

***Sensibilisation
aux
risques électriques :***

2.1 Généralités

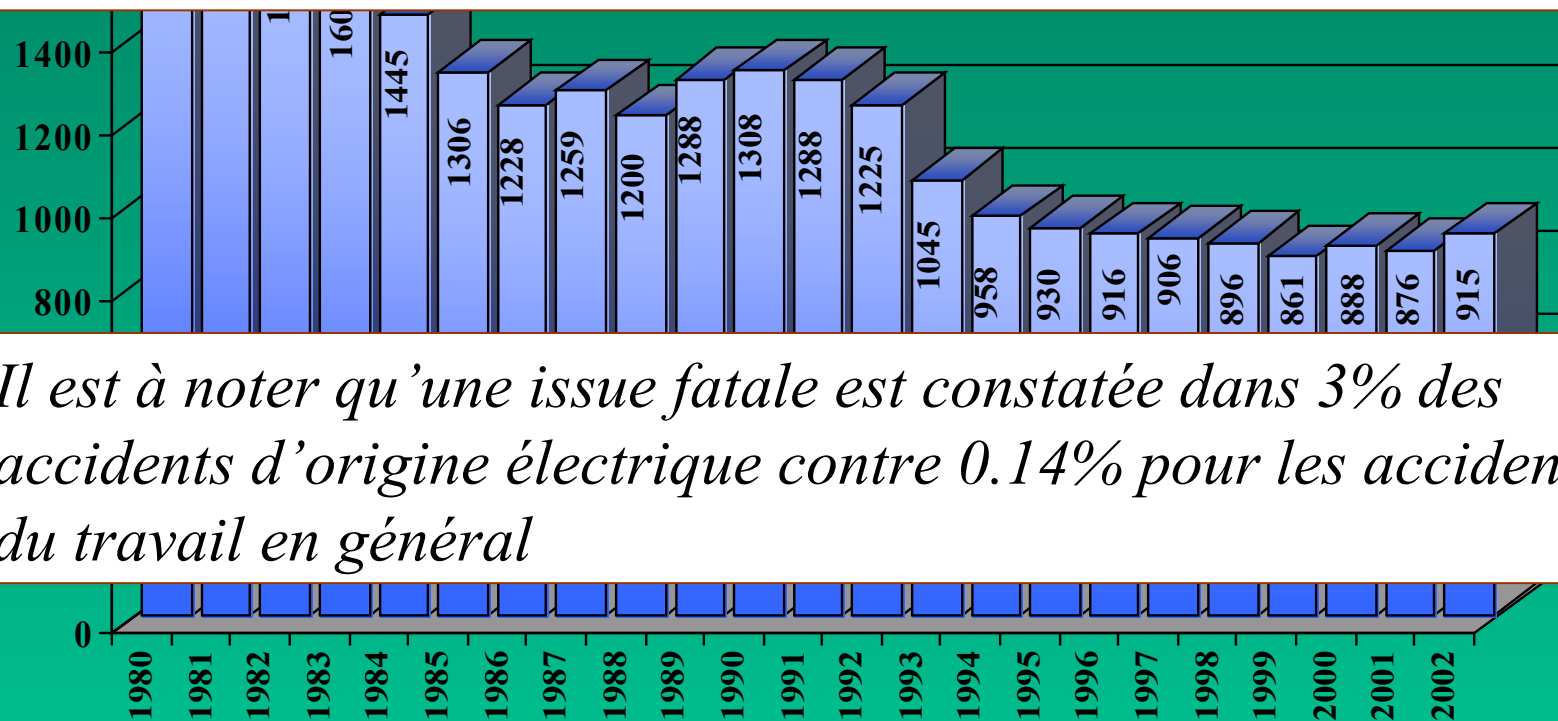
- L'électricité, la plus répandue des sources d'énergie, est devenue familière par son utilisation en milieu industriel ou domestique.
- L'électricité est par contre pour beaucoup de personnes une notion abstraite car elle est invisible.
- Les risques liés à une mauvaise utilisation sont par conséquent mal perçus, ce qui se traduit malheureusement par de nombreux accidents plus ou moins graves chez les personnes averties ou non de ces dangers.

2.2 Statistiques sur les accidents d'origine électrique en France.

Origine : Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés.

Accidents du travail d'origine électrique en France :

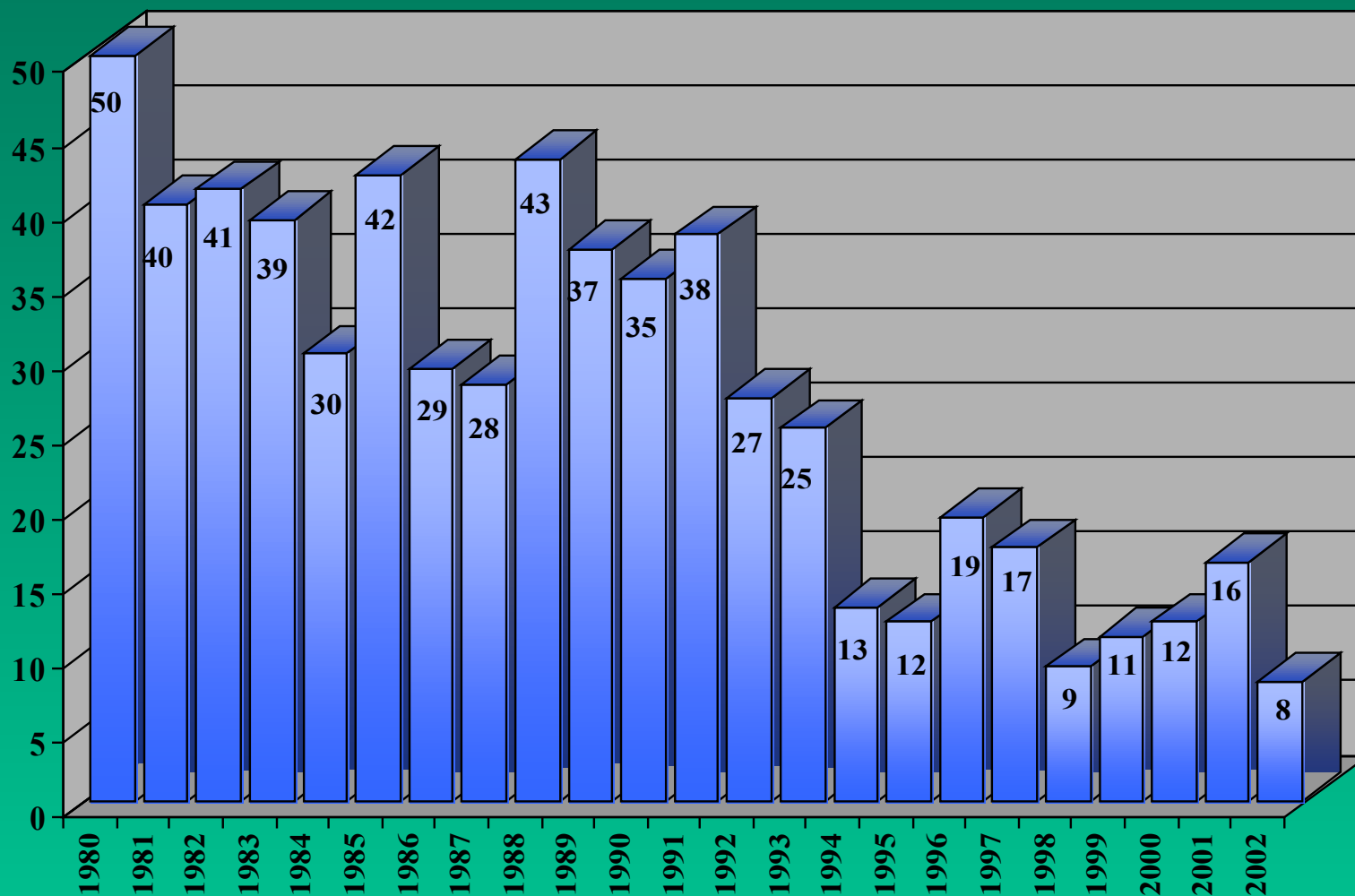
Les accidents d'origine électrique ne correspondent qu'à 0.2% des accidents du travail avec arrêt.



Il est à noter qu'une issue fatale est constatée dans 3% des accidents d'origine électrique contre 0.14% pour les accidents du travail en général

Origine : Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés.

