



Chapitre 2 : Nature des accidents électriques et dangers du courant électrique

II. Danger du courant électrique

II.1 Pourquoi le courant électrique est dangereux ?

Le courant électrique est dangereux car il constitue une cause relativement fréquente d'accident de travail dans le domaine du génie électrique qui, de plus, se traduit par un facteur de gravité important. Ces accidents apparaissent en raison de l'exposition, plus ou moins prolongée, au risque d'origine électrique qui trouve sa source dans la notion de voisinage avec une ou des pièces nues sous tension. La mise en contact accidentelle de parties du corps avec ces conducteurs sous tension peut provoquer des commotions électriques qui peuvent être mortelles. Le danger est constitué par l'intensité du courant qui traverse le corps humain quand celui-ci est soumis à une tension électrique.

Les accidents d'origine électrique peuvent également provenir du jaillissement d'un arc électrique. Ce courant est appelé "courant de contact".

Le courant électrique est dangereux à partir de **10 mA**. Ceci vient du fait que la fréquence utilisée (50Hz) provoque des excitations musculaires violentes pouvant entraîner la téτανisation.

Les contacts avec les pièces nues sous tension peuvent être directs ou indirect, ce qui implique des dommages et des effets sur le corps humain plus ou moins graves. Les effets du courant électrique sont fonction des paramètres intervenant comme facteurs aggravants et dépendent du trajet du courant électrique dans le corps humain. Certains organes souffrent plus fortement des chocs électriques que d'autres. **Le cerveau, les poumons, le cœur, le foie et les reins** sont 40 fois moins résistants que **la peau**.

II.2 Les seuils de danger du courant électrique

Le courant agit sur le corps de trois façons différentes :

- Par blocage des muscles ou la "téτανisation", que ce soit ceux des membres ou de la cage thoracique.
- Par brûlures : selon la valeur du courant, l'électricité produit par ses effets thermiques des **lésions tissulaires** plus ou moins graves.

- Par action sur le cœur : l'électricité provoque une désorganisation complète du **fonctionnement du cœur**, connue sous le nom de “**fibrillation ventriculaire**”.

L'effet provoqué par le courant électrique sur le corps humain dépend principalement de son **intensité** et d'autres paramètres liés au corps humain (**résistance, surface de contact,...**) et à son environnement (humidité) lors de l'accident électrique.

- **Le seuil de perception** du courant électrique est très variable d'une personne à l'autre, 0,5 mA peut être considéré comme une valeur moyenne.

~1 mA

- Excitation des terminaisons nerveuses sensibles
- -Sensation de picotement ou de choc léger

>3 mA

- Sensation de douleur

- **Le seuil de téτανisation** correspond aux contractions musculaires qui commence à partir de **10 mA**. Cette valeur dépend de l'âge, du sexe, de l'état de santé, du niveau d'attention... La téτανisation a pour effet **d'empêcher à la personne de lâcher le conducteur**, ce qui peut conduire à des conséquences plus graves en fonction de la durée du passage du courant. De ce fait, **la résistance du corps s'affaiblit** et l'intensité du courant augmente en conséquence, ce qui peut faire évoluer la situation vers la téτανisation des muscles respiratoires, d'où difficultés et l'arrêt respiratoire par **asphyxie ventillatoire** qui se produit pour des courants **de 20 à 30 mA**.

~10 mA

- Contraction des muscles traversés par le courant
- **Impossible de lâcher prise** (fléchisseurs des avant-bras)
- Projection (extenseurs)

~25 mA

- Téτανisation des muscles respiratoires
- Plus de 3 minutes = asphyxie ventillatoire
- **Le seuil de fibrillation ventriculaire se produit à partir de 75 mA**

~75 mA

- Fibrillation ventriculaire
- Mène à l'électrocution à moins d'une défibrillation (et être maintenu en vie jusqu'à ce moment-là)

➤ **Le Seuil de brûlure commence à 100 mA**

~100 mA (danger)

- Effet Joule: $E_{thermique} = RI^2t$
- Destruction de la peau
- Destruction des tissus en profondeur: muscles, nerfs, vaisseaux sanguins et viscères
- Amputation
- Déchets de combustion peuvent entraîner une insuffisance rénale mortelle

➤ **Le seuil de l'arrêt cardiaque se situe au alentour de 1 A.**

~1 A (danger)

- Arrêt du cœur
- **Le seuil de l'inhibition des centres nerveux se situe à 2 A.**

~2 A (danger)

- Inhibition des centres nerveux

D'autres risques et dommages peuvent être subits par le corps humain.

