

Chapitre II : Danger du courant électrique

II.1 Le réseau électrique

Le courant électrique est produit dans les centrales électriques (hydroélectriques, nucléaires,.....) par des alternateurs.

Pour limiter les pertes par effet joule, la tension alternative produite est transportée vers les lieux d'habitation par des lignes à haute tension de 200000 à 500000 volts puis par des lignes moyennes tension. Avant d'être distribuée aux usagers, elle est abaissée de 20000V à 220V par des transformateurs.

Trois types d'électricité responsable d'accidents humains

- l'électricité domestique de basse tension (220 volts [V] monophasés et 380 V triphasés) présente dans l'environnement urbanisé ;
- l'électricité industrielle haute (trains 1200 à 30000 v en continu) et basse tension (TPG 750 Volts en continu) ;
- l'électricité naturelle, dont la foudre est la forme majeure. Elle peut libérer en quelques millisecondes 10 à 25 000 ampères (A) sous une tension de 10 à 100 millions de volts en quelques millisecondes. La foudre est responsable de 10 à 20 décès par an en France, dix fois plus aux USA.
 - ✓ < 1000 V = basse tension : accidents domestiques (55 %), 1/3 d'enfants.
 - ✓ > 1000 V = haute tension accidents de travail (45 %), morbidité majeure, 25 à 71 % d'amputations, séquelles neurologiques et psychologiques très invalidantes fréquentes.

II.2 Du courant mais pas trop

Les effets de l'électricité dépendent du courant et de son trajet. Un courant électrique, c'est des électrons qui s'entrechoquent. Dans le corps, ce phénomène se produit naturellement. Pour commander les muscles, lire, écouter, toucher ou même penser, notre cerveau reçoit et émet des signaux électriques et chimiques. De plus notre cœur possède des cellules spéciales produisant des impulsions électriques nécessaires à son fonctionnement.

D'ailleurs, les médecins enregistrent cette électricité : c'est l'électroencéphalogramme, pour le cerveau ou l'électrocardiogramme pour le cœur. Mais s'il produit son propre courant électrique, le corps humain ne peut pourtant pas supporter l'électricité délivrée par le secteur.

• Le corps humain et sa conductivité

Le corps humain est un mauvais conducteur (il donnerait un résultat négatif avec le test de conductivité) mais il n'est pas totalement isolant et peut quand même être parcouru par un courant électrique (vous pouvez voir le cours de 5ème sur les conducteurs et isolants).

II.3 Les principaux effets du courant électrique sur l'homme

II.3.1 Contraction, fibrillation

Un trop fort courant, à partir de 20 milli ampère, et le système neuro musculaire est perturbé : tous les muscles se contractent, au risque de bloquer la respiration et de causer la mort par asphyxie.

Un courant encore plus fort, 100 à 300 mA, et les cellules du cœur s'emballent. Les petites contractions rapides de ce muscle sont inefficaces pour irriguer le corps. c'est la fibrillation cardiaque, dont les effets sont presque toujours irréversibles, même en quelques secondes.

II.3.2 Brûlures

Brûlures électriques de la peau et des yeux (en cas d'arc électrique) mais aussi des organes internes (nécrose des muscles, thrombose des petits vaisseaux...).

II.4 Volts ou Ampères

On a coutume de dire que ce n'est pas la tension (volts) qui tue, mais plutôt l'intensité (ampères) Les deux sont liées par la loi d'Ohm. Le facteur décisif est la résistance du corps humain, essentiellement variable selon :

- Les individus

- L'humidité de la peau
- Et le « circuit » qu'emprunte le courant dans le corps.

Si la résistance est telle que le courant dépasse la valeur de 10 ou 20 mA (milli ampère) alors la mort peut survenir. On peut toucher par exemple une source de tension de 12 V capable de débiter des centaines d'ampères sans danger car alors le courant dans le corps reste faible.

II.4.1 Effet des ampères sur le corps

Ce qu'il faut savoir également, c'est que le courant qui traverse le corps humain (75 % d'eau) est dangereux suivant son intensité :

- Le seuil de perception du courant électrique s'établit à partir de 0.5 à 3 mA suivant les individus
- A ≈ 10 mA le courant alternatif devient dangereux, ce seuil n'existe pas en continu
- 30 mA \sim est une intensité potentiellement mortelle, la respiration devient impossible !
- 50 à 75 mA \sim peut engendrer une fibrillation ventriculaire irréversible
- Enfin, 1 A traversant le corps humain engendre un décès quasiment instantané !