Accidents du travail mortels d'origine électrique en France :



Origine : Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés.

Comparaisons élèves de l'enseignement technique, salariés de moins de 25 ans et l'ensemble des salariés.

Élèves Enseignement Technique				Salariés de moins de 25 ans			Ensemble des salariés		
Année	Nb de cotisants	A.T. avec arrêt	A.T. avec I.P.*	Nb de cotisants	A.T. avec arrêt	A.T. avec I.P.*	Nb de cotisants	A.T. avec arrêt	A.T. avec I.P.*
1988	1 211 459	893	309	1 650 202	172 120	8 394	13 751 683	690 187	68 590
1989	1 376 703	810	275	1 681 763	184 321	7 887	14 014 693	737 477	64 039
1990	1 510 613	777	284	1 729 624	187 791	8 005	14 413 533	760 992	67 233
1991	1 573 415	826	224	1 645 244	189 296	7 942	14 559 675	787 111	68 328
1992	1 581 382	897	238	1 631 765	174 011	7 057	14 440 402	750 058	61 998
1993	1 699 443	827	188	1 399 853	146 677	4 989	14 139 929	675 932	53 077
Moyenne	1 492 169	838	253	1 623 075	175 702	7 365	14 220 319	733 626	63 877
1 AT avec arrêt pour	1 780			9			19		
1 AT avec IP pour	5 897			220			222		

source CNAM

AT : Accident du travail IP : Incapacité permanente

Risque relatif d'accident avec arrêt par âge des salariés et par secteurs d'activité

Le risque relatif s'exprime par le rapport du pourcentage des accidents survenus dans une catégorie de population donnée au pourcentage de l'effectif salarié qu'elle représente.

Supérieur à **1** il traduit une sur-accidentabilité du groupe de population concerné par rapport à l'ensemble de la population étudiée et pour le risque considéré.

AGE	SERVICES	BTP	INDUSTRIE	ENSEMBLE
< 25 ans	2,10	1,45	2,35	2,03
25-49 ans	0,83	0,89	0,88	0,85
50 ans et plus	0,91	1,06	0,78	0,91

Élèves et étudiants de l'enseignement technique

<i>ANNÉE</i>	<i>A.T avec arrêt</i>	<i>Indice de taux d'accident avec arrêt en %</i>	<i>A.T avec I.P</i>	<i>Indice de taux d'accident avec I.P en %</i>	<i>Nb de Décès</i>
1987	814	1,07	232	3,19	4
1988	893	1,47	309	5,11	3
1989	810	1,12	275	4,37	4
1990	777	0,97	284	3,99	2
1991	826	0,82	224	2,55	2
1992	897	1,09	238	3,5	2
1994	787	0,99	193	2,6	3

2.3 Différents risques d'accidents d'origine électrique.

- 2.3.1 Généralités

Les sources de courants :

Courant continu

- les piles.
- les batteries d'accumulateur.
- les redresseurs.
- les machines tournantes (génératrice).

Courant alternatif

- alternateurs.
- onduleurs.

Quelle que soit la source il existe un danger.

Cas particulier de la distribution électrique :

Schéma de Liaison à la Terre : TT

- Le neutre est relié à la terre. La terre est très bonne conductrice du courant électrique du fait de son humidité et des minéraux qu'elle contient, sa résistance est faible.
- Le potentiel de la terre est partout présent : terre battue à l'extérieur, sol en béton armé dans les bâtiments, charpente métallique, éléments conducteurs reliés intentionnellement ou de fait au potentiel de la terre.
- Le corps humain est donc fréquemment en contact avec le potentiel de la terre ; c'est pour cela qu'il est important de contrôler l'apparition sur certains éléments conducteurs accessibles d'un potentiel différent de celui de la terre.
- TENSION DE CONTACT : Différence de potentiel apparaissant lors d'un défaut d'isolement entre des parties simultanément accessibles. (décret N°88-1056 ED123 p 20)

2.3.2 Accidents d'origine électrique

Les accidents d'origine électrique ont pour principaux effets :

L'électrisation : c'est la réaction du corps humain due à un contact accidentel avec l'électricité.

L'électrocution : c'est une électrisation qui entraîne la mort.

Les brûlures par arcs et projection.

Les chutes, conséquences d'une électrisation.

L'électricité peut aussi être à l'origine d'incendie ou d'explosion.

60% des lésions sont des brûlures.

6% de lésions internes.

Les mains et la tête sont le plus touchés.

Les schémas de liaison à la terre

LE SCHÉMA T T

Diaporama réalisé par S. Cuny, IUFM de Lorraine

SOMMAIRE

- Les différents schémas.
- Le schéma T T.
 - Calcul de la tension de contact.
 - Temps maximum de coupure.
 - Avantages et inconvénients du schéma T T.

LES DIFFÉRENTS SCHÉMAS

Il existe trois principaux schémas de liaison à la terre :

- **TT**

La première lettre renseigne sur la position du neutre du transformateur par rapport à la terre.

- **TN**

- **IT**

La deuxième lettre renseigne sur la position des masses métalliques par rapport à la terre.

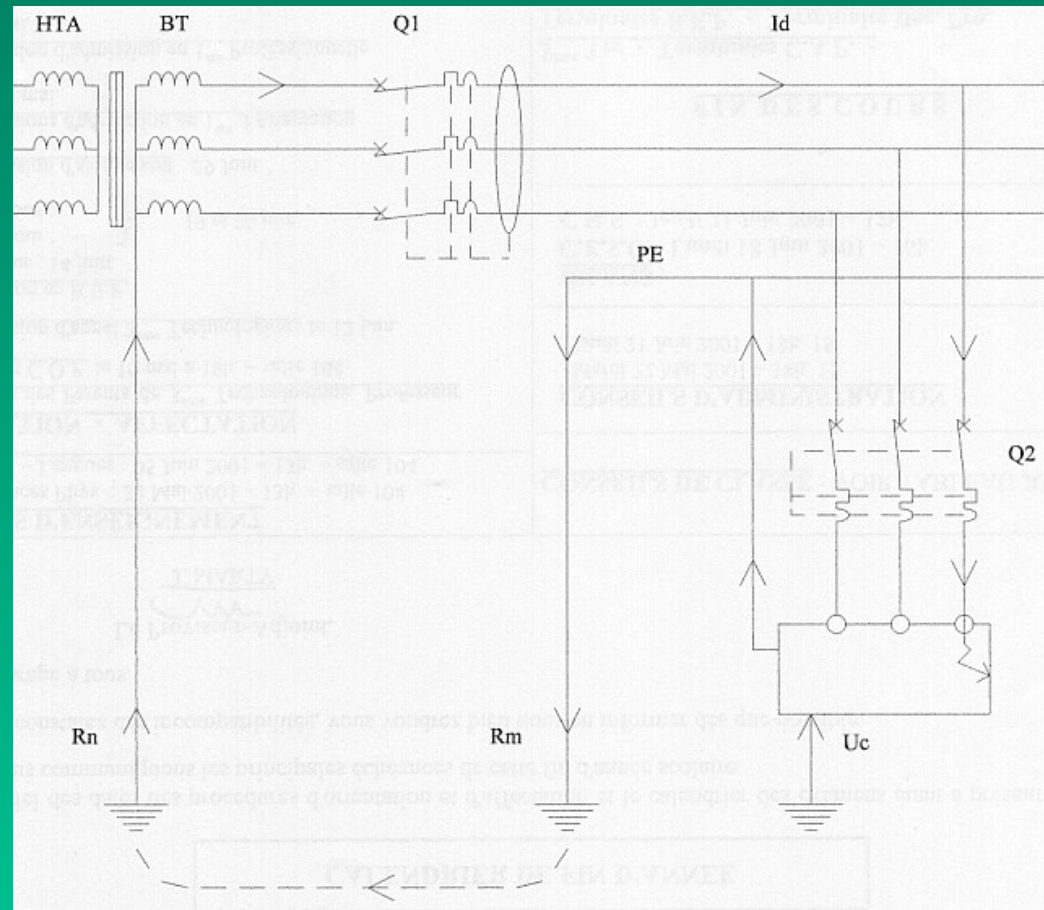
Nous allons, par la suite, développer le schéma TT.