Ainsi, un court-circuit peut notamment provoquer :

- des brûlures par projection de matière en fusion
- un rayonnement ultraviolet intense
- un dégagement de gaz toxique
- un incendie, une explosion

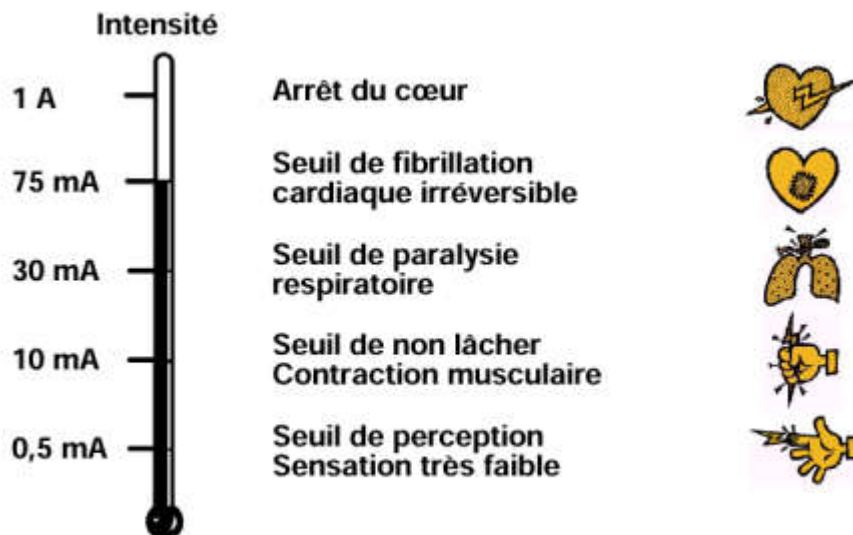


Figure II.1 : Seuils de danger du courant électrique alternatif

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.



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

II.3 Effet de l'action du courant électrique sur l'homme

En fonction de l'action directe et indirecte du courant électrique, de la nature de contact (direct ou indirect) et du domaine d'activité dans lequel survient l'accident (milieu domestique, travail, loisir,...),

Les effets de l'action du courant électrique sur l'homme sont soit immédiats ou secondaires.

II.3.1 Effets immédiats

II.3.1.1 Effets excito-moteur

Ils ne proviennent qu'à la faveur d'une variation de courant, provoquant l'excitation des muscles et des nerfs ;

II.3.1.1.1 Secousse électrique : Résultat de la contraction du muscle provoquée par une excitation unique et brève, produite suite à l'application d'un courant (continu ou alternatif 50Hz) à un muscle. Ceci peut entraîner des dangers secondaires tels que le réflexe de lâcher un outil, de saisir une chose qui peut représenter un danger pour la victime.

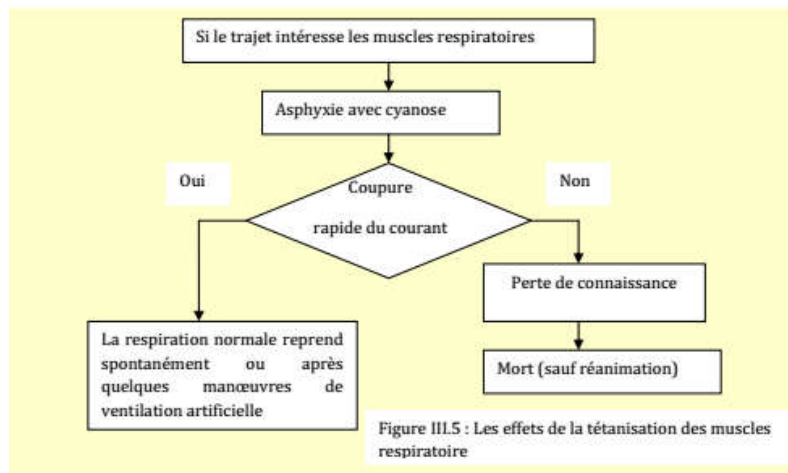
II.3.1.1.2 Contraction musculaire : Si l'on interrompt rythmiquement le passage du courant continu dans un muscle, on observe une série de secousses successives qui se rapprochent quand la fréquence des interruptions s'élève.

