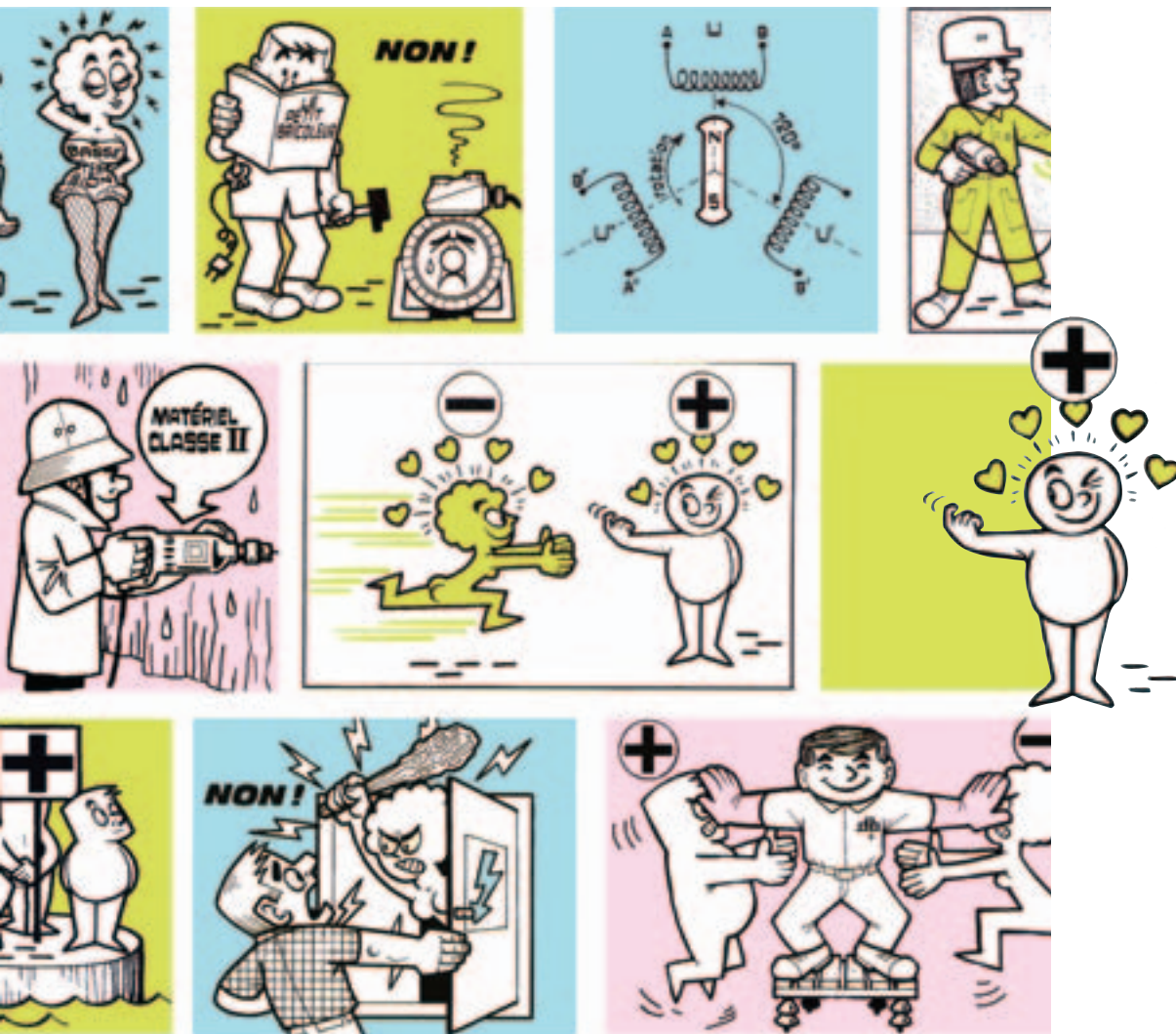




L'électricité

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

Dans le domaine de la prévention des risques professionnels, l'INRS est un organisme scientifique et technique qui travaille, au plan institutionnel, avec la CNAMTS, les CRAM-CGSS et plus ponctuellement pour les services de l'État ainsi que pour tout autre organisme s'occupant de prévention des risques professionnels.

