

# CHAPITRE I LES RESEAUX ELECTRIQUES

## DEFINITION –STRUCTURE – CARACTERISTIQUES -CONSTITUTION

### I Généralités sur les réseaux électriques

#### I-1 Définition d'un réseau électrique

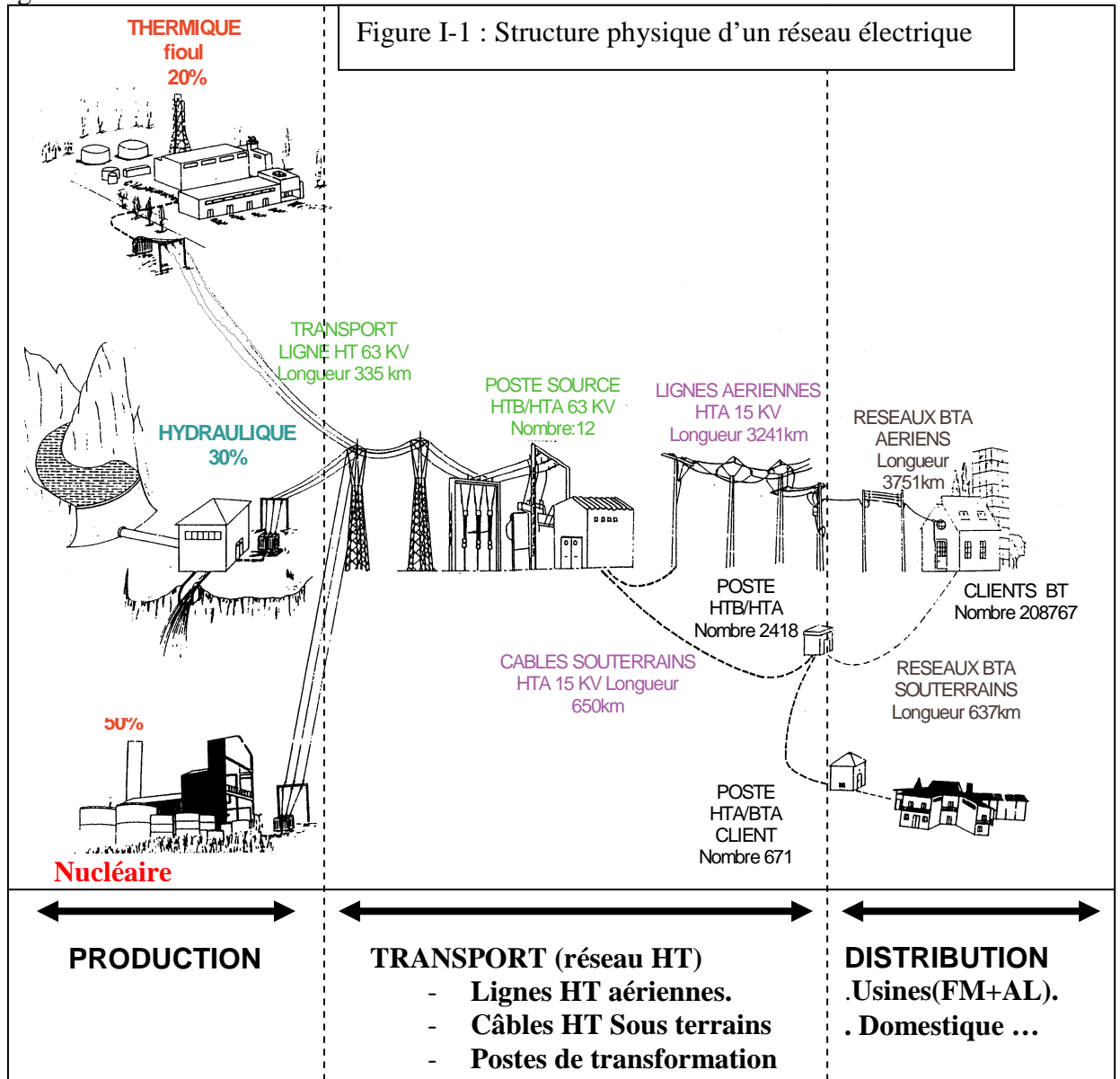
Un réseau électrique est l'ensemble des composantes requises pour conduire l'énergie électrique de la source (générateur= production) à la charge (consommateur= distribution).

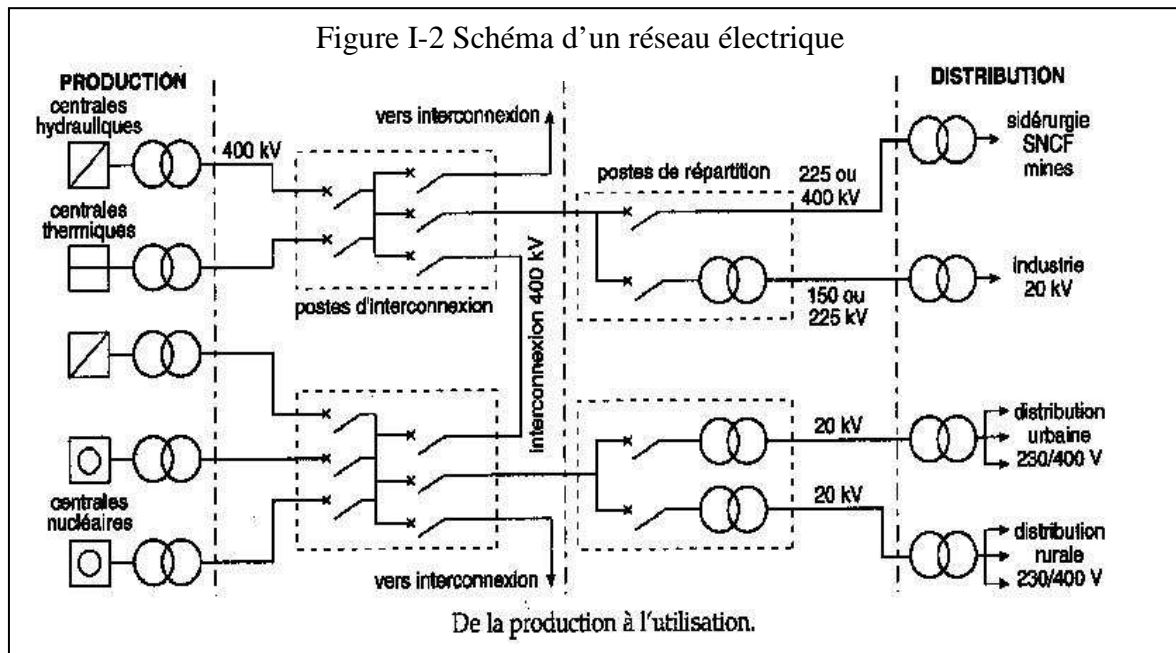
#### I-2 Structure et composantes d'un réseau électrique

##### I-2.1 Structure d'un réseau électrique

Un réseau d'énergie électrique peut se diviser donc en trois grands blocs. figure I-1 et

Figure I-2





## LA PRODUCTION ELECTRIQUE

- Les barrages : Centrales hydroélectrique :
- Centrales thermiques : Centrales thermo électrique
- Centrales nucléaires
- Génératrices autonomes (faible puissances).

## LE TRANSPORT DE L'ENERGIE ELECTRIQUE.(on parle de réseau de transport)

- Les lignes de transmission.
- Les postes de transformations

## LA DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE(CONSOMMATION) :

La distribution se fait toujours en triphasé pour alimenter

- Les usines
- Les commerces
- Les institutions
- Les particuliers

Un réseau de distribution est l'ensemble des composants requises pour conduire l'énergie électrique de la source (générateur) à la charge (consommateur). Cet ensemble comprend des transformateurs, des lignes de transmission, des générateurs, des moteurs, des éléments de chauffage, d'éclairage des réactances, des condensateurs, des moyens de mesure et de contrôle, des protections contre la foudre et les courts circuits, etc....

### I-2.2 Classification des réseaux électriques.

La classification des réseaux électriques se fait à partir de la tension qui apparaît entre deux phases du réseau électrique à courant alternatif ou entre les conducteurs + et - d'un réseau à courant continu . Le tableau ci dessous donne cette classification qui est définie dans les normes.

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

#### Remarques

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

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

Les tensions maximum à mettre en oeuvre seront :

- Dans les locaux secs :(U alternatif =50V , U continu =120V)
- Dans les locaux mouillés :(U alternatif = 25 V, U continu = 60 V)

#### **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 maximum 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).

Suivant le tableau ci dessus on distingue donc:

- Les réseaux électriques HT ( $U > 50000V$ ).
- Les réseaux électriques MT ( $50000V > U > 1000V$ ).
- Les réseaux électriques BT ( $U < 1000V$ ).

On s'intéressera dans la suite aux réseaux de distribution BT

### **I-3 Le réseau de distribution**

Le réseau de distribution BT prend naissance du poste de transformation HT/BT qui permet de convertir la HT en BT qui est généralement :

- 400V/240V 50Hz .pour le réseau triphasé(3 phases+neutre).
- 240V 50Hz pour le réseau monophasé.

Pour pouvoir mesurer la consommation de l'énergie électrique dans l'installation électrique, **une cellule de comptage** est installée juste en aval du transformateur HT/BT suivie d'un **dispositif général de commande et de protection** disposé dans le tableau de distribution général. qui réalise la distribution de l'énergie électrique à l'aide de canalisations et de tableaux basse tension secondaires. La canalisation regroupe les

conducteurs isolés et ses moyens de fixation et de protection mécanique : elle est la réalisation concrète des circuits électriques. Les principales configurations de distribution basse tension sont décrites ci dessous.

**1-3.1 distribution radiale arborescente :**

D'usage général, c'est la plus employée avec les avantages et inconvénients suivants :

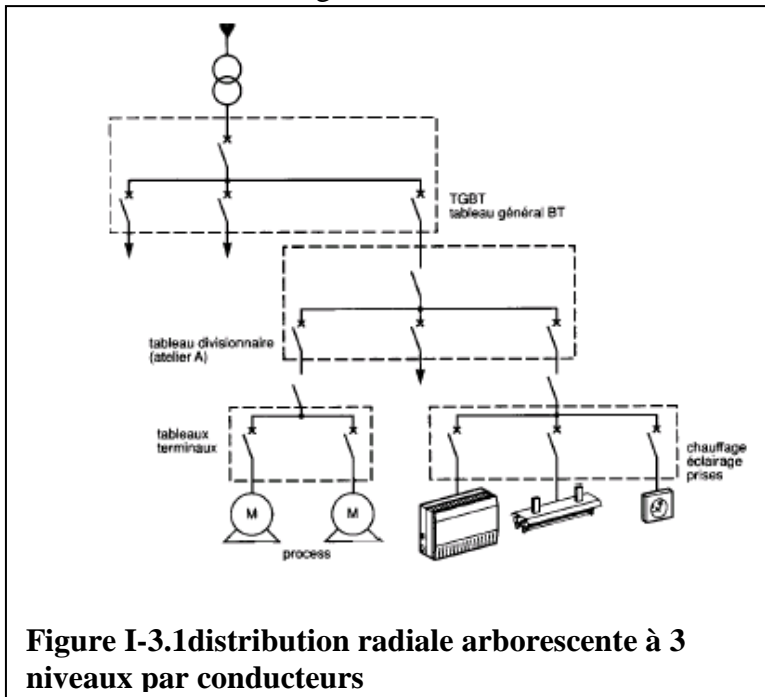
Avantages : Seul le circuit en défaut est mis hors service. Localisation facile du défaut.

Opération d'entretien sans coupure générale

Inconvénients : Un défaut au niveau des départs principaux affecte les niveaux des départs divisionnaires et des départs terminaux.

Elle peut être réalisée suivant trois variantes :

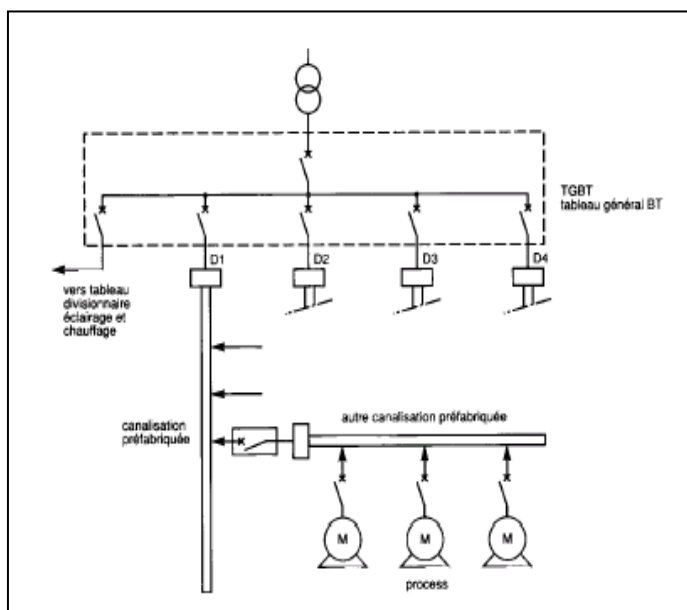
Par conducteurs (figure I-3.1 ), dans les bâtiments dédiés à une application précise : habitat, hôtels, bâtiments agricoles, écoles, etc.



**Figure I-3.1 distribution radiale arborescente à 3 niveaux par conducteurs**

**Avantages :** peu de contraintes de passage : gaines techniques, chemins de câbles, profilés, goulottes, conduits, etc.

**- Avec canalisation pré fabriquée au niveau divisionnaire figure I-3.2**



**Avantages :** flexibilité de l'installation électrique dans les locaux à espace non cloisonné, facilité de mise en œuvre.

**Figure 1-3.2**

- Avec système préfabriqués au niveau terminal(Figure 1-3.3)

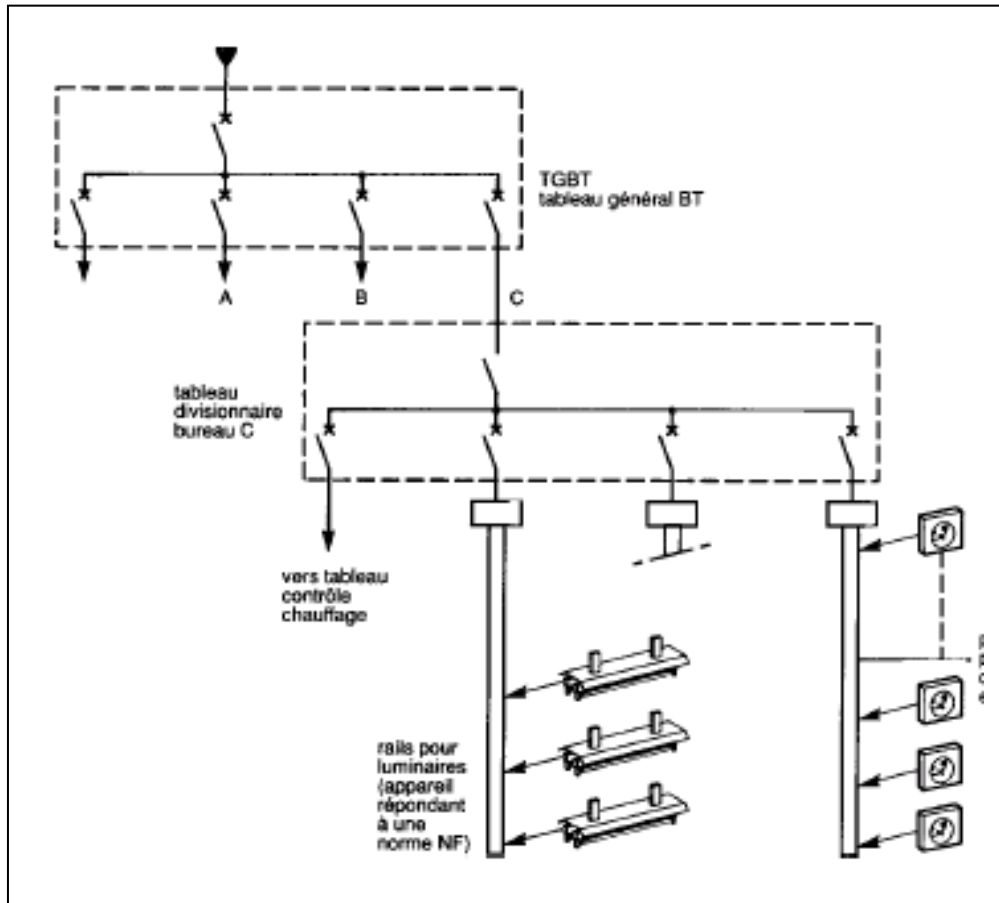


Figure 1-3.3 distribution radiale à système préfabriqués au niveau terminal

- **Distribution radiale pure (dite en peigne figure I-3.4) :**  
elle est surtout utilisée pour la commande centralisée de processus ou d'installations dédiées à une application précise, leur gestion, leur maintenance et leur surveillance.