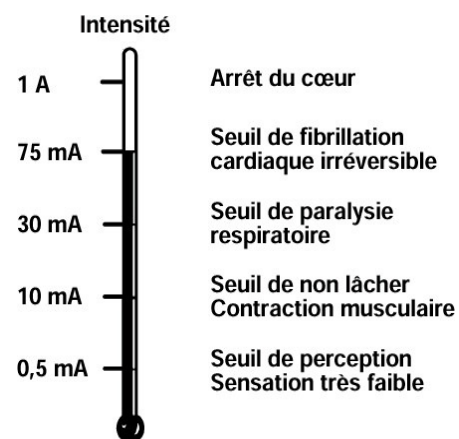


Fig.II.1 Seuils de danger du courant électrique Alternatif

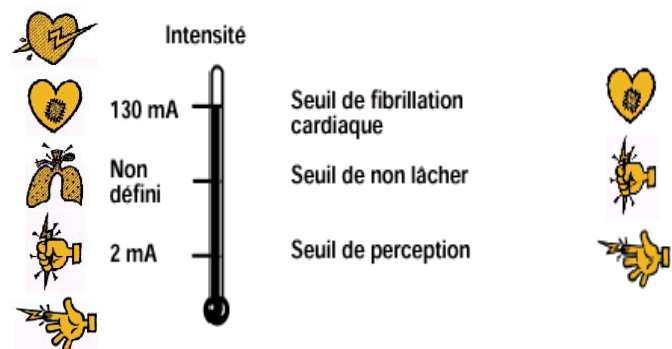


Fig.II.2 : Seuils de danger du courant électrique continu

Les seuils de danger du courant continu sont légèrement décalés par rapport au courant alternatif et pour d'autres indéterminés.

Bien que le risque de fibrillation cardiaque soit 3,75 fois plus petit, les brûlures sont plus profondes. Les moments de la mise sous tension et la coupure du courant sont les plus dangereux. De plus, le passage du courant continu dans le corps humain provoque un phénomène d'électrolyse.

II.5 Les conséquences sur le corps humain

Comme pour un récepteur classique, le corps humain, lorsqu'il est soumis à une tension, est parcouru par un courant électrique.

II.5.1 Ordre de gravité des effets du courant électrique

II.5.1.1 Électrisation ou électro-traumatisme

Effet physiologique et physiopathologique dû au passage du courant électrique à travers l'organisme lorsqu'il y a eu contact direct ou indirect avec une pièce sous tension.

II.5.1.2 Électrocution

Mort immédiate consécutive au passage du courant électrique dans le corps.

