$: Résistance de défaut.
- $L = 70 \text{ m}$: Distance mesurée entre le transformateur et les récepteurs.
- $\rho = 22,5 \cdot 10^{-3} \Omega \text{mm}^2 / \text{m}$; $S_{PH} = 70 \text{ mm}^2$; $S_{PE} = 50 \text{ mm}^2$.
- Calibre de A = $I_n = 160 \text{ A}$.

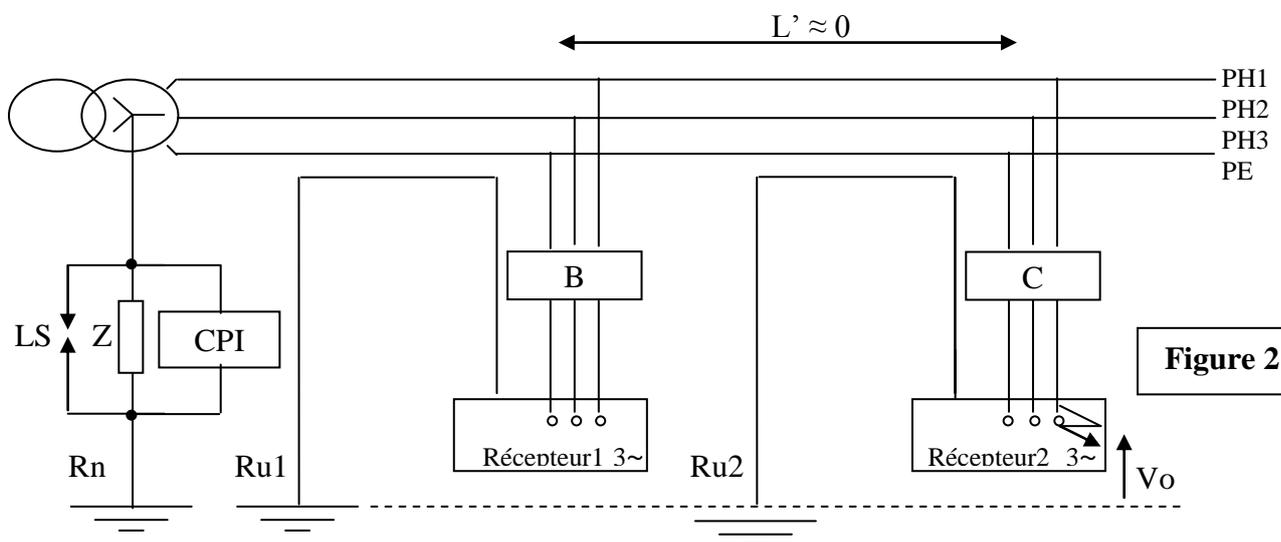
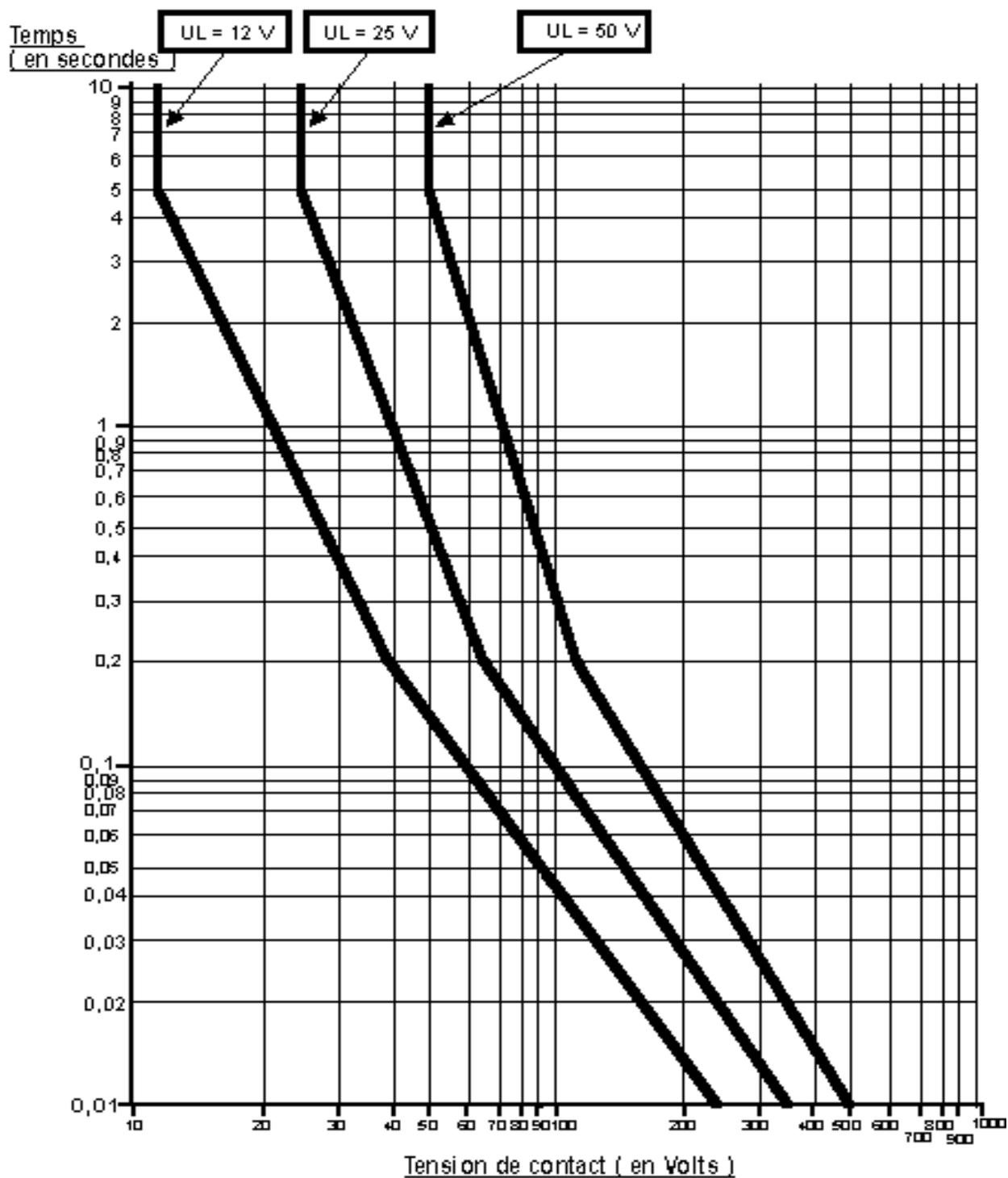


