

Table des matières

Avant Propos.....	i
Introduction.....	6
Chapitre 1 Risques électriques.....	7
1.1 Introduction.....	7
1.2 But de la sécurité du travail.....	7
1.3 Légende et histoire du risque électrique.....	7
1.3.1 Historique.....	7
1.4 Normes et texte réglementaires.....	8
1.4.1 La réglementation.....	8
1.4.2 Arrêtés.....	9
1.4.3 La Normalisation.....	9
1.5 La législation relative à la prévention et la sécurité au travail.....	11
1.6 Statistiques d'accidents électriques.....	12
1.6.1 Exemple.....	13
1.6.2 Principaux facteurs.....	13
1.6.3 Statistiques de l'INSERM.....	13
1.6.4 Statistiques de la CNAM.....	14
1.6.5 Différentes statistique (d'après documents INRS).....	15
1.6.6 Accidents d'origine électrique selon le comité technique national (CTN).....	16
1.6.7 Accident d'origine électrique selon l'élément matériel en cause.....	17
1.6.8 Conclusion.....	18
Chapitre 2 Nature des accidents électrique et danger du courant Électrique.....	19
2.1 Introduction.....	19
2.2 Généralité.....	19
2.3.1 Terminologie.....	20
2.3 Classement.....	20
2.3.1 Nature des contacts.....	20
2.4 Les différents degrés de gravité du courant électrique sur le corps humain.....	23
2.4.1 Electrification.....	23
2.4.2 Electrocutation.....	25
2.4.3 Fibrillation ventriculaire.....	25
2.5 Effets du courant électrique sur le corps humain.....	27

2.5.1	<i>Effets physiopathologiques.....</i>	27
2.5.2	<i>Impédance électrique du corps humain.....</i>	29
2.5.3	<i>Situations des personnes.....</i>	31
2.6	<i>Paramètre d'influence du courant humain.....</i>	34
2.6.1	<i>Impédance du corps humain.....</i>	35
2.6.2	<i>Tension de contact.....</i>	35
2.6.3	<i>Courant I_c.....</i>	36
2.7	<i>Conclusion.....</i>	38
Chapitre 3 Mesures de protection.....		39
3.1	<i>Introduction.....</i>	39
3.2	<i>Mesures de protection.....</i>	39
3.2.1	<i>Principes.....</i>	39
3.3	<i>Méthodologie.....</i>	39
3.4	<i>Protection contre les contacts directs.....</i>	40
3.4.1	<i>Protection par éloignement.....</i>	40
3.4.2	<i>Protection par isolation.....</i>	40
3.4.3	<i>Matériel électrique.....</i>	41
3.4.4	<i>Protection par obstacle.....</i>	43
3.4.5	<i>Protection en utilisant le dispositif différentiel à haute sensibilité.....</i>	45
3.4.6	<i>Protection en utilisant d'une très basse tension.....</i>	46
3.5	<i>Protection contre les contacts indirects.....</i>	48
3.5.1	<i>Sans coupure automatique de l'alimentation.....</i>	48
3.5.2	<i>Avec coupure automatique de l'alimentation.....</i>	51
3.5.3	<i>Le choix du régime de neutre et les protections.....</i>	68
3.6	<i>Protection du matériel.....</i>	69
3.6.1	<i>Protection contre les surintensités.....</i>	69
3.7	<i>Protection des travailleurs.....</i>	71
3.7.1	<i>La réglementation En matière d'électricité.....</i>	71
3.7.2	<i>Structure du décret du 14 Novembre 1988.....</i>	72

3.8	<i>Les règles des installations.....</i>	<i>73</i>
3.9	<i>Mesures de sécurité.....</i>	<i>73</i>
3.9.1	<i>Recueil de prescriptions et norme homologuée.....</i>	<i>73</i>
3.10	<i>Formation et habilitation.....</i>	<i>83</i>
3.10.1	<i>Principe.....</i>	<i>83</i>
3.10.2	<i>Cas dans lesquels l'habilitation est obligatoire.....</i>	<i>83</i>
3.10.3	<i>Evaluation du besoin initial.....</i>	<i>83</i>
3.10.4	<i>Symbole des habilitations.....</i>	<i>83</i>
3.11	<i>Equipement de protection individuelle EPI.....</i>	<i>88</i>
3.11.1	<i>Définition.....</i>	<i>88</i>
3.11.2	<i>Conditions d'utilisation.....</i>	<i>89</i>
3.12	<i>Les équipements individuels de sécurité.....</i>	<i>91</i>
3.12.1	<i>Composition.....</i>	<i>91</i>
3.13	<i>Equipement de protection collective.....</i>	<i>94</i>
3.13.1	<i>Définition.....</i>	<i>94</i>
3.13.2	<i>Composition.....</i>	<i>94</i>
3.13.3	<i>Utilisation.....</i>	<i>94</i>
3.14	<i>Champs électrique, Champs magnétiques et Champs électromagnétique quelques définitions.....</i>	<i>96</i>
3.14.1	<i>Introduction.....</i>	<i>96</i>
3.14.2	<i>Qu'entend-on par champs électriques et magnétiques?.....</i>	<i>96</i>
3.15	<i>Appareils mobiles en basse tension.....</i>	<i>108</i>
3.15.1	<i>Généralités.....</i>	<i>108</i>
3.15.2	<i>Outils portatifs.....</i>	<i>109</i>
3.15.3	<i>Lampes baladeuses.....</i>	<i>109</i>
3.15.3	<i>Appareils de mesure.....</i>	<i>109</i>
3.15.4	<i>Mesures particulières.....</i>	<i>110</i>
3.15.5	<i>Postes de soudure.....</i>	<i>110</i>
3.15.6	<i>Vérifications et control.....</i>	<i>111</i>
Chapitre 4	<i>Mesure de sécurité contre les effets indirects du Courant électrique.....</i>	<i>112</i>
4.1	<i>Principe d'un incendie.....</i>	<i>112</i>
4.2	<i>Statistiques et causes des incendies.....</i>	<i>113</i>
4.3	<i>Caractéristiques des incendies électriques.....</i>	<i>113</i>
4.3.1	<i>Causes directes internes.....</i>	<i>114</i>

4.4	<i>Prévenir les risques d'incendie.....</i>	<i>116</i>
4.5	<i>Démarche de prévention du risque.....</i>	<i>116</i>
4.5.1	<i>Réglementation et normes.....</i>	<i>116</i>
4.5.2	<i>Classement des matériaux et éléments de construction.....</i>	<i>116</i>
4.5.3	<i>Caractéristiques des matériels électriques du point de vue du risque d'incendie.....</i>	<i>117</i>
4.5.4	<i>Principaux matériel électriques.....</i>	<i>118</i>
4.6	<i>Détection du feu et lutte contre l'incendie.....</i>	<i>119</i>
4.6.1	<i>Classes de feu.....</i>	<i>119</i>
4.6.2	<i>Prévention incendie.....</i>	<i>119</i>
4.6.3	<i>Détection.....</i>	<i>120</i>
4.6.4	<i>Moyens d'extinction.....</i>	<i>121</i>
4.7	<i>Bruits et vibrations.....</i>	<i>123</i>
4.7.1	<i>Introduction.....</i>	<i>123</i>
4.7.2	<i>Bruits et vibrations.....</i>	<i>124</i>
Chapitre 5	Mesures de secours et soins.....	132
5.1	<i>Introduction.....</i>	<i>132</i>
5.2	<i>Comportement général.....</i>	<i>133</i>
5.3	<i>Attitude à observer en cas d'accidents électriques.....</i>	<i>133</i>
5.4	<i>Premiers soins.....</i>	<i>135</i>
5.4.1	<i>La réanimation cardio-pulmonaires.....</i>	<i>135</i>
5.5	<i>Brulures électriques.....</i>	<i>138</i>
5.5.1	<i>Introduction.....</i>	<i>138</i>
5.5.2	<i>Brulure électrique.....</i>	<i>138</i>

Introduction

L'emploi généralisé de l'énergie électrique [2] dans tous les domaines (depuis le foyer domestique jusqu'à la grande industrie, en passant par l'artisanat, de l'agriculture et le tertiaire) fait que le risque d'accidents électriques se trouve également partout présent. Présent et invisible comme tous les risques inhérents aux formes supérieures de l'énergie, il a en revanche le mérite d'être bien connu, facile à maîtriser, ce qui, tout compte fait, le rend presque familier et en tout cas moins redouté que, par exemple, Contact direct et instantané de parties conductrices sous tension (desserrage de bornes, conducteurs accidentellement libère, pénétration de corps étrangers conducteurs, etc.).

Le risque d'accident du travail d'origine électrique est faible en regard des autres risques. Cependant, les accidents qui en résultent sont particulièrement graves et ils sont souvent dus à une méconnaissance des risques, à un mode opératoire dangereux ou à une mauvaise préparation.

Le travail dans le domaine électrique conduit parfois à des situations particulières avec une diminution des protections, des câblages provisoires ou des régimes de fonctionnement exceptionnels. Il est donc important que les personnes amenées à diriger, entretenir ou intervenir dans les domaines électriques soient sensibilisées à ce risque. La protection des personnes s'appuie sur des normes et des décrets. Mais elle s'appuie aussi sur une bonne connaissance des installations électriques et de l'appareillage.

Il faut reconnaître que la sécurité électriques est simple et ne nécessite pas la mise en œuvre de moyens très onéreux. Dans sa conception rationnelle, elle assure à la fois la protection du personnel et des installations de toute nature. La protection légale des travailleurs est ensuite abordée à partir de décrets et d'arrêtés spécifiques. La formation du personnel intervenant à proximité des installations ainsi que l'équipement de protection sont également des aspects primordiaux à ne pas négliger.

Ce polycopié contient cinq chapitres, chacun pour leur partie, vont développer les manières de comprendre, d'analyser et de maîtriser le risque électrique.

C'est pour cette raison que le premier chapitre de ce polycopié est consacré aux "*risque électrique*" .il traite le but de la sécurité du travail, Légende et historique du risque électrique, Organisme de normalisation, Statistiques sur les accidents électriques.

Dans le chapitre 2. S'est attaché à présenter la " Nature des accidents électriques et dangers du courant électrique". Les fondamentaux du choc électrique et du courant électrique passant à travers le corps humain.

Le chapitre 3 est consacré au " Mesures de protection "s'attache à présenter les mesure de sécurité, protection des personnes , du matériels, règles de construction d'installation des ouvrages ,des installations électriques à savoir les travaux hors tension, représentant la meilleure sécurité puisqu'il n'existe plus de risque de choc électrique, les travaux au voisinage où les mesures de protection permettent de travailler dans un espace sécurisé, et enfin les travaux sous tension où la présence permanente de la tension est gérée par des mesures rigoureuses de protection du personnel qui conduisent à une situation de travail sécurisée. Les outils, dispositifs et équipements utilisés doivent être de bonne qualité et bien entretenus.

Le chapitre 4 est consacré au" Mesures de sécurité contre les effets indirects du courant électrique" il traite Les incendies, Les matières nuisibles, Les explosions, Les bruits et les vibrations.

Le chapitre 5 est consacré au "Mesures de secours et soins" il traite Attitude à observer en cas D'accident électrique est les premières soins tel que la ventilation assistée, massage cardiaque, soins aux brûlés.

Chapitre 1 Risques électriques

1. 1.Introduction

Le travail joue un rôle central dans la vie des gens, puisque la plupart des travailleurs passent au moins huit heures par jour sur leur lieu de travail, que ce soit une plantation, un bureau, une usine, etc. Par conséquent, le milieu de travail devrait être sain et sûr. Malheureusement, ce n'est pas le cas pour de nombreux travailleurs. Tous les jours des travailleurs partout dans le monde sont exposés à diverses menaces pour leur santé:

- poussières;
- gaz;
- bruit;
- vibrations;
- températures extrêmes.

Malheureusement, certains employeurs n'assument guère leurs responsabilités s'agissant de protéger la santé et la sécurité des travailleurs. En fait, certains employeurs ne savent même pas qu'ils ont une responsabilité morale et souvent légale à cet égard. En raison des nombreux risques qui existent et du fait que les problèmes de santé et de sécurité sont souvent négligés, les accidents et maladies du travail sont fréquents dans toutes les régions du monde.

L'emploi généralisé de l'énergie électrique dans toutes ses applications et dans tous les domaines (depuis la production d'énergie électrique jusqu'au consommateur final) fait que le risque électrique est présent partout et doit être évalué et maîtrisé en toute occasion.

1. 2 but de la sécurité du travail

L'étude de la sécurité des travailleurs est une discipline très large qui recouvre de nombreux domaines spécialisés. Dans son sens le plus général, elle doit viser à:

- promouvoir et maintenir le plus haut degré possible de bien-être physique, mental et social des travailleurs dans tous les métiers;
- prévenir les effets néfastes sur la santé des travailleurs dus à leurs conditions de travail;
- protéger les travailleurs contre les dangers qui menacent leur santé;
- placer et maintenir les travailleurs dans un environnement de travail adapté à leurs besoins physiques et mentaux;
- adapter le travail aux hommes.

En d'autres termes, la santé et la sécurité des travailleurs visent tous les aspects du bien-être social, psychique et physique des travailleurs.

1.3 Légende et histoire du risque électrique

1.3.1 Historique

Depuis l'antiquité on connaît l'électricité, elle se matérialisait alors sous forme d'électricité statique. De l'ambre frotté contre de la laine provoque un emmagasinement de charges électriques.

Ces charges peuvent s'évacuer brutalement au contact d'un corps conducteur et provoquer un arc électrique. Il faut savoir que le phénomène d'électricité statique tue chaque année des personnes.

Il y a deux siècles, Benjamin Franklin réalisa de nombreuses expériences (le cerf-volant restant la plus célèbre) ; il adopta le premier la notion d'isolement électrique et posa le **principe de la mise à la terre**.

Le professeur Richmann qui, répétant des expériences sur la foudre (celles de Franklin, Buffon, Lemonnier, de Romas et autres) avait été électrocuté, le 6 août 1753. Par temps d'orage, se disposant à mesurer les décharges au moyen d'un électromètre donc On peut le considérer comme étant le premier exemple, attesté scientifiquement, d'accident électrique

Vers 1790, l'anatomiste italien Galvani entra dans le domaine des réactions de l'organisme animal au courant électrique avec ses expériences sur les grenouilles, et Volta, pour réfuter les conclusions du premier, construisit la **première pile électrique** qui marque le début de la nouvelle et grande période de l'électricité.

Les premiers risques ont apparu. Ces premiers incidents furent surtout chimique du aux produits contenus dans les piles. Ces produits ont répandu des vapeurs toxiques dans des laboratoires mal aérés. Ces premières piles furent des victimes. Ensuite tout s'emballa très vite, des génératrices de plus en plus puissantes pour recharger des piles de plus en plus grosses, ceci impliqua des tensions de plus en plus élevées et inévitablement des accidents de plus en plus graves.

Les premières études scientifiques sur l'**action physiologique du courant électrique** s'engagèrent alors en France et les noms des chirurgiens des armées impériales Larrey et Bichat y sont attachés, tandis que le docteur Uré réalisa les premières expériences de réanimation des électrisés. La voie était ouverte à ces méthodes dont on connaît l'importance aujourd'hui.

Des recherches sur les **effets physiopathologiques** du courant électrique ont été effectuées par de nombreux chercheurs ; parmi eux, il convient de citer les noms de Dalziel, Ferris, Jacobsen, Knickerbocker, Koeppen, Sam, Ozyzka, Lee... Ces travaux ont porté sur des animaux vivants dont les réactions peuvent être extrapolées par rapport à celles de l'homme. Des mesures de résistance ont également été effectuées sur des cadavres humains peu de temps après leur décès.

Entre 1970 et 1980, le professeur autrichien Biegelmeier s'est livré sur lui-même à des mesures de courant et d'impédance sous des tensions allant de 10 à 220 V, entre différentes parties de son corps et dans différentes conditions d'humidité. Il a ainsi effectué plus de 600 mesures qui ont permis d'améliorer de façon importante nos connaissances sur les effets du courant électrique sur le corps humain. Inutile de préciser que cet homme courageux s'était entouré de toutes les précautions nécessaires pour éviter tout risque d'accident ; en particulier, le circuit qui l'alimentait était protégé par quatre dispositifs différentiels de 30 mA en série, et son assistant disposait des moyens de réanimation nécessaires [3]

1.4 Normes et texte réglementaires

1.4.1 La réglementation

Le code du travail permet au Ministre du travail de prendre des décrets portant règlement d'administration publique en vue d'assurer l'hygiène et la sécurité des travailleurs.[4]

Il existe une véritable hiérarchie des différents textes : Figure .1.1

- La Loi : votée par l'assemblée nationale elle définit des objectifs à atteindre.
- Le Décret : Il découle d'une loi, il est signé par le ministre du gouvernement concerné, il précise les buts à atteindre.
- L'arrêté : Il est signé par le ministre du gouvernement concerné, il précise les moyens.

➤ La Circulaire : Émise pour les services techniques ou administratifs des ministères, et destinée aux fonctionnaires, elle analyse les textes et détermine une ligne d'action.

➤ La Note Technique : Émise par les services techniques des ministères, et destinée aux fonctionnaires, elle donne une interprétation technique d'un point particulier.

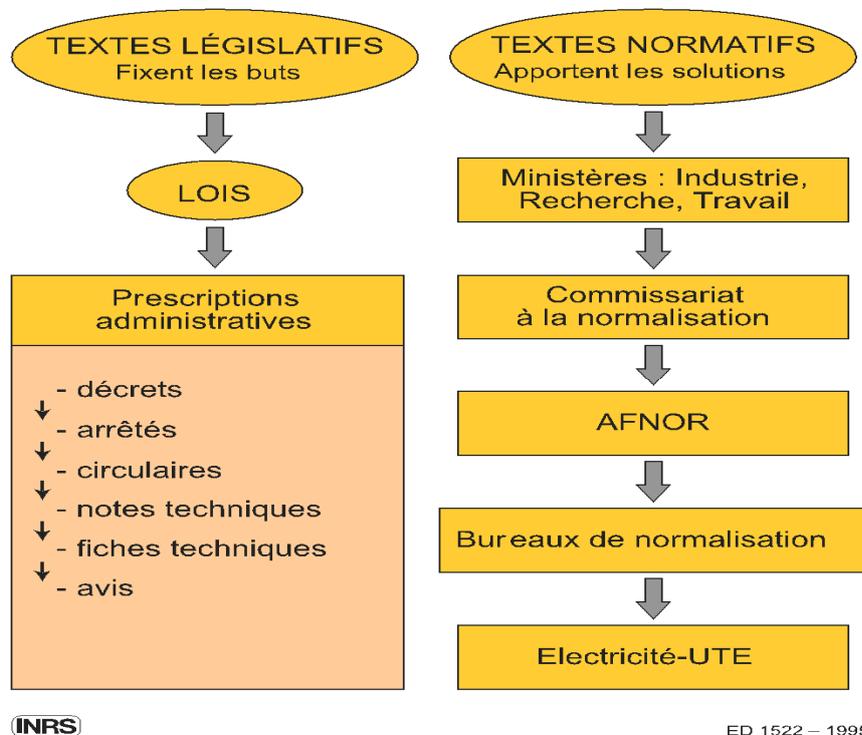


Figure 1.1 Texte et normes [4]réglementaires ED-1522-1995

1.4.2 Arrêtés

De nombreux arrêtés d'application ont été publiés. Certains renvoient à des normes d'installation et plus particulièrement à la **NF C 15-100** « Installations électriques à basse tension ».

Ces arrêtés couvrent plusieurs domaines comme par exemple :

- la protection des installations électriques ;
- les circuits et les installations de sécurité ;
- la vérification des installations, etc.

1.4.3 La Normalisation

A- Les normes

Ce sont des documents de référence qui apportent des réponses à des questions technique et commerciales[5] répétitives.

Elles sont élaborées selon des procédures strictes par l'ensemble des acteurs concernés : producteurs, utilisateurs, laboratoires, pouvoirs publics, consommateurs, puis homologuées par un organisme d'état : AFNOR (Association française de normalisation) pour la France, D.I.N (Deutsches Institut für Normung) pour l'Allemagne, S.I. (Standard Institut) pour la Grande Bretagne.

B- Rôle d'une norme

La norme est donc un ensemble de textes d'application volontiers et contractuelle . elle n'est pas obligatoires et correspondant à des critères momentanés qui peuvent évoluer dans le temps.

Dans certains cas, elle peut être rendus obligatoire par arrêté : c'est le cas pour la norme NFC15-100, norme de réalisations portant sur les installations électrique basse tension .

C- Différentes familles de normes

❖ Norme de réalisation

Elle définissent les règles de réalisation des installation électrique :

- NF C 15 100 :installations électriques à basse tension;
- NF C 13 100 :poste de livraison HT/BT;
- NF C 13 200 : installations électriques en haute tension.

❖ Norme de conception

Pour les normes de conception : elle définissent les règles de construction du matériel électrique

- NF C20-010 : classification des degrés de protection procurés par enveloppes (boitier, carasses de machine...);
- NF C20-030 : règles de sécurité relatives à la protection contre les chocs électriques ;
- **NF C71-008** : règles particulières concernant les baladeuses (éclairage portail) .

D- Organisme de normalisation

La norme sont définies et élaborer par organismes institutionnels.

□ Au niveau français

La normalisation en France est réglementée par la loi du 24 mai 1941 qui a créé l'Association Française de Normalisation (AFNOR) et définit la procédure d'homologation des normes. Cette loi est complétée par le décret n° 84-74 du 26 mai 1974 modifié par les décrets n° 90-653 et 91-283.

C'est elle qui assure la certification de produits et de service, critères de qualité baser sur une grande exigence.cette certification s'appuie sur des résultats d'essais, de contrôles de normes, de règlement technique donnant

⇒ Le marquage **NF** (norme française), certification de produits dans divers secteurs tels ceux de l'électricité, de l'ameublement ...

⇒ Le marquage **CE** définissant la conformité des produits aux exigences des directives européennes ;

⇒ La certification de système ISO 9000, définissant des critères de qualité.

Il existe des organismes de normalisation pour chaque secteur d'activité économique.

❖ Pour le secteur de l'électricité et de l'électrotechnique c'est la comité électrotechnique français (C.E.F).

❖ Concernant le matériel, les installations et les services, c'est l'union technique de l'électricité (U.T.E) qui fournit des normes homologues et des normes enregistrées, mais également des guides et des publications qui ne sont alors que des recommandations.

La publication UTE 18-510 regroupe les prescriptions de sécurité pour les travaux dans les établissements soumis au décret du 14 novembre 1988.

Les normes homologuées doivent être appliquées aux marchés passés par l'état, les établissements et services publics.

- Au niveau européen
- Il existe trois organismes de normalisation :
 - Le comité européen de normalisation (C.E.N) ;
 - Le comité européen de normalisation pour l'électrotechnique (CENELEC) ;
 - L'institut européen de normalisation des télécommunications (E.T.S.I.).
- Au niveau mondial
- Sur le plan international, trois organismes représentant les différentes nations :
 - L'organisme internationale de normalisations(ISO) dont l'AFNOR est le membre français ;
 - La commission électrotechnique internationale(C.E.I) :
 - L'union internationale des télécommunications(U.I.T).

E- Norme d'électricité NFC

Cette norme s'applique à tous les secteurs de l'électrotechnique : installations électriques basse et haute tension, générateur, récepteur, conducteur, appareils de mesure, de commande et de régulation, etc.

F-Norme NF C 15-100

NF C 15 100 : installation électrique basse tension.

NF : Distinction des produits fabriqués conformément aux normes françaises.

C : Indice de classe électrotechnique.

15 : Indice de sous classe.

100 : Numéro d'ordre de norme.

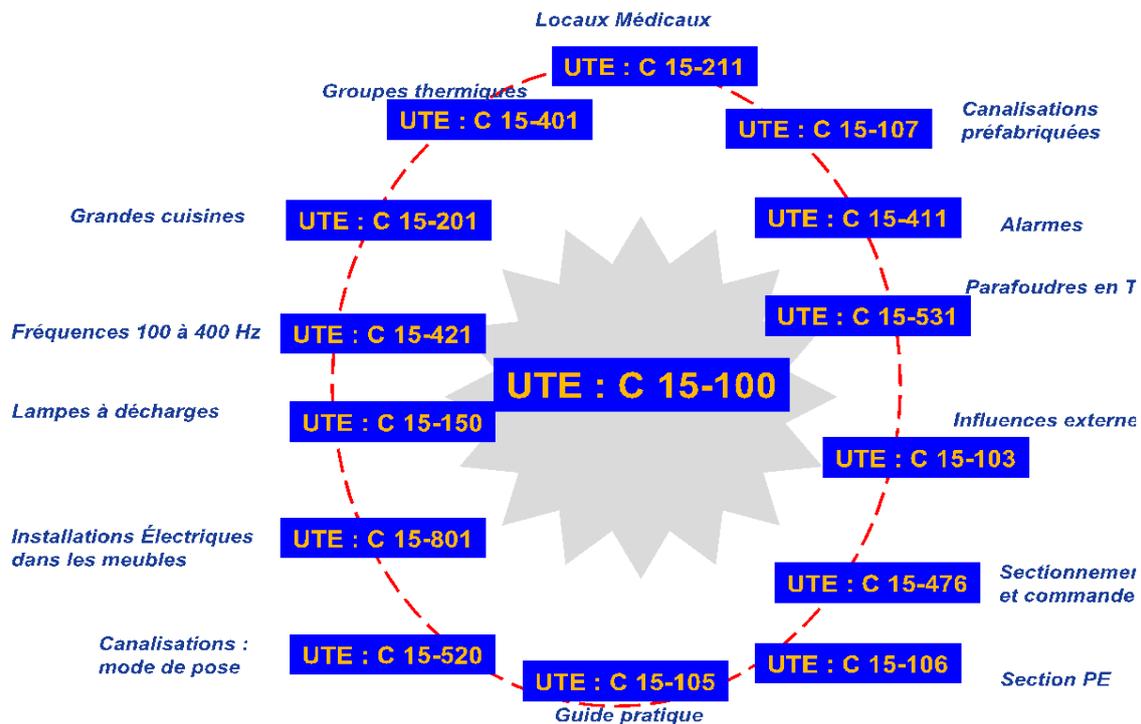


Figure 1.2 Normes [4] UTE NF C 15-100

1. 5 La législation relative à la prévention et la sécurité au travail

La législation relative à la prévention et la sécurité au travail fait appliquer le droit de l'homme à la santé au travail.

En Algérie, la santé au travail pour tous les travailleurs est un droit législatif. Nous citerons les [2] textes les plus importants :

- ⇒ Loi 83-13 du 2 juillet 1983 relative aux accidents de travail et aux maladies professionnelles -N° JORA 28 du 05/07/83.
TITRE 5 : Prévention.
Article 73, 74 et 75.
- ⇒ Loi 85-05 du 16 Février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé.
- ⇒ Loi 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène la sécurité et à la médecine de travail. N° JORA 04 du 27/01/88.

La présente loi a pour objet de définir les voies et les moyens ayant pour but d'assurer aux travailleurs les meilleures conditions en matières d'hygiène, de sécurité et de médecine du travail, et de désigner les personnes responsables et organismes employeurs chargés de l'exécution des mesures prescrites.

- Loi 06-23 du 20 décembre 2006 modifiant et complétant l'ordonnance N°66-156 du 8 juin 1966 portant code pénal.
- Décret exécutif N°91-05 du 19/01/1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail.
- Décret exécutif N°96-209 du 05/06/1996 fixant la composition, l'organisation et le fonctionnement du conseil national d'hygiène de sécurité et de médecine du travail.
- Décret exécutif N°97-424 du 11/11/1997 fixant les conditions d'applications du titre V de la loi 83-13 du 02/07/83 relatif à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles par la CNAS.
- Décret exécutif N°01-342 du 28 octobre 2001 relatif aux prescriptions particulières de protection et de sécurité des travailleurs contre les risques électriques au sein des organismes employeur.

Tous les textes réglementaires ont pour objet de définir tous les moyens applicables à tout organisme employeur afin d'assurer aux travailleurs les meilleures conditions en matières d'hygiène et sécurité.

Ils concernent aussi les prescriptions de sécurité auxquelles les employeurs et les travailleurs doivent se conformer lors des travaux d'ordre électriques effectués dans les établissements soumis au code du travail.

1.6 Statistiques d'accidents électriques

En Algérie il est difficile d'obtenir des statistiques sur les accidents électriques par manque d'enquêtes, d'études et d'organismes de statistiques développés. Mais à travers les statistiques de France présentées dans ce qui suit, on peut se faire une idée sur la situation qui peut exister en Algérie.

En France, il n'existe pas de structure nationale permettant l'établissement d'une statistique exhaustive sur l'origine des accidents. Des éléments partiels sont cependant disponibles auprès des divers organismes intéressés, susceptibles de donner une représentation assez cohérente ; la principale difficulté est, toutefois, de discerner les causes premières de ces accidents qui, sauf cas particuliers, ne sont pas connues avec suffisamment de précisions, et peuvent également faire l'objet [5] d'interprétations diverses.

1.6.1 Exemple

Chute d'un ouvrier de l'échafaudage causée par un choc électrique : le décès éventuel sera classé sous la rubrique « —chutes ».

Nombreux sont les incendies réputés provenir d'un — *court-circuit* ; ce qui est certain, c'est que, en cas de feu, des courts-circuits se produisent ; sont-ils survenus avant ou après le départ du feu ? Cela reste à discerner.

Sont présentés ici des tableaux provenant de différents organismes et qui bien que portant sur des périodes différentes ont permis de croiser des informations et de proposer des conclusions

Qui montrent que la pédagogie des accidents d'origine électrique doit continuer tant que l'on n'atteint pas la suppression de tous ces accidents.

1.6.2 Principaux facteurs

Il ya en France, chaque année, des accidents mortels dus a l'électricité dans les secteurs domestiques et industrielle.

En Europe près de 70 millions de logements domestique ne sont pas aux normes de sécurité, ce qui provoque chaque année 16000 blessés et 540 morts

On constate 3 principaux facteurs :

- L'ignorance : personnes (bébé, enfant ...) ne connaissant pas les dangers du courant électriques ;
- L'imprudence : personnes prenant des risques en connaissant les dangers ;
- La négligence : personnes oubliant le danger du courant électrique donc ne prenant pas de précautions suffisantes pour s'en protéger.

1.6.3 Statistiques de l'INSERM

L'INSERM (Institut national de la santé et de la recherche médicale) recense la plupart des cas mortels. Le tableau 1.2 en récapitule les données pour les années 1970 à 1999 (les statistiques actuelles n'étant plus publiées).

1	2	3	4	5	6	7	8
Année	Hommes	Femmes	Total	Population (en 10 ⁶ habitants)	Consommation par millions d'habitants (10 ³ kWh)	Taux (4/5) pour 10 ⁶ habitants	Taux (7/6) pour 10 ⁶ habitants et 10 ³ kWh consommés
1970	176	26	202	50,52	2,573	4	1,55
1975	144	29	173	52,65	3,166	3,28	1,04
1980	130	19	149	53,59	4,326	2,78	0,64
1985	146	22	168	55,06	5,077	3,05	0,60
1990	112	22	134	56,61	5,704	2,37	0,41
1995	76	10	86	58,02	6,341	1,48	0,23
1999	69	12	81	58,39	6,735	1,39	0,20

Tableau 1.1 Accident [3] mortels (doc .INSERM)

Les colonnes 1 à 4 proviennent de l'INSERM.

Les colonnes 5 à 8 proviennent du croisement avec les chiffres tirés des enquêtes annuelles du ministère chargé de

l'énergie (Industrie).

Ce taux tient compte tant de l'accroissement de la population que de celle de la consommation. On note, sur cette période, une baisse constante du nombre d'accidents.

1.6 .4 Statistiques de la CNAM

La CNAM (Caisse nationale de l'assurance maladie) couvre le domaine général des risques professionnels et publie des statistiques d'accidents du travail. Le tableau 1.3.en récapitule les données pour les années 1981 à 2010.

Année	AT-arrêt	AT - IP	Décès	Nombre de journées perdues
1975	2 793	360	67	
1980	1 883	247	50	
1981	1 829	225	40	
1982	1 671	224	41	
1983	1 601	210	39	
1984	1 445	209	30	
1985	1 306	185	42	
1986	1 228	149	29	
1987	1 254	143	25	
1988	1 200	196	43	
1989	288	172	37	
1990	1 308	177	35	
1991	1 288	174	38	
1992	1 225	167	27	
1993	1 045	128	25	
1994	958	118	13	
1995	930	122	12	
1996	916	99	19	45 180
1997	906	86	17	39 484
1998	896	89	9	35 526
1999	861	81	11	40 538
2000	888	84	12	45 399
2001	874	69	16	Non enregistré
2002	915	97	8	50 817
2003	837	87	6	52 655

2004	865	79	22	49 935
2005	802	90	5	43 156
2006	834	74	11	48 018
2007	838	86	11	42 766
2008	771	82	9	47 917
2009	807	79	5	50 691
2010	713	74	5	44 662

AT-arrêt : accidents du travail avec arrêt

AT-IP : accidents ayant entraîné une incapacité permanente

Tableau 1.3 Accidents du travail [3] d'origine électrique (doc. CNAM)

On observe sur la période 1998-2008 une moyenne de 853 accidents enregistrés ayant pour cause l'électricité, 84 accidents graves et 11 mortels, pour un nombre de journées perdues de 41 521.

Pour se faire une idée de l'incidence du facteur électricité sur la population active on note que pour l'année 2008, 18 508 530 salariés ont été concernés, qu'il y a eu 703 976 accidents avec arrêt, 44 037 accidents graves, 569 décès et 37 422 365 journées perdues.

Si on compare ces derniers chiffres avec les moyennes précédentes, on peut dire que l'électricité représente 0,12 % des accidents, 0,19 % des accidents graves, 1,94 % des accidents mortels et 0,11 % des journées perdues.

Bien que la tendance à la baisse apparaisse sur une longue période, il faut cependant constater que le nombre d'accidents mortels n'arrive plus à baisser significativement. Cette situation laisse penser qu'il faut maintenir en permanence une grande vigilance lors des opérations sur ou au voisinage des ouvrages et des installations électriques dans tous les usages de l'électricité, d'autant plus que le risque d'accident mortel est 10 fois plus grand que pour les autres accidents.

1.6 .5 Différentes statistique (d'après documents INRS)

L'INRS (Institut national de recherche et de sécurité) reprend les résultats publiés par la CNAM et a produit une analyse d'une centaine d'accidents sur des installations à basse tension, sur une quinzaine d'années.

A- Evolution des accidents d'origine électrique

Le nombre des accidents du travail [6] d'origine électrique est passé de près de 3 000 avant 1975 à 834 en 2006. Il en va de même des accidents graves, dont le nombre recule de 360 en 1975 à 74 en 2006. Cette tendance traduit une plus large maîtrise du risque, mais les analyses de sévérité sont là pour nous en rappeler la particulière gravité.

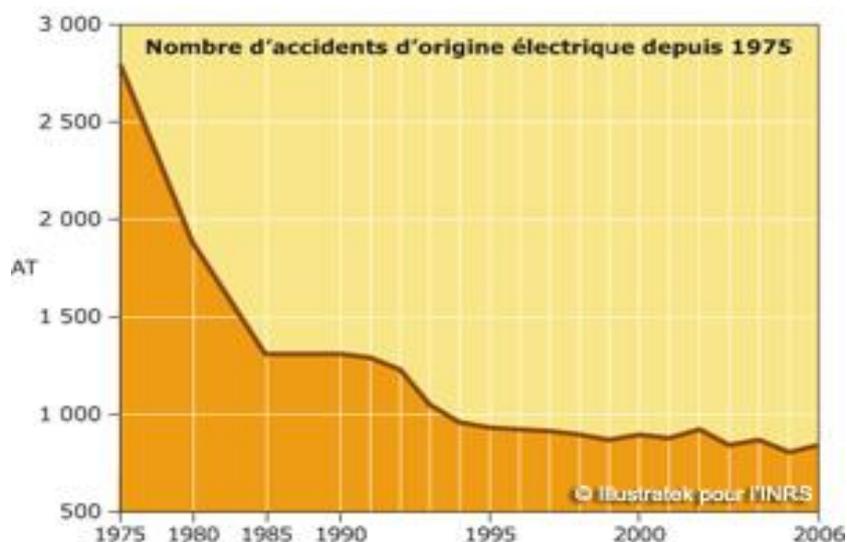


Figure 1.4 Evolution du nombre [7] d'accidents d'origine électrique depuis 1975

B- Triangle de sévérité

Les triangles de sévérité mettent en lumière la particulière gravité du risque électrique. Les accidents d'origine électrique sont 17 fois plus souvent mortelles que les accidents ordinaires.

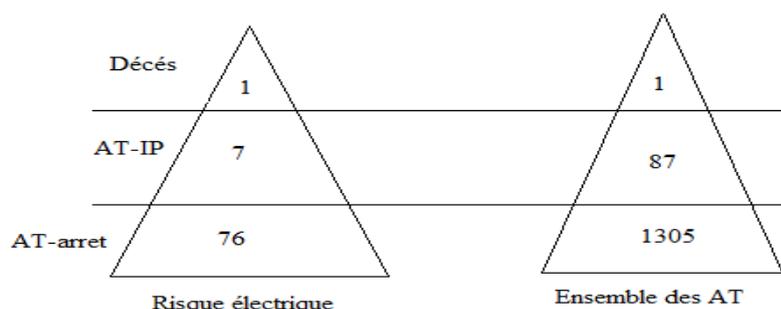


Figure 1.5 Triangle de sévérité INRS

1.6.6 Accidents d'origine électrique selon le comité technique national (CTN)

En 2006, on comptait 834 accidents [7] d'origine électrique. Les salariés les plus touchés :

- le secteur du bâtiment et des travaux publics (31 %).
- la métallurgie (18 %).
- les activités de service et du travail temporaire (14.3 %).
- l'alimentation (11.6 %).

Accidents d'origine électrique selon le CTN			
Comités techniques nationaux	AT-arrêt	AT - IP	Décès
A Métallurgie	150	5	0
B Bâtiment et travaux publics	258	34	7
C Transports, EGE, Livre, Communication	61	4	0

D Alimentation	97	7	1
E Chimie, Caoutchouc, Plasturgie	30	3	1
F Bois, Ameublement, Papier-carton, Textiles, Vêtement...	31	2	0
G Commerces non Alimentaires	53	4	1
H Activités de Services I	35	2	0
I Activités de Services II et Travail Temporaire	119	13	1
Total électricité	834	74	11
Ensemble des accidents du travail	700 772	46 596	537
Pourcentage des accidents dus à l'électricité	0,12 %	0,16 %	2,05 %

Tableau 1.4 Accidents d'origine électrique selon le CTN

1.6.7 Accident d'origine électrique selon l'élément matériel en cause

On peut noter que, dans 69 % des cas, les circonstances de l'électrisation ne sont pas connues. Ou sont insuffisamment précis. Les accidents se produisent surtout lors de travaux sur des installations fixes basses tension (19,6 %), au cours de l'utilisation de machines-outils portatives, d'appareils de soudure électrique, de lampes portatives, ou de ponts roulants. Les interventions sur ou au voisinage du réseau concernent les lignes aériennes, les postes de transformation et les canalisations enterrées.

Les lésions souvent multiples, touchent principalement les yeux, les membres supérieurs, les mains. Ce sont des brûlures, des commotions, des contusions ou des plaies.

La meilleure prévention consiste à travailler hors tension, à mettre en œuvre un plan de prévention et des procédures d'intervention.

Accidents d'origine électrique selon l'élément matériel en cause			
Élément matériel	AT-arrêt	AT - IP	Décès
non précisé	117	11	2
non classé ci-dessous	463	43	5
Installations fixes basse tension	164	8	1
Ponts roulants	10	1	1
Machines outils portatives	13	3	0
Machines et appareils de soudure électrique	16	0	0
Lampes portatives	8	0	0
Plate-forme d'essai	4	0	0
Poste de transformation côté BT	3	0	0

Poste de transformation côté HT	3	1	0
Lignes aériennes BT	9	0	0
Lignes aériennes HT	10	4	2
Canalisations enterrées	12	2	0
Matériel à haute fréquence	2	1	0
Total électricité	834	74	11

Tableau 1.5 Accidents d'origine électrique selon l'élément matériel en cause

1.6.8 Conclusion

Le nombre d'accidents dus à l'électricité diminuent régulièrement restent particulièrement graves (chaque année, une dizaine de travailleurs meurent électrocutés).

Le risque électrique en milieu de travail, s'il est mieux maîtrisé, reste toujours présent. Les statistiques prouvent la diminution du nombre d'accidents tout en soulignant leur exceptionnelle gravité.

Chapitre 2 Nature des accidents électrique et danger du courant Électrique

2.1 Introduction

Chaque année en France, on compte plus de 1 000 accidents d'origine électrique dans le monde du travail dont une vingtaine sont mortels. En milieu domestique il faut largement multiplier ces chiffres 4 ou 5. Le danger est présent partout, comme on l'a dit en milieu sec, c'est à partir de 50 V qu'il y a danger de mort. La valeur de la tension que nous côtoyons tous les jours vaut 230 V. Ce danger est souvent protégé par seulement un petit demi-millimètre d'isolant. Il faut savoir que cet isolant a une durée de vie limitée (environ 30 ans dans les meilleures conditions). Cet isolant n'est pas présent partout ; dès que l'on ouvre ou démonte un appareil électrique des fils peuvent être nus. Le danger est bien présent partout, il faut faire attention dès que l'on côtoie le domaine du monde électrique.

2.2 Généralité

Il existe trois risques majeurs d'accident d'origine électrique comme indiquer dans la Figure.2.1. le choc électrique, le court-circuit et autre risque [2]. [8] [9].