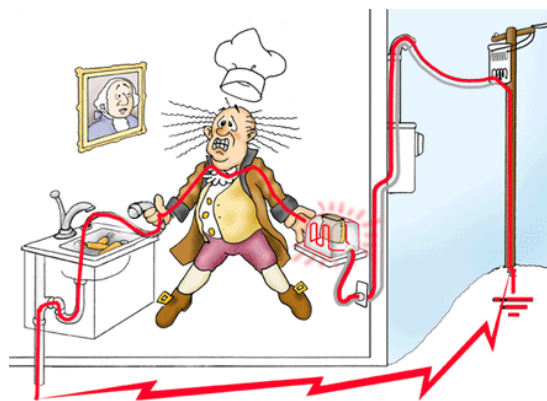


Fig.II.3 Electrocutation

II.5.2 Nature de l'effet du courant électrique

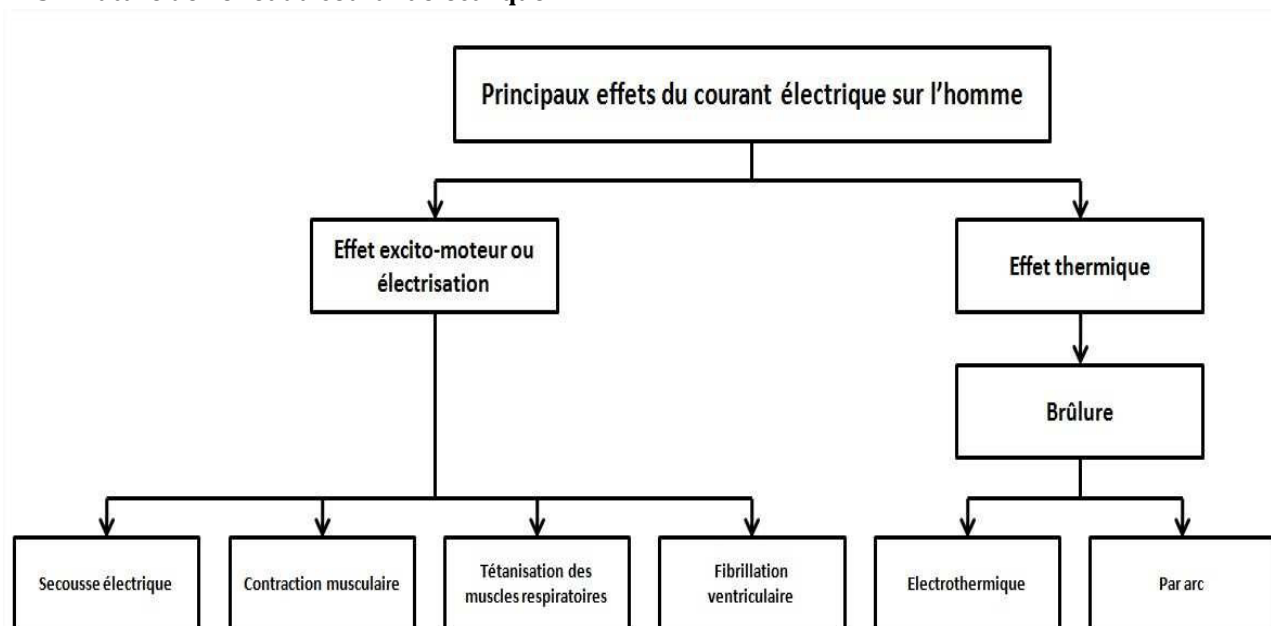


Fig.II.4 effet du courant électrique

II.6 Les effets physiopathologiques du courant électrique

II.6.2.1 Effets excitomoteurs

En 1786, Galvani (physicien italien) découvrit que les muscles d'une grenouille écorchée se contractaient au passage d'un courant électrique. Le courant électrique qui circule dans le corps humain va commander la contraction des muscles à la place du cerveau, que ce soient ceux des membres ou de la cage thoracique. Les effets excitomoteurs sont dus à l'action directe du courant sur les muscles ou sur les nerfs lors du passage du courant (secousse électrique) : contraction musculaire avec inhibition ou projection, tétanisation des muscles respiratoires, fibrillation ventriculaire.

II.6.2.2 Effets thermiques

• Brûlures électrotechniques

Elles sont dues à l'énergie dissipée lors du passage du courant dans l'organisme qui atteint particulièrement les muscles.

Les brûlures sont plutôt localisées aux mains pour les accidents en basse tension, multiples et étendues pour les accidents en haute tension

• Brûlures indirectes par arc

Elles sont dues également à l'effet joule produit lorsqu'un arc s'est formé ; elles se localisent le plus souvent sur les mains et le visage.

• Brûlures par contact

Elles sont dues à l'échauffement d'un élément conducteur parcouru par un courant électrique.

II.6.2.3 Inhibition des centres nerveux

Dû au passage d'un courant par le bulbe rachidien (partie inférieure du tronc cérébral), l'inhibition des centres nerveux (arrêt respiratoire et/ou cardiaque) ne peut avoir lieu que si un courant très important

passer par le bulbe, ce qui est très rare.

II.6.2.4 Tétanisation

Il s'agit d'un phénomène réversible. C'est une contraction musculaire involontaire de certains muscles. Le courant alternatif en Europe, de 50 périodes par seconde, tétanise les muscles, car 40 excitations par seconde suffisent pour établir une tétanie parfaite.

II.6.2.5 Fibrillation cardiaque

Une fibrillation est le trouble du rythme cardiaque le plus commun perçu par une arythmie cardiaque. Pouvant passer inaperçue sans causer de symptôme, elle est souvent associée à des palpitations, des évanouissements, des douleurs thoraciques ou une insuffisance cardiaque congestive. Il faut distinguer la fibrillation auriculaire (ou atriale) de la fibrillation ventriculaire.