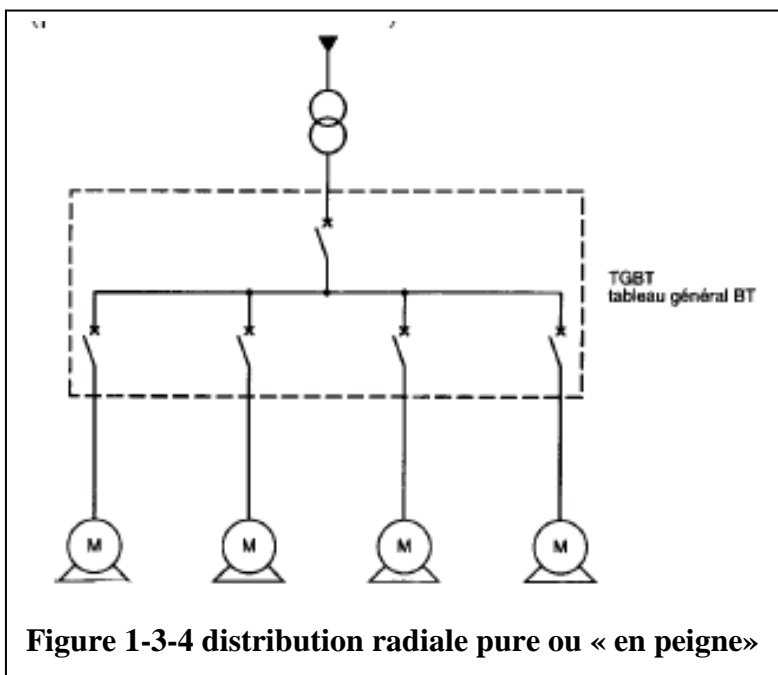


Figure 1-3-4 distribution radiale pure ou « en peigne»

**Avantages :** sur défaut (autre qu'au niveau général) coupure d'un seul circuit.

**Inconvénients :** surabondance de cuivre due à la multiplicité des circuits. Les caractéristiques de l'appareillage de protection des départs doivent être élevées (proximité de la source).

#### **I-4 Le TGBT (tableau générale de distribution basse tension) :**

Le point de départ de l'étude d'une installation électrique et de l'implantation géographique des tableaux généraux basse tension est la répartition géographique des puissances d'utilisation, représentée sur un plan du bâtiment.

Le poste HT/BT les sources de remplacement de forte puissance et, par conséquent, le TGBT ont intérêt à être placés au centre de gravité des points de consommation d'énergie.

Mais bien d'autres considérations sont à prendre en compte, en particulier, l'accord du distributeur d'énergie sur l'implantation du poste HT/BT.

**Le Tableau Général Basse Tension** est le lieu où sont rassemblés les éléments de répartition et l'appareillage de sectionnement, de commande et de protection de l'installation électrique. Il se compose de plusieurs parties appelées unités fonctionnelles. Chaque unité fonctionnelle regroupe tous les éléments mécaniques et électriques qui concourent à l'exécution d'une fonction de l'installation. C'est un maillon essentiel de la chaîne de sûreté de fonctionnement. En conséquence, le type de tableau doit être parfaitement adapté à son application. Sa conception et sa réalisation doit être conforme aux normes en vigueur et respecter les règles de l'art. L'enveloppe d'un tableau offre une double protection :

- **La protection de l'appareillage** contre les vibrations, chocs mécaniques et autres agressions externes
- **La protection des personnes** contre les chocs électriques.

Dans les installations importantes, deux tensions sont en général nécessaires, fonctions des récepteurs utilisés :

- **400 V** pour l'alimentation des circuits force (processus),
- **240 V** pour l'alimentation des circuits éclairage et prises de courant.

Lorsque le neutre n'est pas distribué, des transformateurs BT/BT seront installés lorsqu'il sera nécessaire d'en disposer. Ces transformateurs présentent l'avantage de séparer galvaniquement les circuits, autorisant le changement de régime du neutre et améliorant l'isolement principal.

#### **I-5 Caractéristiques d'exploitation d'une installation de distribution**

L'étude, l'analyse et la réalisation d'une installation électrique de distribution doivent avoir comme objectif la sûreté de fonctionnement de toutes les composantes de cette installation. Pour cela l'installation réalisée doit assurer les fonctions suivantes :

- **La continuité de l'énergie électrique** fournie aux bornes de tout récepteur.
- **La qualité de l'énergie électrique** fournie aux bornes de tout récepteur.
- **La protection de l'appareillage** utilisé dans l'installation
- **La protection des personnes** qui utilisent cette installation.

##### **I-5.1 La continuité et la qualité de l'énergie électrique :**

La continuité de l'énergie électrique s'obtient par la division des installations et l'utilisation de plusieurs sources, la mise en place d'alimentations de secours, la subdivision des circuits, le choix des liaisons à la terre et la sélectivité des protections.

##### **I-5.1.1 La division des Installations et l'utilisation de plusieurs sources :**

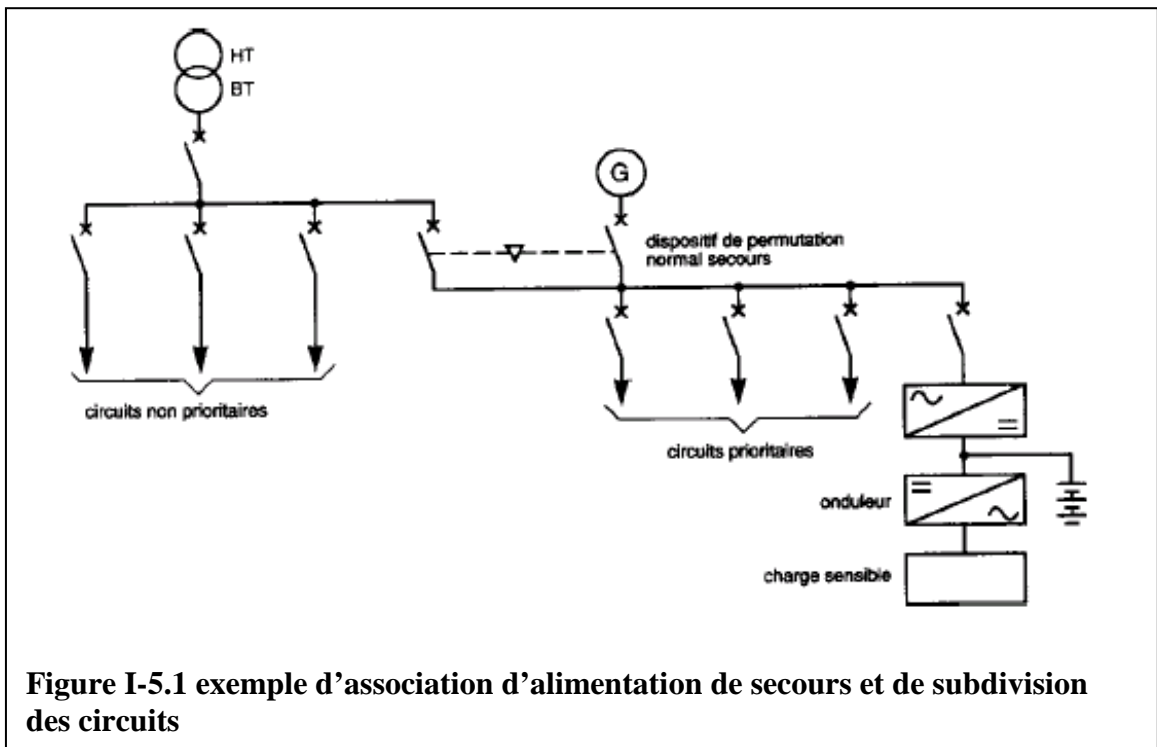
Si la puissance installée est importante, l'utilisation de plusieurs transformateurs permet d'isoler les récepteurs à contraintes ou caractéristiques particulières : par exemple :

- Niveau d'isolement susceptible de variation,
- Sensibilité aux harmoniques (ex : locaux informatiques),
- Générateurs de creux de tension (ex : délestages de moteurs de forte puissance),
- Générateurs d'harmoniques.

##### **I-5.1.2 La mise en place d'alimentations de secours 'figure I-5.1) :**

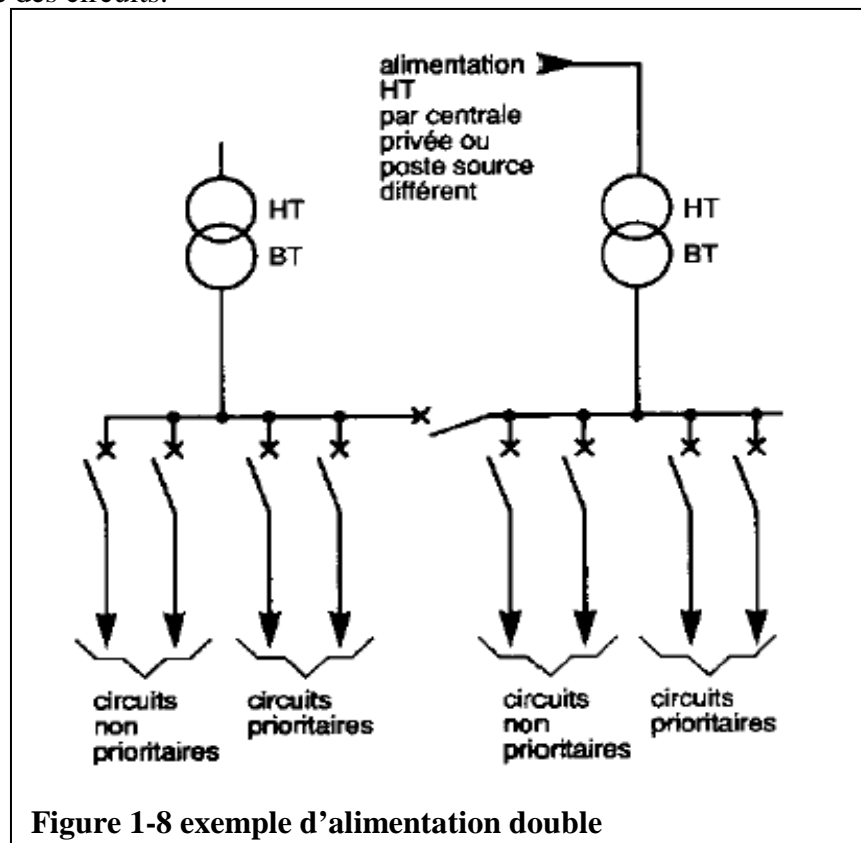
Deux postes HT/BT, les groupes électrogènes, les centrales privées, les

alimentations statiques ininterrompues (ASI), comme les blocs autonomes d'éclairage de sécurité en sont des exemples.



### I-5.1.3 La subdivision des circuits :

De cette manière un défaut qui affecte un circuit d'importance secondaire ne prive pas d'alimentation un circuit prioritaire. La séparation des circuits, organisée en fonction des grands textes réglementaires et des contraintes d'exploitation, est une subdivision réglementée des circuits.



#### **I-5.1.4 Le choix adapté des schémas des liaisons à la terre :**

Le schéma IT en particulier, évite le déclenchement au premier défaut d'isolement.

Utilisé dans un environnement adapté, il permet d'éviter toute interruption d'alimentation.

#### **I-5.1.5 La sélectivité des protections :**

La sélectivité des protections opère contre les surintensités ou contre les défauts à la terre et évite la mise hors tension de toute ou partie de l'installation en cas de défaut sur un circuit particulier. Et ainsi le dispositif de protection sélective agira pour ouvrir l'appareil de commande et de coupure juste en amont du défaut.

#### **I-5.2 Protection des matériels et des personnes**

Pour protéger une installation électrique ou les personnes qui l'utilisent, il va falloir détecter les défauts (surcharge, courts-circuits, surtensions, baisses de tension...) avant de les neutraliser, le plus souvent en coupant le courant dans le circuit incriminé. Nous allons maintenant préciser la nature de ces défauts avant de présenter les différents systèmes permettant de couper le courant dans une installation. Nous distinguerons la protection des installations et du matériel, de la protection des personnes, qui n'imposent pas les mêmes contraintes (délais de détection, ordre de grandeur des courants limites...). Nous verrons que l'être humain est bien fragile et qu'il est préférable d'en tenir compte.

##### **I-5.2.1 La protection des matériels.**

La protection du matériel doit être assurée contre les contraintes mécaniques générées par un milieu hostile ou contre à un défaut électrique.

##### **I-5.2.1 1 Indice de protection d'un appareil : IP**

L'indice de protection (**IPx1x2**) d'un appareil indique que l'appareil est protégé contre les contraintes de type solide (**x1=0,1,2,3,4,5,6**) et contraintes de type liquide ou contraintes mécaniques (**x2=0,1,2,3,4,5,6,7,8**). Il est défini par la norme (**voir annexe A**)

**Exemple : IP 25 (x1=2, x2=5)**

**Remarque :** La réglementation impose un choix de l'appareillage BT d'un **IP2X**

##### **I-5.2.1 2 Les défauts dans les installations électriques.**

- **Les surcharges.** Ce défaut provient d'une charge qui appelle une puissance trop importante pour la ligne d'alimentation. Ceci se traduit par un appel de courant tel que l'installation voit sa température augmenter au delà de ses limites normales de fonctionnement. On observe alors une usure des isolants pouvant conduire à la longue à d'autres défauts (courts-circuits...). Ce type de défaut est bien entendu d'autant plus grave que le courant appelé dépasse fortement les limites définies pour l'installation. En effet, les échauffements provoqués seront alors de plus en plus importants et entraîneront une usure de plus en plus rapide des isolants. Pour éviter les effets de ce type de défaut, il va falloir couper le courant dès que celui-ci va dépasser les limites autorisées. Pour cela, on peut utiliser des fusibles (gG ou gI), des contacteurs avec relais thermique ou encore des disjoncteurs (à coupure d'autant plus rapide que l'intensité est importante). Exemple de surcharge: excès d'appareils électriques fonctionnant en même temps sur la même phase (radiateur + machine à laver + un appareil branché occasionnellement sur une prise + ...).
- **Les courts-circuits.** Il s'agit de la mise en contact de deux conducteurs portés à des potentiels différents. Ceci provoque alors une brutale augmentation du courant et donc des échauffements importants conduisant à la dégradation des isolants (ce qui risque de provoquer d'autres courts-circuits...). On peut également observer des arcs électriques, si les conducteurs n'étaient pas strictement en contact. Pour se protéger des courts-circuits, on pourra utiliser des fusibles (gI, gG ou aM), ou un disjoncteur à relais magnétique (coupure plus rapide que l'échauffement...) Exemple de court-circuit: deux fils dénudés



ou deux fils dont l'isolant à été usé (par exemple par des surcharges); deux phases qui se touchent (oiseau touchant deux phases d'une ligne électrique).