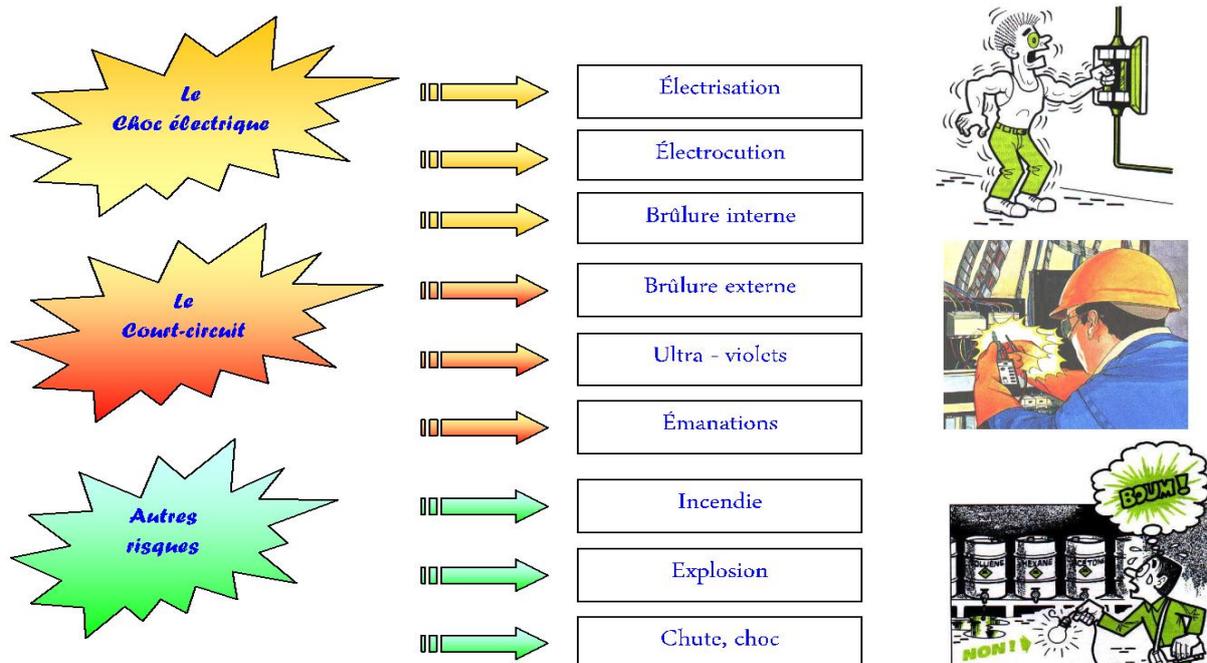


Figure 2. 1 Accident d'origine électrique.

2.2.1 Terminologie

Il convient de rappeler d'abord la terminologie propre aux accidents d'origine électrique.

A- Le choc électrique

- ✓ Électrisation :

Choc électrique sans suite mortelle, mais des séquelles plus ou moins graves sont possibles. Ou bien correspond aux différentes manifestations physiopathologiques dues au passage du courant électrique à travers le corps humain.

- ✓ Electrocutation

Choc électrique avec suite mortelle. Ou bien est une électrisation mortelle.

- ✓ Brulure interne

Le choc électrique provoque le passage du courant dans le corps humain, avec échauffement et brûlures des tissus internes par effet Joule

B- Le court circuit

Lorsque deux conducteurs de potentiels différents se touchent accidentellement, le courant engendré est tel que les échauffements sont très importants, jusqu'à faire fondre le métal.

- ✓ Brulures externe

Le cuivre en fusion est projeté autour du point de court circuit

- ✓ Ultra violets

La flamme du court circuit émet un rayonnement ultra violet très néfaste pour l'œil humain.

- ✓ Emanations

La chaleur du court circuit brûle également les matières plastiques qui produisent des émanations, fumées et des gaz toxiques.

C- Autre risque

Lors des accidents électriques tels que ci-dessus, il peut survenir des conséquences tout aussi graves sans choc électrique.

- ✓ Incendie :

La chaleur du court circuit peut créer un incendie dans les locaux confinés, ou les locaux inflammables.

- ✓ Explosion :

La chaleur ou le début d'incendie peut engendrer une explosion des produits sensibles.

- ✓ Chute, chocs :

Lors d'un accident électrique, la personne peut avoir une réaction de réflexe incontrôlée, peut se blesser dans un mouvement de recul, peut chuter de sa hauteur ou d'une plateforme.

Un décès par chute suite à un incident électrique est classé comme accident électrique.

2.3 Classement

On peut classer les accidents d'origine électrique suivants :

2.3.1 Nature des contacts

Le passage [10] d'un courant de choc dans le corps humain est la conséquence d'un contact, ou d'un toucher, avec des conducteurs ou des parties conductrices accessibles, et portées à des potentiels différents. Figure 2.2

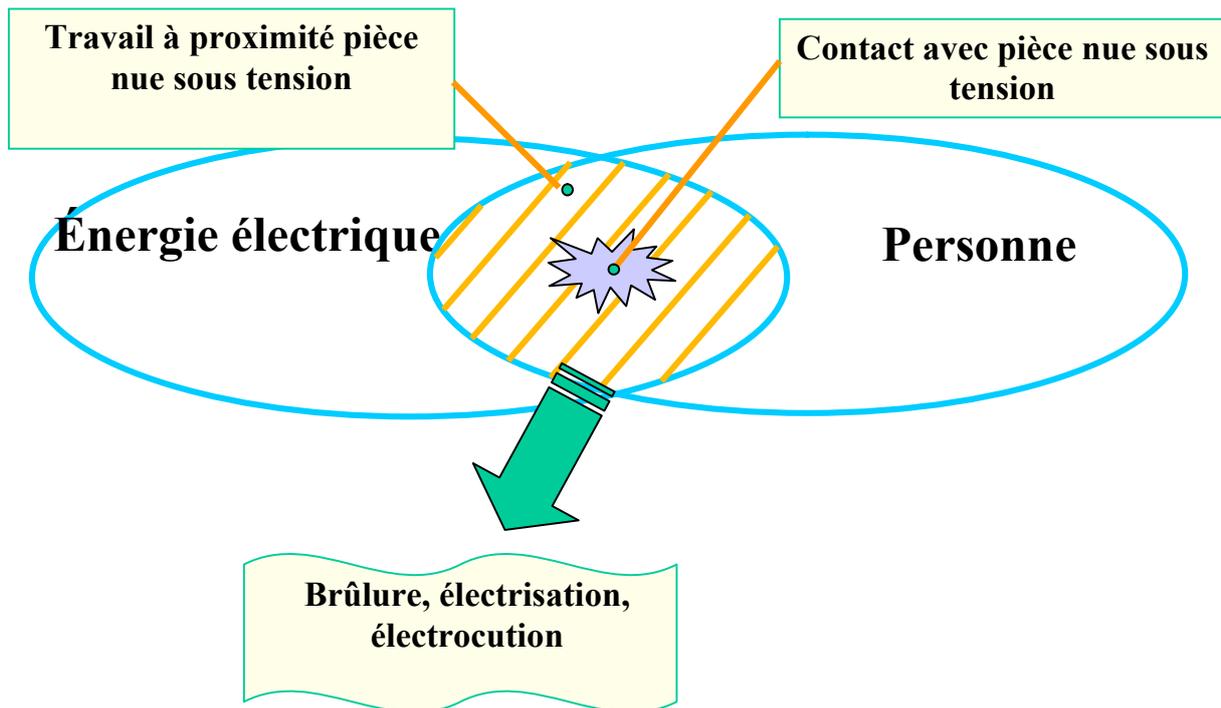


Figure 2.2 Nature des contacts [10]

A- *Contacts directs*

- Contacts directs : 45 % des accidents du travail.

C'est le contact d'une personne avec les parties actives des matériels électriques, c'est à dire des parties normalement sous tension.

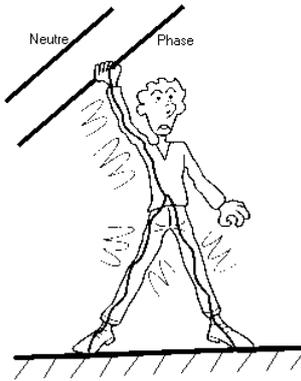


Figure 2.3 contacts directs

Ces parties actives peuvent être :

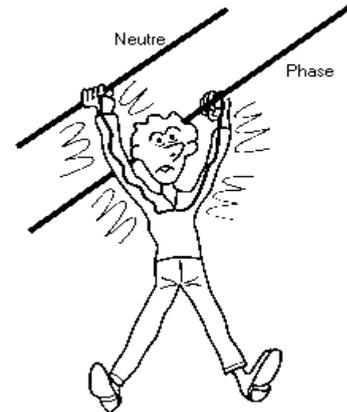
- des conducteurs actifs (phase, neutre...)
- des pièces conductrices des matériels et des équipements susceptibles de se trouver sous tension en service normal.

Exemples :



Le personnage est mis sous tension entre un conducteur actif avec sa main droite et le sol. Le corps est soumis à une tension de 230V (environ). Seule la protection active par disjoncteur différentiel haute sensibilité à courant résiduel (30mA) peut être efficace.

Le personnage est soumis à un potentiel de 230V, aucun appareil de protection ne peut couper le courant. Il est considéré par les protections comme un récepteur.



B- Contacts indirects

- Contacts indirects : 20 % des accidents du travail.

C'est le contact d'une personne avec des parties qui sont devenues actives accidentellement en particulier à cause d'un défaut d'isolement.

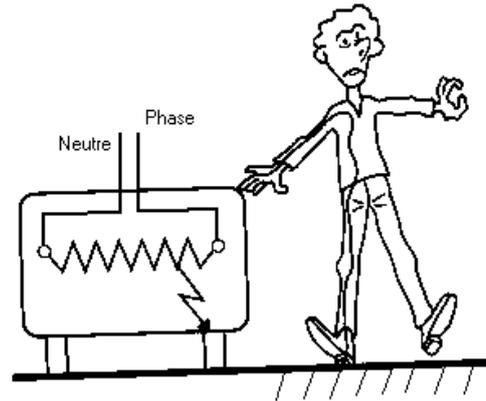
Dans ce cas les parties simultanément accessibles peuvent être : des masses, des éléments conducteurs, des conducteurs de protection, des prises de terres.



Figure 2. 4 Contacts indirects

Exemple :

Le personnage se trouve relié au potentiel de la phase donc sous environ 230V. Seul un disjoncteur différentiel associé à une prise de terre peut couper le courant.



C-Autre contacts électriques

- 20 % des accidents du travail
 - approche de personne au voisinage de parties actives, particulièrement dans les domaines Hautes Tensions HTA et HTB.
- 15 % des accidents du travail
 - isolation ne convenant pas dans des conditions prévues,
 - rayonnement thermique ou phénomènes tels que la projection de particules en fusion et les effets chimiques dus à des courts-circuits, surcharges,...

2.4 Les différents degrés de gravité du courant électrique sur le corps humain

2.4.1 Electrification

Le passage d'électricité dans le corps, ou "électrification", cause parfois des brûlures externes [10][11] et internes, des troubles du rythme cardiaque et des lésions d'organes. Figure.2.5.



Figure 2.5 Electrification [11]

En cheminant dans le corps, l'électricité peut endommager tous les organes qu'elle rencontre, causant différentes blessures et lésions entrant dans deux catégories :

- excito-moteurs (stimulation des neurones, muscles, etc.) ;
- thermiques, soit des brûlures électriques, qui peuvent être superficielles et visibles, ou internes et plus importantes sur le trajet du courant électrique, alors même que les lésions sont en apparence minimales.

Il vous est ici proposé un classement des effets sous trois aspects:

- Les aspects immédiats, soit ceux constatés à la prise en charge de l'accident.
- Les aspects différés, conséquences de l'électrisation, prenant la forme de troubles, déficits ou séquelles, qui ne pourront être diagnostiqués que plus tardivement.
- Les lésions associées, sans lien avec le phénomène électrique, mais directement liées à l'accident.

A- Les aspects immédiats

➤ Les brûlures

Les brûlures électriques se voient aux points d'entrée et de sortie du courant. Elles apparaissent sèches, noirâtres et de petites dimensions. Elles sont le plus souvent indolores ce qui signe leur profondeur (assimilable à une brûlure de 3° degré).

Des destructions cellulaires invisibles existent en fait sur tout le trajet parcouru par le courant (réseau vasculo-nerveux, muscles,...) d'où la notion de gravité potentielle des électrisés, quel que soit leur état initial, car ces lésions s'aggravent dans les heures ou les jours qui suivent.



Figure 2.6 électrisation avec brûlure

➤ Les atteintes neurologiques

La perte de connaissance, lorsqu'elle survient, peut être la conséquence de l'inhibition (mise au repos) du système nerveux central ou d'un manque d'oxygène (hypoxie) liée à une atteinte des autres fonctions vitales (ventilatoire, circulatoire) et expose aux dangers classiques du malade inconscient:

- Détresse respiratoire par obstruction des voies aériennes (ex: chute de la langue dans le fond de la gorge, inhalation du vomi).
- convulsions

➤ Les atteintes ventilatoire

La téτανisation musculaire peut entraîner un arrêt respiratoire qui cessera après le dégagement. La persistance des troubles, malgré la suppression de la cause, fait craindre un arrêt cardiaque.

➤ Les troubles circulatoires.

Ils sont dus à la luminosité provoquée par l'arc électrique : éblouissement aveuglements, douleurs oculaires, conjonctivite ; brûlure de la rétine par ailleurs, une électrisation peut provoquer une cataracte (opacité du cristallin) ou dégrader la rétine, entraînant une perte de vision.

B- Les aspects différés

➤ Les troubles cardio-vasculaire

le rythme cardiaque est perturbé et on peut observer une fibrillation des oreillette du cœur, un infarctus du myocarde, une rupture vasculaire et de l'hypertension due à la contactions des artères.

➤ Neurologiques

Des déficits neurologiques comme la paralysie d'un coté du corps (hémiplégie), des syndromes épileptiques, des troubles sensoriels, visuels, et auditifs et des manifestations psychiatriques peuvent aussi compliquer la guérison de la personne électrisée.

➤ Traumatiques

Les brûlures et les lésions associées peuvent laisser des séquelles fonctionnelles graves avec par exemple des complications de cicatrisation musculaire et tendineuse.

2.4.2 Electrocutation

Dans les cas les plus graves, lorsque les lésions sont mortelles, on parle d'électrocution. D'origine accidentelle **Figure.2.7**.



Figure 2.7 .Cas d'une électrocution.

2.4.3 Fibrillation ventriculaire

La fibrillation ventriculaire [12] qui peut suivre l'électrisation est un état transitoire de l'organisme, dit *état de mort apparente*, qui correspond à un rythme de fonctionnement anarchique du cœur sous l'effet du passage d'un courant électrique de faible intensité (de l'ordre de quelques dizaines de milliampères (Figure.2.8). Ce régime cardiaque perturbé du cœur peut se prolonger et l'arrêt

définitif du cœur se produire s'il n'y a pas d'intervention extérieure de réanimation (ventilation artificielle, massage cardiaque) permettant le maintien de la survie en attendant l'arrivée des secours médicalisés d'urgence.

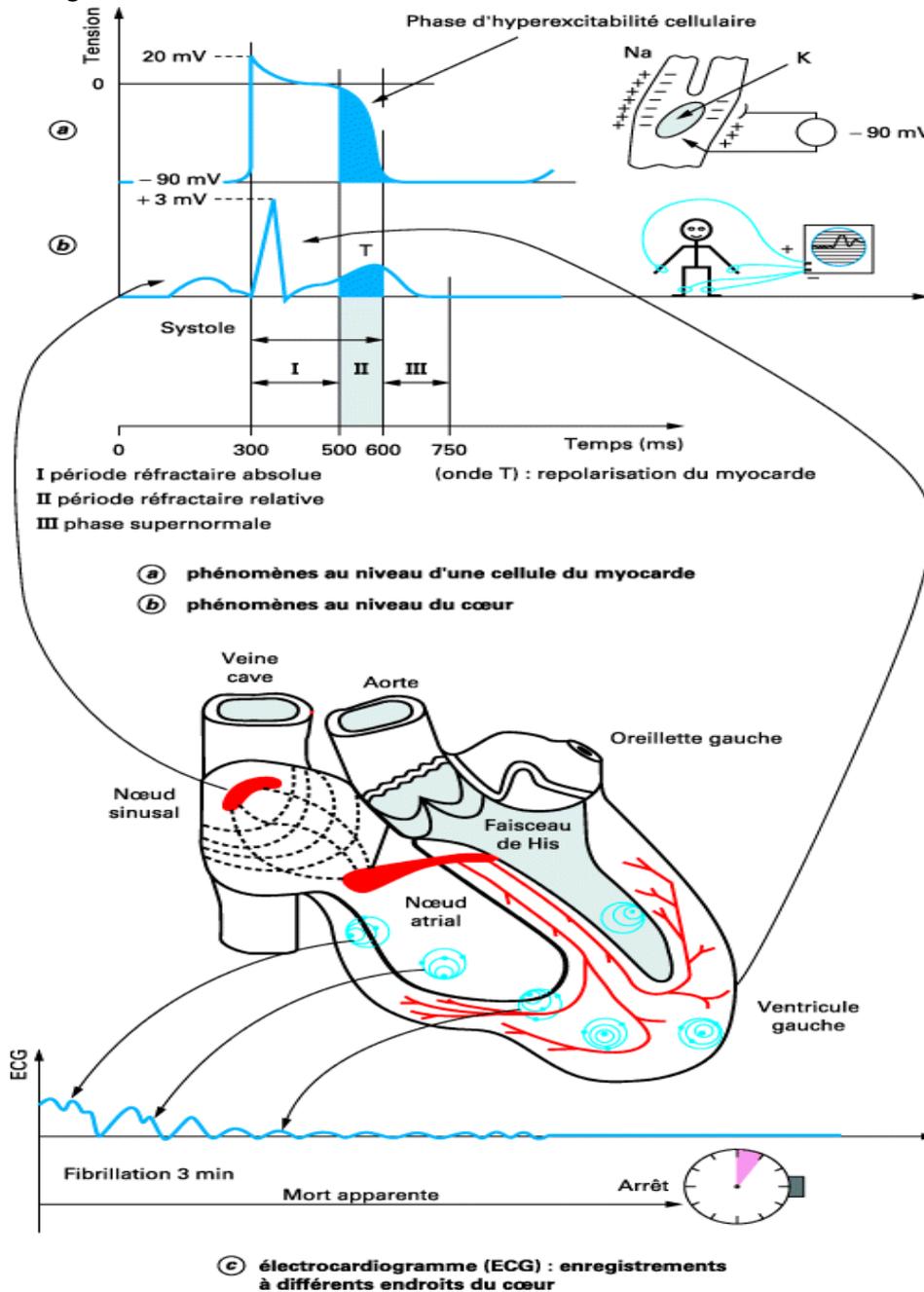


Figure 2.8 Fibrillation ventriculaire [12] (d'après le Dr Folliot)

➤ Les organes fragiles

Ils sont 40 fois plus fragiles que la peau :

- le cerveau
- les poumons
- le cœur
- le foie
- les reins

➤ siège des lésions

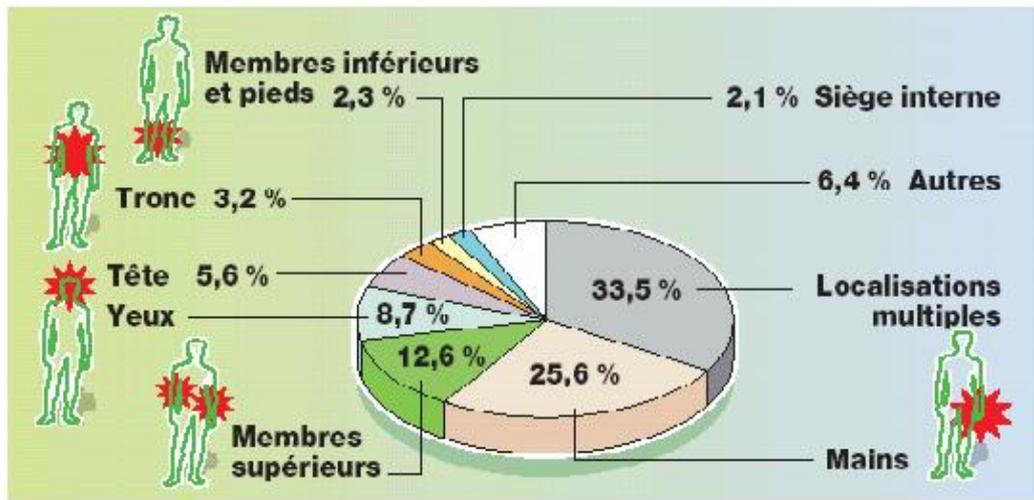


Figure 2.9 Les organes fragiles [11]

Nota : d'une façon général les effets physiologiques d'une électrisation sont caractériser par :

- brûlures : externes ou internes ;
- destruction de cellules à l'intérieur du corps ;
- fibrillation ventriculaire pouvant causer un arrêt cardiaque ;
- crise de tétanie (contraction des muscles) pouvant causer une asphyxie. C'est aussi cette dernière qui explique pourquoi un individu électrisé n'arrive parfois plus à relâcher le contact (par exemple quand on tient un fil dans la main) ;
- traumatismes secondaires liés à des chutes ou des mouvements involontaires.

2.5 Effets du courant électrique sur le corps humain

2.5.1 Effets physiopathologiques

Des études menées dans le monde entier sur des animaux et dont les résultats ont été extrapolés à l'homme, ont permis pour des courants alternatifs (15 Hz à 100 Hz) de fixer des valeurs d'intensité points de repères ou seuils. Ces résultats d'expérience 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 courante dangereuse publication CEI 479-1 et 479-2.[13][14][15].

Les effets physiopathologiques du courant électrique sont indiqués sur le diagramme temps-courant de la Figure. 2.10; ce diagramme comporte quatre zones dans lesquelles les effets vont en s'aggravant de la zone 1 à la zone 4 :

- la zone 1 habituellement aucune réaction : le seuil de perception varie suivant les individus, suivant leur sexe et leur taille, mais se situe entre 0,1 et 0.5 mA ;
- la zone 2 habituellement, aucun effet physiologique dangereux ; cette zone se situe entre le seuil de perception et le seuil de non-lâcher ; (0.5 à 10 mA) ;
- la zone 3 (entre les courbes B et C₁) Habituellement aucun dommage organique Probabilités de contractions musculaires et de difficultés de respiration , pour des durées de passage du courant supérieures à 2 secondes dans laquelle le passage du courant peut provoquer quelques troubles de circulation et des difficultés de respiration, mais sans conséquences irréversibles ; en particulier, une personne qui tient dans sa main une poignée ne peut plus desserrer son étreinte ; le seuil de non-lâcher se situe au-dessus de 10 mA ;
- la zone 4 dans laquelle existe-le risque de fibrillation ventriculaire, pouvant entraîner l'arrêt cardiaque ; ce risque est d'autant plus grand que la durée de passage du courant est supérieure à celle d'un cycle cardiaque.

Pour la zone 4 on observe :

- ❑ Au-dessus de la courbe **c1** : Augmentant avec le courant et le temps, des effets physiopathologiques tels qu'arrêt du cœur, arrêt de la respiration, brûlures graves peuvent se produire en complément avec les effets de la zone 3
- ❑ Entre les courbes c1 et c2 : Probabilité de fibrillation ventriculaire augmentant jusqu'à 5 % ;
- ❑ Entre les courbes c2 et c3 : Probabilité de fibrillation ventriculaire jusqu'à environ 50 % ;
- ❑ Au-delà de la courbe c3 : Probabilité de fibrillation ventriculaire supérieure à 50 %.

Nota : $T_{\text{cycle cardiaque}} = 0,8 \text{ s} \geq T_{\text{période du courant électrique}} = 0,02 \text{ s}$ pour $f = 50 \text{ Hz}$ le passage du courant électrique fait vibrer le cœur à une fréquence à laquelle il ne peut plus assurer sa fonction de pompe, et ce d'autant plus que le passage du courant s'effectue au cours de la période vulnérable du cycle cardiaque pendant laquelle la pompe se réamorç

On déduit donc la courbe C1 en forme en S qui sépare les zones ③ et ④ du diagramme temps-courant et qui se situe entre les valeurs limites suivantes :

- ❖ 40 mA pendant ; $t > 5 \text{ s}$
- ❖ 500 mA pendant $t = 30 \text{ ms}$

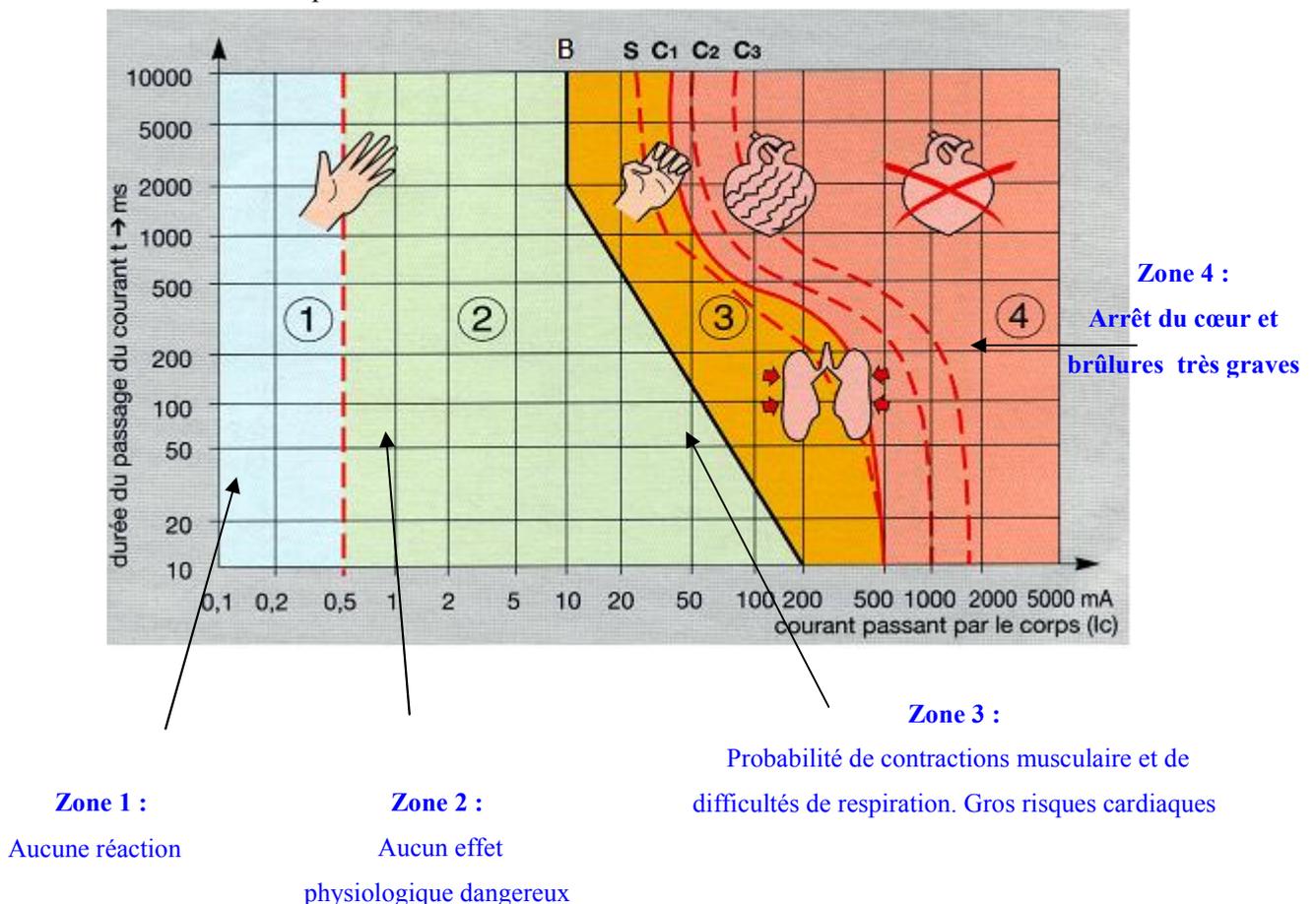


Figure 2.10 Zones temps-courant des effets du courant alternatif (15 Hz à 100 Hz) sur des personnes (CEI 479-1) [13].

Effets du passage du courant alternatif		
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 mn 30
20 mA	début de téτανisation de la cage thoracique	60 s
30 mA	paralysie ventilatoire	30 s
40 mA	fibrillation ventriculaire	3 s
75 mA	fibrillation ventriculaire	1 s
300 mA	paralysie ventilatoire	110 ms
500 mA	fibrillation ventriculaire	100 ms
1 000 mA	arrêt cardiaque	25 ms
2 000 mA	centre nerveux atteints	instantané

Tableau 2.1 Effet du passage du courant alternatif [13].

Les risques sont d'autant plus importants que le temps de passage du courant de choc électrique est long.

En pratique, lorsqu'une personne est traversée par un courant électrique, le passage de ce courant est provoqué par la tension à laquelle est soumise cette personne (tension de contact Figure. 2.12). C'est pourquoi le diagramme temps-courant doit être transposé en diagramme temps-tension en tenant compte de l'impédance électrique du corps humain

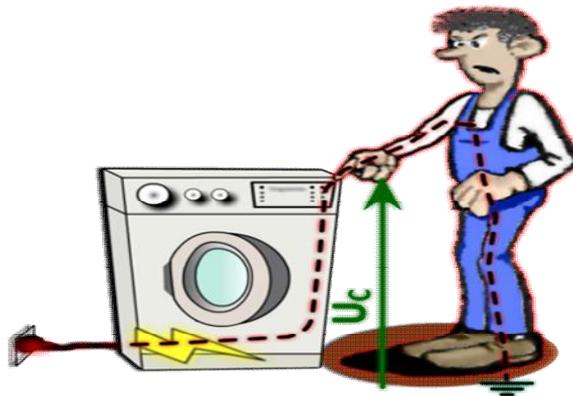


Figure 2.11 Tension de contact

2.5.2 Impédance électrique du corps humain

L'impédance électrique du corps humain peut être représentée schématiquement par la Figure. 2.12 : on voit que cette impédance est constituée :

- d'une part, de l'impédance de la peau, équivalente à une résistance R_p en parallèle avec un condensateur C ;
- d'autre part, de la résistance des muscles et tissus des membres R_i , le tronc étant pratiquement équipotentiel.

Les expériences [16] [17] récentes ont montré que, pour des tensions supérieures à environ 80 V, le condensateur en parallèle avec la résistance R_p se mettait en court-circuit, et que seules subsistaient les résistances R_i qui n'étaient pas influencées par les conditions d'humidité.

L'impédance électrique du corps humain à prendre en considération pour la détermination de la tension de contact dépend essentiellement de deux éléments :

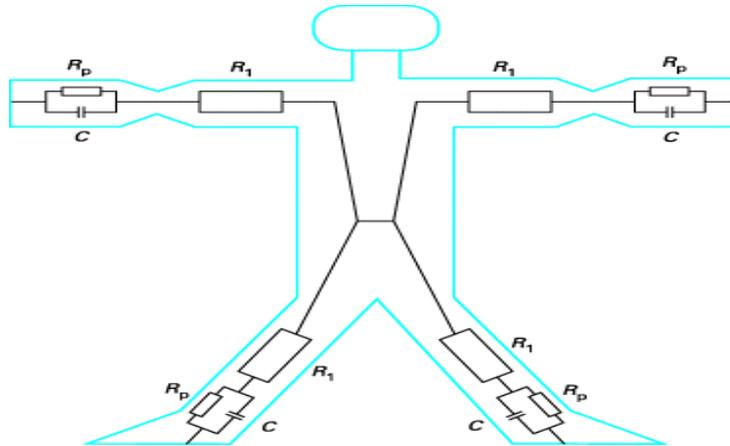


Figure 2.12 Impédance électrique du corps humain [17]

- le trajet le plus probable du courant de défaut dans le corps de la personne ;
- les conditions d'environnement, notamment en ce qui concerne la présence d'eau, qui peut affecter les conditions de contact des personnes avec la terre.

Ces deux éléments permettent d'établir la relation qui doit exister entre la tension de contact présumée et le temps de passage du courant, pour qu'il n'en résulte habituellement pas d'effet physiologiquement dangereux pour toute personne soumise à cette tension de contact.

La courbe de sécurité L donnant le Temps de coupure c'est -à-dire le temps pendant lequel le courant alternatif (15 à 100 Hz), peut passer par le corps humain sans provoquer d'effet dangereux. Se situe dans la zone 3 de la Figure. 2.13: du fait du caractère statistique de cette dernière courbe, qui est sujette à des erreurs et correspond à des personnes de caractéristiques moyennes et non aux personnes les plus sensibles. En outre, cette courbe tient compte de valeurs statistiques d'impédance du corps humain, telles que 95 % des personnes possèdent une impédance de valeur supérieure.

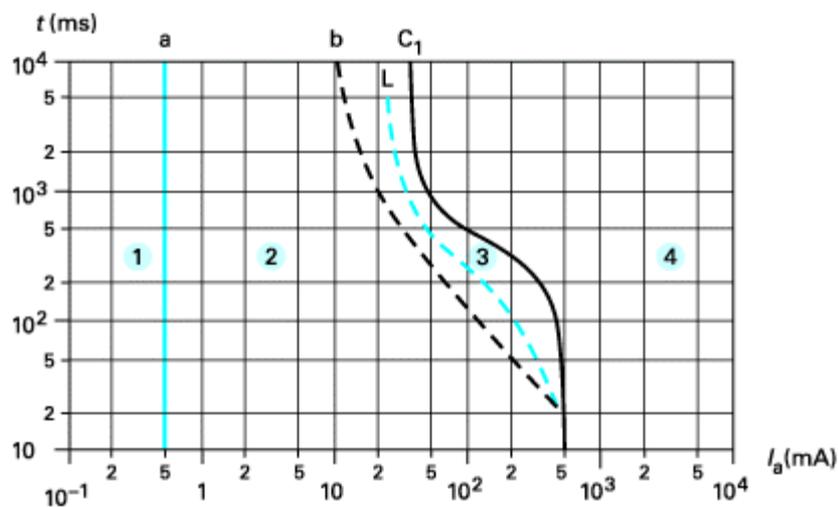


Figure 2.13 Courbe donnant le Temps de coupure [17]

I_B Courant passant par le corps
 t : Durées du passage du courant.

L : Courbe donnant le Temps de coupure c'est -à-dire le temps pendant lequel le courant peut passer par le corps humain sans provoquer d'effet dangereux.

Nota :

Les études internationales (UTE C15-110, UTE C15-111, UTE C15-112) ont montré que la courbe L ainsi définie assurait de façon statistique une sécurité satisfaisante, une sécurité absolue ne pouvant être obtenue.

2.5.3 Situations des personnes

On distingue trois situations des personnes. Normale, particulière et immergée.

A- Une situation normale

Une situation normale : elle correspondait aux caractéristiques suivantes :

- locaux (ou emplacement) secs ou humides ;
- peau sèche, en tenant compte de la présence de sueur ;
- sol présentant une résistance importante.

Calcul de L'impédance électrique Z_1 :

L'impédance électrique est calculer On tenant compte des conditions de protection dans la situation normal (BB1) : $Z_1 = 1\ 000 + 0,5 Z_5$ (en Ω)

BB 1 : résistance normale ; conditions générales dans lesquelles se trouvent les personnes ; la valeur de la résistance tient notamment compte de la présence de chaussures et d'une certaine résistance du sol ;

La valeur de 1 000 Ω représentant (R chaussures+R sol)

Z_5 % étant la valeur, indiquée dans la CEI 479,

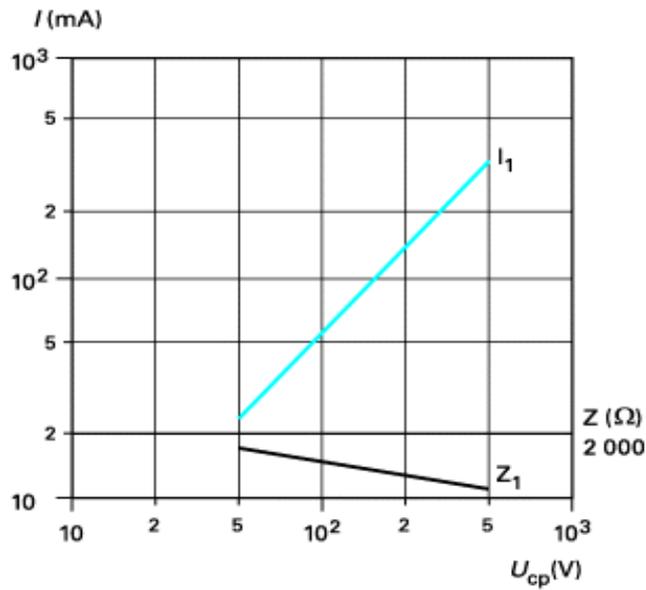
0,5 coefficient tient compte du double contact *deux mains-deux pieds*.

Le tableau 2.2. Indique pour la **situation normale**, en fonction de a tension de contact présumée U_{cp} :

- L'impédance électrique Z_1 (Figure. 2.14), déterminée comme indiqué précédemment ;
- l'intensité I_1 du courant électrique (Figure. 2.14), passant par le corps humain ;
- le temps de coupure t_1 (courbe L de la Figure. 2.15) déterminé, sur la Figure. 2.14, par la courbe L1.

U_{cp} (V)	Z_1 (Ω)	I_1 (mA)	t_1 (s)
50	1 725	29	5
75	1 625	46	0,60
100	1 600	62	0,40
150	1 550	97	0,28
230	1 500	153	0,17
300	1 480	203	0,12
400	1 450	276	0,07
500	1 430	350	0,04
U_{cp} : tension de contact présumée.			

Tableau 2.2 Temps de coupure en situation normale [17]



$Z_1 I_1$ Situation normal

Figure 2.14 Impédance électrique Z du corps humain et intensité I du courant passant par le corps humain en fonction de la tension de contact [17]

Exemple : sous une tension de 230 V, le contact avec un conducteur peut produire Un courant de 153 mA dans le corps humain. Ce courant doit être coupé en moins de 0.17 secondes pour éviter tout risque.

Nota :

La NF C 15-100 impose dans une installation des dispositifs de protection qui vont limiter ces risques. Ils s'appuient sur les tableaux consignés dans la norme IEC 60 479.1 qui déterminent le comportement du corps humain en fonction de paramètres précis : tension, intensité, temps, environnement (sec, mouillé, etc.), et résistance du corps humain.

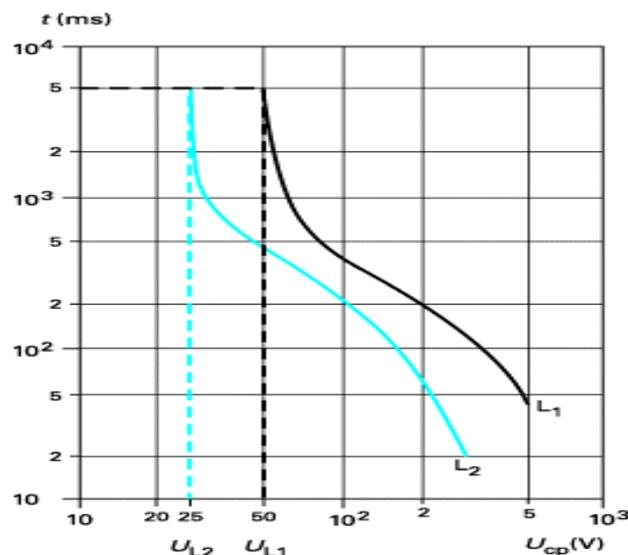


Figure 2.15 Durée maximale de la tension de contact présumée U_{cp} [17]

- L_1 Temps de coupure pour la situation normale.
- L_2 Temps de coupure pour la situation particulière.
- $U_{L1}; U_{L2}$ Tension limite conventionnelle.

B-Une situation particulière :

Elle correspondait aux caractéristiques suivantes :

- locaux (ou emplacements) mouillés ;
- peau mouillée ;
- sol présentant une résistance faible.

Calcul de L'impédance électrique Z_2 :

L'impédance électrique est calculer On tenant compte des conditions de protection dans la situation particulier (BB2) : $Z_2 = 200 + 0,5 Z_5$ (en Ω)

BB 2 : résistance faible ; conditions sévères dans lesquelles peuvent se trouver les personnes ; la valeur de la résistance ne tient compte ni de la présence de chaussures ni d'une résistance du sol ; ces conditions ne sont applicables que dans les installations de chantiers et dans les établissements agricoles et horticoles

La valeur de 200 Ω représentant la plus faible valeur de résistance du sol.

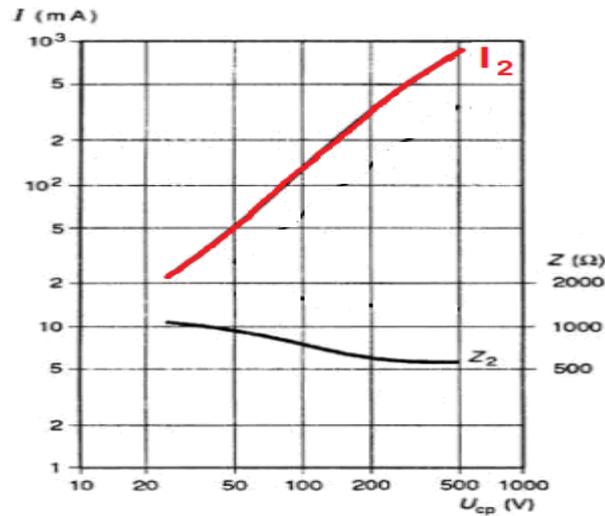
Le tableau 2.3 indique pour la situation particulière, en fonction de a tension de contact présumée U_{cp} :

- L'impédance électrique Z_2 (Figure. 2.16), déterminée comme indiqué précédemment ;
- l'intensité I_2 du courant électrique (Figure. 2.16), passant par le corps humain ;
- le temps de coupure t_1 (courbe L de la Figure. 2.15) déterminé, sur la Figure. 2.14, par la courbe L2

U_{cp} (V)	Z_2 (Ω)	L_2 (mA)	t_2 (s)
25	1 075	23	5
50	925	54	0,48
75	825	91	0,30
100	800	125	0,22
150	740	203	0,12
230	700	329	0,05
300	660	453	0,025

U_{cp} : tension de contact présumée.

Tableau .2.3. Temps de coupure en situation particulière [17]



Z_2 I_2 Situation particulière

Figure 2.16 Impédance électrique Z_2 du corps humain et intensité I_2 du courant passant par le corps humain en fonction de la tension de contact [17]

C- Une situation immergée :

Elle correspondait au cas des personnes immergées. Lors de laquelle on ne peut plus compter sur la résistance de la peau et du sol

2.6 Paramètre d'influence du courant humain

Les différentes réactions physiopathologique 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.