Il développe un ensemble de savoir-faire pluridisciplinaires qu'il met à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, médecin du travail, CHSCT, salariés. Face à la complexité des problèmes, l'Institut dispose de compétences scientifiques, techniques et médicales couvrant une très grande variété de disciplines, toutes au service de la maîtrise des risques professionnels.

Ainsi, l'INRS élabore et diffuse des documents intéressant l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, site Internet... Les publications de l'INRS sont distribuées par les CRAM. Pour les obtenir, adressez-vous au service prévention de la Caisse régionale ou de la Caisse générale de votre circonscription, dont l'adresse est mentionnée en fin de brochure.

L'INRS est une association sans but lucratif (loi 1901) constituée sous l'égide de la CNAMTS et soumise au contrôle financier de l'État. Géré par un conseil d'administration constitué à parité d'un collège représentant les employeurs et d'un collège représentant les salariés, il est présidé alternativement par un représentant de chacun des deux collèges. Son financement est assuré en quasi-totalité par le Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Les Caisses régionales d'assurance maladie (CRAM) et Caisses générales de sécurité sociale (CGSS)

Les Caisses régionales d'assurance maladie et les Caisses générales de sécurité sociale disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service prévention composé d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ils sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, CHSCT, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Ils assurent la mise à disposition de tous les documents édités par l'INRS.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite.

Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle).

La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, Paris, 2001. Maquette et dessins Lucien Logé.

L'électricité

Qu'est-ce que l'électricité ?

Origine du risque électrique

Prévention des accidents dus
à l'utilisation de l'énergie électrique



Dans notre société industrielle, l'électricité est la forme d'énergie la plus utilisée ; sa facilité de transport et sa transformation particulièrement aisée ont largement contribué au développement constant de ses applications.

Bien adaptée aux impératifs de l'économie moderne, assistante docile au service des usagers, l'électricité peut également, dans certaines circonstances, compromettre la sécurité des personnes.

L'électricité ne se voit pas. De ce phénomène qui échappe à nos sens, nous ne percevons que les manifestations extérieures et familières de son utilisation : la lumière, la chaleur, le mouvement.

Cette absence de perception concrète a fréquemment pour conséquence de faire encourir à l'utilisateur ou à des tiers des risques ignorés ou sous-estimés. Or, pour se protéger d'un risque quelconque, il est avant tout nécessaire de bien le connaître.

Le principal objectif de cette brochure est donc de répondre le plus simplement possible aux questions que toute personne sensibilisée aux problèmes de prévention, mais non spécialisée en électricité, est susceptible de se poser sur les risques d'origine électrique.

- Qu'est-ce que le courant électrique ?
- Pourquoi l'électricité est-elle dangereuse ?
- Quand et comment le risque électrique prend-il naissance ?
- Peut-on supprimer ce risque ? Si oui, comment ? Si non, pourquoi ?
- Peut-on se protéger du courant électrique ? Comment et par quels moyens ?

Ce document est notamment destiné aux personnes non spécialistes en électricité qui ont des fonctions de responsabilité dans l'entreprise (cadres, techniciens, maîtrise) et plus spécialement à celles qui, dans l'exercice de ces fonctions, sont généralement concernées par les problèmes de sécurité.