Figure 2

Données :

- Local : Sec.
- Réseau : 220 / 380V – 50HZ.
- $R_n = 30 \Omega$: Résistance du prise de terre du neutre.
- $R_{u1} = 30 \Omega$: Résistance du prise de terre des masses pour récepteur1.
- $R_{u2} = 30 \Omega$: Résistance du prise de terre des masses pour récepteur2.
- $Z = 60 \text{ K}\Omega$: Impédance reliant le neutre à la terre.
- $R_d = 0 \Omega$: Résistance de défaut.

COURBES DE SECURITE

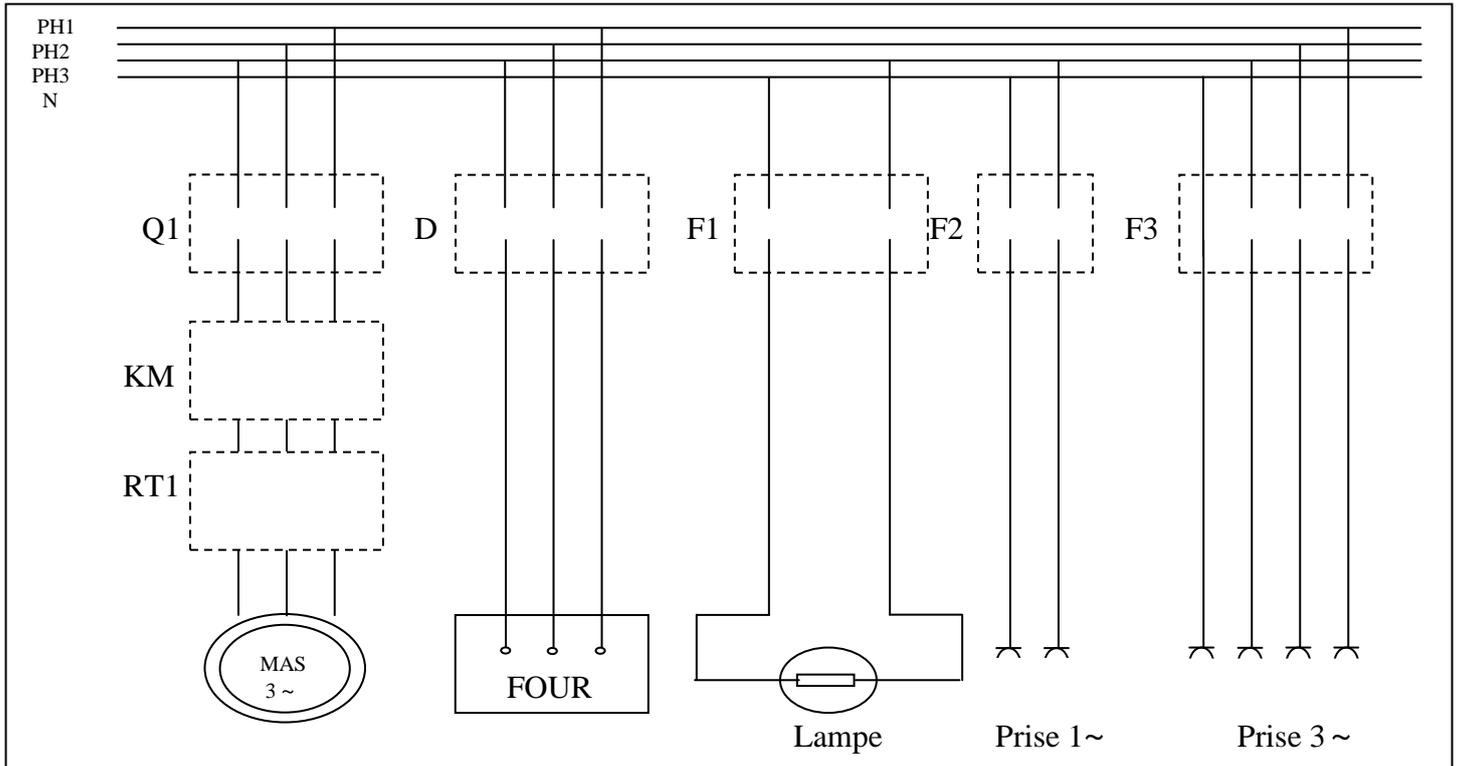


Exercice 3 :

Une installation électrique comporte les récepteurs suivants :

- Un moteur asynchrone triphasé : 220/380V-50Hz- 4KW. Protégé par sectionneur Q1 et relais RT1.
- Un four thermique : 26,3KW. Protégé par un disjoncteur D.
- Une prise de courant triphasé : 5,2KVA. Protégé par fusible F3, socle 40.
- Une prise de courant monophasé : 1KVA. Protégé par fusible F2, socle 20.
- Une lampe à incandescence : 100W. Protégé par fusible F1, socle 20.

En utilisant les tableaux du document page 22, choisir les appareils de protection des récepteurs et compléter le schéma ci-dessous.