LE SCHÉMA T T

Voici le chemin du **courant de défaut (I_d)** sur une installation TT :

I_d est un courant assez faible car il est limité par les résistances des prises de terre.

Ce défaut porte la carcasse à un potentiel par rapport à la terre souvent élevé donc dangereux pour une personne, on la nomme **tension de contact (U_c)**.



CALCUL DE LA TENSION DE CONTACT

Pour les calculs, on prendra les valeurs :

$$V = 230 \text{ V}, \quad R_m = 80 \, \Omega, \quad R_n = 30 \, \Omega$$

On considérera que le défaut est survenu dans un local sec ($U_L \leq 50 \text{ V}$).

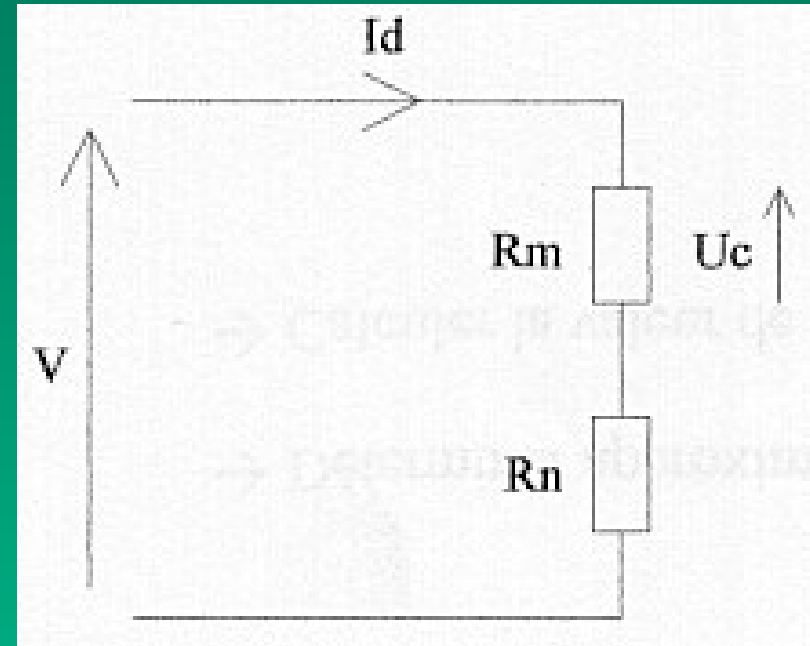
Pour le calcul de U_c , nous utiliserons le pont diviseur de tension :

$$U_c = (R_m / (R_m + R_n)) \times V$$

$$U_c = (80 / (80 + 30)) \times 230 = 167 \text{ V}$$

C'est une **tension dangereuse** car : $U_c > U_L \rightarrow 167 \text{ V} > 50 \text{ V}$.

On remarque que, plus la valeur de la prise de terre des masses est importante, plus la tension de contact sera grande : il faut donc rendre la valeur de la prise de terre des masses la plus faible possible.



TEMPS MAXIMUM DE COUPURE

Nous allons, à présent, déterminer le temps maximum que l'appareil de protection ne doit pas dépasser pour réagir sans mettre en danger la personne.

Voici un tableau donnant le temps de coupure maximal du dispositif de protection en fonction de la valeur de la tension de contact pour un défaut se situant dans un local où la valeur de la tension limite est 50 V.

tension de contact présumée (V)	temps de coupure maximal du dispositif de protection (s)	
	courant alternatif	courant continu
< 50	5	5
50	5	5
75	0,60	5
90	0,45	5
120	0,34	5
150	0,27	1
220	0,17	0,40
280	0,12	0,30
350	0,08	0,20
500	0,04	0,10

D'après le tableau, l'alimentation devra être interrompue en un temps inférieur ou égal à **0,17 s**.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU SCHÉMA T T

Avantages :

- Peu de calculs pour la mise en œuvre.
- Ne nécessite aucune personne qualifiée.
- Idéal pour les mauvaises valeurs de prises de terre.
- Extension d'installation simple à réaliser.

Inconvénients :

- Pas de continuité de service lors d'un défaut d'isolement.
- Dispositif différentiel parfois coûteux (surtout les Hautes Sensibilités).
- Limité aux installations ayant peu de courant de fuites (phase-terre).

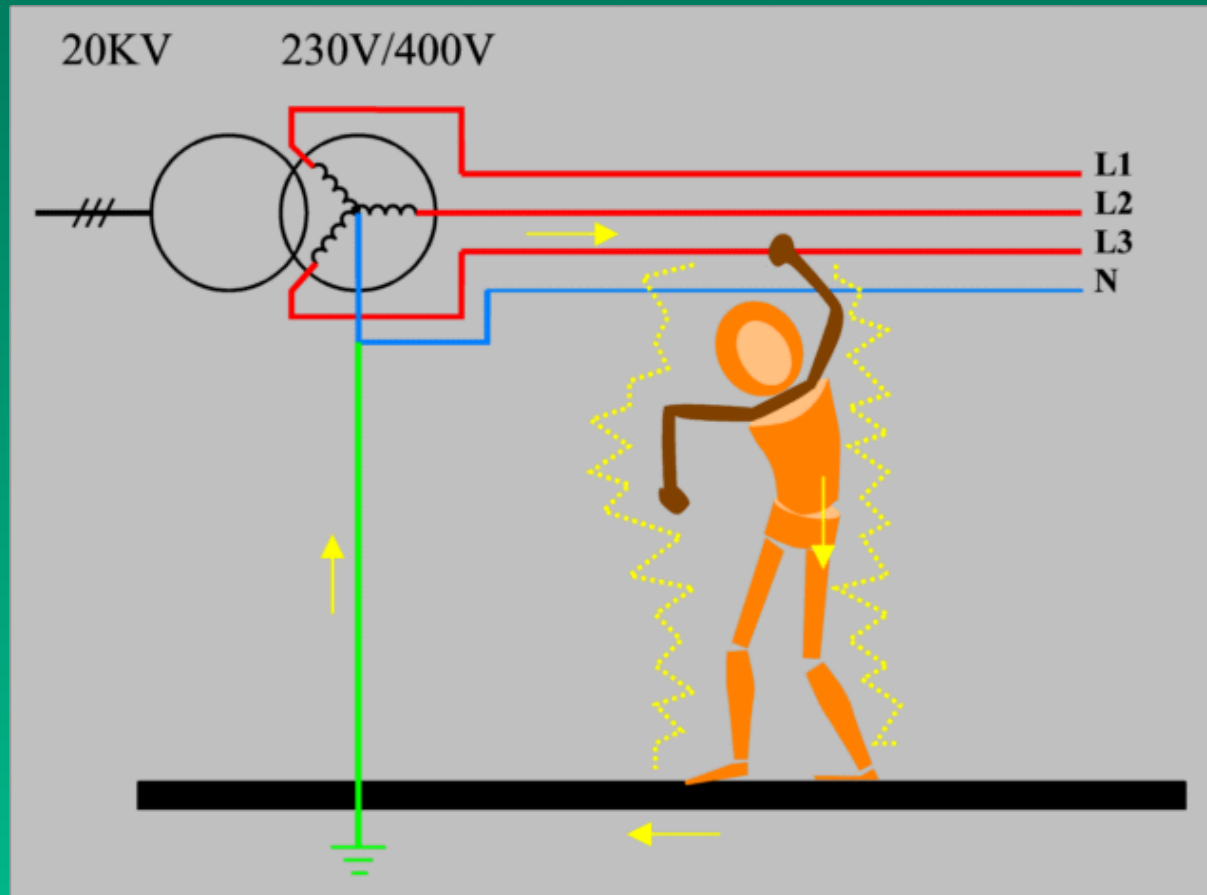
2.3.3 Causes d'accident

- L'origine de l'accident dépend des types de contact entre la personne et l'élément sous tension.

Ces types de contact sont de deux sortes :

- Contact direct : contact de personne avec une partie active d'un circuit électrique.
- Contact indirect : contact de personnes avec une masse mise accidentellement sous tension à la suite d'un défaut d'isolement.

