

Chapitre III : Protection électrique des personnes

III.1 Les différents types de défaut

Une augmentation ou une diminution anormale des grandeurs nominales dans un circuit électrique constitue un défaut ou une perturbation. Ce sont le plus souvent les variations anormales de la tension, de l'intensité et de la fréquence qui sont à l'origine de ces perturbations.

Les défauts les plus courants sont :

- ❖ Surintensité par surcharge.
- ❖ Surintensité par court-circuit.
- ❖ Surtension.
- ❖ Baisse ou manque de tension

III.1.1 La surcharge

Elévation de l'intensité de 1 à 10 I_n (courant nominal) d'un circuit due par exemple à une surabondance des récepteurs.

- ❖ Conséquences : Echauffement lent et progressif des parties actives, des masses métalliques, des isolants
- ❖ Moyens de protection : Relais thermique fusible déclencheur thermique du disjoncteur.

III.1.2 Le court-circuit

Elévation brutale de l'intensité de 10 à 1000 I_n dans un circuit due à une liaison accidentelle de deux points de potentiel différents.

- ❖ Conséquences : Arc électrique, échauffement important pouvant entraîner la fusion des parties actives (soudure des contacts, projection de particule).
- ❖ Moyens de protection : Déclencheur magnétique du disjoncteur, fusible.

III.1.3 La surtension

Augmentation soudaine et importante de la tension due par exemple à un coup de foudre, à un contact entre HTA et BTA.

- ❖ Conséquences : Claquage des isolants avec pour conséquence des courts-circuits éventuels.
- ❖ Moyens de protection : limiteur de surtension, relais de surtension, parafoudre.

III.1.4 La baisse ou le manque de tension

Chute de tension, trop importante dans un réseau, déséquilibre d'un réseau triphasé de distribution.

- ❖ Conséquences : Mauvais fonctionnement des récepteurs.
- ❖ Moyens de protection : Relais à minimum de tension, alimentation autonome.

III.2 Quelques définitions

- ❖ Conducteurs actifs : conducteur normalement affecté à la transmission de l'énergie, tels que les conducteurs de phase ou de neutre (le PEN n'est pas un conducteur actif).
- ❖ Conducteur de protection équipotentielle : conducteur destiné à mettre au même potentiel toutes les parties métalliques d'une installation (carcasses, structures, ...).
- ❖ Neutre : conducteur actif relié directement ou indirectement à la terre.
- ❖ Masses : partie métallique d'un matériel électrique susceptible d'être en contact avec une personne, et qui pourrait être accidentellement sous tension.
- ❖ Prise de terre : ensemble des pièces conductrices enfoncées dans le sol et assurant une liaison électrique efficace avec la terre.
- ❖ Défaut franc : conducteur actif mis accidentellement en contact direct, sans résistance de contact avec la masse métallique de l'appareil
- ❖ Défaut non franc : conducteur actif mis accidentellement en contact indirect, avec résistance de contact

avec la masse métallique de l'appareil

III.4 Protection électriques des personnes

III.4.1 Choc électrique

Lorsqu'un courant supérieur à 30 mA traverse une partie du corps humain, la personne concernée est en danger si le courant n'est pas interrompu dans un temps assez court

III.4.1.1 Protection contre les chocs électriques

Différentes mesures sont adaptées à la protection contre ces dangers qui comprennent :

- ❖ La coupure automatique de l'alimentation des équipements connectés,
- ❖ Utilisation de matériel isolant en classe II, ou de niveau équivalent d'isolation,
- ❖ liaisons équipotentielles,
- ❖ Séparation électrique des circuits au moyen de transformateurs d'isolement,
- ❖ Mesure de protection par très basse tension TBTS et TBTP (Très Basse Tension de Sécurité et Très Basse Tension de Protection),
- ❖ Emplacements ou locaux non conducteurs, non accessibles au toucher ou interposition de barrière isolante, sous la surveillance d'une personne compétente.

III.5 les différents types de contacts électriques:

III.5.1 Type de contact

III.5.1.1 Contact direct

Le contact direct est le contact d'une personne avec les parties actives des matériels sous tension. Une partie active peut être un conducteur d'énergie ou même un conducteur neutre.

❖ Causes

Suite à une maladresse, une personne entre en contact avec une ou plusieurs parties normalement sous tension

❖ Conséquences

Un courant, pratiquement limité que par la résistance du corps humain parcourt la personne, pouvant entraîner la mort.

III.5.1.2 Contact indirect

Le contact indirect est le contact d'une personne avec des masses métalliques mises accidentellement sous tension. Une masse est une partie métallique normalement isolée des parties actives et mise à la terre.

❖ Causes

une personne entre en contact avec une masse conductrice qui se trouve accidentellement reliée à un conducteur chargé

❖ Conséquences

La personne est soumise à une tension pouvant égaler la tension du conducteur chargé. Un courant traverse donc la personne, pouvant entraîner la mort.

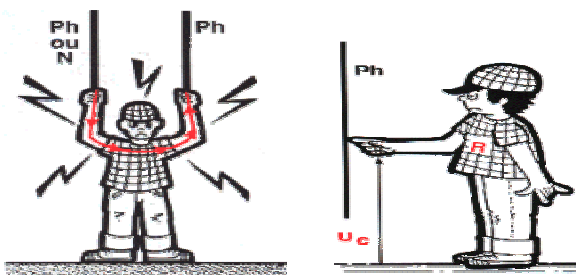


Fig.III.1 contact direct

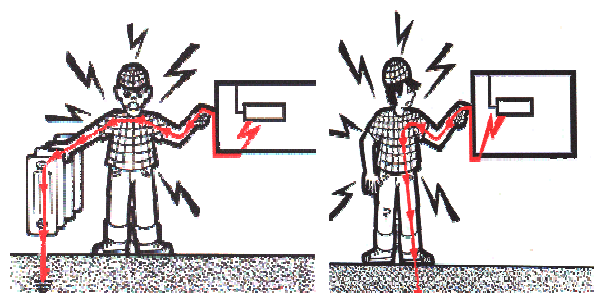


Fig.III.2 contact indirect

III.6 Electrification et électrocution

L'accident peut enfin être lié à la foudre (fulguration). On distingue deux types d'accidents causés par l'électricité :

- ❖ L'électrocution : le courant passe par le cœur et la victime risque l'arrêt cardiaque ;
- ❖ L'électrification : le courant passant à travers le corps, et provoque des lésions graves. Les brûlures par l'électrification entraînent souvent des handicaps à long terme et des séquelles esthétiques.

La gravité de l'accident dépend :

- ❖ De la tension : plus elle est élevée plus le risque est important ;
- ❖ De l'humidité

- ❖ De l'isolation du corps,
- ❖ La capacité de résistance du corps étant affaiblie si la peau en contact avec le courant est moite, si le sol est humide et si la victime est pieds nus.

Par exemple : le contact avec du 220 V avec des mains sèches ou gantées, les pieds chaussés sur un sol sec, n'entraînera que des picotements. Si les mains et les pieds sont nus et humides, il y a un risque d'arrêt cardiaque.

III.7 Protection contre le contact direct

Les moyens permettant de se protéger efficacement contre les contacts directs :

- TBTS.
- Isolation des parties actives.
- Mise en place de dispositifs assurant l'inaccessibilité.
- L'éloignement.

III.7.1 La très basse tension de sécurité

III.7.1.1 Caractéristiques de la très basse tension de sécurité

Des tensions dites non dangereuses sont définies en fonction des locaux. Ce sont les tensions limites de sécurité UL. Les différents locaux sont :

- ❖ UL = 50 V Locaux sec ou humides.
- ❖ UL = 25 V Locaux mouillés.
- ❖ UL = 12 V Locaux Immergés.

III.7.1.2 Nature de la source

On peut utiliser plusieurs types de sources de sécurité. La source principale est un transformateur de sécurité.

III.7.1.3 Conditions d'installation

- Condition 1 : Aucune partie active du réseau TBTS ne doit être reliée à la terre
- Condition 2 : Les masses des matériels électriques alimentées par ce réseau ne doivent pas être reliées à la terre.
- Condition 3 : Les parties actives d'un réseau TBTS doivent être bien isolées par rapport aux parties actives d'autres réseaux.
- Condition 4 : Les circuits TBTS doivent emprunter des canalisations distinctes, à moins d'utiliser des câbles multipolaires ou des conducteurs isolés sous conduits.
- Condition 5 : Les socles de prises de courant ne doivent pas comporter de contact de terre

La TBTS permet de se protéger contre les contacts directs et les contacts indirects sans coupure de l'alimentation. La puissance de ces installations est souvent limitée. Les utilisations sont : outils portatifs, lampes baladeuses, jouet, appareils médicaux.

III.7.1.4 Le transformateur de sécurité

Ce type de transformateur se caractérise essentiellement par un grand isolement entre le circuit primaire et le circuit secondaire. La tension de secondaire est inférieure à 48 V et la tension primaire appartient au domaine BTA.

III.7.2 Isolation des parties actives

Principe : Les parties actives doivent être complètement recouvertes par une ou plusieurs enveloppes isolantes.



Fig.III.3 Protection par isolation d'un câble triphasé avec gaine par enveloppe

Fig.III.4. Exemple d'isolation

III.7.3 Inaccessibilité des parties actives

Il existe essentiellement trois moyens pour empêcher l'accès aux matériels sous tension :

- Utilisation de barrière ou d'enveloppe.
- Au moyen d'obstacles (prises à éclipses ou à volets obturateurs).
- Mise hors de portée par éloignement.

III.7.4 Mesure complémentaire par coupure de l'alimentation

On peut aussi protéger les personnes contre un contact direct phase terre seulement en utilisant un dispositif différentiel à courant résiduel haute sensibilité.

III.8 Protection contre le contact indirect

III.8.1 Protection contre les contacts indirects sans coupure de l'alimentation

III.8.1.1 La très basse tension de sécurité TBTS

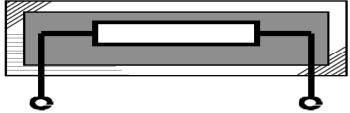
Même conditions que pour les contacts directs.

III.8.1.2 Matériels de la classe II ou matériels équivalents

Les matériels de classe II possèdent:

- Une isolation principale des parties actives.
- Une isolation supplémentaire de protection totalement indépendante et destinée à assurer la protection des personnes.

Le symbole caractéristique d'un matériel de classe II est :

<p>Norme concernant l'appellation classe II:</p> <p>Les parties conductrices de ce type de matériel ne doivent pas être reliées à la terre.</p>	<p>Double isolation d'un matériel de classe II</p> 
---	---

III.8.1.3 Isolation supplémentaire lors de l'installation

On peut réaliser lors de l'installation d'un matériel qui n'est pas de classe II une double isolation . Cette solution est applicable dans la mesure où l'on s'assure que tout est mis en œuvre pour éviter tout contact avec des parties métalliques ou avec le potentiel de terre.

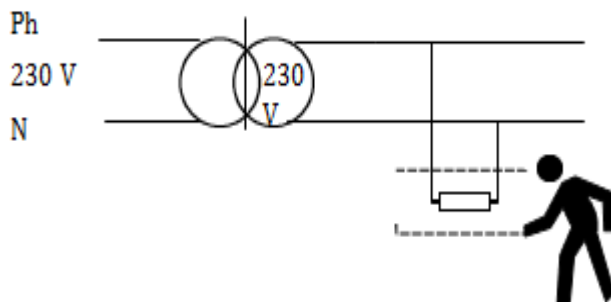
On doit apposer sur l'enveloppe assurant la double isolation le symbole :



III.8.1.4 Séparation de sécurité des circuits

Que risque la personne dans le cas d'un défaut d'isolement sur le récepteur?

❖ Transformateur de séparation



Il ne peut y avoir de boucle de défaut grâce à la séparation des circuits.

Fig.III.5 Transformateur de séparation

En utilisant un transformateur de séparation des circuits, on évite à une personne d'être soumise à un potentiel dangereux par rapport à la terre car le neutre n'est pas relié à la terre.

Un transformateur de séparation sera utilisé. Il sera de classe II.

Symbole du transformateur de séparation des circuits



III.8.1.5 Eloignement ou interposition d'obstacles

Le principe est de rendre simultanément inaccessibles deux masses par une même personne:

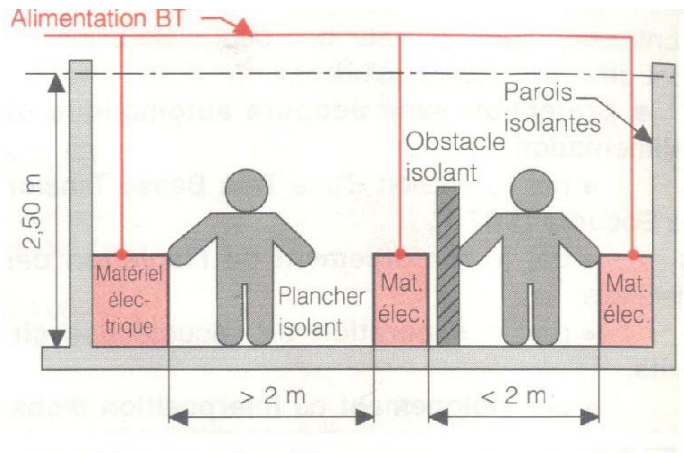


Fig.III.6 Eloignement

III.8.1.6 Liaisons équipotentielle locales

Dans ce cas, que se passe-t-il si le moteur présente un défaut d'isolement ?

La personne n'est soumise à aucun potentiel car elle touche que des objets au même potentiel.

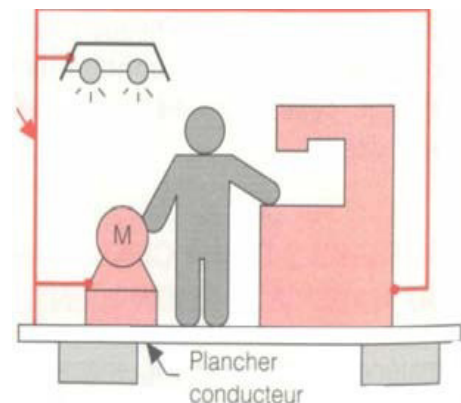


Fig.III.7 Liaisons équipotentielle locales

III.8.1.6.1 Le défaut d'isolement

Le défaut d'isolement apparaîtra suite à un endommagement de l'isolant sur un ou plusieurs conducteurs de phase. Le défaut peut se produire sur les lignes de l'installation électrique mais aussi sur des appareils électroménagers, si le conducteur endommagé, entre en contact avec la carcasse métallique de l'appareil.