- **Les surtensions.** La surtension est souvent d'origine inductive. Elle peut être provoquée par des phénomènes de résonance sur le réseau électrique, par la foudre... Une surtension importante peut provoquer un claquage des isolants de l'installation (diélectriques), ce qui risque de provoquer des courts-circuits. Pour éviter ce genre de défaut, on peut séparer les conducteurs portés à des niveaux de tensions différents dans les canalisations. Dans les zones ou les installations à risque, on installe des parafoudres...
- **Les baisses de tension.** Elles sont souvent provoquées par des déséquilibres dans les réseaux triphasés et elles entraînent un mauvais fonctionnement des récepteurs (mauvais éclairage par exemple). Pour palier à ce genre de défaut, on utilise des relais à minima de tension.

### I-5.2.1.2a Les dispositifs de détection et de protection.

La nature des différents dispositifs (fusibles, contacteurs, disjoncteurs, parafoudres...) sera liée à la détection des défauts en utilisant un effet physique déterminé ainsi :

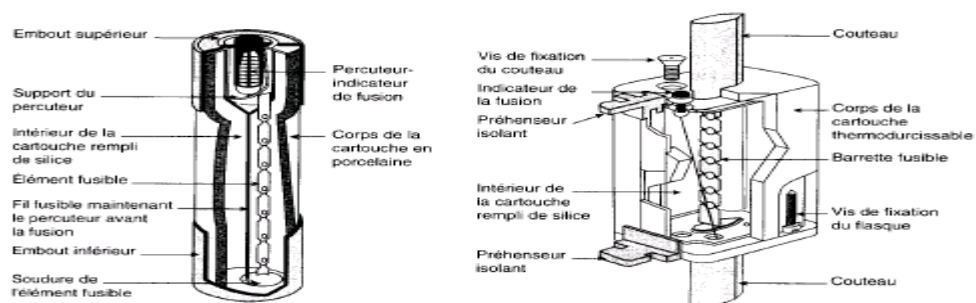
- **A un effet thermique** comme la fusion d'un fusible ou la rupture d'un contact d'un bilame (ferronickel/invar).
- **A un effet magnétique:** une surintensité provoque la fermeture d'un circuit magnétique ce qui entraîne l'ouverture d'un contact.

Les dispositifs de protection que nous allons détailler permettent d'éviter les effets néfastes des surintensités ou des surtensions. Pour choisir le niveau de protection (fonction de l'appareil à protéger), on se base notamment sur les caractéristiques suivantes

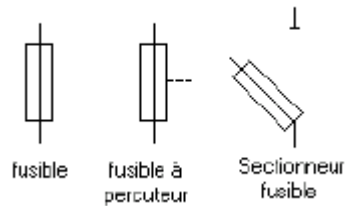
- **Grandeurs caractéristiques des appareils électriques.**
  - o **Courant nominal** (courant assigné): valeur de l'intensité que peut supporter l'appareil de protection en fonctionnement normal.
  - o **Tension nominale** : tension maximale de fonctionnement normal du dispositif.
  - o **Pouvoir de coupure** : courant maximal pouvant être coupé sous tension nominale.
  - o **Tension d'isolement** : tension qui peut être supportée sans détérioration des isolants.
  - o **Tension assignée de tenue aux chocs électriques** : tension supportable par un appareil lors d'une surtension (foudre, mise sous tension...).
  - o **Durée de vie** : nombre de cycles de fonctionnement que peut réaliser le dispositif de protection.

#### A. Les fusibles.

Le fusible est un appareil de connexion permettant d'ouvrir un circuit par fusion d'un élément calibré. Les éléments fusibles peuvent se présenter sous forme de cartouches cylindriques ou de cartouches à couteau.



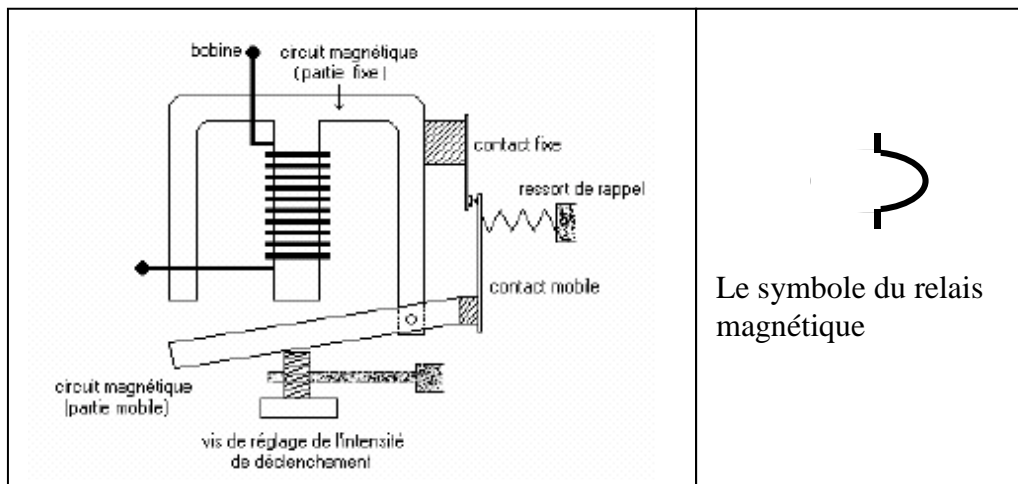
- Les fusibles sont symbolisés de la façon suivante:



- 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
- Il faut noter qu'en plus des grandeurs nominales de fonctionnement, il est nécessaire de considérer la durée séparant l'instant d'instauration du courant dangereux et la fusion de l'élément fusible. C'est pourquoi on définit la courbe de fusion donnant le délai de fusion en fonction du courant traversant le fusible.

### B Le relais magnétique.

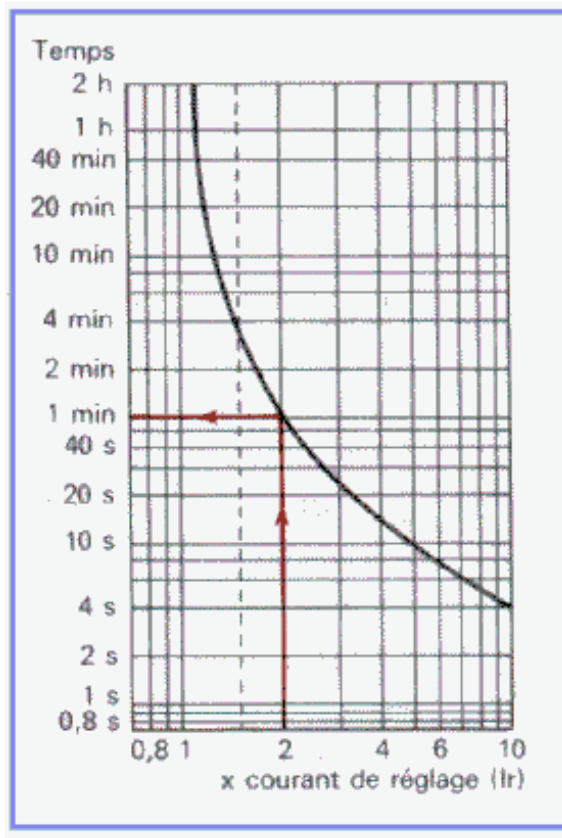
On utilise le relais magnétique à maximum de courant protègent contre les surcharges et les courts circuits par détection du défaut . Ils sont associés à un dispositif de coupure du courant ( contacteurs , disjoncteur ...)



Le symbole du relais magnétique

### C Le relais thermique

Le relais thermique est un appareil de protection capable de *protéger contre les surcharges* (c'est sa fonction). Une surcharge est une élévation anormale du courant consommé par le ou les récepteurs dans des proportions somme toute raisonnables (1 à 3 In). Cette élévation faible du courant mais prolongée dans le temps va entraîner un échauffement de l'installation pouvant aller jusqu'à sa destruction (voir M JOULE...). Nous utilisons pour nous prémunir de ce type de problème soit des fusibles de type G1, soit des disjoncteurs, soit des relais thermiques. L'augmentation du courant n'étant pas soudaine il n'est pas nécessaire de couper l'alimentation du circuit de puissance d'une façon brutale. *Par contre le temps de coupure devra être inversement proportionnel à l'augmentation du courant* : plus le courant augmente plus le temps de détection et de coupure doit être court. Voir la courbe ci-dessous :



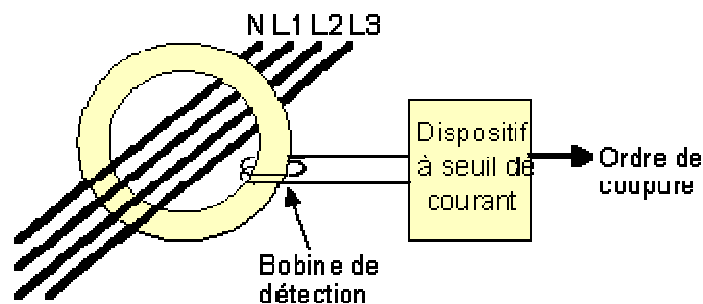
Symbole du relais thermique

**C Le Dispositif Différentiel Résiduel : DDR**

Les dispositifs à courant différentiel résiduel (DDR), permettent de détecter un courant de défaut d'isolement dans une installation électrique. Ils se trouvent incorporés dans l'appareillage suivant :

- Disjoncteurs différentiels
- Interrupteurs différentiels
- Relais différentiel.

Le DDR est conçu autour d'un transformateur d'intensité qui enserme 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<sub>d</sub>**. 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  $I\Delta n$ .

- Si  $I_d > I\Delta n$  : déclenchement obligatoire du DDR
- Si  $I_d < I\Delta n/2$  pas de déclenchement du DDR
- Pour  $I\Delta n/2 < I_d < I\Delta n$  le DDR peut ou non déclencher



Remarques : Toute installation électrique présente des courants de fuite :

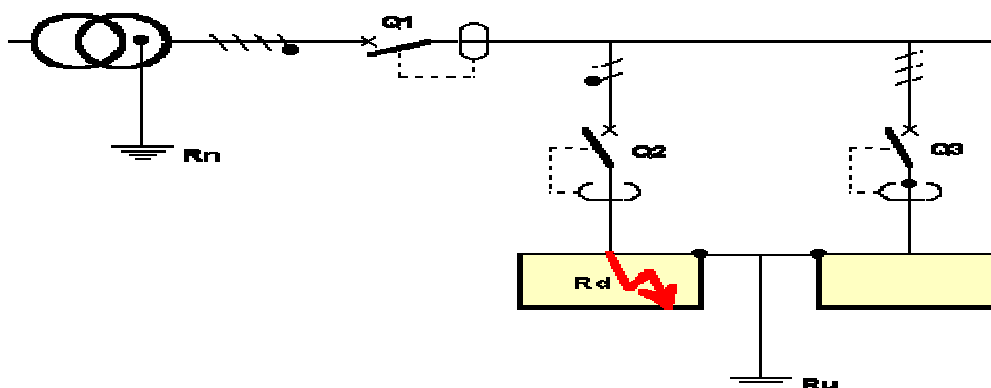
- **Des courants de fuite permanents à la terre.** Ces courants sont dus pour une part importante à la capacité des lignes et aux capacités de filtrage reliées à la masse des récepteurs électroniques. Les courants de fuite permanents en aval d'un DDR doivent faire l'objet d'une évaluation. La limitation de ces courants à 0,25 fois  $I\Delta n$ , par subdivision des circuits, élimine en principe tout problème de déclenchement intempestif. On peut estimer ces courants à
  - 1,5 mA / 100 m pour les lignes
  - 1 mA par filtre.
- **Des courants de fuite transitoires à la terre.** Ces courants sont dus pour une part importante à la mise sous tension des capacités de filtrage mentionnées ci dessus et aux surtensions sur le réseau (foudre...). Tout DDR installé doit avoir un niveau d'immunité minimal aux déclenchements indésirables. Les DDR qui admettent les courants transitoires sans déclencher sont dits de type sélectif ( "type S" ), il porte le symbole suivant :



Symbole d'immunité  
Aux déclenchements indésirables  
(NFC 62-411)

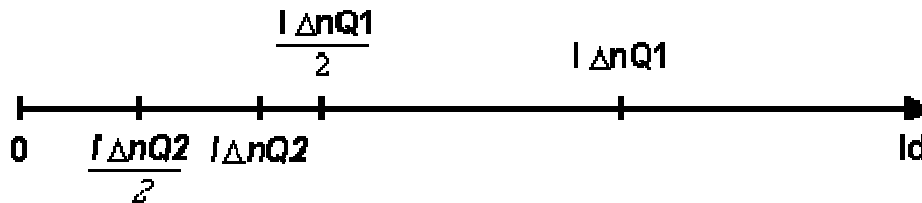
### Sélectivité entre DDR

La sélectivité des protections est une fonction importante d'une installation électrique pour assurer la continuité de l'énergie électrique dans l'installation l'exemple ci dessous illustre la sélectivité entre les trois disjoncteurs différentiels Q1, Q2 et Q3 de l'installation



En cas de défaut sur le premier récepteur les DDR de Q1 et de Q2 sont traversés par le même courant de défaut. Il est donc impératif d'avoir une sélectivité entre ces deux appareils si l'on désire avoir une continuité de service.

Il est donc nécessaire de régler le seuil de non-fonctionnement du DDR de Q1 ( $I_{\Delta n Q1} / 2$ ) supérieur ou au moins égal au seuil de fonctionnement du DDR de Q2 ( $I_{\Delta n Q2}$ ).



Plusieurs cas peuvent se produire suivant la valeur du courant de défaut :

-  $I_d < \frac{I_{\Delta n Q2}}{2}$ , ni le DDR de Q1, ni le DDR de Q2 ne sont sensibles.

-  $\frac{I_{\Delta n Q2}}{2} \leq I_d < I_{\Delta n Q2}$ , le seuil de fonctionnement de DDR de Q2 est peut être atteint (zone de tolérance), il y a sélectivité

-  $I_{\Delta n Q2} \leq I_d < \frac{I_{\Delta n Q1}}{2}$ , le seuil de déclenchement du DDR de Q2 est atteint, pas celui de Q1. Il y a sélectivité.

