1
INTRODUCTION

Le présent dossier a pour objectif de donner un aperçu clair et précis des mesures à prendre lors de l'exécution de travaux sur ou à proximité d'une installation électrique, en prêtant une attention particulière aux différents intervenants et à leur tâche spécifique.

On manque de données statistiques détaillées sur le nombre, la gravité et les causes des accidents d'origine électrique. Certes, quelques données statistiques de portée générale sont bien disponibles ici ou là. Ainsi, en France, le résultat d'une étude réalisée pour le compte de l'Institut de veille sanitaire et intitulée «Des indicateurs en santé travail - Les accidents mortels d'origine professionnelle en France» (à télécharger sur le site https://www.santepubliquefrance.fr/) a été publié en septembre 2011. Les accidents de travail mortels qui se sont produits durant la période 2002-2004 ont été analysés statistiquement dans le but de déterminer des indicateurs utilisables dans un contexte préventif. On a constaté que durant cette période, 739 accidents de travail mortels s'étaient produits chaque année sur les lieux de travail. Leur répartition en fonction du mécanisme se présente comme suit:

Mécanisme accidentel		%	%
Véhicules			30
	dont voitures	12	
	dont camions et camionnettes	9	
	dont deux roues motorisés et bicyclettes	1	
	dont piétons accrochés par un véhicule	1	
	dont véhicules agricoles	2	
	dont autres véhicules	3	
	dont véhicules non précisés	2	
Chute de hauteur			13
Machines			11
Electricité			2
Autres accidents			16
Accidents non classés			28
Total			100

Nous pouvons déduire de cette étude qu'au cours de cette période, une quinzaine d'accidents de travail mortels imputables à la présence de dangers électriques se sont produits chaque année en France. Aucune information détaillée n'est disponible concernant le contexte et les causes de ces accidents.

Cependant, au départ de l'étude d'un nombre considérable d'accidents avérés survenus au cours desdernières années en Flandre, l'auteur est en mesure d'affirmer que la majorité des accidents électriques se produisent lors d'une forme quelconque d'entretien (au sens large du terme), donc lors de l'exécution de travaux sur ou à proximité d'installations électriques, et rarement durant l'utilisation en conditions de production normales. Autrement dit, l'immense majorité des accidents électriques ont un rapport avec les procédures de travail, les conventions, l'échange d'informations, la formation, la compréhension des risques et la compétence des différents intervenants.

Un bref coup d'œil sur la longue liste des intervenants potentiels nous apprend que les aspects précités requièrent une approche structurée:
- l'entreprise qui réalise les travaux, ses ouvriers exécutants et sa ligne hiérarchique composée du chef d'équipe, du contremaître, du chef de chantier, du responsable de projet et de l'employeur;
- le donneur d'ordre ou commanditaire - qui n'est pas nécessairement l'entreprise où les travaux sont exécutés;
- l'entreprise ou l'institution où les travaux sont réalisés, ses travailleurs et départements, sa ligne hiérarchique, son éventuel service technique interne et ses propres électriciens;
- le coordinateur de sécurité et de santé dans l'hypothèse de travaux tombant sous le coup de la définition des chantiers temporaires ou mobiles.

Sur la base des constatations dressées lors de ces études, les aspects suivants sont également abordés dans le cadre du présent dossier:
- les effets de l'énergie électrique;
- les dangers de l'énergie électrique;
- les travaux sur ou à proximité d'une installation électrique dans le cadre du volet «entretien»;
- les travaux sur ou à proximité d'une installation électrique dans le cadre d'un chantier temporaire ou mobile;
- les dispositions légales;
- l'aspect «habilitation», qui implique d'autres contingences que l'aspect «compétence»;
- certaines catégories spécifiques de travailleurs, comme les stagiaires, les intérimaires, les élèves des écoles techniques, les travailleurs nouvellement arrivés dans une entreprise;
- certaines situations spécifiques comme le fait de travailler à proximité de câbles enterrés, les travaux en hauteur, l'occupation isolée.