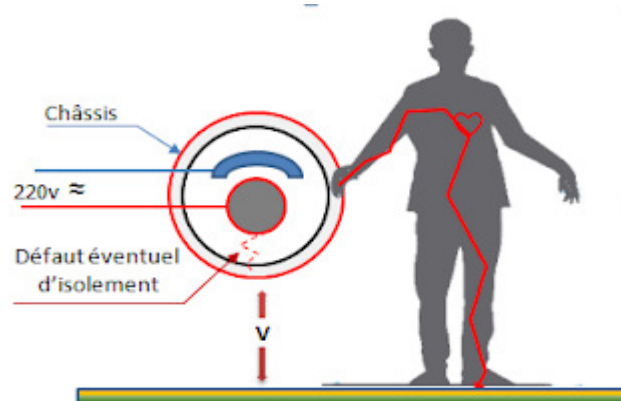


Fig.III.8 défaut d'isolement

Lorsque cela arrive il y a deux cas de figure:

- ❖ L'appareil est raccordé à la prise de terre, la perte de courant passe par le fil de terre.
- ❖ L'appareil n'est pas raccordé à la prise de terre ou la prise de terre n'est pas aux normes. Le courant est isolé de la terre par les pieds de l'appareil, mais si on touche celui-ci, la perte de courant traverse notre corps pour rejoindre la terre.

III.8.1.2 Classification des appareils électriques

III.8.1.2.1 Quelles sont les classifications ?

Une classification des matériels électriques a été établie en fonction de leur protection contre les chocs électriques. Il existe quatre types d'isolation:

- ❖ l'isolation principale des parties conductrices.
- ❖ l'isolation supplémentaire pour assurer la protection en cas de défaut.
- ❖ La double isolation, principe de construction des appareils, qui comprend à la fois une isolation principale et une isolation supplémentaire.
- ❖ L'isolation renforcée des parties conductrices au moins équivalente à la double isolation.

La classification des matériels doit être indiquée par le constructeur sur leur plaque signalétique.

III.8.1.2.2 Les types de classifications

- ❖ Matériel de classe 0: Ce matériel n'est plus admis.
- ❖ Matériel de classe 1: La protection de ce matériel est assurée par une isolation principale et une protection supplémentaire par le raccordement à la terre des parties conductrices. Il est impératif de raccorder ces appareils à la prise de terre de l'installation.
- ❖ Matériel de classe 2 :La protection de ce matériel est assurée par une isolation principale à laquelle s'ajoute une double isolation ou une isolation renforcée. Ce type de matériel ne nécessite pas de raccordement à la terre.
- ❖ Matériel de classe 3 : Ce matériel est alimenté en très basse tension de sécurité (TBTS) 12 Volts. Cela évite tous les risques de chocs électriques et par conséquent ne sera pas raccordé à la terre.

Classe	Symbole	Description
0		Isolation simple Interdit en Europe
1		Liaison à la terre pour les parties métalliques
2		Double isolation sans terre
3		Isolation Classe 2 + alimentation par transformateur TBT

Fig.III.9 Symbole de classification des appareils

III.8.1.2.3 Indices IP et IK: qu'est ce que ça signifie?

Les matériel électriques, comme les boîtes de dérivation par exemple, sont classés en fonction de leur influence avec le milieu extérieur. A ce titre, des indices IP et IK, sont utilisés pour donner:

- ❖ Le degré de protection contre la pénétration de corps solides étrangers
- ❖ Le degré de protection contre le pénétration de l'eau
- ❖ Le degré de protection contre les impacts mécaniques externes

Le code IP est composé de deux chiffres pour caractériser:

- ❖ Le degré de protection contre la pénétration de corps solides étrangers
- ❖ Le degré de protection contre le pénétration de l'eau

Le code IK est composé d'un chiffre pour caractériser:

- ❖ Le degré de protection contre les impacts mécaniques externes

❖ En pratique, que signifie les indices de protection électriques IP et IK?

Pour chaque chiffre d'indice, un test est pratiqué sur le matériel: Si ce matériel "réussi" le test, il correspond à l'indice du test.

Prenons un exemple:

Une boîte de dérivation doit être protégée contre les poussières et contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale (données des tests effectués).

- Pour la protection contre les poussières, c'est le degré de protection contre la pénétration de corps étrangers: Ici c'est l'**indice IP 5 X** (X est le deuxième degré)
- Pour la protection contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale, c'est le degré de protection contre la pénétration de l'eau: Ici c'est l'**indice IP X 3** (X est le premier degré)

Exemple : IP45

Premier chiffre : 4 => Les corps solides de plus de 1mm de diamètre ne peuvent pas pénétrer.

Deuxième chiffre : 5 => L'eau projetée à l'aide d'une lance de n'importe quelle direction ne peut pas pénétrer.

- L'indice IK détermine le degré de protection du matériel contre les chocs d'origine mécanique.

Exemple : IK08

Le matériel est protégé contre un choc équivalent à la chute d'une masse de 1,25kg depuis une hauteur de 40cm (correspondant à une énergie de 5 Joules).

Exemple : Protection contre les contacts direct par enveloppe

Protection contre la pénétration d'un doigt de $\Delta = 12$ mm et de longueur 80 mm ainsi que contre tous corps de $\Delta > 12,5$ mm. **IP 2X**

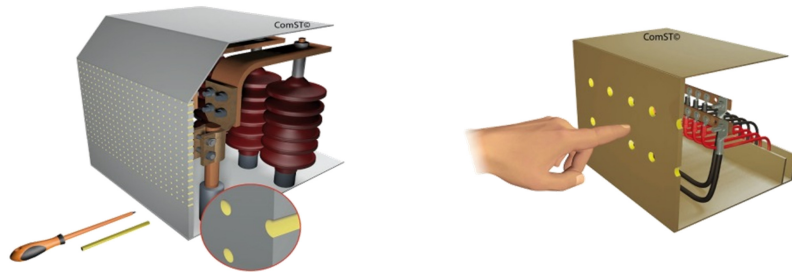


Fig.III.10 Protection contre la pénétration de tous corps de $\Delta > 2,5$ mm. **IP3X**

III.8. 2 Mesure de protection par coupure automatique de l'alimentation

La mesure de protection contre les contacts indirects par coupure automatique de l'alimentation est réalisée si les masses sont mises à la terre

Cette mesure de protection repose sur 2 principes fondamentaux :

- Mise à la terre de toutes les masses des matériels électriques de l'installation et constitution de la liaison équipotentielle principale.
- Mise hors tension automatique de manière à ne pas soumettre une personne à une tension de contact.

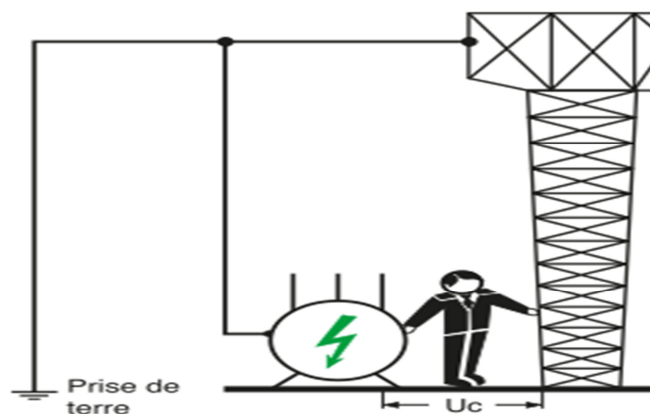


Fig. III.11 La tension de contact U_c à l'origine du danger est une tension main/main

III.8. 2.1 Schémas de Liaisons à la Terre SLT

Les Schémas de Liaisons à la Terre SLT ou les régimes du neutre ont pour objectif d'assurer la protection des biens et des personnes contre les défauts d'isolement.

La norme CEI 60364-4-41 définit 3 schémas des liaisons à la terre :

- schéma TN,
- schéma TT,
- schéma IT,

La norme C.15-100 définit trois régimes de neutre qui sont caractérisés par deux lettres :

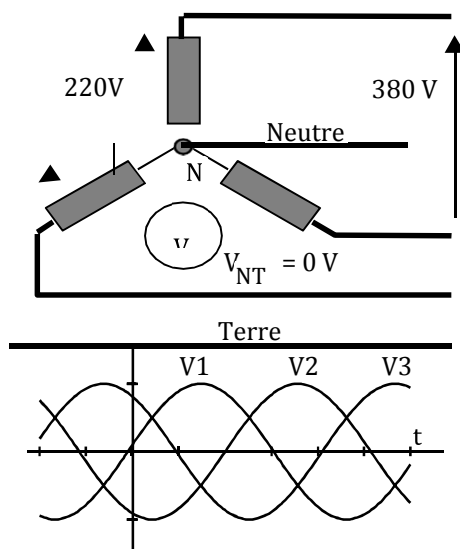
- 1ère lettre : elle représente la situation du neutre de l'alimentation par rapport à la terre
 - T : liaison du neutre avec la terre.
 - I : isolation de toutes les parties actives par rapport à la terre, ou liaison à travers une impédance.
- 2ème lettre : elle représente la situation des masses de l'installation par rapport à la terre
 - T : masses reliées directement à la terre ;
 - N : masses reliées au neutre de l'installation, lui-même relié à la terre.
- Autres lettres éventuelles : elles représentent la disposition du conducteur neutre et du conducteur de protection.
 - S (séparé) : on dispose de deux conducteurs séparés. Le conducteur neutre (N) est séparé du conducteur de protection électrique (PE).
 - C (commun) : les fonctions neutres et protections sont combinées en un seul conducteur (PEN).

La mise en œuvre d'un SLT exige aussi le dimensionnement des conducteurs et le choix et les caractéristiques des dispositifs de protection.

Table 1 Durée maximale de maintien de la tension alternative de contact présumée dans les conditions normales. La résistance du sol et la présence de chaussures est prise en compte dans ces valeurs

U ₀ (V)		50 < U ₀ ≤ 120	120 < U ₀ ≤ 230	230 < U ₀ ≤ 400	U ₀ > 400
Schéma	TN ou IT	0,8	0,4	0,2	0,1
	TT	0,3	0,2	0,07	0,04

• Les caractéristiques du neutre



La centrale électrique produit l'électricité sous forme triphasée. L'alternateur est constitué de trois enroulements qui forment l'équivalent de trois générateurs de tensions alternatives. Comme on peut le voir sur la figure ci-dessous, les trois tensions sont décalées dans le temps. C'est ce qui donne au point N la caractéristique fondamentale suivante : la tension V_{NT} est nulle.

Malheureusement, cette propriété n'est vraie que dans certaines conditions difficilement réalisables pratiquement.

Les trois tensions sont décalées dans le temps.

III.8. 2.1.1 Le régime de neutre TT :

Le premier T indique que le neutre de l'installation est relié à la terre coté générateur et le deuxième indique que les masses (carcasse métallique) sont reliées à la terre

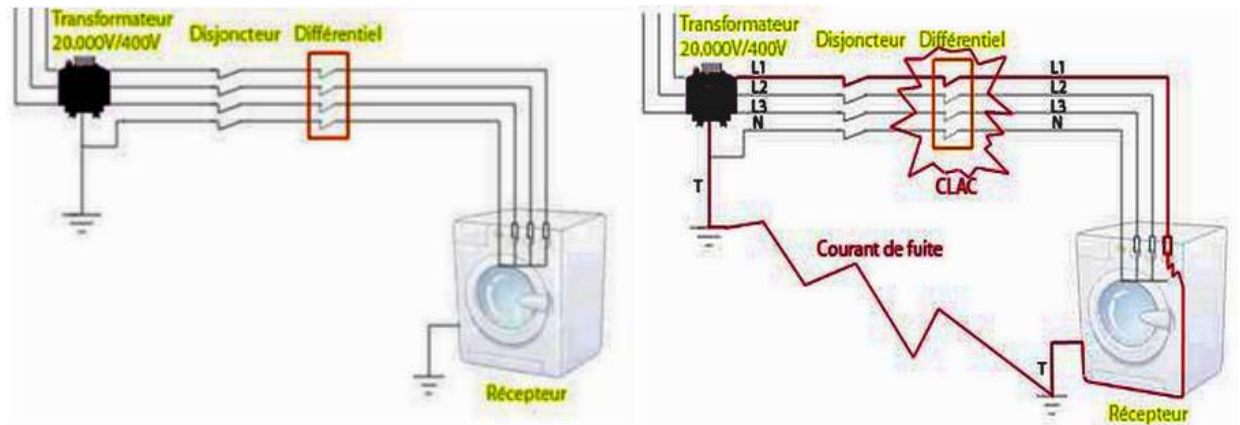


Fig.III.12 Régime TT

Ce schéma est le plus classique, le plus répandu (notamment dans l'habitat).

Câblage :

- ❖ Le neutre est à la terre (au transformateur)

- ❖ Toutes les masses sont à la terre

En cas de défaut (fuite d'une phase sur la carcasse) :

- ❖ La carcasse étant reliée à la terre, le courant retourne au transformateur par celle-ci.
- ❖ Le différentiel détecte la fuite de courant et coupe l'alimentation.

III.8. 2.1.2 Le régime de neutre TN :

La première lettre "T" indique que le neutre de l'installation est relié à la terre côté générateur et le "N" indique que les masses (carcasse métallique) sont reliées au neutre

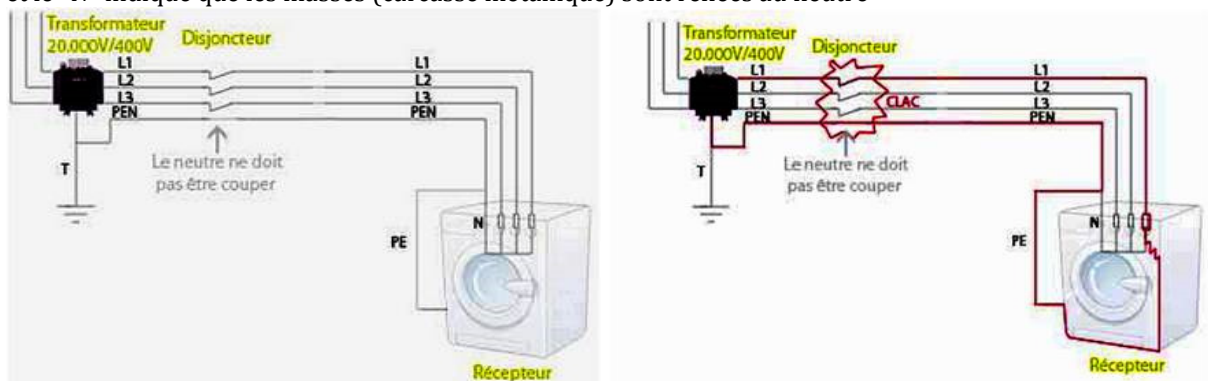


Fig.III.13 Régime TN

Câblage :

- ❖ Le neutre est à la terre (au transformateur)

- ❖ Les masses sont au neutre

En fait, ce régime ressemble beaucoup au régime classique TT, mais :

- ❖ Les fils de neutre et terre sont un seul et même fil (ce qui empêche l'utilisation du différentiel)

- ❖ On ne coupera jamais le neutre (notamment au niveau du tableau), la terre n'étant pas différenciée.

En cas de défaut (une phase touchant la carcasse par exemple) :

- ❖ Un court-circuit est créé entre phase et neutre.
- ❖ Il provoque la coupure du disjoncteur UNIQUEMENT si le défaut est assez franc.