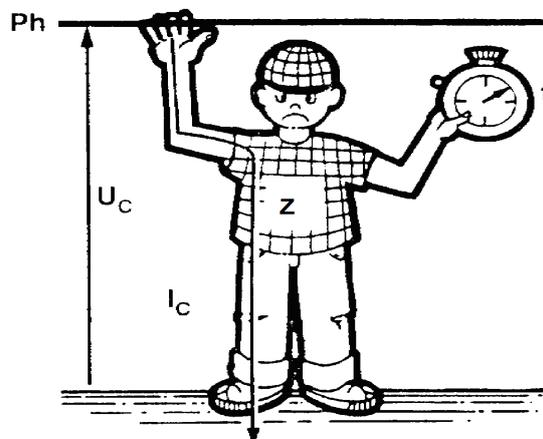


Figure 2.17 Paramètre d'influence du courant humain [16]

2.6.1 Impédance du corps humain

L'impédance de la peau [12] 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.

→ Les risques sont d'autant plus importants que la résistance est faible.

2.6.2 Tension de contact

La tension U_c appliquée au corps humain peut-être due :

- à deux contacts avec des parties actives (voir contacts directs).
- à un contact avec des parties mises accidentellement sous tension (voir contacts indirects).

→ Les risques sont d'autant plus importants que la tension de contact est élevée.

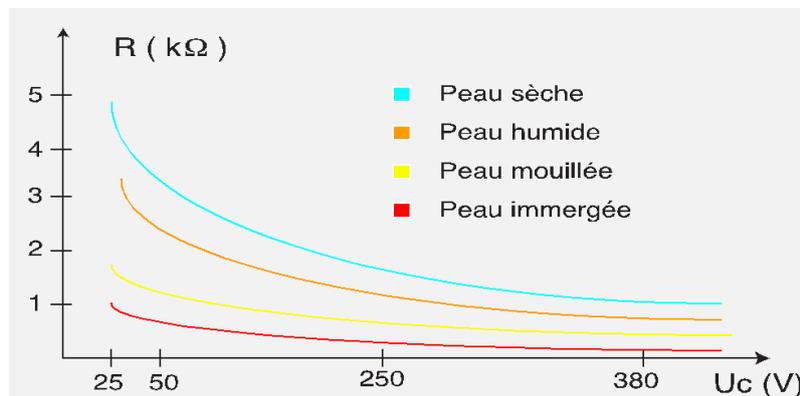


Figure 2.18 Variation de la résistance du corps humain en fonction de la tension de contact et de l'état de la peau [16]

Tension de Contact	Peau Sèche	Peau Humide	Peau Mouillée	Peau Immergée
25V	5000	2500	1000	500
50V	4000	2000	875	440
250V	1500	1000	650	325
>250V	1000	1000	650	325

Tableau 2.4 Article 322-2 de la norme NFC 15-100[16]

2. 6.3 Courant I_c

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

- du type de courant : alternatif ou continu ;
- du domaine de fréquence de la tension ;
- du type d'onde de courant.

➤ Courant Alternatif

Valeurs caractéristiques résument les effets produits par un courant alternatif (50/60 Hz) suivant l'intensité du courant.



Figure 2.19 Effets du courant alternatif [16]

➤ Courant continu

Lors d'un accident en courant continu, le moment le plus dangereux est la mise sous tension et la coupure du courant. Un facteur d'équivalence k entre le courant continu et le courant alternatif 50 Hz permet de définir les effets du courant continu.

k = facteur d'équivalence entre courant continu et courant alternatif.

$$k = \frac{I_{ccfibril}}{I_{cafbrieff}} = \frac{300}{80} = 3.75$$

I_{cc} = courant continu.

$I_{ca\ eff}$ = courant alternatif à la valeur efficace.

I_{cc} et $I_{ca\ eff}$ représentent la même probabilité de provoquer une fibrillation.

La différence avec les effets du courant alternatif est due à l'excitation des muscles par le courant qui est liée aux variations d'intensité, deux à trois fois plus élevée en courant continu qu'en courant alternatif [Classeur INRS Habilitation : sensibilité aux risques électrique].



Figure 2.20 Effets du courant continu [16]

→ Les risques sont d'autant plus importants que l'intensité du choc électrique est élevée.

➤ Effets du courant électrique I_c

- Effet thermique

On admet généralement que les brûlures électriques provoquées par le passage du courant peuvent se manifester pour des intensités relativement faibles, de l'ordre de 10 mA, si le contact est maintenu quelques minutes

- Effets téтанisant

Lorsque la tension est alternative, les muscles intéressés par le trajet du courant se contractent ; les mains par exemple se crispent invinciblement sur les conducteurs et empêchent ainsi tout dégagelement volontaire du sujet soumis à la tension du générateur.



Figure 2.21 Effets téтанisant

- Effets respiratoires et circulatoires

Si l'intensité du courant qui traverse le corps humain atteint 20 mA, 60 secondes suffisent pour bloquer la respiration par contraction du diaphragme et des muscles respiratoires. C'est l'asphyxie ou syncope bleue.

Une fibrillation ventriculaire apparaît pour des intensités de même ordre de grandeur : elle résulte de la contraction anarchique des fibrilles du muscle cardiaque. Les battements du cœur, rapides et désordonnés, ne permettent plus d'assurer la circulation sanguine. C'est la syncope cardiaque ou syncope blanche.



Figure 2.22 Effets respiratoire

➤ Aspects cliniques des accidents d'origine électrique

L'action du courant électrique, selon les paramètres décrits ci-avant et également en fonction

De la tension peut entraîner les conséquences suivantes : secousse, choc électrique, avec retour apparent à l'état antérieur (mais l'examen est nécessaire pour déterminer des suites éventuelles)

- asphyxie (pouvant être mortelle) ;
- fibrillation ventriculaire (mortelle le cas échéant) ;
- brûlures (mortelles suivant gravité, surtout en haute tension).

Les **suites** peuvent être diverses :

- cardio-vasculaires (tachycardie, lésions vasculaires...) ;
- neurologiques (pertes de conscience, de force musculaire...) ;
- sensorielles (troubles de la vision, de l'audition...) ;
- rénales (insuffisance).

Pour les brûlures par arc : dermiques, oculaires (coup d'arc) électrothermique profondes, thromboses, œdèmes, nécroses, etc

2.7 Conclusion

La loi d'Ohm est considérée comme l'équation du risque électrique :

$$I = \frac{U}{Z} [\text{A}]$$

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

Chapitre 3 Mesures de protection

3.1 Introduction

La prévention du risque électrique repose sur des dispositions réglementaires figurant dans le Code du travail. Elle concerne la mise en sécurité des installations et des matériels électriques, et ce dès leur conception. L'objectif est d'éviter tout contact, qu'il soit direct ou indirect, avec des pièces nues sous tension ou mises accidentellement sous tension. En outre, le matériel doit être conforme à la réglementation en vigueur afin de protéger les utilisateurs

3.2 Mesures de protection

3.2.1 Principes

Les différentes protections susceptibles d'être mises en œuvre répondent aux impératifs suivants :

- soit empêcher le contact avec une partie sous tension ;
- soit rendre ce contact non dangereux.
- **Les parties sous tension** auxquelles il est fait référence sont :
 - soit des parties conductrices destinées à être normalement sous tension (conducteurs, bornes, etc.), dites parties actives ;
 - soit les parties conductrices des matériels électriques non normalement sous tension, mais susceptibles de le devenir en cas de défaut d'isolement par exemple, et dites *masses*.
- **Les contacts** peuvent être de deux types:
 - avec des parties actives nues : contacts directs ;
 - avec des masses mises sous tension à la suite d'un défaut d'isolement : contacts indirects.
- Pour qu'un contact dangereux survienne et que le corps soit parcouru par un courant, il faut qu'il soit soumis à une différence de potentiel. Cela peut être :
 - soit un contact simultané avec des conducteurs à potentiels différents ;
 - soit un contact simultané entre un conducteur sous tension ou une masse en défaut et le potentiel de la terre (sol ou élément conducteur au potentiel de la terre ou à un potentiel voisin).

3.3 Méthodologie

Les mesures de protection [2][18][19] peuvent être classées en protection contre les contacts directs du risque et en protection contre les contacts indirects.

3.4 Protection contre les contacts directs

Les mesures de protection contre les contacts directs sont destinées à rendre impossible un contact avec des parties actives de l'installation électrique

3.4.1 Protection par éloignement : cas des lignes à haute tension ;

L'éloignement consiste à prévoir une distance entre les parties actives et les personnes de telle sorte qu'un contact fortuit soit impossible directement ou indirectement par l'intermédiaire d'un objet conducteur (perches, tubes métalliques...)

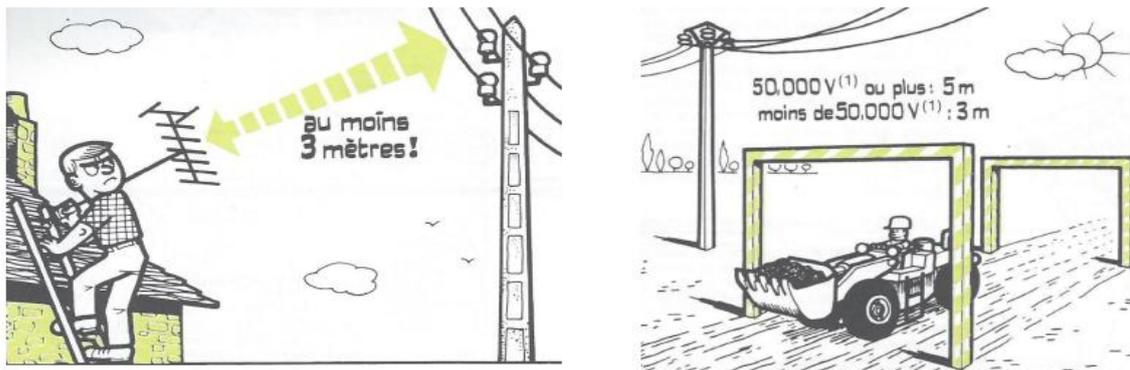


Figure 3.1 Protection par éloignement [2]

3.4.2 Protection par isolation : câbles électriques ; câble souple, interrupteur domestique

L'isolation consiste à recouvrir les parties actives par une isolation appropriée. L'isolation intervient lorsque l'éloignement et les obstacles ne peuvent être utilisés.

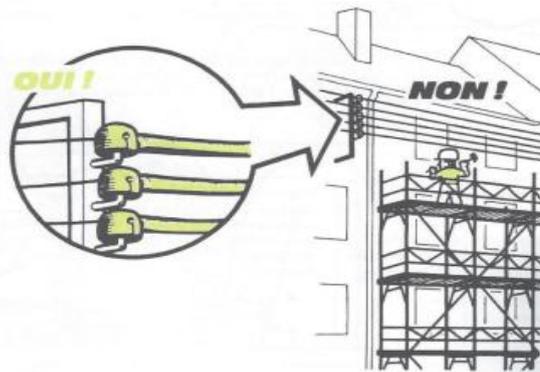


Figure 3.2 protection par Isolation [2]

Cette mesure, qui intervient lorsque l'éloignement et les obstacles ne peuvent être utilisés, consiste à recouvrir les conducteurs et les parties actives par une isolation appropriée. Cette isolation doit être adaptée à la tension et il doit être tenu compte dans son choix des dégradations éventuelles auxquelles elle peut être soumise (voir la NF C 15-100, et la normalisation sur les conducteurs et câbles).

3.4.3 Matériel électrique

A. Type d'isolation du matériel électrique

Dans le cadre de la construction du matériel en vue de la protection contre les chocs électriques, on a les définitions suivantes

B. Classes de matériel

On distingue, selon la norme NF EN 61140 les classes suivantes.

- ✓ Matériel de la classe 0 (zéro) : La classe 0 (zéro) : les parties métalliques accessibles sont isolées des parties actives mais ne sont pas mises à la terre. Leur utilisation est interdite sans une enveloppe supplémentaire Exemple Douille laiton seule Figure 3.3.



Figure 3.3 Douille laiton seule

- ✓ Matériel de la classe I (prononcer un) : Les parties métalliques accessibles sont isolées des parties actives et reliées à la terre. Exemple Lave-linge Figure.3.4.



Figure 3.4 Lave-linge

Nota : La fiche utiliser est « 2 P + T » Figure.3.5.



Figure 3.5. La fiche « 2 P + T »

- ✓ Matériel de la classe II (prononcer deux) : On a réalisé une double isolation ou une isolation renforcée. Il n'y a pas de raccordement à la terre. Exemple Sèche cheveux en plastique Figure.3.6.



Figure 3.6 Sèche cheveux en plastique

Nota : La fiche utiliser est une « 2 P » Figure.3.7

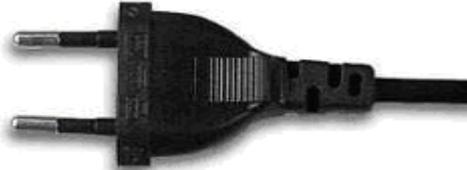


Figure 3.7 La fiche « 2 P »

- ✓ Matériel de la classe III (prononcer trois) : matériel dans lequel la protection contre les chocs électriques repose sur l'alimentation sous très basse tension de sécurité TBTS. Exemple (24 V~) donc le contact avec une pièce Nue sous Tension n'est pas dangereux Figure 3.9



Figure 3.9 Perceuse à batterie

Tableau récapitulatif : Les appareils et outils électriques sont définis suivant 4 classes :

Classe	Symbole	Observation
Classe 0	aucun	Interdit dans l'industrie
Classe I		Matériel ayant une isolation et disposant d'une prise permettant de relier toutes ses parties métalliques reliées à la terre
Classe II		Double isolation ou isolation renforcée. Ce matériel ne doit pas être relié à la terre.
Classe III		Matériel alimenté en TBT (48,24 ou 12V) sans circuits internes mettant en jeu des tensions supérieures.

Tableau 3.1 récapitulatif [16]

C. Câble électrique

Dans la majorité des cas la protection dans les établissements industriels est assurée par isolation.

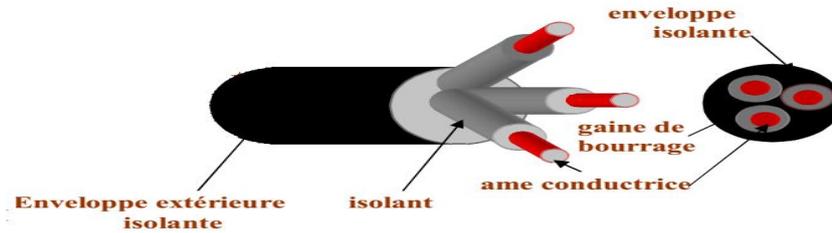


Figure 3.10 Protection par isolation d'un câble triphasé avec gaine [2]

3.4.4 Protection par obstacle

Armoires ou boîtes de raccordement. Enveloppe, écran devant Un bornier, porte d'armoire électrique, barrière ou rambarde devant un châssis d'appareillage.

L'interposition d'obstacles consiste à disposer des obstacles entre les personnes et les parties sous tension. L'obstacle est utilisé lorsque l'éloignement ne peut être assuré



Figure 3.11 protection par obstacle [2]

L'interposition d'obstacle consiste également en l'utilisation d'enveloppes (boîtiers, coffrets, armoires, etc.) permettant de protéger les personnes contre les contacts directs.



Figure 3.12 protection par enveloppes [2]

Ces obstacles constituent une enveloppe du matériel électrique. Ils peuvent être des parois pleines (cuve de transformation par exemple), percées de trous, ou des grillages, sous réserve que la dimension des trous ou des mailles n'en compromette pas l'efficacité.

Cette efficacité est caractérisée par le degré de protection tel que défini dans la norme EN 60529, et qui porte sur :

A. la protection des personnes contre les contacts directs avec les parties sous tension, ainsi que celle du matériel électrique contre la pénétration des corps solides étrangers et des poussières à l'intérieur des enveloppes;

B. la protection du matériel contre la pénétration des liquides à l'intérieur des enveloppes.

Le degré de protection procuré par les enveloppes est symbolisé par les lettres **IP** (*International Protection*) suivies de deux chiffres.

- Indices de protection

C'est un indice qui indique le degré de protection des enveloppes du matériel électrique. Il est défini par deux chiffres plus une lettre additionnelle :

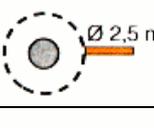
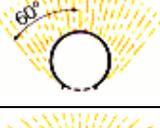
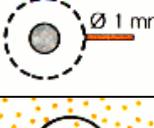
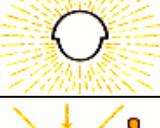
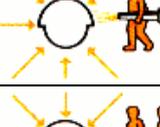
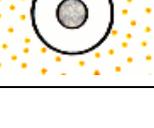
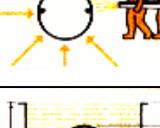
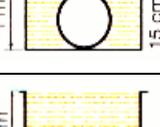
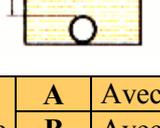
1er Chiffre : Protection contre les corps solide			2nd Chiffre : Protection contre les liquides		
	Tests			Tests	
0		Pas de protection	0		Pas de protection
1		Protégé contre les corps solides supérieurs à 50mm (ex : Contact involontaire de la main)	1		Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation.)
2		Protégé contre les corps solides supérieurs à 12,5mm (ex : doigt de la main).	2		Protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale.
3		Protégé contre les corps solides supérieurs à 2.5mm (ex : Outils, vis.)	3		Protégé contre l'eau en pluie jusqu'à 60° de la verticale.
4		Protégé contre les corps solides supérieurs à 1mm (ex : outils fins, fils.)	4		Protégé contre les projections d'eau de toutes directions.
5		Protégé contre les poussières (pas de dépôt nuisible.)	5		Protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance.
6		Totalement protégé contre les poussières.	6		Totalement protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer.
			7		Protégé contre les effets de l'immersion.
			8		Protégé contre les effets de l'immersion prolongée dans des conditions spécifiques.
Lettre additionnelle : Elle correspond à la protection des personnes contre l'accès aux parties dangereuses.			A	Avec le dos de la main	
			B	Avec le doigt	
			C	Avec un outil Ø 2,5 mm	
			D	Avec un outil Ø 1 mm	

Tableau 3.2 Indices de protection [20]

Exemple : signification [20] du degré de protection « IP 34 C »

IP : « Appareil protégé contre »

3 : « La pénétration de corps solides d'un diamètre supérieur ou égal à 2,5 mm »

4 : « La pénétration des projections d'eau (dans toutes les directions) »

C : « Les contacts directs avec un outil d'un diamètre de 2,5 mm et de 100 mm de long »

Le degré de protection contre les chocs mécanique est symbolisé par le code IK

- D'autres Lettre(s) supplémentaire(s) (H, M, S ou W) : informations supplémentaires spécifiques

Lettre additionnelle	Description de la protection
H	Appareil haute tension
M	Pénétration d'eau sur pièces mobiles d'une machine en mouvement
S	Pénétration d'eau sur pièces mobiles d'une machine stationnaire
W	Protection contre conditions atmosphériques spécifiées

Tableau 3.3.Autres lettres supplémentaires du degré IP

Dans des conditions d'influence externe ordinaires, les obstacles doivent avoir un degré de protection minimal de :

- IP 2X ou IP XX B pour les matériels des domaines BT (inférieur ou égal à 1 000 V CA ou 1 500 V CC) ;
- IP 3X ou IP XX C pour ceux des domaines HTA ou HTB (supérieur à 1 000 V CA ou 1 500 V CC).

3.4.5 Protection en utilisant le dispositif différentiel à haute sensibilité

Un DDR a la possibilité de détecter de faibles courants de fuite, susceptibles de traverser le corps d'une personne. Il permet donc d'assurer une protection complémentaire en cas de défaillance des moyens normaux de protection (par exemple : isolant vieilli ou blessé, imprudence, ...). Cette protection est aussi parfois appelée protection ultime car elle permet d'interrompre le courant alors que les autres dispositions sont défaillantes

Il faut garder en mémoire qu'un DDR ne limite pas le courant instantané qui traverse le corps mais limite le temps pendant lequel le corps est traversé par le courant



Figure 3.13 Exemples de DDR

3.4.6. Protection en utilisant d'une très basse tension

A. Domaines de tension

Les Domaines de tension sont définies comme suit :

- TBT : très basse tension
- BT : basse tension, désignée par BTA ou BTB
- HT : haute tension, désignée par HTA ou HTB.

Domaine de tension		Valeur de la tension nominale U_n exprimée en volts	
		En courant alternatif	En courant continu
Très basse tension (domaine TBT)		$U_n < 50V$	$U_n < 120V$
Basse tension (Domaine BT)	BTA	$50 < U_n < 500$	$120 < U_n < 750$
	BTB	$500 < U_n < 1000$	$750 < U_n < 1500$
Haute tension (Domaine HT)	HTA	$1000 < U_n < 50\ 000$	$1500 < U_n < 75\ 000$
	HTB	$U_n > 50\ 000$	$U_n > 75\ 000$

Tableau 3.4. Domaines de Tension [2]

B. Tensions de sécurité

Conditions	Sèches	Humides	Mouillées
Conditions	Sèches	Humides	Mouillées
Tension alternatif	50V (48)	25V (24)	12V
Tension continu	120V	60V	30V

Tableau 3.5. Tension de sécurité [2]

C. Différents types de TBT

Dans le cadre des travaux sur des installations ou équipements du domaine de tension TBT il y a lieu de distinguer ceux réalisés en :

- TBTS Très Basse Tension de Sécurité ou séparation

La très basse tension de sécurité est utilisée lorsque le risque est élevé (piscine, salle d'eau, jouet électrique...) cette mesure consiste à alimenter des circuits sous très basse tension (inférieur à 50V) fournie par un transformateur de sécurité conforme à la norme NF C60-742 ou présente une sécurité équivalente Exemple : Transformateur de sécurité.

Caractérisée par trois conditions :

- ✓ Aucune partie active du circuit TBTS ne doit être reliée à la terre ;
- ✓ Les masses des récepteurs alimentés en TBTS ne doivent être ni reliées à la terre, ni à d'autres masses ;
- ✓ Les circuits TBTS doivent être séparés des circuits alimentés en tension supérieure.

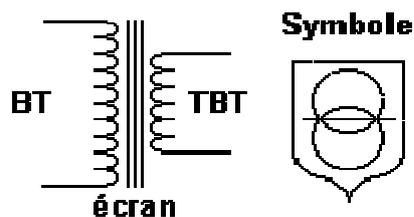


Figure 3.14 Transformateur de sécurité

- T.B.T.P. Très Basse Tension de Protection

La conception des installations fonctionnant en TBTP est identique à celle des installations fonctionnant en TBTS mais la liaison entre les parties actives et la terre côté utilisation existe.

La TBTP est utilisée en alimentation de machines-outils et d'automatismes.
Exemple : Transformateur de machine outil (secondaire à la terre).

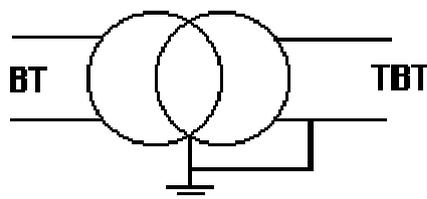


Figure 3.15. Transformateur de machine outil

- T.B.T.F. Très Basse Tension Fonctionnelle

Ce sont des installations du domaine de tension T.B.T. qui ne sont ni classées en T.B.T.S. ni en T.B.T.P.

Exemple : Autotransformateur (pas d'isolation entre BT et T.B.T.)

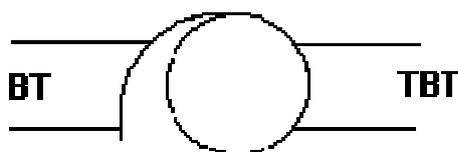


Figure 3.16 Autotransformateur

Celle-ci peut être de type très basse tension de sécurité (TBTS) ou de type très basse tension de protection (TBTP) ou de type (TBTF) très basse tension fonctionnelle tableau.3.6 .Les conditions d'obtention de ces tensions sont précisées dans la NF C 1 5-1 00.

TBT	Locaux ou emplacements	Tension	Commentaires
TBTS	Non mouillés	$U \leq 50 \text{ V CA}$ $U \leq 120 \text{ V CC}$	Circuit dispensé de satisfaire aux prescriptions concernant la protection contre les contacts directs et indirects.
	Mouillés	$U \leq 25 \text{ V CA}$ $U \leq 60 \text{ V CC}$	Circuit dispensé de satisfaire aux prescriptions concernant la protection contre les contacts directs et indirects.
TBTP	Non mouillés	$25 \text{ V} < U \leq 50 \text{ V CA}$ $60 \text{ V} < U \leq 120 \text{ V CC}$	Circuit dispensé de satisfaire aux prescriptions concernant la protection contre les contacts indirects.
		$U \leq 25 \text{ V CA}$ $U \leq 60 \text{ V CC}$	Circuit dispensé de satisfaire aux prescriptions concernant la protection contre les contacts directs et indirects.
	Mouillés	$12 \text{ V} < U \leq 25 \text{ V CA}$ $30 \text{ V} < U \leq 60 \text{ V CC}$	Circuit dispensé de satisfaire aux prescriptions concernant la protection contre les contacts indirects.
		$U \leq 12 \text{ V CA}$ $U \leq 30 \text{ V CC}$	Circuit dispensé de satisfaire aux prescriptions concernant la protection contre les contacts directs et indirects.
TBTF	Non mouillés	$U \leq 50 \text{ V CA}$ $U \leq 120 \text{ V CC}$	
	Mouillés	$U \leq 25 \text{ V CA}$ $U \leq 60 \text{ V CC}$	

Tableau 3.6 Catégories de très basse tension (TBT) [2]

3.5 Protection contre les contacts indirects

Ce sont les contacts avec une masse mise sous tension par suite d'un défaut d'isolement.

3.5 .1 Sans coupure automatique de l'alimentation

Ce type d'alimentation est utilisé localement au niveau de certains récepteurs ou de certaines parties limitées de l'installation. On emploie :

- ✓ le matériel de classe II ;
- ✓ la séparation des circuits ;
- ✓ la très basse tension.

A. Protection par le matériel de classe II

En plus de l'isolation principale, ce matériel comporte une double isolation.

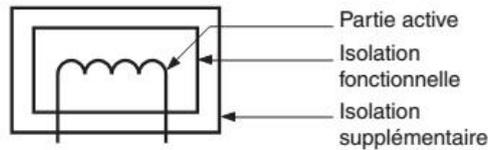


Figure 3.17 Principe du matériel de classe II

B. Protection par séparation des circuits

Les transformateurs de séparation sont utilisés pour des raisons de sécurité pour créer localement une nouvelle installation du domaine BT, de faible étendue, entièrement isolée de la terre et des masses ainsi que la source d'énergie primaire du domaine BT.

Ces matériels sont aussi connus sous l'appellation "double isolation" ou "double isolement" Figure 3.18. Leur particularité est que leur masse ne doit pas être connectée à un conducteur de protection (PE)

Le transformateur doit être de classe II. L'objectif est de n'offrir, en cas de défaut d'isolement, aucun chemin de retour possible au courant

Pour cela, les 3 conditions suivantes sont nécessaires :

- le circuit séparé ne doit avoir aucun point relié à la terre (conducteurs actifs et masses isolées de la terre),
- le circuit séparé est de faible étendue afin d'éviter le retour du courant par les capacités réparties des câbles,
- bon isolement des circuits et des récepteurs, pouvant se vérifier par un simple examen visuel.

Ces conditions font que cette mesure est en général limitée à un seul récepteur.

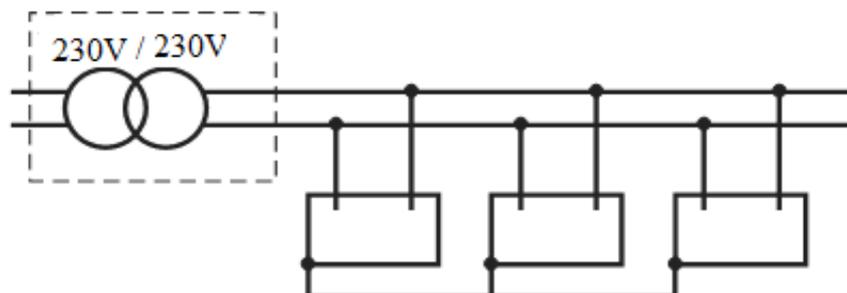


Figure 3.18 Alimentation de sécurité par transformateur de séparation en classe II

C. Protection par l'utilisation de la très basse tension (TBT)

La très basse tension (TBT) est la classe des tensions électriques qui ne peuvent produire dans le corps humain des courants électriques dangereux pour l'homme.

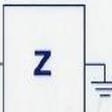
DOMAINE DE TENSION	ALIMENTATION	LIAISON À LA TERRE DES CONDUCTEURS ACTIFS	SECTIONNEMENT ET PROTECTION CONTRE LES COURT-CIRCUITS	PROTECTION CONTRE LES CONTACTS INDIRECTS	PROTECTION CONTRE LES CONTACTS DIRECTS	RÉCEPTEURS
TBTS	Transformateur de sécurité conforme à la norme NF C 52 742 Classe II 	INTERDITE	De tous les conducteurs actifs 	NON	NON	
TBTP	Transformateur d'isolement conforme à la norme NF C 52 742 Classe I 	Conducteur actif relié à la terre 	De tous les conducteurs actifs 	NON	NON	
TBTF	Transformateur d'origine indéterminée 	Conducteur actif relié à la terre 	De tous les conducteurs actifs 	OUI 	OUI (Appareils IP 2x)	

Figure 3.19 Domaine de Tension [16]

La réglementation prévoit trois catégories de très basse tension (suivant l'usage qui en est fait, le type de matériel utilisé et le mode de liaison à la terre des circuits actifs) :

- ✓ la TBTS : très basse tension de sécurité ;
- ✓ la TBTP : très basse tension de protection ;
- ✓ la TBTF : très basse tension fonctionnelle.

Tensions maximales à mettre en œuvre en TBTS :

Locaux ou emplacement	Tension courant alternatif	Tension courant continu
Secs	$U \leq 50V$	$U \leq 120V$
Mouillées	$U \leq 25V$	$U \leq 60V$
Immergés	$U \leq 12V$	$U \leq 25V$

Tableau 3.7 Tensions maximales à mettre en œuvre en TBTS [16]

L'alimentation des installations en TBT est obligatoire :

Dans les locaux et sur l'emplacement de travail où la poussière, l'humidité, L'imprégnation par des liquides conducteurs, les contraintes mécaniques, le dégagement de Vapeurs corrosives, etc., exercent habituellement leurs effets, chaque fois qu'il n'est pas possible de maintenir ces installations à un bon niveau d'isolement.

Pour les travaux effectués à l'aide d'appareil portatif à main à l'intérieur d'enceintes conductrices exigües où la résistance de contact entre utilisateur et parois est très faible (cuves, réservoirs, les véhicules en cours de réparation, silos, ...)

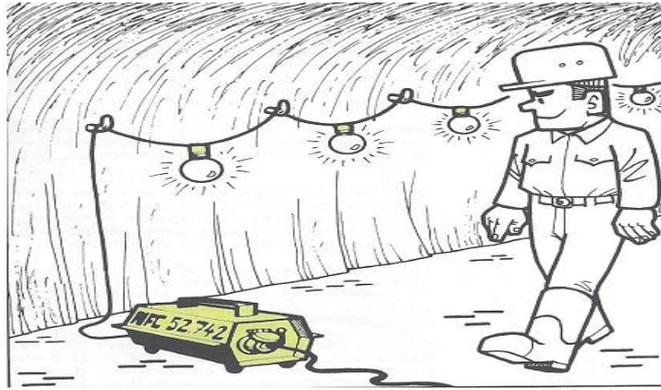


Figure 3.20 L'alimentation des installations en TBT

3.5 .2 Avec coupure automatique de l'alimentation

La coupure automatique de l'alimentation après apparition d'un défaut est destinée à empêcher qu'une tension de contact se maintienne pendant une durée telle qu'elle puisse présenter un danger pour les personnes.

Quel que soit le schéma utilisé (TT, TN ou IT), cela nécessite :

- le raccordement des masses au circuit de protection ;
- la présence de dispositifs de protection assurant la coupure automatique de l'alimentation en cas de défaut, qui doivent être coordonnés avec le schéma des liaisons à la terre du réseau.

A. Mise à la terre des masses des récepteurs

La protection contre les contacts indirects est réalisée par :

- le raccordement des masses au conducteur de protection, associé à la coupure de l'alimentation en cas de défaut ;
- l'isolation double ou renforcée ;
- la séparation électrique pour l'alimentation d'un seul matériel ;
- l'usage de la très basse tension.

Le contact d'une personne avec des masses métalliques mises accidentellement sous tension est appelé contact indirect Figure 3.21 Cette mise sous tension accidentelle résulte d'un défaut d'isolément

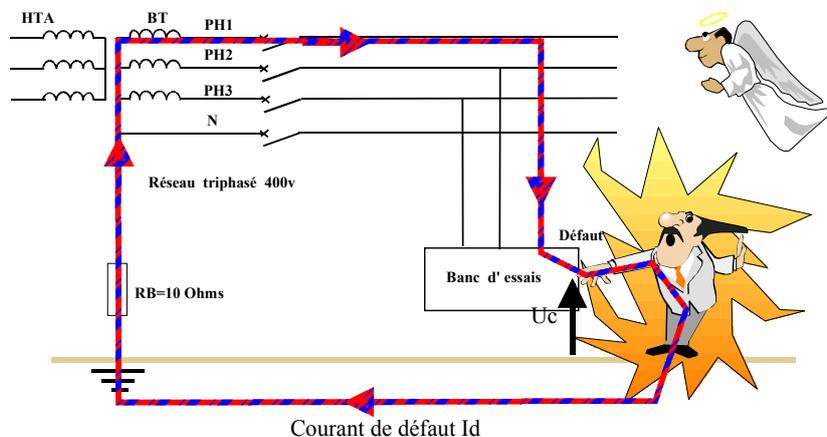


Figure 3.21 Le contact d'une personne avec des masses

Un courant de défaut circule et provoque une élévation de potentiel entre la masse du récepteur électrique et la terre : il y a donc apparition d'une tension de défaut qui est dangereuse si elle est supérieure à la tension UL.

Vis-à-vis de ce risque, les normes d'installation -CEI 60364 au niveau international, NF C 15-100 au niveau français- (ces normes sont similaires dans le fond et la forme), ont officialisé trois Schémas des Liaisons à la Terre -SLT- et définissent les règles d'installation et de protection correspondantes.

Les mesures de protection contre les contacts indirects reposent sur trois principes fondamentaux :

- la mise à la terre des masses des récepteurs et équipements électriques pour éviter qu'un défaut d'isolement présente un risque équivalent d'un contact direct ;
- l'équipotentialité des masses simultanément accessibles L'interconnexion de ces masses contribue efficacement à la réduction de la tension de contact. Elle se fait par le conducteur de protection (PE) qui relie les masses des matériels électriques pour l'ensemble d'un bâtiment, éventuellement complété de liaisons équipotentielles supplémentaires (Figure3.22.) ;
- La gestion du risque électrique : cette gestion est optimisée par la prévention. Par exemple, en mesurant l'isolement d'un équipement avant sa mise sous tension, ou par la prédiction de défaut basée sur le suivi sous tension de l'évolution de l'isolement d'une installation isolée de la terre (schéma IT).

Si le défaut d'isolement se produit et génère une tension de défaut dangereuse, il faut l'éliminer par déconnexion automatique de la partie de l'installation où s'est produit le défaut. La façon de supprimer le risque dépend alors du SLT.

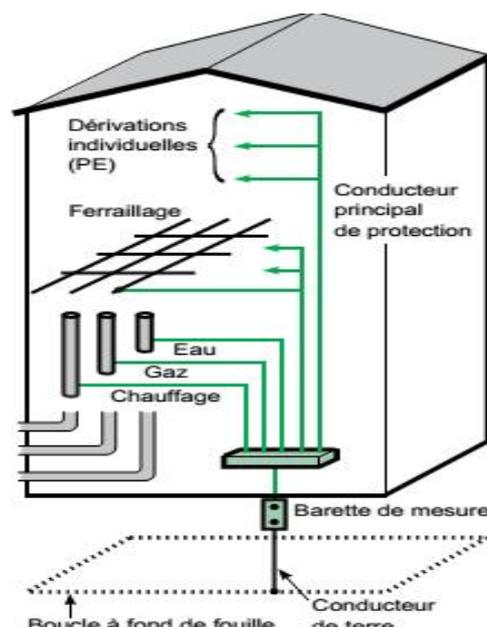


Figure 3.22 Equipotentialité dans un immeuble

B. Schémas de liaison à la terre [21]

- Problème posé:

L'absence d'une liaison avec la prise de terre représente un danger. (Voir ci-dessous)

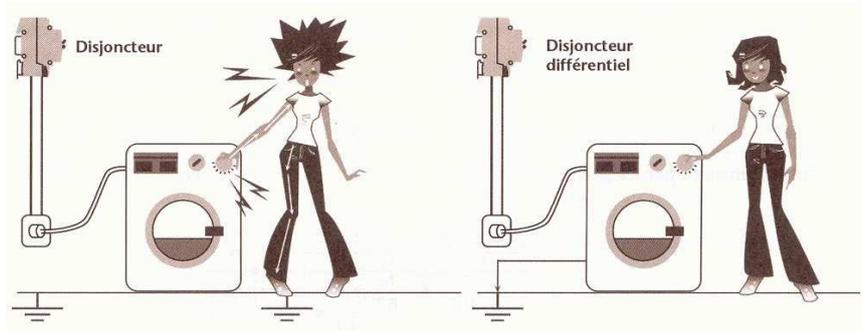


Figure 3.23 Problème posé

La protection des personnes contre les contacts indirects ou défaut d'isolement est assurée par ce que la norme NF-C 15-100 appelle les schémas de liaison à la terre ou liaison à la terre.

- Codification des schémas de liaison à la Terre

Il y a 3 régimes de neutre caractérisés par 2 lettres : TT, TN et IT

- La 1^{ère} lettre caractérise la source :

- T → un point du transformateur (le neutre) est relié à la terre locale.
- I → le point neutre du transformateur est isolé (ou impédant) de la terre locale.

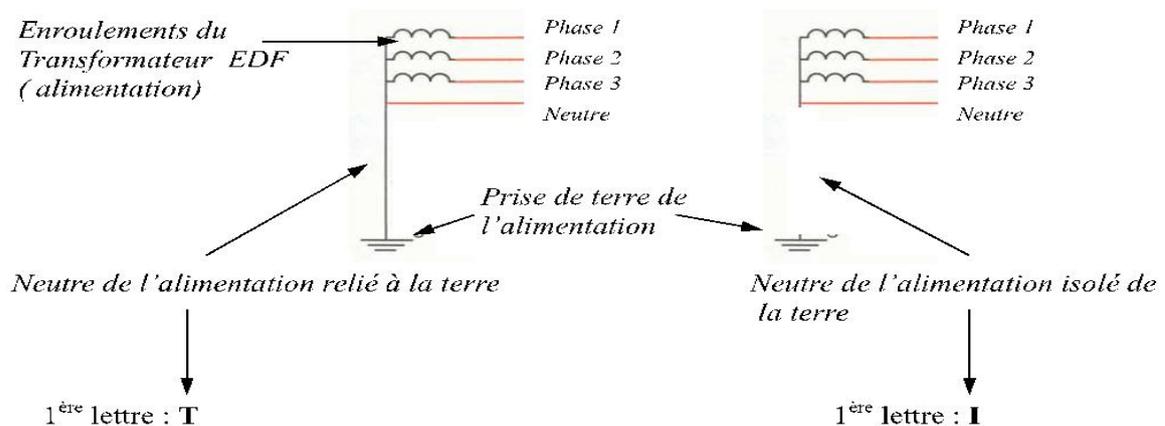


Figure 3.24 Codification des schémas de liaison à la Terre première lettre

- La 2^{ème} lettre caractérise les masses :

- T → les masses des équipements sont reliées à une terre locale.
- N → les masses des équipements sont reliées à la terre du neutre de la source.

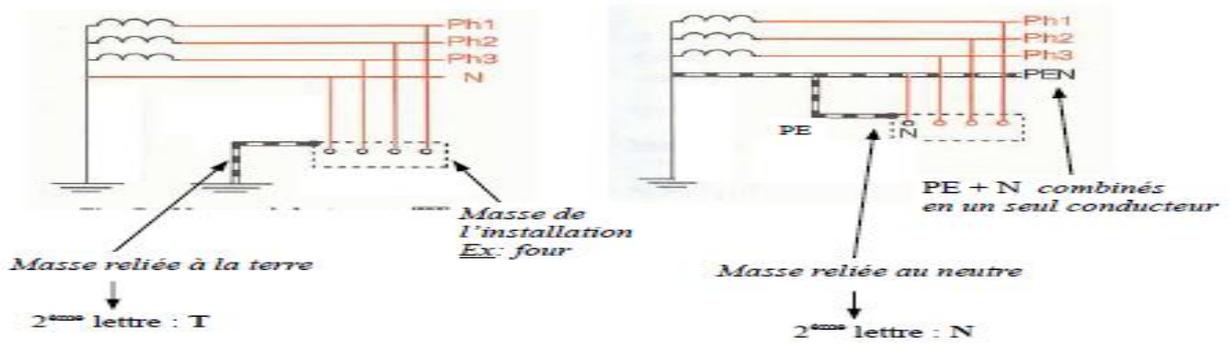


Figure 3.25 Codification des schémas de liaison à la Terre deuxième lettre

a. Le régime de neutre TT

- Principe

Dans ce régime de neutre, le neutre de la source [22] d'alimentation est mis à la terre, les masses sont reliées entre elles et mises à la terre.

Exemple : soit le réseau TT de distribution suivant.

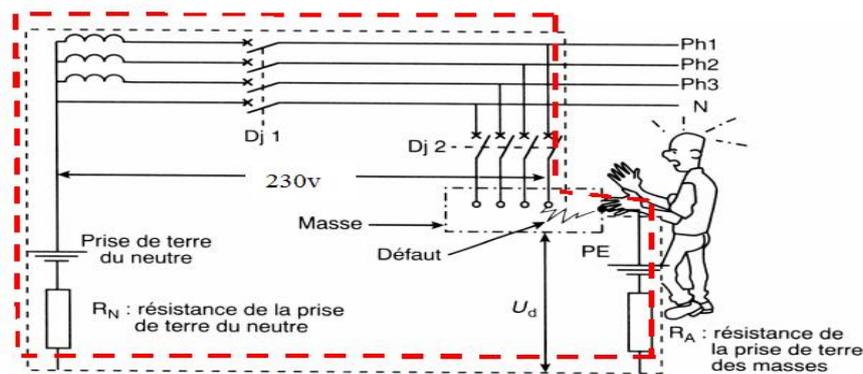


Figure 3.26 réseau triphasé +neutre, tension 220/380V régime TT

Lorsqu'une phase touche la masse, il y a élévation du potentiel de cette masse.