En 2004, le législateur belge a modifié toute une série d'articles du R.G.I.E., dont l'important article 47 qui traite des conditions d'attribution de la codification BA4 et BA5 et l'article 266 qui fixe les prescriptions auxquelles il faut satisfaire pour pouvoir exécuter d'une manière sûre des travaux aux installations électriques ou à proximité de telles installations. Depuis lors, la mise en œuvre de ces articles 47 et 266 a permis d'accumuler une belle somme d'expériences et a révélé de nombreux chausse-trappe délicats. Ce dossier s'emploiera donc à y remédier.

Dans le nouveau RGIE ces prescriptions se trouvent:
- pour la définition des compétences des personnes (BA): dans la Section 2.10.11. (3 livres);
- pour l'attribution de la codification BA4/BA5: dans le Chapitre 9.2. (3 livres);
- pour les définitions en ce qui concerne les travaux aux installations électriques: dans la Section 2.11.1. (3 livres);
- pour les prescriptions concernant les travaux aux installations électriques: dans la Section 9.3. (3 livres).

Pour bien comprendre ce qui suit, il est préférable de disposer d'un exemplaire du R.G.I.E. car les textes de loi ne sont pas repris systématiquement dans le présent dossier.

Ce dossier peut être utilisé par différentes personnes en fonction de la tâche qu'elles exercent:
- par la ligne hiérarchique puisque c'est elle qui doit assurer la mise en œuvre des mesures nécessaires et leur contrôle; le dossier peut également être utilisé comme référence pour la formation des membres de cette hiérarchie;
- par le conseiller en prévention interne puisque ce dernier doit conseiller correctement son employeur et la ligne hiérarchique pour tout ce qui a trait aux mesures de prévention nécessaires;
- par le coordinateur de sécurité et de santé puisqu'il est chargé de rédiger notamment le plan de sécurité et de santé ainsi que le dossier d'intervention ultérieure; le volet électrique doit être intégré à ces documents;
- par le «responsable du travail»;
- par le «responsable de l'installation»;
- par les exécutants, qu'ils soient travailleurs ou indépendants, afin d'avoir une vision plus nuancée sur les risques existants et les mesures à prendre;
- par les commanditaires, afin d'avoir une vision sur les obligations spécifiques qui leur incombent vis-à-vis des entrepreneurs et sous-traitants désignés par leurs soins.

2
RAPPEL THÉORIQUE: LES EFFETS DE L'ÉLECTRICITÉ

1. | Production de chaleur

Un courant d'intensité I se propageant au travers d'un élément conducteur de résistance R dégage en un temps t une quantité de chaleur Q que l'on exprime par:
$Q = R \times I^2 \times t$

avec:
Q: la quantité produite de chaleur en joules (J);
R: la résistance en ohms;
I: l'intensité du courant en ampères (A);
t: le temps en secondes (s).

Un cas particulier du dégagement de chaleur est celui des arcs électriques.

Si le courant n'est pas constant mais varie, la formule est la suivante:
$Q = {}_{t1}\int^{t2} R \times I\,(t)^2 \times dt,$

avec:
t1: le moment de début;
t2: le moment de fin;
Q: la quantité produite de chaleur en joules (J) entre les moments t1 et t2;
R: la résistance en ohms (Ω);
I*(t)***:** l'intensité variable du courant en ampères (A).

2. | L'effet dynamique

Entre deux conducteurs parcourus par un courant, il y a développement d'une force.

Dans le cas de deux conducteurs parallèles parcourus par un courant de même sens, il y a une force d'attraction et, par contre, lorsque le sens du courant des deux conducteurs est opposé, la force est de répulsion.
Pour ces conducteurs parallèles, la force est déterminée par la formule:

$$F = 2\,\frac{I_1 \times I_2 \times 10^{-7} \times l}{d}$$

avec:
F: la force en newton;
I_1 et I_2: l'intensité des courants en ampères;

l: la longueur des conducteurs en mètres;
d: la distance en mètres.