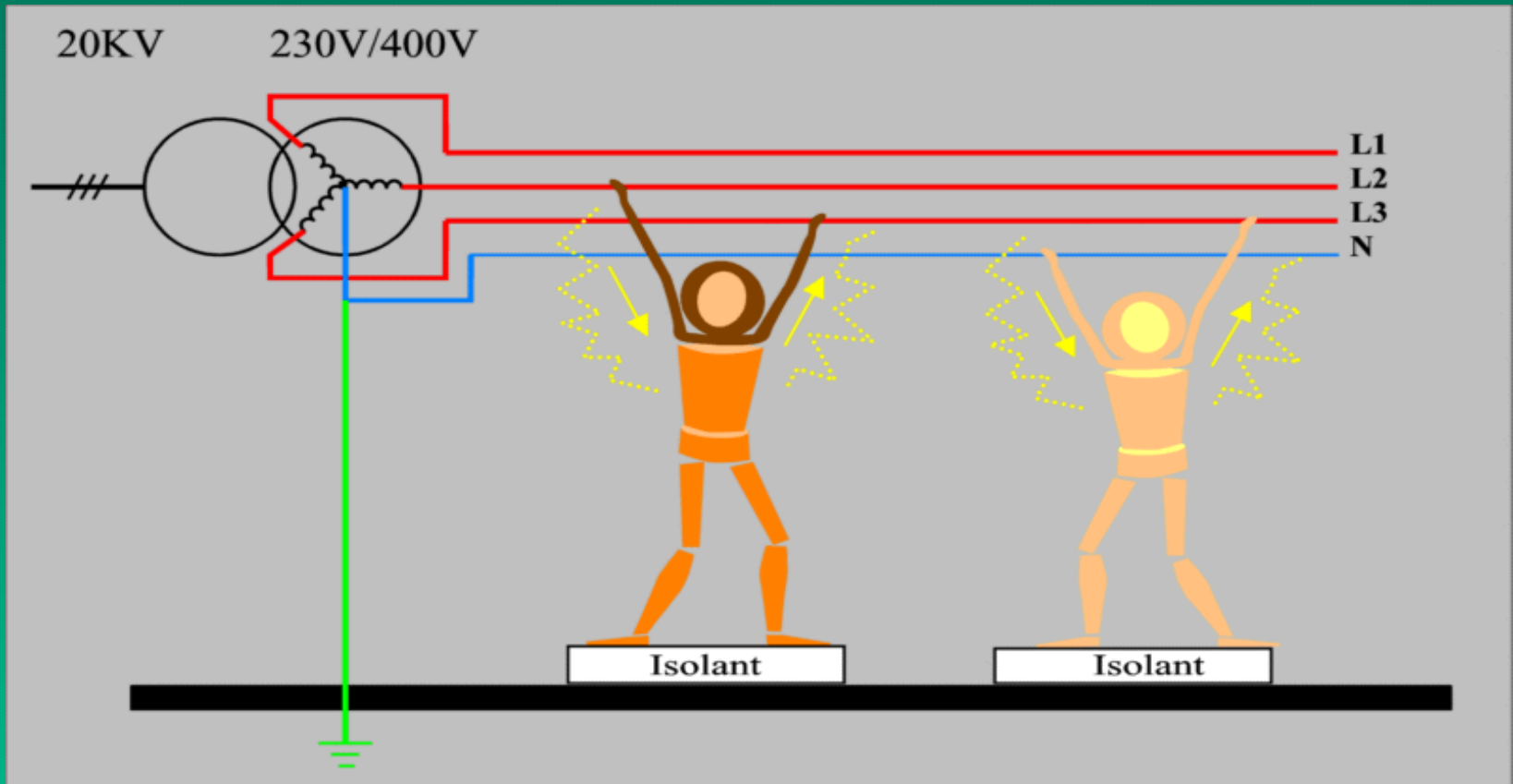
Contact direct :



Contact entre une partie active sous tension et un élément conducteur relié à la terre.

TRÈS FRÉQUENT

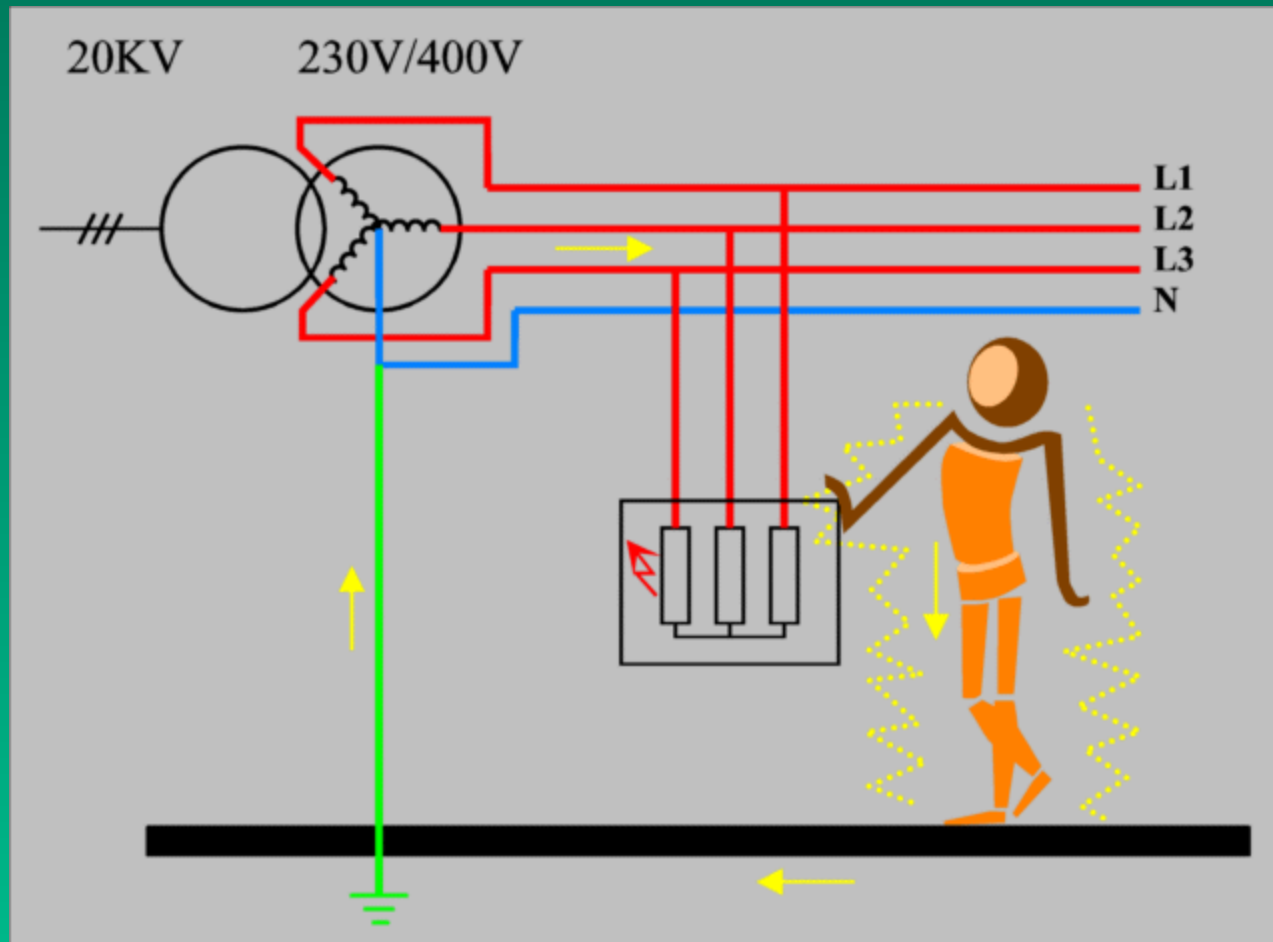
Contact direct :



Contact entre une partie active sous tension et une autre partie active sous tension.