Sommaire

pages

1^{re} partie

L'ÉLECTRICITÉ, SON ORIGINE

Chapitre 1 - Structure de la matière	10
1 - Composition et propriétés des atomes	11
2 - Matière et charges électriques élémentaires	11
3 - Origine de l'attraction électrostatique des charges électriques de signes contraires	13
4 - Cohésion des charges électriques atomiques	14
5 - Mobilité des électrons	15
6 - Qu'est-ce qu'un matériau conducteur ?	16
7 - Qu'est-ce qu'un isolant électrique ?	17
 Chapitre 2 - Qu'est-ce que l'électricité ?	 19
1 - Électrisation d'un atome	19
2 - Électrisation d'un corps	19
3 - L'électricité statique	20
4 - L'électricité dynamique	21
 Chapitre 3 - Les générateurs électriques	 24
1 - Générateurs électrochimiques	25
- Pile électrique	25
- Accumulateur au plomb	25
2 - Générateurs électromagnétiques	25
- Principe des générateurs de courant alternatif monophasés	26
- Principe des générateurs de courant polyphasés	26
3 - Conditions d'utilisation des générateurs	27
 Chapitre 4 - Le circuit électrique	 29
1 - La résistance électrique	29
- Influence de la résistivité	30
- Influence de la longueur des conducteurs	31
- Influence de la section des conducteurs	32
- Influence de la température	33
2 - L'intensité du courant électrique	34
- Effets thermiques du courant électrique	34
- Les fusibles ou coupe-circuit	35
- Interruption d'un courant électrique	35
- Le court-circuit	36
3 - La tension électrique	37
- Tension électrique entre des corps chargés	41
- Conducteur sous tension	41
- Tension disruptive	42
a) Rupture d'un isolant gazeux	42
b) Rupture d'un isolant solide	42
- Potentiel d'un point situé sur un circuit électrique	44
- Distribution du potentiel le long d'une résistance	44
4 - Le transformateur	45

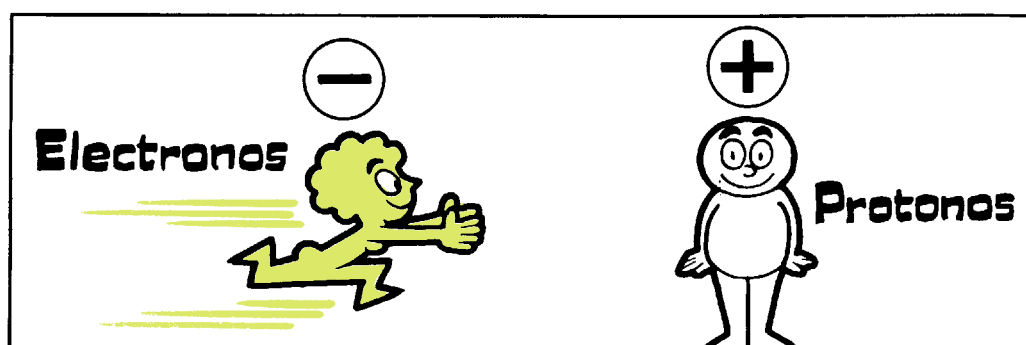
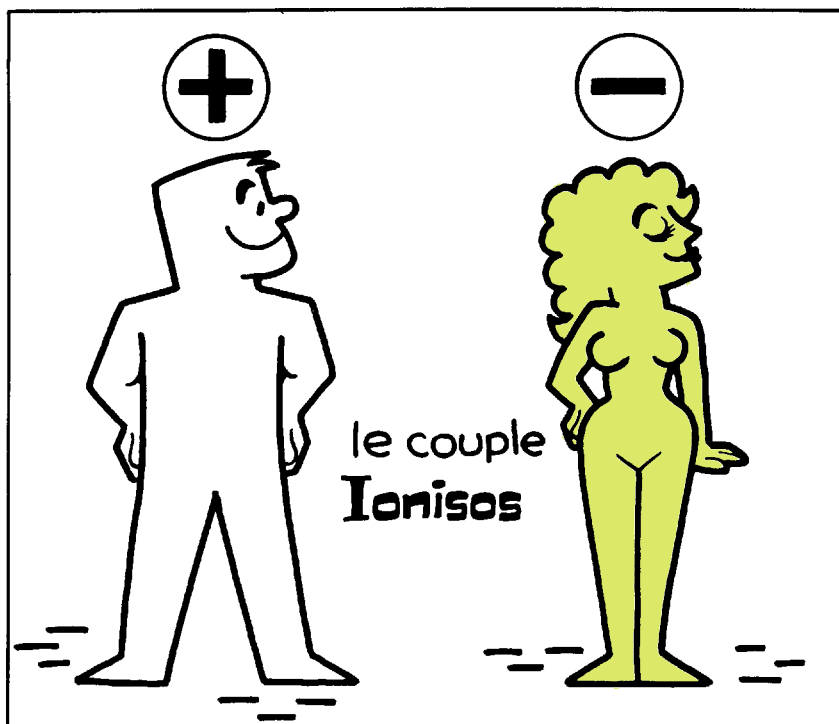
2^e partie