3. | Champ électrique

Une charge q placée dans l'espace provoque sur un deuxième point à une distance r une « force ». On appelle la force sur l'unité de charge positive la force E.

$$E = \frac{1}{\varepsilon 4 \times \pi} \frac{q}{r^2}$$

Avec:
E: la force du champ électrique en V/m;
ε: une constante diélectrique dépendant du milieu;
q: la charge en coulomb;
r: la distance en mètres.

4. | Champ magnétique

Tout champ électrique provoque un champ magnétique. La force magnétique dans un point du champ d'un conducteur rectiligne est:

$$H = f \times \frac{I}{d}$$

avec:
H: la force du champ magnétique en A/m;
f: un cœfficient;
I: l'intensité du courant en ampères;
d: la distance entre le point et le conducteur en mètres.

5. | Effets chimiques

Le courant passe par des acides, des bases, des sels fondus (des «électrolytes») provoque une réaction chimique dans ce milieu: l'électrolyse.
Il arrive ainsi que de l'hydrogène soit produit lors de la charge d'une batterie classique (élévateurs).

En général, il peut exister une interaction entre des phénomènes chimiques et électriques. De cette façon, l'électricité peut influencer des phénomènes à l'intérieur des systèmes biologiques vivants, par exemple la propagation des impulsions nerveuses.

6. | Ionisation

Sous l'influence, entre autres, d'un champ électrique suffisamment élevé, des atomes, par exemple ceux de l'air, peuvent s'ioniser (ce qui veut dire que des électrons se libèrent). Ceci a comme conséquence que l'air, dans une certaine mesure, est rendu conducteur.

Ce phénomène se produit autour de conducteurs à haute tension nus et entraîne la génération d'une décharge disruptive et d'un arc électrique quand on approche (une partie du corps ou un équipement de travail) à proximité du conducteur HT nu.

7. | Courants de fuite

Dans un isolateur non idéal, un courant peut se propager à travers le matériel ou par la surface; des courants de fuite peuvent s'écouler par cette voie y compris lorsque la surface est encrassée. Ceci peut provoquer un échauffement et une dégradation graduelle de l'isolateur.

Cela entraîne également une perte financière, en l'occurrence:
- P = T x V x I x P/1000 où:
- P = la perte exprimée en euros;
- T = le temps pendant lequel le courant de fuite se produit (en heures);
- V = la tension nominale de l'installation en V (volts);
- I = la valeur du courant de fuite exprimé en A (ampères);
- P = le prix du kilowattheure en euros.

Exemple: Un courant de fuite de 100 mA survenant sur une installation domestique (230 V) génère, sur une base annuelle, une perte (pour un prix de 0,25 €/kWh) de 24 x 365 x 230 x 0,100 x 0,25/1000 = 50,37 €.

8. | Autres effets de l'électricité

8.1. | Accumulation d'énergie électrique dans un condensateur ou un autre système électrique présentant une certaine capacité

Ce phénomène est important de par le fait que, même dans le cas d'une installation mise hors service, des énergies importantes peuvent subsister dans des condensateurs. Il peut donc s'ensuivre une situation dangereuse due au fait qu'il subsiste encore une tension résiduelle.

Le rapport entre charge, capacité et tension s'exprime par la formule:
$Q = C \times U$

avec:
Q: la charge en coulomb;
C: la capacité en farad;
U: la tension en volt.

Le rapport entre énergie, capacité et tension s'exprime par la formule:

$$W = \frac{1}{2} \times C \times U^2$$

avec:
W: l'énergie en joule;
C: la capacité en farad;
U: la tension en volt.

8.2. | Effet d'auto-induction

Une variation du courant dans un conducteur implique une variation du flux magnétique. Cette variation du flux induit une force électromotrice d'auto-induction qui s'exprime comme suit:

$$E = -L \times \frac{dI}{dt}$$

avec:
E: La force électromotrice de l'auto-induction, exprimée en volt;
I: le courant en ampère;
t: le temps en seconde;
L: l'auto-induction en henry.