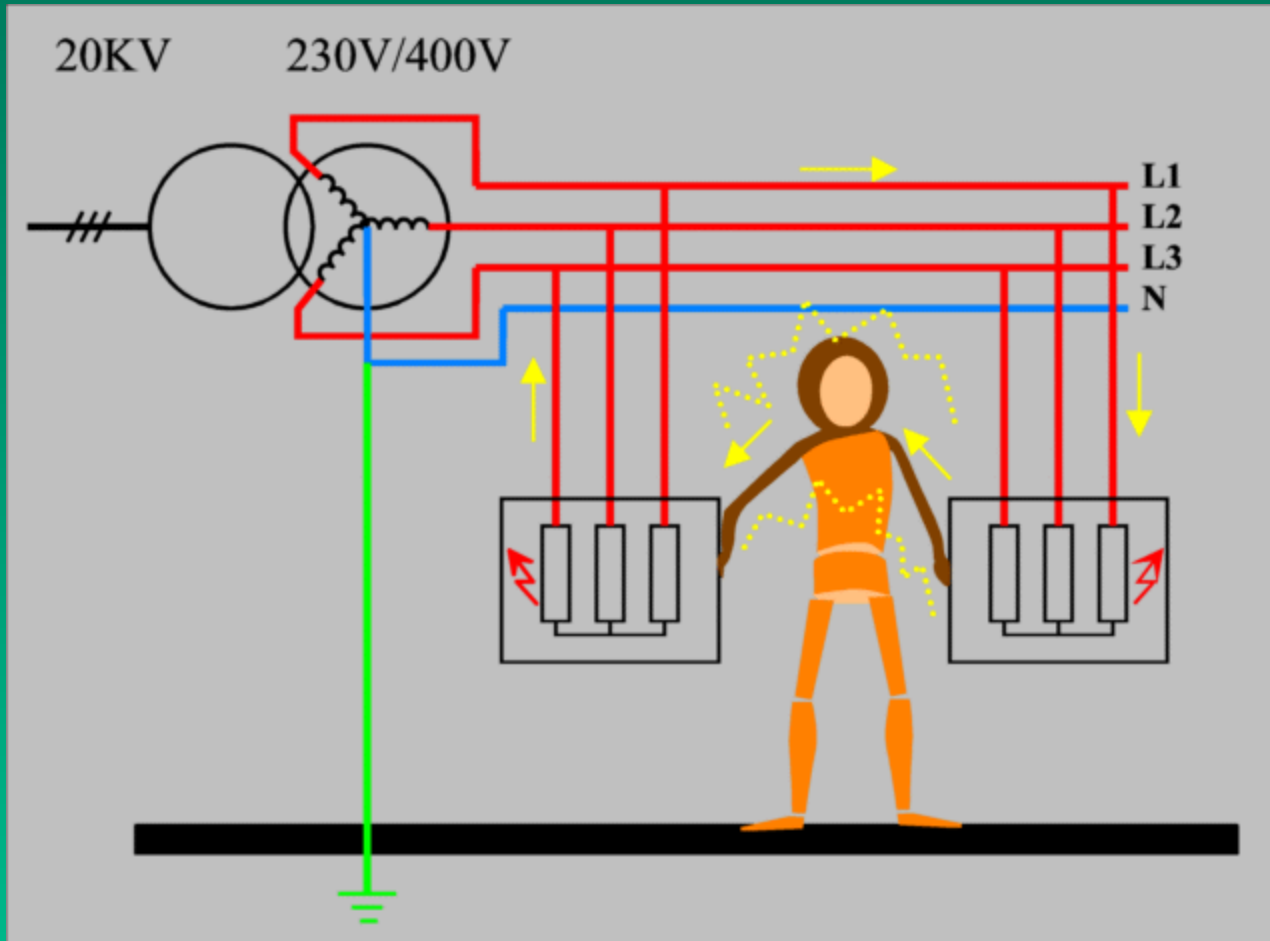
FRÉQUENT

Contact indirect



Contact entre une masse mise accidentellement sous tension
et un élément conducteur relié à la terre.
RELATIVEMENT FRÉQUENT

Contact indirect



Contact entre une masse mise accidentellement sous tension
et une autre masse mise accidentellement sous tension.
TRÈS RARE

2.3.4 Origine des risques :

Les risques sont différents suivant :

- Les caractéristiques du courant,**
- Les conditions d'humidité, le temps de passage,**
- Le trajet du courant dans le corps,**
- L'état physiologique de la personne.**

2.3.4.1 Rôle de la tension :

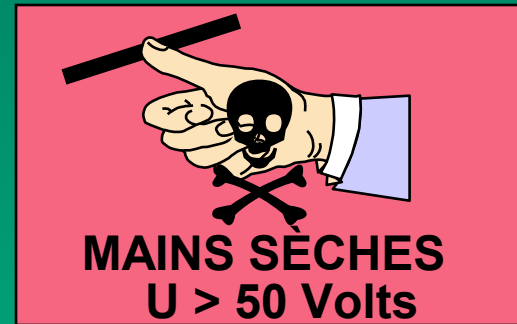
- Le début du processus d'électrisation n'est perceptible qu'à partir d'une certaine valeur de tension. Un contact entre deux bornes d'une batterie de voiture (12 ou 24 V) n'occasionne aucune sensation au niveau du corps humain. Par contre, un même contact aux bornes d'une prise de courant (230 V) se traduira par une sensation douloureuse, voire un coma.
- En fait, notre corps est protégé par la peau, qui représente une barrière physiologique s'opposant aux sensations de l'électricité.
- L'augmentation de la tension appliquée au niveau de la peau entraîne la perforation de celle-ci.

Tension limite conventionnelle de contact

Valeur maximale de la tension de contact qu'il est admis de pouvoir maintenir indéfiniment dans des conditions spécifiées d'influences externes. (décret N° 88-1056 ED123 p 20)

Condition BB1 :

Tension limite conventionnelle
de contact : 50 V



Condition BB2 :

Tension limite conventionnelle
de contact : 25 V



Condition BB3 :

La tension limite conventionnelle de contact n'est pas définie.
L'alimentation de l'installation est réalisée en TBTS (12 V).

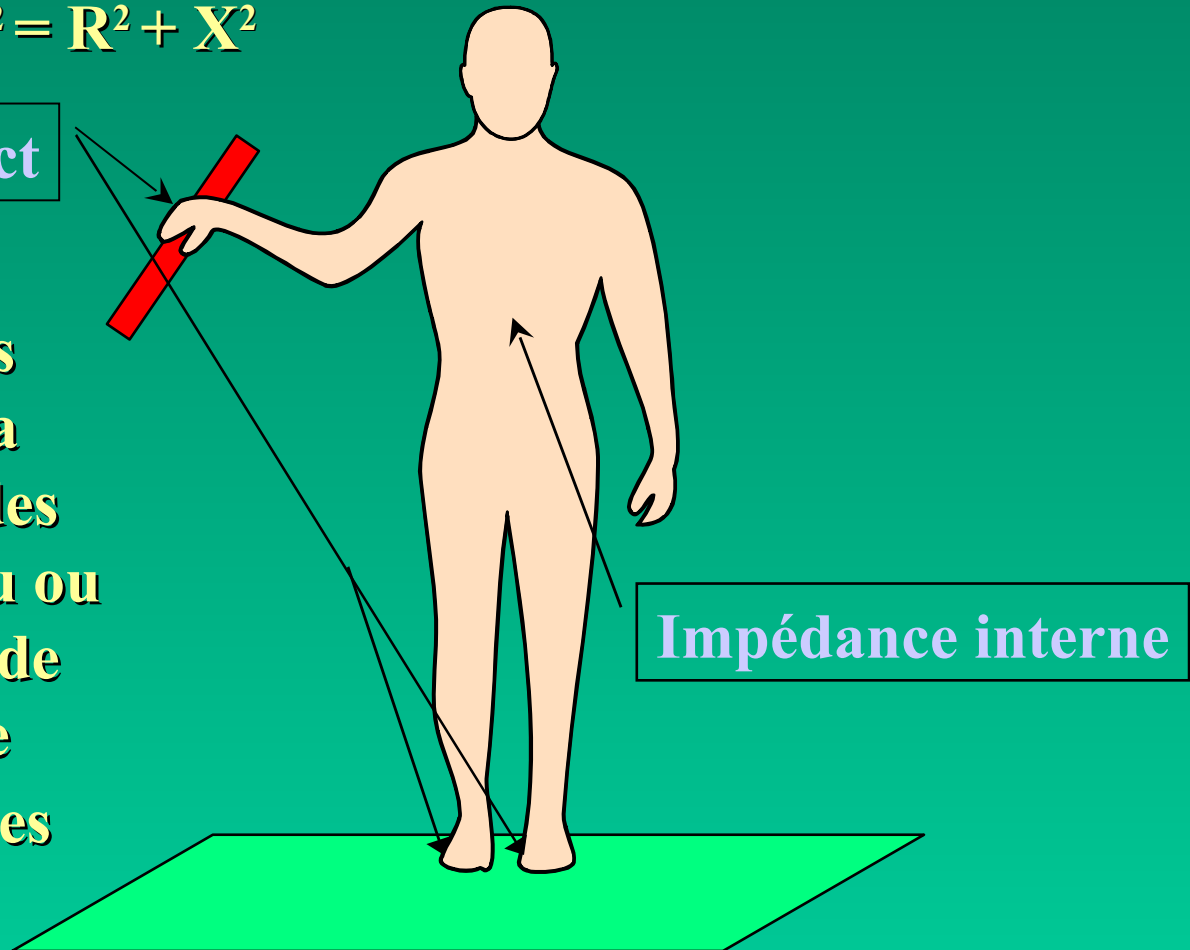
2.3.4.2 Impédance du corps humain

- Les tissus du corps humain peuvent être représentés par une succession de résistances R et de réactances X , le tout constituant une impédance Z :