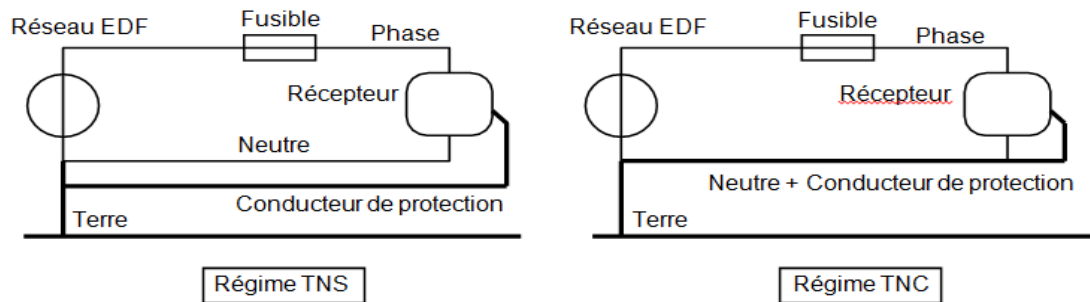


Fig.III.14 Régime TNS et TNC

- ❖ Le principe de la mise au neutre est de transformer tout défaut d'isolement en un court-circuit phase/neutre. La protection peut être assurée soit par un fusible soit par un disjoncteur.
- ❖ Le défaut provoque un courant beaucoup plus intense que dans le régime TT. Les protections doivent avoir un pouvoir de coupure important.
Deux configurations sont prévues par la norme :
- ❖ Les conducteurs de neutre et de protection sont séparés **TNS**
- ❖ Les conducteurs de neutre et de protection sont communs **TNC** cette configuration n'est autorisée que si la section des conducteurs est supérieure à 10 mm².

III.8. 2.1.3 Le régime de neutre IT :

La première lettre "I" indique que le neutre de l'installation est isolé de la terre (Donc pas de connexion) côté générateur et le deuxième indique que les masses (carcasse métallique) sont reliées à la terre

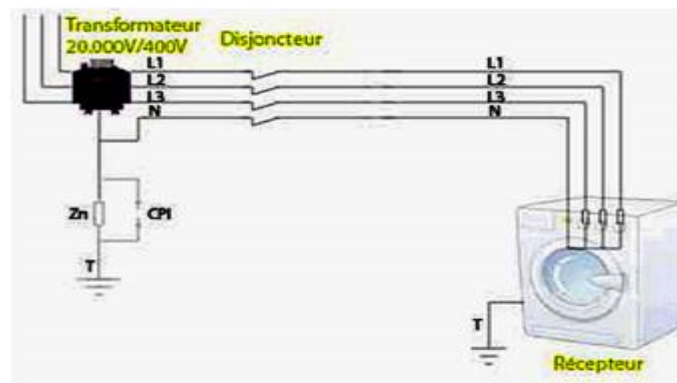


Fig.III.15 Régime IT

On le rencontre dans des systèmes où la continuité d'exploitation est importante et disposant d'une maintenance continue.

Câblage :

- ❖ Le neutre n'est pas relié à la terre, il est isolé de la terre.
- ❖ Les masses sont reliées à la terre.
- En cas de défaut :
- ❖ Le point du défaut est fixé au potentiel de la terre, autrement dit, le défaut fixe le potentiel du point concerné de l'installation à 0V
- ❖ Puisqu'il n'y a pas de différence de potentiel ($0-0 = 0$ Volt), il n'y a pas de courant de fuite donc pas de danger.
- ❖ Le défaut ne déclenchant aucune coupure, la continuité de l'exploitation est assurée
- ❖ La phase en défaut étant fixée au potentiel de la terre, soit 0 volt :
- ❖ les 2 autres phases vont avoir un potentiel de 400 Volt par rapport à la terre
- ❖ et le neutre un potentiel de 230 Volt par rapport à la terre

Si le défaut est introduit par un opérateur qui touche une phase, le principe est le même (c'est la main de l'opérateur qui va fixer le point au potentiel 0 du système. Pas de danger.

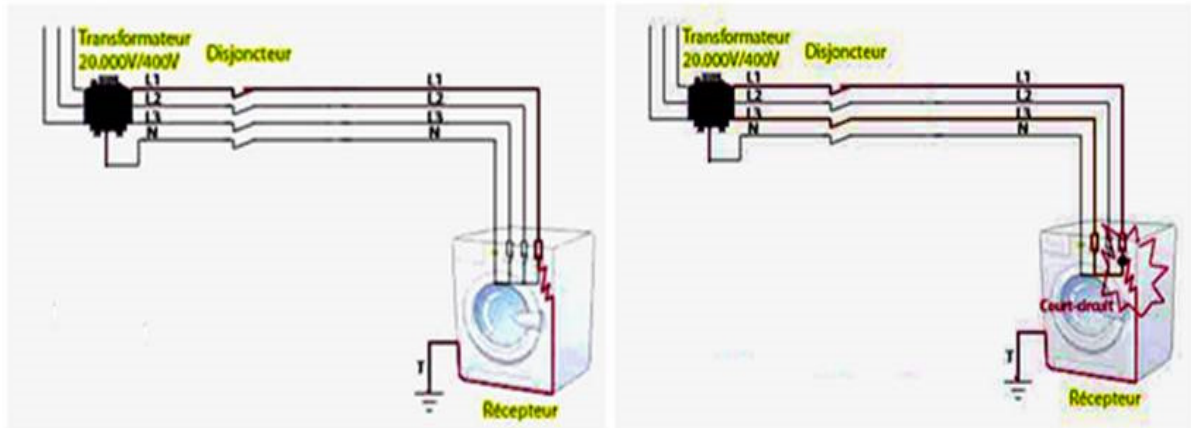


Fig.III.16 Régime IT

Si un deuxième défaut apparaît :

- ❖ La première phase est toujours fixée au potentiel de la terre, soit 0 Volt.
- ❖ La mise à la terre du 2ème point (phase ou neutre) va provoquer un court-circuit
- ❖ Le disjoncteur coupera en surintensité ou court-circuit

Si c'est un opérateur qui provoque le défaut :

- ❖ Il subira une différence de potentiel de 380 Volt (phase) ou 220 Volt (neutre)
- ❖ Il ne sera pas assez bon conducteur pour provoquer la coupure en surintensité ou court-circuit
- ❖ Aucune protection ne se déclenchera

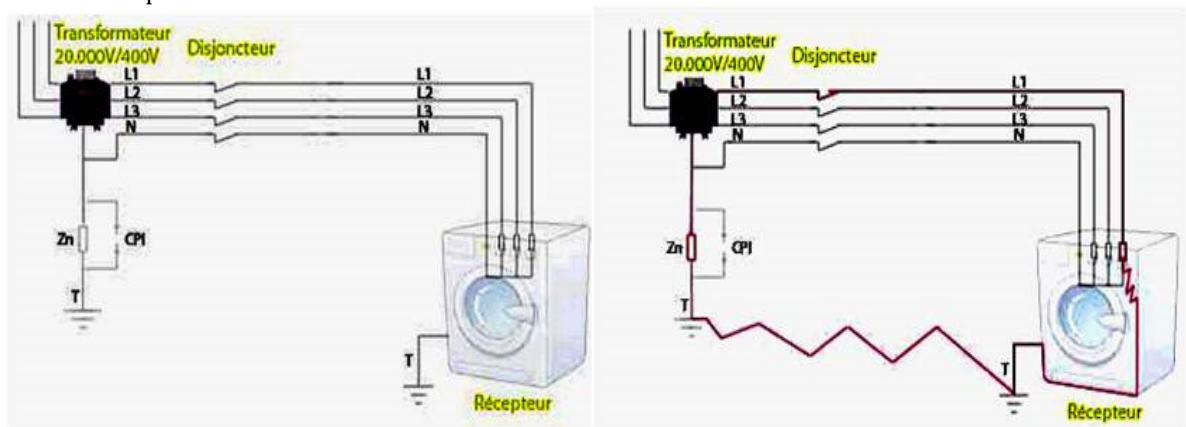


Fig.III.15 Régime IT et CPI

On voit que le système est très protecteur dans le cas d'un seul défaut, mais devient mortel au deuxième défaut :

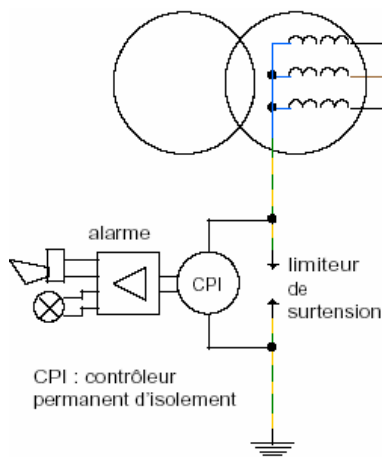
- ❖ Il est donc nécessaire de détecter le premier défaut
- ❖ et d'en assurer la réparation de manière urgente

Avant que le deuxième défaut potentiellement mortel intervienne (Figure droite). En régime IT, on équipe donc le système d'un contrôleur d'isolement qui informera du défaut (alarme visuelle et/ou sonore) La correction du défaut est impérative et urgente. Les normes de sécurité imposent donc la disponibilité permanente d'un personnel de maintenance qualifié sur le site.

• Qu'est - ce qu'un CPI ?

Un CPI est un Contrôleur Permanent d'Isolament. Son rôle est de contrôler l'impédance du neutre (en permanence), et ainsi d'avertir de tout défaut d'isolement. Il en existe plusieurs modèles, voici des photos...

a) Signalisation du premier défaut :



Nécessité d'installer un Contrôleur Permanent d'Isolement. Ce contrôleur mesure en permanence l'isolement du réseau par rapport à la terre et signale toute baisse du niveau d'isolement.

Fig.III.16 signalisation de premier défaut (CPI)

b) Recherche du défaut :

Un générateur de courant très basse fréquence (10 Hz) est relié d'une part à la terre, d'autre part à l'un des conducteurs actifs du réseau à contrôler.

Il fait circuler dans le défaut un courant qui peut être détecté en utilisant un transformateur tore associé à un filtre sélectif accordé sur cette fréquence.

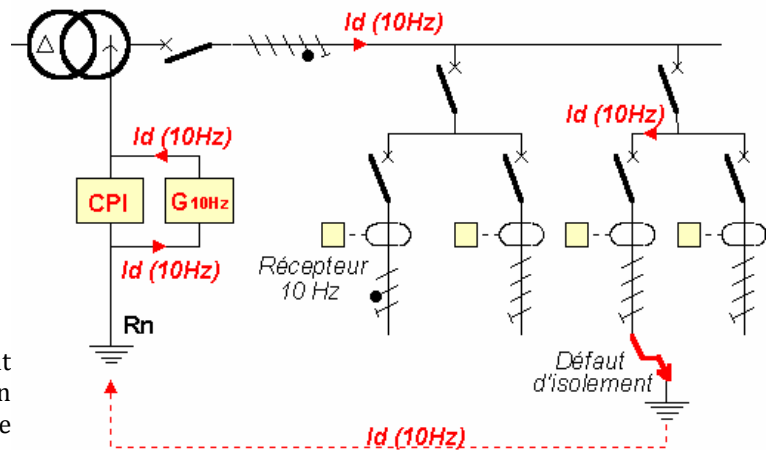


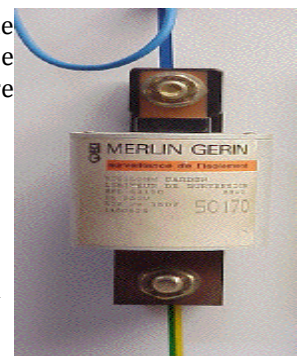
Fig.III.17 recherche de défaut

c) Protection contre les défauts multiples :

La protection des personnes est alors assurée par les dispositifs de protection contre les surintensités, ou par des DDR si les longueurs de câble sont plus grandes que celles autorisées ou dans le cas de prises e terre multiples.

d) Protection contre les surtensions :

Contre les élévations de tension (amorçage dans le transformateur MT/BT, contact accidentel avec un réseau de tension plus élevée, foudre sur le réseau MT), en France la norme NF C 15-100 impose qu'un limiteur de surtension soit installé entre le point neutre du transformateur MT/BT et la terre (R_n).



III.8. 2.1.4 Comparaison entre les régimes

Ces deux régimes sont à peu près équivalents. En effet lorsque l'un est conseillé pour une application, l'autre est possible. Le régime TN semble favoriser la protection du matériel sans nuire à la protection des personnes. On conseille, par exemple, le régime TN dans les régions à forte activité orageuse ou pour l'alimentation des dispositifs informatiques ou électroniques.

Le régime IT, lui, est réservé à des applications industrielles ou à des installations de sécurité. Il est également conseillé dans les locaux à risques d'incendie ou d'explosion.

La France a choisi de généraliser le régime TT, d'autres pays ont choisi le régime TN.

III.8. 2.1.5 tableau de répartition et de protection

L'installation se subdivise en circuits principaux alimentant séparément l'habitation et les différents bâtiments de l'exploitation. Chacun de ces circuits principaux doit être protégé, à son origine, par un dispositif différentiel. Chaque circuit terminal doit être protégé par un dispositif de protection contre les surintensités (fusibles ou disjoncteurs).

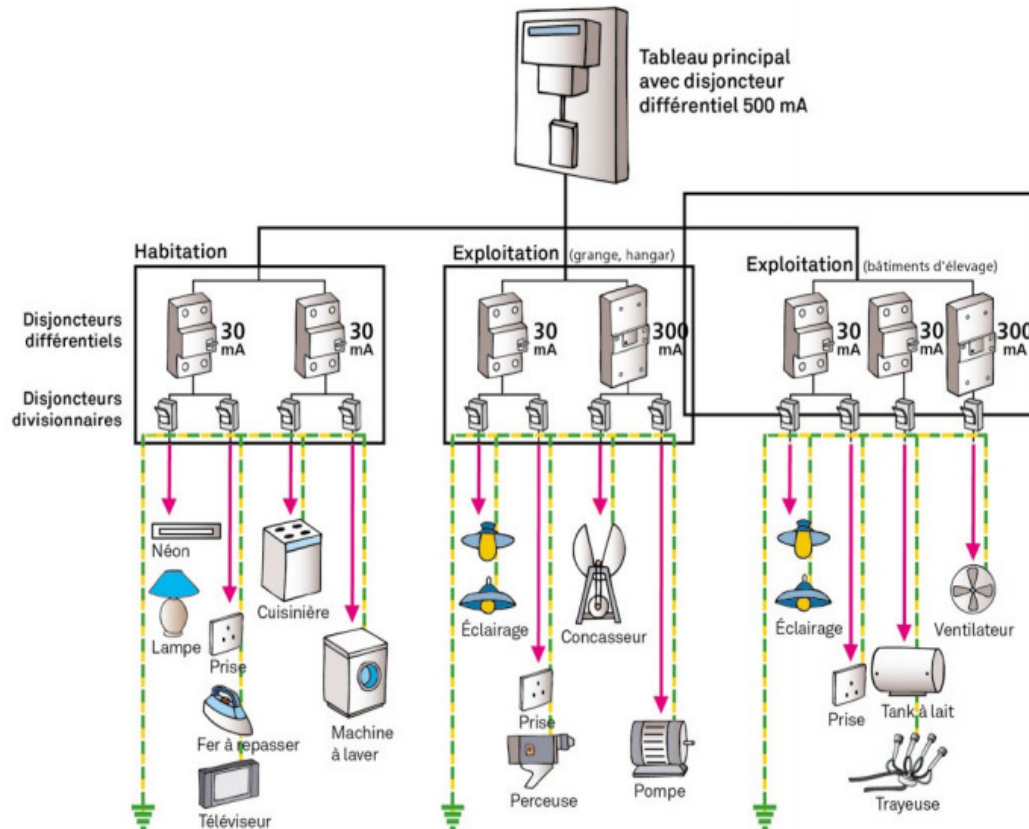


Fig.III.18 Conception d'une bonne installation électrique

III.9 Travail sous tension



La technique des travaux sous tension consiste à effectuer en toute sécurité de la maintenance ou des réparations sur des lignes à haute tension, mais sans interrompre le courant dans les conducteurs.

