

2^{ème} année Licence : Electrotechnique et Automatique

Module: Protection Electriques

Chapitre 4 :Le risque électrique

1. Les effets du courant électrique

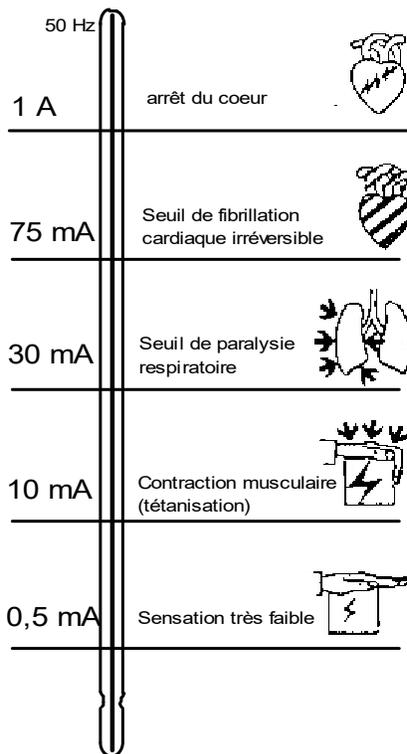
1.1. Courant de choc

Le **courant de choc** est le courant qui traverse le corps humain en présentant des caractéristiques susceptibles de provoquer des effets physiopathologiques, depuis des picotements, jusqu'à l'arrêt cardiaque. On dit qu'il y a « **électrisation** » si le choc électrique n'entraîne pas la mort, « **électrocution** » dans le cas contraire.

Le **choc électrique** ressenti est en rapport direct avec l'intensité du courant de choc donnée par la loi d'ohm :

$$\text{Intensité du courant de choc} = \frac{U}{R} = \frac{\text{Différence de potentiel à laquelle la personne est soumise}}{\text{Résistance électrique de la personne au passage du courant}}$$

1.2. Effets physiopathologiques



➤ **Effets excito-moteurs** : ils sont dus à l'action directe du courant sur les muscles ou sur les nerfs lors du passage du courant : contraction musculaire, tétanisation des muscles respiratoires, fibrillation ventriculaire.

A partir de 10 mA, la contraction musculaire involontaire peut avoir deux effets opposés :

- **soit projection** loin du conducteur (muscles extenseurs) : le sujet déclare qu'il a « pris une châtaigne ».
- **soit tétanisation** et impossibilité de lâcher (muscles préhenseurs) : le sujet déclare qu'il « a été collé »

➤ **Tétanisation** : dans le cas d'un trajet mains-pieds, il s'agit souvent de tétanisation des muscles respiratoires (intercostaux, pectoraux, diaphragme). Cela provoque une asphyxie ventilatoire avec cyanose¹. Si l'on coupe rapidement le courant, la respiration normale reprend.

➤ **Fibrillation cardiaque** : ce fonctionnement anarchique du cœur entraîne un arrêt circulatoire qui provoque la mort de la plupart des électrisés.

C'est un phénomène irréversible. Elle ne cessera que lors de l'utilisation d'un défibrillateur cardiaque.

Si le choc électrique atteint le cœur au moment où celui-ci se prépare à se remplir de sang, la probabilité de fibrillation est multipliée par 3 ou 4.

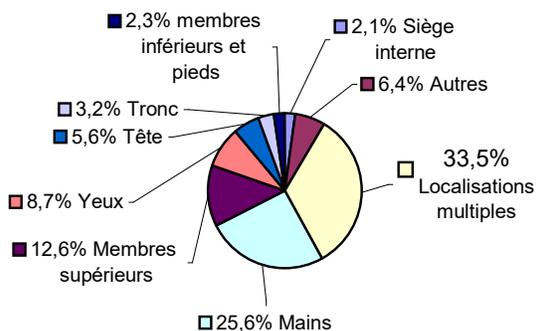
➤ Effets thermiques

- **Brûlures électrothermiques** : 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.

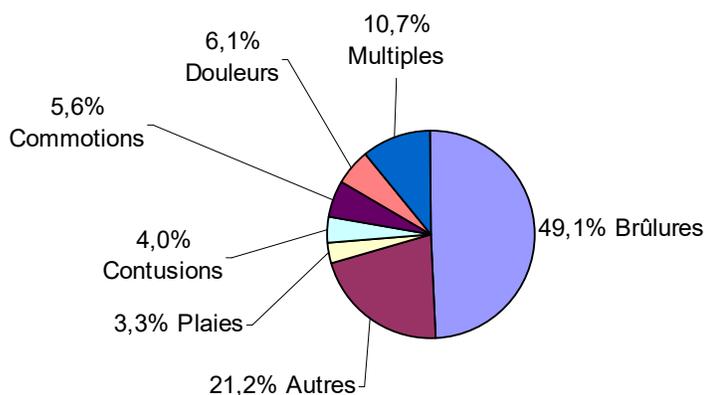
1.3. Siège et nature des lésions²

Le plus souvent multiples (33,5 %), ces lésions touchent principalement la main (25,6 %), les membres supérieurs (12,6 %) et les yeux (8,7 %). Ce sont des brûlures (49,1 %), des commotions (5,6 %), des contusions (4,0 %) ou des plaies (3,3 %).