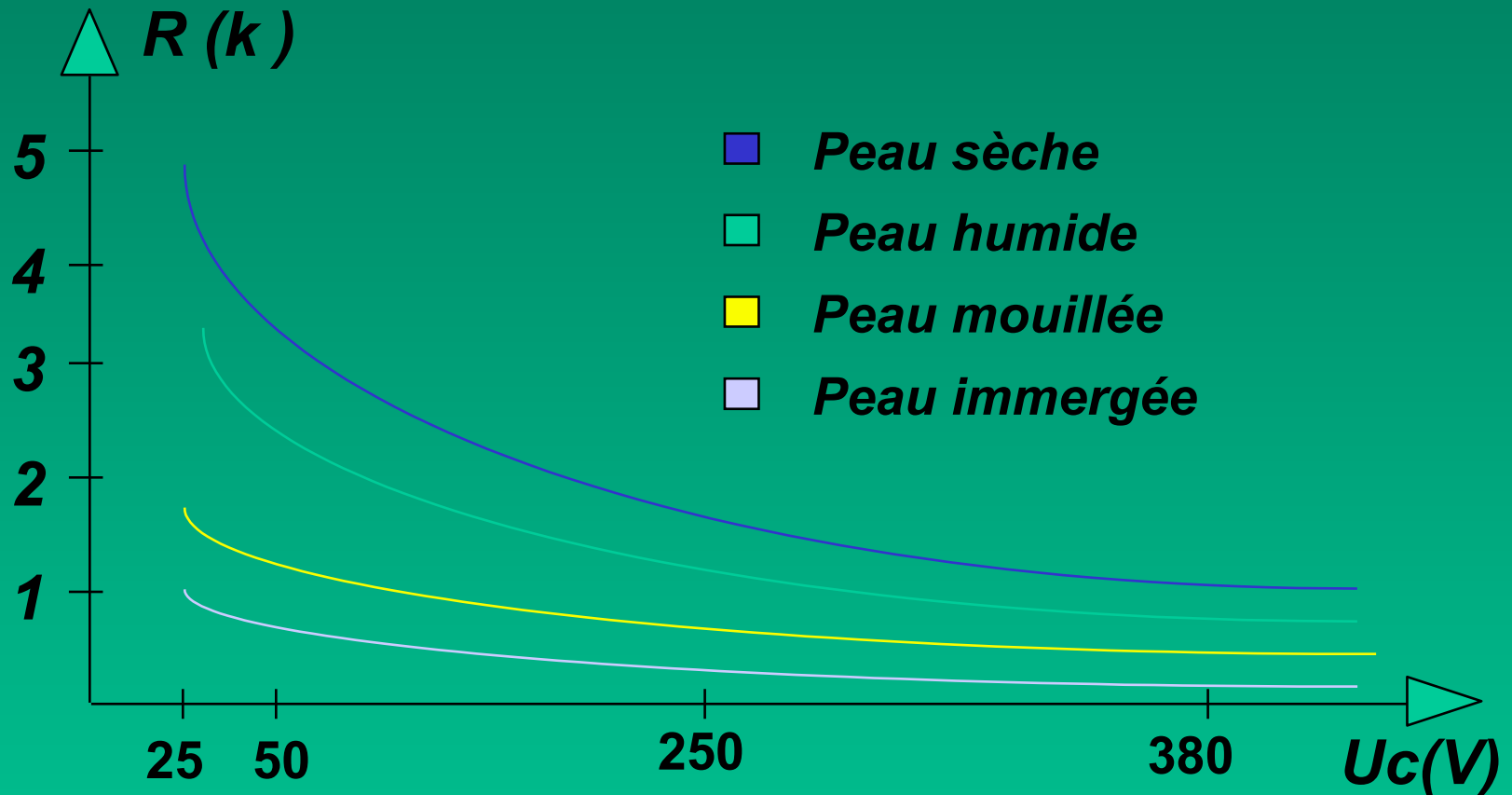
$$L'impédance : Z^2 = R^2 + X^2$$

Impédance de contact

L'impédance du corps humain Z résulte de la somme géométrique des impédances de la peau ou muqueuse aux points de contact Z_{p1} et Z_{p2} et de l'impédance interne des tissus Z_i .



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 norme NFC 15-100 de 1977

Valeurs moyenne de la résistance du corps humain en fonction de la tension de contact et des différentes conditions d'humidité de la peau

Tension de contact (V)	Résistance (ohms)		
	BB1	BB2	BB3
25	1725	925	500
50	1625	825	440
110	1535	730	400
220	1375	660	350
350	1365	565	325
500	1360	560	325

Noter : La résistance totale du corps humain décroît rapidement lorsque le courant augmente.

2.3.4.3 Rôle de l'intensité

L'intensité est déterminée par la tension et l'impédance du corps humain.

- Effets physiques (brûlures)**
- Effets sur les muscles**
- Effets sur le cœur**
- Effets sur le système nerveux**

Brûlures par arc

Les brûlures par arc sont dues à l'intense chaleur dégagée par effet Joule au cours de la production de l'arc électrique ainsi qu'aux projections de particules métalliques en fusion. Ce sont les plus fréquentes tant en basse tension, qu'en haute tension.

En basse tension elles sont localisées aux parties découvertes (mains et faces).

Les arcs peuvent entraîner également des conjonctivites, des brûlures cornéennes.

Brûlures électrothermiques

Les brûlures électrothermiques sont provoquées par l'énergie dissipée par effet Joule tout le long du trajet du courant.

Ces brûlures sont toujours plus étendues qu'elles n'apparaissent lors d'un premier examen, car aux brûlures superficielles s'associent des brûlures profondes, le long du trajet du courant, et en particulier au niveau des masses musculaires.

Dans les heures qui suivent ce type de brûlure, un blocage temporaire des reins (parfois mortel) peut apparaître dû à de la libération dans le sang de myoglobine, libération causée par la brûlure des tissus musculaires internes.

Effets sur les muscles

L'intensité est déterminée par la valeur de la tension de contact et l'impédance du corps humain.

Pour ce qui nous concerne, on distingue, au niveau du corps humain :

- **les muscles moteurs commandés par le cerveau (cas des muscles des membres)**
- **les muscles auto réflexes qui fonctionnent automatiquement, tels la cage thoracique et le cœur.**

Muscles moteurs

Les muscles assurent par leur contractibilité et leur élasticité les mouvements du corps. Les *muscles antagonistes* par leurs actions opposées permettent la flexion et l'extension des membres. C'est le cas du biceps et du triceps du bras.

- Le cerveau ne contrôle plus les muscles parcourus par un courant électrique, ce qui a pour effet de provoquer de violentes contractions.
- Ces conditions, générant des mouvements intempestifs, se traduisent par le non lâcher de la pièce, objet de contact, ou par répulsion, compte tenu de la nature du muscle sollicité (fléchisseur ou extenseur).