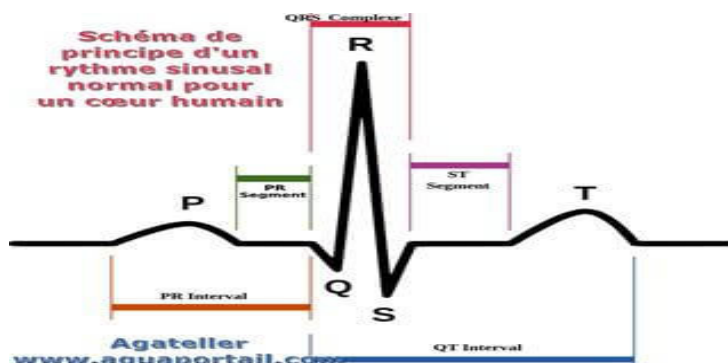


Fig.II.5 Schéma pour la fibrillation auriculaire sur base d'un rythme cardiaque normal:

Dans la fibrillation auriculaire, les ondes P, qui représentent la dépolarisation des oreillettes, sont absentes.

- **Fibrillation auriculaire:**

La fibrillation auriculaire est l'arythmie cardiaque la plus fréquente dans la pratique clinique. Elle est une maladie caractérisée par des battements atriaux non coordonnés et non organisés, produisant un rythme cardiaque rapide et irrégulier (rythme cardiaque irrégulier). Les problèmes de fibrillation peuvent être gérés par un défibrillateur cardiaque.

- **Fibrillation ventriculaire:**

La fibrillation ventriculaire est rapportée à un trouble du rythme cardiaque qui présente une morphologie rapide (plus de 250 battements par minute), irrégulière et chaotique et conduit irréversiblement à la perte totale de contraction cardiaque, avec un manque total de pompage du sang et donc à la mort du patient.

Le seul traitement efficace est la défibrillation, qui consiste à donner un choc électrique de courant continu qui dépolarise simultanément tout le cœur, provoquant à la suite et après une pause, une activité électrique normale ou au moins efficace. L'efficacité de ce traitement diminue avec le passage des minutes. S'il est provoqué tôt (avant cinq minutes), le taux de survie est de 49-75% et descend chaque minute par 10-15%.

I.7 Paramètre d'influence du courant humain

Les différentes réactions physiopathologiques rencontrées lorsqu'un courant électrique traverse le corps dépendent de plusieurs facteurs :

- Z : Impédance du corps humain ;
- U_c : tension appliquée au corps, tension de contact ;
- I_c : courant qui circule dans le corps humain, courant de choc ;
- t : temps de passage du courant dans le corps ;
- La pression de contact ;
- La fréquence du courant ;
- Le trajet du courant.

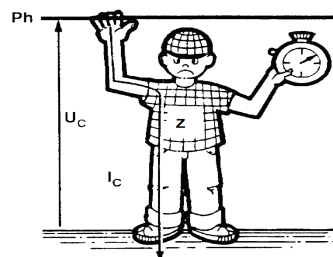


Fig.II.6 Paramètre d'influence du courant humain

Les règles de sécurité des personnes imposées par la norme NFC 15-100 sont établies à partir des

trois relations $t = f(I_c)$, $t = f(U_c)$ et $R = f(U_c)$.

II.7.1 L'intensité du courant par rapport au temps de passage

Lors d'une électrisation, les deux paramètres majeurs, à prendre en compte, sont la valeur du courant (I_c) qui traverse le corps humain et temps (t) de passage de ce courant.

Le courant qui traverse le corps humain est dépendant de deux autres paramètres (car $I = U / R$) :

- la tension U_c appliquée au corps ;
- la résistance R du corps.

La courbe ci-dessous montre comment ces quatre paramètres sont interdépendants.