Réponse :

Récepteurs	Appareils de protection
Moteur	Contacteur : / RT1 : / Zone de réglage : Fusible : Taille..... / Calibre : / Type : / Sectionneur :
Four	Disjoncteur : / Calibre :
Prise triphas	Fusible F3 : Taille..... / Calibre : / Type :
Prise monop	Fusible F2 : Taille..... / Calibre : / Type :
Lampe	Fusible F1 : Taille..... / Calibre : / Type :

Tableau de choix des disjoncteurs :

Type de disjoncteur	Calibre en A sous tension 380V
C32a Courbe L	5-10-15-20-25-32-38
C32N Courbe D	1-2-3-5-10-15-20-25-32
C100 Courbe L	20-25-32-40-50-63-70-80

Tableau de choix des Fusibles :

Type de fusible	Taille $\phi \times L$ (mm)	Socle	Calibres en (A)
gI	10x38	20	2-4-6-8-10-12-16-20
gII	14x51	40	2-4-6-8-10-16-20-25-32-40
aM	22x58	80	20-25-32-40-50-63-80

Tableau de choix des contacteurs, relais thermiques, fusibles et sectionneurs : (utilisation en catégorie AC3, d'après documentation télémechanique)

MOTEUR A CAGE				PROTECTION						
220 / 240V		380 / 400V		contacteur tripolaire	relais thermique tripolaire différentiel		3 fusibles classe aM		sectionneur	sectionneur disjoncteur
Kw	In(A)	Kw	In(A)	référence	référence	zone de réglage (A)	calibre (A)	taille	référence	référence
-	-	0.37	1.03	LC1-D09	LRI-D1306	1 / 1.6	2	10x38	LS1-D2531	GK2-CF06
-	-	0.55	1.6	LC1-D09	LRI-D13x6	1.25/2	4	10x38	LS1-D2531	GK2-CF07
0.37	1.8	0.75	2	LC1-D09	LRI-D1307	1.6/2.5	4	10x38	LS1-D2531	GK2-CF07
0.55	2.75	1.1	2.6	LC1-D09	LRI-D1308	2.5/4	6	10x38	LS1-D2531	GK2-CF08
0.75	3.5	1.5	3.5	LC1-D09	LRI-D1308	2.5/4	6	10x38	LS1-D2531	GK2-CF08
1.1	4.4	2.2	5	LC1-D09	LRI-D1310	4/6	8	10x38	LS1-D2531	GK2-CF10
1.5	6.1	3	6.6	LC1-D09	LRI-D1312	5.5/8	12	10x38	LS1-D2531	GK2-CF12
2.2	8.7	4	8.5	LC1-D09	LRI-D1314	7/10	12	10x38	LS1-D2531	GK2-CF14
3	11.5	5.5	11.5	LC1-D12	LRI-D1316	9/13	16	10x38	LS1-D2531	GK2-CF16
4	14.5	7.5	15.5	LC1-D18	LRI-D1321	12/18	20	10x38	LS1-D2531	GK2-CF21
-	-	9	18.5	LC1-D25	LRI-D1322	17/25	25	10x38	LS1-D2531	GK2-CF22
5.5	20	11	22	LC1-D25	LRI-D1322	17/25	25	10x38	LS1-D2531	GK2-CF22
7.5	27	15	30	LC1-D32	LRI-D2353	23/32	40	14x51	GK1-EK	GK3-EF04
-	-	15	30	LC1-D32	LRI-D2355	28/36	40	14x51	GK1-EK	GK3-EF40
10	35	18.5	37	LC1-D40	LRI-D3355	30/40	40	14x51	GK1-EK	GK3-EF40
11	39	-	-	LC1-D40	LRI-D3357	37/50	63	22x58	DK1-FB23	GK3-EF65
-	-	22	44	LC1-D50	LRI-D3357	37/50	63	22x58	DK1-FB23	GK3-EF65
15	52	25	52	LC1-D50	LRI-D3359	48/65	63	22x58	DK1-FB23	GK3-EF65
18.5	64	30	60	LC1-D65	LRI-D3361	55/70	80	22x58	DK1-FB23	GK3-EF65
22	75	37	72	LC1-D80	LRI-D3363	63/80	80	22x58	DK1-FB23	GK3-EF80
25	85	51	98	LC1-D95	LRI-D3365	80/93	100	22x58	DK1-FB23	-

XII. Mesure et comptage

XII.1. Mesures électriques sur les réseaux

XII.1.1. Principe

Les données en provenance des capteurs placés sur le réseau sont traitées par l'unité de protection et de contrôle qui commande les actionneurs sur le réseau.

