

# Chapitre 1

## Alimentations électriques

### 1.1 Production de l'énergie électrique

#### 1.1.1 Source d'énergie électrique

L'énergie électrique est produite dans des centrales à partir de différentes sources d'énergie et acheminée sur le territoire par des lignes haute-tension. Les sources d'énergie sont les suivantes :

- **Énergie thermique (ou énergie de combustion)** : charbon, gaz naturel,...
- **Énergie nucléaire** : centrales nucléaires (uranium).
- **Énergie hydraulique** : barrages, conduites forcées.
- **Énergies renouvelables** : éoliennes (vent), énergie solaire (rayonnement de soleil),...

Dans presque tous les cas, l'énergie primaire (vent, eau, ...) est transformée en énergie mécanique à l'aide des turbines. Ensuite, ces dernières sont couplées à des alternateurs qui produisent l'énergie électrique.

Pour l'énergie solaire, c'est les capteurs photovoltaïques qui transforment directement l'énergie solaire en énergie électrique.

Pour les *centrales nucléaires*, on percute le noyau d'uranium par un neutron ce qui va le briser en deux noyaux plus petits tout en dégageant une énergie sous forme de chaleur. La chaleur en contact de l'eau fournit la vapeur sous pression qui fait tourner la turbine. En se brisant, l'atome libère deux ou trois neutrons qui iront à leurs tours briser d'autres noyaux et ainsi de suite.

#### 1.1.2 Réseau électrique

Le réseau électrique achemine l'électricité sous différentes tensions qui peuvent être très élevées dans le but de diminuer les pertes par effet joule (diminution du courant). En effet, la puissance dissipée est donnée par  $P_j = R.I^2$ , donc il faut avoir une intensité de courant la plus faible possible. D'autre part, sachant que la puissance transmise par la ligne est donnée par  $P = U.I$ , donc il est intéressant d'avoir une forte valeur de tension  $U$  qui entrainera une faible valeur de  $I$ . On distingue les tensions suivantes :

- Très Haute Tension (THT) de 400KV pour les lignes nationales et internationales.
- Haute Tension (HT) de 225KV pour les lignes régionales.
- Moyenne Tension (MT) de 20KV pour les industriels.
- Basse Tension (BT de 400V et 230V) pour les particuliers, artisans et collectivité locales.

## 1.2 Alimentations en tension continue

### 1.2.1 Piles et accumulateurs

Les piles et les accumulateurs sont des systèmes électrochimiques servant à stocker de l'énergie. L'électricité est produite entre deux électrodes baignant dans un électrolyte. Contrairement aux piles, les accumulateurs sont rechargeables.

### 1.2.2 Conversion alternatif-continu

- **Étape 1 : abaisser la tension par un transformateur**

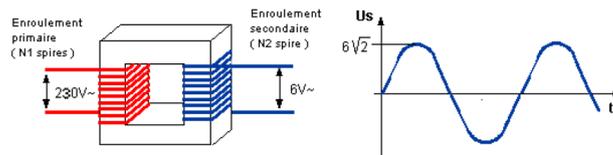


FIGURE 1.1 – Abaissement de la tension

$$\frac{Ue}{Us} = \frac{N1}{N2} \Rightarrow Us = \frac{N2}{N1} Ue \text{ avec : } N2 < N1$$

- **Étape 2 : redresser la tension par un pont de diodes**

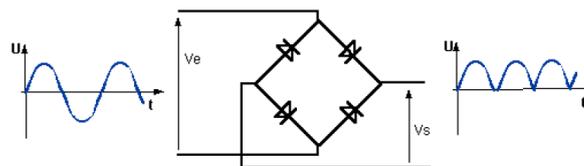


FIGURE 1.2 – Redressement de la tension

- **Étape 3 : Stabiliser la tension par un condensateur**

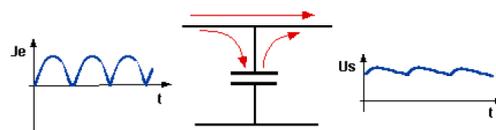


FIGURE 1.3 – Stabilisation de la tension

- **Étape 4 : Ajuster précisément la tension par un régulateur de tension**

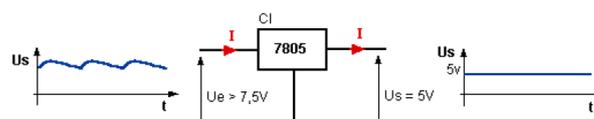


FIGURE 1.4 – Ajustement précis de la tension

Un régulateur de tension est un dispositif qui permet de stabiliser une tension à une valeur fixe.

## 1.3 Mise à la terre

### 1.3.1 Définitions

**Masse** : partie conductrice d'un matériel électrique susceptible d'être touchée par une personne, qui n'est normalement pas sous tension mais peut le devenir en cas de défaut d'isolement des parties actives de ce matériel (par exemple carcasse d'une machine à laver, d'un réfrigérateur, ...). Dans une installation électrique, les masses sont connectées à un conducteur de protection PE (Protection équipotentielle) principal.

**Courant de fuite ou courant de défaut** : courant acheminé par la masse métallique d'un appareil présentant un défaut d'isolement.