Soit par exemple:

- R_d = résistance du défaut = 0,1 Ω
- R_N = résistance de la prise de terre du neutre = 10 Ω ;
- R_A = résistance de la prise de terre des masses = 20 Ω

Il s'établit dans le circuit en pointillé rouge un courant qui parcourt cette boucle de défaut dont la valeur est :

$$I_d = \frac{U_0}{R_d + R_N + R_A} = \frac{230}{0.1 + 10 + 20} = 7.64 A \quad \text{Avec } U_0 : \text{Tension simple}$$

La tension de la masse par rapport à la terre est donnée par la loi d'Ohm.

(U_d = tension de défaut).

$$U_d = R_A \times I_d = 20 \times 7,64 = 152,8 V \quad (= U_c \text{ tension de contact})$$

C'est une tension mortelle

En conclusion, lorsque dans un réseau TT survient un défaut d'isolement, il y a une élévation dangereuse du potentiel des masses métalliques, qui normalement sont à un potentiel nul (0volt).

- Règles de protection

- Coupure automatique de l'alimentation. En cas de défaut, il doit y avoir coupure automatique du circuit alimentant l'appareil où s'est produit un défaut (mise à la masse) dans le temps conventionnel prévu par la norme et fonction de la tension du réseau.

Le temps de coupure ne doit jamais être supérieur à 5 s.

- Toutes les masses des matériels électriques, protégées par un même dispositif de protection, doivent être interconnectées avec les conducteurs de protection et reliées à une même prise de terre.

- La condition suivante doit être satisfaite :

$$R_A * I_{\Delta n} \leq U_L$$

R_A = résistance de la prise de terre des masses.

$I_a = I_{\Delta n}$ courant de fonctionnement du dispositif de protection.

$b U_L$ = tension limite de contact, selon les conditions elle peut être de 50 V, 25 V, ou 12 V selon les locaux.

Milieu sec

milieu humide

milieu immergé

Dans les schémas TT, on assure la protection par un dispositif à courant différentiel résiduel. Dans ce cas, le courant I_a est égal au courant différentiel résiduel du disjoncteur.

- Sensibilité du différentiel $I_{\Delta n}$

La sensibilité d'un disjoncteur différentiel résiduel est indiquée par le symbole $I_{\Delta n}$.

On peut employer selon les cas des disjoncteurs différentiels pour la protection en cas de court-circuit, ou des interrupteurs différentiels dont le pouvoir de coupure est beaucoup plus faible.

- Les disjoncteurs sont classés selon trois catégories :
- Dispositif haute sensibilité : $I_{\Delta n} = 6 ; 12 ; 30 \text{ mA}$;
- Dispositifs moyenne sensibilité : $I_{\Delta n} = 0,1 ; 0,3 ; 0,5 ; 1 \text{ A}$;
- Dispositif faible sensibilité : $I_{\Delta n} = 3 ; 5 ; 10 ; 20 \text{ A}$.

- Emplacement des dispositifs différentiels

Toute installation TT doit être protégée au moins par un dispositif différentiel résiduel à l'origine de l'installation.

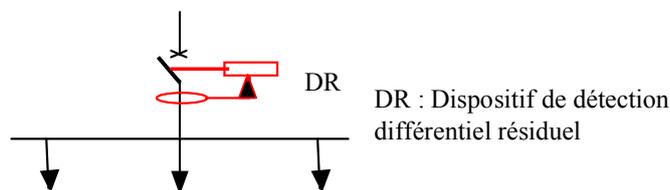


Figure.3.27 dispositif différentiel

Il est possible de protéger différents départs avec des dispositifs différentiels de différentes sensibilités ce qui évite la coupure générale de l'installation en cas de défaut.

- Résumé

- Régime de neutre type TT : neutre à la terre et masses à la terre.

- ✚ Protection par dispositif différentiel résiduel ;
- ✚ Condition de protection : $R_a * I_{\Delta n} < U_L$
- ✚ Le neutre ne doit jamais être relié à la terre en aval du DDR ;
- ✚ Les masses sont reliées à une seule terre.

b. Régime TN

- ✚ Principe :

Le neutre de l'alimentation est mis à la terre et les masses sont reliées au neutre; Ainsi, tout défaut d'isolement est transformé en un défaut entre phase et neutre soit un court circuit dont la valeur est limitée par l'impédance des câbles.

- ✚ Mise au neutre TN :

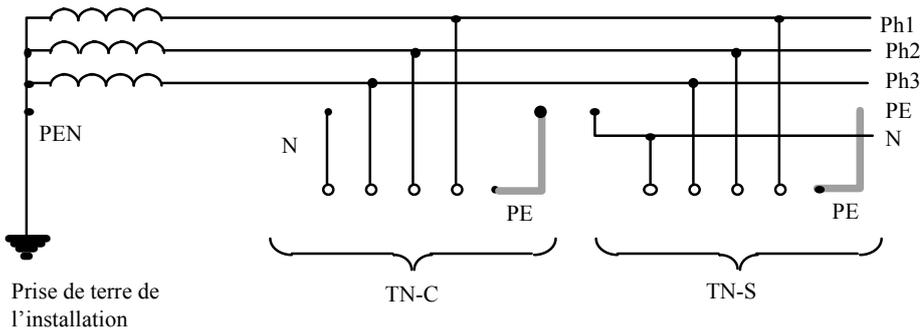


Figure 3.28 régime TN

- Schéma TN-C

Le neutre et le conducteur de protection sont confondus. Ce type de schéma est interdit pour des sections de conducteurs inférieurs à 10 mm^2 ; En aval du schéma TN-S, on utilise l'appareillage tripolaire.

- Schéma TN-S

Le neutre et le conducteur de protection sont séparés. Il faut utiliser des appareils tripolaire + neutre.

Dans les deux cas, la protection doit être assurée par coupure au premier défaut.

Exemple : Le défaut entre C et la masse se referme par le conducteur de protection électrique P.E.N.

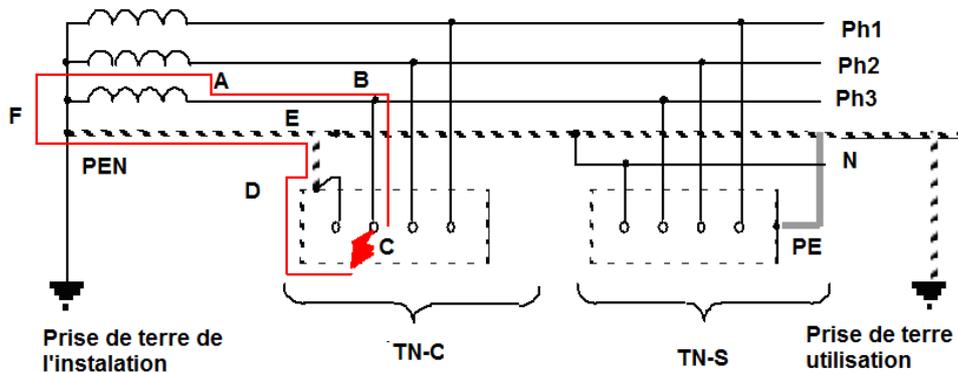


Figure 3.29 exemple régime TN

On appelle Boucle de défaut le circuit A, B, C, D, E, F. Les fusibles ou disjoncteurs doivent assurer la protection et couper le circuit dans un temps inférieur à celui défini par la courbe de sécurité.

On distingue deux types de régime TN :

Schéma TN-C : Le conducteur neutre et de protection électrique sont en communs.

Schéma TN-S : Le conducteur neutre est séparé du conducteur de protection électrique.

- Explication de la protection

Lorsqu'un défaut d'isolement survient entre une phase et la masse, le fait que cette masse soit reliée au neutre produit une forte différence de potentiel. Celle-ci a tendance à provoquer le claquage de l'isolant et à transformer le défaut d'isolement en court-circuit phase neutre.

L'élévation de potentiel de la masse devient rapidement dangereuse et les systèmes de protection contre les surintensités (fusibles, disjoncteurs) doivent couper le circuit dans le temps défini par les courbes de sécurité. Le courant de défaut est limité seulement par l'impédance des câbles de la boucle de défaut.

- Liaisons équipotentielles

Elles assurent les liaisons électriques entre les masses et permettent de rendre encore moins résistante la boucle de défaut.

- courbes de sécurité.

Le normalisateur, utilisant les travaux réalisés dans le domaine médical sur les courants dangereux pour le corps humain, a défini des courbes de sécurité qui tiennent compte:

- Des tensions limite à ne pas dépasser;
- Des temps maximaux supportables par le corps humain;
- Des conditions d'environnement relatives à l'humidité;
- De la nature du courant, continu ou alternatif.

Plus la tension est élevée, plus le temps de passage possible du courant doit être court. La tension limite de sécurité UL est la tension de contact la plus élevée qui puisse être maintenue sans danger pour les personnes.

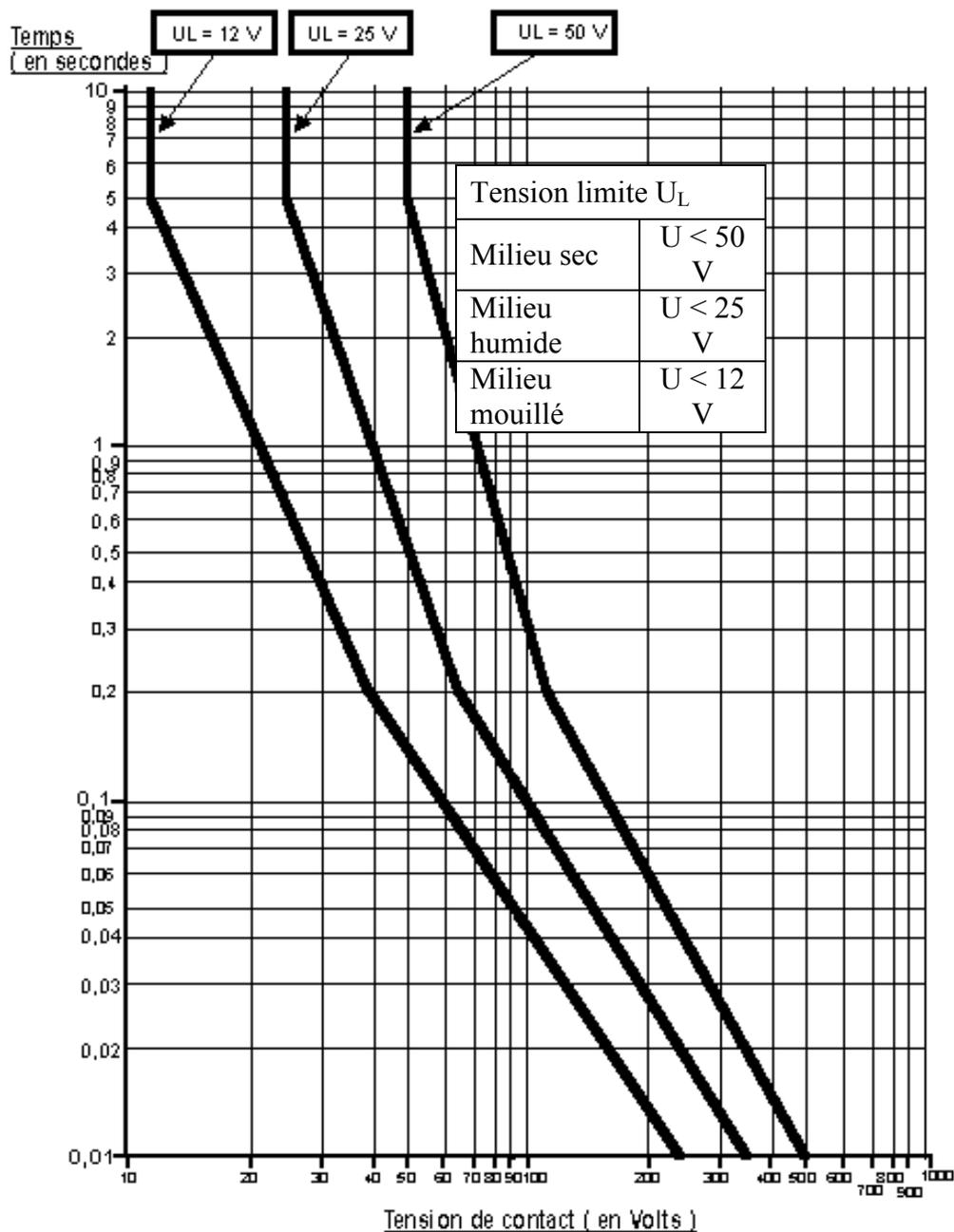


Figure 3.30 Courbe de sécurité[2][21]

✚ Conditions de protection:

La protection est effectuée par disjoncteur ou fusible. Le déclenchement se produit au premier défaut d'isolement.

✚ Protection par disjoncteur :

La comparaison des courbes de fonctionnement d'un disjoncteur et des courbes de sécurité montre qu'un disjoncteur assure la protection des personnes dans un schéma TN, à condition que le courant de défaut soit supérieur au courant de fonctionnement du déclencheur magnétique. $I_d > I_{mag}$

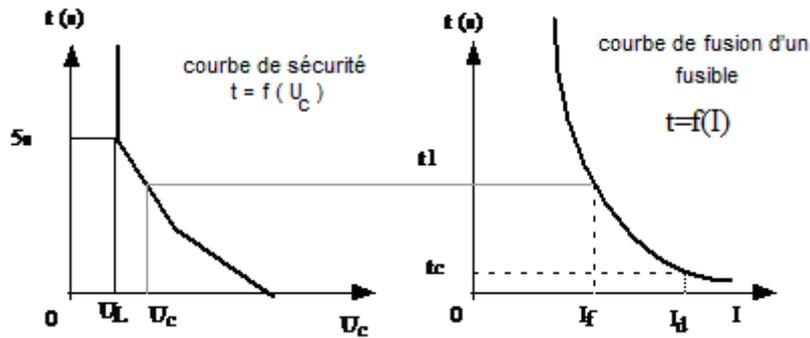


Figure 3.31 Protection par disjoncteur [2][21]

Remarque : Dans le cas d'une protection par disjoncteur, si $I_d > I_{mag}$ le temps de coupure t_d est toujours inférieur à t_1 , pour toutes valeurs de U_c et de U_L .

✚ Protection par fusible :

La comparaison des courbes d'un fusible et des courbes de sécurité montre qu'un fusible assure la protection des personnes dans un schéma TN, à condition que le défaut soit supérieur au courant assurant la fusion I_f du fusible dans le temps t_1 prescrit par la courbe de sécurité.

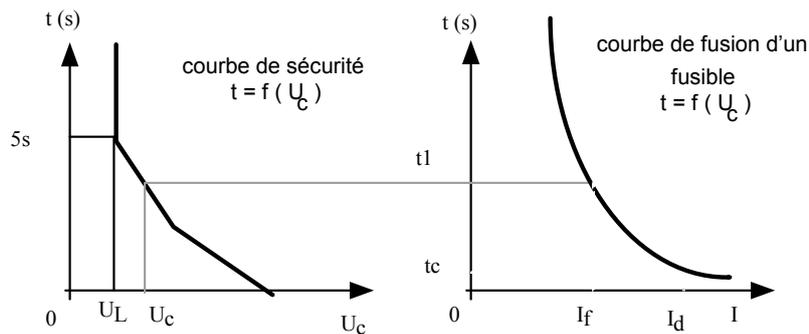


Figure 3.32 Protection par fusible [2][21]

Remarque : La protection des personnes repose essentiellement sur les conditions de fonctionnement des protections du réseau en présence d'un défaut d'isolement. Il faut impérativement :

- ❖ Prendre toutes les dispositions pour faciliter l'établissement d'un courant de défaut élevé, le conducteur PE ou PEN fait partie du même câble que les conducteurs actifs.
- ❖ Interconnecter toutes les masses et éléments conducteurs.
- ❖ Vérifier par des calculs la bonne adaptation des protections ; Si possible faire des mesures de contrôle.

✚ Calcul simplifié:

Dans le schéma ci dessous, qui représente un départ basse tension, la boucle de défaut B, C, D, E est alimentée par une tension estimée à 0,8 fois la tension simple (chute de tension dans le transformateur).

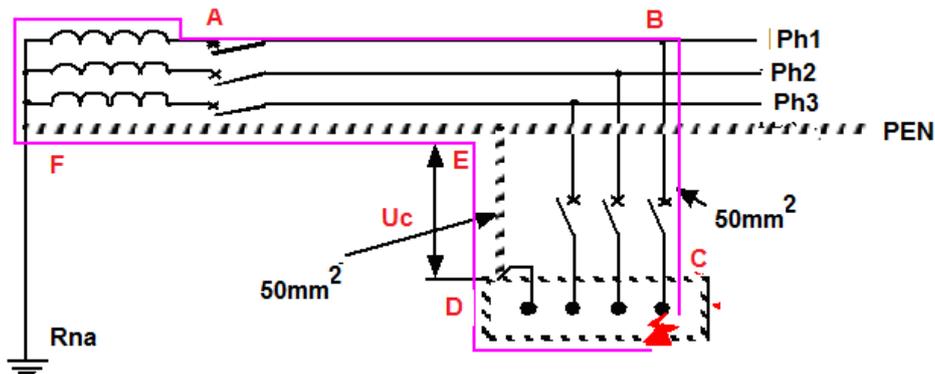


Figure 3.33 calcul simplifié

L'impédance de cette boucle de défaut dans un calcul approché est ramenée à la valeur de la résistance des câbles. $Z_d = R_d$ impédance de la boucle de défaut B, C, D, E.

On considère que le conducteur PEN suit le même parcours que le conducteur de phase B, C, donc $BC = DE$, soit une longueur de 40 m. $R_{BC} = R_{DE} = \frac{\rho L}{S} = \frac{17,2 \times 40}{50} = 13,76 m\Omega$

Avec $S = 50 mm^2$, $L = 40 m$ et ($\rho_{cuivre} = 17,2 m\Omega mm^2 / m$)

$V_{BE} = 0,8 \times 220 = 176 V$ (Réseau 220/380 V)

D'où Le courant de défaut I_d est donné par la relation :

$$I_d = \frac{V_{BE}}{R_d} = \frac{V_{BE}}{R_{BC} + R_{DE}} = \frac{176}{13,76 \times 10^{-3} + 13,76 \times 10^{-3}} = 6395,5 A$$

La tension (U_c) peut être considérée comme la moitié de la tension aux bornes de la boucle de défaut, soit : $U_c = V_{DE} = \frac{V_{BE}}{2} = \frac{176}{2} = 88 V$

Si la protection du circuit est assurée par un disjoncteur de calibre 160 A avec un relais magnétique qui déclenche à 7 fois l'intensité nominale : $I_{Mag} = 7 \times 160 = 1120 A$

$I_d > I_{Mag}$ provoque le déclenchement du disjoncteur.

Il faut aussi s'assurer que le temps de déclenchement du disjoncteur est inférieur au temps maximal donné par la courbe de sécurité : $t_{disj} < t_{secu}$

- Temps de déclenchement du disjoncteur 160 A donné par le constructeur : 0,025 s soit 25 ms ;
- Temps donné par la courbe de sécurité pour une tension de contact de 88 V, courbe $U_L = 25 V$:

$t_{secu} = 0,12 s$

Les deux conditions (courant de défaut suffisant pour faire déclencher le disjoncteur et temps de déclenchement du disjoncteur suffisamment court) sont réalisées dans ce cas de calcul approché.

Si les conditions de déclenchement n'étaient pas assurées, il y aurait lieu :

- d'augmenter la section des conducteurs ;

- de réaliser des connexions équipotentielles supplémentaires ;
- d'agir sur le réglage du calibre du relais magnétique.



Méthode de calcul la longueur maximale du câble:

En régime TN la protection des personnes étant assurée par le dispositif de protection contre les courts circuits, il faut s'assurer que la valeur du court circuit permettra au dispositif de fonctionner dans le temps maximum prévu par la norme. Ce temps est fonction de la tension de contact présumée, plus celle-ci est élevée, plus le temps doit être court.

Temps de coupures Maximal des dispositifs de protections				
Conditions normales			Conditions Mouillées	
Tension de contact présumée (V)	Courant Alternatif	Courant Continu	Courant Alternatif	Courant Continu
25	5	5	5	5
50	5	5	0.48	5
75	0.60	5	0.30	2
90	0.45	5	0.25	0.80
110			0.18	0.50
120	0.34	5		
150	0.27	1	0.12	0.25
220	0.17	0.40		
230			0.05	0.06
280	0.12	0.30	0.02	0.02
350	0.08	0.20		
500	0.04	0.10		

Tableau 3.6 Temps de coupure maximal [2][21]

Afin de conserver au court circuit une intensité suffisante il faudra contrôler, pour une section donnée, que le câble n'est pas trop long en utilisant la formule suivante

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times V \times S_{\text{phase}}}{\rho \times \left(1 + \frac{S_{\text{phase}}}{SPE}\right) \times \text{Im ag}}$$

- L_{\max} : longueur maximale de la canalisation (en m) ;
- V : tension simple nominale (en V) ;
- S_{ph} : section des conducteurs de phase
- ρ : résistivité des conducteurs à température normale de fonctionnement.
Soit : $17,2 \times 10^{-3} \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre ;
 $26,9 \times 10^{-3} \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium.
- m : rapport entre section des phases et section du conducteur de protection électrique ;
- I_{mag} : courant (en A) de fonctionnement du déclencheur magnétique ;
- I_f : courant (en A) assurant la fusion du fusible correspondant, sur les courbes de sécurité, à la tension de contact calculée par la relation : $UC = 0,8.v.m / (1 + m)$

Résumé : En régime TN-C ou TN-S, le défaut d'isolement est transformé en défaut phase neutre.

Le courant de défaut a pour valeur : $I_d = \frac{V}{Z_d}$

La coupure est effectuée par la protection contre les surintensités.

Fusibles : $I_d > I_f$ Disjoncteur : $I_d > I_{mag}$

Dans ces deux cas, le temps de coupure doit être inférieur au temps donné par la courbe de sécurité.

c. régime IT

Principe de la protection :

Dans le régime de neutre isolé :

- Le neutre est isolé de la terre ou relié à la terre par une impédance élevée ;
- Les masses sont reliées à une prise de terre.

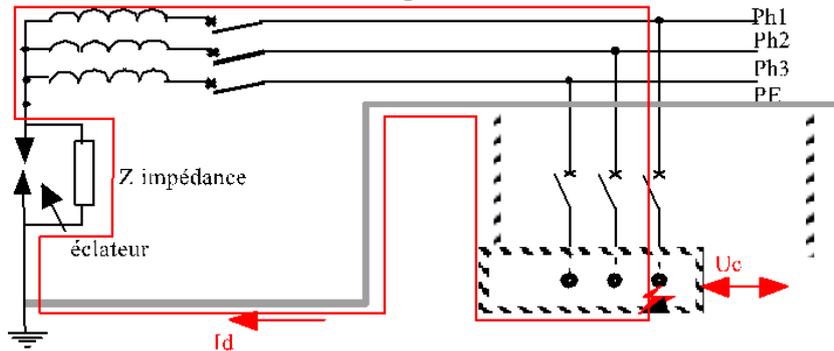


Figure 3.34 Regime IT

- Exemple de calcul régime IT avec masse séparées:

Données : réseau 230 / 400V

- réseau isolé, impédance d'isolement $Z = 1000\Omega$;
- résistance $R_{a1} = 15\Omega$
- résistance de terre $R_n = 5\Omega$.
- $R_{a2} = 30\Omega$

❖ premier défaut :

Un **premier défaut** d'isolement survient sur la machine 1 entre la phase 3 et la masse

1- Représenter le courant de défaut I_{d1} et calculer le

- Le courant de défaut représenté en rouge (I_d)
- Calcul du courant de défaut : $I_d = \frac{V}{R_{a1} + R_n + Z} = \frac{230}{15 + 5 + 1000} = 0.22A$
- Calcul la tension $U_{c1} = 0.22 \times 15 = 3.3V$

La tension n'est pas dangereuse, pas de déclenchement de DDR

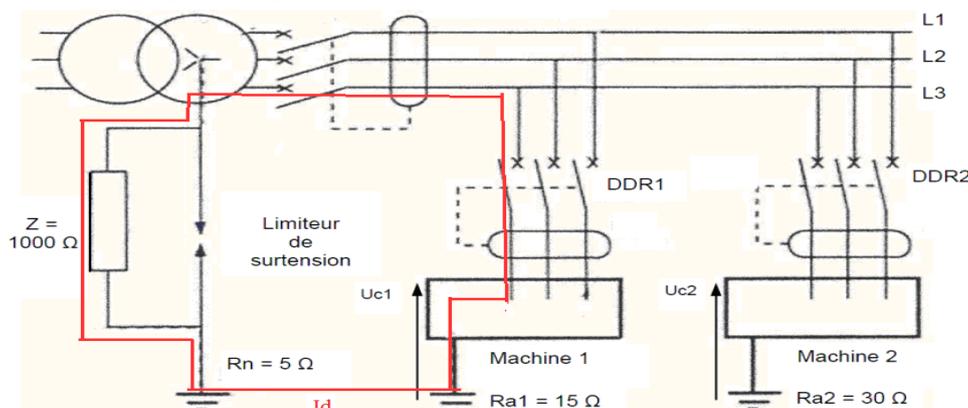


Figure 3.35 Regime IT avec masse séparées (premier défaut)

❖ second défaut :

Un second défaut d'isolement survient sur la machine 2 entre la phase 2 et la masse :

2- Représenter le courant de défaut I_{d2} et calculer le

- Le courant de défaut représenté en rouge
- Calcul du courant de défaut : $I_d = \frac{U}{Ra1 + Ra2} = \frac{400}{15 + 5} = 8.8A$
- Calcul la tension $Uc1 = 8.8 \times 15 = 132V$
- Calcul la tension $Uc2 = 8.8 \times 30 = 264V$
- Conclusion : ces tensions sont dangereuses, il y a déclenchement des DDR

A travers ces résultats, on voit qu'en cas de défaut double, en régime de neutre IT, on est en présence d'un fort courant de court circuit et d'une tension de contact dangereuse.

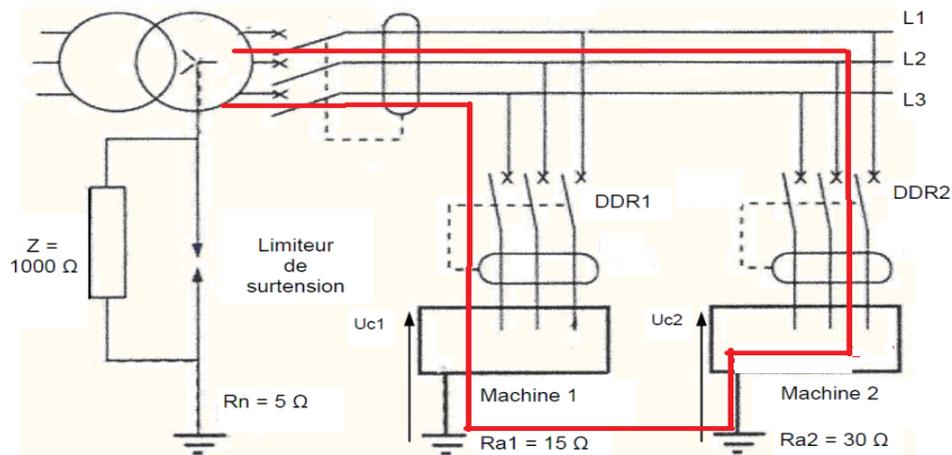


Figure 3.36 Régime IT avec masse séparées (second défaut)

✚ Exemple de calcul régime IT avec masse interconnectées

❖ premier défaut :

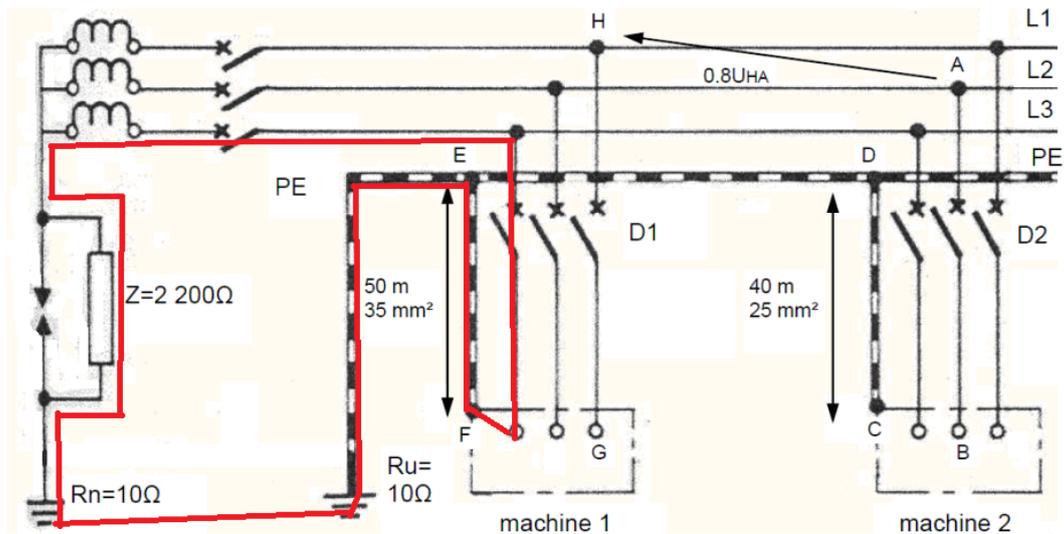


Figure 3.37 Régime IT avec masse interconnectées (premier défaut)

Un premier défaut d'isolement survient sur la machine 1 entre la phase 3 et la masse :

1- Représenter le courant de défaut I_{d1} et calculer le :

On donne : $\rho_{\text{cuivre}} = 0.0225 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$

$$I_{d1} = \frac{V}{R_n + R_u + R_{EF} + R_{PE} + Z}$$

On calcule les résistances suivantes R_{EF} et R_{PE}

$$R_{EF} = \frac{\rho L_{EF}}{S_{EF}} = \frac{0.0225 \times 50}{35} = 0.0322 \Omega$$

$$R_{PE} = \frac{\rho L_{PE}}{S_{PE}} = \frac{0.0225 \times 50}{35} = 0.0322 \Omega$$

$$I_{d1} = \frac{V}{R_n + R_u + R_{EF} + R_{PE} + Z} = \frac{230}{10 + 10 + 0.0322 + 0.0322 + 2200} = 0.10 \text{ A}$$

Calculer U_c

$$U_c = R_u \times I_{d1} = 10 \times 0.1 = 1 \text{ V}$$

Conclusion : au premier défaut, il n'y a pas de danger.

❖ deuxième défaut :

Un second défaut d'isolement survient sur la machine 2 entre la phase 2 et la masse

On donne : $\rho_{\text{cuivre}} = 0.0225 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$

Représenter le courant de défaut I_{d2} et calculer le

$$I_{d2} = \frac{0.8U_{HA}}{R_{AB} + R_{CD} + R_{EF} + R_{GH}} = \frac{0.8U_{HA}}{\frac{\rho L_{AB}}{S_{AB}} + \frac{\rho L_{CD}}{S_{CD}} + \frac{\rho L_{EF}}{S_{EF}} + \frac{\rho L_{GH}}{S_{GH}}}$$

$$I_{d2} = \frac{0.8U_{HA}}{R_{AB} + R_{CD} + R_{EF} + R_{GH}} = \frac{0.8 \times 400}{\frac{0.0225 \times 40}{25} + \frac{0.0225 \times 40}{25} + \frac{0.0225 \times 50}{35} + \frac{0.0225 \times 50}{35}} = 3200 \text{ A}$$

Calculer U_c

$$U_c = R_{PE} \times I_{d2} = 0.0322 \times 3200 = 103.4 \text{ V}$$

Conclusion : La tension est dangereuse, donc déclenchement de DDR

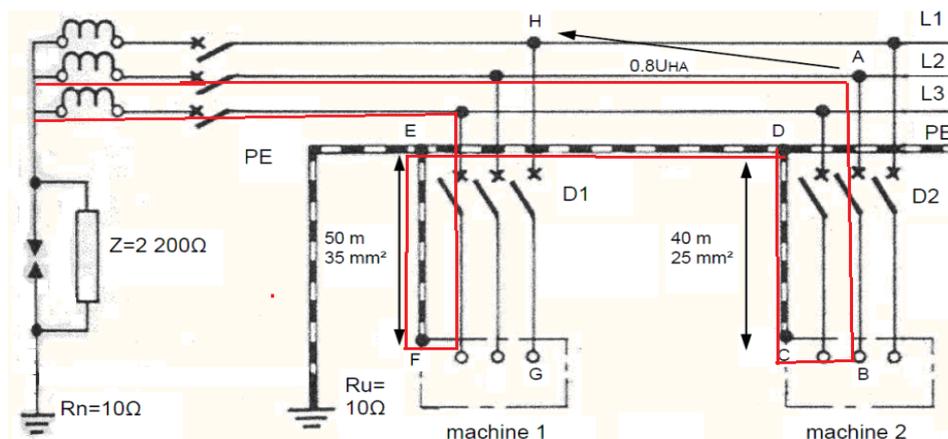


Figure 3.38 régime IT avec masse interconnectées (deuxième défaut)

⚡ Dispositif de protection contre contacts indirects au deuxième défaut :

Les temps de coupure sont définis dans le tableau ci-contre selon les tensions limites de 50V ou 25V

Tension nominale de l'installation $\frac{U}{U_0}$ (volts) U₀ : tension phase/neutre U : tension entre phases	$U_L = 50V$	$U_L = 25V$
Neutre non distribué	Temps de coupure (secondes)	
127/220	0.8(s)	0.4
230/400	0.4	0.2
400/690	0.2	0.06
580/1000	0.1	0.02
Neutre distribué	Temps de coupure (secondes)	
127/220	5	1
230/400	0.8	0.5
400/690	0.4	0.2
580/1000	0.2	0.08

Tableau 3.7 Temps de coupure en IT [2][21]

⚡ Protection par disjoncteur.

Dans le cas d'un deuxième défaut, deux disjoncteurs sont concernés D1 et D2. La protection des personnes est assurée si l'un des disjoncteurs ouvre le circuit sous l'effet du relais magnétique pour que l'on soit ramené au cas du premier défaut.

$$I_d > I_{mag1} \text{ ou } I_d > I_{mag2}$$

t représente le temps maximum donné par le tableau

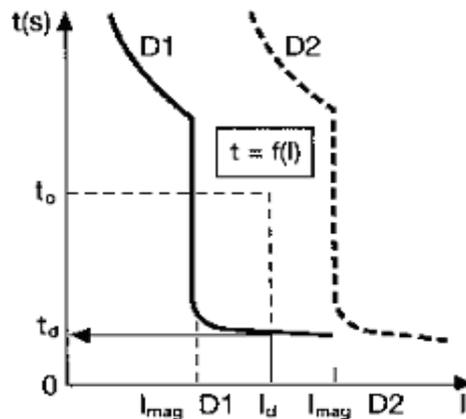


Figure 3.39 Protection par disjoncteur [2][21]

⚡ Protection par fusibles.

La protection est assurée au deuxième défaut si I_d est supérieur à l'un ou l'autre des courants assurant la fusion des fusibles dans le temps prescrit par le tableau temps de coupure en IT.

$$I_d > I_{f1} \text{ ou } I_d > I_{f2}$$

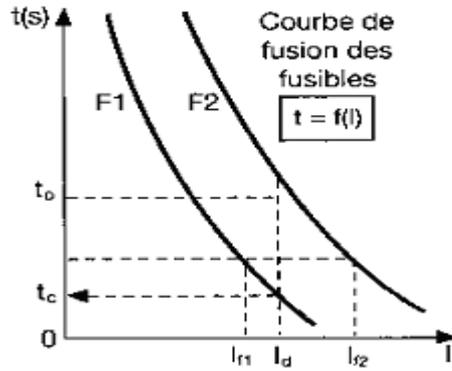


Figure 3.40 Protection par fusibles. [2][21]

✚ Contrôleur permanent d'isolement :

Ce dispositif est utilisé pour contrôler et mesurer l'isolement global des réseaux alternatifs à neutre isolé ou impédant.



Figure 3.41 Contrôleur permanent d'isolement Schneider

❖ Principe :

Un générateur de courant injecte une tension continue entre le réseau et la terre ; Cette tension crée un courant de fuite connu dont la mesure donne la résistance d'isolement.

❖ Constitution :

Il comprend essentiellement un générateur de tension continu (réseau alternatif) ou un générateur de tension alternative à 10 Hz (réseau continu) et un relais de détection à seuil pour le courant de défaut.

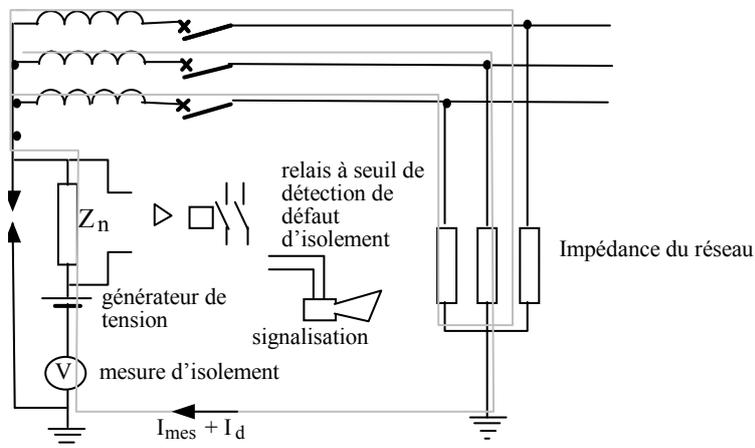


Figure 3.42 Constitution [2][21]

Fonctionnement : En l'absence de défaut, l'isolement de l'installation fait qu'aucun courant continu ne circule dans le réseau. Dès qu'un défaut survient, un faible courant indique dans l'appareil de mesure la valeur de l'isolement ; La tension aux bornes de l'impédance Z_d est amplifiée et enclenche le relais à seuil qui indique, par une signalisation visuelle et sonore, la présence d'un premier défaut.

❖ Recherche d'un défaut :

Le défaut d'isolement doit être éliminé le plus rapidement possible. Pour le localiser, on peut :

- Couper successivement chacun des départs jusqu'à la disparition de l'alarme ; Le départ concerné fait alors l'objet d'une réparation ;
- Injecter dans l'installation un courant basse fréquence (environ 10 Hz) qui est détecté dans le circuit en défaut par un système à tores magnétiques fixes ou mobiles.

✚ Condition de mise en ouvres du régime IT :

Ce type de régime de neutre permet surtout d'assurer une bonne continuité de service, mais il nécessite impérativement que les conditions suivantes soient respectées :

- L'installation est alimentée par un poste de transformation privé ;
- Un service d'entretien électrique compétent est présent pour la recherche du premier défaut ;
- L'installation est munie d'un ensemble de détection du premier défaut(CPI)
- Protection au deuxième défaut assurée sur chaque départ.
- du limiteur de surtension (entre le neutre du transformateur et la terre
- d'une impédance de limitation (Z)

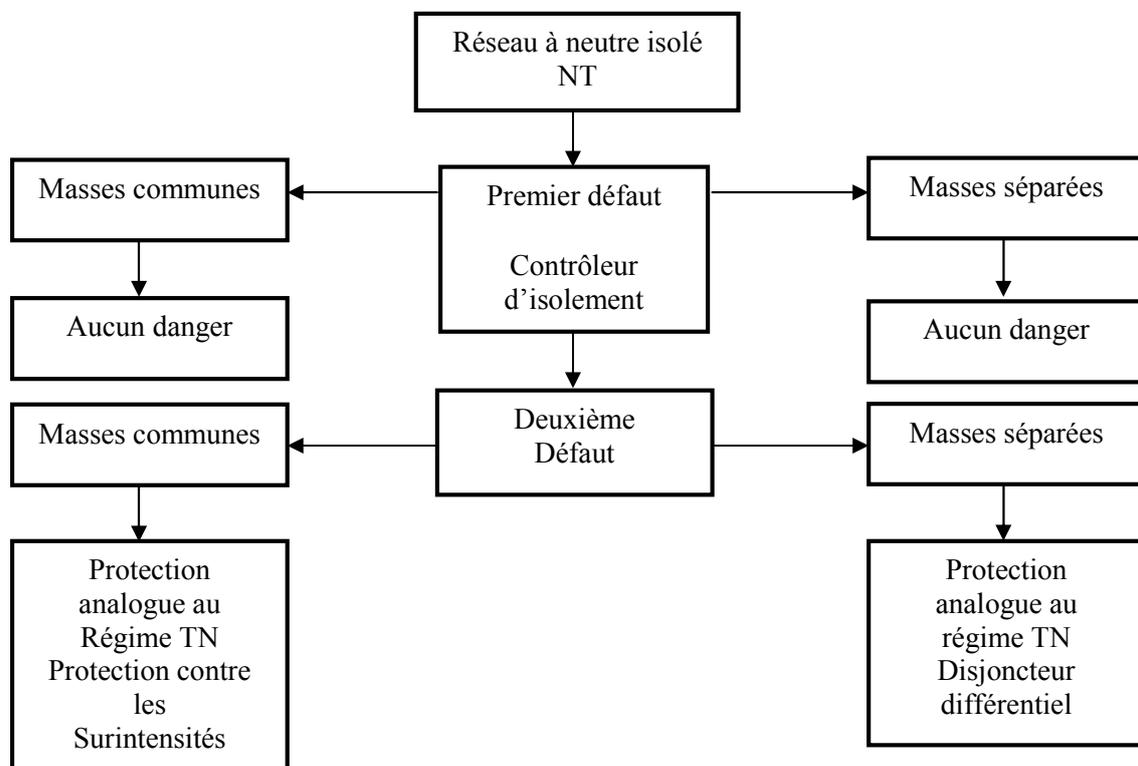


Figure 3.43 condition de mise en ouvres du régime IT

3.5.3 Le choix du régime de neutre et les protections

⇒ Cas où le régime de neutre est imposé

Type d'installation	Régime du neutre	Exemple
Bâtiment alimenté par réseau de distribution publique.	TT	Boulangerie Habilitation
Etablissement d'enseignement avec locaux de travaux pratiques.	TT	Collège LP LT
Salle d'opération ou d'anesthésie.	IT	Bloc opératoire
Circuit de sécurité.	IT	Eclairage de secours
Mine et carrières.	IT ou TT	Alimentation d'engins

Tableau 3.8 Cas où le régime de neutre est imposé

⇒ Le choix du régime de neutre et les protections

Régime	Technique d'exploitation	Technique de protection	Caractéristiques
TT	Coupage au premier défaut.	Mise à la terre des masses Emploi de dispositifs différentiels	Solution simple d'exploitation.
TN	Coupage au premier défaut.	Mise au neutre des masses Emploi de dispositifs différentiels	Répartition des prises de terre Nécessité de personnel d'entretien Risque d'incendie.
IT	Signalisation du premier défaut. Coupage au deuxième défaut. Recherche du premier défaut.	Mise à la terre des masses Surveillance du premier défaut et recherche de ce défaut sous tension. Coupage par la protection des surintensités lors du second défaut Protection contre les surtensions.	Solution assurant la continuité d'exploitation. Nécessité d'un personnel d'entretien.