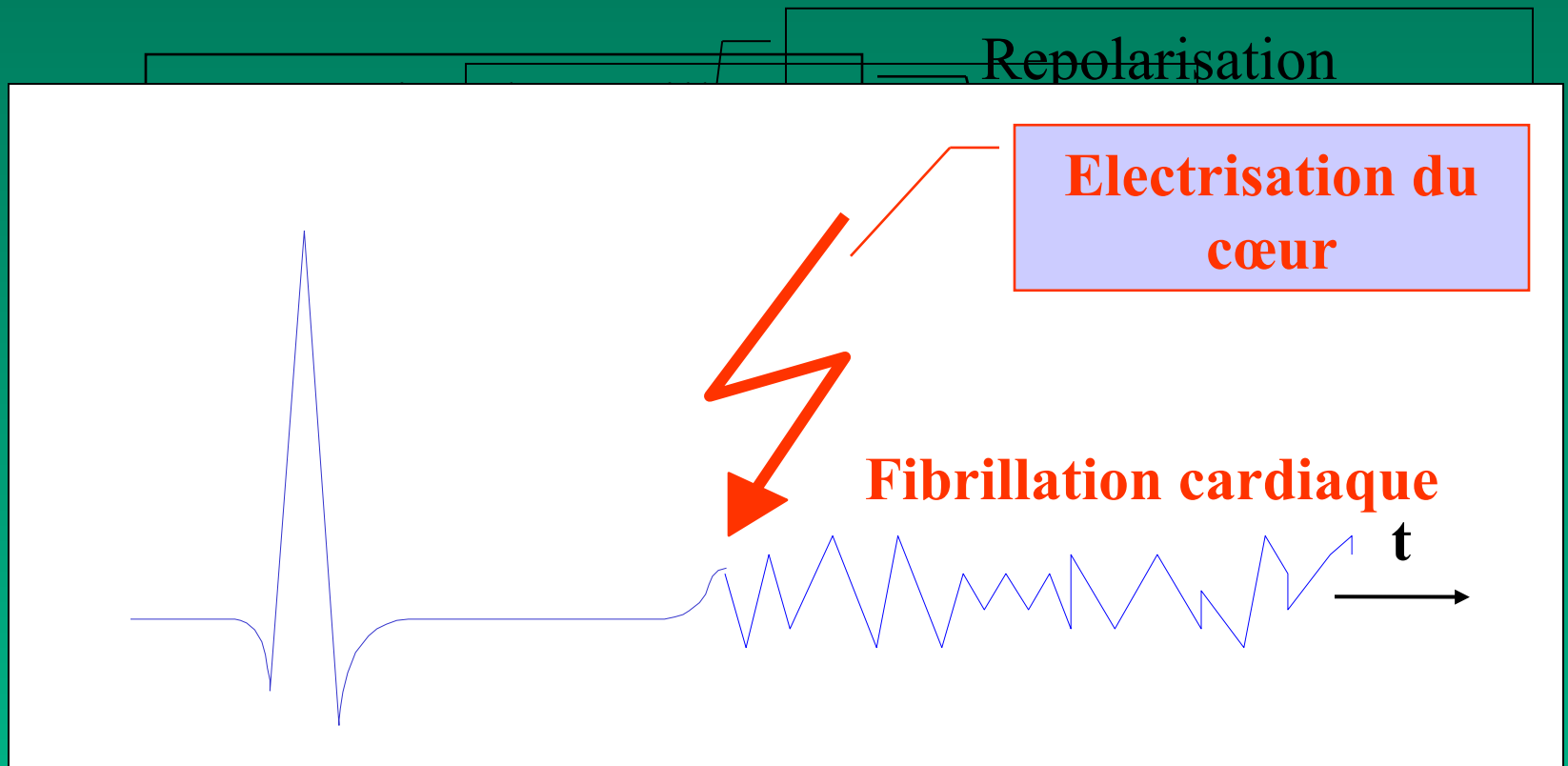
Muscles cages thoracique

La cage thoracique fonctionne automatiquement sous le contrôle du cervelet qui commande les nombreux muscles concernés par la fonction respiratoire (diaphragme notamment).

L'asphyxie d'origine respiratoire peut donc être due à l'action du courant électrique au niveau :

- des muscles thoraciques provoquant la **tétanisation**,
- du cervelet entraînant l'arrêt respiratoire pur et simple.

Cycle cardiaque et fibrillation



Le *cœur* possède ses propres systèmes de commande automatique. C'est durant la phase de repolarisation ventriculaire que le cœur est le plus vulnérable

Cycle cardiaque et fibrillation (suite)

Le seuil de fibrillation ventriculaire dépend :

- **des paramètres physiologiques (anatomie du corps, état des fonctions cardiaques, etc.)**
- **des paramètres électriques (durée et parcours du courant, forme de courant, etc.)**

En courant alternatif (50 ou 60 Hz), le seuil de fibrillation décroît considérablement si la durée de passage du courant est prolongée au-delà d'un cycle cardiaque.

2.3.4.4 Effet du courant électrique

Les effets se manifestent différemment à partir de seuils qui sont fonction :

- du type de courant : alternatif ou continu.

- *La fibrillation ventriculaire est considérée comme la cause principale de mort par choc électrique.*

- *Il existe aussi des cas de mort par asphyxie ou arrêt du cœur.*

Le choc électrique peut avoir des effets secondaires, parfois plus dangereux que l'électrisation

- traumatisme suite à une chute,
- troubles auditifs, de la vue,
- troubles nerveux, etc.

Cycle zone temps /courant des effets du courant alternatif (15 à 100 Hz) sur des personnes.

temps (ms)

5000

Zone 3 : habituellement aucun dommage organique (contraction musculaires, absence de fibrillation).

habituellement aucune réaction

Zone 2 : habituellement aucun effet pathophysiologique dangereux.

200

100

50

20

10

Zone 4 : probabilité de

Courbe L : courbe de sécurité sur laquelle sont basées les règles de la NF C15-100.

u'a
be
e la

3

4

C1 C2 C3

0.1 0.5 1 2 5 10 20 50 100 200 500 1000 2000 5000 intensité mA

Effets du passage du courant alternatif 50/60 Hz

Intensité	Perception des effets	Temps
0,5 à 1 mA	seuil de perception suivant l'état de la peau	
8 mA	choc au toucher, réactions brutales	
10 mA	contraction des muscles des membres	4 min 30
	crispations durables	
20 mA	début de téτανisation de la cage thoracique	60 sec
30 mA	paralysie ventilatoire	30 sec
40 mA	fibrillation ventriculaire	3 sec
75 mA	fibrillation ventriculaire	1 sec
300 mA	paralysie ventilatoire	110 ms
500 mA	fibrillation ventriculaire	100 ms
1 000 mA	arrêt cardiaque	25 ms
2 000 mA	centres nerveux atteints	instantané

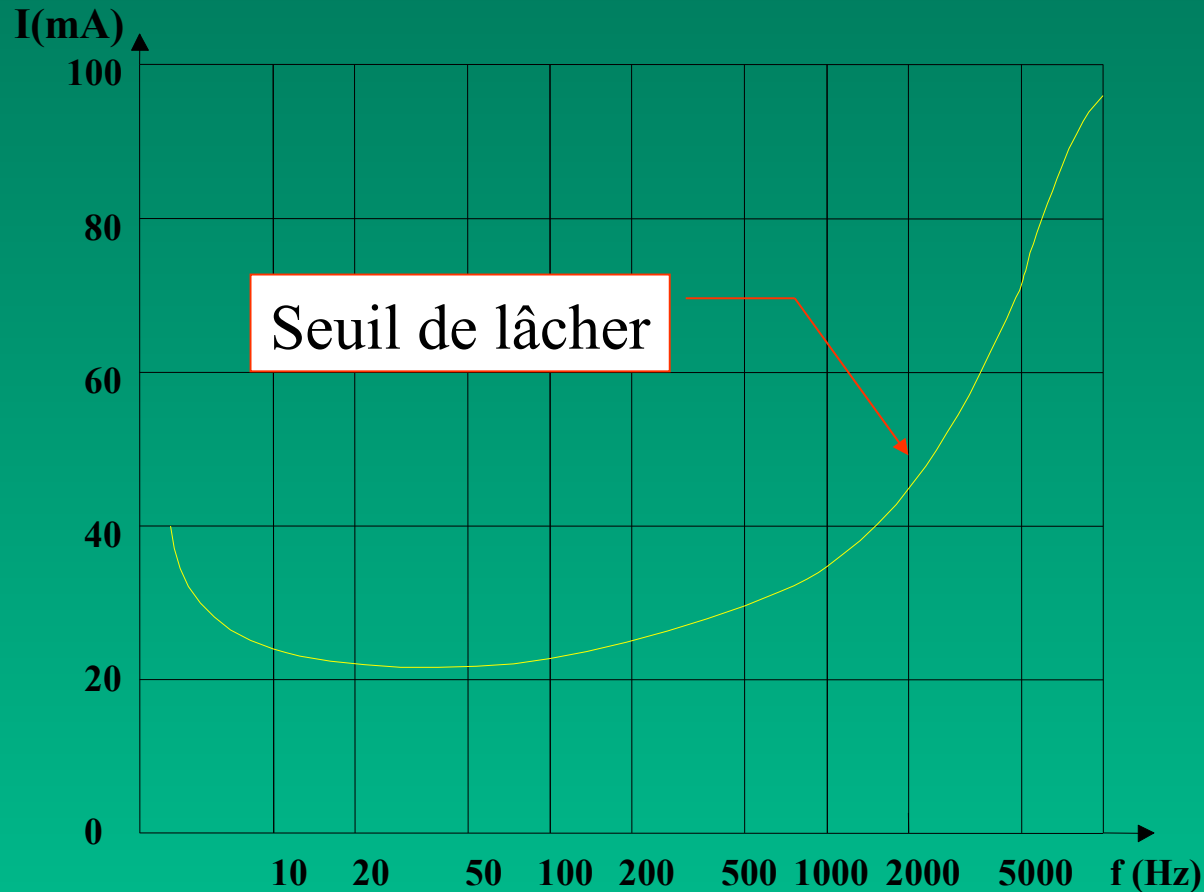
2.3.4.6 Effets du courant alternatif passant dans le corps humain pour les fréquences supérieures à 100 Hz