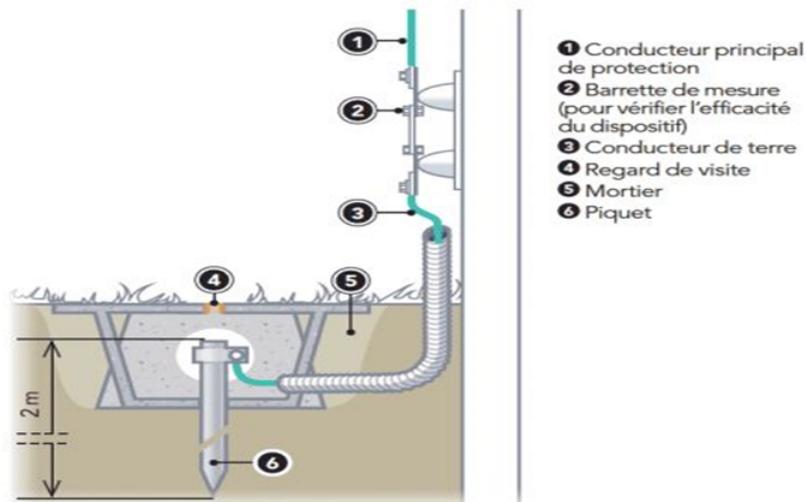


FIGURE 1.5 – Mise à la terre

**Prise de terre (piquet)** : corps conducteur enterré, ou ensemble de corps conducteurs enterrés et interconnectés, assurant une liaison électrique avec la terre qui a un potentiel électrique en chaque point égal à zéro.

**Résistance de terre** : résistance entre la borne principale de terre (la barrette de mesure) et la terre.

**Conducteur de terre** : conducteur de protection reliant la barrette de mesure à la prise de terre.

**Dispositif de coupure automatique** : dispositif permettant de mettre automatiquement hors tension une installation. On en distingue :

1. Disjoncteur magnétothermique et Fusible : utilisé pour protéger contre les courts-circuits et surintensités.
2. Dispositif Différentiel à courant Résiduel (DDR) : utilisé en cas de fuite à la terre, par le PE, du courant appelé courant résiduel.

### 1.3.2 Principe de la mise à la terre

La mise à la terre consiste à relier à une prise de terre, les masses métalliques qui risquent d'être mises accidentellement en contact avec le courant électrique par suite d'un défaut d'isolement dans un appareil électrique. Elle permet :

- D'écouler les courants de fuite sans danger.
- La mise hors tension de l'installation électrique en association avec un dispositif de coupure automatique.

1.3.3 Risques liés aux défauts d'isolement

- **Risque d'incendie.**
- **Risque de non disponibilité de l'énergie.**
- **Risque de choc électrique :** ce risque n'est pas lié uniquement à la valeur de la tension appliquée au corps humain, mais aussi à celle du courant susceptible de le traverser et à la durée du contact.

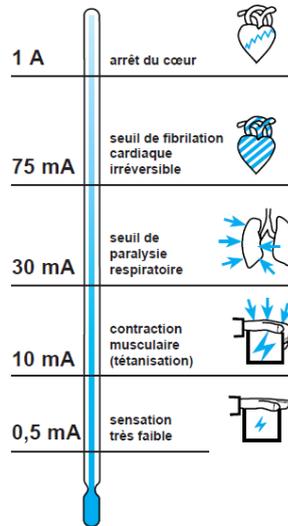


FIGURE 1.6 – Résumé des conséquences du passage du courant dans l'organisme [ces valeurs sont données pour un contact avec un courant alternatif pendant un temps infini]

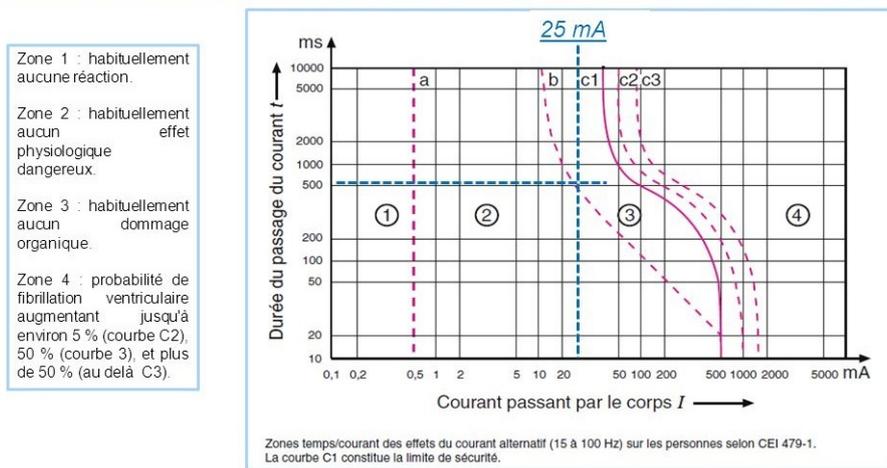


FIGURE 1.7 – Zones temps/courant des effets du courant alternatif

En BT, la norme CEI 479-1 définit une tension de sécurité appelée "tension limite conventionnelle"  $U_L$  :

- $U_L = 50V$  pour les locaux secs ou humides,
- $U_L = 25V$  pour les locaux mouillés.

Toute tension de contact  $U_C$  supérieure à la tension  $U_L$ , nécessite l'élimination du défaut dans un temps bien déterminé selon les normes.