Tableau 3.9 Choix du régime de neutre et les protections

3.6 Protection du matériel

3.6.1 Protection contre les surintensités

Il existe deux types de surintensités :

- les surcharges qui résultent de l'augmentation de la charge due par exemple, au calage des moteurs ou de branchements de matériels supplémentaires sur les canalisations. Le courant de surcharge peut entraîner un échauffement anormal des conducteurs préjudiciables à leur isolation et à leur environnement (risque d'incendie) ;
- les courts-circuits qui résultent de contacts d'impédance quasi-nulle entre des éléments conducteurs portés à des potentiels différents. Le courant de court-circuit qui en résulte est toujours dangereux.

La protection contre les surintensités a pour but d'interrompre le courant de défaut pour éviter toute détérioration du circuit. Plus l'intensité de défaut est importante, plus le temps de coupure doit être court.

La protection contre les surintensités peut être assurée par :

- ❖ des relais thermiques ;
 - ❖ des disjoncteurs ;
 - ❖ des fusibles.
- ⇒ Relais thermique

Les relais thermiques ont pour fonction d'assurer la protection contre les surcharges. Leur utilisation principale est la protection des moteurs électriques. Ils sont souvent associés à des fusibles ou des disjoncteurs avec déclencheurs magnétiques (pour assurer la protection contre les courts-circuits) et à un contacteur pour la commande.

⇒ Disjoncteurs

Les disjoncteurs avec déclencheur magnétothermiques assurent la protection contre les surcharges et les courts-circuits.

Les caractéristiques principales des disjoncteurs sont les suivantes :

- le pouvoir de coupure ; il s'agit du courant maximal de court-circuit que peut couper un disjoncteur. Cette valeur va de quelques kA à plusieurs dizaines de kA (10^3 A) ;
- les courbes de déclenchement ; il existe plusieurs courbes de déclenchement. Les courbes se différencient par la plage de fonctionnement des déclencheurs magnétiques. Les courbes sont identifiées par une lettre et correspondent à une fourchette de déclenchement par rapport à l'intensité nominale ;
- l'intensité nominale ;
- la plage de réglage.

Certains disjoncteurs ont des seuils de déclenchement réglables.

⇒ Fusibles

Les fusibles assurent la protection des installations contre les courts-circuits afin d'éviter :

- les échauffements anormaux
- les arcs électriques

Leurs caractéristiques seront donc fonction de :

- la nature des conducteurs et des câbles

- la nature du récepteur (résistance, moteur, etc...)
 - de la nature des autres protections (aval et amont)
- ⇒ Les différents types de cartouches fusibles
- ✚ Les cartouches gG.

Elles protègent les installations contre les courts-circuits, les faibles et les fortes surcharges (Usage général).

- ✚ Les cartouches aM.

Elles protègent les installations contre les courts-circuits et les fortes surcharges. Elles sont Calculées pour résister aux surcharges tel que démarrage de moteur et mise sous tension d'un Transformateur (accompagnement moteur).
Ces cartouches doivent donc être obligatoirement associées à un dispositif de protection Thermique contre les faibles surcharges.

- ✚ Le pouvoir de coupure.

C'est la plus grande intensité que peut couper la cartouche fusible.
Plus le pouvoir de coupure est important, plus le fusible est apte à protéger l'installation contre Des courts-circuits d'intensité élevée.

- ✚ Les caractéristiques principales des fusibles
 - la tension ;
 - le courant ;
 - le pouvoir de coupure.

- ✚ Choix d'une cartouche fusible.

On choisit un fusible en fonction de :

- la sélectivité ;
- son pouvoir de coupure (A eff) ;
- son type (aM ou gG) ;
- son intensité nominale ;
- sa tension nominale ;
- sa taille (dimensions de la cartouche = diamètre x longueurs).

Exemple : Cartouche cylindrique aM 10 A 500 V 10 x 38

Dans le domaine industriel, il est fait usage de fusibles gG et aM.

Le tableau.3.10. Résume les caractéristiques de ces cartouches fusibles.

Caractéristique	Classe	
	gG	aM
Inscription	noire	verte
Particularité		réservé à la protection des moteurs et en accompagnement d'un disjoncteur
Assure la protection contre	les fortes surcharges et les courts-circuits	les courts-circuits UNIQUEMENT
Utilisation	protection de lignes de distribution et protection de machines	en accompagnement avec une protection de surcharge (relais thermique)

Calibrage	courant de pleine charge du circuit à protéger	intensité nominale du moteur à protéger
------------------	--	---

Le tableau 3.10 Caractéristiques cartouches fusibles

❖ exemple : Démarrage direct deux sens deux marches d'un moteur asynchrone

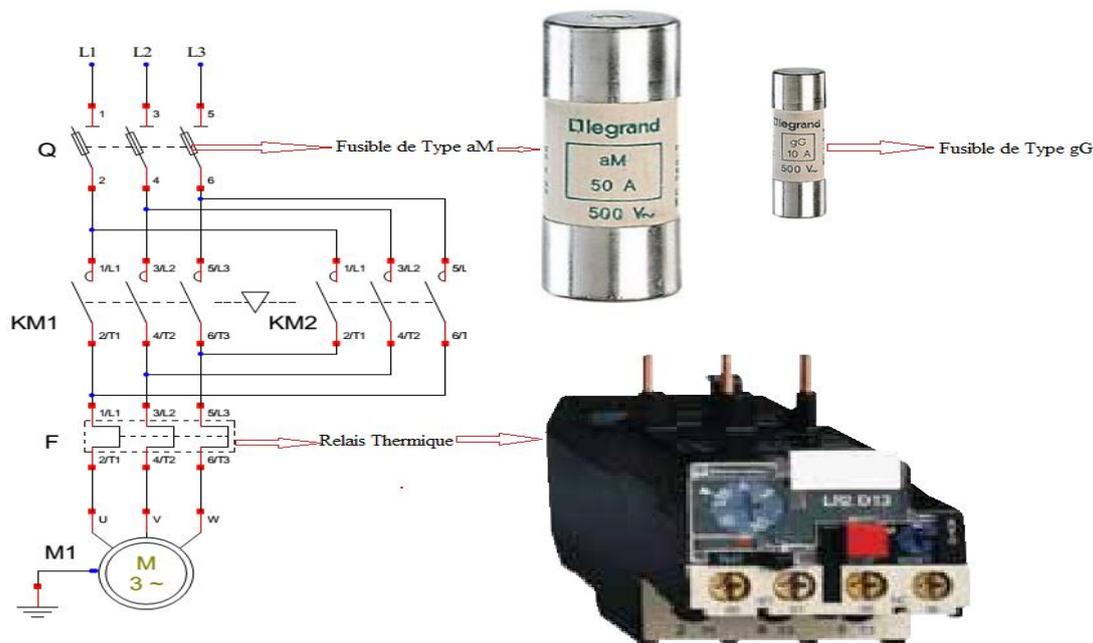


Figure 3.44 Démarrage direct deux sens deux marches d'un moteur asynchrone

3.7 Protection des travailleurs

3.7.1 La réglementation En matière d'électricité

C'est le décret 88 1056 du 14 Novembre 1988 qui traite de la protection des travailleurs dans les établissements assujettis au code du travail livre 2 titre 3 qui mettent en œuvre des courants électriques. Il s'applique également aux entreprises étrangères à l'établissement et auxquelles celui-ci confie soit des travaux sur ses propres installations électriques, soit des travaux de quelque nature que ce soit au voisinage d'installations électriques. [23][24]

Ce décret se trouve dans le document publié par l'INRS réf. ED723 (document bleu format A4)

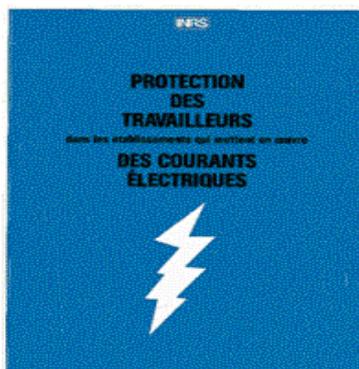


Figure 3.45 de la protection des travailleurs

Les conditions de protection, contre les contacts directs et contre les contacts indirects, sont précisées, compte tenu des différents modes de distribution de l'énergie dans les établissements et particulièrement :

- de la situation du neutre
- de la valeur de la résistance de prise de terre
- de la tension de contact
- de la rapidité de coupure des dispositifs de protection
- de la surveillance de l'isolement.

3.7. 2 Structure du décret du 14 Novembre 1988

Il comprend 62 articles répartis en 7 sections. Figure 3.44.

Les sections III, IV et V qui sont les parties maîtresse du décret traitent de la prévention des risques d'électrocution et des risques de brûlures, incendie et explosions d'origine électrique.

Cependant, la section II et la section VI, par les obligations qu'elles comportent pour l'exécution, la surveillance, l'entretien et la vérification des installations, contribuent à éviter l'apparition du risque.

Quant aux sections I et VII, elles contiennent des mesures plus générales ou administratives.

Bon nombre de ces articles, qui ne fixent que les objectifs à atteindre, renvoient à des arrêtés pour l'application pratique des mesures correspondantes.

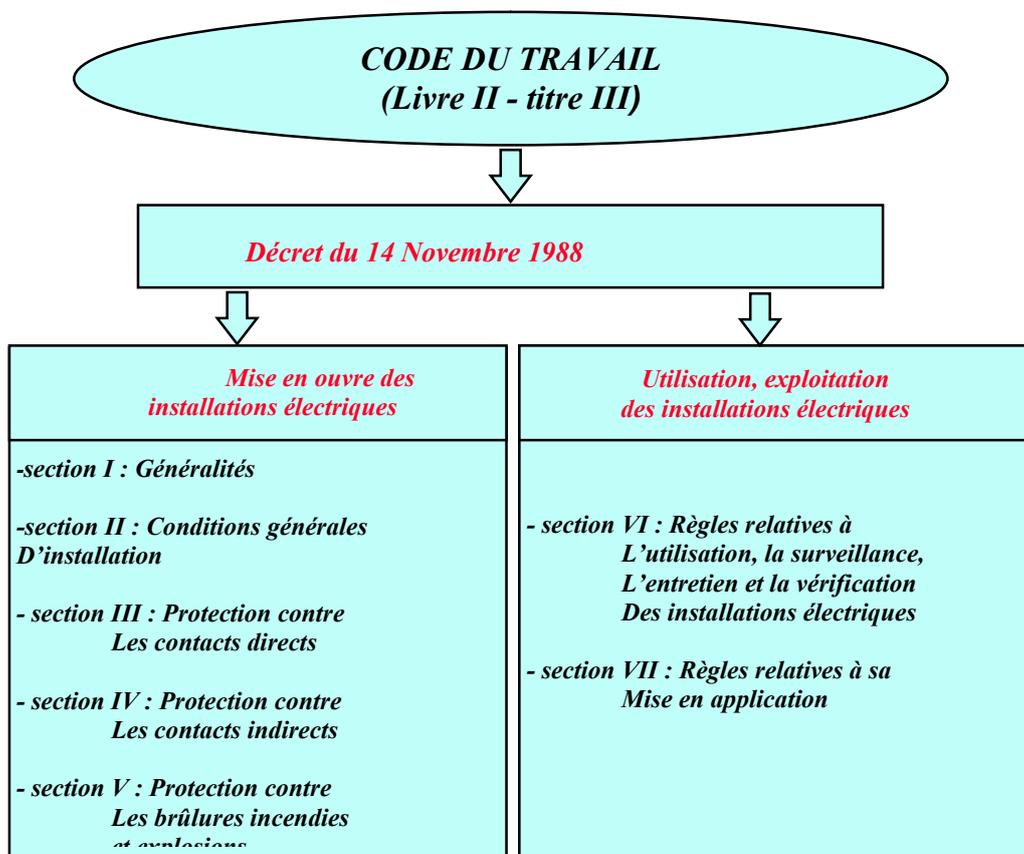


Figure 3.46 Code du travail ED [4]-1522-199

3. 8 les règles des installations

Les règles (normes) des installations électriques, quelles que soient leurs tensions [basse tension (NF C 14-100, 15-100), haute tension (NF C 13-100, NF C 13-200)...] ont pour principes fondamentaux que leur respect «est destiné à assurer la sécurité des personnes, des animaux domestiques ou d'élevage et des biens, contre les dangers et dommages pouvant résulter de l'utilisation des installations électriques dans les conditions qui peuvent raisonnablement être prévues ».

3.9 Mesures de sécurité

3.9.1 Recueil de prescriptions et norme homologuée

Les prescriptions de sécurité auxquelles les employeurs doivent se conformer lors des travaux d'ordre électrique effectués dans les établissements soumis au Code du travail sont actuellement mentionnées dans deux textes réglementaires : le décret n° 82-167 du 16 février 1982, pour les ouvrages de transport et de distribution de l'énergie électrique et le décret n° 2010-1118 du 22 septembre 2010, pour les installations électriques.

La publication UTE C 18-510

Ce recueil d'instructions générales de sécurité d'ordre électrique est une mise en application du décret 88-1056 du 14 novembre 1988.

Les prescriptions du recueil sont établies pour assurer la sécurité des personnes contre les dangers d'origine électrique au cours de leurs activités sur ou dans l'environnement des ouvrages électriques.

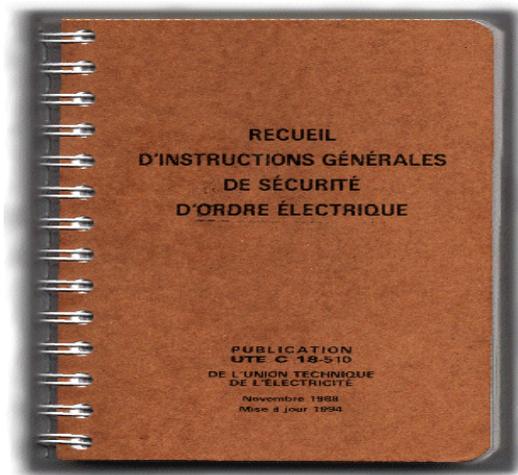


Figure 3.47 Ce recueil d'instructions générales de sécurité d'ordre électrique [4]

- ✓ Le décret du 16 février 1982 et les textes d'application font référence à la publication UTE C 18-510 de 1988 par le biais de l'arrêté du 17 janvier 1989.
- ✓ Le décret du 22 septembre 2010 relatif aux opérations sur les installations électriques et dans leur voisinage remplace pour ce qui le concerne celui du 14 novembre 1988. Ce décret fait référence à des normes homologuées, qui seront précisées dans des arrêtés.
- ✓ Les deux décrets indiquent que l'employeur remet à ses salariés un carnet de prescriptions en adéquation avec les conditions de travail, établit sur la base des prescriptions pertinentes de la norme NF C 18-510.

Cette norme tient compte aussi des règles pour les travaux d'ordre non électriques exécutés à proximité des ouvrages ou des installations électriques. Ces règles étaient précédemment incluses dans l'ancien titre XII du décret du 8 janvier 1965. Elles se trouvent actuellement incluses dans le Code du travail aux articles R. 4534-107 à R. 4543-125.

D'autres publications viennent compléter cet ensemble réglementaire.

- La publication UTE C 18-530, destinée au personnel habilité non-électricien, exécutant ou chargé d'intervention..
- La publication UTE C 18-540 destinée aux opérations en basse tension.
- La publication UTE C 18-550 qui tient compte des évolutions techniques et réglementaires.
- la norme européenne EN 50110-1 (Exploitation des installations électriques) inclus dans la norme EN 50110-2.

A. Définitions relatives aux ouvrages électriques

- **Ouvrage (électrique) :** ensemble de matériels, appareillages, canalisations assurant le transport, la distribution, la transformation de l'énergie électrique.
- **Installation (électrique) :** ensemble des matériels électriques et canalisations qui assurent la production, la transformation et la distribution de l'énergie électrique aux divers équipements qui l'utilisent.
- **Matériel (électrique) :** appareillages et canalisations des moteurs et autres appareils utilisant l'énergie électrique, y compris les circuits de commande, protection, mesure, qui leur sont affectés.

B. Définitions relatives aux Opérations électriques

- **Opérations :** terme générique utilisé pour englober les travaux, les interventions BT, les essais, les vérifications, les mesurages, les manœuvres et les opérations particulières. Les opérations peuvent être d'ordre électrique ou d'ordre non électrique.
 - **Travaux :** opérations ayant pour but de réaliser, modifier, entretenir, réparer un ouvrage électrique. Ils peuvent être d'ordre électrique ou non
- Interventions BT :** opérations de courte durée et d'étendue limitée, sur une installation du domaine TBT ou BT.
- **Opérations spécifiques :** elles comprennent les essais, les vérifications, les mesurages et les manœuvres.

Essais : opérations destinées à vérifier le fonctionnement ou l'état électrique ou mécanique d'un ouvrage ou d'une installation qui reste alimenté en énergie électrique.

Vérifications : opérations destinées à vérifier les ouvrages et les installations suivant des règles ou des critères opérationnels ou réglementaires.

Mesurages : opérations permettant le mesurage de grandeurs électriques, thermiques, mécaniques, etc., au moyen d'appareils mobiles ou fixes.

Manœuvres : opérations conduisant à un changement de la configuration électrique d'un ouvrage ou d'une installation ; effectuées au moyen d'appareils ou de dispositifs prévus à cet effet (interrupteurs, disjoncteurs, sectionneurs, ponts, etc.), elles peuvent faire l'objet d'un ordre de succession déterminé. On distingue des manœuvres de consignation, d'exploitation et d'urgence (pour la sauvegarde des personnes et des biens).

C. Définitions relatives aux Consignation électriques

- **Consignation (électrique) :** procédure permet d'assurer la sécurité du personnel et du matériel avant toute intervention sur un équipement La consignation consiste à mettre hors tension une partie ou la totalité d'un ouvrage électrique.
La procédure inverse s'appelle la déconsignation.

La consignation se compose de plusieurs opérations indiquées ci-après.

- Pré-identification : préalable à la procédure de consignation, cette opération permet de valider la partie d'ouvrage ou d'installation sur laquelle la consignation va être réalisée.
- Séparation : Il s'agit d'isoler, de mettre hors tension, tous les circuits de puissance et de commande
- condamnation : Il faudra ensuite procéder au verrouillage par un dispositif matériel inviolable. La condamnation en position d'ouverture permet d'interdire la manœuvre de l'organe de séparation. Elle consiste en une immobilisation de cet organe, réalisée par un blocage mécanique (serrure, cadenas...).
- Identification : élément de la procédure de consignation permettant de s'assurer que la partie de l'ouvrage ou de l'installation sur lequel on va travailler est bien celle prédéterminée.
- Vérification d'absence de tension(VAT) : Cette vérification doit être effectuée sur chaque conducteur actif, y compris le neutre, à l'aide d'un dispositif vérificateur d'absence de tension spécialement conçu à cet effet.
- Mise à la terre et en court-circuit : permettant de protéger l'opérateur d'un retour de tension après avoir mis en place un équipement de mise à la terre et en court-circuit conforme à sa norme et dimensionné pour supporter un éventuel court-circuit.

D. Définitions relatives aux distances, zones et locaux

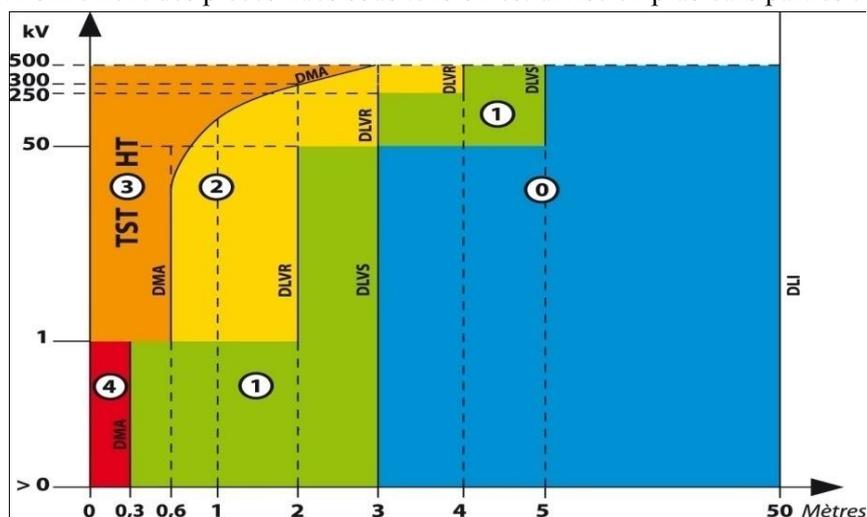
On distingue les zones définies autour des pièces nues sous tension en champ libre (Figure 3.48) les zones définies dans les locaux et emplacements d'accès réservés aux électriciens (Figure 3.49) Et les zones autour des canalisations isolées (Figure 3.50).

Un certain nombre de distances ont été définies par rapport aux pièces nues sous tension et par rapport aux canalisations isolées. Afin de définir ces zones

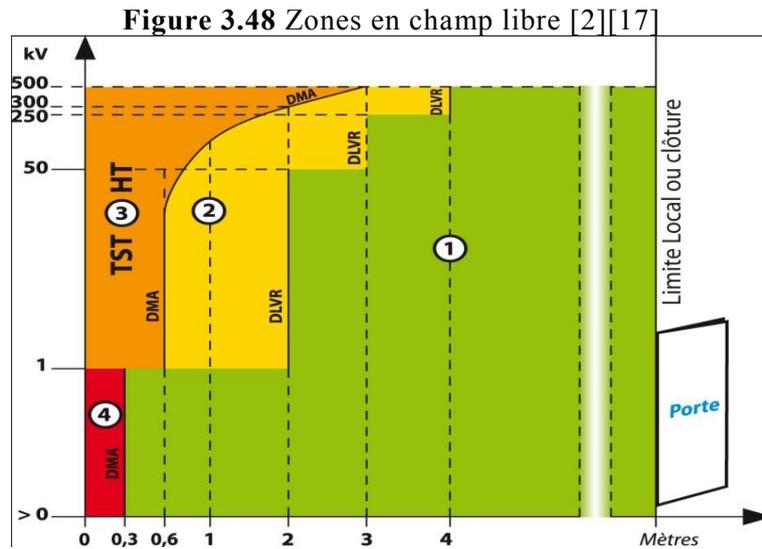
On note que les distances définies pour les tensions alternatives peuvent être utilisées pour les tensions continues.

Le personnel peut être amené à s'approcher des pièces nues sous tension ou des canalisations isolées. Dans ce cas, des moyens de protection doivent être mis en œuvre pour empêcher tout contact avec ces pièces nues ou atteintes aux canalisations isolées.

L'environnement des pièces nues sous tension est divisé en plusieurs parties :



Zone 0	zone d'investigation
Zone 1	zone de voisinage simple
Zone 2	zone de voisinage renforcé haute tension
Zone 3	zone des travaux sous tension haute tension
Zone 4	zone de voisinage renforcé basse tension



Zone 1	zone de voisinage simple
Zone 2	zone de voisinage renforcé haute tension
Zone 3	zone des travaux sous tension haute tension
Zone 4	zone de voisinage renforcé basse tension

Figure 3.49. Zones à l'intérieur d'un local et emplacement d'accès réservé aux électriciens (doc. COMST) [2][17]

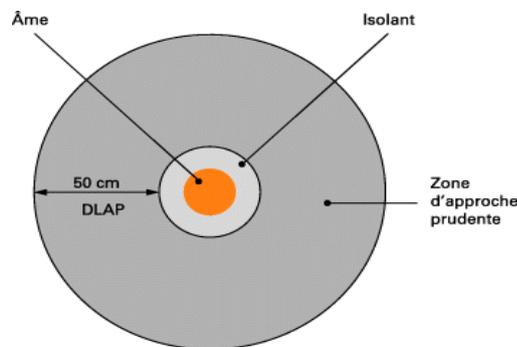


Figure 3.50 Zone d'approche prudente pour les canalisations isolées (doc. COMST) [2][17]

a. Pièces nues sous tension en champ libre

- Distance minimale d'approche (DMA). C'est la somme de La distance de tension t et de distance de garde g .

$$DMA = t + g \text{ Avec } t = 0.005U_n$$

t (exprimée en mètres) est donnée, en l'absence de dispositifs de protection appropriés ou de mise hors de portée, par : $t = 0.005U_n$

Avec : U_n : (kV) valeur nominale de la tension.

t est arrondi par excès au décimètre le plus proche, sans pouvoir être inférieure à 0,10 m en HT.

La distance de garde g a pour objet de libérer l'opérateur du souci permanent de respect de la distance de tension.

g est égal à 0,30 m en BT et 0,50 m en HT.

La zone définie par la Distance minimale d'approche (DMA). est appelée zone de travaux sous tension en haute tension. Dans certains pays d'Europe, cette zone est appelée zone de danger.

Tension nominale U_n (kV)	Distance de tension t (m)	Distance de garde g (m)	Distance minimale d'approche entre phase et opérateur au potentiel de la terre DMA (m)
0,4	0 [1]	0,30	0,30
1	0 [1]	0,30	0,30
15	0,10	0,50	0,60
20	0,10	0,50	0,60
30	0,20	0,50	0,70
63	0,30	0,50	0,80
90	0,50	0,50	1,00
150	0,80	0,50	1,30
225	1,10	0,50	1,60
400	2	0,50	2,50
[1] sans contact			

Tableau 3.11 Distance minimale d'approche DMA [2][17]

- Distance limite de voisinage renforcé (DLVR)

Elle permet de définir des zones de travaux en haute tension dits *au voisinage renforcé* et concerne les travaux exécutés par des personnes habilitées ou par des personnes non habilitées

Les distances limites de voisinage renforcé des pièces conductrices nues sous tension sont :

- 2 m pour $1KV < U_n \leq 50KV$
- 3m pour $50KV < U_n \leq 250KV$
- 4m pour $U_n > 250KV$

- Distance limite d'investigation (DLI)

Elle est fixée à 50 m des pièces nues sous tension et des canalisations isolées. C'est la distance à partir de laquelle il est nécessaire de se poser la question du risque électrique

Ces distances permettent de déterminer, pour les pièces nues sous tension, des zones numérotées de 0 à 4 comme indiquer pour les Figures.

b. Canalisations isolées

Les deux distances retenues sont la distance limite d'investigation et la distance limite d'approche prudente.

- Distance limite d'investigation (DLI)

Elle est fixée à 50 m des pièces nues sous tension et des canalisations isolées.

- Distance limite d'approche prudente (DLAP)

Elle permet de définir la limite extérieure de la zone d'approche prudente autour d'une canalisation électrique isolée. Elle est fixée à 0,50

Pour les canalisations isolées, les deux zones retenues ne sont pas numérotées. Il s'agit de la zone d'investigation et de la zone d'approche prudente.

c. Zone de travail

C'est l'espace dans lequel l'opérateur est amené à évoluer avec différents outils et matériels qu'il manipule

E. Travaux hors tension

Pour réaliser des travaux hors tension sur un ouvrage ou une installation ou sur une partie, la consignation est la mesure de sécurité à appliquer en premier et la plus sûre.

La consignation est la mesure de prévention à mettre en œuvre pour exécuter les opérations hors tension. Elle comprend les opérations suivantes :

- d. Déroulement d'une consignation

- Pré-identification : préalable à la procédure de consignation



Figure 3.51 Au préalable s'équiper

- Séparation électrique

Elle doit être effectuée sur tous les conducteurs actifs, y compris le neutre distribué, à l'exception du PEN.

La séparation de toutes sources de tension, amont et aval, doit être effectuée de façon certaine :

- par vue directe des contacts séparés avec une distance d'ouverture dans l'air ;
- par enlèvement des pièces de contact (retrait de fusible, d'une fiche de courant...)
- par interposition d'un écran isolant entre les contacts ;
- par appareil normalisé asservi à l'absence de tension.

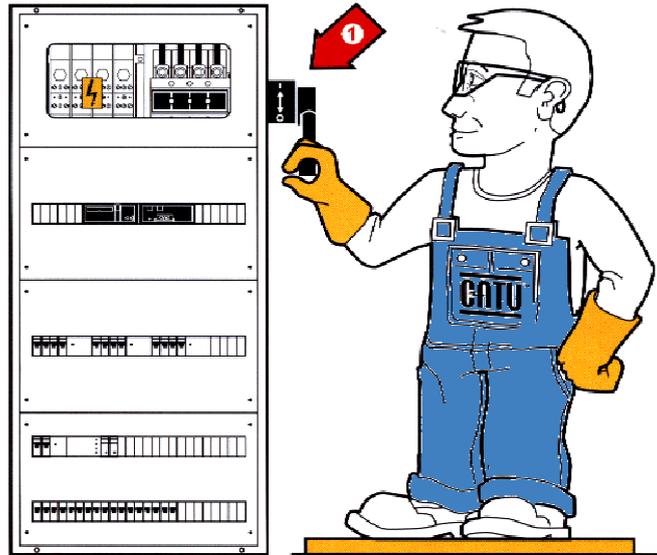


Figure 3.52 Déroulement d'une consignation

- la condamnation

Elle a pour but d'empêcher la manœuvre de l'organe de séparation et comprend :

- une immobilisation de l'organe réalisée par blocage mécanique (serrure, cadenas...),
- une signalisation et un avertissement : une indication (pancarte) signalant explicitement que cet organe est condamné et ne doit pas être manœuvré,

Les pancartes doivent être très visibles et porter, à titre d'exemple, une inscription telle que :

CONDAMNE
DEFENSE DE MANŒVRER SANS AUTORISATION

.....
(Nom, prénom, date, heure, téléphone, repère, ...)

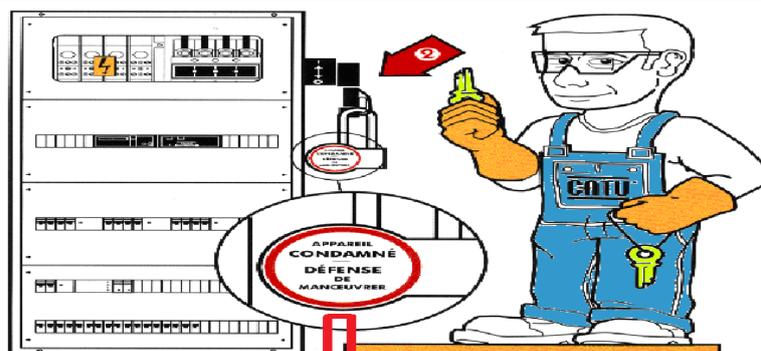


Figure 3.53 la condamnation

- l'identification

Différentes méthodes doivent conduire à la certitude de cette identification :

- consultation de schémas ;
- connaissance des ouvrages et de leurs caractéristiques ;
- lecture des pancartes, étiquettes, numéros de support ;
- identification visuelle sur place si l'on peut suivre la ligne ou la canalisation depuis le lieu où a été réalisée la séparation certaine jusqu'à la zone de travail ;
- mise en œuvre d'appareils d'identification de circuits ;
- tout autre moyen approprié équivalent.

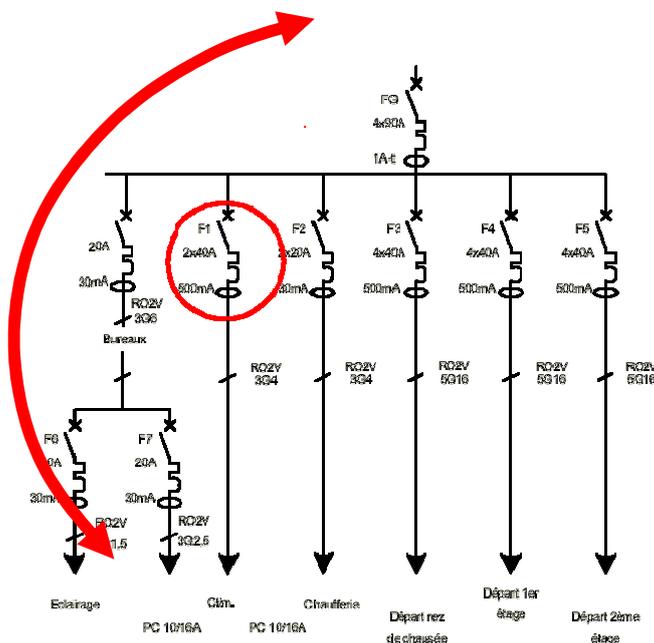
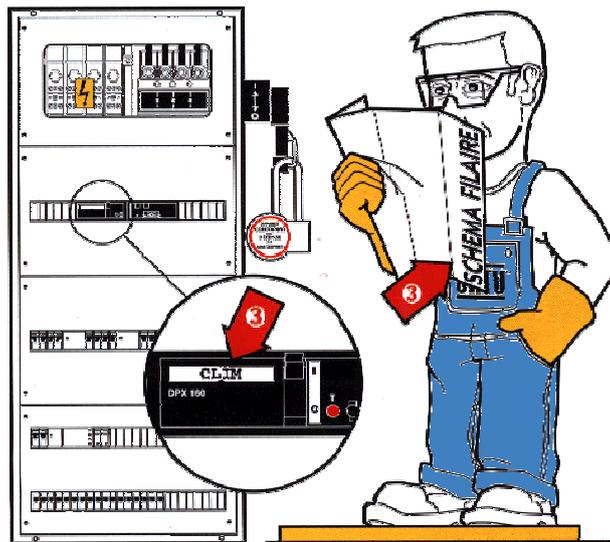


Figure 3.54 Déroulement d'une consignation

Une fois l'identification réalisée, il y a lieu de la matérialiser sur l'ouvrage par un marquage, à moins que les mises à la terre et en court circuit ne soient visibles de partout dans la zone de travail ou qu'aucun risque de confusion n'existe.

- Vérification d'absence de tension

Le but est de vérifier l'absence de tension qui doit être effectuée :

- ❖ sur chacun des conducteurs actifs y compris le neutre à l'aide d'un dispositif de vérification d'absence de tension normalisé et spécialement prévu à cet effet ;
- ❖ sur le lieu de travail ou aussi près que possible de celui-ci, en s'assurant de la continuité électrique entre le point de vérification d'absence de tension et le lieu de travail ;
- ❖ entre chaque conducteur actif et la terre en basse tension.

En aucun cas, un appareil de mesurage ne peut être utilisé pour réaliser une vérification d'absence de tension.

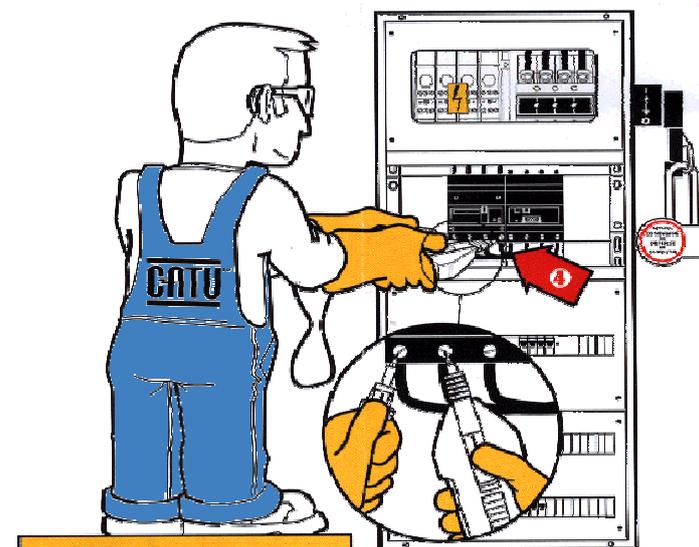


Figure 3.55 Vérification d'absence de tension

- Mise à la terre et en court-circuit

Réalisée immédiatement après la VAT, elle est le plus sûr moyen d'assurer la protection des personnes.

La mise à la terre et en court circuit n'est pas obligatoire en BTA sauf s'il y a :

- ✓ Risque de tension induite ;
- ✓ Présence de condensateur ;
- ✓ Présence de câbles de grande longueur ;
- ✓ Risque de réalimentations.



Figure 3.56 Mise à la terre et en court-circuit

A. Travaux au voisinage des installations électriques

Si la mise hors tension par consignation n'est pas possible, des mesures de protection particulières doivent être prises pour supprimer le voisinage électrique et donc, éviter les conséquences d'un contact accidentel avec une pièce nue sous tension.

Les principes de protection consistent, dans le cas de voisinage, à protéger les opérateurs par mise hors de portée c'est-à-dire :

- se tenir éloigné, à des distances définies des pièces nues sous tension ;
 - disposer d'obstacles ;
 - utiliser des protections isolantes placées entre les personnes et ces pièces ou à disposer ;
 - Confier les travaux à un personnel habilité disposant de l'outillage et de l'équipement de protection individuelle nécessaires ;
 - En cas de voisinage avec des pièces nues sous tension du domaine haute tension, surveiller en permanence les travaux par une personne habilitée.
- Voisinage simple de pièces nues sous tension du domaine BT :
(Norme NF C18-510) « Le travail est dit au voisinage simple lorsque l'opérateur et ou les objets qu'il manipule se trouvent dans la zone 1 c'est-à-dire entre 3 m et 0,30 m des pièces nues sous tension. ».
- Voisinage renforcé de pièces nues sous tension du domaine BT :
(Norme NF C18-510) « Le travail est au voisinage renforcé basse tension lorsque l'opérateur ou les objets qu'il manipule se trouvent dans la zone 4, c'est-à-dire à une distance inférieure à 0,30 m à partir des pièces nues sous tension mais sans qu'il y ait contact intentionnel avec ces pièces nues ».

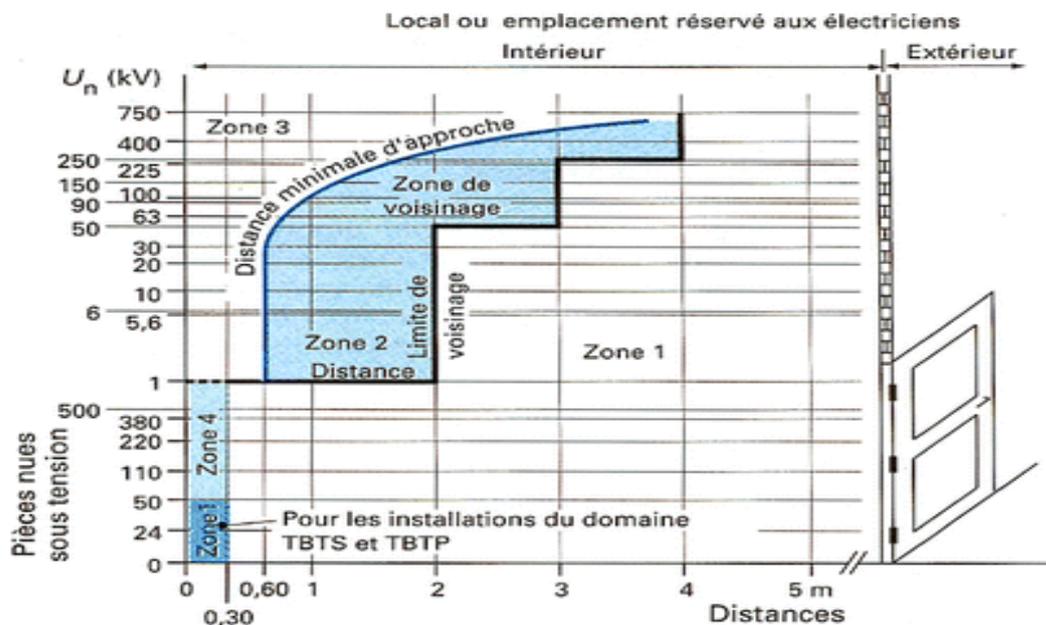


Figure 3.57 Travaux au voisinage des installations électriques

➤ Description des zones

Quatre zones sont déterminées en fonction, notamment de la distance minimale d'approche et de la distance de voisinage. Pour les tensions alternatives 50hz, ces zones sont les suivantes :

Zone 1	Toute zone située à l'intérieur d'un local ou emplacement réservé aux électriciens, mais au-delà de la distance limite de voisinage, par rapport aux pièces nues sous tension
---------------	---

Zone 2	Cette zone qui n'est définie que pour le domaine HT, est dans ce domaine, la zone de voisinage proprement dite.
Zone 3	Cette zone n'est définie que pour le domaine HT, est celle comprise, par rapport aux pièces nues sous tension, entre ces pièces et la distance minimale d'approche
Zone 4	Cette zone, qui n'est définie que pour le domaine de tension BT, peut être considérée soit comme une zone de travail sous tension, soit comme une zone de voisinage.

Tableau 3.12 Description des zones

3.10 Formation et habilitation

3.10.1 Principe

L'employeur est tenu de former ses salariés à la prévention du risque électrique et doit délivrer une habilitation conformément à la norme NF C 18-510 (opérations d'ordre électrique ou d'ordre non électrique).

L'habilitation est la reconnaissance par son employeur de la capacité d'une personne placée sous son autorité à accomplir, en sécurité vis-à-vis du risque électrique, les tâches qui lui sont fixées.

3.10.2 Cas dans lesquels l'habilitation est obligatoire

- Effectuer toutes opérations sur des ouvrages ou des installations électriques ou dans leur voisinage.
- Surveiller les opérations sur des ouvrages ou des installations ou dans leur voisinage.
- Accéder sans surveillance aux locaux d'accès réservé aux électriciens.

3.10.3 Evaluation du besoin initial

Elle est conduite par l'employeur pour tout salarié potentiellement exposé au risque électrique. L'habilitation doit être déterminée au regard d'une analyse :

- du type d'opération à réaliser (travaux, interventions BT...);
- du type et les caractéristiques des ouvrages, des installations et des appareillages ;
- du domaine des tensions (TBT, BT, HTA, HTB) ;
- de la nature du courant (alternatif ou continu).

Une habilitation électrique est obtenue après une formation spécifique à la prévention des risques électriques qui a pour objectif de donner au personnel concerné la connaissance des risques inhérents à l'exécution d'opérations au voisinage ou sur les ouvrages électriques, ainsi que les instructions le rendant apte à veiller à sa propre sécurité et à celle de son personnel qui est placé éventuellement sous ses ordres.