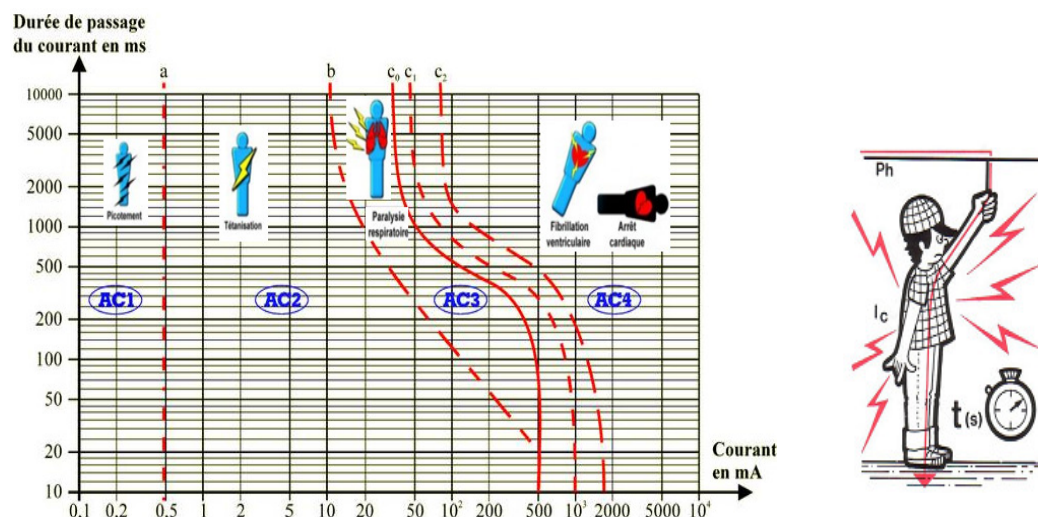


Fig.II.7 Zones temps-courant des effets du courant alternatif (15 Hz à 100 Hz) sur des personnes.

Cette courbe donne quatre zones de risques :

- zone 1 : habituellement aucune réaction.
- zone 2 : habituellement aucun effet physiologique dangereux.
- zone 3 : habituellement aucun dommage organique. Probabilité de contractions musculaires et de **difficultés de respiration**, de perturbations réversibles dans la formation et la propagation des impulsions dans le cœur, y compris la fibrillation auriculaire et des arrêts temporaires du cœur sans fibrillation ventriculaire augmentant avec l'intensité du courant et le temps.
- zone 4 : en plus des effets de la zone 3, possibilité de la fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à environ 5% (courbe C2), jusqu'à environ 50% (courbe C3) et plus de 50% au-delà de la courbe C3, augmentant avec l'intensité et le temps, des effets pathophysiologiques tels qu'arrêts du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves pouvant se produire.

II.7.2 La résistance en fonction de la tension

II.7.2.1 Modélisation électrique du corps humain

L'homme peut être modélisé comme un condensateur de quelques centaines de picofarads (pF) en série avec une résistance de quelques kΩ. Au moment de la décharge, ce sont les éléments électriques R, L, C du circuit de décharge qui vont en déterminer les caractéristiques : temps de montée, durée, valeur de crête...

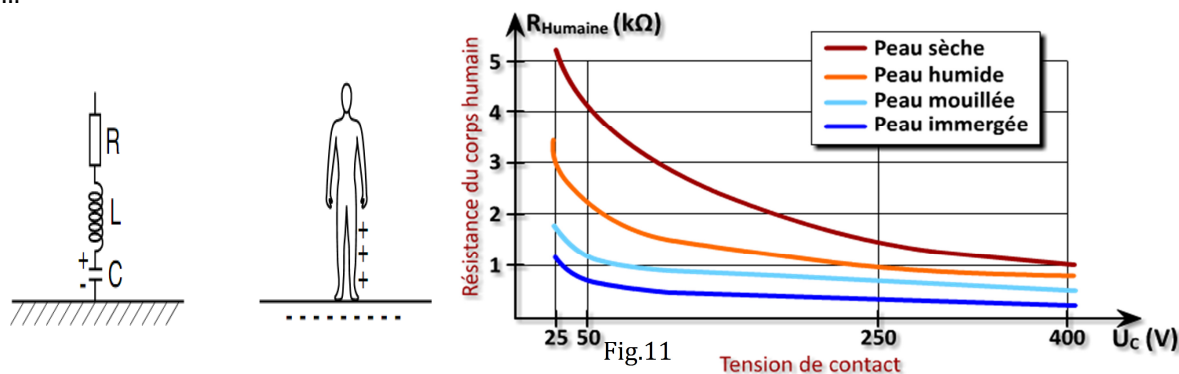


Fig.II.8 Modélisation du corps humain

Fig.II.9 variation du résistance en fonction de la tension

L'impédance de la peau varie pour chaque individu en fonction, essentiellement, des paramètres suivants :

- la température de la peau ;
- la surface et la pression de contact ;
- la tension de contact ;
- l'état d'humidité et de sudation de la peau ;
- le temps de passage du courant ;
- l'état physiologique de la personne ;
- la morphologie de l'individu ;
- le trajet du courant dans le corps humain.