### 1.3.4 Schémas des liaisons à la terre

Les schémas des liaisons à la terre, appelés aussi régimes de neutre d'une installation BT, caractérisent le mode de raccordement à la terre du *neutre* du secondaire du transformateur HT/BT (ou de la source) et *des masses* de l'installation. Les différents régimes peuvent être résumés sur le tableau suivant :

Régime	Connexion du neutre	Connexion des masses
TT	Terre	Terre
TN	Terre	Neutre
IT	Isolé (Impédant)	Terre

TABLE 1.1 – Différents schémas des liaisons à la terre

#### 1.3.4.1 Régime Terre-Terre

##### • Schéma TT

Le schéma est donné sur la Figure 1.8.

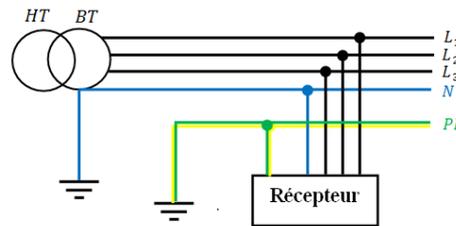


FIGURE 1.8 – Schéma TT

##### • Défaut d'isolement

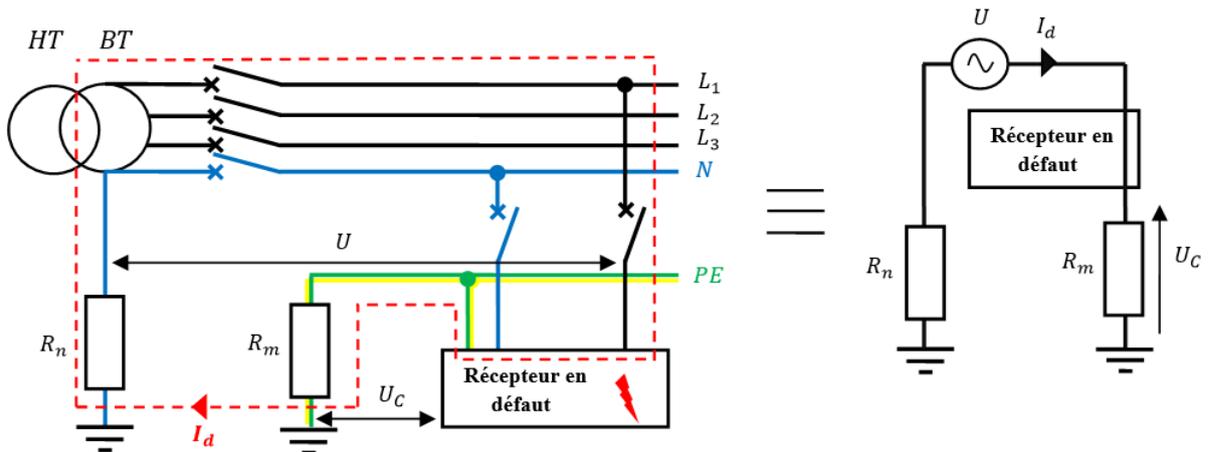


FIGURE 1.9 – Défaut d'isolement TT

$$I_d = \frac{U}{R_n + R_m}, \quad U_C = R_m \times I_d$$

Où :

- $U$  : Tension entre la phase et le neutre ;

- $R_n$  : Résistance de la prise de terre du neutre ;
- $R_m$  : Résistance de la prise de terre des masses ;
- $I_d$  : Courant de défaut ;
- $U_C$  : Tension de contact entre la masse de l'équipement et le sol. Il faut que  $U_C < U_L$  pour assurer la protection des personnes.

• **A.N.**  $R_n = 10\Omega, R_m = 20\Omega, U = 220V \Rightarrow I_d = 7,33A, U_C = 146,7V$ .

Nous avons  $U_C > U_L \Rightarrow$  Mettre hors tension l'installation.

• **Protection des personnes**

- L'appareil de coupure automatique est un Dispositif Différentiel Résiduel (DDR) car le courant de défaut est très faible pour faire réagir les protections contre les surintensités (disjoncteurs magnéto-thermique, fusibles).
- Le déclenchement se produit au premier défaut d'isolement.
- Chaque DDR est caractérisé par un courant résiduel maximum  $I_{\Delta n}$  qui représente le seuil de déclenchement de ce dernier. Sa valeur dépend de la réglementation du pays (un DDR de  $500mA$  en tête d'installation est obligatoire en Algérie) et doit vérifier :

$$I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_m}$$

- Le DDR doit réagir en un temps bien défini afin de ne pas mettre en danger les personnes. Le tableau suivant donne le temps de coupure maximal  $T_{max}$  du dispositif de protection en fonction de la valeur de la tension de contact  $U_C$  dans un local où la tension limite est  $U_L = 50V$ .

$U_C$ (V)	$T_{max}$ (s) en courant alternatif
50	5
75	0.60
90	0.45
120	0.34
150	0.27
220	0.17
280	0.12
350	0.08

TABLE 1.2 – Temps de coupure maximal  $T_{max}$  du dispositif de protection en fonction de  $U_C$  pour  $U_L = 50V$

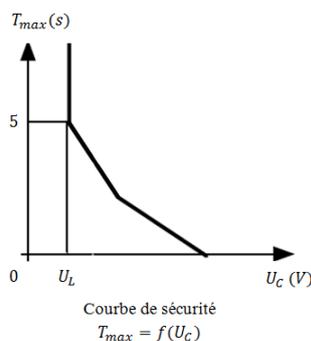


FIGURE 1.10 – Courbe de sécurité pour  $U_L = 50V$

1.3.4.2 Régime Terre-Neutre

• Schéma TN

Il se divise en :

- Schéma TN-C : les conducteurs neutre et de protection sont confondus en un seul conducteur appelé PEN (C : confondus).
- Schéma TN-S : les conducteurs neutre et de protection sont séparés (S : séparés).
- Schéma TN-C/S : un mélange entre les schémas TN-C et TN-S.