3.10.4 Symbole des habilitations

Le premier caractère indique le domaine de tension :

B : ouvrages ou installations du domaine BT et TBT.

H : ouvrages ou installations du domaine HT.

DOMAINE DE TENSION	COURANT ALTERNATIF	COURANT CONTINU
TBT	$U \leq 50 \text{ V}$	$U \leq 120 \text{ V}$

BT	$50 \text{ V} < U \leq 1000 \text{ V}$	$120 \text{ V} < U \leq 1500 \text{ V}$
HTA	$1000 \text{ V} < U \leq 50 \text{ kV}$	$1500 \text{ V} < U \leq 75 \text{ kV}$
HTB	$U \geq 50 \text{ kV}$	$U \geq 75 \text{ kV}$

Tableau 3.13 Domaine de tension

Le deuxième caractère indique le type d'opération et s'exprime soit par une lettre :

Lettre	Signification
C	Consignation
R	Interventions BT générales
S	Interventions BT élémentaires
E	Opérations spécifiques
P	Photovoltaïque

Tableau 3.14 Type d'opération

Remarque : la lettre E doit être obligatoirement complétée par un attribut :

Essai, Vérification, Mesurage, Manœuvre.

Soit par un chiffre :

Lettre	Signification
0	Travaux d'ordre non électrique
1	Opérations d'ordre électrique
2	Chargé de travaux

Tableau 3.15 rôle des opérateurs

Le troisième caractère est une lettre additionnelle aux deuxièmes caractères 0, 1 ou 2 :

Lettre	Signification : le titulaire peut effectuer :
V	en HT, des travaux dans la zone de voisinage renforcée. en BT, des travaux d'ordre électrique dans la zone de voisinage renforcée BT.
T	des travaux sous tension.
N	des travaux de nettoyage sous tension.
X	des opérations spéciales.

Tableau 3.16 nature des opérations

En l'absence du troisième caractère, le titulaire ne peut effectuer que des travaux hors tension au voisinage simple.

- Exemple

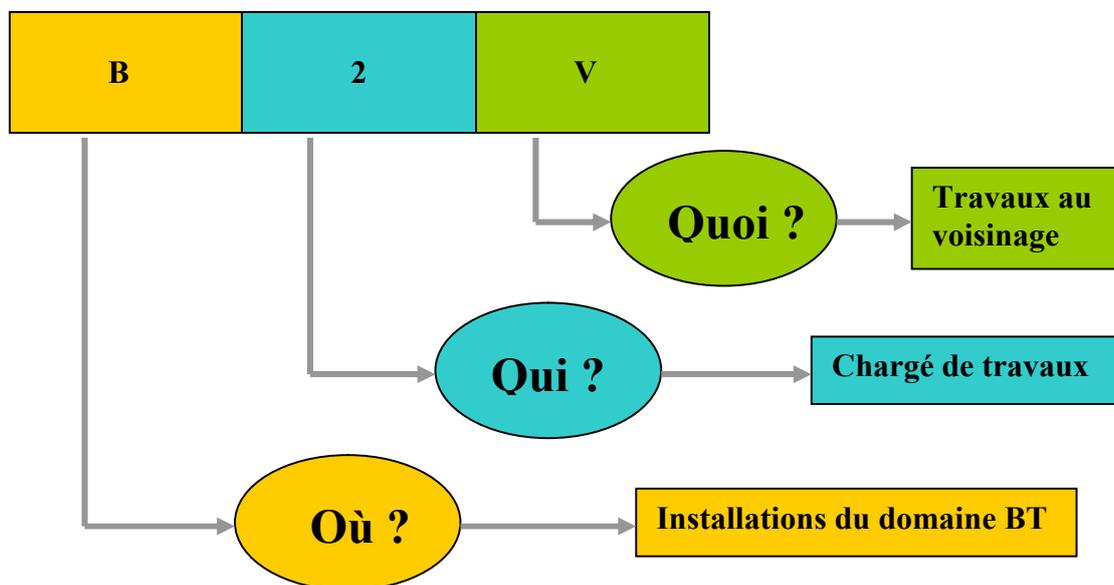


Figure 3.58 Exemple

- Tableau récapitulatif :

1^{er} caractère Domaine de tension	Tensions	B : basse tension (BT) et très basse tension (TBT) H : haute tension
2^{ème} caractère Type d'opération	Travaux d'ordre non électrique	0 : exécutant ou chargé de chantier
	Travaux d'ordre électrique	1 : exécutant 2 : chargé de travaux
	Interventions BT	R : intervention BT générale S : intervention BT élémentaire
	Consignation	C : chargé de consignation électrique
	Opérations spécifiques	E : essai, mesurage, vérification, manœuvre
	Opérations photovoltaïques	P : opérations photovoltaïques
3^{ème} caractère Lettre additionnelle	Complète, si nécessaire les travaux	V : travaux réalisés dans la zone de voisinage renforcé HT (zone 2) ou travaux réalisés dans la zone de voisinage renforcé BT

		(zone 4) T : travaux sous tension N : nettoyage sous tension X : opération spéciale
Attribut	Complète si nécessaire les caractères précédents	Ecriture en clair du type d'opération, d'essai, de mesurage, de vérification ou de manœuvre d'un opérateur

Tableau 3.17 récapitulatif

• **Tableau d'habilitation**

Habilitation du personnel	Opérations		
	Travaux		Intervention du domaine BT
	Hors tension	Sous tension	
Non électricien	B0 ou H0		
Exécutant électricien	B1 ou H1	B1T ou H1T	BR
Chargé d'intervention			
Chargé de travaux	B2 ou H2	B2T ou H2T	
Chargé de consignation	BC ou HC		BC
Agent de nettoyage sous tension		BN ou HN	

Tableau 3.18 D'habilitation

Le titre d'habilitation, sous la forme d'une fiche verte, est un document signé par l'employeur et par le titulaire de la carte. Ce titre informe sur le niveau de l'habilitation, le domaine, les ouvrages concernés, les autorisations ou interdictions particulières et la durée de la validité

Ainsi, l'habilitation est valable uniquement sur le réseau de l'établissement et le titulaire de cette habilitation doit respecter impérativement les limitations qui y sont portées.

L'habilitation électrique doit être révisée chaque fois que cela s'avère nécessaire en fonction de l'évolution des aptitudes du personnel, notamment lors :

- d'un changement de fonction ;
- d'une interruption de la pratique des opérations pendant une longue durée ;

- d'une modification d'une installation électrique.

- Exemple de titre d'habilitation

Titulaire du titre : Nom : FLAHAUT Prénom : Jean-Christophe Fonction : Enseignant		Employeur : <i>Éducation nationale</i> Affectation : <i>Lycée Ed. Branly de Boulogne-sur - Mer</i>		
Personnel	Symbole d'habilitation et attribut	Champ d'application		
		Domaine de tension ou tensions concernées	Ouvrages ou installations concernés	Indications supplémentaires
Travaux d'ordre non électrique				
Exécutant				
Chargé de chantier				
Opérations d'ordre électrique				
Exécutant				
Chargé de travaux	B2V	<i>Jusqu'à 500 V en courant alternatif</i>	<i>Toutes installations industrielles</i>	<i>Sauf les postes d'alimentation</i>
Chargé d'intervention	BR	<i>Jusqu'à 500 V en courant alternatif</i>	<i>Toutes installations industrielles</i>	<i>Sauf les postes d'alimentation</i>
Chargé de consignation	BC	<i>Jusqu'à 500 V en courant alternatif</i>	<i>Toutes installations industrielles</i>	<i>Sauf les postes d'alimentation</i>
Chargé d'opérations				
Habilitation spéciale				
Document supplémentaire : Oui - Non				
Le titulaire : Signature :		Pour le chef d'établissement : Nom : DURAND Prénom : Paul Fonction : Provisieur Signature :		Date : <i>4 juillet 2014</i> Validité : <i>1 an</i>

a) – Recto

AVIS
<p>Le présent titre d’habilitation est établi et signé par l’employeur ou son représentant et remis à l’intéressé qui doit également le signer.</p> <p>Ce titre est strictement personnel et ne peut être remis à des tiers.</p> <p>Le titulaire doit être porteur de ce titre pendant les heures de travail ou le conserver à sa portée et être en mesure de le présenter sur demande motivée.</p> <p>La perte de ce titre doit être signalée immédiatement au supérieur hiérarchique.</p> <p>Ce titre doit comporter les indications précises correspondant aux 3 caractères et à l’attribut composant le symbole de chaque habilitation et celles relatives aux activités que le personnel est autorisé à pratiquer.</p> <p>L’absence d’une indication a valeur d’interdiction.</p> <p>La rubrique « indications supplémentaires » doit obligatoirement être remplie.</p>
<p>Cette habilitation n’autorise pas à elle seule son titulaire à effectuer de son propre chef les opérations pour lesquelles il est habilité.</p>
<p>AUTORISATIONS OU INTERDICTIONS SPÉCIALES</p>
<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

b) - Verso
Figure 3.56 Titre D’habilitation

3.11 Equipement de protection individuelle EPI

3.11.1 Définition

Les équipements de protection individuelle (EPI) font partie intégrante de la sécurité électrique. Ils sont définis par le code du travail comme des « *dispositifs ou moyens portés par une personne en vue de la protéger contre les risques susceptibles de menacer sa santé et sa sécurité* ».

3.11.2 Conditions d'utilisation

Les EPI doivent :

- être conformes aux prescriptions de la réglementation et aux normes quand elles existent ;
- faire l'objet du marquage de conformité CE ;
- Tout utilisateur doit vérifier son bon état à chaque utilisation ;
- Les EPI détériorés sont remplacés et mis au rebut.

Les équipements de protection individuelle de type casques, lunettes et masques de protection, gants isolants et chaussures de sécurité doivent posséder le marquage de conformité CE.

- **Casque**

Le port d'un casque isolant et antichoc est nécessaire lorsqu'il y a risque soit de choc électrique, soit de blessure par chute d'objet. C'est notamment le cas lors des travaux sur les installations électriques aériennes ou lors des travaux de terrassement. Conforme à la norme **NF EN 397**.



Figure 3.59 Casque et lunettes de protection

- **Gants isolants**

Les gants isolants ont pour but de protéger les mains contre les risques de contact direct avec des pièces nues sous tension. Conformés à la norme NF C 18-415.



Figure 3.60 Ce recueil Gants isolants

Ils doivent être vérifiés avant chaque emploi à l'aide d'un contrôleur pneumatique (par gonflage et immersion dans l'eau) et ne présenter ni trous ni déchirures

- **les bottes isolantes de sécurité**

Les bottes ont pour but d'isoler l'opérateur du sol afin qu'il ne soit pas traversé par un courant électrique venant d'un retour à la terre par les pieds, en cas de contact direct ou indirect conformes à la norme **NF EN 345**.



Figure 3.61 Bottes antidérapantes

L'utilisation de chaussures à semelle isolante est une précaution mais pas une sécurité.

Le tapis isolant est le complément indispensable aux chaussures à semelle isolante lorsqu'il est nécessaire de s'isoler de la terre à l'intérieur des bâtiments.

- **Vêtements**

Ce vêtement a pour but d'isoler l'opérateur en cas de contact direct ou indirect.



Figure 3.62 Combinaison de protection jetable, masque à ventilation assistée et harnais

- **L'écran facial anti-UV**

L'écran facial a pour but de protéger les yeux et la face :

- des projections de particules solides ;
- des arcs électriques, des courts-circuits ;
- des émissions d'ultra-violet (UV) ;
- conforme à la norme NF EN 166.

Il est obligatoire pour toutes les opérations comportant un risque d'accident oculaire (travaux au voisinage, étapes sous tension, mesurages, MALT et en CC).



Figure.3.63 L'écran facial anti-UV

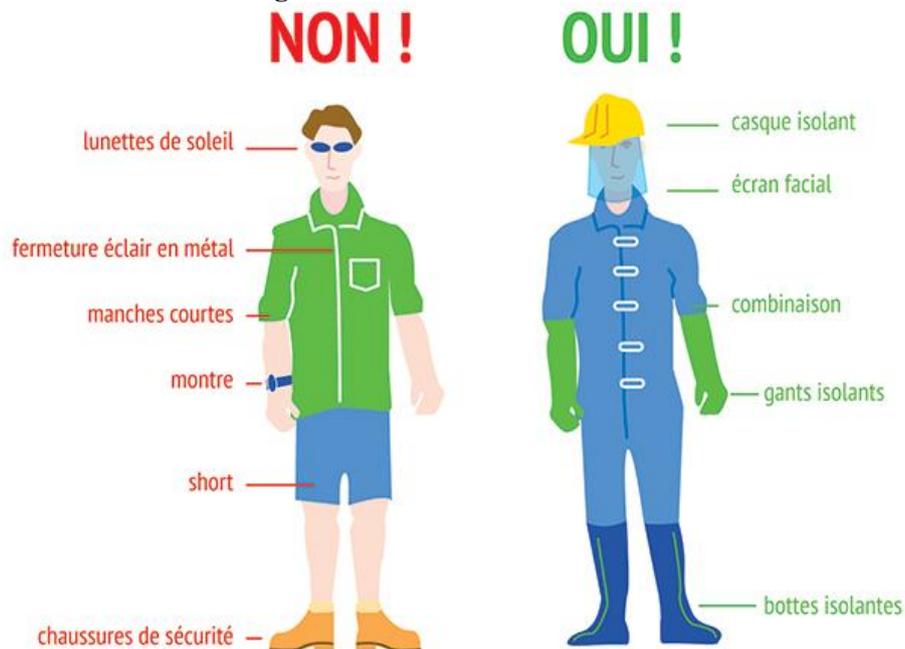


Figure 3.64 Equipements de protection individuelle pour les travaux sous basse tension

3.12 Les équipements individuels de sécurité

3.12.1 Composition

- **Le tapis ou le tabouret isolant**

L'isolation par rapport au sol doit être assurée en fonction de la tension nominale des ouvrages. Il doit être conforme à la norme NF C 18-420.

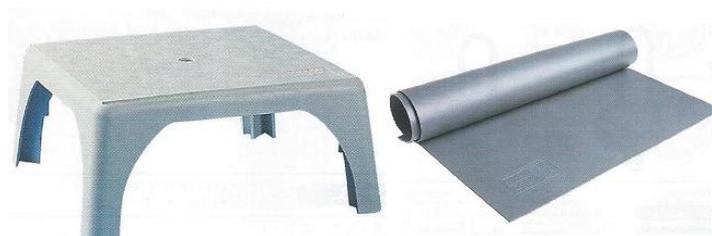


Figure 3.65 Le tapis ou le tabouret isolant

- des perches isolantes,

Elles sont conçues pour isoler l'opérateur des pièces nues sous tension. Elles permettent à l'opérateur de respecter une distance de sécurité par rapport à l'ouvrage sur lequel il opère.

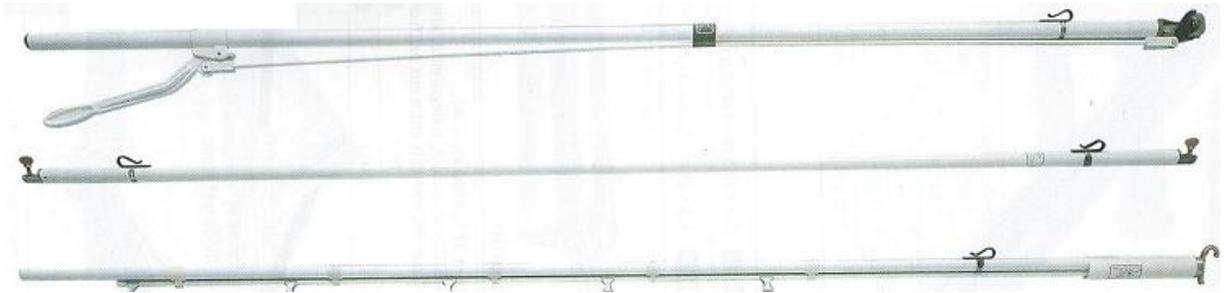


Figure 3.66 Perches isolantes

- Les outils isolants et isolés

Un outil isolé à main est conçu pour ne pas mettre son utilisateur en contact **avec une partie conductrice et pour limiter la formation d'arc électrique.**



Figure 3.67. Les outils isolés CATU sont conformes aux normes NF EN 60900 / CEI 60900 2012.

- Les cadenas et étiquettes de consignation,

Dispositifs permettant de respecter la norme C18-510 en matière de le verrouillage et de signalisation et d'avertissement.

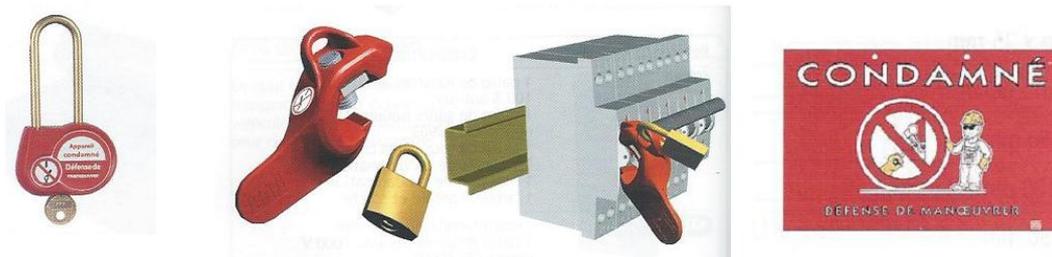


Figure 3.68 Les cadenas et étiquettes de consignation

- L'équipement de mise à la terre et en court-circuit

Il protège l'opérateur contre :

- un éventuel retour de la tension (exemple : source de secours) ;
- l'électrisation par courants capacitifs ou inductifs ;

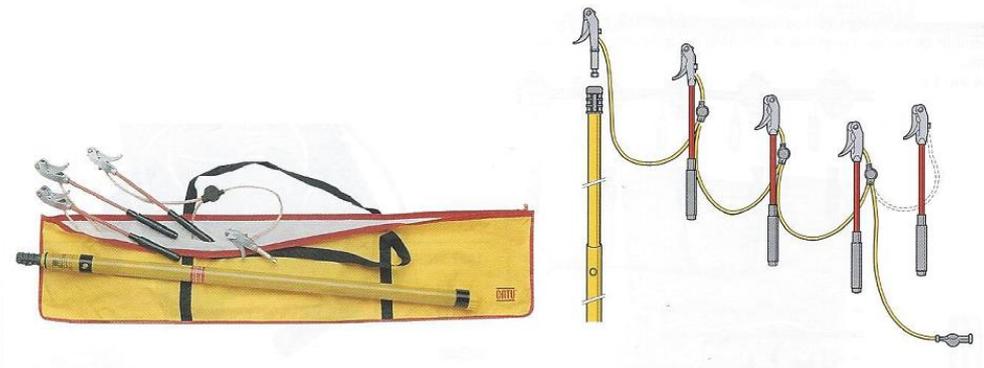


Figure 3.69 L'équipement de mise à la terre

Les opérations doivent être réalisées dans l'ordre suivant :

- connecter le câble de terre du dispositif:
 - de préférence à la terre des masses existant dans les postes ;
 - ou à un piquet métallique enfoncé correctement dans le sol.
 - dérouler complètement le conducteur du dispositif s'il est placé sur un touret, pour éviter les effets électromagnétiques dus à un court-circuit éventuel.
 - fixer les pinces sur chacun des conducteurs, en commençant par le conducteur le plus rapproché et en utilisant des outils isolants adaptés (perches isolantes).
- **échelles isolantes**
Des échelles isolantes pour les travaux en élévation,



Figure 3.70 Échelles isolantes

- Le vérificateur d'absence de tension(VAT),

C'est un détecteur de tension conçu spécifiquement pour vérifier l'absence de tension. Il est obligatoire de vérifier son bon fonctionnement.

Il faut vérifier son bon fonctionnement immédiatement avant et après chaque opération. Il est interdit d'utiliser un appareil de mesure pour réaliser une vérification d'absence de tension.



Figure 3.71 Le vérificateur d'absence de tension

3.13 Equipement de protection collective

3.13.1 Définition

Les équipements de protection collective en matière de prévention des risques électriques regroupent l'ensemble des produits permettant une mise hors de portée par :

- Eloignement (balisage, signalisation) ;
- Obstacle (capots, écran, barrière) ;
- Isolation (nappes isolantes, capuchons isolants...).

Les EPC doivent être conformes aux normes en vigueur



Figure 3.72 Equipement de protection collective

3.13.2 Composition

Cet équipement comprend :

- l'utilisation d'écran de protection (nappe isolante, tôle épaisse mise à la terre...)
- la délimitation de l'emplacement de travail par un balisage et une pancarte d'avertissement de travaux ;
- l'utilisation de baladeuses spécialement conçues à cet effet.

3.13.3. Utilisation

➤ Dispositifs de mise à la terre

Ils sont mis en place pour protéger le personnel contre :

- un retour de tension ;
- une éventuelle surtension atmosphérique ;
- les phénomènes d'inductions.

➤ Ecrans de protection

Lors de travaux ou interventions au voisinage de pièces nues sous tension, la pose d'écrans peut s'avérer nécessaire. Ces écrans peuvent être constitués :

- des nappes isolantes ;
- de plaques métalliques reliées à la terre.

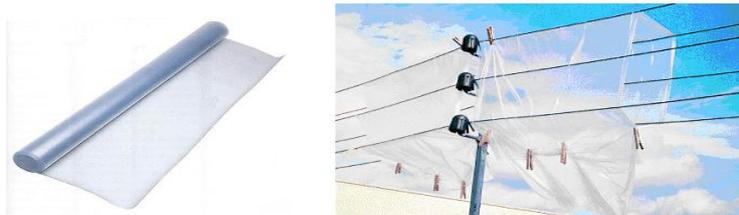


Figure 3.73 Nappes, capuchons et pinces (doc. COMST)

➤ Balisage des zones

Le repérage des zones de travail sur et autour des ouvrages lors de travaux et interventions nécessitent un balisage réalisé par différents moyens :

- Des pancartes



Figure 3.74 Des pancartes

- Des banderoles



Figure 3.75 Des banderoles

- Des barrières

Ces indications sont placé à des emplacements adéquats par un chargé de travaux (B2) ou un chargé d'interventions (BR)



Figure 3.76 Balisage de la zone

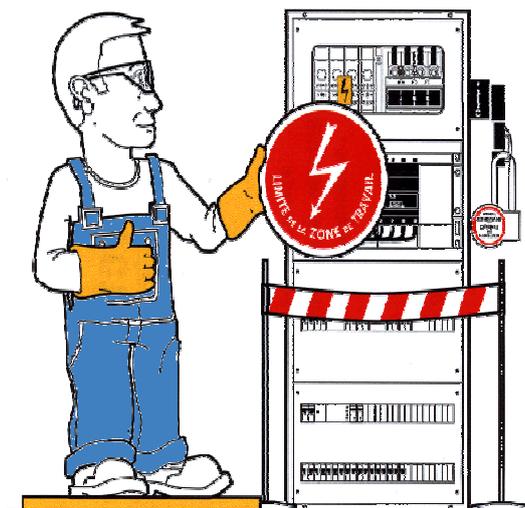


Figure 3.77 Balisage de la zone

Délimiter et signaler la zone de travail et se protéger contre les pièces voisines restant sous tension

3.14 Champs électrique, Champs magnétiques et Champs électromagnétique quelques définitions

3.14. 1 Introduction

Le matin, le réveil de notre téléphone portable nous arrache de notre sommeil; nous allumons la lumière en hâte pour sortir du lit, écoutons les nouvelles à la radio avant de nous préparer un café. Après avoir pris notre douche, nous nous séchons les cheveux. Il est ensuite temps d'aller prendre le train, qui nous amène en toute sécurité et avec fiabilité jusqu'à notre lieu de travail où notre ordinateur nous attend. A midi, nous réchauffons notre repas au four à micro-ondes et, le soir, nous terminons la journée confortablement installés devant la télé

Difficile d'imaginer notre vie quotidienne sans tous ces appareils électriques et électroniques. Mais nous oublions souvent que partout où il y a du courant, il ya des champs électriques et magnétiques, comme dans le cadre de la production, du transport et de la distribution d'énergie électrique. Nous ne pouvons ni voir ni sentir les champs électriques et magnétiques. Nous souhaitons fournir des explications sur les champs électriques et magnétiques et sur leur impact éventuels sur notre santé, ainsi que parler des mesures préventives appropriées.

3.14. 2 Qu'entend-on par champs électriques et magnétiques?

➤ Le champ électrique

Caractérise l'effet d'attraction ou de répulsion exercé par une charge électrique sur une autre. Toute charge électrique produit un Champ électrique. La tension électrique, qui traduit l'accumulation de charges électriques, génère donc du champ électrique. Ainsi, lorsqu'une lampe est branchée au réseau électrique, il y a un champ électrique, même si la lampe n'est pas allumée. Plus la tension d'alimentation d'un appareil est élevée, plus le champ électrique qui en résulte augmente Son intensité se mesure en volt par mètre (**V/m**).**elle décroît tres vîtes avec la distance** Il convient de noter que le champ électrique est arrêté par le moindre obstacle, même faiblement conducteur (bâtiment, arbre, etc.)

➤ Le champ magnétique

Apparaît lorsque les charges électriques se déplacent, c'est-à-dire lorsqu'il y a circulation de courant électrique. Lorsque la lampe est allumée, il existe, en plus du champ électrique un champ magnétique généré par le passage du courant dans le câble d'alimentation et l'ampoule. Son intensité se mesure en **tesla (T)**, Plus l'intensité du courant est élevée, Plus l'intensité du courant est élevée, plus le champ magnétique qui en résulte augmente. De manière similaire au champ électrique, l'intensité du champ magnétique décroît rapidement avec la distance. Toutefois, contrairement au champ électrique, le champ magnétique n'est pratiquement pas arrêté par les matériaux courants

➤ Exemple

- d'une lampe allumée

Exemple d'une lampe allumée : présence d'un champ électrique [25] et d'un champ magnétique

Lampe éteinte branchée sur la prise de courant : présence d'un champ électrique seul.

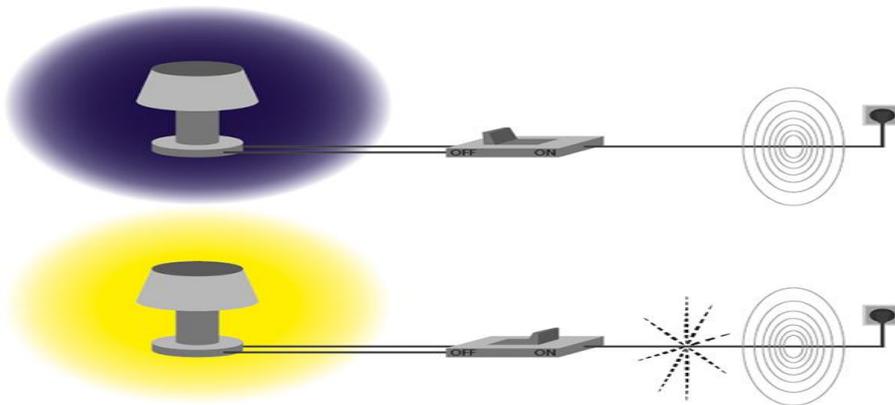


Figure 3.78 Exemple d'une lampe allumée doc INRS

- Champs électriques à basse fréquence(en V/m)

Le champ électrique est modifié à la surface du corps humain en fonction de la conductivité de celui-ci. C'est au niveau de la tête que l'intensité du champ est maximale. Le champ électrique induit des courants sensiblement dans l'axe du corps Figure : A

- Champs magnétiques à basse fréquence(en A/m)

Ils sont générés par les courants et sont proportionnels à leur intensité. Ils induisent dans le corps des courants perpendiculaires au champ magnétique. Les valeurs du champ magnétique varient de quelques pT (picotesla) à quelques mT (millitesla). Figure: B

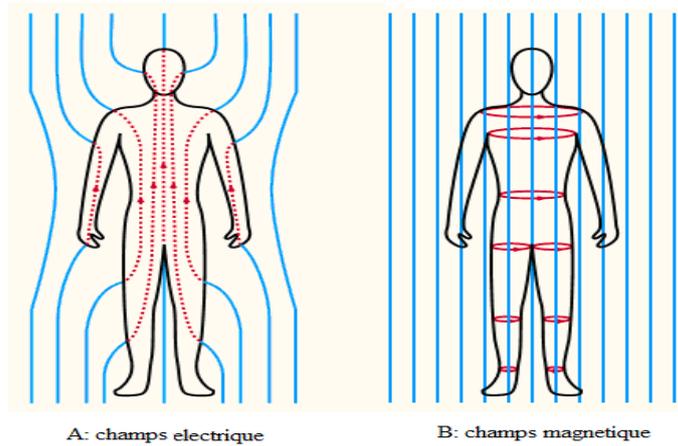


Figure 3.79 Champs électriques et magnétiques à basse fréquence

➤ **Un champ électromagnétique**

Apparaît dès lors que des charges électriques sont en mouvement. Ce champ résulte de la combinaison de 2 ondes (l'une électrique, l'autre magnétique) qui se propagent à la vitesse de la lumière.

Les champs électromagnétiques sont présents partout dans l'environnement. Toute installation électrique crée dans son voisinage un champ électromagnétique, composé d'un champ électrique et d'un champ magnétique

Nota : Les champs magnétiques statiques sont liés à la présence d'aimants permanents, d'électroaimants alimentés en courant continu ou plus généralement de sources de courants continus.

Les champs [14] électriques, magnétiques et électromagnétiques font partie des rayonnements dits non ionisants : ils ne sont pas suffisamment énergétiques pour éjecter un électron d'un atome ou d'une molécule (par opposition aux rayonnements ionisants).

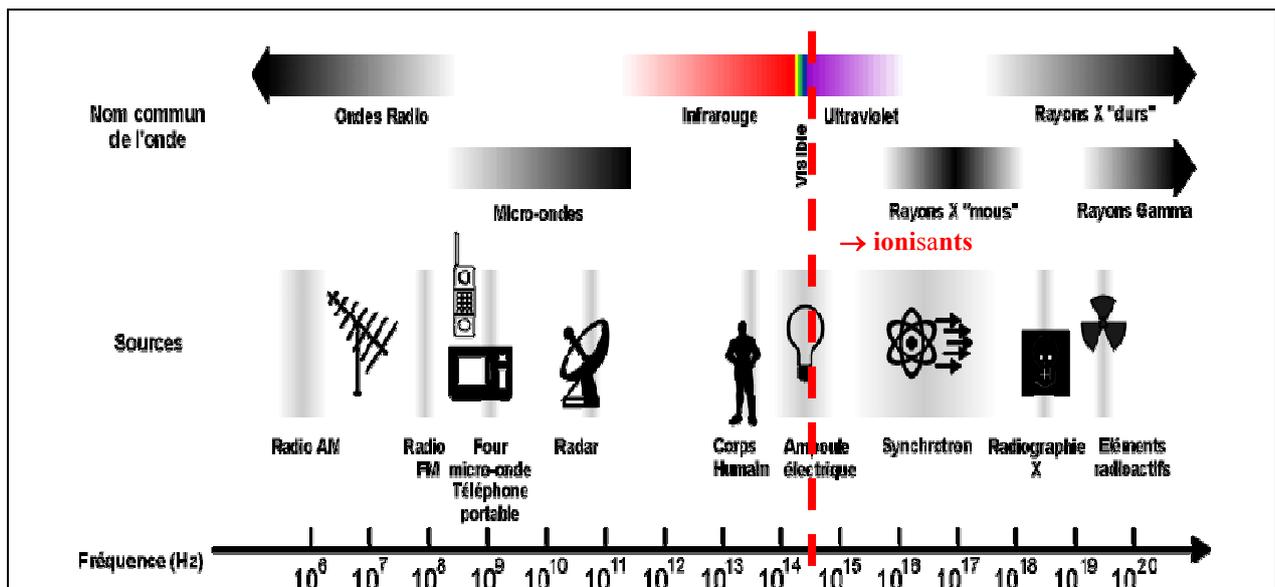


Figure 3.80 Les Rayonnements ionisants et non ionisants doc INRS

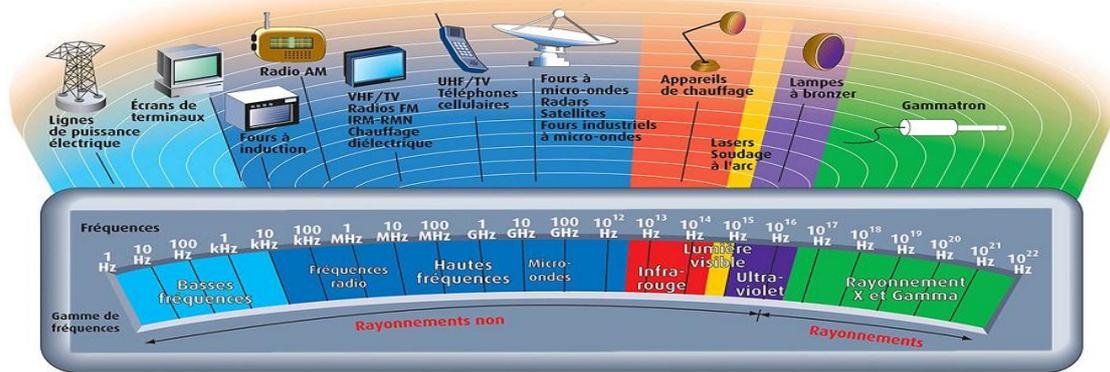


Figure 3.81 Spectre électromagnétique et émissions de quelques équipements électriques doc INRS

➤ Champs électromagnétiques en milieu professionnel

Les champs électromagnétiques peuvent avoir des conséquences sur la santé du travailleur. Leurs effets à court terme peuvent être :

EFFETS DIRECTS	EFFETS DIRECTS	EF EFFETS INDIRECTS
<p>0 < f < 10 MHz</p> <p>Création de courant induit dans l'organisme, qui selon l'intensité, peut stimuler le système nerveux ou le système cardiovasculaire.</p> <p>Effets dus aux courants induits en fonction de leur densité (valeur efficace en mA/m²).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inférieure à 10 : pas d'effet connu sur la santé. • De 10 à 100 : effets visuels et nerveux, soudure des os. • De 100 à 1 000 : stimulation des tissus excitables. • Supérieure à 1 000 : fibrillation. 	<p>100 kHz < f < 10 GHz</p> <p>Echauffement des tissus lors d'une exposition aux ondes radio ou aux hyperfréquences. Ce phénomène est dû à la relaxation diélectrique (conversion dans les tissus de l'énergie électromagnétique en chaleur).</p> <p>Si l'intensité des ondes est élevée, apparition de brûlures superficielles ou profondes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Effets dus à un courant de contact. Un courant de contact existe lorsqu'un objet conducteur et non relié à la terre est placé dans un champ électrique. Toucher un tel objet provoque la décharge du courant dans le corps humain, ce qui peut entraîner des brûlures. • Effets sur les implants conducteurs, passifs ou actifs (stimulateur cardiaque, implant cochléaires, prothèses...). • Blessures dues à la mise en mouvement d'objets métalliques par les champs magnétiques à partir de 3 mT. • déclenchement d'une explosion ou d'un incendie du fait d'un arc électrique, • dysfonctionnement de dispositifs électroniques y compris les implants actifs comme les pacemakers, projection d'objets métalliques

Tableau 3.19 Effet direct et indirect du Champs électromagnétiques

Le champ magnétique dans les tissus est le même que le champ extérieur. Le corps de l'homme ne perturbe pas sensiblement ce champ. La principale interaction des champs magnétiques est l'induction de courants électriques dans les tissus biologiques.

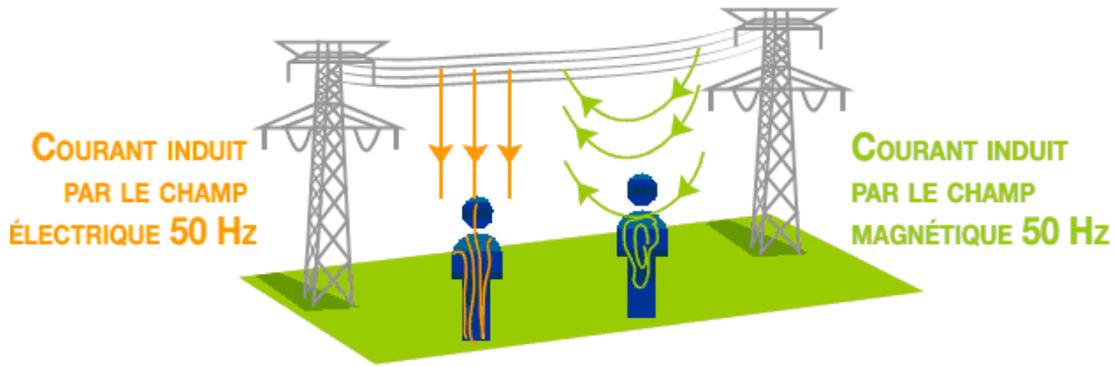


Figure 3.83 Effets sur le corps humain des champs

- Au voisinage immédiat d'une ligne à haute tension, aérienne ou souterraine

Un champ électrique et un champ magnétique sont présents. À distance de la ligne, ces champs décroissent rapidement.

Dans le cas des lignes souterraines, le champ magnétique décroît plus rapidement avec la distance que dans le cas des lignes aériennes. La valeur du champ magnétique n'est plus que de $0,7 \mu\text{T}$ à 10 mètres d'un câble souterrain à 400 000 volts. Le champ électrique est très atténué par l'enfouissement sous terre. Certaines technologies lors de la mise en place des lignes permettent de réduire les champs (configuration des câbles, gaines...).

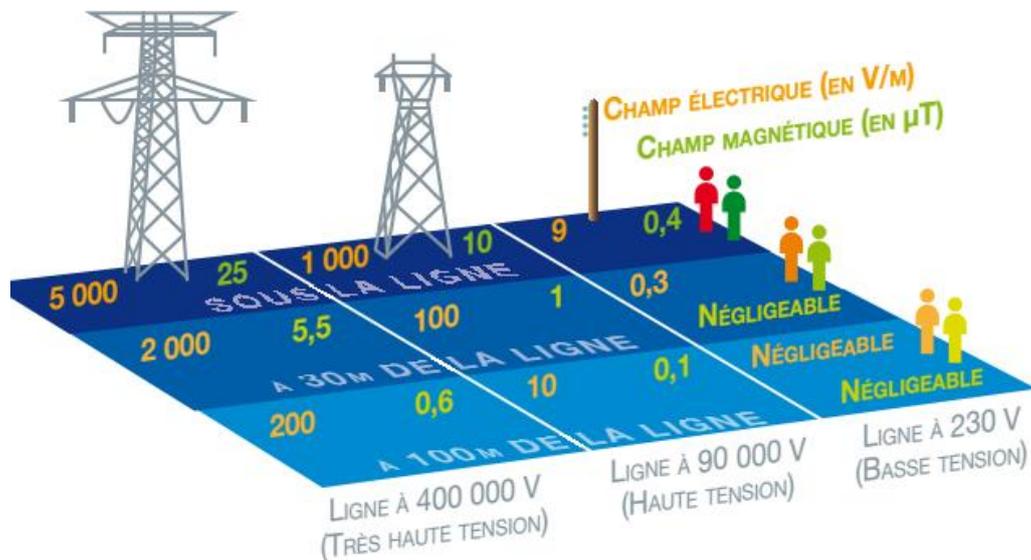


Figure 3.84 Source : MEDDE *Instruction du 15 avril 2013 relative à l'urbanisme à proximité des lignes de transport d'électricité.*

- À l'intérieur des habitations

Les sources de champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence sont de deux types : les réseaux électriques et les appareils électroménagers. L'exposition aux champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence dus aux appareils électroménagers est fonction de la distance à ces équipements

	5 CM		30 CM		1 M		
 Radio réveil	166	1,6	16	0,08	8	0,02	CHAMP ÉLECTRIQUE (EN V/M)
 Bouilloire	18	1,08	11	0,06	6	0,02	CHAMP MAGNÉTIQUE (EN μT)
 Grille-pain	57	3	10	0,21	6	0,06	
 Alimentation d'ordinateur	178	0,55	25	0,02	4	0,01	
 Plaques de cuisine à induction	94	0,57	32	0,2	4	0,13	
 Sèche cheveux	187	0,72	28	0,05	7	0,04	
 Télévision	364	0,01	75	0,01	10	0,01	

Figure 3.85 Valeurs des champs électrique et magnétique à proximité d'appareils électriques à 50 Hz

- **Cancérogénicité**

Les champs électromagnétiques basse fréquence (inférieur à 100 kHz) comme « peut-être cancérigènes pour l'homme » (groupe 2B).

Ce classement a été établi à suite à quelques études épidémiologiques, sur la base d'un risque accru de gliome (un type de cancer malin du cerveau) associé à l'utilisation de téléphone sans fil. [En 2011, le CIRC].

- **Troubles visuels**

Des personnes soumises à un champ magnétique variable (autour d'une fréquence de 20 Hz et au-dessus d'un seuil d'intensité de 10 mT) ressentent parfois des troubles visuels, caractérisés par la perception de taches lumineuses appelées magnétosphènes.

- **Effets sur la grossesse**

il peut être préférable dans le cadre d'une politique de prudence et dans l'attente d'une meilleure connaissance scientifique de conseiller d'écarter une salariée enceinte des postes de travail exposés aux champs électromagnétiques par le médecin du travail, suite à des risques d'avortement spontané, de malformations ou de faible poids de naissance.

- **Effet auditif dû aux impulsions hautes fréquences**

Certaines personnes peuvent percevoir un effet auditif, spécifiques aux ondes pulsées hautes fréquences (de 0,3 à 6,5 GHz). Cette sensation est souvent décrite comme un « clic ». Les **radars** sont les principales sources susceptibles de générer cet effet.

- Effets directs des champs électriques statiques, ou magnétiques

Les champs magnétiques statiques peuvent être à l'origine :

- d'une modification de l'électrocardiogramme (ECG)
- d'effets sensoriels (nausées, vertiges, goût métallique, perception de taches lumineuses) en cas d'exposition à un champ magnétique statique de très grande intensité (supérieur à 2 T).

- Sources d'exposition aux champs électromagnétiques

Les environnements de travail peuvent être classés en 3 catégories. La catégorie à laquelle appartient un environnement de travail devient le point de départ de la procédure d'évaluation des risques que doit mener l'employeur.

catégorie I,	catégorie II	catégorie III
aucune mesure ne s'impose, bien que la réduction des expositions soit une obligation permanente pour l'employeur.	est subdivisée en IIa et IIb. Seules quelques instructions sont nécessaires pour les environnements de catégorie IIa (respecter les distances de sécurité, par exemple). Pour la catégorie IIb, des mesures techniques s'imposent (blindage de la source de rayonnement ou du local, affichage des consignes de sécurité...).	inclut tous les environnements de travail nécessitant des mesures importantes (réorganisation du lieu de travail, par exemple).