La résistance du corps humain évolue suivant beaucoup de paramètres (tension, conditions atmosphériques, anatomie, conditions physiques, etc.). Sa valeur peut être évaluée entre quelques kilo ohm et quelques mégohms

La caractéristique ci-dessus donne les variations de cette résistance en fonction de la tension de contact, et de l'état de la peau.

II.7.3 Les tensions de sécurité !

Comme il n'est pas très raisonnable de calculer une équation, même simple, lorsque l'on doit travailler en présence d'une tension électrique, la norme a défini 3 tensions de sécurité, 6 valeurs en réalité, du fait de la moindre dangerosité du courant continu lisse

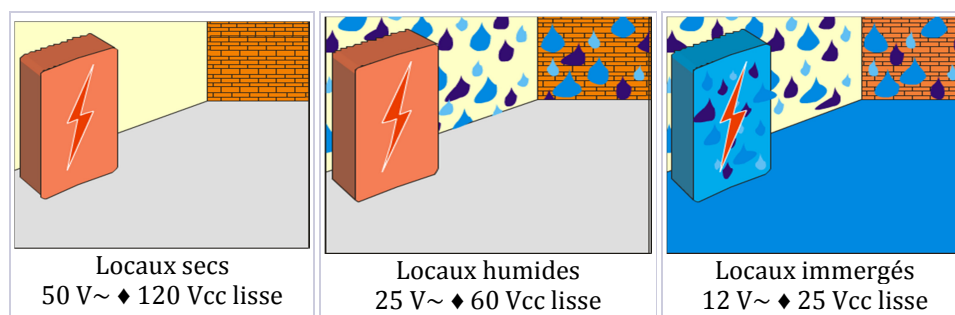


Fig.II.10 Tension de sécurité dans différents milieux

II.7.3.1 Risque, durée, trajet

Encore une fois, ces tensions ne remettent pas en cause les autres 'impératifs' facteurs de risque

- ✓ L'intensité dont est capable la source (le générateur) et la durée du contact
- ✓ Le schéma ci-dessous le démontre, même un contact avec du 230 V~ peut n'engendrer qu'un simple électrisation et non une électrocution définitive
- ✓ Un autre facteur important est le trajet du courant électrique

La norme NFC 15-100 indique le temps maximum admissible par le corps humain en fonction de la tension de contact.

- courbes N : conditions normales, locaux secs
- courbes M : applicable aux locaux humides : volumes de protection de salles de bains, installations extérieures, zones " pieds nus " de piscines, douches collectives, etc.
- courbes I : applicables aux clôtures électriques, volumes de protection de piscines, salles de bains, etc...