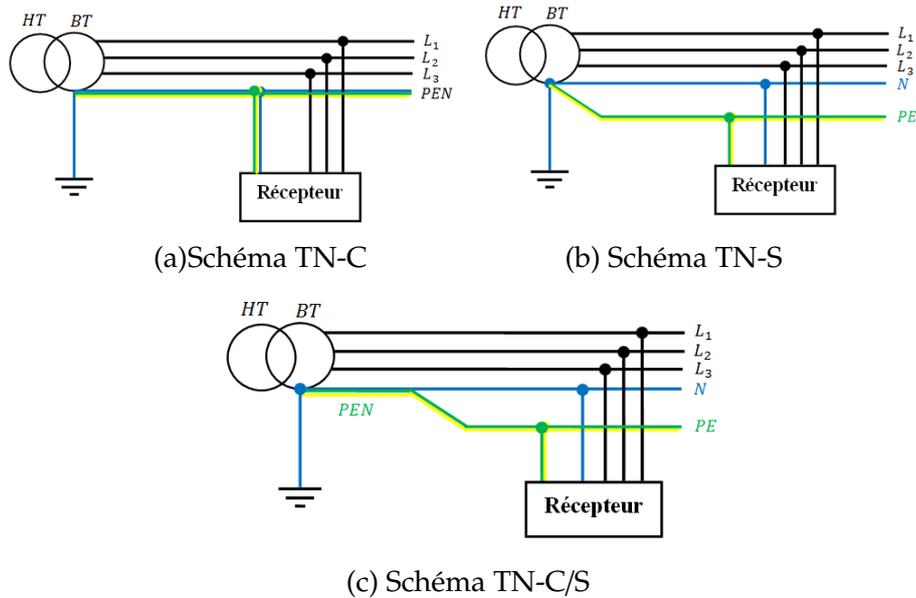


FIGURE 1.11 – Différents Schémas TN

• Défaut d'isolement

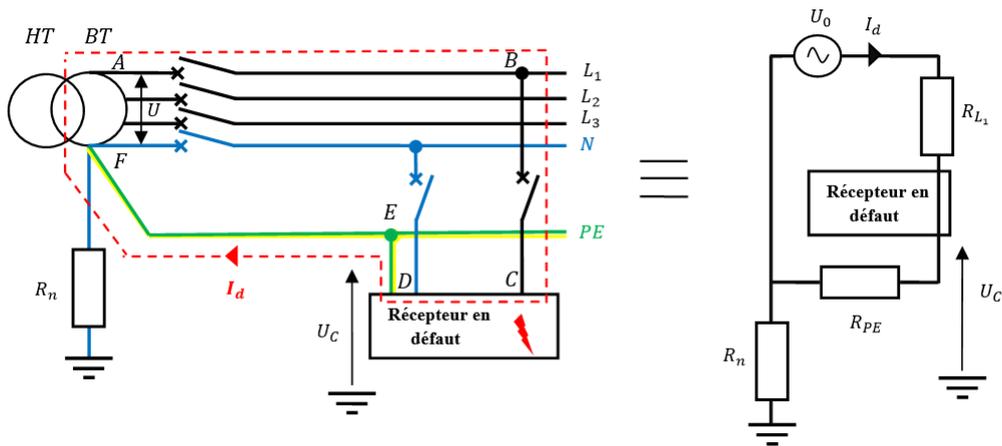


FIGURE 1.12 – Défaut d'isolement TN

$$I_d = \frac{U_0}{R_{PE} + R_{L1}} = \frac{0.8 \times U}{R_{PE} + R_{L1}}, \quad U_C = R_{PE} \times I_d$$

Où :

- $R_{PE} = Z_{DE}$  : Résistance du câble  $PE$  qui dépend de sa longueur dans la boucle de défaut;
- $R_{L1} = Z_{BC}$  : Résistance du câble de la phase  $L1$  qui dépend de sa longueur dans la boucle de défaut;
- $U_0 = U_{BE} = 0.8 \times U$  : Tension entre la phase et le neutre en cas de court-circuit (chute de tension de 20% sur la tension nominale entre phase et terre liée aux impédances ignorées en amont du CC ( $Z_{AB}$  et  $Z_{EF}$ )).

Puisque les masses sont reliées au neutre, tout défaut d'isolement est transformé en un défaut entre phase et neutre soit un court circuit.

• Protection des personnes

- La protection est effectuée par disjoncteur magnéto-thermique ou fusible.
- Le déclenchement se produit au premier défaut d'isolement.
- Le disjoncteur magnéto-thermique (ou le fusible) assure la protection des personnes dans un schéma TN, à condition que :
  - Le courant de fonctionnement du déclencheur magnétique  $I_{mag}$  (courant assurant la fusion du fusible  $I_f$ ) soit inférieur ou égal au courant de défaut  $I_d$  :  $I_{mag} \leq I_d$  ( $I_f \leq I_d$ );
  - Le temps limite de déclenchement du disjoncteur (de fusion) pour une tension de contact  $U_C$  soit inférieur ou égal au temps maximal prescrit par la courbe de sécurité ( $T_c \leq T_{max}$ ).