Il doit également utiliser un matériel de protection spécialisé. Une nacelle isolante, une perche isolante et des gants isolants empêcheront l'électricité de traverser son corps pour aller vers la terre.

III.9.1 Habilitation

L'habilitation est la reconnaissance, par son employeur, de la capacité d'une personne à accomplir en sécurité les tâches fixées.

Le titre d'habilitation comporte une codification symbolique formée de lettres et de chiffres.

- La première lettre indique le domaine de tension: B (BT et TBT), H (HT).
- Le chiffre indique la qualité de la personne : 0 (non électricien), 1 (exécutant électricien), 2 (chargé de travaux électriques).

- La deuxième lettre précise la nature des opérations pouvant être réalisées: V (travail au voisinage), N (nettoyage sous tension), T (travail sous tension), C (chargé de consignation), R (chargé d'interventions en BT).

Exemples:

B1V : exécutant électricien avec travail au voisinage en BT

BC : chargé de consignation en BT

Toutes les habilitations doivent être précédées d'une formation aux risques électriques. L'habilitation doit être révisée en cas de changement de fonction, d'entreprise ou de restriction médicale.

III.9.1.1 Droits et devoirs

❖ **Obligations de l'employeur**

La formation et l'entretien de la compétence à la prévention du risque électrique relèvent de la responsabilité de l'employeur.



L'employeur est pénalement responsable

❖ **Obligations des opérateurs**



Les personnes doivent :

- ❖ Connaître les dangers de l'électricité et être capables d'analyser le risque
- ❖ Être capables de mettre en application les mesures de prévention adaptées
- ❖ Savoir intégrer la prévention dans la préparation du travail pour les personnes
- ❖ Être informées de la conduite à tenir en cas d'accident ou d'incendie d'origine électrique

III.9.1.2 Ouvrages & Installations

Le terme « ouvrage » est exclusivement réservé, aux réseaux publics de transport et de distribution d'électricité et à leurs annexes. Le terme « installation » s'applique, à toute installation électrique à l'exclusion des ouvrages.



Fig.III.19 Exemples d'ouvrages

L'installation électrique des particuliers comporte quelques éléments de base.

- ❖ **La phase.** C'est le fil qui amène le courant. Il doit être soigneusement isolé. Sa couleur normalisée est le rouge, le brun ou le noir.

- ❖ **Le neutre.** C'est le fil de retour du courant au réseau de distribution, il ferme la boucle et permet au courant de circuler dans les appareils. Sa couleur normalisée est le bleu clair.
- ❖ **Le conducteur de protection :** « la terre ». C'est un fil qui permet d'évacuer les fuites de courant accidentelles et de provoquer la coupure de l'alimentation. Sa couleur normalisée est jaune et vert.
- ❖ **Les masses.** C'est l'ensemble des parties métalliques des différents appareils électriques, qui doivent être reliées à la terre.
- ❖ **La liaison équipotentielle.** Dans tous les bâtiments une liaison conductrice doit être établie entre tous les éléments métalliques (tuyauteries, charpentes, armatures du béton armé, stalles, cornadis...). Cette liaison équipotentielle, permet d'éviter qu'une différence de potentiel n'apparaisse entre les éléments conducteurs. Elle doit être reliée à la prise de terre.
- ❖ **La prise de terre.** Elle est constituée d'éléments conducteurs en contact avec le sol (piquet, câble en cuivre nu...). Les différentes liaisons de mise à la terre de l'installation lui sont raccordées via une « barrette de terre ». Sa valeur doit être compatible avec le calibre du dispositif différentiel général de l'installation électrique.
- ❖ **Le dispositif « différentiel » (disjoncteur ou interrupteur).** Son rôle est de détecter les fuites de courant et de couper l'alimentation.
- ❖ **Le disjoncteur ou le fusible :** leur rôle est de détecter les surcharges (surintensités) et de couper l'alimentation.
- ❖ **Le tableau de répartition et de protection.** L'installation se divise en circuits principaux alimentant séparément l'habitation et les différents bâtiments de l'exploitation. Chacun d'eux doit être protégé par un dispositif différentiel. Chaque circuit terminal doit être protégé par un dispositif de protection contre les surintensités (fusibles ou disjoncteurs).

III.9.1.3 Titre d'habilitation

La personne habilitée est responsable du port de ses équipements de protection individuelle (EPI). L'habilitation de type T doit être révisée chaque année par l'employeur à l'issue d'une visite médicale. Un titre d'habilitation doit comporter :

- les renseignements d'identité de l'employeur et sa signature,
- les renseignements d'identité du titulaire et sa signature,
- l'indication de la date de délivrance de l'habilitation,
- la durée de validité de l'habilitation.

III.9.1.3.1 Habilitations du domaine BT:

B0 - B0V (Exécutant non électricien):

Une personne habilitée B0 peut accéder (en étant désignée et non de sa propre initiative) sans surveillance aux locaux d'accès réservés aux électriciens et effectuer et diriger des travaux d'ordre non électrique.

- Elle peut effectuer des manœuvres permises.
- Elle peut remplacer un fusible, à condition qu'il n'y ait pas de risque de contact direct ou de projections de particules.

Une personne habilitée B0V peut effectuer les mêmes tâches au voisinage de pièces nues sous tension.

B1 - B1V (Exécutant électricien):

Une personne habilitée B1 est un exécutant électricien qui agit toujours sur instructions verbales ou écrites et veille à sa propre sécurité. Elle peut effectuer des travaux et des manœuvres hors voisinage de pièce nues sous tension.

- Elle peut effectuer des manœuvres de consignations commandées par un chargé de consignation.
- Elle peut effectuer, sur instruction, des mesures d'intensité à la pince ampèremétrique.

Cette habilitation entraîne celle d'indice 0.

Une personne habilitée B1V peut effectuer les mêmes tâches au voisinage de pièces nues sous tension.

B2 - B2V (Chargé de travaux):

Une personne habilitée B2 assure la direction effective des travaux et prends les mesures nécessaires pour assurer sa propre sécurité et celle du personnel placé sous ses ordres. Elle doit veiller à l'application de ces mesures.

- Elle peut recevoir une attestation de consignation et la signer.

Cette habilitation entraîne celles d'indice 0 et d'indice 1. Une personne habilitée B2V peut effectuer les mêmes tâches au voisinage de pièces nues sous tension.

BC (Chargé de consignation):

Une personne habilitée BC effectue ou fait effectuer la consignation électrique et prend les mesures de sécurité correspondante.

- Elle doit avoir l'accord du chargé d'exploitation ou du chef d'établissement.
- Elle exécute soit les quatre étapes de la consignation, soit seulement les deux premières.

Cette seule habilitation ne permet pas d'exercer les fonctions de surveillant de sécurité électrique.

BR (Chargé d'intervention):

Une personne habilitée BR assure des interventions (dépannage, connexion avec présence de tension, essais et mesurages). Elle peut travailler seule ou avoir des électriciens sous ses ordres.

- Elle peut consigner une partie d'installation pour son propre compte ou pour un tiers sous ses ordres.
- Elle peut recevoir une attestation de consignation et la signer.

Cette habilitation entraîne celle d'indice 0 et d'indice 1.

Surveillant de sécurité électrique :

Il doit avoir une connaissance approfondie en matière de sécurité électrique.

Il possède une habilitation d'indice 0, 1 ou 2 ou une habilitation BR.

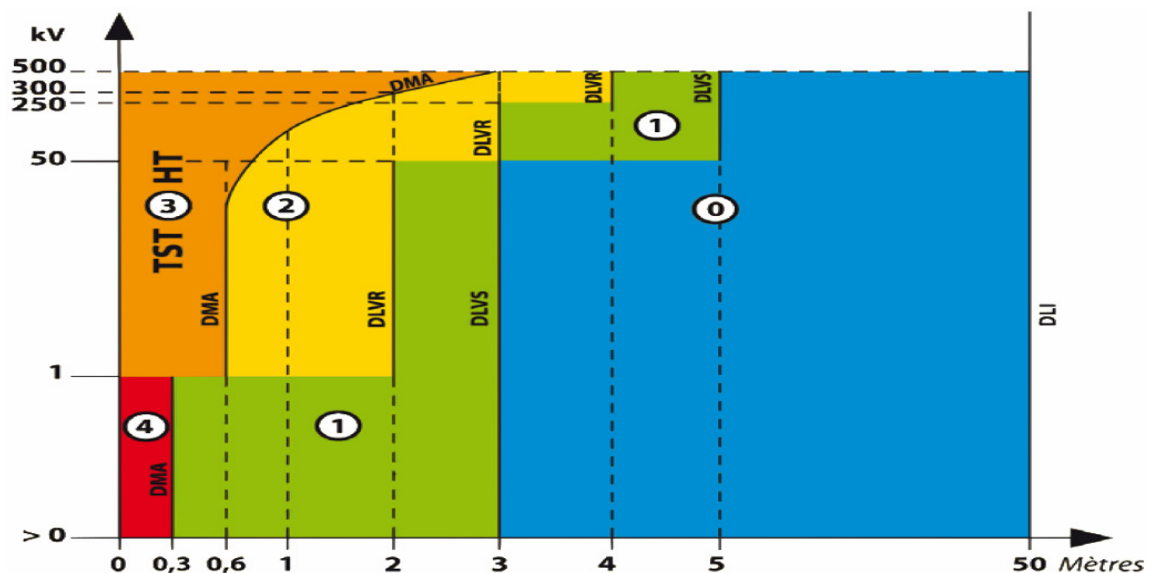
III.9.2 Zones d'environnement :

Fig.III.20 Zone d'environnement

Les zones d'environnement à proximité de pièces nues sous tension (PNST) dépendent du niveau de tension de l'installation, de son type et de sa position. Ces zones sont définies entre des distances réglementaires établies à partir des PNST (Pièces Nues Sous Tensions) accessibles.

Autour d'un conducteur isolé :

Création de la notion de zone d'approche prudente :

- en souterrain (0,50 m)
- en aérien (0,50 m)

Abandon de la notion de voisinage autour d'un conducteur isolé

Les zones d'environnement sont délimitées par des distances parfaitement définies et qu'il faut impérativement respecter :

DLI : Distance Limite d'Investigation fixée à 50 m d'une PNST en champ libre.

DLVS : Distance Limite de Voisinage Simple définie la limite extérieure de la zone 1.

DLVR : Distance Limite de Voisinage Renforcé défini la limite extérieure de la zone 2.

DMA : Distance Minimale d'Approche définie la limite extérieure de la zone 3 en HT et de la zone 4 en BT.

Table 2 zones et caractéristique

Numéro de zone	Désignation	Caractéristiques
0	Zone d'investigation	Le personnel non habilité peut y travailler sans franchir ses limites. Cette zone n'existe que pour les installations avec PNST en champs libre
1	Zone de voisinage simple	Réservée au personnel habilité
2	Zone de voisinage renforcé	Réservée au personnel habilité. Cette zone n'existe qu'en haute tension (utilisation des EPI)
3	Zone des travaux sous tension	Réservé aux électriciens habilités. Cette zone n'existe qu'en haute tension (utilisation des EPI)
4	Zone des opérations électriques BT	Réservé au personnel habilité. Cette zone n'existe qu'en basse tension. Tout matériel correspondant au degré de protection IP2X ne doit pas être considéré comme pièce nue sous tension. (Un matériel classé IP 2X est protégé contre l'introduction d'objets d'un diamètre supérieur à 12 mm). (utilisation des EPI)

III.9.3 Les équipements de protection :

• Les équipements de protection individuelle (EPI):

Les E.P.I. permettent de se protéger des risques électriques ou non électriques (chutes, projection ...) lorsque la mise en place des E.P.C. sont impossible ou difficile à mettre en place. Elles peuvent aussi venir en complément des E.P.C.

Les E.P.I. peuvent recouvrir l'ensemble du corps :

- La tête et le visage (Casque avec écran faciale)
- Les mains (gants isolants)
- Les pieds (chaussures de sécurité)
- Le corps (vêtement de travail en coton, avec manches longues, fermeture éclair en plastique, fermeture totale jusqu'au haut du cou, harnais de protection)

Les E.P.I. doivent être vérifiés avant chaque utilisation et ils doivent être conformes aux normes en vigueur et comporter le marquage CE.



Fig.III.21 Quelques E.P.I.

Les E.P.I. doivent être portés lorsqu'il y a un risque de contact avec des pièces nues sous tension, au voisinage renforcé et ils doivent être adaptés à la tension

- Les équipements individuels de sécurité (EIS):



Fig.III.22 Quelques E.P.I.

- ✓ Utiliser cadenas et étiquettes de consignation.
- ✓ Utiliser un tapis isolant et des outils isolants
- ✓ Utiliser VAT et dispositifs de MALT et CCT.

- Les équipements collectifs de sécurité (ECS):

- ✓ Utiliser les écrans de protection (nappe isolante, tôle épaisse mise à la terre...).
- ✓ Délimiter l'emplacement de travail par un balisage et une pancarte d'avertissement de travaux (responsabilité du BR ou du B2).

Ce balisage est obligatoire dans le cas où l'intervenant ne sert pas lui-même d'écran de protection.

Utiliser des baladeuses conformes à la réglementation.

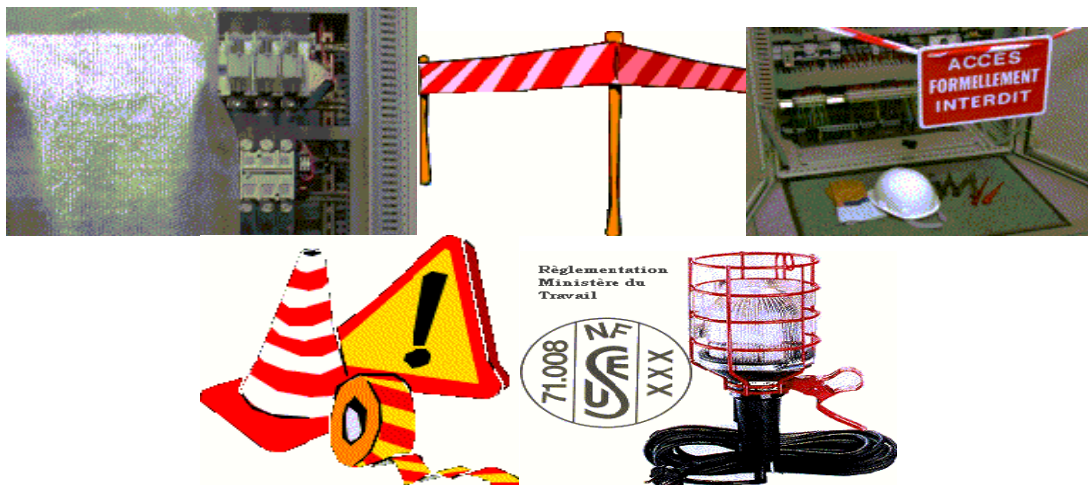


Fig.III.23 Quelques E.P.I.