-  $\frac{I_{\Delta n Q1}}{2} \leq I_d < I_{\Delta n Q1}$ , le DDR de Q2 déclenche et le DDR de Q1 peut déclencher car nous sommes dans sa zone d'incertitude. La sélectivité ne peut être garantie

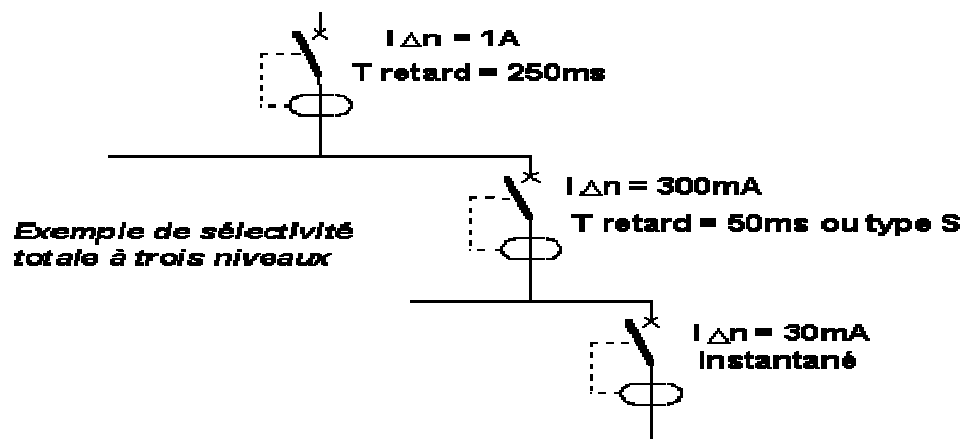
$I_{\Delta n Q1} \leq I_d$ , les DDR de Q1 et de Q2 déclenchent, il n'y a pas sélectivité.

La sélectivité est donc limitée à des valeurs de  $I_d \leq \frac{I_{\Delta n Q1}}{2}$ . On dit qu'il y a sélectivité ampère métrique partielle.

Pour obtenir la sélectivité dans tous les cas, il est nécessaire de retarder le fonctionnement du DDR de Q1. Il s'agit dans ce cas d'une sélectivité chronométrique.

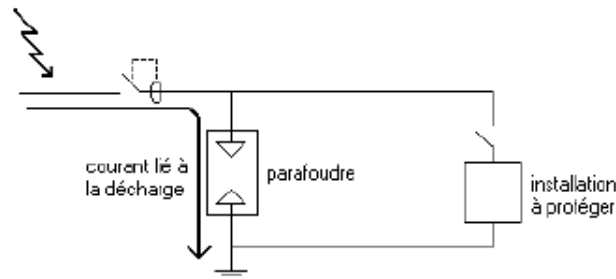
**Règle:** pour obtenir une sélectivité verticale totale, il faut que :

- le seuil du DDR amont soit au moins de deux fois le seuil du DDR aval.
- le temps de non-fonctionnement du DDR amont soit supérieur ou au moins égal au temps total de coupure du DDR aval, ou alors que le DDR amont soit du type sélectif.



## D Les parafoudres (protection contre les surtensions)

Le principe du parafoudre consiste à assurer un lien entre les conducteurs actifs et la terre au moment de la surtension provoquée par la décharge. L'impédance présentée par le parafoudre doit être très faible lors de la surtension et élevée lors du fonctionnement normal. Son comportement est celui d'une varistance (impédance variable en fonction de la tension).



### I-5.2.2 La protection des personnes

Les dispositifs utilisés pour protéger les personnes sont différents de ceux utilisés pour protéger les installations électriques, notamment parce que le seuil de détection des défauts doit être beaucoup plus faible.

#### 5.2.2.1. Les effets physiologiques du courant électrique sur le corps humain

Le courant agit sur le corps humain 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 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 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 produit pour des courants de **20 à 30 mA** est en fait une contraction des muscles respiratoires.
  - La **fibrillation cardiaque** se produit à partir de **100mA (1 A** provoque l'arrêt du cœur.)

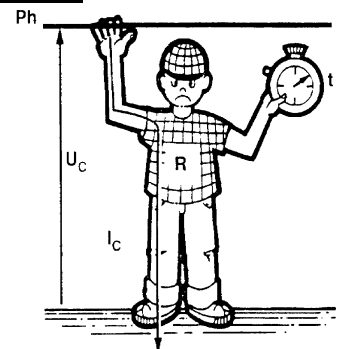
#### Les Paramètres à prendre en compte pour l'évaluation des risques.

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 :

- **A deux contacts** avec des parties actives, parties normalement sous tension, portées à des potentiels



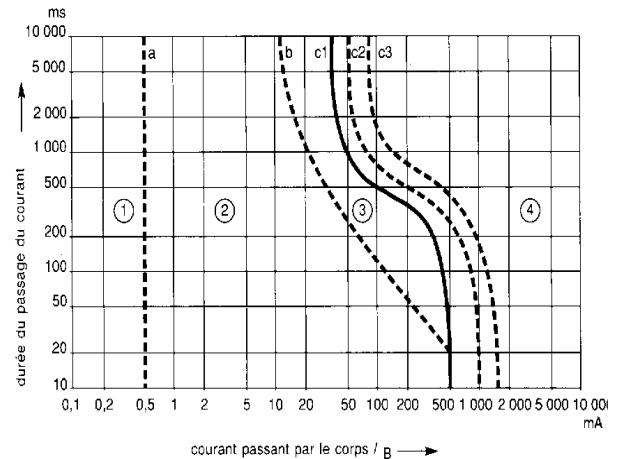
différents, (**Contacts direct**)

- A un contact avec la terre et une partie active, (**Contacts direct**).
- A un contact avec la terre et une **masse métallique** mise accidentellement sous tension. (**Contact indirect**)

**a. Relation entre le temps de passage du courant de choc dans le corps et l'intensité de ce courant :  $t=f(I_c)$**

Les courbes de la **figure a**, 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



**Figure a : Relation  $t=f(I_c)$**

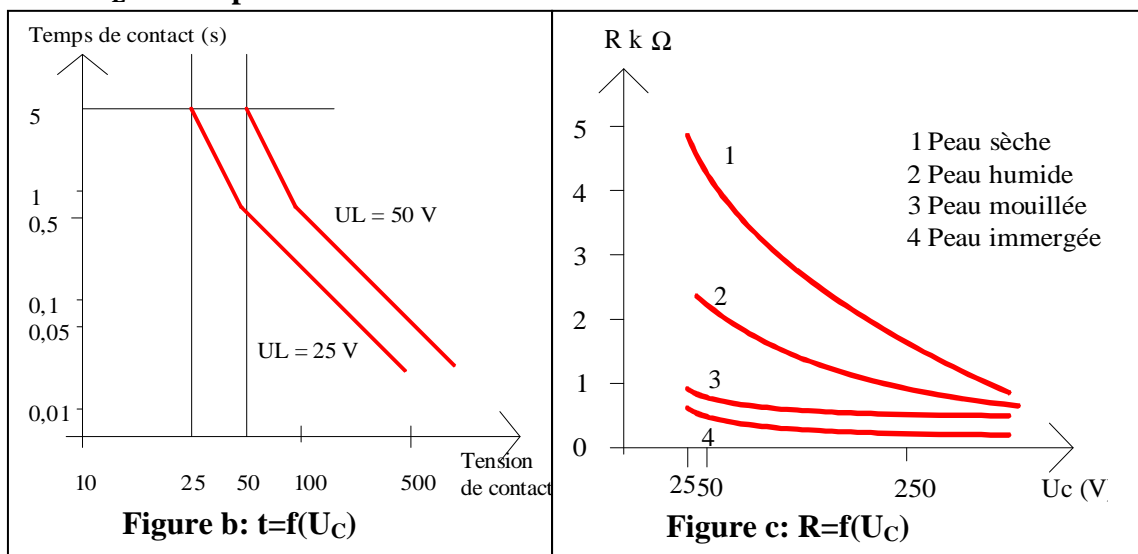
sans dommage organique, mais probabilité de contractions musculaires et de difficultés respiratoires.

**Zone 4** : En plus des effets de la zone 3, la fibrillation ventriculaire augmente de 5% des cas pour la courbe C<sub>2</sub>, 50 % des cas pour la courbe C<sub>3</sub>, et plus de 50% au-delà de cette dernière courbe, d'où des effets pathophysiologiques importants tels : Arrêt du cœur, Arrêt de la respiration et Brûlures graves.

**b. Relation entre le temps de passage du courant de choc dans le corps et la tension de contact. :  $t = f(U_c)$ .**

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.



**Figure b:  $t=f(U_c)$**

**Figure c:  $R=f(U_c)$**

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 b** 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.

### **c. Relation entre la résistance du corps humain et la tension de contact. : $R=f(U_c)$**

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  $\Omega$  lorsque le corps est immergé, par exemple dans des salles de bains ou des piscines. **La figure c** 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
- Les contacts indirects.

### **La protection des personnes contre les risques de chocs électriques**

Le rôle de la protection est d'éviter les dangers, pour les êtres humains, dus aux contacts avec des pièces métalliques sous tension.

#### **Protection contre les contacts directs :**

**Définition :** « *contact d'une personne avec une partie active d'un circuit électrique* ».

La totalité du courant de fuite traverse le corps humain,

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 :

- **Eloignement :** L'éloignement doit être suffisant pour prévenir le risque d'accidents par contacts directs
- **Obstacles :** 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 Degrés de protection procurés par les enveloppes ( NF C 20 010 ). Les degrés minima de protection du matériel sont : **IP 2X en B.T. et IP 3X en H.T.** Ils assurent la protection contre les contacts directs.
- **Isolation** L'isolation doit être efficace, permanente et 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 ).

#### **Protection contre des contacts indirects :**

**Définition :** « *contact d'une personne avec une masse métallique mise accidentellement sous tension par suite d'un défaut d'isolement* ».

Seule une partie du courant de fuite traverse le corps humain, mais le danger reste très important ;il y a également deux possibilités de protection :

- **sans coupure de l'alimentation**, en employant du matériel de classe II (double isolation), du matériel à isolation renforcée ou à séparation des circuits.

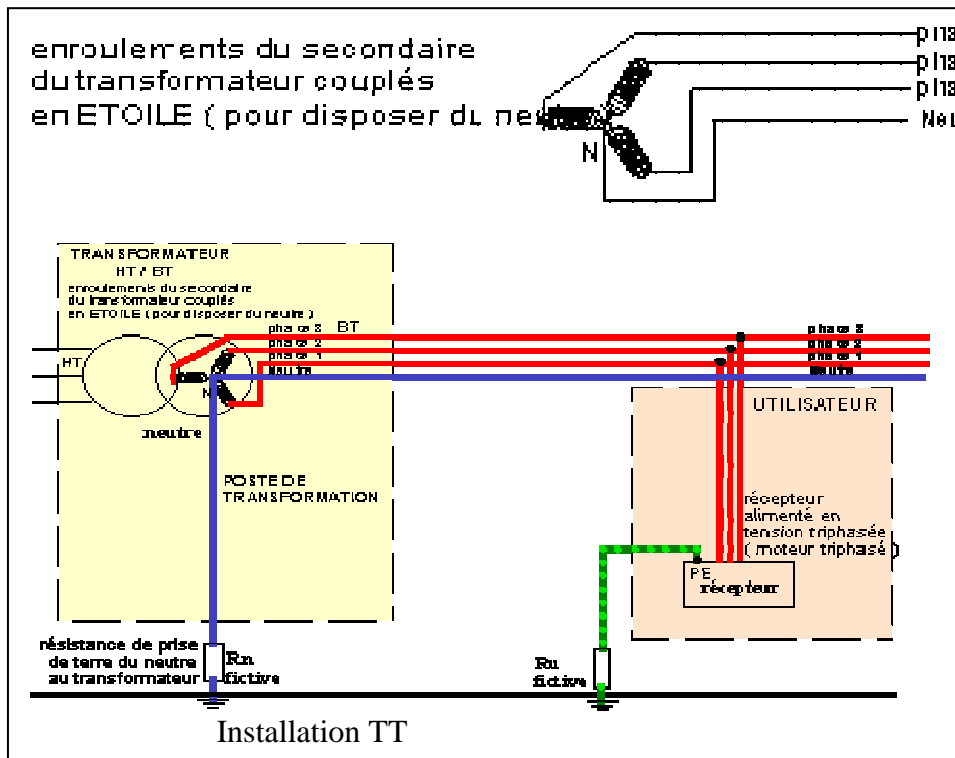


- **avec coupure automatique de l'alimentation** : voir les régimes de neutre et les SLT. Le système de protection doit être en conformité avec le régime du neutre choisi ou imposé. Cette protection n'est réelle que si les deux conditions suivantes sont réalisées :
  - **Toutes les masses métalliques doivent être reliées à une même prise de terre,**
  - **La coupure automatique de l'alimentation doit être suffisamment rapide pour ne pas soumettre à une tension de contact dangereuse les personnes qui toucheraient une masse portée à un potentiel trop élevé.**

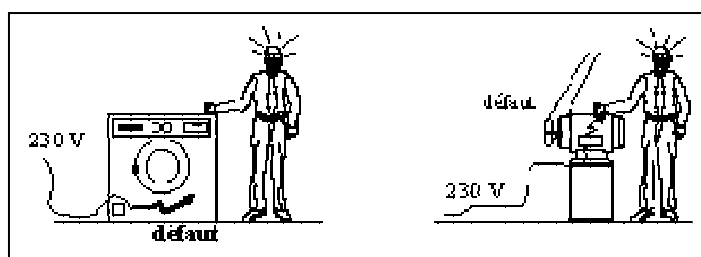
### LES REGIMES DU NEUTRE

Les régimes de neutre sont des dispositions qui décrivent comment sont connectés le conducteur NEUTRE (N) et le conducteur de protection (PE) et les masses (M) des équipements électriques sur les installations électriques. Il convient avant tout de clarifier certains termes utilisés :

**LE NEUTRE** : Ce sont les points neutres des transformateurs HT/BT ainsi que les conducteurs neutres qui, en régime équilibré, ne sont parcourus par aucun courant.

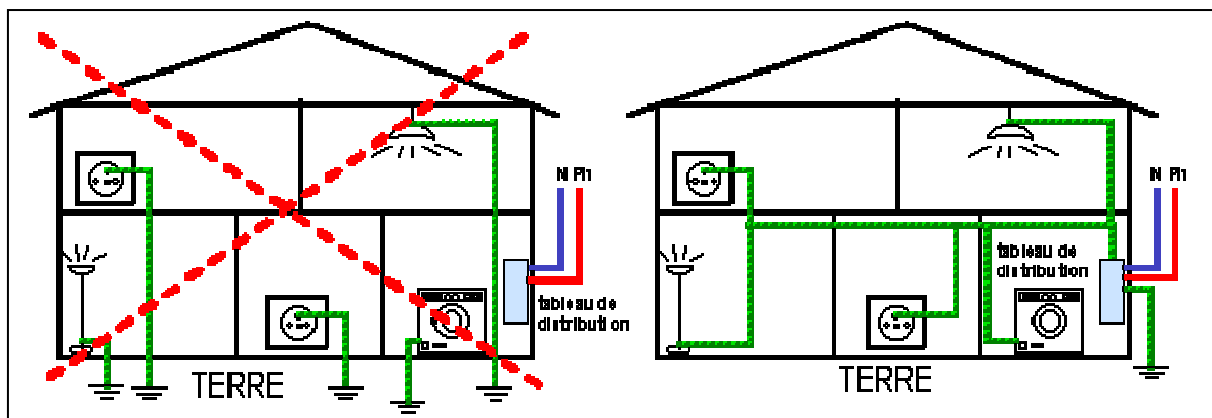


**LES MASSES** : Ce sont les parties conductrices accessibles d'un matériel électrique susceptibles d'être mises sous tension en cas de défaut.