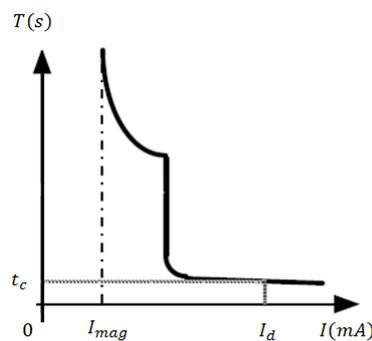


FIGURE 1.13 – Courbe de fonctionnement d'un disjoncteur magnéto-thermique

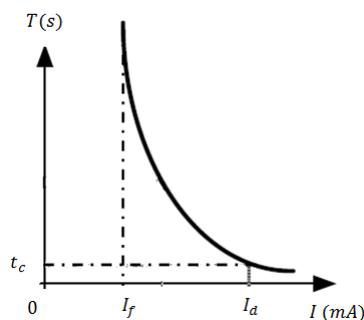


FIGURE 1.14 – Courbe de fonctionnement d'un fusible

$t_c$  étant le temps minimal de déclenchement du disjoncteur magnéto-thermique (de fusion du fusible).

1.3.4.3 Régime Impédant-Terre

• Schéma IT

Le schéma est donné sur la Figure 1.15.

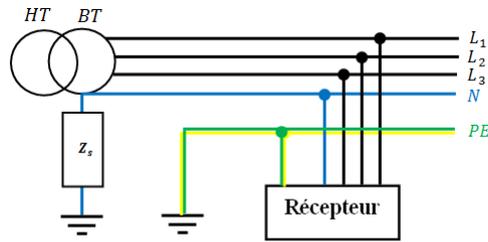


FIGURE 1.15 – Schéma Impédant Terre

• Premier défaut d'isolement

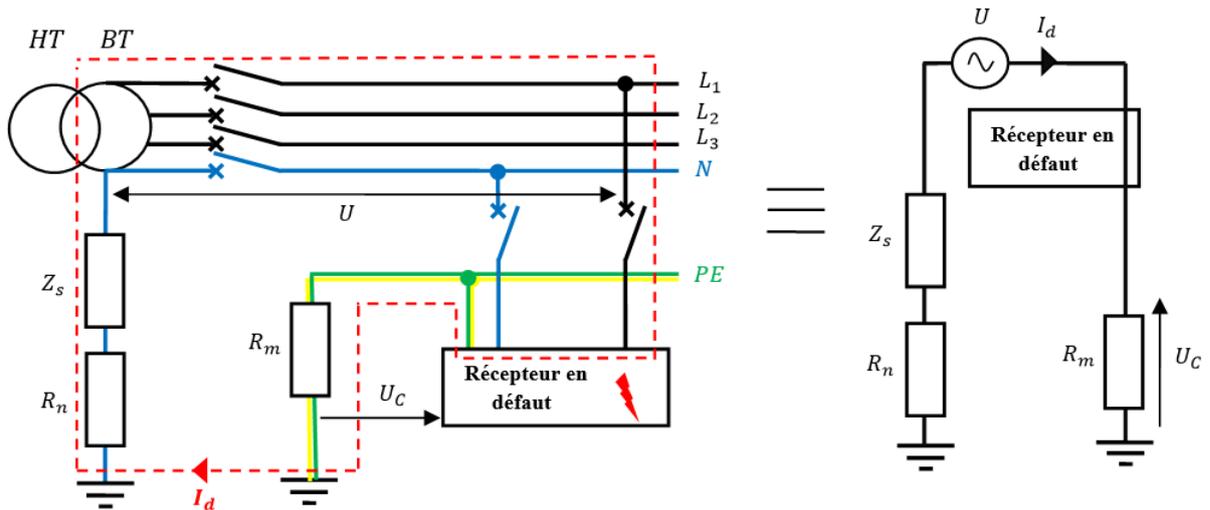


FIGURE 1.16 – Premier défaut IT

$$I_d = \frac{V}{Z_s + R_n + R_m}, \quad U_C = R_m \times I_d$$

- A.N.  $U = 220V, Z_s = 50k\Omega, R_m = R_n = 10\Omega \Rightarrow I_d = 0.004A$  et  $U_C = 0.04V$

Cette tension est faible et non dangereuse ( $U_C \ll U_L$ )  $\Rightarrow$  l'installation peut être maintenue en service.

• Deuxième défaut d'isolement

a) Sur le même conducteur

Rien ne se passe et l'exploitation peut continuer.

**b) Sur deux conducteurs différents avec masses interconnectées**

Considérons le schéma de la Figure 1.17 sur lequel il existe deux défauts, l'un sur la phase L1 (récepteur 1), l'autre sur la phase L3 (récepteur 2). Dans ce cas, il s'établit un courant de défaut  $I_d$  dans la boucle ABCDEFGHJK.