III.9.4 Travaux et interventions:

Pour participer à un travail, il faut être habilité et désigné. Une intervention de dépannage a pour but de remédier rapidement à un défaut susceptible de nuire à la sécurité des personnes, à la conservation des biens, au bon fonctionnement d'un équipement.

Une intervention de dépannage (BR) comprend 3 étapes:

- ÉTAPE 1: recherche et localisation des défauts, habituellement en présence de tension.
- ÉTAPE 2 : élimination du défaut, suivant les modalités des travaux hors tension.
- ÉTAPE 3 : réglage et vérification du fonctionnement habituellement en présence de tension.

Le BR remet l'équipement à la disposition de l'exploitant et l'avise du dépannage définitif ou provisoire, avec ou sans limitation d'emploi.

III.9.5 Travaux électriques hors tension B.T. & H.T.A

III.9.5.1 La consignation électrique :

C'est le rôle du chargé de consignation : BC / HC

Personne qui exécute ou fait exécuter les manœuvres de consignation. Elle est responsable de la séparation de l'ouvrage des sources de liaison et de la condamnation des organes de séparation. Elle établit l'attestation de consignation.

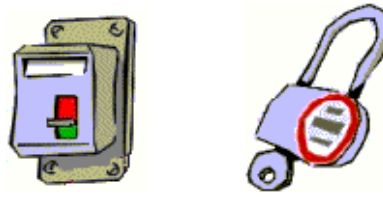


Fig.III.24 matériels de consignation

Pour effectuer des travaux ou des interventions hors tension sur un ouvrage en exploitation, il faut procéder à la consignation c'est à dire effectuer les quatre opérations suivantes:

- **Séparation**

Séparation de l'ouvrage des sources de tension (ouverture d'un interrupteur, d'un disjoncteur, d'un sectionneur...). La séparation doit porter sur tous les conducteurs actifs. Attention: Un sectionneur ne doit jamais être manœuvré en charge (faible pouvoir de coupure).

- **Condamnation**

Condamnation des organes de séparation en position d'ouverture (pancarte d'interdiction de manœuvre, cadenas...)

- **Identification**

Identification de l'ouvrage mis hors tension. Cette opération a pour but d'être certain que la zone de travail est bien située sur l'ouvrage mis hors tension (étude des schémas, des plans...)

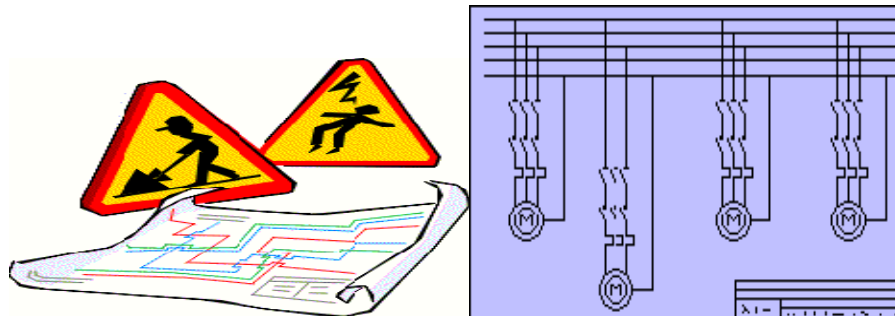


Fig.III.25 identification

- **Vérification**

Vérification de l'absence de tension puis mise à la terre et en court-circuit.

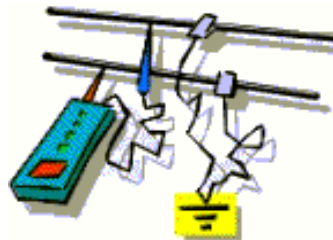


Fig.III.26 Vérification

Les deux premières opérations (séparation, condamnation) sont toujours réalisées par le chargé de consignation BC ou HC.

Les deux opérations suivantes (identification, VAT+MALT+CCT) peuvent être réalisées par le chargé de travaux B2 ou H2: c'est la consignation en deux étapes. Le chargé de travaux doit lire attentivement l'attestation, la dater, la signer, la compléter et en remettre un double au chargé de consignation.

- **Condamnation :**



Fig.III.27 condamnation

La condamnation par immobilisation de l'organe de séparation est obligatoire en BTB et HT. Dans les autres cas, la condamnation peut être réalisée par une signalisation (pancarte).

La suppression d'une condamnation est faite par la personne qui a procédé à la condamnation ou par un remplaçant désigné.

III.9.5.2 règles impératives pour toute intervention

Rappel : les interventions sont limitées aux domaines TBT et BT et sont faites par une personne habilitée BR.

Il est interdit d'isoler la masse d'un oscilloscope de classe 1 de la terre générale, en déconnectant sa prise de terre, ou en utilisant un transformateur de séparation.



Utiliser des sondes isolées de courant ou de tension

- Avant d'ouvrir le secondaire d'un transformateur de courant en service, il faut soit consigner le circuit sur lequel il est monté, soit mettre en court-circuit son secondaire.
- Avant d'ouvrir un circuit principal de mise à la terre des masses, il faut le shunter provisoirement et soigneusement pendant toute la durée des opérations.
- La mise en place ou le retrait de pont électrique entre deux bornes de même polarité ne peut se faire que pour des courants présumés inférieurs à 50 A. Cette opération (autorisée en TBT et BTA uniquement) s'effectue à l'aide d'un cordon avec fusible intégré, de pouvoir de coupure minimal 50 kA.
- Avant d'intervenir sur un circuit, en présence de tension, il faut s'assurer de la présence d'une protection contre les surintensités en amont et vérifier la section des conducteurs afin de limiter les conséquences d'un court-circuit.

III.9.5.2.1 Règles impératives pour toute intervention sur ouvrage électrique basse tension ($50 < U < 1000$ V)

Exemple de références d'équipements :

- Ecran facial :
- Casque :
- Gants isolants :
- Tapis isolant :
- Détecteur de tension :
- Cadenas de condamnation
- Balise :
- Chaîne de délimitation :



Fig.III.28 Matériels de protection

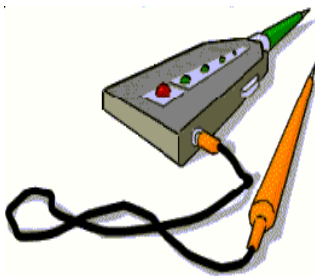
Pour effectuer des travaux ou des interventions hors tension sur un ouvrage en exploitation, il faut procéder à la consignation c'est à dire effectuer les quatre opérations suivantes ;





Fig.III.28 les quatre opérations de l'intervention

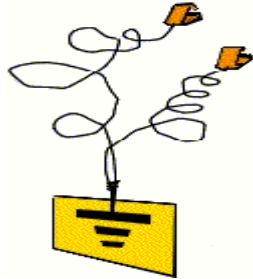
• VAT :



Le bon fonctionnement d'un vérificateur d'absence de tension (VAT) doit être contrôlé avant et après son utilisation.

La vérification d'absence de tension sur tous les conducteurs actifs (neutre compris) est obligatoire avant toute opération sur une installation qui a été mise hors tension.

• MALT et CCT:



Cette opération permet de se prémunir contre les risques dus aux tensions induites, aux condensateurs chargés, aux réalimentations éventuelles.

La mise à la terre (MALT) et en court-circuit (CCT) est facultative sur les installations en BTA.

Elle est obligatoire sur un long câble BTA, en BTB et en HT.

Le raccordement se fait aux points de séparation de l'ouvrage concerné et au plus près de la zone de travail.

Le raccordement se fait d'abord sur le circuit de terre, puis sur tous les conducteurs actifs (neutre compris), au plus près de la zone de travail.

III.9.5.2.2 Règles impératives pour toute intervention sur ouvrage électrique haute tension A ($1000 < U < 50\,000\text{ V}$)

Exemple de références d'équipements:

- Ecran facial :
- Casque :
- Gants isolants (26,5 kV max.) :
- Tapis ou tabouret isolant :
- Détecteur de tension :
- Cadenas de condamnation
- Disque de condamnation :
- Mise à la terre
- Balise :
- Chaîne de délimitation :



F

Fig.III.29 Matériels de protection

Pour effectuer des travaux ou des interventions hors tension sur un ouvrage en exploitation, il faut procéder à la consignation c'est à dire effectuer les quatre opérations suivantes ;

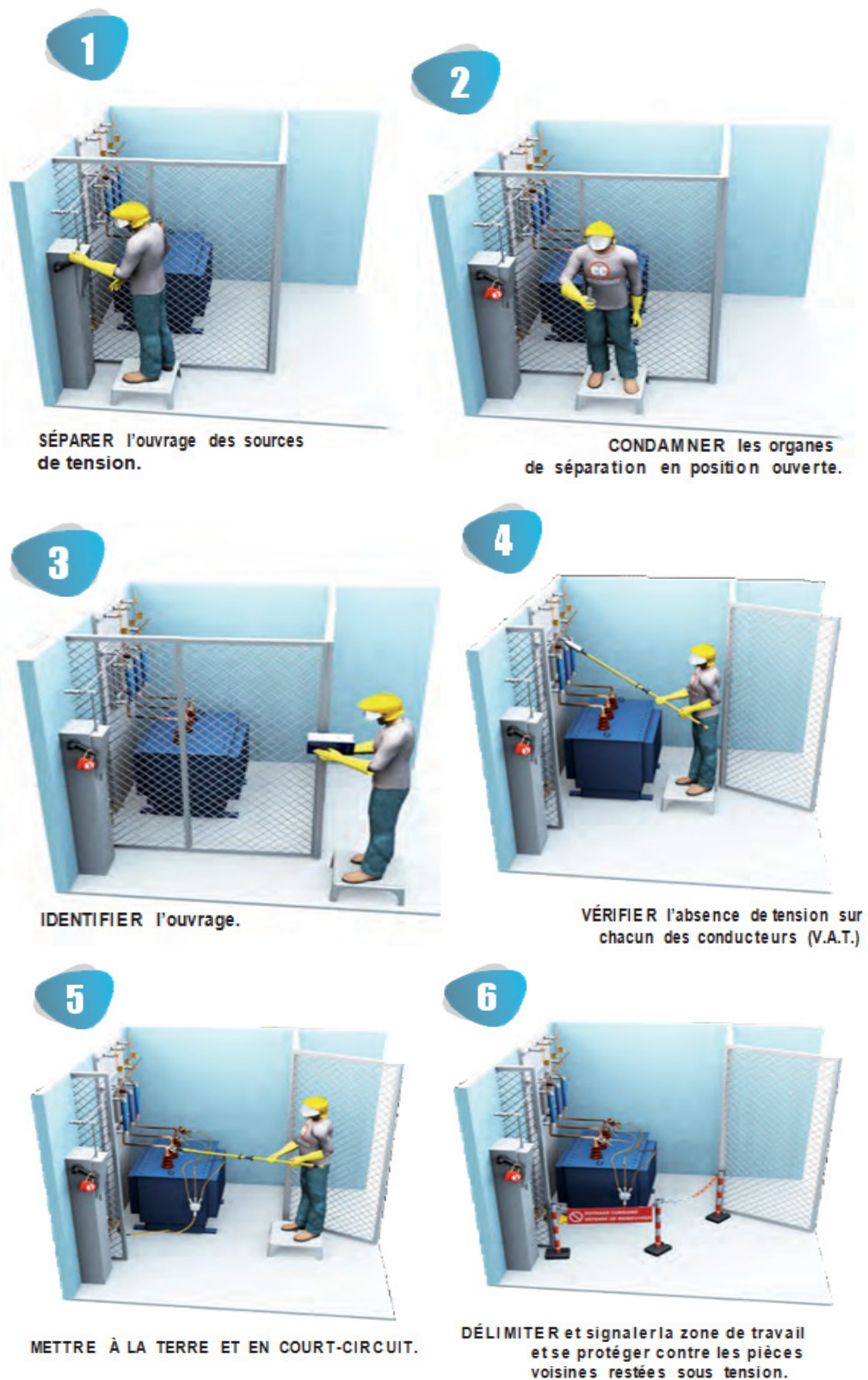


Fig.III.30 les quatre opérations de l'intervention

a) Equipements de poste de transformation H.T.A 20kV

La norme NF C 13-100 (d'avril 2001) préconise la mise en place dans les postes de la signalisation suivante :

- ❖ une affiche de poste,

- ❖ deux affiches soins aux électrisés, intérieure, extérieure,
- ❖ une affiche Instructions Générales,
- ❖ une affiche de rappel des règles d'intervention.

En plus de cette signalisation, préconise l'installation d'une pancarte permettant l'identification du poste. L'ensemble de ces affiches sont regroupées dans des kits spécialement étudiés pour la mise en conformité de vos postes.