Lorsque le muscle n'a plus le temps de se décontracter (par exemple avec du courant de 50 Hz), c'est le phénomène de contracture.

Selon que le trajet du courant intéresse les muscles Fléchisseurs (Avant- bras) ou extenseurs (Bras), nous aurons des conséquences différentes.

II.3.1.1.3 Tétanisation des muscles respiratoire : La tétanisation ne peut s'observer que lorsque le trajet du courant intéresse les muscles respiratoire (intercostaux, pectoraux et diaphragme).

L'organigramme de la figure II.3 schématise les effets de la tétanisation des muscles respiratoire.



II.3.1.1.4 Fibrillation ventriculaire :

Peut s'observer lorsque le trajet du courant passe par le muscle cardiaque. C'est une désorganisation du parfait synchronise de contractions des fibres musculaires (myocarde) qui assure le fonctionnement du cœur.

Dans la fibrillation ventriculaire, chaque fibre se contracte pour son propre compte, ce qui aboutit à une inefficacité totale, donc l'équivalent d'un arrêt circulatoire et à des lésions anoxiques en aval, plus particulièrement au niveau du cerveau (extrêmement sensible au manque d'oxygène). Des lésions irréversibles apparaissent si la durée de l'anoxie (diminution ou la suppression de l'oxygène dans le sang) atteint ou dépasse 3 minutes environ. L'organigramme de la figure II.4 schématise les effets de la fibrillation ventriculaire.

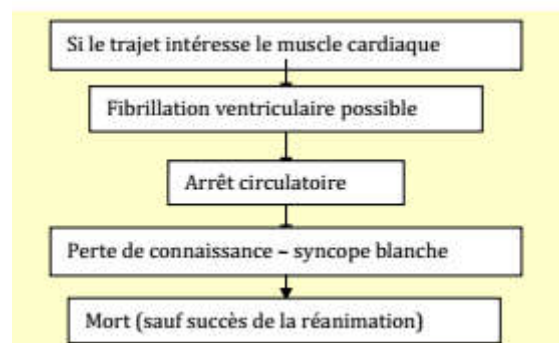


Figure.4 Les effets de fibrillation ventriculaire

II.3.1.2 Inhibition des centres nerveux :

Ne peut avoir lieu que si un courant très important passe par **le bulbe rachidien**, ce qui est très rare.

L'organigramme de la figure II.5 schématise les effets de l'inhibition des centres nerveux.

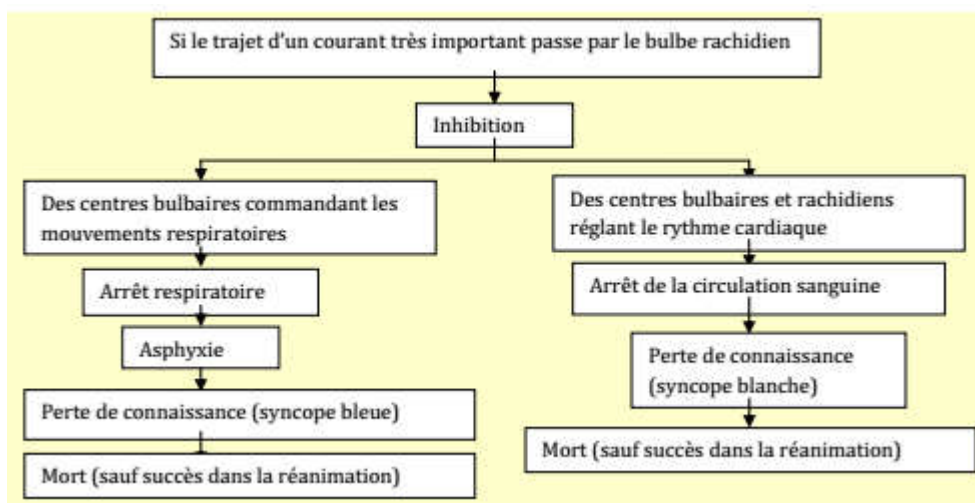


Figure.5 Les effets de l'inhibition des centres nerveux

II.3.1. 3 Effets thermique

II.3.1. 3.1 Brulures électrothermiques :

Sont provoquées par l'énergie dissipée par effet joule tout le long du trajet du courant.