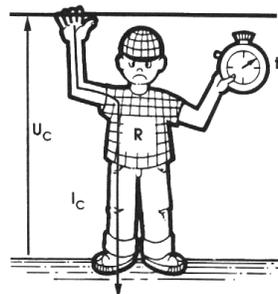
Le siège des lésions



La nature des lésions



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



Quatre paramètres **interdépendants** influent sur le niveau des risques :

- **I_c : courant de choc** (courant qui circule dans le corps humain)
- **U_c : tension de contact** (tension appliquée au corps humain)
- **t : temps de passage** du courant dans le corps
- **R : résistance** du corps

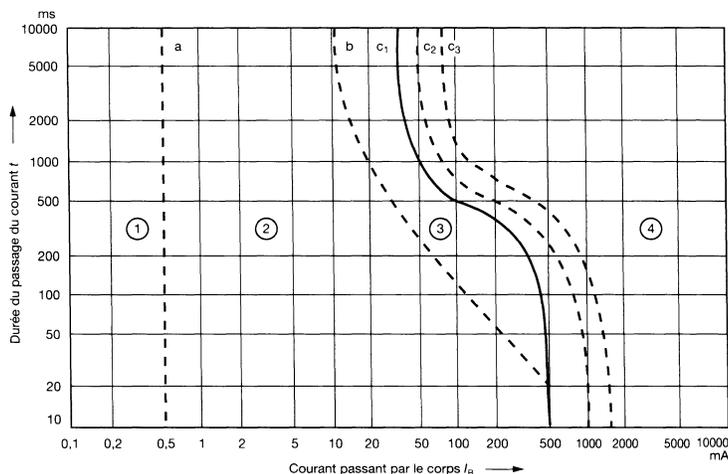
² Source : INRS

1.4.1. Intensité du courant par rapport au temps de passage

La courbe C1 de la CEI 479-1 définit la limite d'exposition temps/courant à un choc électrique à ne pas franchir (courant alternatif 15 Hz à 100 Hz)

On peut, par exemple, supporter 10 mA en permanence sans effets physiopathologiques et également

50 mA pendant 200 ms.



Zone ① : habituellement aucune réaction.

Zone ② : habituellement aucun effet physiopathologique dangereux

Zone ③ : effets physiopathologiques non mortels, habituellement réversibles.

Zone ④ : fibrillation ventriculaire probable (augmente de 5% des cas pour C2, 50% des cas pour C3 et plus de

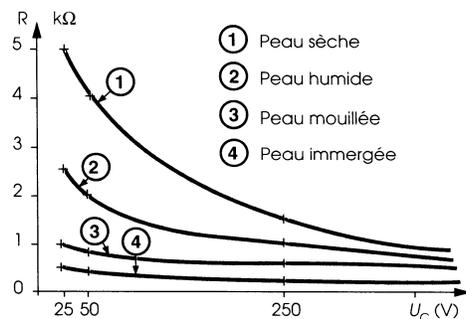
50% au-delà)

1.4.2. Résistance électrique du corps humain

Le corps humain se comporte comme un conducteur du fait de sa teneur en sels minéraux. La peau, qui est le principal obstacle au déplacement des électrons dans le corps à une résistance qui varie en fonction :

- de la surface de contact : plus la surface augmente, plus la résistance diminue ;
- de la pression : plus la pression augmente, plus la résistance diminue ;
- de l'épaisseur : la résistance augmente avec l'épaisseur ;
- de la sudation ;
- de la durée de contact : lorsque le temps de contact augmente, la résistance diminue ;
- de la tension de contact : plus cette tension est élevée, plus la résistance diminue

D'autres paramètres tels que l'état de fatigue, le poids, la taille, sont variables et difficiles à évaluer avec précision.