**Le conducteur de protection PE :** C'est un conducteur de couleur **VERT/JAUNE** dont la fonction est de relier toutes les masses métalliques des appareils à la terre. En cas de défaut, il permet de canaliser le courant électrique provoqué par le défaut.

**disposition du conducteur de protection PE :**

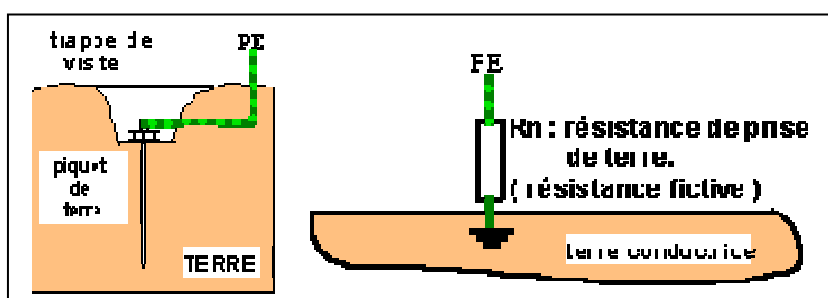


Afin d'éviter la multiplication des prises de terre, on ramène les conducteurs de protection au tableau de distribution. Ils sont reliés ensuite à la terre par l'intermédiaire d'un piquet de terre ou autres. Le conducteur de protection n'est pas distribué par le fournisseur d'énergie

**LA TERRE (T):**La terre peut être considérée comme un milieu conducteur . Sa résistance dépend de la nature du milieu ( terre argileuse, roche granitique, etc... )

**LA PRISE DE TERRE :**C'est l'endroit où le conducteur de protection PE de l'installation électrique est relié à la terre . Physiquement il s'agit généralement d'un conducteur enterré ou d'un piquet métallique planté dans la terre.

Cependant, l'utilisation d'un piquet de terre ( ou autre ) pour la mise à la terre ne permet pas de réaliser un contact parfait entre ce piquet et la terre. En effet, il existe une résistance de contact, non négligeable, qui peut atteindre quelques dizaines, voire quelques centaines d'Ohms . On l'appelle la **RESISTANCE DE PRISE DE TERRE.  $R_n$**



Il est impératif de prendre en compte l'existence de cette résistance de prise de terre dans l'étude des différents défauts. C'est pour cette raison, que les croquis la prendront en compte sous forme d'une résistance fictive.

Ceci est vrai pour la résistance de prise de terre du neutre ( au niveau du poste de transformation ) et du PE ( au niveau de l'habitation ).

**L'ISOLEMENT ELECTRIQUE :**

C'est la capacité que possède une installation, un appareil ou partie d'un appareil à ne pas laisser entrer en contact une de ses parties avec un autre potentiel autre que le sien ( dans les conditions normales ). En présence de deux potentiels différents, il peut y avoir circulation d'un courant.

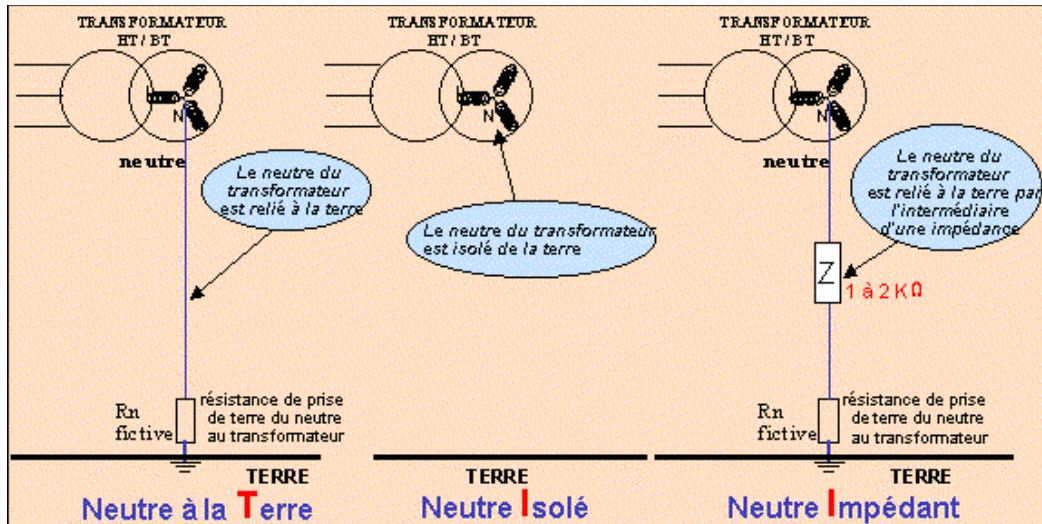
En cas de mauvais isolement, on parle de **DEFAUT D'ISOLEMENT**.

**Identification des schémas de liaison à la terre**

Le régime de neutre est identifié à partir de 2 ou 3 lettres :

**La première lettre permet d'identifier la situation du Neutre du transformateur HT/BT par rapport à la terre :**

- T** : Liaison du neutre à la terre
- I** : Le neutre est isolé de la terre



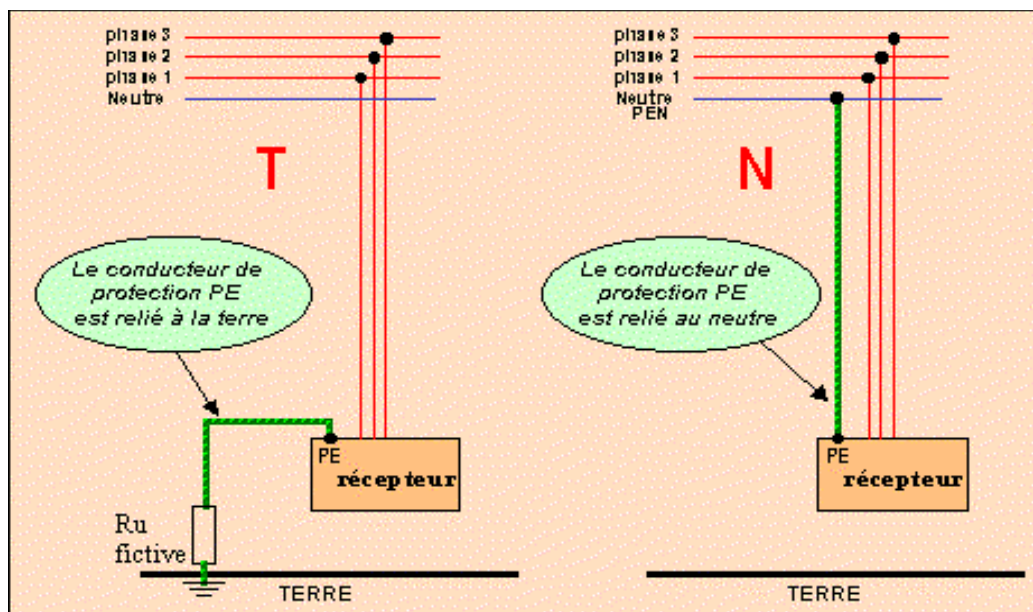
La

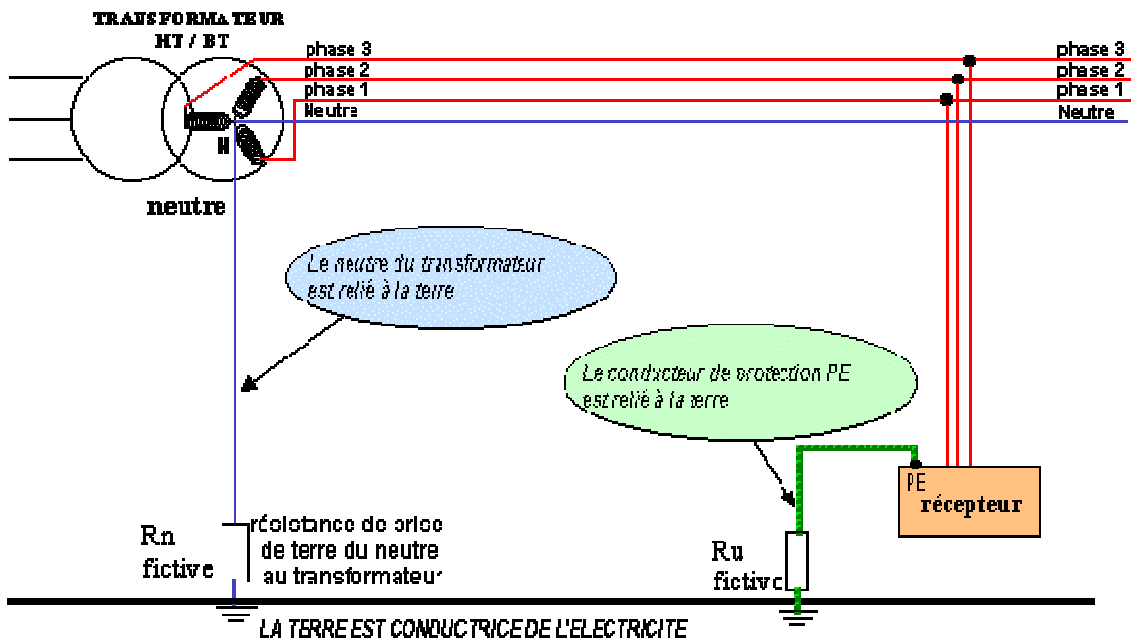
**deuxième lettre** permet d'identifier la situation des masses des récepteurs de l'installation par rapport à la Terre

- T** : Connexion direct des masses des récepteurs à la Terre.
- N** : Connexion des masses au Neutre

**La troisième lettre est nécessaire dans le cas du régime du Neutre TN :**

- TNC** : Le Neutre et le PE sont confondus (Commun)
- TNS** : Le Neutre et le PE sont Séparés





Les résistances de prise de terre  $R_u$  et  $R_n$  sont des résistances fictives ( elles n'ont pas été placées volontairement ) . Elles correspondent à la résistance de prise de terre qui dépend de la résistance de contact du piquet de terre ainsi que la terre elle même.

Ces résistances doivent être prises en compte dans les calculs, c'est la raison pour laquelle, on les dessine sur les schémas.

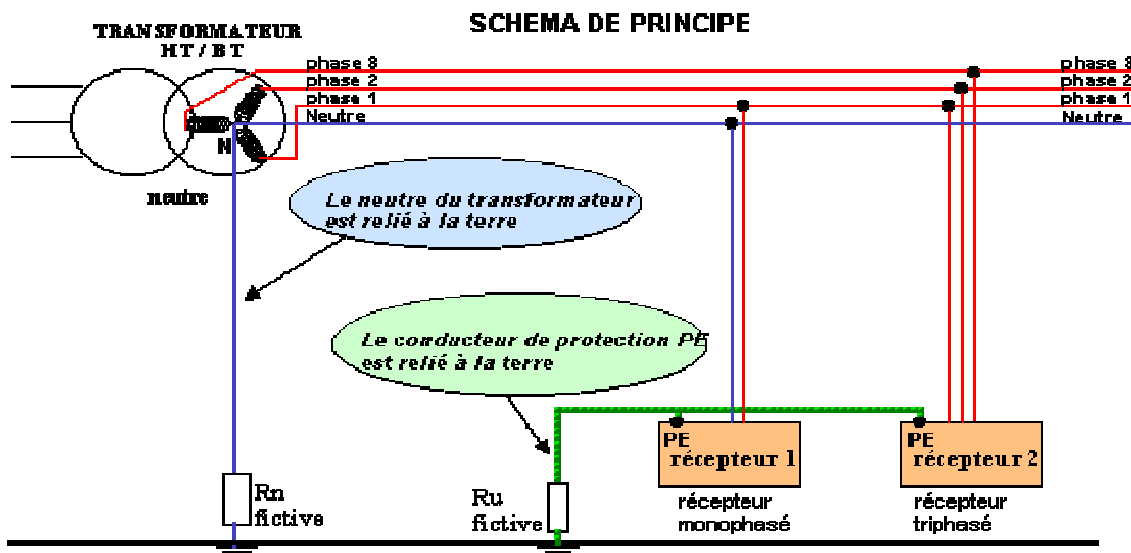
### Les Schémas de Liaison à la Terre. : (SLT)

Les types de schémas rencontrés qui réalisent les installations électriques sont les installations : TT, TN et IT.

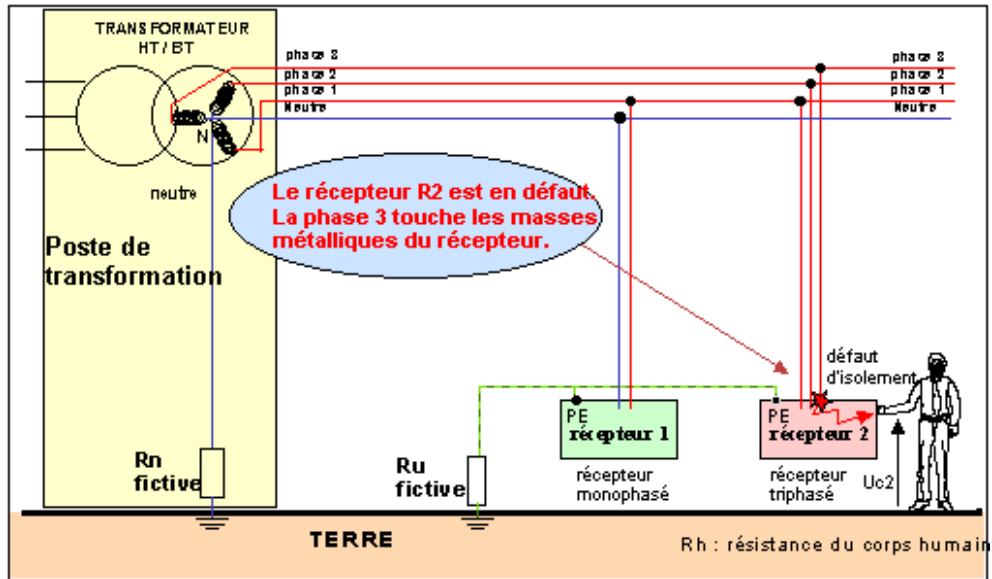
### Etude et analyse d'un schéma TT ou régime TT

Le neutre du transformateur est relié à la terre. Les masses métalliques sont reliées à la terre par l'intermédiaire du PE.