Ces brûlures aboutissent à des nécroses (mort d'une cellule ou mortification) internes situées plus particulièrement au niveau des muscles, il en résulte ainsi le blocage des reins qui n'arrivent pas à éliminer les grandes quantités de myoglobine et d'hémoglobine (pigment de globule rouge assurant le transfert de l'oxygène et du CO₂ entre l'appareil respiratoire et les cellules de l'organisme) qui les envahissent après avoir quitté les muscles atteints.

III.3.1.3.2 Brulures par arc :

Sont des brûlures thermiques dues à l'intense chaleur dégagée par effet joule, au cours de la production de l'arc électrique. Elles sont superficielles (cutanées) localisées aux parties découvertes (face, mains).

II .2. Paramètres influents sur les effets du courant électrique

Différents facteurs influent sur la sensibilité et les effets du passage du courant électrique dans le corps humain. Ce sont les caractères propres à l'individu, la nature et la durée du passage du courant et les conditions de contact que l'on peut spécifier comme suit :

- l'intensité du courant,
- l'impédance du corps humain,
- la tension du courant,
- la fréquence du courant,
- le temps de contact,
- le trajet du contact.

A cela s'ajoute :

- l'âge de la personne,
- son poids,
- son sexe,
- ses caractéristiques physiologiques personnelles

Selon le Dr. FOLLIOT, la quantité d'énergie traversant le corps se traduit par l'équation (I.1) du risque électrique :

$$W = U_c I_c t \quad \dots\dots\dots (II.1)$$

Où, W est la quantité d'énergie (joule)

U_c est la tension de contact (V)

I_c est le courant qui circule dans le corps humain (A)

t le temps de contact (s)

ou

$$W = R I_c^2 \quad \dots\dots\dots (II.2)$$

Où R est la résistance du corps humain (Ω)

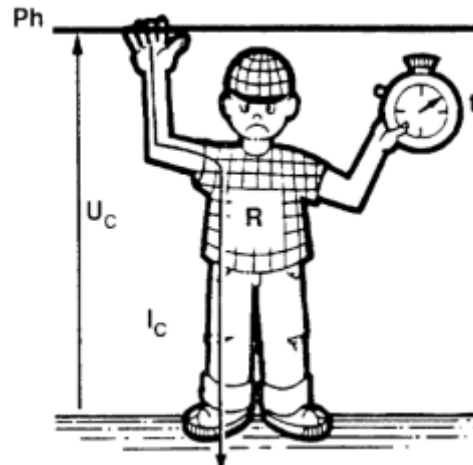


Figure I. 3 : Illustration des quatre paramètres influant directement sur le niveau des risques

Les résultats d'expérience de chercheurs à travers le monde ont permis à la **commission électrotechnique internationale (C.E.I.)** d'établir les courbes précisant, en fonction du temps, les zones correspondant aux différents effets **physiopathologiques** résultant du passage du courant et, en particulier, indiquant les seuils de courant dangereux. Les courbes ci-dessous, issues de la norme CEI 479, illustrent la relation $t=f(I_c)$ et déterminent quatre zones.