Variation de la résistance du corps humain en fonction de la tension de contact et de l'état de la peau (article 322-2 de la NFC 15-100)				
Tension de contact	Peau sèche (Ω)	Peau humide (Ω)	Peau mouillée (Ω)	Peau immergée (Ω)
25 V	5000	2500	1000	500
50 V	4000	2000	875	440
250 V	1500	1000	650	325
> 250 V	1000	1000	650	325

Nota : La norme CEI 60479 indique que la résistance du corps humain est supérieure ou égale à 1000Ω pour 95 % des personnes exposées à une tension de contact de 230 V.

1.5. Tension limite conventionnelle

Compte tenu de la résistance moyenne d'un individu et des courants de choc non dangereux, la norme NF C 15-100 précise (pour un environnement donné) **la tension de contact la plus élevée qui pourrait être maintenue indéfiniment sans danger** pour les personnes.

Cette tension est appelée **tension limite conventionnelle de sécurité (U_L)**:

- $U_L = 50 \text{ V}$ pour les locaux secs.
- $U_L = 25 \text{ V}$ pour les locaux humides ou temporairement humides (chantier).

Remarque : pour des risques plus importants, des alimentations en Très Basse Tension de Sécurité (TBTS) peuvent être requises (ex : 12 V pour des endroits immergés).

1.6. Temps de coupure maximal des circuits terminaux

Le danger du courant électrique étant lié à sa durée de passage, il a été établi un tableau qui indique le temps de coupure maximal du dispositif de protection en fonction de la tension entre phase et neutre.

Toute tension de contact U_c dangereuse doit être éliminée en temps inférieur à celui donné par le tableau 41 A de la NF C 15-100 pour que la protection des personnes soit assurée.

U_0 : tension nominale entre phase et neutre	Tableau 41A NF C 15-100							
	$50 \text{ V} < U_0 \leq 120 \text{ V}$		$120 \text{ V} < U_0 \leq 230 \text{ V}$		$230 \text{ V} < U_0 \leq 400 \text{ V}$		$U_0 > 400 \text{ V}$	
Temps de coupure (s)	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu
Schéma TN ou IT	0,8	5	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
Schéma TT	0,3	5	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

2. Causes d'accidents

Le passage d'un courant de choc dans le corps humain est la conséquence d'un contact par deux points distincts avec des conducteurs ou des parties conductrices sous tension.

Les nombreuses causes d'accidents **sont classées en deux catégories** en fonction de la nature du contact accidentel qui place la personne en danger.

2.1. Par contact direct

Dans ce cas la personne **touche directement** (ou par l'intermédiaire d'un objet non isolé) **une partie active³** d'un circuit.

Exemples :

▪ Figure 1 :

Contact entre deux conducteurs actifs sous tension. Le courant passe par le cœur que la personne soit isolée ou non.

▪ Figure 2 :

Contact entre un conducteur actif et la terre, le courant passe par le bras mais aussi par le cœur.

2.2. Par contact indirect

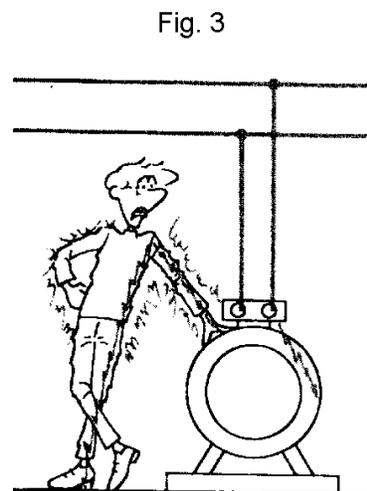
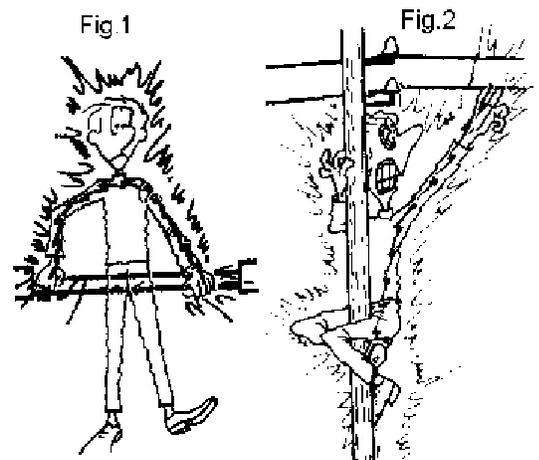
Dans ce cas, la personne entre en contact avec une **masse⁴** **mise accidentellement sous tension** suite à un défaut d'isolement⁵.

Exemple :

▪ Figure 3 :

Suite à un défaut d'isolement, une phase entre en contact avec l'enveloppe conductrice du moteur.

En touchant l'enveloppe du moteur, la personne est traversée par le courant ; le cœur est sur la trajectoire.