Ce phénomène est important, entre autres, lors de l'interruption du courant électrique, le phénomène d'auto-induction s'opposant aux variations de courant.

3
LES DANGERS DE L'ÉLECTRICITÉ

1. | Généralités

Il est probable que tous les effets de l'électricité décrits ci-dessus peuvent être à la base de risques pour l'homme, et ce en fonction de certaines circonstances déterminées.

Quelques exemples concrets des dangers liés à l'usage de l'électricité sont repris ci-après:

1) le «contact» avec des parties sous tension: le passage du courant à travers le corps humain, avec pour conséquences possibles, entre autres:
   - l'altération de certaines fonctions organiques comme, par exemple, le fonctionnement du cœur ou encore des muscles;
   - l'endommagement de tissus et d'organes: par exemple des brûlures;
   - les réactions de surprise, qui peuvent être à l'origine d'accidents non électriques;
   - l'incapacité de bouger;
2) les effets thermiques du courant, entre autres en cas:
   - d'arcs électriques accidentels;
   - de courts-circuits francs ou impédants, de courants de surcharge;
   - d'ignition d'un mélange explosif ou de matériel combustible;
3) le démarrage intempestif ou encore l'impossibilité d'arrêter une machine dangereuse;
4) la corrosion d'une canalisation enterrée suite à la présence de courants vagabonds dans le sol;
5) les effets biologiques des champs électriques ou magnétiques;
6) les effets des produits dangereux, des émanations, des déchets, *etc.*, relatifs aux installations électriques (un exemple connu est celui des PCB ou des PCT utilisés comme liquides diélectriques dans des transformateurs, condensateurs, *etc.*).

	Lors des interventions aux installations, les risques les plus importants sont les suivants:
1)	la modification de certaines fonctions corporelles ou l'endommagement des organes ou des tissus à la suite du passage du courant au travers du corps lors d'un contact avec des parties sous tension;
2)	les effets d'arc, par exemple lors d'interventions.

2. | Le passage du courant à travers le corps humain

2.1. | Contacts directs et indirects

Des chocs électriques peuvent être provoqués par deux types de contact (voir la Section 2.4.1. dans les trois livres du RGIE):

- *contact direct*: contact des personnes avec les parties actives du matériel électrique. Il s'agit, bien entendu, de parties étant sous tension dans des conditions normales, c'est-à-dire sans qu'il ne se produise une faute;
- *contact indirect*: contact des personnes avec des masses mises accidentellement sous tension. Il s'agit, dès lors, de masses n'étant pas sous tension dans des conditions normales, c'est-à-dire lors de l'usage normal des installations.

Lors des interventions, le risque principal de chocs électriques est, dans la majorité des cas (sinon dans tous les cas), dû au contact direct. En effet, en vue d'une exploitation normale, des mesures efficaces contre le contact indirect sont imposées par la réglementation en fonction du type de schéma de mise à la terre.

Une subdivision plus poussée des types de contacts peut être basée sur la question de savoir si le contact a lieu avec une seule phase ou avec deux phases. Cette subdivision présente peu d'intérêt en pratique.

A noter également qu'en haute tension, il ne faut pas de contact, il suffit de s'approcher suffisamment près de la haute tension. Ce que l'on entend par «suffisamment près» dépend essentiellement de la tension nominale et de l'hygrométrie ambiante, mais l'on peut postuler que dès que vous pénétrez dans la «zone sous tension» telles qu'elle est définie par l'article 266, il existe un risque de décharge disruptive.

2.2. | Effets du courant passant à travers le corps humain

L'on retrouve une étude systématique des effets du passage du courant à travers le corps dans la publication IEC 60479-1:2018.

L'*effet du passage du courant* dépend en premier lieu de l'*intensité du courant*. Celui-ci est déterminé, en application de la loi d'ohm, par la valeur de la tension de contact et par l'impédance du corps humain.