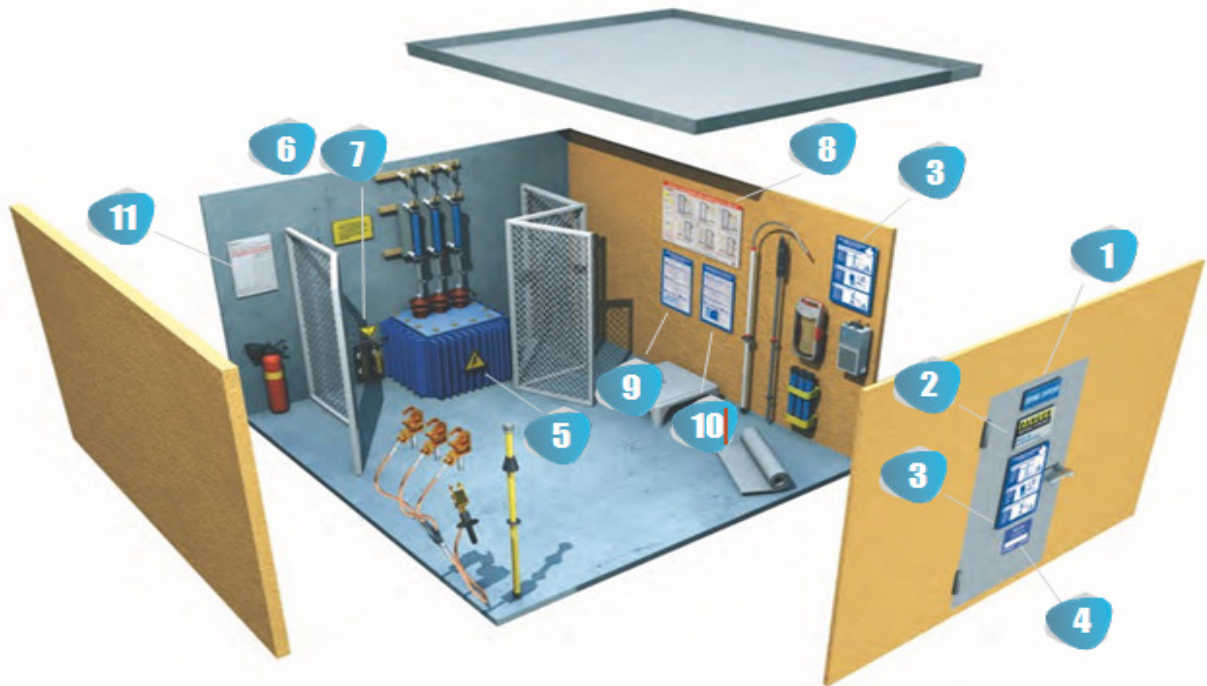


Fig.III.31 les équipements pour les opérations de l'intervention

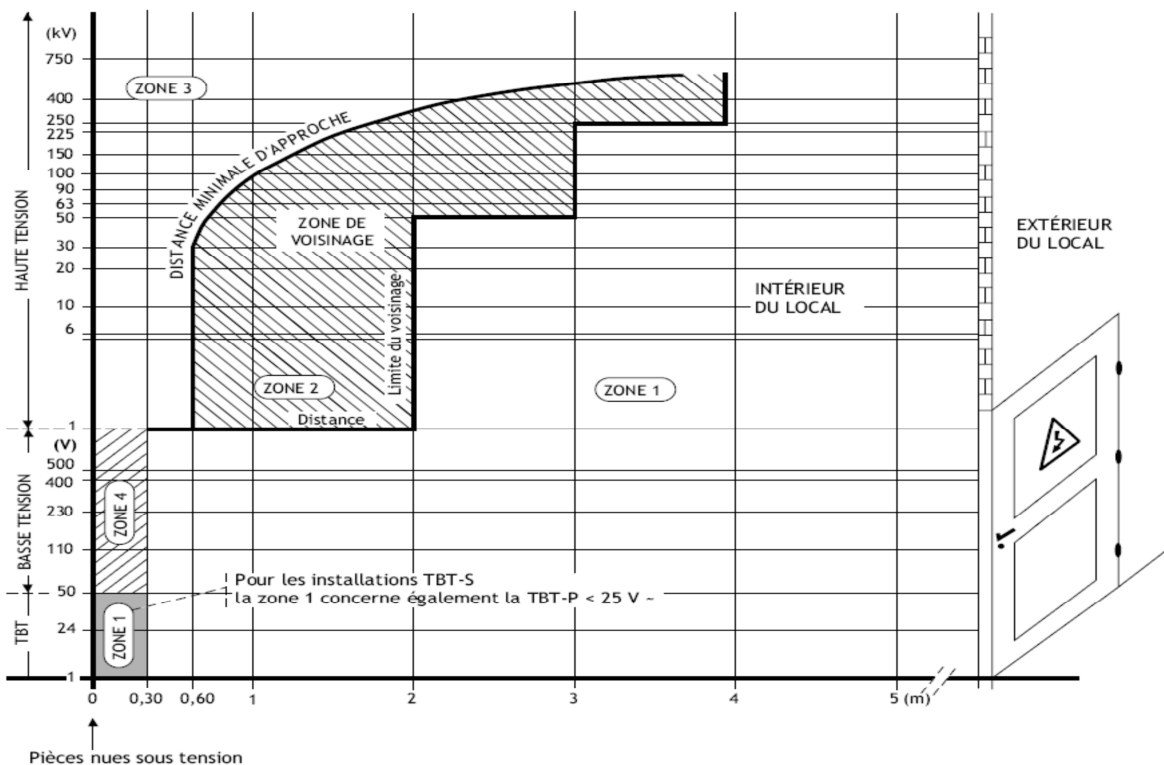


Fig.III.32 les zones d'un accès local

Dans un local d'accès réservé aux électriciens, on distingue 4 zones:

- Zone 1: c'est la zone qui s'étend au-delà de la limite de voisinage
- Zone 2: c'est la zone de voisinage du domaine HT
- Zone 3: c'est la zone comprise entre les pièces nues sous tension et la distance minimale d'approche (DMA) du domaine HT. La DMA est la distance à partir de laquelle il y a risque d'amorçage.
- Zone 4: c'est la zone de voisinage ou de travail sous tension du domaine BT (distance inférieure à 30cm à partir de pièces nues sous tension).

Tout matériel correspondant au degré de protection IP2X ne doit pas être considéré comme pièce nue sous tension. Un matériel classé IP 2X est protégé contre l'introduction d'objets d'un diamètre supérieur à 12,5mm.

La DMA peut être déterminée en HTB par la relation suivante: $DMA(m) = 0,005 U(kV) + 0,5$

Par exemple

pour 150 kV, on obtient $0,005 \times 150 = 0,75$ m, ce qui donne, arrondi au dm le plus proche 0,8m auquel on rajoute 0,5 m, d'où $DMA = 1,3$ m.

La réglementation n'exige pas la fermeture à clef des locaux BT.

Pour des lignes aériennes en conducteurs nus, les distances de voisinage sont de 3 m en dessous de 50 kV et 5 m au dessus de 50 kV.

Pour les lignes aériennes isolées, la distance de voisinage est de 30 cm si les travaux sont exécutés avec moyens mécaniques.

Pour les canalisations enterrées, la distance de voisinage est de 1,5 m. Une canalisation électrique souterraine se reconnaît par le grillage rouge placé au dessus d'elle (au minimum à 10 cm) et aux indications données par l'exploitant.

Couleurs des grillages de signalisation et des conduits de protection:

- Électricité : ROUGE
- Eau : BLEU
- Télécommunications : VERT
- Gaz : JAUNE

III.9.6 Introduction aux T.S.T B.T.



Le personnel formé et habilité aux travaux sous tension doit avoir une pratique régulière de ce type d'intervention, ou à défaut suivre régulièrement des stages de maintien des connaissances dans des centres de formation agréés par le Comité des Travaux Sous Tension.

Une surveillance médicale renforcée est obligatoire.



Spécificités de la formation aux travaux sous tension, pour la formation aux travaux sous tension, seul le Comité des Travaux Sous Tension est habilité à :

- ❖ APPROUVER le programme de formation,
- ❖ APPROUVER les conditions d'exécution du travail (CET),
- ❖ APPROUVER les fiches techniques des outils propres à exécuter les travaux (FT),
- ❖ AGRÉER les organismes de formation,
- ❖ AGRÉER les outils adaptés aux T.S.T,
- ❖ AGRÉER les laboratoires de contrôle périodique des outils T.S.T

Fig..III.33 Dotation conseillée pour travaux sur installations électriques B.T.

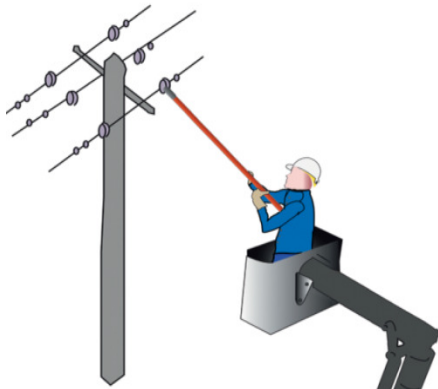
III.9.7 Méthode de travail sous tension

Il y a 3 méthodes de travail sous tension qui sont choisies en fonction du niveau de tension et du type d'installation :

- Au contact
- A distance
- Au potentiel

Il existe trois méthodes pour intervenir sous tension : le travail à distance, le travail au potentiel et le travail au contact. La différence réside dans le positionnement de l'opérateur par rapport au potentiel sur lequel il souhaite intervenir.

❖ Travail à distance



Dans la méthode de travail à distance, la première développée, l'opérateur reste au potentiel de la terre. Pour ne pas entrer en contact avec les pièces nues sous tension, il travaille à l'aide d'outils isolants fixés à l'extrémité de perches ou de cordes isolantes.

En HTA, on peut utiliser un élévateur à bras métallique. En HTB, on travaille généralement depuis le pylône pour les travaux en ligne et depuis le sol pour les travaux en poste.



❖ Travail au potentiel

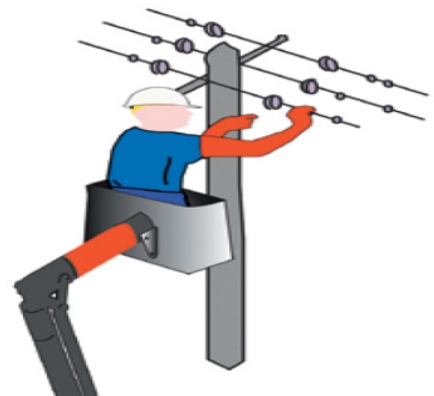
Dans la méthode de travail au potentiel, l'opérateur, isolé de la terre, est amené au potentiel de l'élément sur lequel il travaille. Il se trouve donc dans la situation de l'oiseau posé sur une ligne électrique. À tout instant, il doit rester au minimum à la distance de travail de tous les éléments de son environnement qui sont à un potentiel différent de celui sur lequel il intervient.

En HTA, on peut utiliser un élévateur à bras isolant. En HTB, on a recours à la PEMP TST Postes et à la TIP (Tour Isolante de Positionnement) pour les travaux dans les postes, et à l'échelle à palan, à la poutre ou au siège TST pour les travaux sur les lignes.

❖ Travail au contact

Dans la méthode de travail au contact, l'opérateur, lui-même protégé en fonction du niveau de tension des pièces sur lesquelles il intervient, pénètre dans la zone située entre les pièces nues sous tension et la distance de sécurité.

En HTA, l'opérateur utilise des gants longs isolants et il travaille à partir d'un élévateur à bras isolant. Plus ergonomique que le travail à distance, le travail au contact permet en outre, en HTA, d'évoluer plus facilement à proximité des supports (poteaux).





Le travail au contact est généralement utilisé dans la plage de tension comprise entre 50 V et 33 kV. Le travail au contact consiste à travailler directement au contact en se protégeant des pièces nues sous tension avec des équipements de protection isolants adaptés aux niveaux de tension (gants isolants...). Pour plus de précisions, se référer à la norme NF C 18-510.

III.10 phénomènes électriques et magnétiques

III.10.1 Effets du champ électromagnétique et ondes hertziennes

III.10.1.1 Lignes haute tension et distances de sécurité

C'est une question qui revient souvent : à quelle distance de lignes haute tension est-il possible de vivre en toute sécurité ?

Comparaison des valeurs de champs magnétiques émis par une ligne très haute tension et par quelques appareils domestiques du quotidien (en μT)

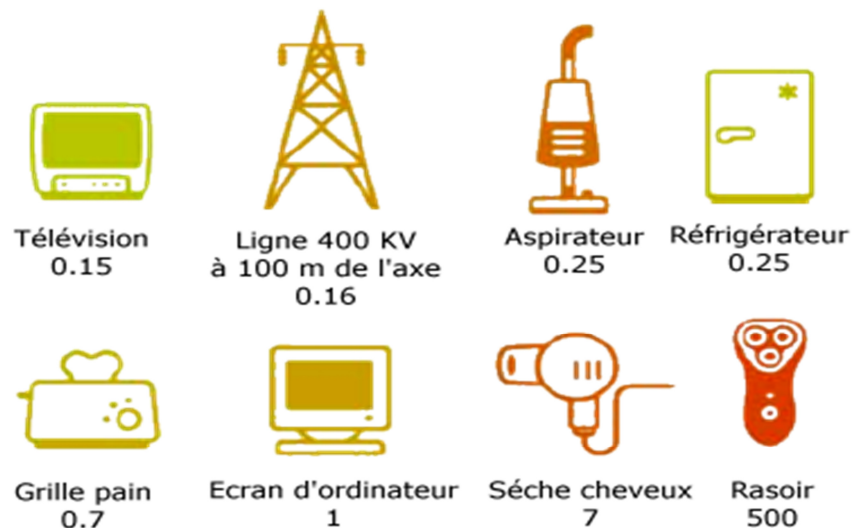


Fig..III.34 Comparaison des valeurs de champs magnétiques émis (en μT)

Exemples de champs électriques et magnétiques 50 Hz pour les lignes électriques aériennes

Champs électriques (en V/m)

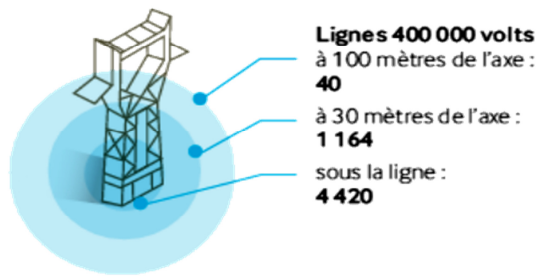
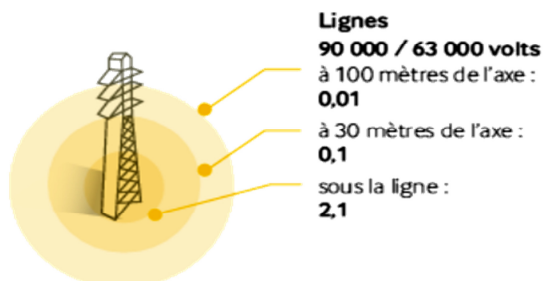
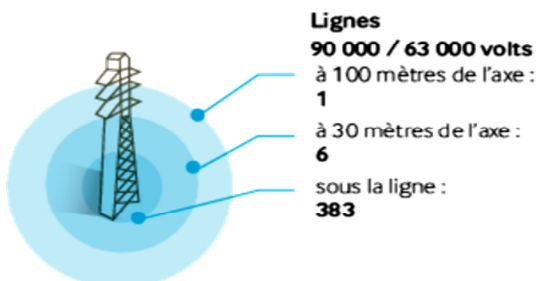
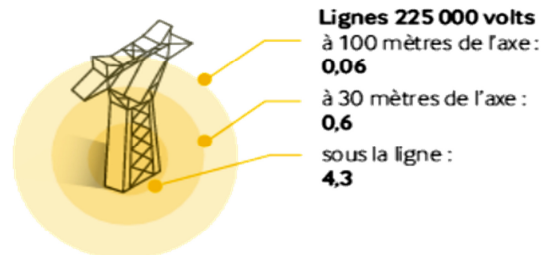
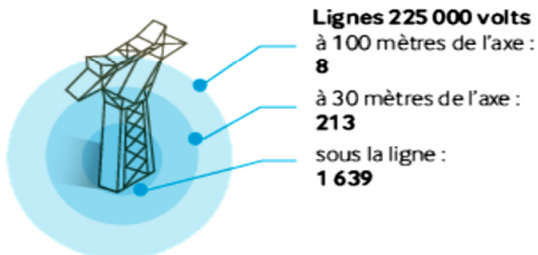
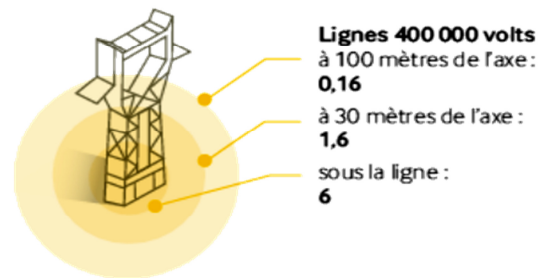
Champs magnétiques (en μT)

Fig.III.35 Comparaison des valeurs de champs magnétiques et électriques émis

❖ Quelle est la réglementation en matière de voisinage de lignes haute tension ?