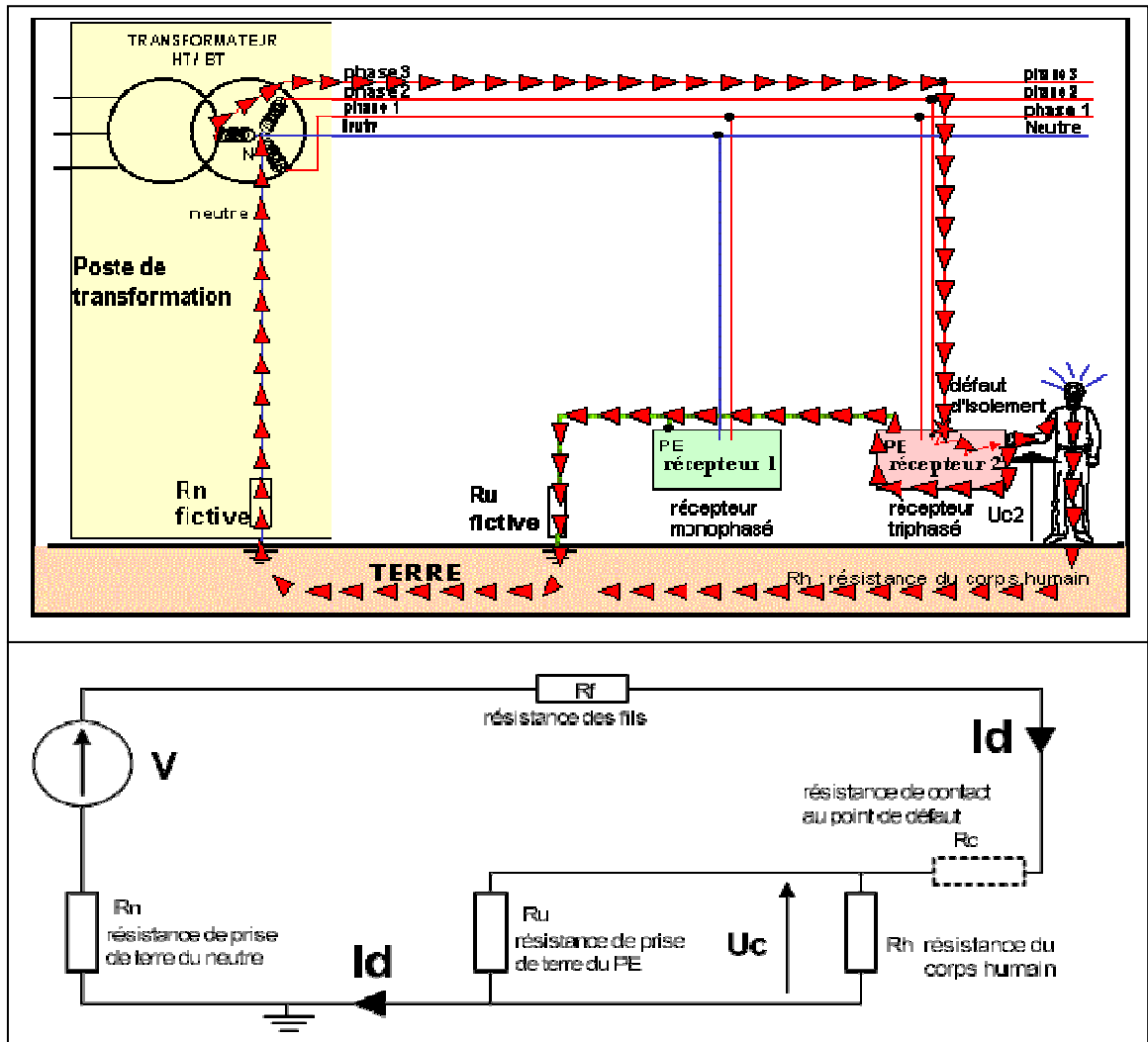
A Schéma de principe :



## B Etude et analyse d'un défaut d'isolement sur un récepteur



## B Etude de la boucle de défaut



D'après le schéma on calcule le courant de défaut  $I_d$  :

$$V = (R_f + (R_U // R_h) + R_C + R_n) \cdot I_d$$

$$I_d = V / (R_f + (R_U // R_h) + R_C + R_n)$$

### C Calcul de la tension de contact $U_C$

$U_C$  définie entre la carcasse métallique du récepteur **R2** et la terre :

Cette tension  $U_C$  est aussi celle qui existe aux bornes de la résistance  $R_u$ , d'où :

$$U_C = (R_U // R_h) \cdot I_d$$

EXEMPLE : prenons quelques valeurs usuelles

$V = 230$  V,  $R_f = 0,1$  Ohms,  $R_c = 0$  Ohms ( défaut franc ),  $R_u = 25$  Ohms,  $R_n = 18$  Ohms  
 $R_h = 1$  kOhms

$$I_d = \frac{230}{0,1 + 0 + \left( \frac{25 \times 1000}{25 + 1000} \right) + 18} = 5,41 \text{ A}$$

$$U_C = 24,4 \times 5,41 = 132 \text{ V}$$

La tension de contact  $U_C$  est dangereuse pour les utilisateurs car  $U_C > U_I$  ( $U_I$  : tension conventionnelle de sécurité ) 50 V en locaux secs et 25 V en locaux mouillés.

La tension de contact  $U_C$  étant dangereuse, **un dispositif de protection doit couper l'alimentation électrique du récepteur en défaut.**

D'après les courbes de sécurité, il doit couper l'alimentation du récepteur en moins de :

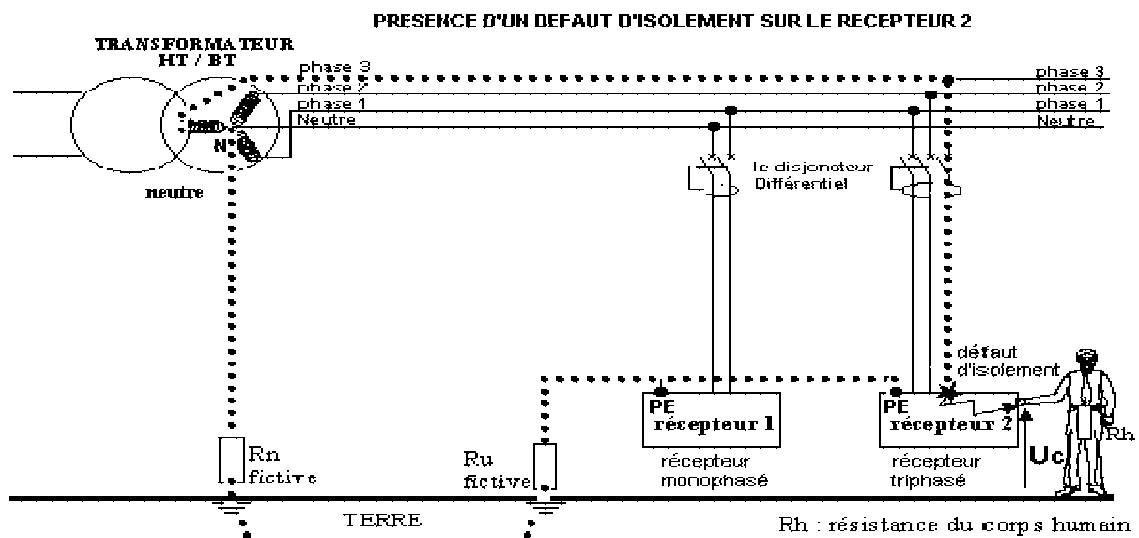
- 175ms pour un local sec
- 68ms pour un local humide
- 30ms pour un local mouillé

Le dispositif de protection permettant de se protéger dans ce cas s'appelle :

### Dispositif Différentiel Résiduel ( DDR )

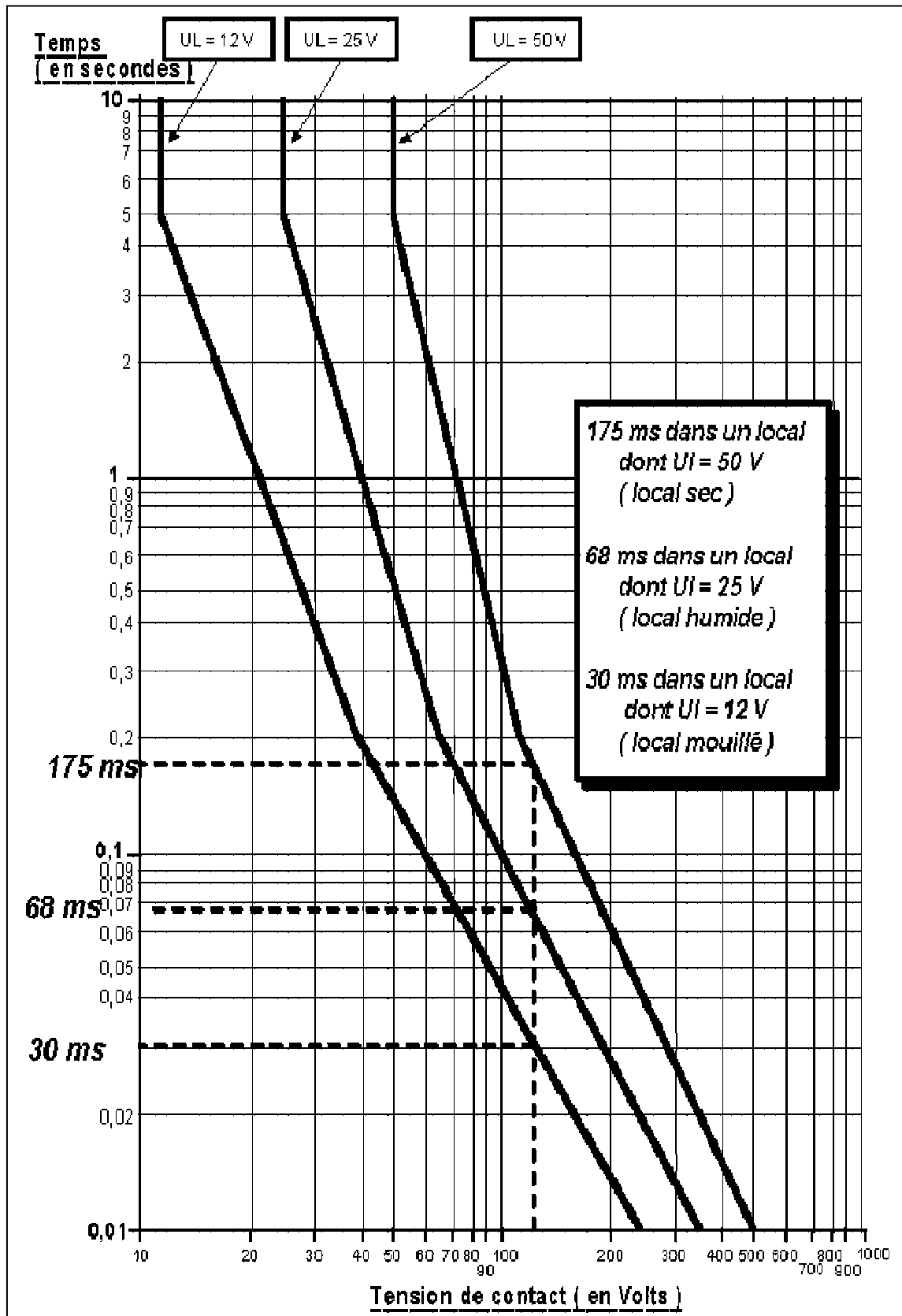
( associé à un disjoncteur, il devient un disjoncteur différentiel )

Ce dispositif sera placé dans le circuit de manière à ce qu'il puisse mesurer le courant qui passe dans l'installation, à l'aller et au retour. D'où le schéma du circuit suivant



## COURBES DE SECURITE

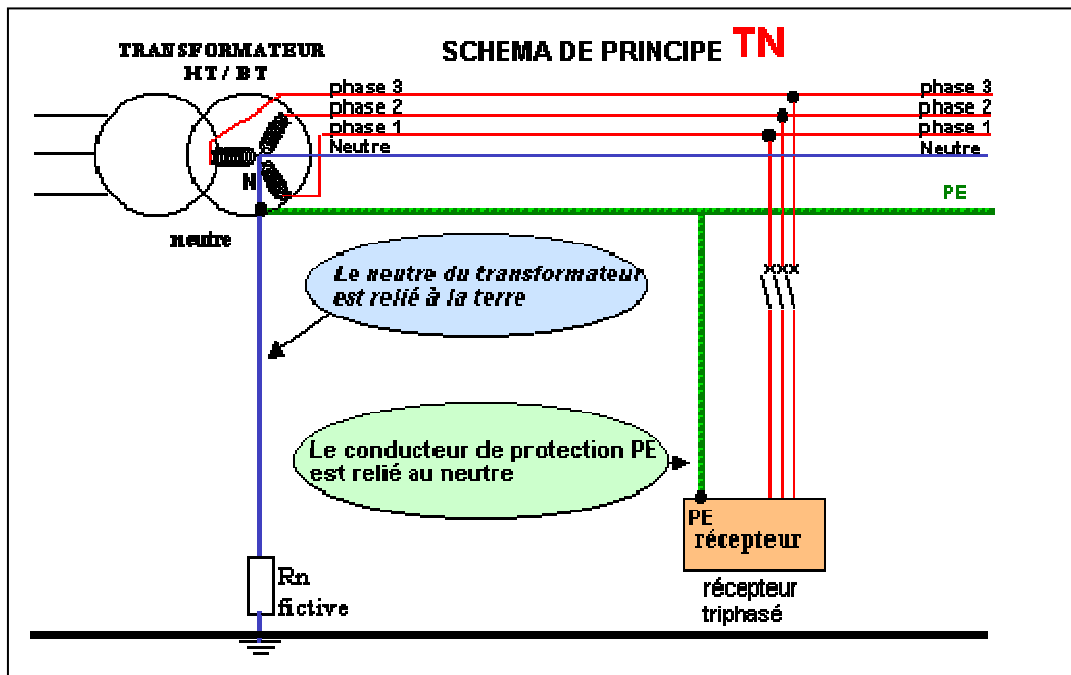
Temps maxi de déclenchement du dispositif de protection en fonction de la tension de contact et du local



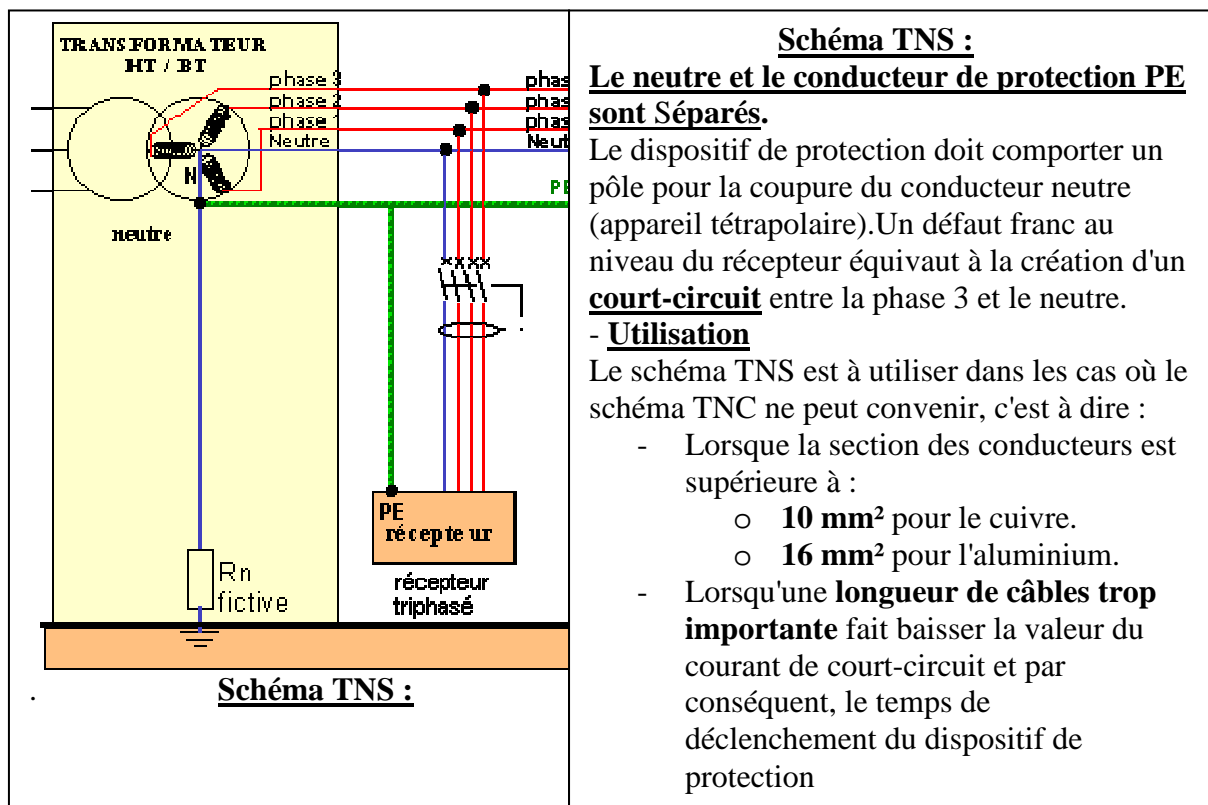
## Etude et analyse d'un schéma TN

- Le neutre du transformateur est relié à la terre.(T)
- Les masses métalliques sont reliées au Neutre par l'intermédiaire du PE.(N)