L'*impédance* du corps humain est composée de deux types d'éléments:

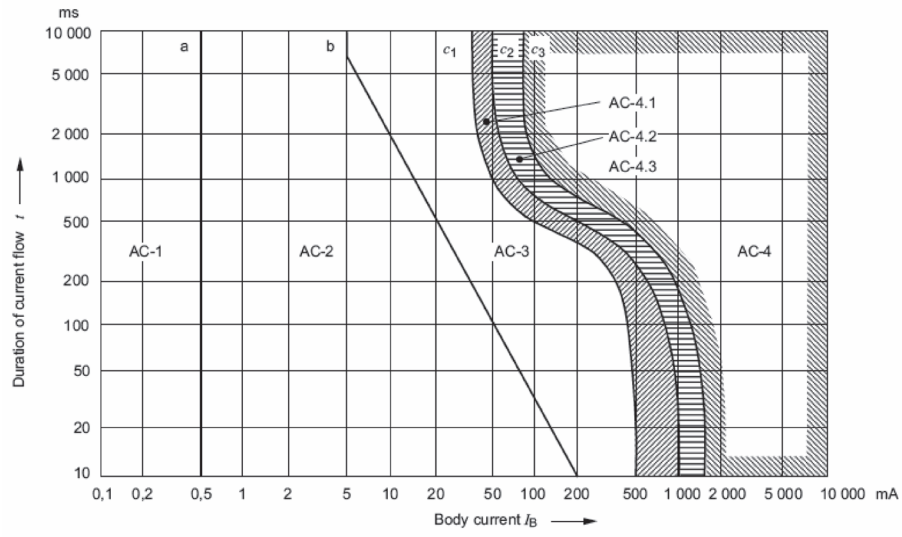
- l'impédance interne du corps qui peut descendre jusqu'à 500 à 600 ohms;
- l'impédance des contacts peau/partie conductrice (en général 2 x entrée-sortie), impédance qui dépend, pour des tensions moins élevées, d'un nombre de facteurs, parmi lesquels, entre autres, la nature du contact et l'humidité sont d'une importance pratique primordiale, et qui diminue rapidement, pour des tensions plus importantes, jusqu'à un niveau négligeable. L'impédance de la peau varie fortement d'individu à individu.

Dans des conditions défavorables (p. ex. peau humide et contact intensif et continu avec des parties conductrices), l'on peut supposer que, sur base de ce qui a été écrit ci-avant, l'impédance du corps humain est d'un *ordre de grandeur de 600 ohms*.

Sur base de la publication IEC 60479-1:2018, l'on peut distinguer quatre grandes zones, en matière d'effets d'un *courant alternatif d'une fréquence entre 15 et 100 Hz*:

- zone 1: courants jusqu'à 0,5 mA: dans cette zone, le courant ne provoque généralement pas d'effets. La durée du passage du courant n'a aucune importance;
- zone 2: courants se situant entre la limite supérieure de la zone 1 et une limite qui varie de 200 mA pour une durée de maximum 10 ms jusqu'à 5 mA pendant un temps considérable: dans cette zone, il ne se produit normalement pas d'effets dangereux, bien que le passage du courant soit bien perçu;
- zone 3: courants se situant entre la limite supérieure de la zone 2 et une limite qui varie de 500 mA pour une durée de maximum 10 ms jusqu'à environ 30 mA pendant un laps de temps considérable: dans cette zone, il ne se produit normalement pas de dommage organique, mais il peut se produire des contractions musculaires, des problèmes respiratoires, un dérangement réversible de la fonction cardiaque;
- zone 4: des courants/temps de passage supérieurs à ceux de la zone 3 peuvent provoquer la fibrillation (la vibration et la résonnance des ventricules du cœur), suite à laquelle l'activité motrice du cœur, et dès lors la circulation du sang, s'arrête, avec pour conséquence l'arrêt du cœur, l'arrêt de la respiration et des brûlures.

Les 4 zones en fonction de la valeur et de la durée d'un courant alternatif d'une fréquence comprise entre 15 et 100 Hz



Le tableau ci-après donne un aperçu des effets.