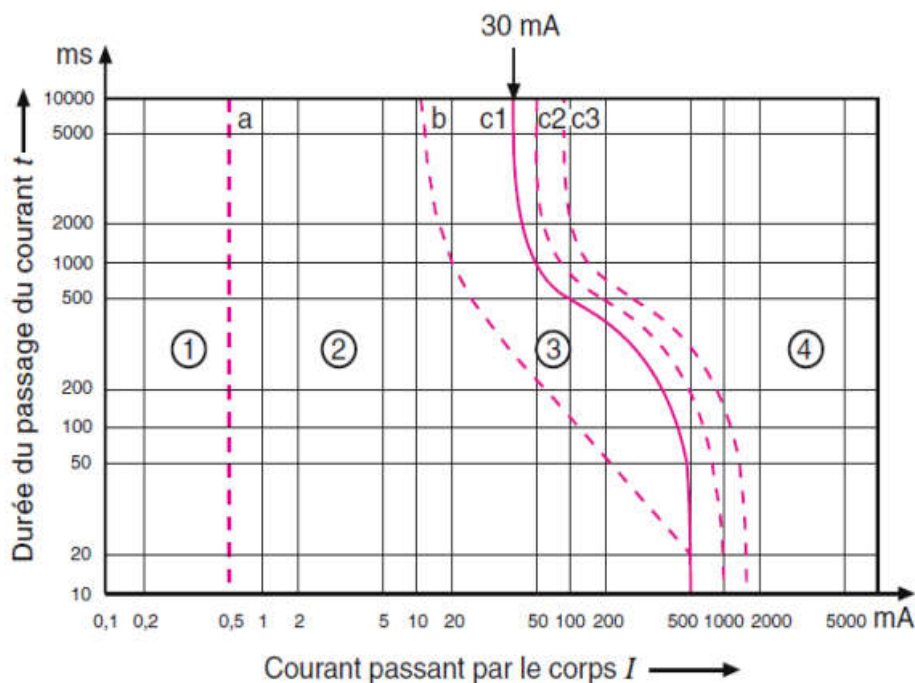


Figure II.4 : Courbes, issues de la norme CEI 479, illustrant la relation $t=f(I_c)$

Zone 1 : Le courant de choc est inférieur au seuil de perception ($I_c < 0,5 \text{ mA}$). Il n'y a pas de perception du passage du courant dans le corps : aucun risque.

Zone 2 : Le courant est perçu sans réaction de la personne : habituellement, aucun effet physiologique dangereux.

Zone 3 : Le courant provoque une réaction : la personne ne peut plus lâcher l'appareil en défaut. Le courant doit être coupé par un tiers afin de mettre la personne hors de danger : habituellement sans dommage organique, mais probabilité de contractions musculaires et de difficultés respiratoires.

Zone 4 : En plus des effets de la zone 3, la fibrillation ventriculaire augmente de 5% des cas pour la courbe C2, 50 % des cas pour la courbe C3, et plus de 50% au-delà de cette dernière courbe, d'où des effets pathophysiologiques importants tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves.

IV.1.2 Résistance du corps humain

La résistance du corps n'est pas une constante ; elle varie, pour un même individu, en fonction de facteurs physiques et biophysiques, tout en distinguant entre la résistance du corps lui-même et la résistance cutanée. La figure II.5 est une modélisation de la résistance du corps humain.

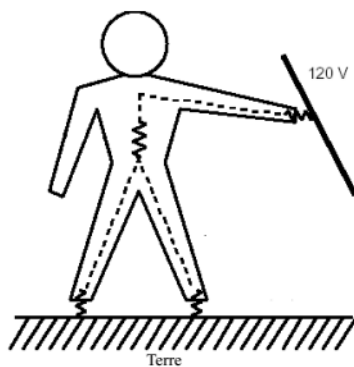


Figure II.5 : Modélisation de la résistance du corps humain.

➤ La résistance propre du corps varie en fonction de la distance des deux points de contact. Elle est d'environ :

- 750 Ω pour un contact main- pied,

- 500 Ω pour un contact main - main.

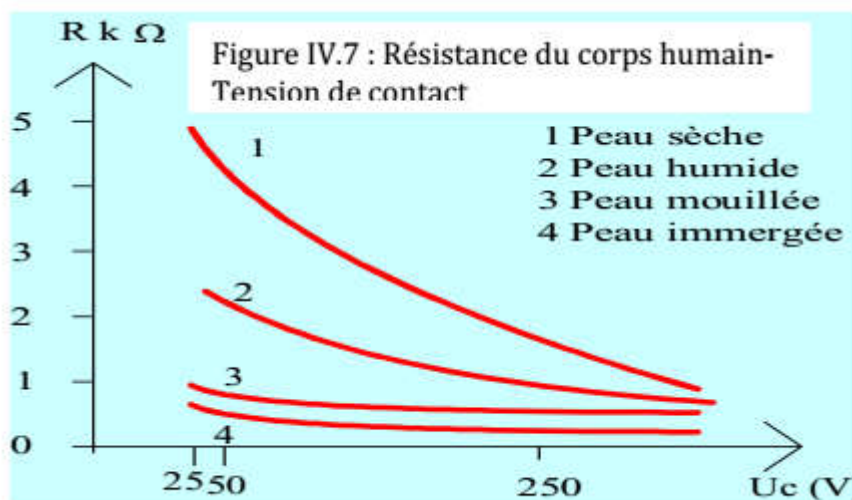
La résistance propre du corps diminue à mesure que les deux points de contact deviennent proches. Elle tend à devenir négligeable devant **la résistance de la peau** qui intervient alors seule lorsque les deux points sont très proches.