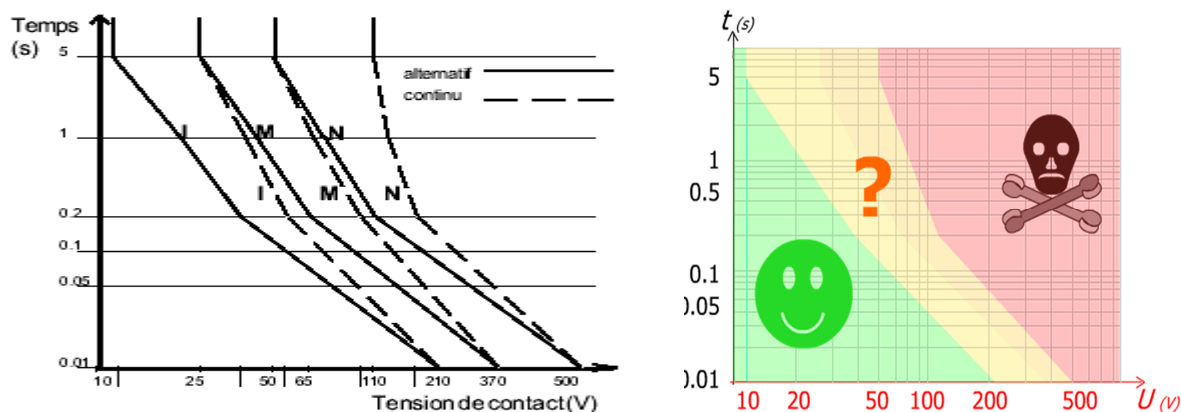


Fig.II.11 courbe de sécurité

Ces courbes délimitent dans le repère $t=f(U_c)$ la durée maximum d'exposition sans danger mortel en fonction de la tension de contact U_c et du type de local :

- $U_L = 12 \text{ V}$: local immergé (piscine, sauna, milieu extérieur...);
- $U_L = 25 \text{ V}$: local avec point d'eau (cuisine, salle de bain...);
- $U_L = 50 \text{ V}$: local sec (bureau et toutes les autres pièces d'une habitation).

I.7.3.2 Durée maximale de la tension de contact U_c en fonction du temps de coupure normalisé

A tension constante, plus la résistance humaine est grande plus l'intensité traversant le corps humain est faible ; donc les dangers limités.

Pour exemples :

50000 ohms pour des mains sèches et calleuses, 5000 ohms pour une résistance moyenne et 1000 ohms dans les conditions les plus défavorables. La courbe de sécurité est la courbe temps de coupure du dispositif de protection en fonction de la tension de contact présumée U_c . En effet, si le circuit est coupé dans un temps très court, on limite le danger. La courbe suivante, établie à partir du tableau joint, est donnée pour des tensions limites conventionnelles de 25 V et 50 V (Fig.II.11).

II.8 Domaines de tension

Les domaines de tension conformément aux dispositions des codes de sécurité et par référence à la législation en vigueur.

Selon la valeur de la tension (valeur efficace dans le cas du courant alternatif), les installations électriques sont classées comme suit :

Ttable 1 Durée maximale de la tension de contact U_c en fonction du temps de coupure normalisé

Tension limite $U_L = 25 \text{ V}$			Tension limite $U_L = 50 \text{ V}$		
$U_c(\text{V})$	$t(\text{s})$ CA	$t(\text{s})$ CC	$U_c(\text{V})$	$t(\text{s})$ CA	$t(\text{s})$ CC
25	5	5	<50	5	5
50	0,48	5	50	5	5
75	0,30	2	75	0,60	5
90	0,25	0,80	90	0,45	5
110	0,18	0,50	120	0,34	5
150	0,12	0,25	150	0,27	1
230	0,05	0,06	220	0,17	0,40
280	0,02	0,02	280	0,12	0,30
CA : courant alternatif			350	0,08	0,20
CC : courant continu			500	0,04	0,10

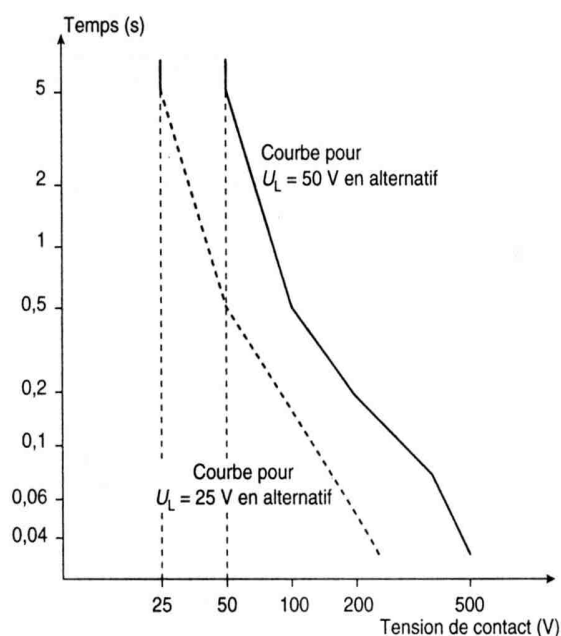


Fig.II.12 Durée maximale de la tension de contact U_c en fonction du temps de coupure normalisé