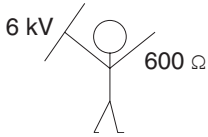
Effet de courant alternatif traversant le corps

Intensité (en milliampère)	*Durée*	*Influence sur le corps humain*
0-1	Illimitée	Pas d'influence perceptible
1-15	Illimitée	Contractions des muscles (doigts, bras). Difficulté à lâcher prise
15-30	Quelques minutes	Douleurs à peine insupportables, contractions des muscles du bras, difficultés à respirer et hausse de la tension artérielle
30-50	Quelques secondes	Hausse de la tension artérielle
	Quelques minutes	Perte de conscience et fibrillation cardiaque si le contact se prolonge. Forte contraction des muscles
50-500	< 1 pulsation	Puissant effet de choc sans fibrillation
	> 1 pulsation	Perte de conscience et fibrillation. Mort possible à court terme. Marques de courant
> 500	< 1 pulsation	Marques de courant. Mort instantanée possible
	> 1 pulsation	Perte de conscience, marques de courant, brûlures, arrêt cardiaque avec possibilités de réanimation

Un calcul simple démontre qu'en haute tension, ce sont les effets thermiques qui seront prédominants.

$I = \frac{U}{R}$ (Loi d'Ohm), avec U = 6 000 V et R = 600 Ω

Effets thermiques



I est donc égal à 10 A.
La puissance est égale à la résistance multipliée par le carré du courant, soit: $600 \times 10^2 = 60\ 000$ W.

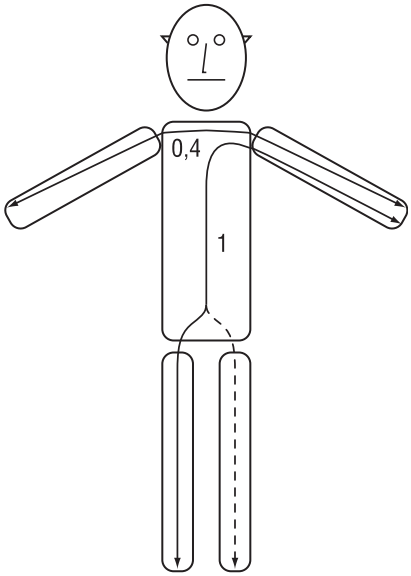
D'autres facteurs déterminant l'effet du courant sont:

1. Le *parcours* suivi par le courant (fonction des parties du corps par lesquelles le contact se réalise), également appelé «trajet du courant» est important pour l'effet sur le cœur (voir tableau ci-dessous);

Facteurs du « courant de cœur » pour divers trajets

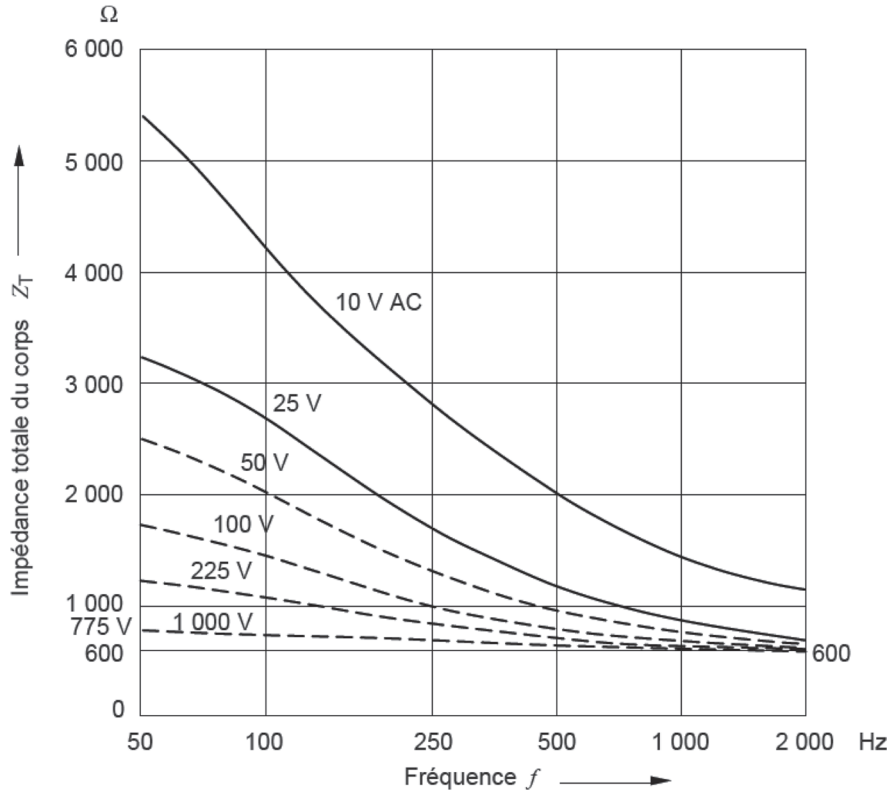
De	*A*	*Facteur*
main gauche	un ou deux pieds	1
deux mains	deux pieds	1
main gauche	main droite	0,4
main droite	un ou deux pieds	0,8
dos	main droite	0,3
dos	main gauche	0,7
poitrine	main droite	1,3
poitrine	main gauche	1,5
siège	une ou deux mains	0,7