- **L'énergie électrique sous la forme de courant alternatif de fréquence supérieure à 50/60 Hz est de plus en plus utilisée dans les matériels électriques modernes :**
- **Aviation (400 Hz),**
- **Les outils portatifs et le soudage électrique (100, 200, 300 Hz et jusqu'à 450 Hz),**
- **L'électrothérapie (quelques kHz),**
- **Les alimentations de puissance de 20 kHz à 1 GHz.**

Impédance de la peau pour des fréquences supérieures à 100 Hz.

- L'impédance de la peau est pratiquement inversement proportionnelle à la fréquence pour des tensions de contact de quelques dizaines de volts.
- On estime qu'à 500 Hz, l'impédance de la peau est environ le dixième de celle à 50 Hz, elle peut donc être négligée dans beaucoup de cas.
- l'impédance totale du corps humain peut être assimilée à son impédance interne Z_i .

Seuil de lâcher en fonction de l'intensité et de la fréquence du courant.



Pour des fréquences supérieures à 50 Hz, les courants deviennent moins dangereux, ce qui ne veut pas dire que le danger disparaît (moins de risque de fibrillation, plus de brûlures profondes).

Autres effets du courant pour des fréquences supérieures à 10 000 Hz.

- Pour des fréquences comprises entre 10 kHz et 100 kHz, le seuil de perception s'élève approximativement de 10 mA à 100 mA.
- A des fréquences supérieures à 100 kHz, une sensation de chaleur au lieu de picotement caractérise le seuil de perception pour des courants de quelques centaines de milliampères.
- Avec des courants de quelques ampères, l'apparition de brûlures est probable en fonction du temps de passage du courant.

2.3.4.7 Les effets du courant continu.

- Le courant continu entraîne les mêmes conséquences que le courant alternatif de 50 Hz avec un facteur d'équivalence en ce qui concerne les seuils de 4.

Intensité

Perception des effets

130 mA

Seuil de fibrillation cardiaque.

2 mA

Seuil de perception.

Autres effets du courant continu.

- Pour des courants inférieurs à 300 mA environ, une sensation de chaleur est sentie dans les extrémités pendant le passage du courant.
- Les courants transversaux d'intensité au plus égale à 300 mA passant à travers le corps humain pendant plusieurs minutes peuvent provoquer des arythmies cardiaques réversibles, des marques de courant, des brûlures, des vertiges et parfois l'inconscience.
- Au dessus de 300 mA, l'inconscience se produit fréquemment.

2.3.4.8 Effets de l'électrisation en fonction du type et de la valeur de la tension.

En courant alternatif

- en dessous de 50 V absence d'accident mortel ;
- entre 50 et 500 V, on constate de plus grand pourcentage de fibrillation cardiaque ;
- pour des tensions de l'ordre de 500 à 1 000 V il y a principalement syncope respiratoire et brûlures ;
- à partir d'environ 1 000 V les brûlures internes de type hémorragique avec libération de myoglobine (blocage des reins).

Effets de l'électrification en fonction du type et de la valeur de la tension (suite).

En courant continu

- en dessous de 120 V absence d'accident mortel ;
- entre 120 et 750 V, tensions peu répandues, où l'on constate des effets d'électrolyse et des brûlures par effet Joule ;
- à partir d'environ 750 V les accidents entraînent surtout des brûlures internes et externes.

2.4 Conclusions

- Tous les divers aspects du risque électrique et les gravités engendrées ont amené le législateur à créer des domaines de tension afin de définir ensuite la prévention à mettre en œuvre.

DOMAINE DE TENSION

Décret n° 88-1056

<i>DOMAINES DE TENSION</i>	<i>COURANT ALTERNATIF</i>	<i>COURANT CONTINU</i>
TBT	$U \leq 50$ Volts	$U \leq 120$ Volts
BTA	$50 < U \leq 500$ V	$120 < U \leq 750$ V
BTB	$500 < U \leq 1\,000$ V	$750 < U \leq 1\,500$ V
HTA	$1\,000 < U \leq 50$ kV	$1\,500 < U \leq 75$ kV
HTB	$U > 50$ kV	$U > 75$ kV

Prévention des risques électriques

- Plus l'intensité I qui traverse le corps est importante, plus le choc électrique est dangereux.
- Il faut donc chercher à diminuer la valeur de I pour éviter le choc ou mieux le supprimer, c'est l'objet de la prévention des risques électriques.

Impédance de contact

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

- la température de la peau

- la surface de contact

- la pression de contact

- la tension de contact

- l'état d'humidité et de sudation de la peau

- le temps de passage du courant

La résistance cutanée augmente durant 1 à 4 millisecondes puis disparaît dès le « claquage » de la peau.

Définition : Impédance interne

L'impédance interne (Z_i) est sensiblement toujours la même pour un même individu, sauf si la surface de contact est très faible, auquel cas elle augmente.

Définition : Défaut d'isolement

Défaillance de l'isolation d'une partie active d'un circuit électrique entraînant une perte d'isolement de cette partie active pouvant aller jusqu'à une liaison accidentelle entre deux points de potentiels différents (défaut franc).

Définition : Masse

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

Définition : Partie active

Toute partie conductrice destinée à être sous tension en service normal.

Définition : Conditions BB1

- **Condition BB1** (article 322.2 NF C 15-100)

La peau est **sèche**, le sol présente une résistance importante, y compris la présence de chaussures, et les personnes se trouvent dans des locaux (ou emplacements) secs ou humides (condition d'influences externes AD1, AD2 et AD3).

Définition : Conditions BB2

- **Condition BB2** (article 322.2 NF C 15-100)

La peau est **mouillée**, le sol présente une résistance faible, et les personnes se trouvent dans des locaux (ou emplacements) mouillés (condition d'influences externes AD4, AD5 et AD6).

Définition : Conditions BB3

- **Condition BB3** (article 322.2 NF C 15-100)

La peau est **immergée** dans l'eau, il existe une infinité de points de contact et la résistance totale du corps humain se réduit à la résistance interne.

Secousse électrique

- C'est le résultat de la contraction du muscle provoqué par une excitation unique et brève. Le mouvement de réflexe peut entraîner des dangers secondaires tels que le lâcher d'un outil, la chute d'une échelle ou d'un échafaudage, l'accrochage par des parties de machines en mouvement.

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 relâcher ($f = 50 \text{ Hz}$), c'est le phénomène de contracture permanente ou téтанos électrique.
- Suivant le type de muscle mis en jeu :
 - muscle fléchisseur : le sujet est incapable de lâcher prise.
 - muscle extenseur : le sujet peut être projeté.

Tétanisation des muscles respiratoires

- Lorsque que le trajet du courant intéresse les muscles respiratoires (intercostaux, pectoraux et diaphragme) il se produit une asphyxie ventilatoire avec cyanose (syncope bleu). La mort peut survenir en trois minutes environ si le courant n'est pas interrompu.