XII.1.2. Capteur de courant (TC)

Ce sont des transformateurs de courant. Ils permettent :

- D'adapter le courant à mesurer aux appareils de mesure.
- D'isoler le circuit de puissance du circuit de mesure

Caractéristique : Courant primaire : 10, 15, ..., 500 A
Courant secondaire : 1 à 5 A

XII.1.3. Capteur de Tension (TP)

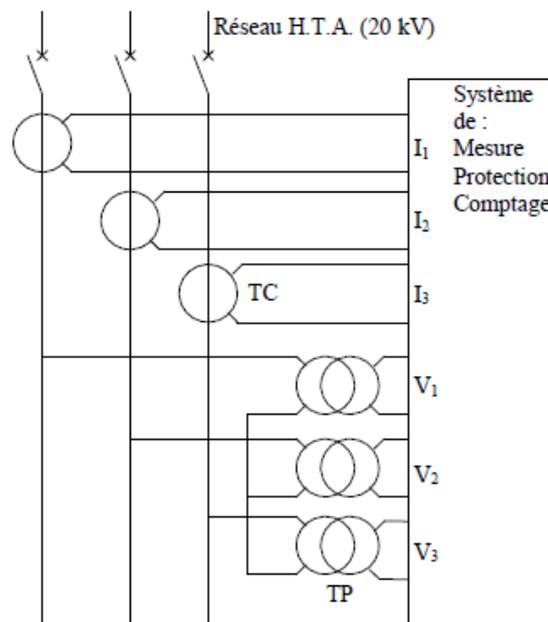
Ce sont des transformateurs de tension et permettent :

- d'adapter la tension aux calibres des appareils de mesures
- isoler le circuit de puissance des circuits de mesures

Caractéristiques : Tension primaire : 3,5, 10, 20, 30 kV (H.T.A.)
Tension secondaire : 100, 110 V (B.T.)

XII.1.4. Exploitation des mesures

Les valeurs d'intensité et de tension à la sortie des transformateurs (TC et TP) sont l'image exacte des valeurs du réseau H.T.A.. Ces images sont exploitées pour le comptage de l'énergie, les mesures de déphasages, de puissance, de courant, de tension. Elles sont aussi exploitées pour la protection des personnes et des biens.



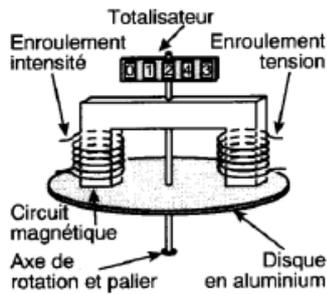
XII.2. Comptage

Les postes de comptage sont des équipements destinés à enregistrer et à maîtriser la fourniture de l'énergie électrique.

XI.2.1. Pour les abonnés au réseau BT

Le poste de comptage est en limite de propriété, il est constitué d'un compteur d'énergie enregistrant la consommation d'énergie.

XI.2.1.2. Principe de fonctionnement

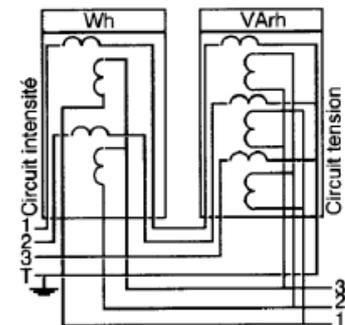


Les compteurs d'énergie fonctionnent sur le principe des moteurs d'induction, et comportent des enroulements parcourus par l'intensité I et par la tension U . Le nombre de tours d'un disque est proportionnel à l'énergie consommée dans le circuit.