Figure 3: Dans l'exemple ci-après, on constate qu'un courant de 200 mA de main à main a le même effet qu'un courant de 80 mA de la main gauche au(x) pied(s)



2. La *fréquence* du courant alternatif: l'impédance totale du corps humain à 50 Hz diminue pour des fréquences plus élevées et ce, en raison de l'influence des capacités de la peau. L'impédance totale est proche de l'impédance interne du corps humain pour des fréquences supérieures à 5 kHz.

Impédance totale du corps humain en fonction de la fréquence



La figure représente la variation de l'impédance totale du corps humain en fonction de la fréquence pour un trajet de courant main à main ou de main à pied avec des surfaces de contact importantes dans des conditions sèches.

3. La *nature* du courant: du point de vue contact, le courant continu est deux à quatre fois moins dangereux qu'un courant alternatif de 50 Hz, et ce pour la même intensité et dans les mêmes circonstances.

De ce qui précède, on retiendra comme conclusion importante que les intensités à partir de 15 à 30 mA constituent un risque sérieux et que, dans ces circonstances, la durée du passage du courant devient très importante.

2.3. | Tensions de contact et tensions limites conventionnelles

Il est souvent plus facile d'évaluer, de mesurer ou de calculer la tension de contact qui pourrait se produire que la valeur du courant qui pourrait traverser le corps humain dans les diverses conditions. Dès lors, en vue de déterminer les règles de protection contre les chocs électriques, on a fixé ces règles en termes de tension, en déterminant la relation entre tension et courant par l'impédance totale du corps (à l'aide de la loi d'Ohm).

C'est pour cette raison que l'on trouve dans le RGIE un certain nombre de «tensions limites» concernant le risque de contact:
1. La *tension limite conventionnelle absolue* U_L (Section 2.4.1. dans les trois livres du RGIE): la valeur limite de la tension qui est considérée comme inoffensive, même lors d'un contact prolongé (voir tableau).

Tension limite conventionnelle absolue U_L

Code	*Tension limite conventionnelle* U_L *(V)*		
	Courant alternatif	*Courant continu lisse*	*Courant continu non lisse*
BB1	50 V	75 V	120 V
BB2	25 V	36 V	60 V
BB3	12 V	18 V	30 V

Signification du code BB:
– BB1: peau sèche ou humide par sueur;
– BB2: peau mouillée;
– BB3: peau immergée dans l'eau.

2. La *tension limite conventionnelle relative* $UL_{(t)}$ est déterminée à la Section 2.4.1. (3 livres du RGIE). Celle-ci est notamment la valeur limite de la tension lorsqu'on tient compte également de la durée du passage du courant. Ces valeurs peuvent être représentées sous forme de courbes. On parle alors de «courbes de sécurité».