La réglementation sur les champs magnétiques 50 Hz ne prévoit pas, pour l'exposition du public, de distance limite par rapport aux lignes, mais un seuil de référence fixé à 100 μT (100 microteslas).

En pratique, même si une habitation se trouve juste au-dessous d'une ligne, le seuil de référence de 100 μT est donc bien loin d'être atteint. Les seules exigences réglementaires en matière de distance aux lignes concernent la sécurité électrique des personnes.

Les bâtiments au voisinage des lignes HT doivent respecter une distance minimale de sécurité par rapport aux conducteurs sous tension, pour éviter tout risque d'électrocution.

❖ Existe-t-il un problème de compatibilité électromagnétique des lignes avec les appareils électroniques ?

Les lignes HT sont conformes, elles ne perturbent donc pas les appareils électriques et électroniques domestiques dans la mesure où ces appareils sont eux-mêmes conformes à ces normes (CEM).

Dans de rares cas, la proximité d'une ligne HT peut entraîner une mauvaise réception radio ou télévision. Il s'agit, d'un effet d'écran de la ligne qui fait obstacle entre les émetteurs radio ou télévision et les antennes réceptrices domestiques, comme tout autre bâtiment ou obstacle naturel qui viendrait s'interposer.

III.10.2 Quelques notions :

❖ Le champ électrique

Lorsqu'un appareil électrique est branché sans être en fonctionnement, un champ électrique se forme. Son intensité se mesure en volts par mètre (V/m).

❖ Le champ magnétique

Le champ magnétique apparaît lorsque les charges électriques se déplacent, c'est-à-dire lorsqu'il y a circulation de courant électrique. Ainsi, lorsqu'un appareil électrique est en fonctionnement, il existe un

champ magnétique généré par le passage du courant dans le câble d'alimentation et l'appareil. Son intensité se mesure en tesla (T).

❖ **Intensité du champ électrique et magnétique le long du réseau à haute tension**

Plus la tension est élevée, plus le champ électrique qui en résulte est intense. L'intensité du champ électrique est exprimée en volt par mètre (V/m). Plus l'intensité du courant est élevée, plus le champ magnétique résultant est intense. L'unité du champ magnétique est l'ampère par mètre (A/m), mais on préfère généralement utiliser le tesla (T) qui est l'unité du flux d'induction magnétique.

La puissance d'un champ électrique à proximité d'une ligne à haute tension dépend de la tension et de la distance par rapport à la ligne. La valeur moyenne du champ électrique sous une ligne 380 000 V, à une hauteur de 1,5 mètre au-dessus du sol, est de l'ordre de 4 kV/m. Ce champ décroît rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la ligne.

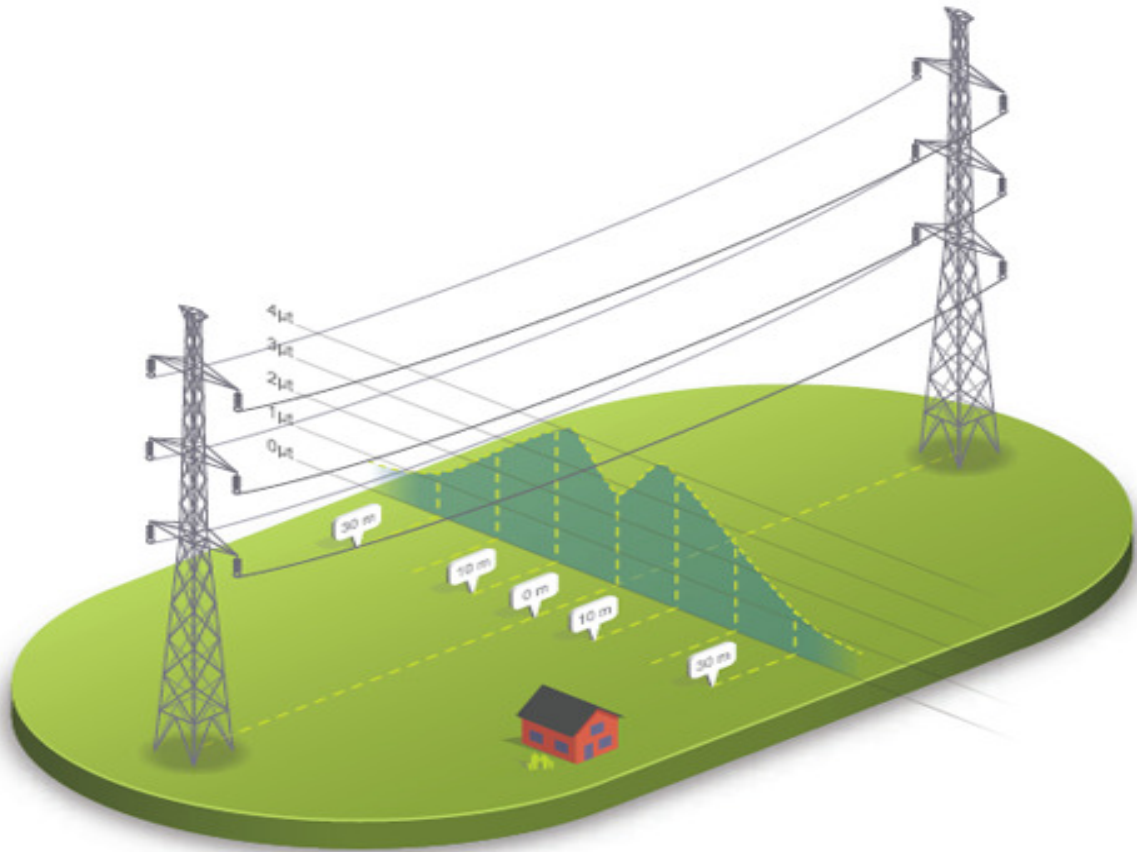


Fig.III.36 Valeurs de champs magnétiques

Le graphique ci-dessus indique les valeurs types du champ magnétique sous des lignes à haute tension 380 kV et donne un ordre de grandeur en fonction de la distance. En fonction de la tension, du courant et de la hauteur de la ligne, la valeur d'exposition du champ variera selon l'endroit et l'heure.

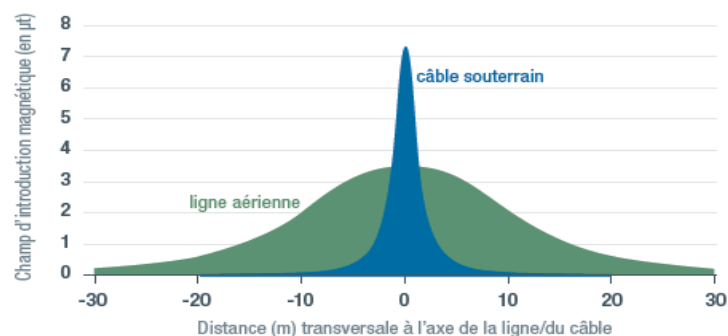


Fig.III.37 Comparaison entre ligne aérienne et souterraine

Le schéma ci-dessus illustre la différence de champ magnétique en-dessous d'une ligne aérienne 150 kV transposée ainsi qu'au-dessus d'un câble souterrain 150 kV, mesuré respectivement à 1,5 m du sol et au niveau du sol. Le champ maximal juste au-dessus de l'axe du câble souterrain peut être jusqu'à deux fois supérieur à celui mesuré en dessous d'une ligne aérienne. Cependant, il décroît beaucoup plus rapidement. Ainsi, à 10 mètres de distance de l'axe du câble souterrain, le champ est déjà insignifiant.

❖ Champs électromagnétique

Les champs électromagnétiques résultent de la combinaison des champs électriques et magnétiques. Tous les appareils électriques qui nous entourent diffusent des champs électromagnétiques. On les caractérise par leur fréquence en hertz (Hz).

Les champs 50 Hz se situent dans la bande des basses fréquences (BF). Ils sont propres à toutes les applications courantes de l'électricité, telles que les réseaux de transport et distribution d'électricité, mais aussi les réseaux ferroviaires et les appareils domestiques courants (machine à laver, télévision, aspirateur...).

III.10.2 Effets avérés et potentiels

III.10.2.1 Effets avérés

Lors d'une exposition à des champs électriques et/ou magnétiques 50 Hz d'intensité très élevée, des effets directs peuvent apparaître. Ces effets ont bien été étudiés chez des volontaires humains et chez l'animal. Les normes et recommandations nous protègent de ces effets avérés directs.

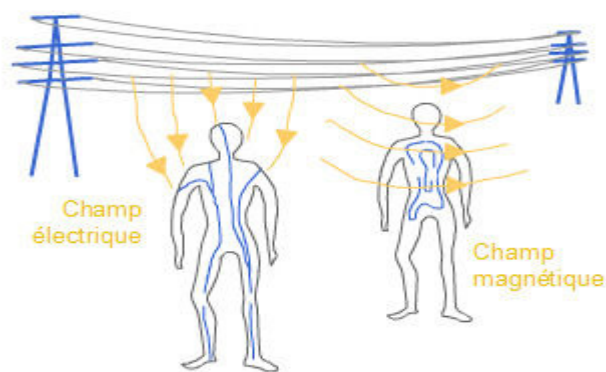


Fig.III.38 Passage du champ électrique et magnétique

Il existe de nombreux effets avérés sur le système nerveux liés à l'exposition aux champs électriques et magnétiques 50Hz:

- Stimulation directe des tissus nerveux et musculaires
- Induction de phosphènes au niveau de la rétine.

Il faut également savoir que les courants électriques existent naturellement dans le corps humain:

- Un électroencéphalogramme enregistre l'activité électrique du cerveau. L'enregistrement de l'électricité produite par les neurones du cerveau est recueillie grâce à de petites électrodes placées sur le cuir chevelu.
- Un électrocardiogramme enregistre l'activité électrique du cœur. Le cœur est un muscle, qui, comme tous les muscles, émet une certaine quantité d'électricité quand il est en action. L'électricité émise peut être enregistrée à l'aide d'électrode.

III.10.2.2 Effets potentiels

De nombreuses questions se posent quant aux effets de l'exposition aux champs électriques et magnétiques 50 Hz sur la santé, en particulier les effets de l'exposition à long terme à des niveaux d'intensité faibles.



Préoccupations du public	Thèmes des recherches
cancer - maux de tête - troubles du sommeil - santé en général - maladie d'Alzheimer - sclérose latérale amyotrophique - lipoatrophie semicirculaire	cancer - mécanismes d'action - effets sur la reproduction - effets sur la santé en général - troubles du sommeil - hypersensibilité - maladies neurodégénératives - pathologies cardiovasculaires - lipoatrophie semicirculaire

En l'absence de vérification scientifique formelle, ces préoccupations sont classées dans les effets potentiels.

❖ Les distances de sécurité

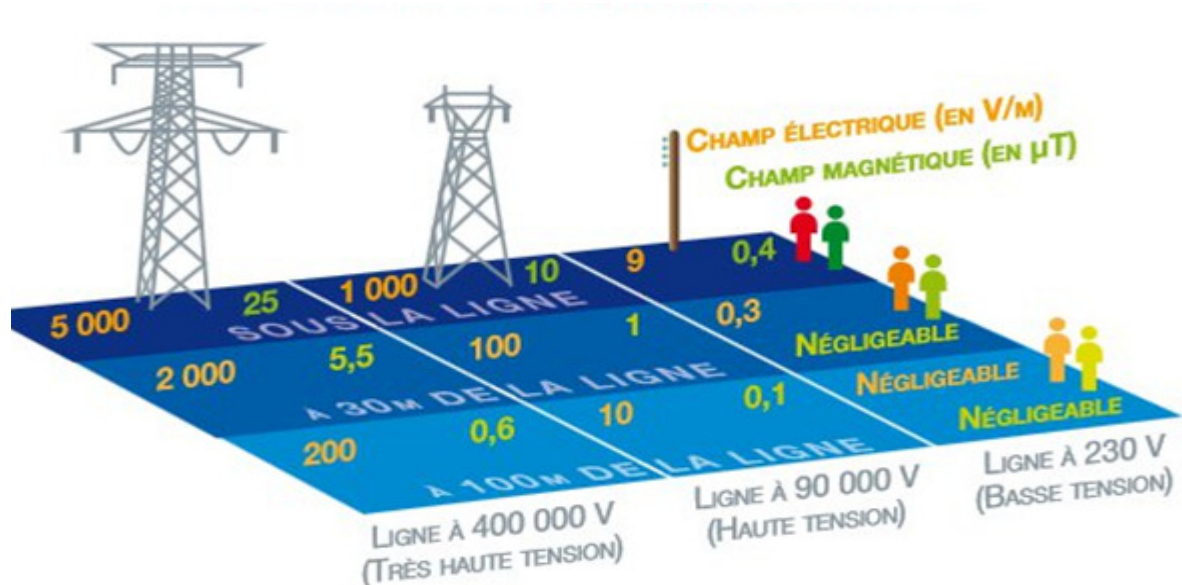


Fig.III.40 valeurs moyennes des champs électriques et magnétiques

Rappelons que l'intensité de champ hors potentiel pour des zones de repos est idéalement fixée à moins de 0.3 V/m et moins de 20 nT pour les champs magnétiques à 50 Hz. (4)

L'estimation des distances de sécurité minimales doit tenir compte de la présence ou de l'absence d'obstacles entre les lignes HT et les habitations qui ont un effet sur leur propagation. La plupart des intervenants en habitat sain estiment que les distances à respecter sont globalement de 1 mètre pour 1000 volts ; une marge supplémentaire nous semble plus judicieuse :



Fig.III.41 Distances estimatives conseillées pour une sécurité maximale en terrain dégagé

❖ Une chambre à coucher avec moins de 20 nT, est-ce possible ?

Oui, malgré la présence de lignes électriques dans nos murs, il est possible de dormir dans un lit en ayant moins de 20 nT de champ magnétique. Bien entendu, la présence à proximité d'un radio-réveil, de moteurs ou d'un appareillage électrique rend les choses plus compliquées (comme les moteurs électriques qui se trouvent dans les lits médicalisés, par exemple).

Nous sommes tous différents, et vous pouvez effectivement supporter pendant un certain temps des niveaux de CEM non compatibles avec le fonctionnement électro-chimique de votre corps. Mais comment réagiront nos enfants à cette agression continue ? Surtout s'il sont exposés à d'autres pollutions HF (Wi-fi, portables, etc...) et que votre habitation n'est pas harmonisée par un géobiologie attentif à votre santé ?

III.10.2.2.1 Les tensions induites

Les tensions induites résultent de la pollution produite par le réseau 50Hz ou les appareils électroménagers. Ces derniers induisent une tension variable en périphérie du corps. Un champ induit alternatif provoque une oscillation ou un déplacement des charges libres et la rotation des molécules polaires, proportionnelle à la fréquence d'exposition.

Une extrémité de l'appareil se raccorde dans une mise à terre, l'autre dans la main. Pour réduire ces tensions induites, on place des blindages ou des cages de Farade sur les sources, puis on les raccorde sur une liaison équipotentielle correcte.