XI.2.1.3. Branchement d'un compteur triphasé.

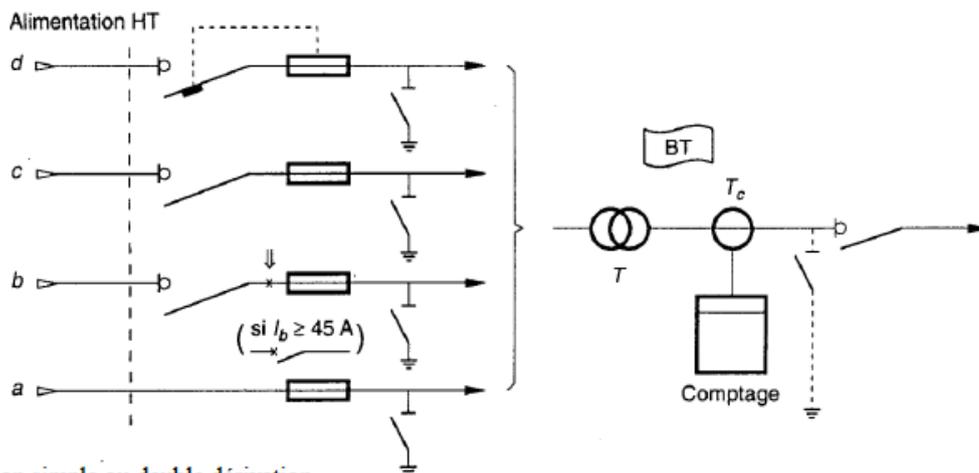
L'énergie active et l'énergie réactive sont mesurées selon les mêmes principes que les mesures de puissances actives et réactives en triphasé. Pour les intensités supérieures à 64 A on dispose de transformateurs de courant.



XI.2.2. Pour les abonnés aux réseaux HT

XI.2.2.1. Possession d'un seul transformateur

Si le poste de livraison ne comporte qu'un seul transformateur (HT/BT - P maxi 1250 kVA), le comptage s'effectue en basse tension (BT). La tarification tient compte des pertes du transformateur.



- a : Alimentation simple ou double dérivation.
- b, c, d : Alimentation en coupure d'artère ou double dérivation.
- T : Transformateur de puissance.
- Tc : Transformateur de courant.

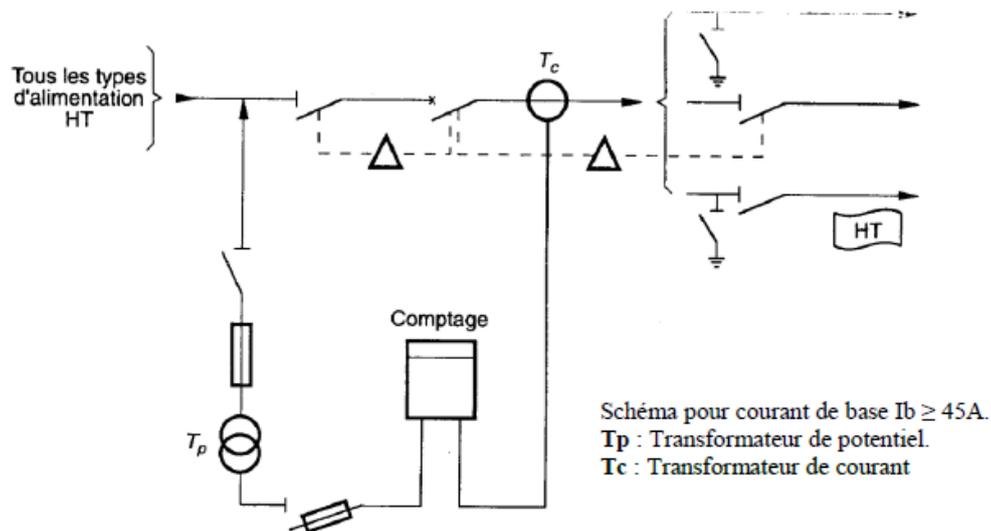
Avantages : économie en matériel et peu d'encombrement.