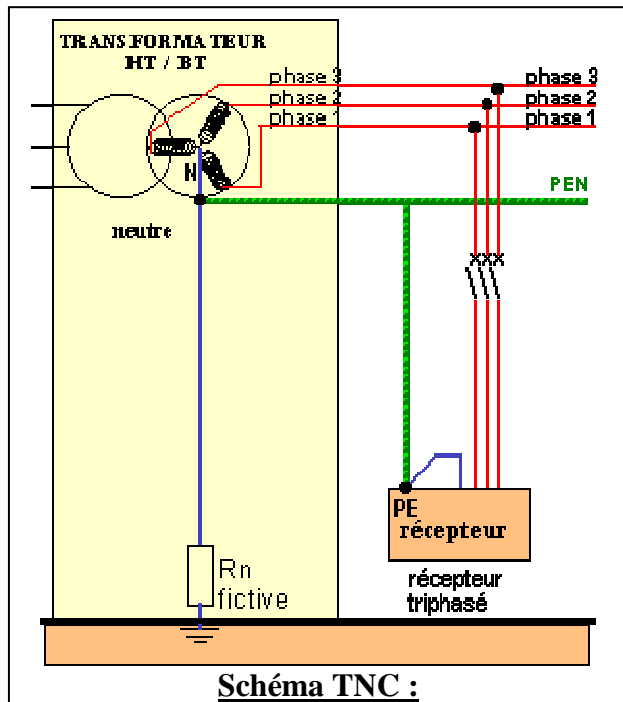
Schéma de principe :



**Remarque :** Pour le régime de neutre TN, la création d'un défaut d'isolement au niveau d'un récepteur peut être assimilé à une liaison entre une phase et le neutre (court-circuit) Il existe en fait, deux schémas d'installation possibles : les schémas TNC et TNS







**Schéma TNC :**

**Schéma TNC :**

Le neutre et le conducteur de protection PE sont Confondus.

Le conducteur qui sert de neutre et de protection s'appelle le **PEN**.

Le conducteur neutre du récepteur est connecté au conducteur de protection PEN.

Ce qui permet de n'utiliser qu'un dispositif de protection tripolaire ( au lieu d'un tétrapolaire pour la prise en compte du neutre ).

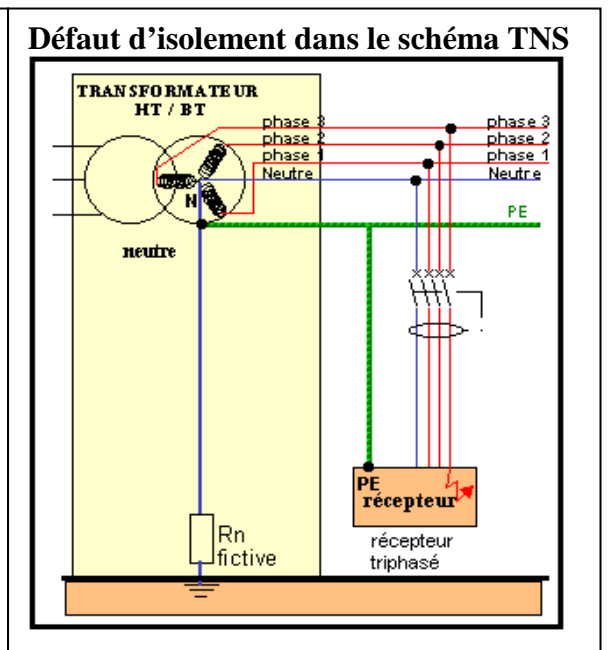
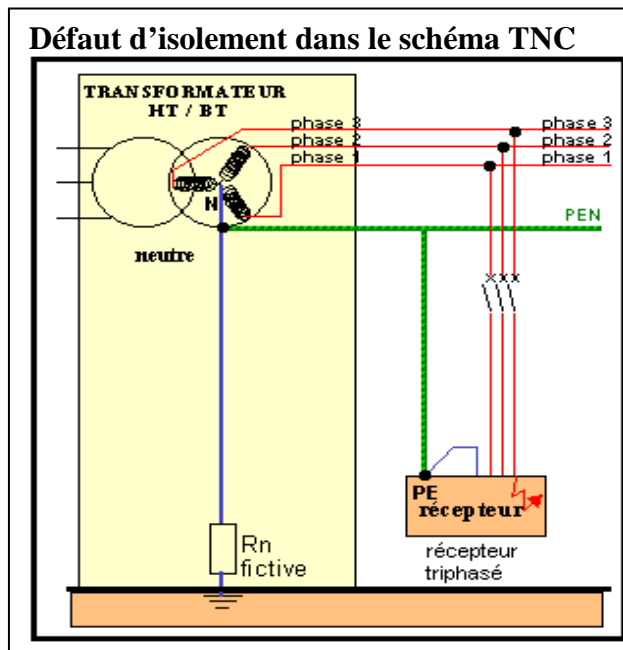
Un défaut franc au niveau du récepteur équivaut à la création d'un **court-circuit** entre la phase 3 et le neutre.

**- Utilisation**

Le schéma TNC est le schéma d'installation qui sera toujours recherché. A défaut de pouvoir utiliser le schéma TNC, on utilisera le schéma d'installation TNS (dont le coût est plus élevé).L'utilisation de ce schéma n'est autorisé que sur les conducteurs de section supérieure à :

- **10 mm<sup>2</sup>** pour les conducteurs en cuivre
- **16 mm<sup>2</sup>** pour les conducteurs en aluminium.

Présence d'un défaut d'isolement



### Etude d'un défaut en régime TN

- Nous négligerons la réactance des conducteurs.
- Nous supposons que la tension d'alimentation chute de **20%** lorsqu'un court-circuit survient (on prendra une valeur correspondant à **0,8 fois V**).
- Nous effectuerons l'étude pour un local sec ( $U_{Lmax} = 50 \text{ V}$ ).

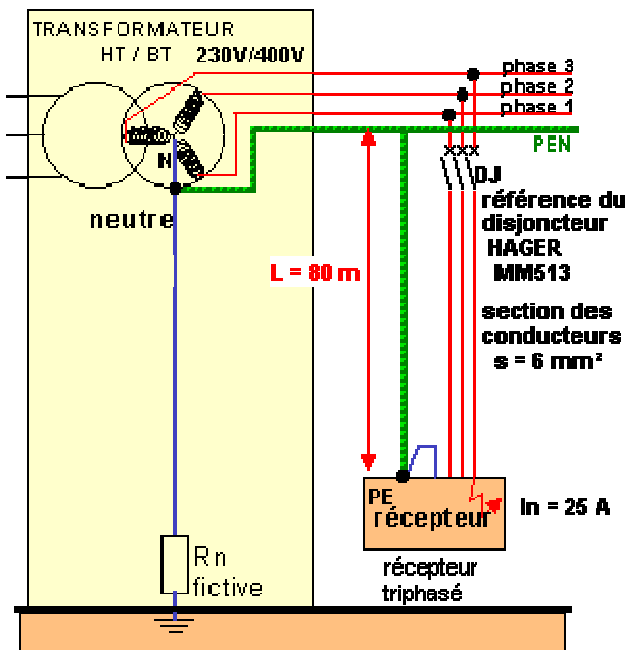
Le défaut n'est limité que par la résistance des conducteurs. La résistance des conducteurs dépend :

- De la nature de l'âme conductrice (
  - $\rho = 22,5 \cdot 10^{-3} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$  pour le **cuivre**
  - $\rho = 36 \cdot 10^{-3} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$  pour l'**aluminium** )
- De la longueur **L** des conducteurs
- De la section **S** des conducteurs

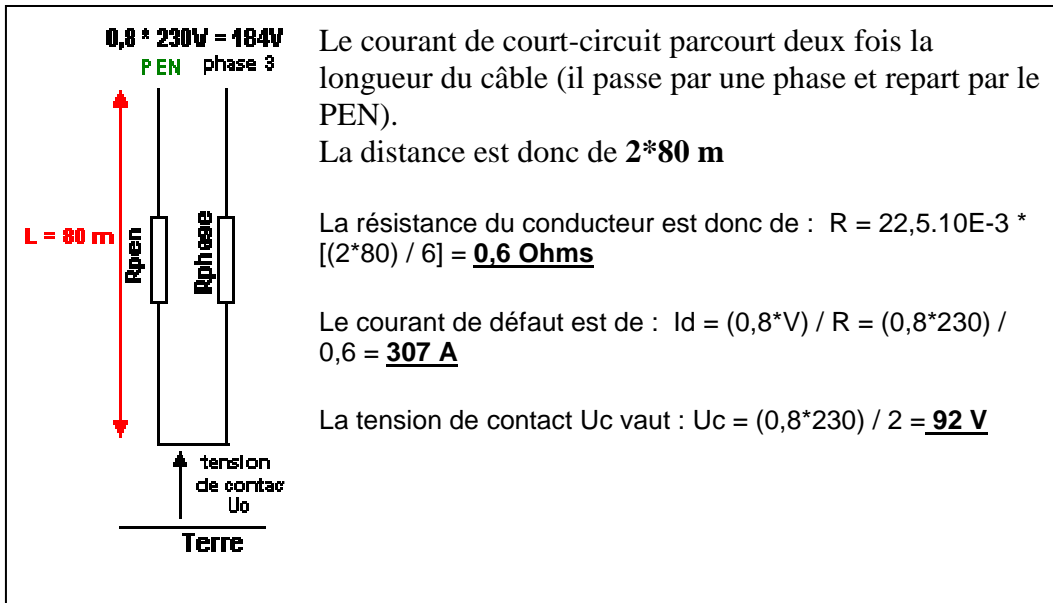
$$R = \rho \times \frac{L}{S}$$

**R** :résistance du conducteur en  $\Omega$   
 **$\rho$**  :résistivité en  $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$   
**L** : longueur du conducteur en **m**  
**S** : section du conducteur en **mm<sup>2</sup>**

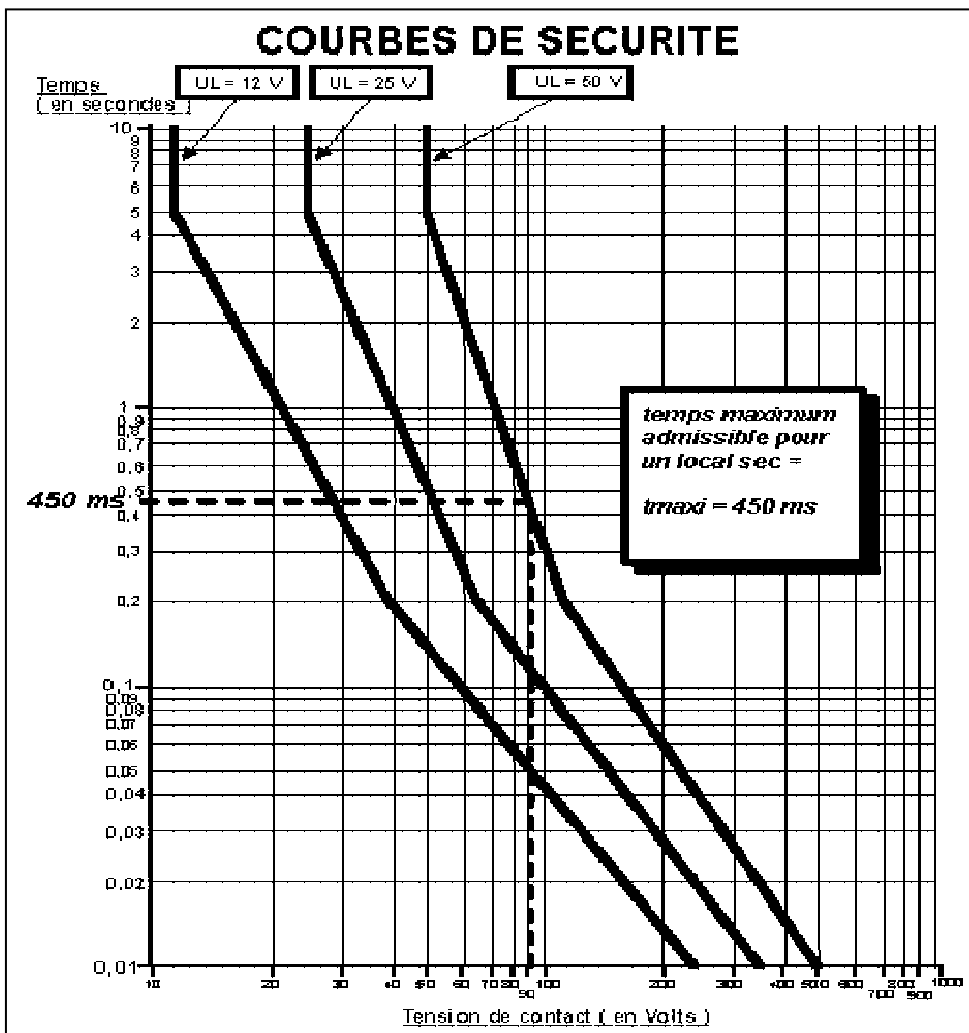
### CAS N°1 : la longueur des câbles permet l'utilisation du schéma TNC : Application numérique :