³ Partie active : toute partie conductrice destinée à être sous tension en service normal.

⁴ Masse : Partie conductrice d'un matériel électrique susceptible d'être touchée par une personne, qui n'est pas normalement sous tension mais qui peut le devenir en cas de défaut d'isolement des parties actives de ce matériel.

⁵ Défaut d'isolement : Défaillance de l'isolement d'une partie active d'un circuit électrique entraînant une perte d'isolement de cette partie active pouvant aller jusqu'à la liaison accidentelle entre deux points de potentiels différents.

QCM

	VRAI	FAUX
1. Les gens de la profession sont eux aussi, quel que soit leur niveau de compétence technique, victimes des accidents électriques.		
2. Un courant de 1 A qui traverse le corps humain est trop faible pour provoquer l'arrêt du cœur.		
3. L'asphyxie survenant au cours d'un accident électrique est due fréquemment à la téτανisation du diaphragme.		
4. La téτανisation cesse quand le courant ne passe plus.		
5. Un courant de 40 mA qui traverse le corps humain peut provoquer la paralysie respiratoire.		
6. La fibrillation cardiaque cesse quand le courant ne passe plus.		
7. L'électrocution n'entraîne pas la mort.		
8. Un courant de 10 mA qui traverse le corps humain ne provoque aucune sensation.		
9. Le phénomène de « collage » correspond à une coagulation du sang		
10. En courant alternatif, le temps de passage du courant n'est pas un facteur primordial de gravité.		
11. La résistance du corps humain entre 2 mains nues et sèches est de 100 000 ohms.		
12. Dans peu de cas, le courant sort par les pieds.		
13. L'intensité du courant traversant une personne qui, à pieds nus, touche un conducteur sous tension de 230 volts, est de 5 ampères.		
14. la tension de contact augmente : la résistance de l'individu augmente.		
15. 1000 ohms est la valeur minimale de la résistance du corps humain.		
16. Dans un local humide la tension limite conventionnelle de sécurité est de 12 volts.		
17. La tension de contact est toujours inférieure à la tension limite conventionnelle de sécurité.		
18. Dans une salle de classe la tension limite conventionnelle de sécurité est de 50 volts.		
19. Un contact direct est le contact d'une personne avec une masse mise accidentellement sous tension suite à un défaut d'isolement.		
20. Une personne, isolée de la terre par un tabouret, touche simultanément 2 conducteurs actifs sous tension : elle n'est pas en danger.		

2.3. LES FACTEURS DE GRAVITE DU RISQUE ELECTRIQUE Cocher la bonne réponse.

Les effets physiopathologiques du courant		Vrai	Faux
1	La résistance du corps humain entre les 2 mains nues et sèches est de 100000 Ω .		
2	Le courant alternatif produit en général sur l'homme des effets plus dangereux que le courant continu.		
3	La résistance totale d'une personne ayant aux pieds des chaussures bien isolées est d'environ 20000 Ω .		
4	En courant alternatif, le temps de passage du courant n'est pas un facteur primordial de gravité.		
5	Dans peu de cas, le courant sort par les pieds.		
6	La résistance des vêtements ne s'ajoute pas à celle du corps.		
7	L'intensité du courant traversant une personne qui, pieds nus, touche un conducteur sous tension de 230 volts, est de 5 ampères.		
8	La tension augmente : la résistance de l'individu augmente.		

2.3.1.1. EFFETS IMMEDIATS DU COURANT ELECTRIQUE**■ Cocher la bonne réponse.**

Les effets physiopathologiques du courant		Vrai	Faux
1	Le seuil de sensibilité d'un être humain en 1 seconde se situe à 20 mA		
2	Si l'électrisation "atteint" le cœur pendant "l'onde T" de repolarisation du cœur, la fibrillation n'aura pas lieu.		
3	Le phénomène de collage correspond à une coagulation du sang.		
4	La "moyenne châtaigne" a lieu en présence d'une intensité d'environ 24 mA		
5	L'électrocution n'entraîne pas la mort.		
6	L'asphyxie survenant au cours d'un accident électrique est due fréquemment à la té-tanisation du diaphragme.		
7	Une électrisation brève et de faible intensité (la châtaigne) peut avoir des effets sti-mulants sur le cœur.		
8	Les brûlures interviennent dans 5% des cas des accidents mortels électriques.		
9	Les parties les plus touchées par les brûlures sont les mains.		
10	Le courant alternatif en Europe est suffisant pour obtenir un té-tanos parfait du muscle.		
11	La té-tanisation cesse quand le courant ne passe plus.		