XI.2.2.2. Possession d'un ou plusieurs transformateurs

Si le poste de livraison comporte :

- soit un transformateur de $P > 1250$ kVA,
- soit plusieurs transformateurs (courant assigné du poste HT 400 A),

Le comptage est réalisé sur la haute tension (HT).



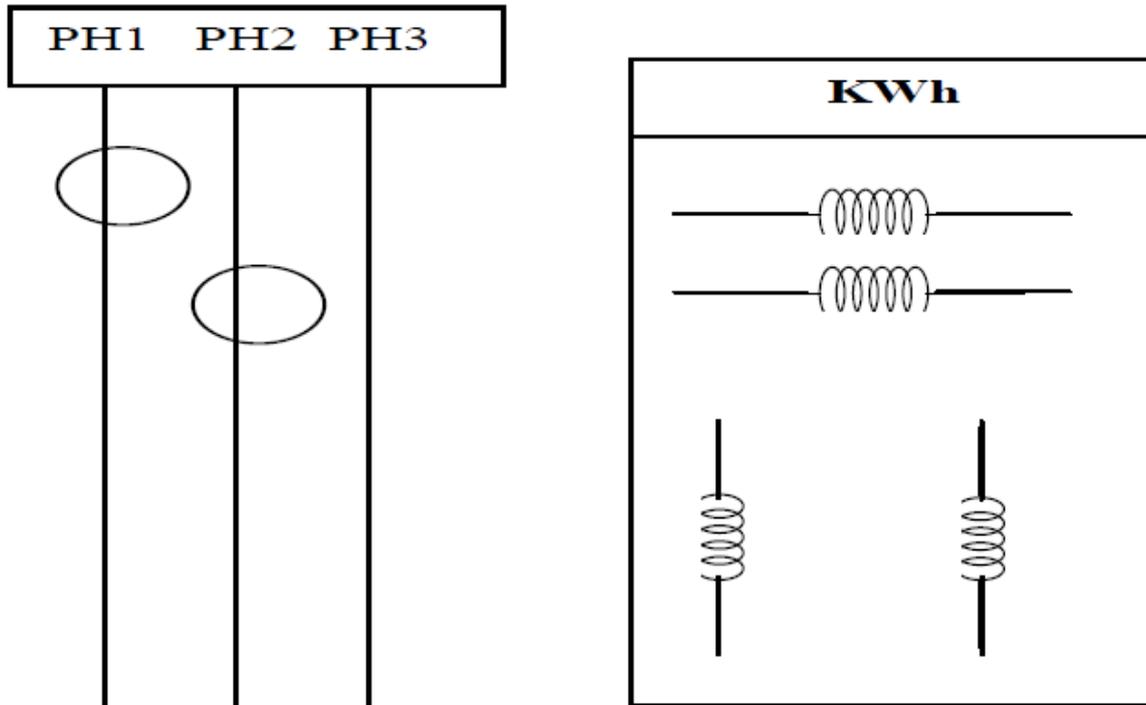
Remarque : Ce type de comptage est plus coûteux car il nécessite des interfaces pour les mesures tels que :

- transformateur de courant (TC),
- transformateur de potentiel (ou tension) (TP).

Exercices sur compteur d'énergie

Exercice 1 :

Dans le cas d'une ligne à 3 fils compléter le schéma de cablage du compteur d'énergie active. Le branchement se fait comme la mesure de puissance par la méthode de 2 Wattmètres.



Exercice 2 :

Dans le cas d'une ligne à 4 fils compléter le schéma de cablage du compteur d'énergie active. Le branchement se fait comme la mesure de puissance par la méthode de 3 Wattmètres.