Tableau 3.20 Catégories de l'environnement du travail

Exemple : Soudage (catégories I, II et III)

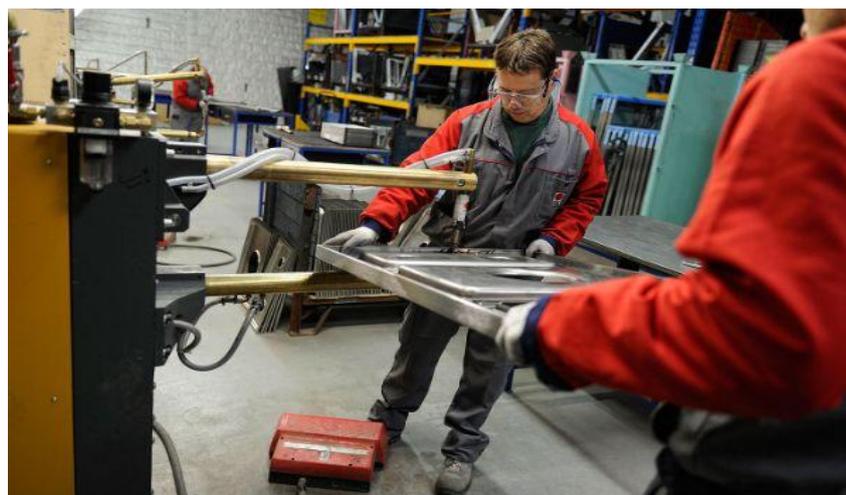


Figure 3.82 Soudage par point sur une ligne d'assemblage d'équipements électroménagers doc INRS

- Identifier les sources, quantifier les champs

Identifier les sources de champs électromagnétiques c'est d'évaluer les intensités de champ présentes aux postes de travail.

En fonction d'informations facilement accessibles, que les valeurs limites d'exposition (VLE) sont respectées

L'évaluation de l'exposition est effectuée sur la base de mesures ou de calculs.

- Appareils de mesure

Le choix des appareils de mesure doit tenir compte des paramètres à mesurer et de la fréquence des champs électromagnétiques. Généralement, 3 appareils de mesure portatifs sont utilisés pour couvrir le spectre dans son intégralité (de 0 Hz à 60 GHz) :

- le teslamètre à sonde à effet Hall permet de quantifier l'induction magnétique statique,
- le champmètre basses fréquences permet des mesures d'induction magnétique et de champ électrique jusqu'à 30 kHz (dans la pratique, il est utilisé pour les champs jusqu'à 10 kHz, et particulièrement pour les mesures à la fréquence de 50 Hz),
- le champmètre hautes fréquences, à sondes interchangeable permet (en fonction de la sonde utilisée) de mesurer des champs électriques ou magnétiques de 100 kHz à 60 GHz. Il existe sur le marché des appareils de mesure incorporant les moyens d'acquisition du signal et de calcul qui permettent une évaluation rapide de l'exposition. Leur utilisation est recommandée.

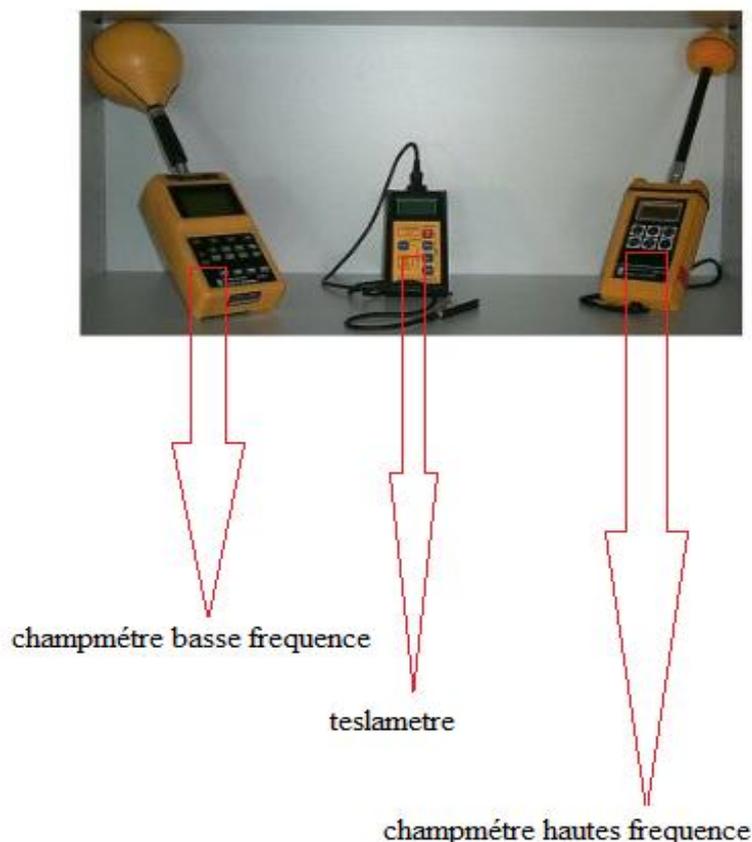


Figure 3.83 Appareils de mesure des champs électromagnétiques doc INRS



Figure 3.84 Mesure de champs électromagnétiques sur un poste de soudage haute doc INRS

- Réduire les risques liés aux champs électromagnétiques
- Réduction à la source

Pour réduire les intensités des champs électromagnétiques à la source, il est possible de :

- modifier les équipements en accord avec leurs concepteurs (blindage intégré) ;
- diminuer la puissance de l'émission ou interrompre temporairement l'émission ;
- isoler une zone de travail (blindage d'un local).

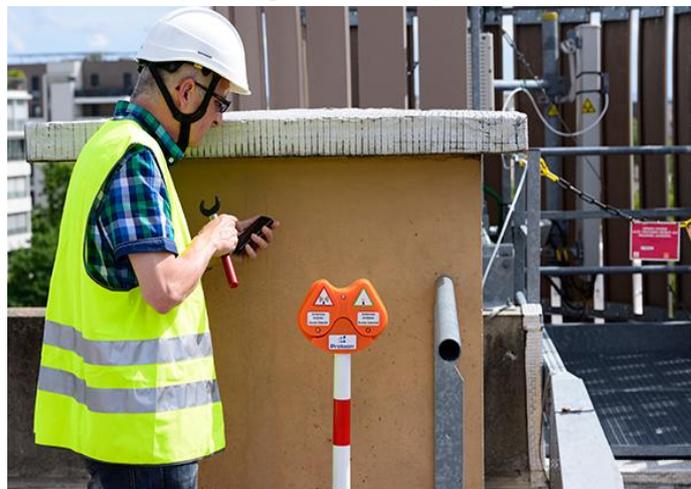


Figure 3.85 Système permettant d'arrêter les émissions d'antennes téléphoniques pour pouvoir intervenir en sécurité dans une zone exposée aux rayonnements électromagnétiques doc INRS

- Réduction de l'exposition par éloignement

L'éloignement de quelques dizaines de centimètres à quelques mètres (selon la fréquence) de l'opérateur par rapport à la source, lorsque cela est possible, est une protection simple et efficace.

- Environnement de travail

il est préférable d'équiper les ateliers en matériaux non-conducteurs .Afin d'éviter la circulation de courants induits dans les objets conducteurs (métalliques).

- Zonage des espaces de travail

Actuellement, il n'existe pas de codification formelle des zones (couleurs, panneaux de balisage spécifiques). Toutefois, les recommandations sont les suivantes :

- zone 0 : rien,
- zone 1 : signalétique,
- zone 2 : signalétique, accès condamnable et panneau d'interdiction d'accès.



Accès interdit aux porteurs de stimulateurs cardiaques



Accès interdit aux porteurs d'un implant métallique



Rayonnement non ionisant



Champ magnétique important



Figure 3.86 Signalisation globale champs électromagnétiques avec interdiction de l'accès aux porteurs d'implants actifs doc INRS

➤ *Installation interieur BT, MT et HT*

La production d'électricité est réalisée dans des centrales (nucléaires, hydroélectriques, thermiques...) et doit être acheminée jusqu'aux industries, agglomérations, établissements, et logements. Un réseau de lignes, de transformateurs, de postes électriques permet cet acheminement. Les lignes à très haute tension sont les premiers maillons de ce réseau, elles permettent de transporter l'électricité des principaux centres de production jusqu'aux zones de consommation.

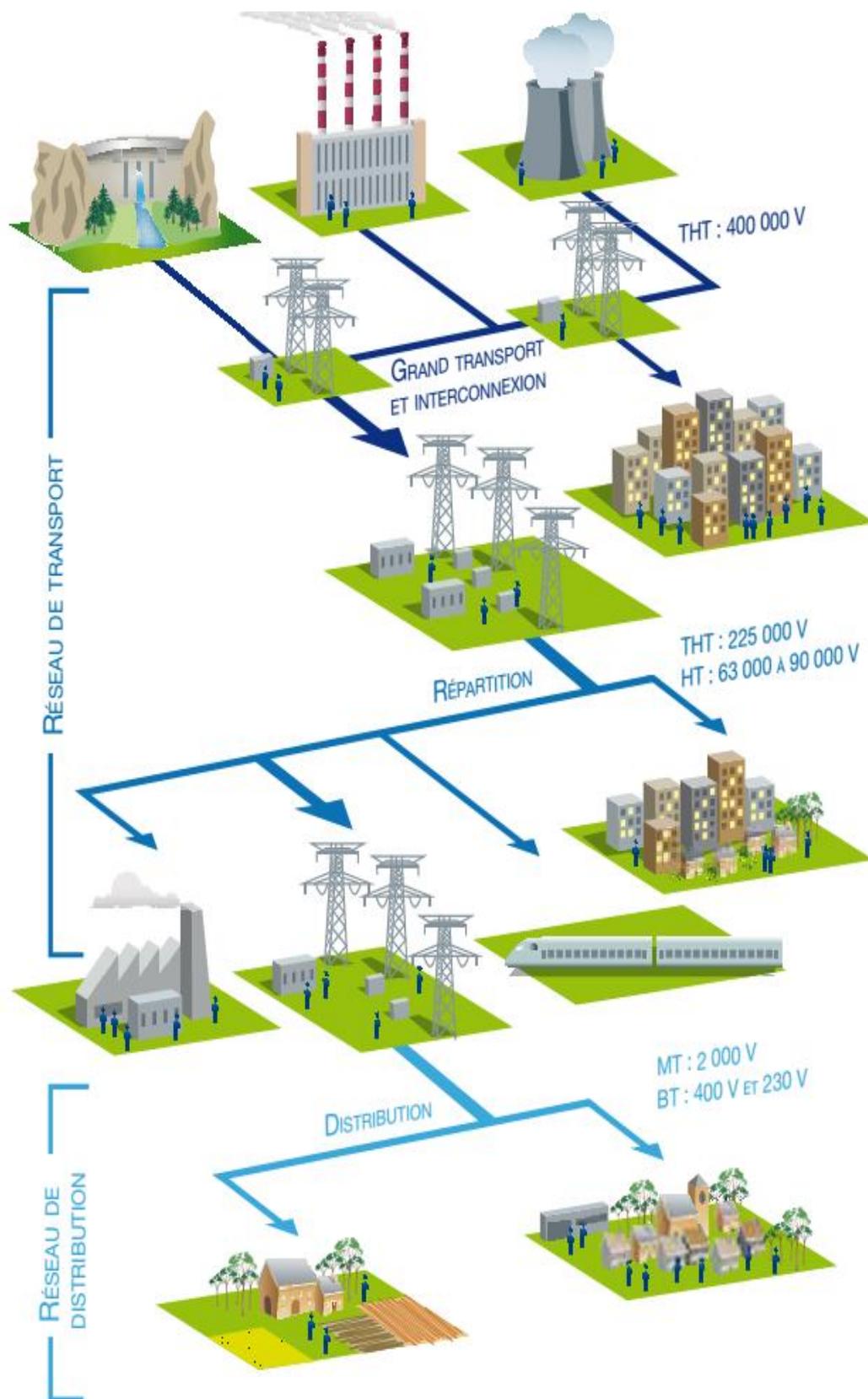


Figure 3.86 Installation intérieur BT, MT et HT

3.15 Appareils mobiles en basse tension

3.15.1 Généralités

Les appareils mobiles [26] sont ceux qui peuvent être déplacés pendant leur fonctionnement, tout en restant reliés à leur circuit d'alimentation. Les appareils portatifs sont ceux qui sont prévus pour être tenus à la main en usage normal.

Ces appareils mobiles sont, en majorité, des outils portatifs (poste à souder, armoire de chantier, perceuses, scies, fers à souder, cisailles, etc.), des lampes baladeuses et des appareils de mesure.

- Les conditions de sécurité d'ordre général sont de deux natures.
 - Le choix de la classe des appareils et de leurs dispositifs de protection ou d'alimentation associés ;
 - Le bon état apparent des matériels, y compris leurs canalisations.
- Les dispositifs de protection ou d'alimentation sont résumées tableau 3.21.

Appareils de Classe	dispositifs de protection	Fonction
appareils de Classe I	<ul style="list-style-type: none"> • un disjoncteur différentiel à haute sensibilité • un transformateur de séparation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ assure également la protection en cas de court-circuit ou de surcharge), ▪ (conforme à NF C 52-742 - NF EN 60742) ou un groupe moteur-générateur de caractéristiques équivalentes ;
appareils de Classe II	<ul style="list-style-type: none"> • un disjoncteur différentiel à haute sensibilité 	<ul style="list-style-type: none"> • protection contre les risques de contact direct en cas d'avarie du matériel ou du câble ;
appareils de Classe III	<ul style="list-style-type: none"> • un transformateur de sécurité 	<ul style="list-style-type: none"> • (conforme à NF C 52-742) avec une très basse tension limitée à 50 V (cas général) ou à 25 V (emplacements mouillés ou exigus) pour la TBTS, à 25 et 12 V pour la TBTP (dont un point, généralement le point milieu, est mis à la terre pour des raisons fonctionnelles).

Tableau 3.21. Dispositifs de protection [2]

3.15.2 Outils portatifs

Les outils électriques portatifs doivent être conformes aux normes NF C 20-010, NF C 20-030, NF C 75-100, NF C 75-102 et 103.

3.15.3 Lampes baladeuses

Il s'agit ici d'un type particulier d'appareil d'éclairage mobile, portatif, largement utilisé, et particulièrement exposé aux chutes, chocs, et autres risques.

Les appareils d'éclairage amovibles dits " Lampes baladeuse"son des accessoires de travail souvent indispensables, lors des opérations, pour assurer l'éclairage satisfaisant de la zone de travail ou d'intervention.

Une baladeuse est un appareil d'éclairage alimenté sous une tension au plus égale à 250 volts et prévu pour être équipé, selon le modèle, soit d'une lampe à incandescence **Figureure.3.87**. Soit d'un tube à fluorescence.



Figure 3.87. baladeuse 250V, 60W E27 Référence 257520

Une lampe baladeuse doit présenter un degré de protection au moins égal à IP 45 c'est-à-dire posséder une verrine étanche résistant aux chocs thermiques. Cette dernière sera entourée d'un panier de protection monté sur un support isolant et comportant un dispositif de fixation (pince et/ou crochet). Elles doivent être du type *non démontable* (au sens de NF C 71-008 - EN 60598-2-8).

Les baladeuses sont toutes de classe II ou III en basse tension ; les cordons d'alimentation, de caractéristiques au moins égales à celle du câble H 05 RN-F, sont fixés à demeure et ne peuvent être démontés sans mettre la baladeuse hors d'usage.

3.15.3 Appareils de mesure

Ces appareils présentent, lorsqu'ils sont conçus et réalisés de façon à intégrer la sécurité de l'utilisateur, toutes garanties de sécurité pour leur emploi ; il faut cependant veiller à ce qu'ils soient correctement installés (plan dur et stable, accès facile au cadran de lecture).

- Les appareils de mesure portatifs doivent être parfaitement isolés. Ils ne doivent pas faire courir de risques à l'utilisateur, même en cas d'erreur de branchement ou de mauvais choix de gamme de mesure. Ils peuvent comporter :

- Des fusibles à haut pouvoir de coupure ;
- Les bornes Elles doivent être conformes aux normes NF C 42-100 – EN 60051-1, 42 - 010 et 42-020 – EN 61010-1.
- Les cordons de mesure Ils seront correctement disposés et de couleurs différenciées pour éviter les erreurs et ne pas provoquer de courts-circuits ;
- Les pinces crocodile doivent être d'un modèle isolé.



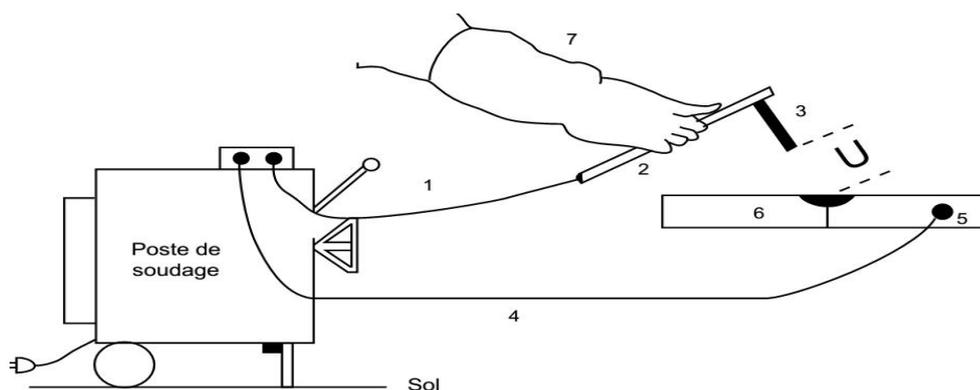
Figure 3.88 Mesure de tension aux bornes d'une batterie de véhicule électrique

3.15.4 Mesures particulières

Ce sont les postes de soudure, les enceintes conductrices exigües, les chantiers souterrains et les lignes de tir électrique.

3.15.5 Postes de soudure

Le poste à souder est un appareil électrique semi-fixe, c'est-à-dire qui ne doit pas être déplacé sous tension. Il est alimenté en basse tension alternative (230 ou 400 volts) qui fournit une tension de plus faible voltage (50 à 180 volts) soit continue, soit alternative, mais avec une forte intensité (35 à 250 ampères). Le poste de soudage comporte un conducteur isolé de soudage Figure.3.88.relié au porte électrode isolé maintenant l'électrode enrobée consommable. Le circuit de retour se fait par les pièces à assembler relier au conducteur de retour



- Légende :**
- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1 - Conducteur (isolé) de soudage | 4 - Conducteur isolé de retour |
| 2 - Porte-électrode isolé | 5 - Dispositif de raccordement |
| 3 - Électrode enrobée consommable | 6 - Pièces à assembler |
| | 7 - Gant à manchette en cuir |

Figure.3.88 Postes de soudure

3.15.6 Vérifications et control

La vérification est une opération destinée à contrôler la conformité d'un ouvrage électrique aux dispositions réglementaires et normatives en vigueur. Elle doit avoir lieu :

- Au moment de la mise en service
- périodiquement,
- sur mise en demeure par l'inspection du travail.
- La tenue d'un registre de vérification des installations électriques
- Les vérifications doivent être réalisées par une personne qualifiée, et selon les règles de sécurité (normes UTE C 18-510, 18-530 et 18-540).
- Un rapport de vérifications et d'essais doit être établi : il comporte les observations relatives aux vérifications et essais.

D'une façon générale, les principaux textes sont :

- le décret du 14 novembre 1988 et les arrêtés d'application (protection des travailleurs) qui imposent une périodicité de 1 à 3 ans (mais certains locaux à risques particuliers, tels que locaux à risques d'incendie ou d'explosion, emplacements à découvert, postes HT, étant assujettis à une périodicité annuelle, la majeure partie des établissements, y compris les chantiers, est vérifiable à cette fréquence) ;
- le décret du 31 octobre 1973 (établissements recevant du public) qui impose une périodicité de 1 à 3 ans pour les établissements de la 4^e à la 1^{re} catégories, suivant leur nature et leur importance

Chapitre 4 Mesure de sécurité contre les effets indirects du Courant électrique

L'incendie [23] dans l'entreprise est un sujet très préoccupant et d'actualité permanente Il est souvent question de sinistres graves faisant parfois des victimes et causant d'importants dégâts matériels Toutes les parties prenantes doivent être conscientes de la gravité du problème.

4.1 Principe d'un incendie

L'incendie est une combustion qui se développe sans contrôle dans le temps et dans l'espace. Il s'agit d'une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant. Elle nécessite une source d'énergie pour être initiée (flamme, chaleur, étincelle...). Ce phénomène peut être schématisé par le « triangle du feu » Figure.4.1

Pour qu'il se déclare, il faut que soient présents, simultanément sur le lieu de travail, les trois éléments :

- **un combustible**, c'est-à-dire une matière capable de se consumer (matériau de construction, bois, essence...);
- **un comburant** qui, en se combinant avec le combustible, permet la combustion (Oxygène de l'air, chlore, eau oxygénée, acide nitrique, oxyliithe, acide sulfurique, nitrate de potasse, chlorates, perchlorates);
- **une source d'inflammation** qui va déclencher la réaction de combustion (électricité, flamme nue, cigarette...).

Le processus de combustion est une réaction chimique d'oxydation d'un combustible par un comburant en présence d'une source de chaleur.

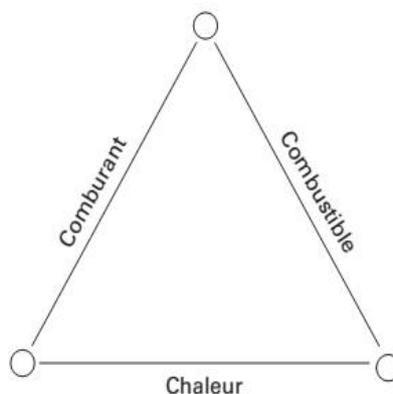


Figure 4.1 Triangle du feu

4.2 Statistiques et causes des incendies

Selon les statistiques établies pour l'année 2002, les sources de chaleurs dans les incendies ont pu être identifiées et sont rassemblées dans le tableau 4.1, permet de relever quelques causes significatives. Le Tableau 1.3. Accidents du travail d'origine électrique (doc. CNAM). Donne l'origine des incendies dans le cas particulier d'EDF.

Source principale de chaleur	Lieux publics extérieurs	Locaux agricoles	Locaux commerciaux et industrielle	Locaux communs à tous type	Locaux d'enseignements et sportifs	Locaux d'habitation	Locaux divers	Locaux hospitaliers et de soins	Locaux moyens de transports	Locaux dans les ERP	Locaux Techniques	%	total
Appareils de chauffage	2		25	96	3	59	1	1	3	4	1	12.5	195
Appareils de production ou de transform courant	8		6	23		2			2		10	3.3	51
Appareils d'éclairage	20		20	63	2	70		1	1	9		11.9	186
Appareils électroménagers	2		21	352	2	157	1	1	2	9	3	35.3	550
Autres appareils électriques	6		18	32	1	29	1	4		7	3	6.5	101
Conducteurs appareils de coupures et de contrôle	34		29	153	1	29		1	6	10	13	17.7	276
Energie électrique sans autre indication	34		13	24		16			3	3	1	6	94
Foudre	2			7		2			1			0.8	12
Moteurs électriques	10	1	8	59		5			7	1	2	6	93
Total	118	1	140	809	9	369	3	8	25	43	33	100	1558

Tableau 4.1 Sources de chaleur causes des incendies [23] d'origine électrique (BSP – 2002)

4.3 Caractéristiques des incendies électriques [27]

Il y a lieu de distinguer : les incendies provoqués par les matériels ou les installations électriques ; on trouve dans une installation électrique des éléments favorables à la propagation des incendies, c'est-à-dire des matériaux isolants combustibles solides ou liquides.

A l'origine des incendie, dans les installations, on trouve :

- ✚ la combustion des isolants due à l'effet joule, dans les parties conductrices ;
- ✚ l'amorçage d'un arc entre pièce conductrice, en particulier le claquage des isolants ;
- ✚ une explosion résultant du fonctionnement anormal d'un appareil électrique dans une atmosphère devenue inflammable et explosive, par exemple par la décomposition de certains corps composant les constituants de cet appareil ou provenant de l'environnement immédiat.

4.3.1 Causes directes internes

Ils se manifestent alors par une variation brusque du régime d'un appareil ou d'une ligne (enclenchement ou déclenchement d'un disjoncteur) ;

➤ Échauffement

Exemple : L'échauffement des câblés du à une surcharge

Cet échauffement peut provoquer la combustion des isolants, par effet Joule, ou entraîner à son tour d'autres défaillances

➤ Amorçages et arcs

Exemple : une ouverture de contacts de dispositifs de coupure en charge à pouvoir de coupure insuffisant (ou de sectionneurs manœuvrés en charge).

➤ Court-circuit

Exemple : Le court-circuit est le résultat d'un mauvais contact entre les deux bornes d'un circuit par l'intermédiaire d'un fil conducteur. Ce phénomène va généralement provoquer la brûlure des fusibles dans une habitation.

➤ Explosions [27]

il s'agit ici de l'explosion possible de certains matériels électriques et non de l'explosion due à l'environnement. Ces matériels sont généralement enfermés dans des enveloppes contenant des diélectriques liquides susceptibles de se vaporiser sous l'effet d'un court-circuit et d'engendrer des pressions suffisantes pour faire céder les parois. Lorsque les diélectriques sont inflammables ou susceptibles de former, en vapeur avec de l'air, des mélanges combustibles ou explosifs, le processus peut être déclenché.

Exemple : C'est le cas de transformateurs dont l'isolant est l'huile minérale, qui sert de liquide de refroidissement, de condensateurs, de démarreurs de moteurs, etc.

La protection est assurée par des dispositifs capteurs de pression ou de bulles résultant de la décomposition des diélectriques (relais Buchholz) ou de protections internes d'auto-extinction associés ou non à la coupure.

➤ Autres causes diverses

Parmi les causes internes à une installation :

- Les surtensions d'origine interne (enclenchement ou déclenchement d'un disjoncteur), qui peuvent affecter les transformateurs et les matériels à composants électroniques ; la protection contre ces manifestations relève d'une technique particulière

- démarrages fréquents de moteurs avec des pointes de courant lors des variations fréquentes de régime

- la présence de courants harmoniques ;
- les oscillations à haute fréquence ;
- les influences électromagnétiques.

Parmi les causes externes à une installation déterminée :

- Le milieu (corrosion, température ambiante, pollution, eau...) ;
- les effets mécaniques (chocs, tractions, vibrations, percements) ;
- L'ignorance (fautes de comportement, fausses manœuvres, défauts d'entretien, travaux, etc.).
- les surtensions liés à la foudre, qui atteignent un matériel par l'intermédiaire de conducteurs porteurs de surtension, ou encore par effet d'induction. dont la protection peut être assurée par parafoudre.

Leurs origines et conséquences sont exposés dans le Tableau 4.2

Phénomène (1)	Origine(2)	Conséquences
Echauffement normaux Remarque : Un grand nombre de matériel électrique dissipent de l'énergie électriques.	<ul style="list-style-type: none"> • Intensité de courant excessive dans un conducteur électrique. • Contact defectux. • Courant de fuite (perte d'isolement). • Défaillance d'un composant, d'un organe interne ou d'un système associé (ventilation, etc.). • Mauvaises conditions d'installations d'emploi ou d'entretien (surcharge de trop longue durée ; emploi même momentané, dans des conditions non prévues par le constructeurs ou l'installateur ; échanges thermiques insuffisants du fait d'une absence de nettoyage, etc. • Déformation mécaniques entraînant une modification des contacts ou du système d'isolation. 	<ol style="list-style-type: none"> a) Au début, les protections(3) ne sont pas sollicitées (sauf cas des protections spéciales).Elle peuvent l'être après une durée variable. b) L'élévation de la température est progressive et peut être très lente.il peut résulter une accumulation importante de chaleur s'entendant au milieu environnant et susceptible de favoriser une propagation rapide du feu des l'inflammation. c) L'accumulation et la diffusion des gaz en mélange avec l'air peuvent donner lieu à une explosion notamment dans le cas de matériels hermétiques, ou à une inflammation, même à distance. Odeurs.fumées, lumière peuvent aider à la détection.
Court-circuit franc	<ul style="list-style-type: none"> • Contact direct et instantané de parties conductrices sous tension (desserrage de bornes, conducteurs accidentellement libère, pénétration de corps étrangers conducteurs, etc.). • Dégradation progressive de certains composants amenant leurs impédances à valeurs très faibles (en particulier pertes d'isolement). • Après défaillances soudaine d'un composant, d'un organe interne. 	<ol style="list-style-type: none"> a) Les protections (3) sont normalement sollicitées. b) L'élévation de température est importante après un temps très court et très localisé. c) Eventualité d'émission de lumière, de fumées, de gaz puis de flammes ou possibilité d'explosion.. d) Projection de matere incandescentes.
Etincelles et arc accidentals Remarque : un certain nombre de matériels électriques	<ul style="list-style-type: none"> • Cause externe à l'équipement (surtension du réseau, action mécanique accidentelle mettant à nus des parties sous tension ou les rapprochant, etc). • Cause interne (dégradation progressive de certains composants, pénétration 	<ol style="list-style-type: none"> a) Les protections(3) ne sont pas toujours sollicitées. b) Emission de lumière et de flammes. Risque élève d'explosion en atmosphère explosives. c) L'inflammation peut se produire

fonctionnent normalement en produisant des arcs et des étincelles.	d'humidité, ect). • Après défaillance soudaine d'un composant, d'un organe interne.	localement à partir des composantes opus des gaz environnants.
<p>(1) Les déformations de nature mécanique et les changements de structure provoqués par l'un quelconque des trois phénomènes peuvent entraîner l'apparition des deux autres.</p> <p>(2) Il s'agit des cas les plus fréquents rencontrés l'ordre indiqué ne prédétermine ni leur importance ni leur fréquence.</p> <p>(3) Les protections considérées sont de nature électrique, électronique et font partie des équipements électrotechnique.</p>		

Tableau 4.2 Caractéristiques des incendies électriques

4.4 Prévenir les risques d'incendie

La prévention des risques d'incendie doit intervenir le plus en amont possible, notamment au moment de la conception et de l'implantation des locaux ou de la mise en place d'un procédé de production. L'employeur doit tenir compte en premier lieu de la réglementation du code du travail et éventuellement d'autres réglementaires en fonction du type d'établissement. La lutte contre le risque incendie consiste principalement à :

- supprimer les causes de déclenchement d'un incendie,
- mettre en place des mesures techniques et organisationnelles visant à supprimer tout départ de feu et limiter la propagation et les effets d'un incendie,
- limiter l'importance des conséquences humaines et matérielles,
- d'assurer en premier lieu la sécurité des personnes, puis des biens ;
- former et informer le personnel.

4.5 Démarche de prévention du risque

Elle consiste à :

- supprimer les causes de déclenchement d'un incendie (actions notamment sur les sources d'inflammation et les produits combustibles) en mettant en place des mesures à la fois techniques et organisationnelles,
- limiter l'importance des conséquences humaines et matérielles : une détection efficace permet d'intervenir à temps pour évacuer les personnes et intervenir avec les moyens internes (extincteur, robinet d'incendie armé – RIA) sur le début d'incendie.

4.5.1 Réglementation et normes

Des normes-cadres fixent les règles générales, les essais-types auxquels il est fait référence, selon les choix faits en fonction de chaque cas particulier.

Exemple : Une installation électrique saine (Norme NFC 15-100), réduit considérablement le risque d'incendie.

4.5.2 Classement des matériaux et éléments de construction

En ce qui concerne la construction des bâtiments (cf. code de la construction), on distingue deux types d'essais visant à détecter :

- les premiers, la réaction au feu ;
- les seconds, la résistance au feu.

➤ Réaction au feu

Les critères retenus étant la quantité de chaleur dégagée pendant la combustion ainsi que la présence ou l'absence de gaz inflammables. Les essais sont différents suivant que les matériaux concernés sont souples ou rigides.

La sanction de ces essais est codifiée par un classement, allant de M0 à M5, Tableau 4.3 qui exprime le caractère d'incombustibilité, leur degré plus ou moins grand d'inflammabilité (ne pas confondre avec la vitesse de propagation de la flamme).

Sanction	degrés
M0	un matériau incombustible
M1	un matériau non inflammable
M2	un matériau difficilement inflammable ;
M3	un matériau moyennement inflammable
M4	un matériau facilement inflammable.

Tableau 4.3 Classement des essais

➤ Résistance au feu

Les critères retenus sont dressés dans le tableau 4.4:

Critères	Fonction
résistance mécanique	la tenue propre de l'élément pour qu'il continue à remplir son office,
l'isolation thermique	entre deux parois opposées de l'élément
l'étanchéité aux flammes	sur l'efficacité de l'isolation thermique ;
l'absence d'émission de gaz inflammables	réaction au feu.
Résistance au feu	

Tableau 4.4 Critères retenus

Nota : Le classement des éléments se fait d'après les durées (15 min, 30 min, 1 h, 1 h 30 min, 2, 3, 4 et 6 h)

4.5. 3 Caractéristiques des matériels électriques du point de vue du risque d'incendie

➤ Essais des matériels

Une installation électrique saine (Norme NFC 15-100), font l'objet d'essais spécifiques visant à vérifier et à assurer un certain comportement vis-à-vis du risque d'incendie, dans les cas suivantes :

- cas d'incident interne (déclenchement du feu),
- cas d'incident externe (durée de service, propagation du feu)

Chacun de ces essais reproduit une situation conventionnelle représentative d'un incident donné.

4.5. 4 Principaux matériel électriques

Sont exposés dans le Tableau 4.5.

Matériel Electrique	Principe du matériel
Canalisations électriques	<ul style="list-style-type: none"> Les câbles sont soumis, comme les matériaux de construction, à des séries d'essais relatifs, d'une part, à leur réaction au feu, et d'autre part, à leur résistance au feu (NF C 32-070) et suivant leur disposition (NF C 32-072).
Transformateurs	<ul style="list-style-type: none"> Leur risque d'incendie résulte généralement de l'arc provoqué par un claquage d'isolant. Transformateurs immergés à diélectrique liquide qui est soit de l'huile minérale, soit un diélectrique chloré (qui tendent à disparaître), soit un liquide siliconé (mais, avec une conductivité thermique faible et une inflammabilité non nulle). Transformateurs secs qui fonctionnent sans diélectrique liquide dans l'air ambiant, et qui sont à la fois robustes, légers, ne nécessitant pas d'entretien et offrent les meilleures garanties sur le plan de la sécurité.
Matériels pour atmosphères explosibles	<ul style="list-style-type: none"> Une atmosphère constituée d'un mélange d'air et de substance combustible peut être enflammée, dans certaines conditions de température et de concentration, par une étincelle ou un arc électrique, par un objet ou une partie d'objet portée à une température élevée par une étincelle d'origine mécanique ou encore par la libération brutale des charges d'électricité statique accumulées sur des matériaux isolants ou isoler Les matériels électriques destinés à être utilisés en présence de telle atmosphère doivent donc être spécialement conçus ou éviter de créer ces différentes sources d'inflammation. Les solutions retenues pour rendre sûrs les matériels dépendent de l'état de la substance inflammable ainsi que de sa nature.
Relais et appareillage délicat	<ul style="list-style-type: none"> doit être éloigné des appareils isolés au PVC pour éviter les inconvénients pouvant résulter du dégagement de vapeurs d'acide chlorhydrique.
Disjoncteurs	<ul style="list-style-type: none"> Les disjoncteurs dans l'air ne présentent de risque que par les manifestations de l'arc engendré à la coupure. Les diélectriques liquides sont généralement remplacés par des diélectriques gazeux (hexafluorure de soufre SF₆) ; le risque pour ces derniers disjoncteurs est généralement minime.
Générateurs et moteurs	<ul style="list-style-type: none"> le refroidissement de leurs enroulements est assuré par une circulation d'air en circuit ouvert ou en circuit fermé. Suivant leur puissance. Sur les alternateurs de grande puissance, la circulation d'air est remplacée par une circulation d'hydrogène ou d'eau. en cas d'incendie, de transformer, par un jeu de vannes, la circulation d'air en circuit ouvert en circulation d'air en circuit fermé, et l'extinction s'obtient automatiquement par injection de dioxyde de carbone (CO₂).
Condensateurs au PCB	<ul style="list-style-type: none"> Sont généralement constitués de feuilles d'aluminium. En cas d'arcs, le dégagement d'acide chlorhydrique résultant de la décomposition du diélectrique risque de provoquer la formation de chlorure d'aluminium dont l'action catalysante peut être à l'origine d'un incendie.

Tableau 4.5 Principaux matériel électrique

4.6 Détection du feu et lutte contre l'incendie

4.6.1 Classes de feu

Suivant les types de feu, les moyens de lutte à mettre en œuvre sont différents. A cet effet, les feux sont classés suivant l'aliment de l'incendie, c'est-à-dire la nature du combustible, et les agents d'extinction doivent y correspondre. On distingue quatre classes de feux (NF EN 2) (Figure.4.2) :

- classe A : feux de matériaux solides, généralement de nature organique, dont la combustion se fait normalement avec formation de braises (bois, papiers, tissus...);
- classe B : feux de liquides ou solides liquéfiables (hydrocarbures, graisses, matières plastiques...);
- classe C : feux de gaz;
- classe D : feux de métaux; l'inflammabilité est variable selon le métal considéré et son état physique (poussières, copeaux, blocs...).

Il n'existe pas de classe particulière aux feux électriques, l'électricité étant seulement à l'origine du foyer, les composants tels que les isolants étant les combustibles; on parle alors de feux d'origine électrique.

Notons qu'il existe des foyers-types, définis pour chaque classe de feu, pour procéder aux essais d'homologation des extincteurs (classe D exceptée).

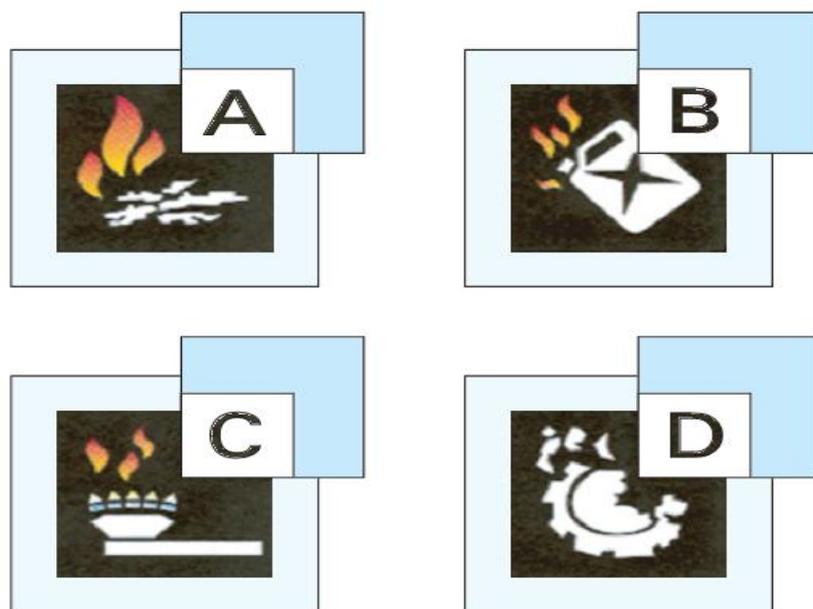


Figure 4.2 Pictogrammes des classes de feu

4.6.2 Prévention incendie

Un incendie peut être évité si l'on s'arrange pour que le triangle du feu ne soit pas fermé. On peut le faire en éliminant un des trois facteurs (oxygène, combustible et source d'inflammation)

- Matière combustible : Dans un environnement avec de l'oxygène où une source de chaleur peut se transformer en source d'inflammation, il faut éviter la présence de matières combustibles.

- Oxygène : Il n'est généralement pas possible d'éliminer l'oxygène, mais on peut dans certains cas, diminuer la teneur ou le volume en oxygène. L'oxygène ne brûle pas lui-même mais entretient le processus de combustion et peut augmenter considérablement le danger d'incendie (par ex. éviction d'oxygène par l'azote dans les silos).

- Source d'inflammation : L'incendie peut être prévenu en évitant les sources d'inflammation où du matériel combustible et de l'oxygène sont présents.

4.6.3 Détection

Un feu se caractérise par dégagement de gaz de combustion et de fumée, production de flammes et élévation de la température. C'est à partir de l'un de ces phénomènes que fonctionne un détecteur d'incendie est de déclencher une alerte perceptible et compréhensible dès le début de la combustion. Cette alarme doit être déclenchée à bon escient.

➤ Rôle du système de détection

Un système de détection a pour rôle de déceler, signaler et localiser l'incendie. Il peut, en plus, provoquer la mise en œuvre de dispositifs associés tels que fermeture de clapets, de trappes de ventilation et de portes coupe-feu, arrêt de ventilation ou de climatisation, ouverture de clapets et de trappes de désenfumage, mise en service de ventilateurs de désenfumage, mise en service d'installations fixes d'extinction, etc.

➤ Systèmes de détection

Ils se répartissent dans le Tableau 4.6

Systèmes de détection	fonction
classiques à boucles	<ul style="list-style-type: none"> • permettant d'identifier la boucle, dont l'un des détecteurs, au moins, a été sollicité ;
à localisation d'adresse de zone	<ul style="list-style-type: none"> • permettent d'identifier, individuellement ou par groupes, les détecteurs sollicités ; ils conviennent aux installations importantes ou d'accès difficile ;
Multi ponctuels par aspiration	<ul style="list-style-type: none"> • acheminent le prélèvement vers une chambre de détection qui signale en permanence toute trace de fumée. par aspiration d'air du volume à <i>surveiller</i>

Tableau 4.6 Systèmes de détection

➤ Installation de détection

Une installation de détection incendie a pour objectif de déceler et signaler, le plus tôt possible, d'une manière fiable, la naissance d'un incendie, afin de réduire le délai de mise en œuvre de mesures adéquates de lutte contre l'incendie.

Toute installation de détection d'incendie comporte. Un Système de Sécurité Incendie (SSI) qui est un Ensemble des matériels servant à collecter toutes les informations.