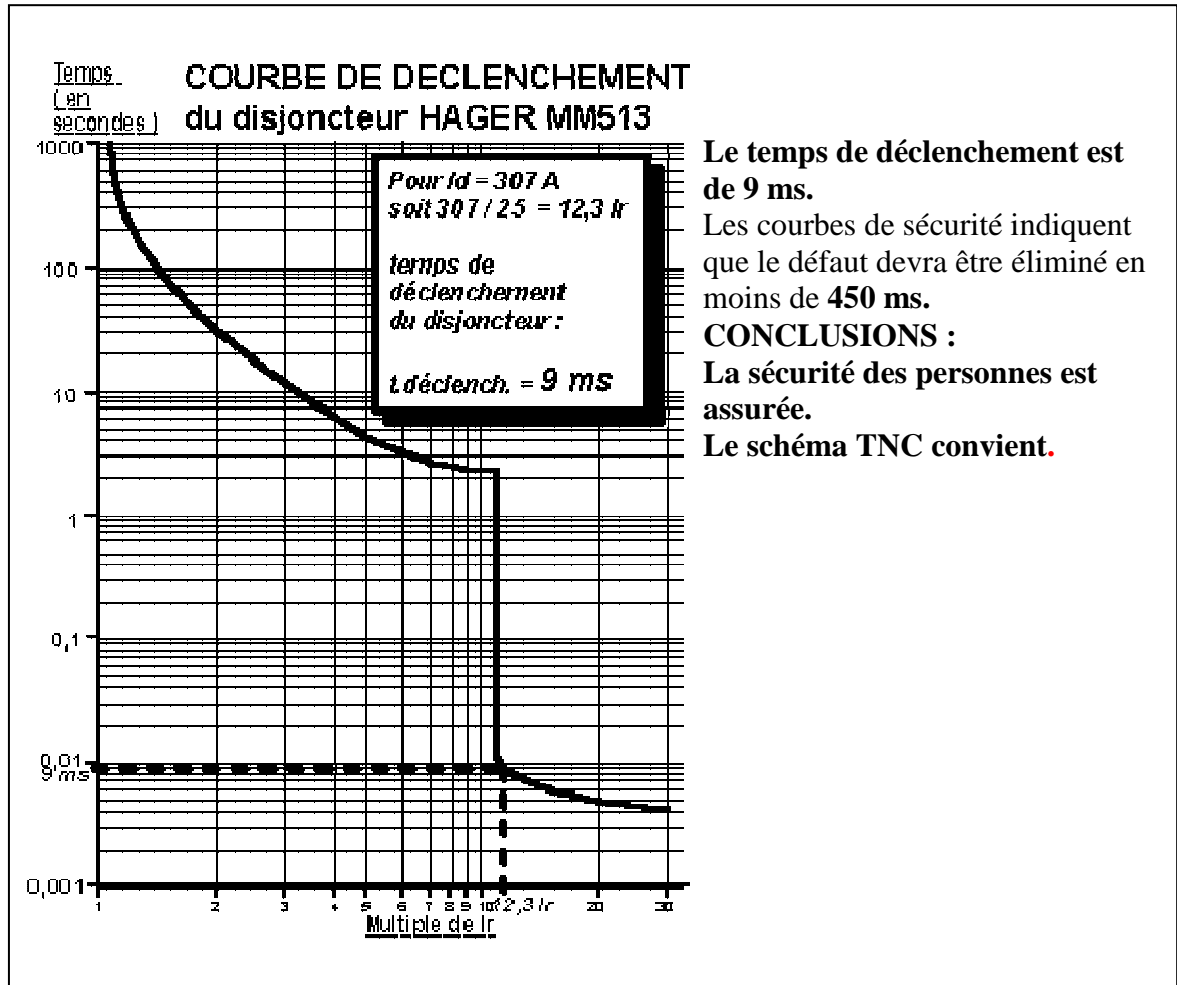


Longueur du câble : **80** mètres  
 Section des conducteurs : **6 mm<sup>2</sup>** en **cuivre**  
 Courant nominal absorbé par le récepteur = **25 A**  
 référence du disjoncteur de protection (calibre 25 A) : **HAGER MM513**



Pour une tension de contact  $U_c = 92 \text{ V}$ , dans un local sec ( $U_{lmax} = 50V$ ), le temps maximum admissible d'après les courbes de sécurité est de :450ms





**Le dispositif de protection devra éliminer le défaut en moins de 450 ms.**

Vérifions d'après la courbe de déclenchement du disjoncteur HAGER MM513, que le temps de déclenchement est inférieur à 450 ms.

Pour un courant de défaut de 307 A, le disjoncteur disjoncte en : **9ms**

Reprenons les calculs :

$0,8 * 230\text{V} = 184\text{V}$   
PEN phase 3

$L = 300\text{ m}$

$R_{\text{PEN}}$   $R_{\text{phase 3}}$

tension de contact  $U_c$

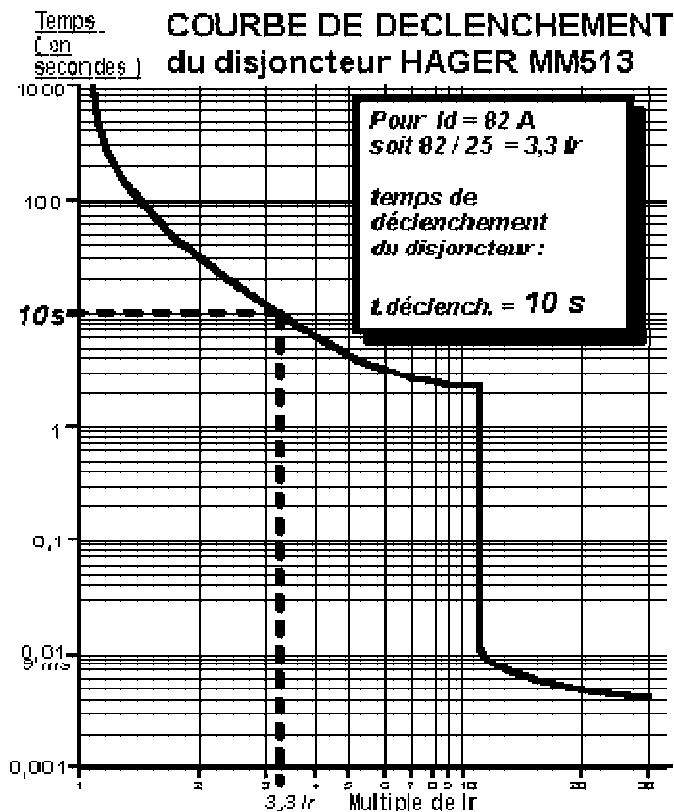
Terre

Le courant de court-circuit parcourt deux fois la longueur du câble (il passe par une phase et repart par le PEN).  
La distance est donc de  $2 * 300\text{ m} = 600\text{ m}$ .  
La résistance du conducteur est donc de :  $R = 22,5.10\text{E-}3 * [(2 * 300) / 6] = \underline{2,25\text{ Ohms}}$   
Le courant de défaut est de :  $I_d = (0,8 * V) / R = (0,8 * 230) / 2,25 = \underline{82\text{ A}}$   
La tension de contact  $U_c$  vaut :  $U_c = (0,8 * 230) / 2 = \underline{92\text{ V}}$

**CAS N°2** : La longueur des câbles ne permet pas l'utilisation du schéma TNC. On doit utiliser alors le schéma TNS :

Nous reprendrons les mêmes caractéristiques que le cas N°1 avec une longueur de câble différente. La longueur du câble est maintenant de **300 mètres**.

Pour une tension de contact  $U_c = 92 \text{ V}$ , dans un local sec ( $U_{lmax} = 50\text{V}$ ), le temps maximum admissible d'après les courbes de sécurité est de **450 ms** (voir courbes au dessus).



Le temps de déclenchement est de **10s**.

Les courbes de sécurité indiquent que le défaut devra être éliminé en moins de **450 ms**.

#### **CONCLUSIONS :**

**La sécurité des personnes n'est pas assurée.**

**Le schéma TNC ne convient pas.**

**IL FAUT UTILISER LE SCHEMA TNS.**

Le dispositif de protection (ici, le disjoncteur), doit être complété par un autre dispositif de protection capable d'éliminer le défaut en moins de 450 ms.

Nous utiliserons le **DISPOSITIF DIFFERENTIEL**.

En effet, le dispositif différentiel est un appareil de protection très sensible, il peut détecter des courants de 10 mA.

Cependant, il ne peut être placé dans un circuit TNC. **POURQUOI ?**

Dans le schéma TNC, **le neutre et le PE ne font qu'un**.

Le conducteur neutre pouvant être parcouru par un courant, le dispositif différentiel voit le courant dans le neutre comme un courant de défaut, il déclenchera alors qu'il n'y a pas de défaut.

**CONCLUSION : Pour pouvoir utiliser un dispositif différentiel, il faut séparer le conducteur PE de celui du neutre : c'est le schéma TNS**

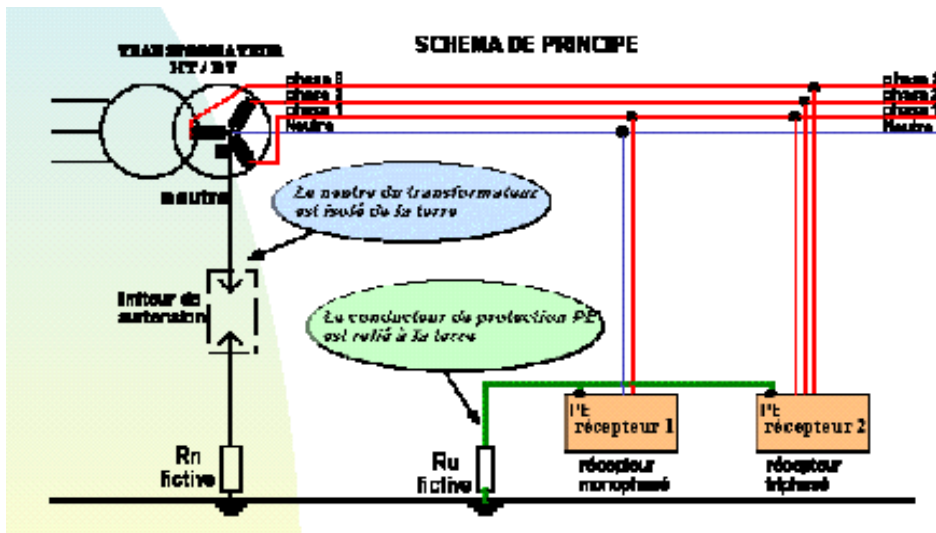
Avec le schéma TNS, le défaut sera détecté par un dispositif différentiel dont la sensibilité sera choisie de manière à être compatible avec les courbes de sécurité

**- Etude et analyse d'un schéma IT**

- Le neutre du transformateur est isolé ou fortement Impédant
- Les masses métalliques sont reliées a la terre par l'intermédiaire du PE.

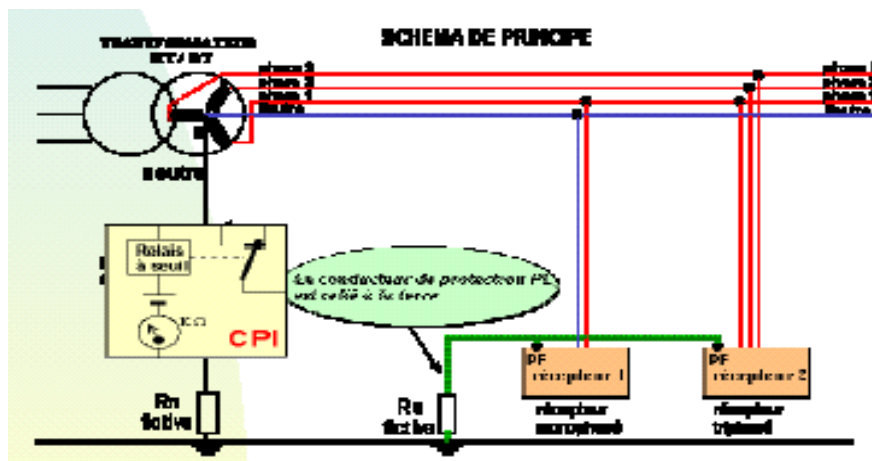
Le schéma est utilisé pour les installations alimentées par un poste de transformation privé et doivent être exploitées par un service de maintenance.

**Schéma de principe**



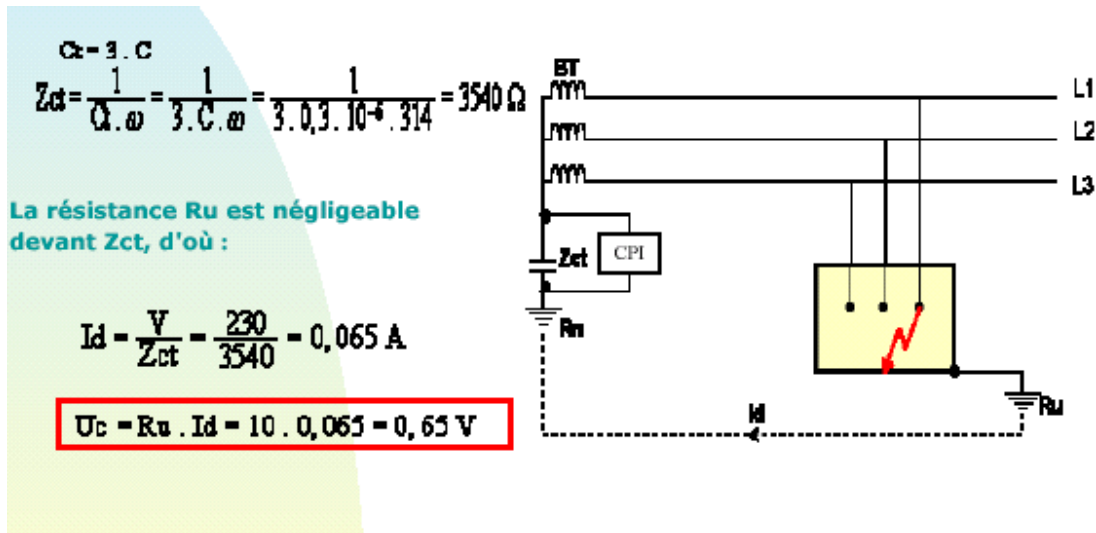
**Comportement du système IT en présence d'un premier défaut**

**Sécurité:** le courant de premier défaut se referme par la mise à la terre du neutre du transformateur (impédance forte ou infinie). La tension de défaut résultante n'est donc pas dangereuse et ne provoque que le fonctionnement de dispositifs sonores ou visuels d'avertissement. (**continuité du courant**) En cas de deuxième défaut, le courant se referme à travers les deux charges en défaut et la protection est assurée dans les mêmes conditions qu'en schéma TN.



### Exemple:

réseau 230V / 400 V, 1 Km de câbles,  $R_u = 10\Omega$ .,  $C = 0,3 \mu\text{F}/\text{Km}$ .



### Les avantages et inconvénients du schéma IT

#### Avantage du schéma IT

- Pas de coupure au premier défaut
- Installation permettant la poursuite de l'exploitation d'énergie malgré un premier défaut d'isolement même important, comme les salles d'opération en hôpital, la sécurité aérienne,
- Ce schéma IT est utilisé dans les installations de très courte dimensions, et les transformateurs d'isolement dans les ateliers, les salles de bains (prises rasoirs), etc.
- -Utilisé aussi lorsque les dimensions du réseau sont suffisamment grandes pour devoir tenir compte des impédances des lignes. L'impédance de mise à la terre ( $Z$ ) de valeur relativement faible (env. 600 à 1000 ohms) permet de s'affranchir de l'impédance des lignes, tout en limitant le courant de défaut

#### Inconvénients du schéma IT

- Nécessité d'avoir un spécialiste en dépannage pour supprimer ce défaut très rapidement, avant l'apparition d'un deuxième défaut qui va déclencher les protections.
- Ce schéma oblige la mise en place d'un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI) signalant par alarmes sonores et visuelles tout défaut dans l'installation.