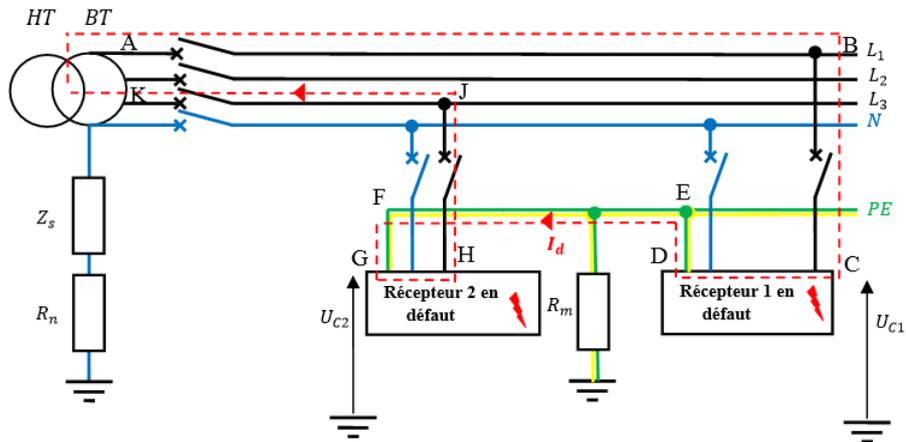


FIGURE 1.17 – Deuxième défaut IT - masses interconnectées

Dans la pratique, on ignore  $R_{EF}$ , ce qui donne le circuit équivalent suivant :

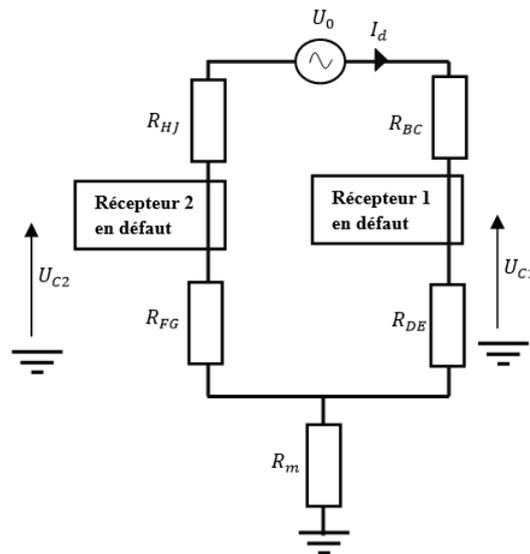


FIGURE 1.18 – Circuit équivalent du deuxième défaut IT

$$I_d = \frac{U_0}{R_{BC} + R_{DE} + R_{FG} + R_{HJ}} = \frac{0,8 \times U}{R_{BC} + R_{DE} + R_{FG} + R_{HJ}}$$

$$U_{C1} = R_{DE} \times I_d, \quad U_{C2} = R_{FG} \times I_d$$

En cas de défaut double, en régime de neutre IT, on est en présence d'un fort courant de court circuit et d'une tension de contact dangereuse, d'où la nécessité de protéger les utilisateurs.

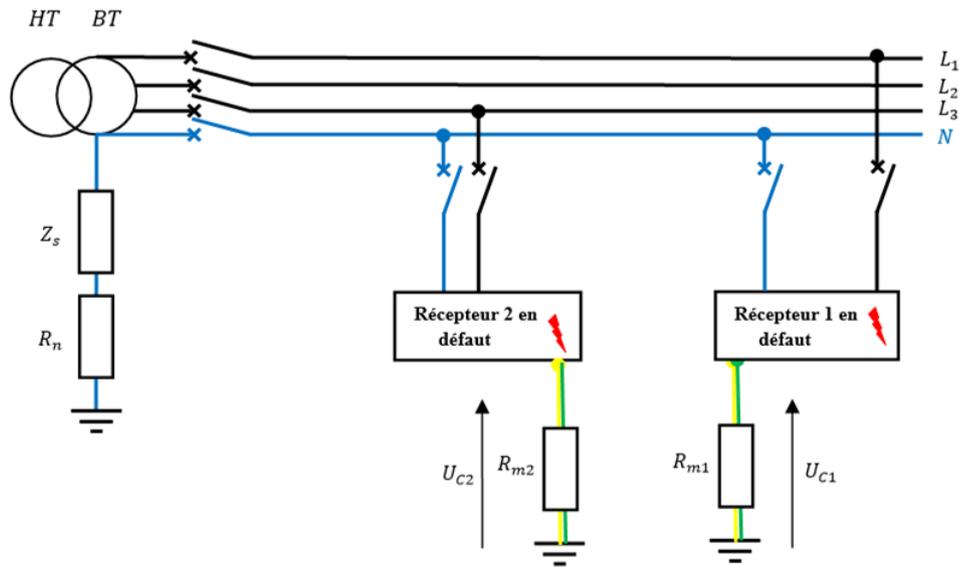


FIGURE 1.19 – Deuxième défaut IT - masses séparées

c) Sur deux conducteurs différents avec masses non connectées (Exercice)

• Protection des personnes

- Ce schéma oblige la mise en place d'un Contrôleur Permanent d'Isolément (CPI) signalant par alarmes sonores et visuelles tout défaut dans l'installation.