Le SSI a pour objectif de mettre les personnes en sécurité, faciliter l'intervention des pompiers, limiter la propagation du feu. Il doit donc détecter l'incendie et mettre automatiquement en sécurité un bâtiment

Les différents types de détecteurs, choisis selon les risques existants, et la configuration des locaux, sont : dans le Tableau 4.7

types de détecteurs	Selon les risques existants
fumées	<ul style="list-style-type: none"> ○ par ionisation ; ○ par analyse optique.
flamme	<ul style="list-style-type: none"> ○ par optique infrarouge ; ○ par optique ultraviolet.

température	<ul style="list-style-type: none"> ○ thermostatique (sensibles à un seuil) ; ○ thermo-vélocimétriques et thermostatiques (sensibles au gradient de température). ○ différentiel (sensible à une différence de température).
--------------------	--

Tableau 4.7 Différents types de détecteurs

4.6.4 Moyens d'extinction

➤ Agents extincteurs

Les produits utilisés pour combattre le feu sous diverses formes sont les suivants.

⇒ Eau

L'eau est encore toujours le moyen d'extinction le plus utilisé. Il est très efficace pour l'extinction de feux avec des matières solides. L'avantage est qu'elle est presque partout présente et est relativement bon marché. Par son action refroidissante, elle retire la chaleur du foyer d'incendie de sorte que le feu s'éteint. L'eau est aussi très efficace pour éviter que le feu ne s'étende fait qu'elle refroidit le matériel qui n'est pas encore atteint par le feu.

⇒ Sable

Du sable fin et sec est très efficace contre les feux de liquides inflammables répandus sur le sol ou de certains métaux. Le sable étouffe le feu en empêchant l'arrivée d'oxygène, en outre il a une action refroidissante.

⇒ Poudres extinctrices

Les poudres sont adaptées pour presque tous les feux. Il y a des poudres sur le marché qui servent pour les feux de classe ABC, BC et D. La poudre étouffe le feu et a une action anticatalytique. Cela veut dire qu'une réaction chimique à lieu par laquelle la combustion devient impossible.

⇒ Mousse

La plupart des extincteurs sont de nos jours remplis avec de la mousse. L'extincteur contient principalement de l'eau et un moyen formant de la mousse. A cause de la mousse, l'eau lors de l'extinction reste flotter sur la matière à éteindre (par ex. sur l'essence). Par conséquent, l'arrivée d'oxygène est fermée et le feu s'éteint. La plupart des extincteurs à mousse sont adéquats pour les feux de classe A et B.

⇒ Dioxyde de carbone

Le CO₂ est un gaz incolore plus lourd que l'air. Le gaz n'est pas conducteur et c'est pourquoi il est tout à fait adapté pour des feux à proximité d'appareils ou dans des appareils sous tension. En raison de sa pureté, c'est aussi un bon moyen d'extinction pour les installations électriques. Le CO₂ est efficace pour les feux de classe B et C.

⇒ Eau en jet plein

Elle convient bien aux feux de classe A et à un refroidissement des installations environnantes. Elle n'est pas conseillée, en BT, pour les feux d'origine électrique ou au voisinage de matériels électriques.

⇒ Eau pulvérisée

Elle agit par privation d'oxygène et refroidissement et crée un écran protecteur vis-à-vis du rayonnement du foyer.

⇒ Liquides émulseurs

Ils permettent d'obtenir avec l'eau une mousse agissant par privation d'oxygène et isolation thermique et d'accroître l'efficacité de l'eau par action des Agents Formant Film Flottant (A3F) à la surface du combustible (par exemple feu de diélectrique de transformateur (NF S 60-210, 220, 225).

⇒ Halons

Dérivés halogénés des hydrocarbures, ils ne peuvent plus être utilisés qu'en installation fixe ou pour les extincteurs (NF EN 27201-1).

➤ Moyens d'action mobiles et conduite à tenir

Il s'agit essentiellement d'utiliser des extincteurs qui sont soit portatifs (jusqu'à 10 kg), soit mobiles (sur roues ou sur engins). Les extincteurs sont identifiés par la nature et la quantité d'agent extincteur contenu, la classe du feu pour lesquels ils conviennent.

Exemple un extincteur portable c'est un moyen d'extinction. Celui-ci peut, grâce à une pression interne, être pulvérisé et dirigé sur le feu. Dans le commerce, il existe des extincteurs portables remplis de mousse (eau et additifs), De poudre (ABC et BC) ou de CO₂.



Figure 4.3 Extincteur portable (1 kg)

⇒ En cas d'incendie dans une installation électrique ou à son voisinage, la conduite à tenir face à un incendie d'origine électrique :

- Donner l'alerte ;
- Mettre hors tension l'installation, et éventuellement les installations voisines ;
- Fermer les portes et les fenêtres ;
- Attaquer le feu à la base à l'aide d'un extincteur adapté (dioxyde de carbone, eau en jet pulvérisé, poudre (bicarbonate de sodium hydrofugé) ;
- Après l'extinction de l'incendie, évacuer les gaz toxiques en aérant.

⇒ En cas d'inflammation de ses vêtements, la victime se roulera par terre, les témoins la recouvriront de couvertures, de vêtements ou de linges en laine ou en coton, de préférence mouillés, pour obtenir l'extinction par étouffement.

⇒ après extinction de l'incendie ; les vapeurs des produits de la combustion étant plus lourdes que l'air, évacuer les gaz délétères en utilisant des ventilateurs spécialement disposés pour aspirer l'air au point le plus bas du local, chaque fois que celui-ci sera en contre-bas par rapport au sol extérieur.

⇒ Pour les moteurs et générateurs dont la circulation d'air de refroidissement se fait en circuit ouvert, si l'arrêt ne peut être obtenu très rapidement seule, l'eau pulvérisée injectée dans le sens de la circulation d'air pourra assurer le refroidissement et l'extinction, pour les autres fonctionnements, on peut utiliser également la poudre ou le dioxyde de carbone.

⇒ Dans le cas où le matériel électrique est sous tension ou s'il y a un doute, il y a lieu, en outre, de revêtir des gants isolants adaptés à la tension nominale de l'installation. Et de maintenir entre l'appareillage d'extinction et les pièces sous tension un écartement minimal : Tableau.4.8

Appareils utilisé	Tension KV	Distance m
Extincteur	$U \leq 1$	0.5
	$1 < U \leq 20$	1
	$20 < U \leq 57$	2
	$U > 57$	Hors tension
Lances	$U \leq 225$	3
	$U > 225$	4

Tableau 4.8 Distances minimal d'action pour l'extinction des feux sur installation sous tension

➤ Moyens d'action fixe

Dans le cas d'installations électriques importantes (centrales de production, postes de contrôle, installations informatiques, transformateurs, etc.), les types suivants sont utilisés

Moyens d'action fixes	fonction
Aspersion par eau, de type « sprinkler »	<ul style="list-style-type: none"> Ces têtes de sprinklage s'ouvrent automatiquement quand la température s'élève dans un espace au-dessus d'un niveau déterminé Par ex. lieux de stockage.
Aspersion par eau, de type déluge	<ul style="list-style-type: none"> Cette installation peut autant asperger un matériel siège d'un incendie, que le protéger du rayonnement d'un feu voisin. Dite aussi <i>rideau d'eau</i>,
Aspersion par mousse extinctrice	<ul style="list-style-type: none"> destinée aux feux de cuves à fuel des groupes diesels, des gros transformateurs.
Noyage d'ambiance par CO₂	<ul style="list-style-type: none"> Il peut être mis en œuvre aussi bien dans des locaux rendus étanches, que dans des volumes restreints, tels qu'armoires, tableaux, pupitres, etc
Noyage d'ambiance par halon 1301	<ul style="list-style-type: none"> Toutefois l'installation peut être plus facilement décentralisée (norme expérimentale S 62-101, Règles R₂ de l'APSAD). Il s'applique et s'effectue de la même façon que pour le CO₂

Tableau 4.8 Distances Moyens d'action fixe

4.7 Bruits et vibrations [29]

4.7.1 Introduction

L'employeur, responsable de la santé et la sécurité des travailleurs, doit évaluer l'ensemble des risques qu'ils encourent, et mettre en œuvre les moyens de protection adaptés. Afin d'évaluer le risque lié aux bruits et aux vibrations, il faut pouvoir déterminer les niveaux d'exposition, notamment par la mise en place de points de contrôle des niveaux sonores et des vibrations. Ces contrôles permettront de déterminer les postes de travail où le bruit et les vibrations sont excessifs, qui sont les employés exposés et quelles autres mesures de bruit et de vibrations doivent être entreprises.

4.7.2 Bruits et vibrations

On parle de bruit lorsqu'un ensemble de sons est perçu comme gênant. Il s'agit donc d'une Notion subjective ; le même son peut en effet être jugé utile, agréable ou gênant selon la personne qui l'entend, et le moment où elle l'entend. Toutefois lorsque le niveau sonore est très élevé, tous les sons sont perçus comme gênants, voire peuvent être dangereux.

Les vibrations, quant à elles, sont des phénomènes dynamiques, c'est-à-dire en mouvement. L'étude des mouvements périodiques et, plus particulièrement, du mouvement oscillatoire, permet de distinguer deux modes d'exposition aux vibrations :

- les vibrations transmises au système main-bras par des machines portatives, rotatives ou percutantes (meuleuses, tronçonneuses, marteaux-piqueurs, etc.), guidées à la main (plaques vibrantes, etc.) ou par des pièces travaillées tenues à la main ;
- les vibrations transmises à l'ensemble du corps par les machines mobiles (chariots de manutention, engins de chantier, matériels agricoles, etc.) et certaines machines industrielles fixes (tables vibrantes, etc.) ; cette exposition peut être associée à d'autres contraintes au cours de l'activité de travail, telles que des efforts musculaires, des postures contraignantes et organisationnelles inadaptées.

➤ Bruits

Le bruit se définit comme un ensemble de sons provoquant une gêne et ne peut se mesurer que sur des critères perceptifs et biologiques. Lorsque le niveau sonore est trop élevé, le bruit perçu devient gênant mais aussi dangereux. Il constitue une nuisance majeure dans le milieu professionnel. Il peut provoquer des surdités mais aussi stress et fatigue qui, à la longue, ont des conséquences sur la santé du salarié et la qualité de son travail.

➤ Les sons

Les sons sont des vibrations de l'air qui se propagent sous la forme d'ondes acoustiques. L'acousticien s'intéresse à leur amplitude mesurée en décibel et à leur fréquence, exprimée en Hertz (Hz).

- Vibrations rapides = fréquence élevée = son aigu
- Vibrations lentes = fréquence faible = son grave

Échelle des fréquences sonores		
Infrasons	Sons audibles (par l'homme)	Ultrasons
< 20 Hz	20 à 20 000 Hz Dont les fréquences de la parole : 100 à 6 000 Hz	> 20 000 Hz

Tableau 4.9 Échelle des fréquences sonores

➤ L'audition

L'oreille comprend trois parties :

L'oreille	Fonction des parties
L'oreille externe	<ul style="list-style-type: none">• dont le rôle est de capter les variations de comme le fait la membrane d'un microphone
L'oreille moyenne	<ul style="list-style-type: none">• transmet les mouvements du tympan à l'oreille interne

l'oreille interne	<ul style="list-style-type: none"> • cœur du système auditif • elle amplifie les vibrations qui lui parviennent, • elle analyse ces mêmes vibrations et les oriente en fonction de leur fréquence vers les fibres nerveuses qui lui sont connectées, • elle transforme l'énergie vibratoire en influx nerveux
--------------------------	---

Tableau 4.10 L'audition

L'influx nerveux généré par la cochlée est conduit jusqu'aux aires auditives du cerveau par un faisceau de fibres nerveuses. Le cortex cérébral interprète le message nerveux qu'il reçoit, et génère la sensation auditive, image perceptive du message sonore capté par l'oreille.

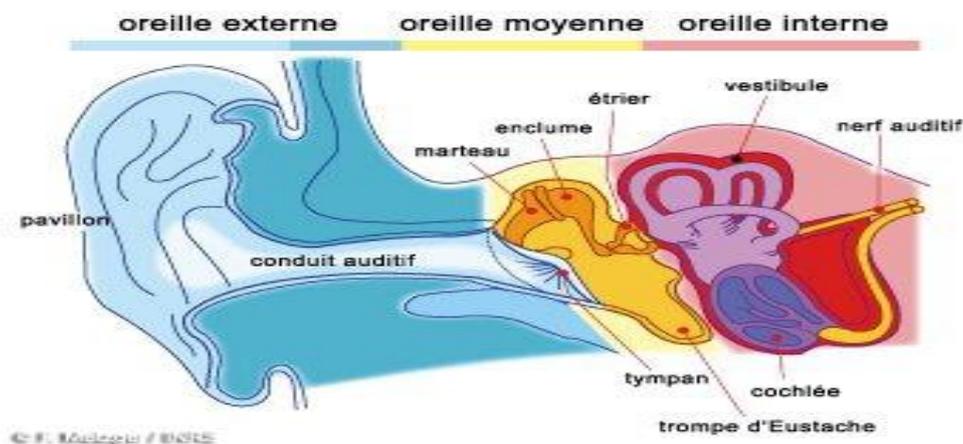


Figure 4.4 L'oreille humaine

On parle de bruit lorsqu'un ensemble de sons est perçu comme gênant. Cela en fait une notion subjective : le même son peut être utile, agréable ou gênant selon qui l'entend et à quel moment. Au-delà d'une certaine limite (niveau sonore très élevé), tous les sons sont gênants voire dangereux, même les sons agréables comme la musique.

➤ **Le niveau de bruit**

On mesure physiquement le niveau du bruit en **décibels**. Pour prendre en compte le niveau réellement perçu par l'oreille, on utilise le décibel pondéré A, dont l'abréviation est dB(A).

- 0 dB(A) = bruit le plus faible qu'une oreille (humaine) peut percevoir
- 50 dB(A) = niveau habituel de conversation
- 80 dB(A) = seuil de nocivité (pour une exposition de 8h/j)
- 120 dB(A) = bruit provoquant une sensation douloureuse

Dans les niveaux très élevés, l'oreille humaine ne ressent pas les bruits de la même manière. On prend en compte cet effet en utilisant comme unité le décibel pondéré C, noté dB(C).

Le sonomètre est l'instrument de mesure basique du bruit



Figure 4.4 Mesure de niveau sonore à l'aide d'un sonomètre doc INRS

➤ Statistique bruit au travail

Selon un sondage réalisé pour l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail, 67 % des actifs français se disent dérangés par le bruit sur leur lieu de travail. Selon l'étude Sumer 2010, en France, les expositions de longue durée (plus de 20 heures par semaine) à des niveaux élevés (plus de 85 dB(A)) concernent 4,8 % des salariés. Les secteurs les plus concernés sont l'industrie (le chiffre passe à 16,8 %) et la construction (10,5 %). Un certain nombre de ces salariés seront atteints de surdité irréversible.

➤ Émission de bruit

Une émission se caractérise par :

- le niveau de puissance (somme de "tout le bruit" produit) ;
- le niveau de pression au poste de travail ;

La réglementation prend en compte ces deux paramètres.

➤ Conséquences pour la santé

Le bruit peut causer de la gêne, une diminution temporaire ou permanente de l'ouïe et une diminution de la compréhension de la parole. Une longue exposition (par ex. machines) ou une exposition aiguë (par ex. explosions) à un trop haut niveau de bruit peut mener à la surdité. La frontière au dessus de laquelle le bruit est considéré comme nuisible se trouve à environ 80 décibels (durant une journée de travail complète). Une exposition de longue durée à ce niveau ou une exposition de courte durée à un plus haut niveau peut endommager l'ouïe. Une exposition continue à ce niveau peut aussi avoir certains effets sur le corps, comme une augmentation de la pression sanguine, une perturbation du métabolisme, des troubles de la concentration, de la mauvaise humeur, du stress ... Un dommage à l'ouïe est irréversible et peut mener à la surdité. En cas de surdité, un appareil auditif peut même ne plus aider. Un dommage à l'ouïe est toutefois un danger insidieux. On ne remarque pas toujours directement qu'il se passe quelque chose.

Comme signe d'une perte permanente de l'ouïe, on peut avoir:

- une difficulté pour entendre les sons élevés ou un bruit léger ;
- une difficulté au téléphone ;
- une difficulté pour pouvoir suivre une conversation dans un environnement bruyant.

➤ La gravité du dommage de l'ouïe

Celle-ci dépend de différents facteurs:

- La durée totale d'exposition;
- l'intensité du bruit (niveau de bruit mesuré en dB(A));

- : les sons aigus semblent plus nuisibles que les sons graves.
- la continuité: son continu ou entrecoupé de pauses;
- la durée du repos entre deux expositions: au plus la surcharge est élevée, au moins l'ouïe a la chance de pouvoir à nouveau 'se réparer'.

Niveau sonore en dB(A)	Durée d'exposition
80	8 h
83	4 h
86	2 h
89	1 h
92	30 min
95	15 min
98	7,5 min

Tableau 4.11 Exemple de durées d'exposition quotidiennes équivalentes

Par exemple, être exposé 8 heures à 80 dB(A) est aussi dangereux que d'être exposé 1 heure à 89 dB(A).

➤ Réglementation

Les règles de prévention des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs exposés au bruit sont déterminées d'une part par les articles R. 4213-5 à R. 4213-6 et d'autre part par les articles R. 4431-1 à R. 4437-4 du Code du travail. Ces derniers articles sont issus du décret n° 2006-892 du 19 juillet 2006 qui a transposé la directive européenne 2003/10/CE.

- Décret n° 2006-892 du 19 juillet 2006 relatif aux prescriptions de sécurité et de santé applicables en cas d'exposition des travailleurs aux risques dus aux bruits et modifiant le code du travail (deuxième partie : Décrets en Conseil d'État)

Elles s'articulent autour de 3 principaux axes : dans le Tableau .4.11

Agir sur l'environnement de travail	Évaluer les risques	Protéger les travailleurs exposés
<ul style="list-style-type: none"> • Réduire le bruit à la source • Insonoriser dès leur conception les locaux où seront installés des équipements de travail susceptibles d'exposer les travailleurs à un niveau sonore quotidien supérieur à 85 dB(a) • Réduire le bruit dans les locaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Évaluer les risques • Mesurer les risques 	L'exposition est évaluée à partir de deux paramètres : <ul style="list-style-type: none"> - L'exposition moyenne quotidienne (sur 8 heures : notée Lex, 8h) - L'exposition instantanée aux bruits très courts (niveau crête : noté Lp, c)

Tableau 4.11 principaux axes

Les niveaux d'exposition des travailleurs doivent être comparés à des valeurs seuils d'exposition fixées réglementairement (valeurs d'action et valeurs limites) qui conditionnent les mesures de prévention à mettre en œuvre (ou des mesures de protection si les mesures de prévention sont impossibles, insuffisantes ou encore, si elles ne répondent pas à l'urgence d'une situation).

- Important

Les valeurs limites d'exposition (VLE) sont les niveaux d'exposition maximum admis. Elles ne doivent être dépassées en aucun cas.

- Pour le bruit

Les valeurs pour toutes les nuisances sonores sont les suivantes

Bruit	$L_{EX, 8h}$	$L_{p,C}$
Valeurs d'exposition inférieures déclenchant l'action de prévention	80 dB(A)	135 dB(C)
Valeurs d'exposition supérieures déclenchant l'action de prévention	85 dB(A)	137 dB(C)
Valeurs limites d'exposition (VLE)	87 dB(A)	140 dB(C)

Tableau 4.12 seuils d'exposition bruit

Valeurs du décret n° 2006-892 du 19 juillet 2006

Lorsque les « valeurs d'exposition inférieures déclenchant l'action de prévention » sont atteintes ou dépassées, l'employeur doit impérativement :

- mettre des protecteurs auditifs individuels à la disposition des travailleurs ;
- délivrer aux employés des informations et une formation en rapport avec le résultat de l'évaluation des risques ;

- et accorder un examen audiométrique préventif aux travailleurs concernés, sur leur demande ou sur celle du médecin du travail.

Lorsque les « valeurs d'exposition supérieures déclenchant l'action de prévention » sont atteintes ou dépassées, l'employeur doit impérativement :

- mettre en œuvre un programme de mesures techniques ou d'organisation du travail visant à réduire l'exposition au bruit et une signalisation appropriée ;
- veiller à ce que les protecteurs auditifs individuels soient effectivement utilisés ;
- et mettre en place une surveillance médicale renforcée.

➤ Norme de Mesurage de référence

La réglementation spécifique (par arrêté du 19 juillet 2006) que les mesurages d'exposition doivent être effectués selon les prescriptions de la norme NFS31-084. Méthode de mesurage des niveaux d'exposition au bruit en milieu de travail.

➤ Vibration

L'INRS évalue à 1,5 millions le nombre de travailleurs exposés régulièrement aux vibrations dans leurs activités.

On dit qu'un objet vibre quand il y a déformation et oscillation de celui-ci autour d'une position de référence : sa position d'équilibre (exemple : diapason).

Il y a une relation entre déplacement, vitesse de déplacement et accélération.

➤ Caractéristique des vibrations

- Leur fréquence (exprimée en Hertz),
- Leur amplitude, caractérisée soit : par l'amplitude du déplacement, (en mètres), par l'amplitude de la vitesse à laquelle s'effectue le mouvement (m/s) qui est proportionnelle au déplacement et à la fréquence, ou par **l'amplitude de l'accélération**, proportionnelle au déplacement et au carré de la fréquence (m/s^2 ou en g. $1g = 9,81 m/s^2$ - valeur de l'accélération de la pesanteur terrestre).

➤ Exposition aux risques

Préalablement, plusieurs questions vous permettront de déterminer si ce risque existe.

- ⇒ Une ou plusieurs machines sont-elles utilisées sur de « longues périodes » ?
- ⇒ Un opérateur est-il exposé à des chocs importants ?
- ⇒ Existe-t-il des postures de travail contraignantes ?

Si les réponses à ces questions sont affirmatives (pour celles où la réponse est possible), il existe probablement un problème lié aux vibrations ; il est donc nécessaire de poursuivre l'évaluation du risque vibratoire.

Pour chaque poste de travail identifié comme potentiellement problématique, il vous revient d'estimer la durée d'exposition quotidienne de chaque travailleur. Cette notion prend en compte uniquement les périodes pendant lesquelles l'opérateur est effectivement soumis aux bruits et vibrations puisque les niveaux peuvent varier au cours de la journée.

La détermination du risque vibratoire nécessite d'évaluer l'exposition vibratoire quotidienne A(8), conformément à l'arrêté d'application du 6 juillet 2005, à partir du niveau d'émission vibratoire et de la durée d'exposition aux vibrations. L'analyse doit se faire dans les conditions les plus stables représentatives possibles. Par la suite, cette exposition vibratoire est comparée aux valeurs-seuils fixées par la réglementation.

L'employeur de prendre des mesures pour empêcher ou maîtriser l'exposition vibratoire. Il est nécessaire d'identifier les postes de travail impliquant l'utilisation d'engins ou de machines vibrants et d'estimer l'exposition quotidienne aux vibrations pour chaque situation de travail concernée.

L'évaluation des risques consiste à :

- identifier les risques (équipements de travail et conditions d'utilisation) ;
- estimer pour chaque poste de travail la valeur de l'exposition quotidienne

A (8).

- comparer les valeurs d'exposition mesurées à la valeur d'action et à la valeur limite fixées par la réglementation (respectivement 0,5 et 1,15 m/s²).

Les valeurs seuils d'exposition pour toutes les nuisances vibratoires sont les suivantes :

Vibrations	Vibrations transmises aux mains et aux bras	Vibrations transmises à l'ensemble du corps
Valeurs d'exposition journalière déclenchant l'action de prévention	2,5 m/ s ²	0,5 m/ s ²
Valeurs limites d'exposition journalière (VLE)	5,0 m/ s ²	1,15 m/ s ²

Tableau 4.13 seuils d'exposition Vibrations

Valeurs du décret n° 2005-746 du 04 juillet 2005

Lorsque les valeurs d'exposition journalière déclenchant l'action de prévention (dites « valeur d'action ») sont atteintes, des mesures techniques et organisationnelles doivent être prises afin de réduire au minimum l'exposition.

Les vibromètres sont des équipements pour mesurer les vibrations et les oscillations dans de nombreuses machines et installations. Les mesures au vibromètres donnent les paramètres suivants : l'accélération, la vitesse et variation de la vibration.



Figure 4.5 Mesure des vibrations produites par un transpalette avec un vibromètres doc INRS

➤ Prévenir les risques

Les principes de base pour établir un programme de protection contre les vibrations sont les suivants :

- Réduire les vibrations à la source ;
- Diminuer la transmission des vibrations ;
- Réduire l'effet de transmission des vibrations en optimisant la **posture** des conducteurs ou des opérateurs ;
- Réduire la durée de l'exposition.

Ces mesures de prévention doivent être complétées par la formation des opérateurs.

➤ Principaux textes

Décret n° 2005 -746 du 4 juillet 2005 (articles R. 4441-1 0 R. 4447-1 du code du travail) relatif aux prescriptions de sécurité et de santé applicables en cas d'exposition des travailleurs aux risques dus aux vibrations mécaniques et modifiant le code du travail.

(Transposition de la directive de 2002)

Arrêtés d'application :

Arrêté du 6 juillet 2005 – paramètres physiques d'exposition aux vibrations.

Arrêté du 4 mai 2005 (régime général).

Arrêté du 3 juillet 2005 (régime agricole).

Directive 2002/44/CE du 25 juin 2002 (date limite de transposition : 6 juillet 2005) concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (vibrations).

Directive « machines » 2006/42/CE, qui impose aux constructeurs la déclaration du niveau de vibration émis par les machines mobiles.

Quelques documents de normalisation :

NF EN 28662-1, avril 1993 : Machines à moteur portatives – Mesurage des vibrations au niveau des poignées – Partie 1 : généralités

FD CR 1030-1, décembre 1995 : Vibrations main-bras : guide pour la réduction des risques de vibrations : Partie 1 : Mesures techniques lors de la conception des machines.

FD CR 1030-2, décembre 1995 : Vibrations main-bras : guide pour la réduction des risques de vibrations : Partie 2 : Mesures de prévention sur le lieu de travail.

NF EN ISO 5349-1, 2001 : Mesurage et évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main. Partie 1 : Exigences générales

NF EN ISO 5349-2, décembre 2001 : Mesurage et évaluation de l'exposition des individus aux vibrations transmises par la main. Partie 2 : Guide pratique pour le mesurage sur le lieu de travail.

FD CEN/TR 15350, août 2006, Vibrations mécaniques – Guide pour l'évaluation de l'exposition aux vibrations transmises à la main à partir de l'information disponible, y compris l'information fournies par les fabricants de machines.

Chapitre 5 Mesures de secours et soins

5.1 Introduction

Les premiers [12] [30] secours représentent l'ensemble des techniques d'aide apportée aux personnes victimes d'un accident, d'une catastrophe, d'un problème de santé ou d'un problème social compromettant à court terme leur état de santé. Ces techniques permettent d'apporter des réponses efficaces devant un danger vital et ont comme objectif d'en minimiser les conséquences tout en assurant la survie des personnes en leur prodiguant des premiers soins d'urgence.

5.2 Comportement général

Pour porter efficacement secours à une personne, il convient avant tout de respecter quelques principes élémentaires. La règle est généralement la suivante :

- Rester calme ;
- Observer ;
- Réfléchir ;
- Alarmer ;
- Agir.

5.3 Attitude à observer en cas d'accidents électriques

L'arrêté du 14 février 1992 fixe les consignes relatives aux premiers soins à donner aux victimes d'accidents d'origine électrique. Les premiers secours qui se résument à trois actions (protéger, secourir, alerter), Fig5.1.chacune d'elles appelant quatre interrogations (qui ?, quand ?, comment ?, pourquoi ?).Tableau (5.1), (5.2) et (5.3).

En cas d'accident électrique il faut :



Dégager l'accidenté, c'est à dire le soustraire au contact de tout conducteur ou pièce sous tension



Mettre en œuvre d'urgence la réanimation.



Prévenir les secours spécialisés

Fig.5.1 les premiers secours

Protéger	
Qui ?	la victime, mais aussi son entourage et les intervenants.
Quand ?	chaque fois que l'origine électrique de l'accident peut être soupçonnée.
Comment ?	<ul style="list-style-type: none"> • en supprimant la cause : <ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>mettre la victime hors tension, en coupant le courant</i> ➤ baliser les lieux si une circulation se produit à proximité ; ➤ penser aux risques adjacents (incendie, explosion, manque d'éclairage, etc.).
Pourquoi	si, en basse tension, des dispositions improvisées peuvent être prises lorsque l'on ignore où se trouve un appareil de coupure, pour effectuer un dégagement sous tension (à l'aide d'une perche isolante, d'un bâton ou de chiffons secs, de plastiques, de gants, etc.), en haute tension, sauf cas tout à fait particulier où du matériel spécial est mis en œuvre, cette intervention ne peut concourir qu'à augmenter le nombre de victimes. Elle ne doit être entreprise que par des personnes compétentes, disposant d'un matériel adapté.

Tableau.5.1 Protéger

Alerter	
Qui ?	les secours médicalisés spécialisés d'urgence (SAMU, pompiers, médecins, ambulances).
Quand ?	en basse tension, si la victime a perdu connaissance, si des brûlures profondes ou étendues sont visibles et, en haute tension, dans tous les cas.
Comment ?	Nombre de blessés ou malades, genre de blessure. Lieu précis de l'accident (Institution, bâtiment, étage, local) Heure de l'accident. Etat apparent. Danger de mort ? - Conscient/inconscient - Difficulté à respirer/en arrêt respiratoire.
Pourquoi	pour permettre aux secours médicalisés de prévoir le matériel.

Tableau5.2 Alerter

Secourir	
Qui ?	toute personne présente et, par priorité, qualifiée (médecin, infirmier, secouriste, bénévole de sang-froid).
Quand ?	<ul style="list-style-type: none"> • lorsque la victime présente une perte de connaissance, avec maintien de la ventilation (respiratoire), le pouls étant présent ; • en état de mort apparente, caractérisé par une perte de connaissance, avec arrêt prolongé de la ventilation, absence de pouls carotidien (arrêt cardiaque ou fibrillation). <p>Dans tous les cas caractérisés par un arrêt de la ventilation, avec maintien du pouls, aussi bien qu'avec arrêt de la ventilation et absence de pouls, l'intervention doit être immédiate.</p>
Comment ?	<ul style="list-style-type: none"> • S'il s'est agi d'une brève secousse électrique sans conséquence apparente, on doit conseiller à l'accidenté de consulter son médecin dans tous les cas. • Si la victime présente une perte de connaissance, il faut libérer les voies aériennes et mettre la victime en position latérale de sécurité, avec précaution (axe – « tête, cou, tronc »). • Si la victime est dans un état de mort apparente, on doit : <ul style="list-style-type: none"> ○ quand existe un arrêt ventilatoire (présence du pouls carotidien), procéder à une ventilation artificielle par le bouche à bouche ; ○ quand il existe un arrêt cardio-ventilatoire (absence du pouls carotidien), associer le massage cardiaque externe à la ventilation artificielle. <p>Dans tous les cas, il faut poursuivre les gestes de réanimation sans interruption jusqu'à l'arrivée sur place des secours médicaux qui pratiqueront, s'il y a lieu, la défibrillation des ventricules.</p>

Pourquoi	l'arrêt respiratoire visible nécessite une ventilation assistée urgente et l'arrêt cardiaque par fibrillation entraîne la mort dans un délai de quelques minutes.
-----------------	---

Tableau.5.3 Secourir

5.4 Premiers soins

- S'il s'est agi d'une brève secousse électrique sans conséquence apparente, on doit conseiller à l'accidenté de consulter son médecin dans tous les cas.

- Si la victime a perdu conscience mais respire, placez la en position latérale de sécurité et surveillez son état. C'est une position dans laquelle la victime est placée sur le côté, tête en arrière, bouche ouverte et dirigée vers le sol. Ainsi sa langue ne peut plus tomber dans sa gorge et ses vomissements s'écoulent librement sur le sol. Mettre une victime inconsciente et qui respire en position latérale de sécurité est donc essentiel pour maintenir ses voies respiratoires ouvertes

- Si la victime est dans un état de mort apparente, on doit :
 - quand existe un arrêt ventilatoire (présence du pouls carotidien), procéder à une ventilation artificielle par le bouche à bouche ;
 - quand il existe un arrêt cardio-ventilatoire (absence du pouls carotidien), associer le massage cardiaque externe à la ventilation artificielle.

Dans tous les cas, il faut poursuivre les gestes de réanimation sans interruption jusqu'à l'arrivée sur place des secours médicaux qui pratiqueront, s'il y a lieu, la défibrillation des ventricules.

5.4.1 La réanimation cardiopulmonaire

Une fois la victime mise en position latérale de sécurité vous devez vérifier que sa position est stable, que sa poitrine n'est pas comprimée, puis contrôler ou faire contrôler sa respiration toutes les minutes. Si la respiration s'arrête vous devez retourner la victime sur le dos et commencer la réanimation cardio-respiratoire

La réanimation cardiopulmonaire se déroule en 3 phases :

- la libération des voies aériennes supérieures ;
- la ventilation artificielle ;
- le massage cardiaque.

➤ La libération des voies aériennes supérieures

La première phase consiste à libérer les voies aériennes de la victime. Il faut tout d'abord ôter tout ce qui pourrait gêner la respiration : dégrafer un col de chemise trop serré, enlever une cravate, enlever une veste trop près du corps.

Il faut ensuite vérifier que rien ne gêne la respiration au niveau de la bouche (dentiers, corps étrangers...).

Pour faciliter le passage de l'air, il faut ensuite « ouvrir » les voies aériennes supérieures en basculant la tête de la victime en arrière :

- Pour cela, une main du secouriste est placée sur le front de la victime alors que l'index et le majeur de l'autre main sont placés au niveau de la pointe du menton.

- La main qui est sur le front appuie et pousse doucement la tête en arrière, les doigts sous le menton tirent la tête vers le haut.
Cette manœuvre permet de libérer les voies aériennes et de laisser passer l'air.



Fig.5.1 libération des voies aériennes

➤ Ventilation artificielle

Faire un bouche-à-bouche (ou ventilation artificielle) permet de faire « respirer » une victime inconsciente et qui ne respire plus, dans le but principal de maintenir l'oxygénation du cerveau. En effet, les cellules du cerveau meurent très rapidement lorsqu'elles ne sont pas oxygénées et elles ne se régénèrent pas, ce qui peut entraîner de graves lésions au cerveau.

La technique du bouche-à-bouche est souvent à pratiquer en alternance avec un massage cardiaque : 30 compressions, 2 insufflations. C'est-à-dire qu'après avoir pratiqué 2 insufflations (soit par bouche à bouche soit par bouche à nez), il faut tout de suite attaquer le massage cardiaque et réaliser 30 compressions puis de nouveau recommencer les insufflations... jusqu'à l'arrivée des secours.

Entre le massage cardiaque et la ventilation artificielle, il faut vérifier si le cœur de la victime est reparti en cherchant son pouls :

- Pour cela, le secouriste place son majeur et son index au niveau du poignet de la victime, dans le prolongement du pouce au niveau de l'artère radiale (la paume de la main de la victime est tournée vers le haut) ;
- En absence de pouls, il faut continuer la réanimation cardiopulmonaire.



Fig.5.2 Ventilation artificielle

➤ La méthode de respiration artificielle Sylvester

La méthode de respiration artificielle Sylvester était utilisée lorsque des blessures au visage empêchaient la pratique du bouche-à-bouche. Si le patient a également besoin d'une compression cardiaque externe (massage cardiaque), les premiers secours seront beaucoup plus efficaces s'ils sont effectués par deux personnes. Pendant qu'une personne effectue la méthode Sylvester, l'autre fera un massage cardiaque.

La méthode Sylvester se faisait en deux temps, la victime étant sur le dos :

1. tirer les bras au-dessus de la tête de la victime pour faire gonfler sa cage thoracique ;
2. ramener les avant-bras de la victime sur sa poitrine et appuyer pour la comprime.



Fig.5.3 La méthode de respiration artificielle Sylvester

➤ Le massage cardiaque

Avant de commencer le massage cardiaque, vérifiez l'état de la victime. Si elle respire, il n'est pas nécessaire de faire un massage cardiaque : ce serait plus douloureux qu'utile. Placez-la plutôt en position latérale de sécurité.

Si la personne ne respire pas :

Mettez vos mains l'une sur l'autre. Positionnez-les entre ses 2 seins, bien au milieu de sa poitrine, vos épaules à la verticale de vos mains.

Poussez vos mains rapidement vers le bas, les bras bien tendus, les coudes bloqués. Vos mains doivent descendre de 4 centimètres, puis laissez-les remonter et recommencez ainsi 30 fois de suite rapidement.

Pour pratiquer le massage cardiaque

- Allongez la victime sur une surface dure, en général par terre. Le massage cardiaque ne doit pas être effectué dans un lit ;
- Dénudez la poitrine de la victime ;
- Agenouillez-vous auprès d'elle.
- Pour trouver l'endroit où appuyer :
 - Placez l'un de vos majeurs dans le creux à la base du cou ;
 - Placez le majeur de votre deuxième main dans le creux de l'estomac, là où les côtes se rejoignent ;

- Rapprochez vos deux pouces. La zone d'appui se trouve à mi-chemin entre vos deux majeurs.
- Placez le talon de votre main (la partie la plus proche du poignet) sur la zone d'appui, bien au milieu de la poitrine, jamais sur les côtes.
- Mettez votre deuxième main sur la première, en entrecroisant les doigts.
- Placez-vous bien à la verticale de vos bras, et verrouillez vos coudes.
- Poussez vos mains rapidement vers le bas, afin de les enfoncer le 4 à 5 cm dans la poitrine de la victime.



Fig.5.4 massage cardiaque

5.5 Brûlures électriques

5.5.1 Introduction

Les brûlures [31] [32]] constituent très certainement la plus habituelle des conséquences des accidents électriques. Il est difficile de connaître leur fréquence pour l'ensemble des accidents électriques, cependant on estime que les brûlures sont observées dans plus de 80% des électrisations

Le passage du courant électrique dans le corps ou sur la peau peut provoquer des brûlures ; on voit fréquemment deux brûlures, une au point d'entrée du courant, l'autre au point de sortie. Dans ce cas-là, le plus inquiétant n'est pas la brûlure en elle-même, mais les risques de l'électrisation : le passage du courant a pu perturber le fonctionnement du système nerveux, du cœur (fibrillation), et a pu détruire des cellules à l'intérieur du corps (rhabdomyolyse). On peut donc avoir une rapide dégradation de l'état de la victime pouvant aller jusqu'au décès, alors même qu'extérieurement elle semble peu touchée.

5.5. 2 Brûlure électrique

La brûlure électrique est la conséquence du dégagement de chaleur tout au long du trajet du courant et son importance est due à l'échauffement diélectrique ou effet joule.

$$Q = RI^2T = UIT$$

Q est la quantité d'énergie dégagée, I étant l'intensité du courant en Ampère, R est la somme des résistances en Ohms, V le voltage en volts, T étant le temps de contact en secondes. Ces facteurs vont influencer directement sur les lésions.

- L'intensité (I)

C'est le paramètre responsable de la contraction musculaire qui prédomine sur les extenseurs Pour les faible intensiter engendrant un phénomène de projection du sujet au loin. Pour des intensités plus fortes, les contractions prédominent au niveau des muscles fléchisseurs entraînant une réaction d'agrippement à la source qui ne cédera qu'à l'interruption de celle-ci. Une tétanisation, une atteinte cardiaque et du névraxe peuvent être à l'origine de mort subite. " C'est l'intensité qui tue".

➤ Tension du courant (V)

Elle détermine la quantité de chaleur libérée; les basses tensions donnent peu de brûlures, mais sont à l'origine d'accidents cardiaques immédiats. Les hautes tensions supérieures à 1000V sont responsables de brûlures tissulaires profondes.

"Ce sont les volts qui brûlent".

Le dégagement de chaleur par effet joule se produit en profondeur au niveau des masses musculaires et des axes vasculonerveux. La résistance électrique de ces tissus est faible, et l'intensité délivrée localement est importante. Ce sont des brûlures profondes, le plus souvent indolores car les terminaisons sensibles sont détruites.

➤ les différents types

On distingue en général trois types de brûlures électriques:

1. les brûlures par flash électrique: elles sont dues à la flamme engendrée par un arc électrique; elles ont la même sémiologie et relèvent du même traitement que les brûlures thermiques
2. les brûlures mixtes: associant les lésions dues au passage du courant dans le corps et les brûlures engendrées par la flamme de l'arc électrique, elles sont gravissimesles
3. brûlures électriques *vraies*.



Fig.5.5 exemple : types de brûlures électriques

Les accidents électriques par haute tension (AEHT) provoquent des brûlures profondes par effet Joule le long des axes vasculo-nerveux entre les points d'entrée et de sortie, qui sont le siège de lésions délabrantes.



Fig.5.6.Homme de 30ans Accidents avec ligne à haute tension

➤ Premiers soins brûlure [33]

Devant une brûlure électrique, il faut donc :

- protéger (éteindre et débrancher l'appareil défectueux, voire couper le courant) ;
- allonger la victime, la mettre au repos ;
- prévenir les secours ;
- surveiller la victime en attendant les secours (la protéger des intempéries, la couvrir s'il fait froid, lui parler, etc ;
 - Si la victime, consciente, présente des brûlures graves, l'action de l'eau froide est illusoire sur les brûlures internes, mais elle est indiquée sur les brûlures externes après avoir soustrait la victime à la zone de risque électrique.
 - On doit toujours ôter les vêtements superficiels, protéger les surfaces brûlées (emballage stérile ou couverture aluminisée stérile des boîtes de secours), allonger et surveiller la victime jusqu'à sa prise en charge par les secours médicaux ;
 - Si la victime présente un état de mort apparente et des brûlures graves, les gestes de réanimation cardio-ventilatoire priment à l'évidence les soins aux brûlures.

Le traitement des brûlés relève spécialement des milieux hospitaliers et nécessite un transport rapide vers un centre spécialisé, éventuellement après un transit par un hôpital proche qui pourra effectuer les premiers soins et mettre en route une réhydratation, éventuellement une alcalinisation (une cuillère à café de sel avec une cuillère à café de bicarbonate de soude en solution dans un bol d'eau), mais seulement si elle peut être faite rapidement et si l'accidenté a une conscience normale et n'a pas vomi.

Dans l'immédiat, les premiers secours consistent essentiellement à protéger les plaies par pansements secs et stériles, sans adjonction d'aucun produit (sauf pour les brûlures légères, peu étendues et superficielles) et sans déshabiller la victime.