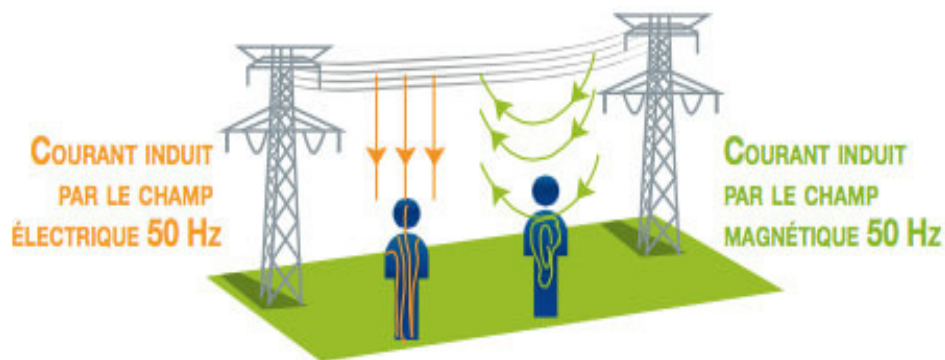


Fig.III.42 Courant induit par le champ électrique et magnétique

III.10.3 Santé

Les recherches menées depuis plus d'une trentaine d'années n'ont pas pu mettre formellement en évidence un risque éventuel pour la santé en cas d'exposition à des champs électromagnétiques de basse fréquence. Elles n'ont pas non plus permis de l'exclure. C'est pourquoi de nombreux chercheurs se penchent encore aujourd'hui sur la question de l'effet des champs magnétiques sur la santé, tant à court qu'à long terme.

Des études épidémiologiques attestent depuis longtemps de l'existence d'un lien statistique faible, mais néanmoins significatif, entre une exposition prolongée à des champs magnétiques de basse fréquence générés par le réseau à haute tension et un risque accru de leucémie chez l'enfant. Il est question ici d'une

exposition résidentielle sur une longue période à des champs magnétiques dont la valeur moyenne dépasse les 0,3 – 0,4 μ T.

III.10.3.1 Cancérogénicité des champs magnétiques

Le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) a entrepris de classer les différents agents, mélanges ou mode d'exposition dans 4 groupes selon leur degré de cancérogénicité (Novembre 2017).

	L'agent (le mélange ou le mode d'exposition)...	Exemples
Groupe 1	... est cancérogène pour l'homme	Boissons alcoolisées – Amiante – Benzène – Gaz d'échappement des moteurs diesel – Radon – Rayons X et Gamma – Lumière du soleil – Appareils de bronzage par UV artificiels – Tabac – Formaldéhyde – Consommation de viandes transformées... En tout, 120 agents
Groupe 2A	... est probablement cancérogène pour l'homme	PCBs – Lampe UV – Acrylamide – Ingestion de boissons très chaudes (> 65 °C) – Consommation de viandes rouges... En tout, 81 agents
Groupe 2B	... est peut-être cancérogène pour l'homme	Gaz d'échappement des moteurs à essence – Chloroforme – Fibres céramiques – Essence – Légumes marinés... En tout, 299 agents
Groupe 3	... est inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme	Boire du café – Caféine – Poussière de charbon – Lumière fluorescente – Carburant diesel – Thé – Saccharine – Mercure... En tout, 502 agents
Groupe 4	... n'est probablement pas cancérogène pour l'homme	Un seul agent : le Caprolactame

La classification du CIRC est basée sur l'importance des indications de cancérogénicité obtenues dans les études réalisées chez l'homme et sur les animaux.

		Études chez l'homme *1			
		Indications suffisantes	Indications limitées	Indications inadéquates ou manque de données	Indications suggérant l'absence de cancérogénicité
Études sur l'animal *2	Indications suffisantes	Groupe 1	Groupe 2A	Groupe 2B	Groupe 3
	Indications limitées	Groupe 1	Groupe 2A	Groupe 3	Groupe 3
	Indications inadéquates ou manque de données	Groupe 1	Groupe 2B <i>Champ magnétique 50 Hz</i>	Groupe 3 <i>Champ électrique 50 Hz</i>	Groupe 3
	Indications suggérant l'absence de cancérogénicité	Groupe 1	Groupe 2B	Groupe 3	Groupe 4

Source: Site web du CIRC

Voir Classification du CIRC pour des informations sur les catégories chez l'homme et l'animal

Pour les champs magnétiques 50 Hz, on dispose de données limitées concernant sa cancérogénicité pour l'homme (leucémie infantile via les études épidémiologiques) et de données totalement insuffisantes concernant sa cancérogénicité chez les animaux d'expérience. C'est pourquoi le CIRC a décidé de les classer dans le groupe 2B, peut-être cancérogène pour l'homme.

Pour les champs électriques 50 Hz, le CIRC a décidé qu'ils ne pouvaient être classés quant à leur cancérogénicité et ont donc rejoint le groupe 3.

III.9.3.2 Exposition à 0,4 μ T?

On peut estimer que moins de 1% de la population est exposée à des niveaux en moyenne égaux ou supérieurs à 0,4 μ T.

Le tableau ci-dessous présente les distances en mètre par rapport à l'axe de la ligne (on parle aussi de demi-largeur du couloir) selon l'état de charge de la ligne (en %):

Tension de la ligne	Charge de la ligne en % et 1/2 largeur du couloir "0,4 μ T"
70 kV	25% - 9 m 50% - 18 m 75% - 27 m 100% - 36 m (15m en moyenne)
150 kV	25% - 15 m 50% - 30 m 75% - 43 m 100% - 58 m (40m en moyenne)
380 kV	25% - 33 m 50% - 66 m 75% - 98 m 100% - 130 m (90m en moyenne)

Voici également les données des câbles souterrains

Tension de la ligne	Charge de la ligne en % et 1/2 largeur du couloir "0,4 μ T"
36 kV	25% - 0,65 m 50% - 1,25 m 75% - 1,9 m 100% - 2,55 m
70 kV	25% - 0,9 m 50% - 1,8 m 75% - 2,7 m 100% - 3,6 m
150 kV	25% - 1,3 m 50% - 2,55 m 75% - 3,85 m 100% - 5,1 m

Source: Mira, 2011

L'équipe de recherche du VITO a également dénombré les enfants de 0 à 15 ans habitant dans des communes où la valeur moyenne de 0,4 μ T pourrait être atteinte pour une ligne 150 kV :

- Si la charge de la ligne est de 25%, 0,35% des enfants vivant dans les parages des lignes 150 kV sont exposés à 0,4 μ T en moyenne
- Si la charge de la ligne est de 50%, 0,7% des enfants vivant dans les parages des lignes 150kV sont exposés à 0,4 μ T en moyenne
- Si la charge de la ligne est de 75%, 1% des enfants vivant dans les parages des lignes 150kV sont exposés à 0,4 μ T en moyenne
- Si la charge de la ligne est maximale, 1,4% des enfants vivant dans les parages des lignes 150kV sont exposés à 0,4 μ T en moyenne

III.10.3.3 Perception des champs 50 Hz

Lorsque le champ électrique dépasse un seuil de 20 kV/m, nous percevons un léger fourmillement à la surface de la peau et les poils se dressent. C'est le phénomène de piloérection. C'est le même genre de phénomène que fait se dresser les cheveux sur la tête en électricité statique.

Sous certaines conditions, nous pouvons également percevoir le champ électrique de manière indirecte:

1) Sensation d'un léger choc électrique en touchant une masse métallique isolée du sol et placée par exemple sous une ligne à haute tension : c'est le phénomène de couplage capacitif.

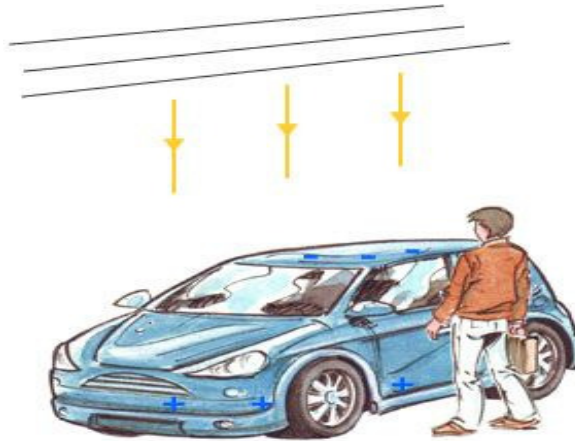


Fig.III.43 effet capacitif

La voiture sous la ligne à haute tension est soumise au champ électrique : il induit un déplacement des charges. La voiture acquiert ainsi une certaine tension, différente de celle à laquelle se trouve le personnage.

Lorsque ce dernier touche la structure métallique, il y a équilibrage des tensions. Ce phénomène ressemble à une décharge électrostatique, mais diffère par la quantité de courant déchargé et la durée de la décharge. Le choc électrique peut être désagréable, mais n'est pas dangereux.

2) Tube fluorescent qui s'éclaire

Lorsqu'on tend un tube fluorescent vers les câbles conducteurs d'une ligne à haute tension, celui-ci s'éclaire faiblement. Pourquoi ? Le champ électrique de la ligne génère une tension induite dans le tube, qui provoque l'excitation du gaz situé à l'intérieur du tube, aboutissant finalement à l'émission de lumière.

3) Bruit lié à l'effet couronne

L'effet couronne est un phénomène caractéristique des champs électriques très intenses. Il se manifeste par un halo lumineux autour des câbles à haute tension. Il désigne la présence de décharges partielles autour des conducteurs d'une ligne aérienne, sous certaines conditions. Ces décharges sont à l'origine d'un bruit pouvant être désagréable.

➤ **Leucémie infantile : un lien "possible" avec l'exposition aux champs magnétiques des lignes à haute tension**

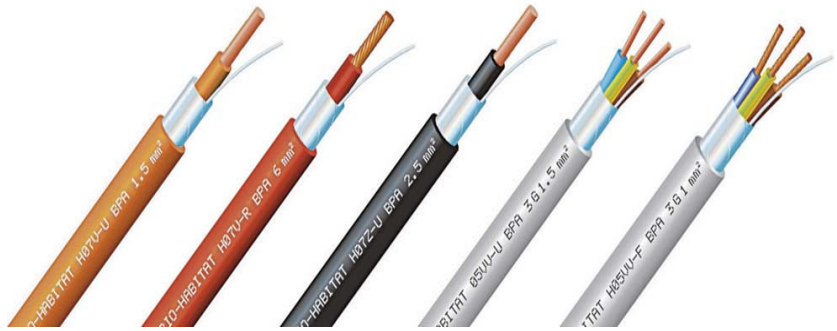
Les lignes à haute tension pourraient-elles nous rendre malades ? Une nouvelle expertise de l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses) parue ce jour révèle en effet que l'exposition prolongée aux champs électromagnétiques basses fréquences présenterait un risque "possible" de leucémie notamment chez les enfants, nécessitant la prise de mesures pour mieux la maîtriser.

III.10.4 Quatre solutions pour limiter les champs électromagnétiques

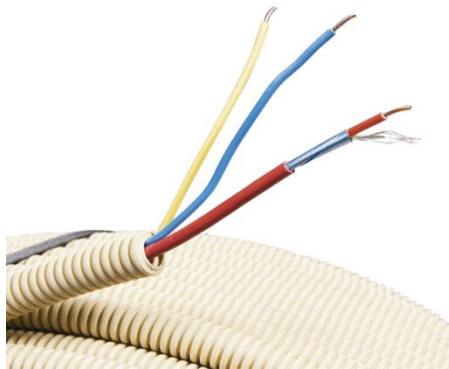
Les champs électromagnétiques sont causés par le rayonnement des circuits électriques et des appareils utilisateurs d'électricité. Comment réduire ou mettre fin à ces rayonnements?? Pour cela, il convient d'annuler le passage du courant dans le circuit lorsqu'aucune charge n'est branchée ou bien de canaliser le champ électrique pour l'évacuer à la terre.

1 - Blindage du fil de phase ou du câble

Muni d'un drain conducteur, le blindage capte et confine le champ électrique du fil de phase ou du câble sous tension.
 Avantage : Solution adaptée à la rénovation lorsqu'il est possible de retirer les fils dans des gaines ou goulottes existantes.
 Inconvénient : Ce principe neutralise uniquement le champ électrique.

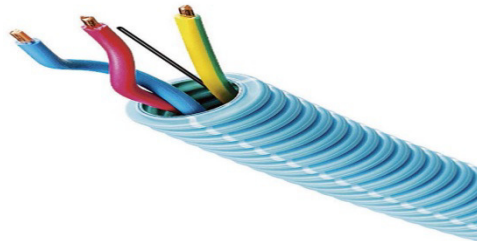


2 - Gaine pré-filée avec un fil de phase blindé



Un conduit électrique annelé est pré-filé avec un fil de phase écranté doté d'un drain de continuité, et deux fils standards (neutre et conducteur de protection).
 Avantage : Solution clés en main adaptée aux chantiers de rénovation lourde ou à des constructions neuves, voire aux petites rénovations sous goulottes en saillie.
 Inconvénient : Ce principe neutralise uniquement le champ électrique.

3- Gaine blindée pré-filée avec des fils torsadés



Ici, ce n'est pas le fil de phase qui est blindé, mais la gaine annelée. Elle bloque ainsi le champ électrique. À l'intérieur de la gaine pré-filée, circulent des fils standards. Particularité: les fils de phase et du neutre sont torsadés afin d'annuler l'émission du champ magnétique. L'évacuation du champ électrique capté par la gaine s'effectue grâce à un fil semi-conducteur cheminant dans la gaine, à relier à la terre de la même

façon que le conducteur jaune et vert.

Avantage : Ce concept réduit à la fois les champs électrique et magnétique.
 Inconvénient : Obligation de remplacer la gaine standard en place. Solution réservée aux travaux neufs, aux rénovations lourdes ou rénovations légères sous goulottes.

4 - Le dé connecteur de réseau



Principe : L'interrupteur automatique de champ s'installe au niveau du tableau et gère un seul circuit. Composant modulaire, il envoie un signal de courant continu sous quelques volts. Ce signal permet à l'interrupteur de déceler l'appel de courant d'une charge. Dans ce cas, le circuit est immédiatement mis sous tension. À privilégier pour une alimentation en tête de lit, par exemple. Avantage : À vide, le circuit reste hors tension. Aucun rayonnement électrique ou magnétique n'est émis. Inconvénient: Le circuit rayonne lorsqu'une charge est alimentée. Adapté uniquement aux charges ohmiques, lampes incandescentes ou halogènes 230 V.

III.10.5 Dans quels contextes agir

Une installation électrique biocompatible présente un surcoût par rapport à une installation standard. Si on doit limiter les zones protégées, la priorité est donnée aux pièces de sommeil, notamment au niveau des conduits passant à proximité des lits.

Il est reconnu que les murs à ossature bois (bois et dérivés), quel que soit le matériau de remplissage, diffusent particulièrement les champs électriques. Même remarque pour les cloisons sèches (plaques de plâtre ou gypse et cellulose) à ossature bois ou métallique. En revanche, les éléments métalliques reliés à la terre évacuent les champs électriques.