La résistance cutanée (résistance de la peau) est fonction de plusieurs facteurs. Elle dépend de :

- l'état de revêtement de la surface de contact,
- la surface de contact,
- la pression de contact,
- l'état d'hydratation,
- la durée de contact
- la tension de contact du courant.

La résistance cutanée augmente avec l'épaisseur de la couche cornée et diminue avec la surface de contact, la pression, l'hydratation, la durée et la tension. La résistance du corps humain varie suivant que la peau est sèche ou humide, mouillée ou immergée. La valeur minimale de la résistance du corps humain est 325 Ω lorsque le corps est immergé, par exemple dans des salles de bains ou des piscines.

La figure (II.6) donne les courbes donnant la relation $R = f(U_c)$ entre la résistance du corps humain et la tension de contact. 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 $R = f(U_c)$.

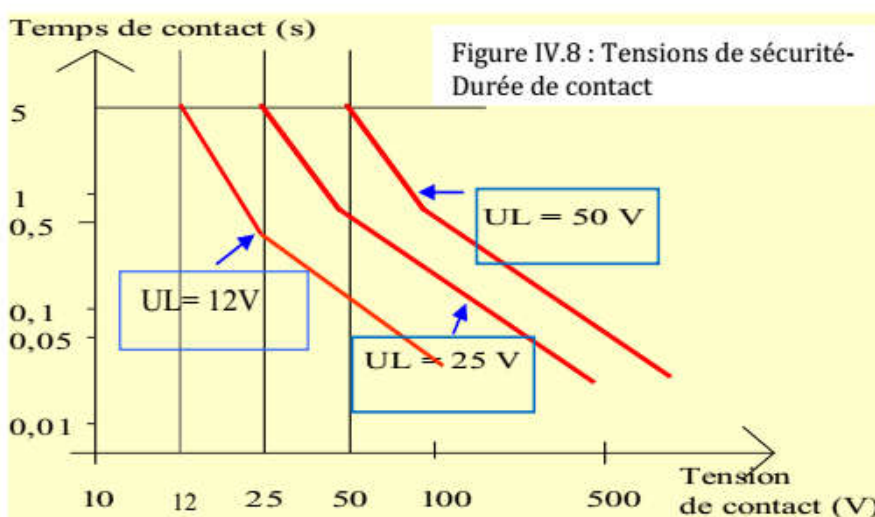


II.1.3 La tension du courant

Lorsque la tension s'élève, le pouvoir protecteur de la peau diminue. La peau se comporte telle une enveloppe diélectrique à partir de 1500 V et la résistance de l'organisme se réduit à 500Ω. Ceci aggrave la genèse des brûlures électrothermiques en raison de l'augmentation de la quantité de chaleur dégagée avec l'élévation de la tension.

Pour des conditions d'environnement relatives à l'humidité et de la nature du courant, des tensions limites à ne pas dépasser à des temps maximum supportables par le corps humain, sont définis ;

La figure (II.7) résume les règles de sécurité qui sont prises en fonction de la tension alternative à supporter dans un cas donné ; les courbes de cette figure illustrent la relation $t = f(U_c)$.



Ces courbes permettent de définir, suivant la condition d'humidité, les tensions limites conventionnelles UL qui peuvent être maintenues sans danger sur les personnes, autrement dit, une tension de contact U_c inférieure à UL ne nécessite pas de coupure, mais par contre toute tension de contact supérieure à UL nécessite l'élimination du défaut dans un temps au plus égal à celui fixé par la courbe correspondante.

II.1.5 Temps de contact

L'augmentation du temps de contact affaiblit la résistance du corps humain, ce qui, en conséquence, augmente progressivement l'intensité du courant, et par la même accroît les conséquences.

La fibrillation ventriculaire varie en fonction de $\sqrt{t}$ (d'après la relation de Dalziel), alors

que la brûlure dépend de la quantité de chaleur dégagée dans l'organisme, qui est directement proportionnelle au temps de contact t .

IV.1.6 Trajet du courant dans l'organisme

Le trajet du courant dans le corps décide des conséquences de ce passage quant aux organes atteints. La fibrillation ventriculaire est déclenchée dès que les lignes de force du courant passent par le cœur. Les troubles sensoriels, essentiellement oculaires et auditifs, sont observés lorsque le trajet du courant dans l'organisme intéresse la tête. Il en est de même pour les phénomènes d'inhibition nerveuse qui ne se produisent que lorsque le trajet du courant intéresse les centres nerveux.