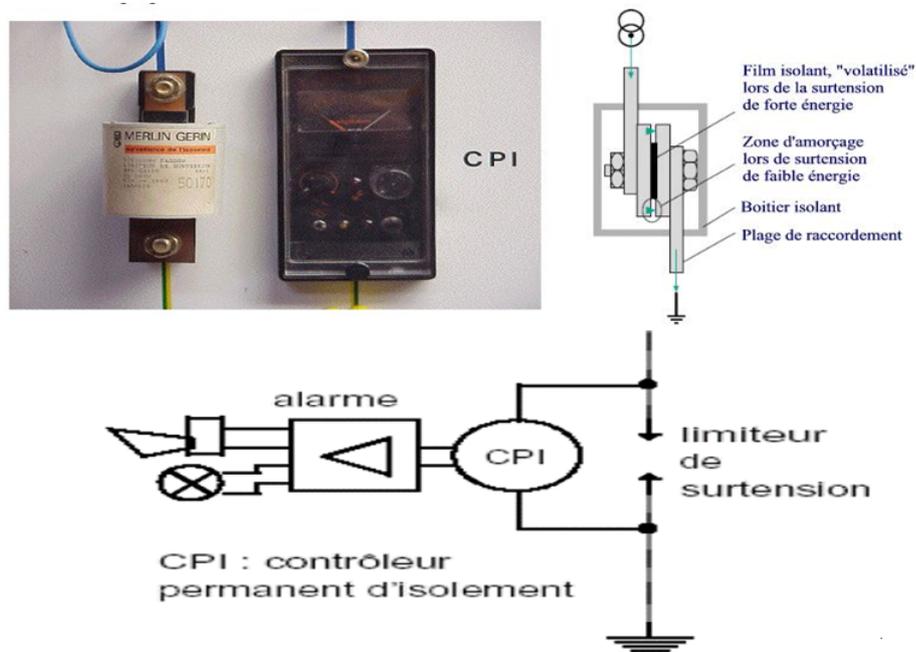


FIGURE 1.20 – Contrôleur permanent d'isolement et limiteur de tension

- Le premier défaut signalé par le CPI doit être corrigé rapidement, avant le déclenchement d'un deuxième défaut qui peut faire déclencher les protections.
- Dans le cas d'un double défaut (sur deux conducteurs différents), la protection est assurée par disjoncteur magnéto-thermique ou par fusible.

## 1.4 Architectures des installations électriques

Les principales configurations de distribution basse tension sont décrites ci-dessous :

### 1.4.1 Distribution radiale arborescente

D'usage général, c'est la plus employée. La division de l'installation électrique en circuits permet :

- La limitation des conséquences d'un défaut au seul circuit concerné,
- La facilitation de la recherche d'un défaut,
- Les opérations d'entretien sur un circuit sans couper toute l'installation.

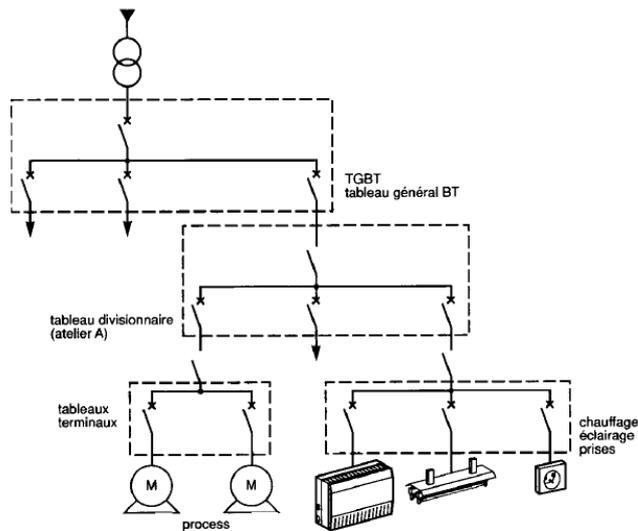


FIGURE 1.21 – Distribution radiale arborescente à trois niveaux

### 1.4.2 Distribution radiale pure (dite en peigne)

Elle est surtout utilisée pour la commande centralisée des procédés ou d'installations dédiées à une application précise.

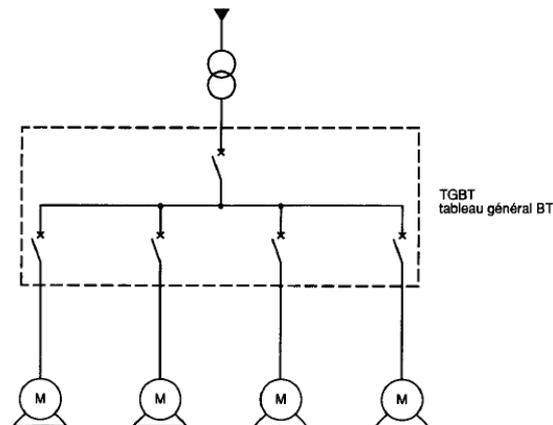


FIGURE 1.22 – Distribution radiale pure ou «en peigne»

## 1.5 Classification des récepteurs

- **Récepteurs non prioritaires** : ils admettent des arrêts prolongés d'une heure au plus. Par conséquent, ils ne sont réalimentés qu'au retour du réseau externe d'alimentation.
- **Récepteurs prioritaires** : ils admettent des arrêts de quelques minutes. Ils sont retestés dès la fin du redémarrage des récepteurs essentiels.
- **Récepteurs essentiels** : ils admettent des arrêts de quelques secondes. Ils sont réalimentés quelques secondes après la perte du réseau dès que la tension et la fréquence du groupe sont stabilisées.
- **Récepteurs vitaux** : ils n'acceptent aucune coupure. Ils sont alimentés par une alimentation sans interruption (ASI).

## 1.6 Continuité 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, ...

### 1.6.1 Mise en place d'alimentations de secours

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.