Table 2 Domaine de tension

Domaines de tension		Valeur de la tension nominale	
		En courant alternatif	En courant continu lisse
TBT		$U_n \leq 50\text{v}$	$U_n \leq 120\text{v}$
BT	Plus de distinction BTA/BTB	$50\text{V} < U_n < 1000\text{V}$	$120\text{V} < U_n < 1,5\text{kV}$
HT	HTA	$1\text{kV} < U_n \leq 50\text{kV}$	$1,5\text{kV} < U_n \leq 75\text{kV}$
	HTB	$50\text{kV} < U_n$	$75\text{kV} < U_n$

II.9 La Très Basse Tension (TBT)

Dans le domaine de tension TBT (Très basse tension) en courant alternatif (Tension inférieure ou égale à 50 Volts) on peut discerner 3 types de raccordement :

- TBTS : Très basse tension de sécurité (ou séparation)
- TBTP : Très basse tension de protection
- TBTF : Très basse tension fonctionnelle

II.9.1 La TBTS :

Toutes les parties actives sont séparées des parties actives de toute autre installation par une isolation double ou renforcée.

Les parties actives sont isolées de la terre ainsi que de tout conducteur de protection appartenant à d'autres installations.

En TBTS, il n'existe aucun point commun entre le primaire et le secondaire du transformateur.

La TBTS est utilisée en alimentation d'appareillages situés dans des locaux humides...

II.9.2 La TBTP :

Installations du domaine TBT répondant à la première condition de la TBTS mais qui ne sont pas soumises à la seconde

En TBTP, il existe un point commun entre le commun du secondaire et le conducteur de protection.

La TBTP est utilisée en alimentation de machines-outils et d'automatismes. La liaison du commun du secondaire au conducteur de protection a pour but d'éviter les mises en marche intempestives qui peuvent survenir après 2 masses consécutives dans une commande de machine.

Au 2^e défaut, la bobine du contacteur KM1 est donc alimentée par une d.d.p. de 24 Volts.

La connexion masse / terre du transformateur au 0 V. du secondaire permettra d'éviter cette alimentation intempestive en faisant déclencher la protection du secondaire.

II.9.3 La TBTF:

Sont classées dans cette catégorie les installations du domaine TBT qui ne peuvent être classées en TBTS ou en TBTP.

En TBTF, il existe plusieurs points communs entre le primaire et le secondaire du transformateur. C'est notamment le cas d'une alimentation TBT par autotransformateur.

La TBTF n'est utilisée que quand la TBT n'est pas requise pour apporter une sécurité supplémentaire, mais quand celle-ci n'est imposée que par la tension nominale de fonctionnement du récepteur.

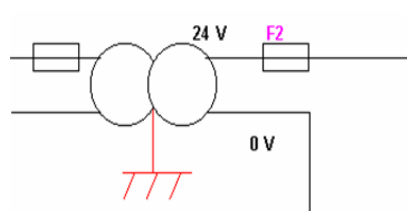


Fig.II.13 TBTS

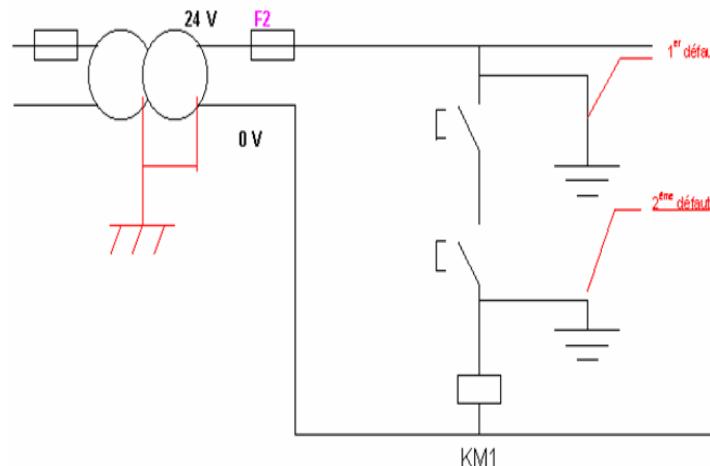


Fig.II.14 TBTP

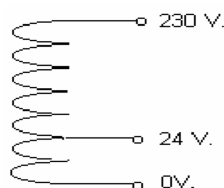


Fig.II.15 TBTF