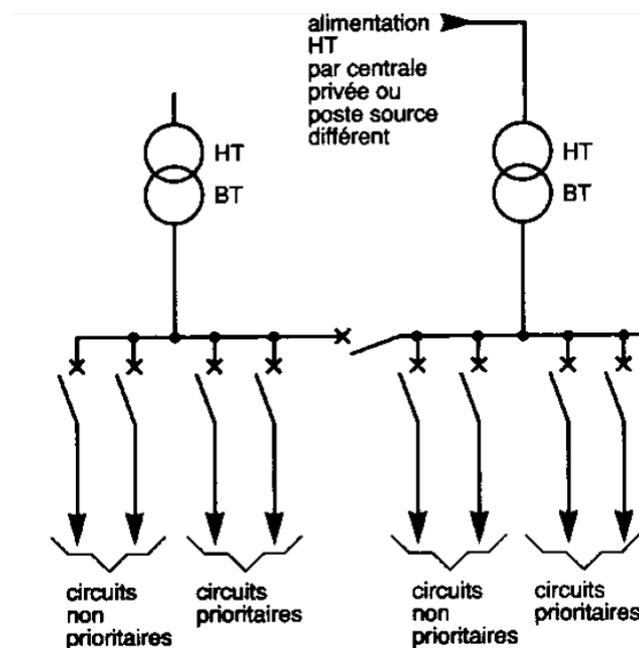


FIGURE 1.23 – Exemple d'alimentation double

### 1.6.2 Subdivision des circuits

De cette manière un défaut qui affecte un circuit d'importance secondaire ne prive pas d'alimentation un circuit prioritaire.

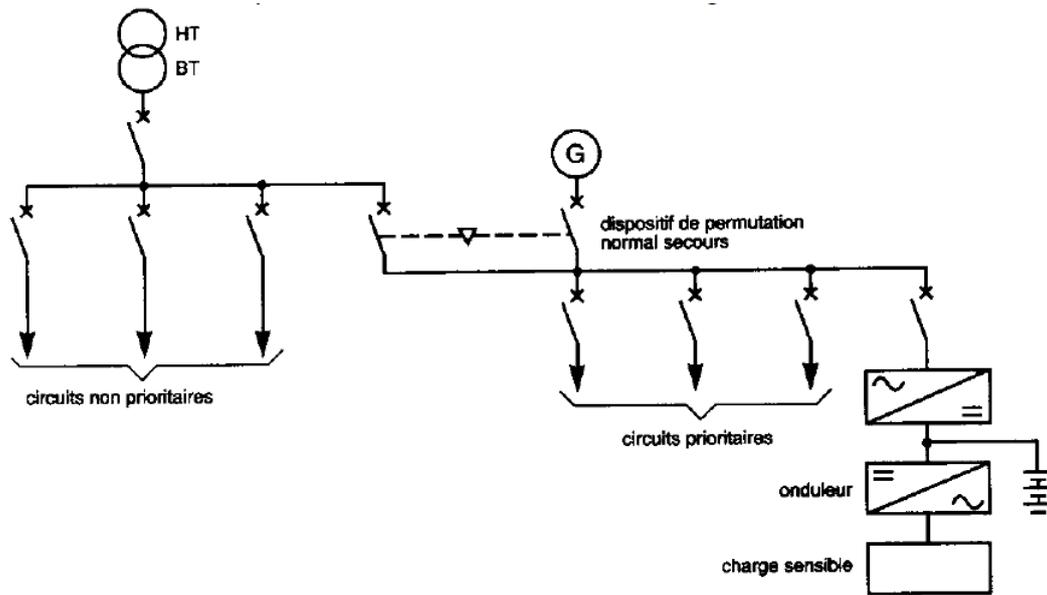


FIGURE 1.24 – Exemple 1 d’association d’alimentation de secours et de subdivision des circuits

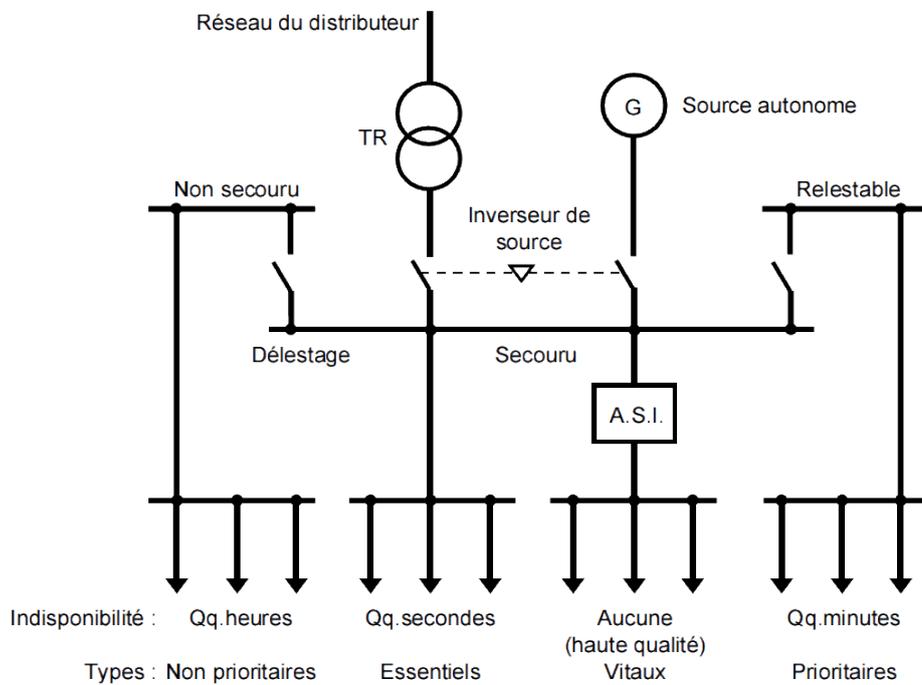


FIGURE 1.25 – Exemple 2 d’association d’alimentation de secours et de subdivision des circuits