L'ÉLECTRICITÉ, COMMENT S'EN PROTÉGER

pages

Chapitre 1 - Origine du risque électrique	49
Chapitre 2 - Dommages corporels causés par le courant électrique	50
1 - Résistance électrique du corps humain	50
2 - Trajet du courant électrique dans l'organisme	51
3 - Effets thermiques	51
4 - Effets téтанisants	51
5 - Effets respiratoires et circulatoires	52
6 - Intensité maximale admissible du courant électrique	52
7 - La loi d'Ohm considérée comme l'équation du risque électrique	53
Chapitre 3 - Les causes du risque électrique	55
1 - Distribution de l'énergie électrique	56
- Liaison à la terre d'un générateur électrique	56
- Classement des installations en fonction des tensions	58
2 - Les installations électriques	59
3 - Les récepteurs électriques	60
- Cas particulier des outils électroportatifs	60
4 - Risques spécifiques à certains locaux ou emplacements de travail	62
5 - Travaux à proximité des installations électriques	63
6 - Actions dangereuses du personnel	64
Chapitre 4 - Prévention du risque électrique	65
La réglementation	65
La normalisation	68
1 - Protection des personnes qui utilisent l'énergie électrique	69
- Les installations et équipements	69
- Le matériel électrique	71
Classification du matériel électrique	71
Définitions	71
Classes de matériel	72
Degrés de protection procurés par les enveloppes	72
Matériel utilisable dans les atmosphères explosives	73
- Moyens de prévention contre les contacts indirects	74
Mise à la terre des masses des récepteurs	74
Principe de la protection des personnes par mise à la terre des masses	74
Dispositifs de protection à courant différentiel résiduel ou dispositif DR	77
Principe de protection des dispositifs DR	77
Protection par séparation des circuits	78
Principe de la protection par séparation des circuits	78
Protection par l'utilisation de la très basse tension (TBT)	79
Protection par double isolation ou isolation renforcée. Matériel électrique dit de classe II	81
Principe de la protection assurée par le matériel de classe II	81
2 - Protection des personnes qui travaillent au voisinage des installations électriques	82
3 - Mesures de prévention pour pallier les actions dangereuses du personnel	83
4 - Invitation du personnel à signaler les défauts du matériel	83
Chapitre 5 - Règles générales de sécurité destinées au personnel non électricien	85
.....	93

Conclusions



Avertissement au lecteur

Pour faciliter la compréhension de phénomènes physiques, on recourt parfois à un artifice qui consiste à remplacer la description d'un phénomène par celle d'un autre fait physique plus aisément perceptible.

Cette méthode, dite « méthode analogique », peut être utilisée sous réserve que le recours à l'analogie, qui est destiné à faciliter la compréhension des phénomènes, n'en masque pas la réalité.

C'est ainsi que pour enseigner les premiers rudiments de l'électricité, il est séduisant de substituer à la notion très abstraite de courant électrique circulant dans un conducteur celle d'un courant liquide circulant dans une canalisation.

Ce recours à l'analogie hydraulique pour expliquer le courant électrique n'est pas pleinement satisfaisant :

- il ne permet pas d'expliquer la nature, la formation et les propriétés de l'électricité statique, qui doivent précéder l'étude de l'électricité dynamique,
- il n'offre pas la possibilité, dans l'étude de l'électricité dynamique, d'expliquer :
 - les effets thermiques du courant électrique,
 - certains risques inhérents aux courants de défaut, dont la compréhension est fondamentale en matière de prévention des accidents électriques.

C'est la raison pour laquelle il a semblé nécessaire d'aborder l'étude des premières notions d'électricité par la théorie électronique, plus conforme à la réalité des phénomènes à étudier. Cette théorie, très simple lorsqu'elle est dépouillée des supports mathématiques nécessaires aux physiciens, permet d'expliquer tous les phénomènes électriques et électroniques par des déplacements d'électrons dans des matériaux conducteurs ou semi-conducteurs ou par la rareté ou encore la surabondance du nombre d'électrons dans un espace déterminé.

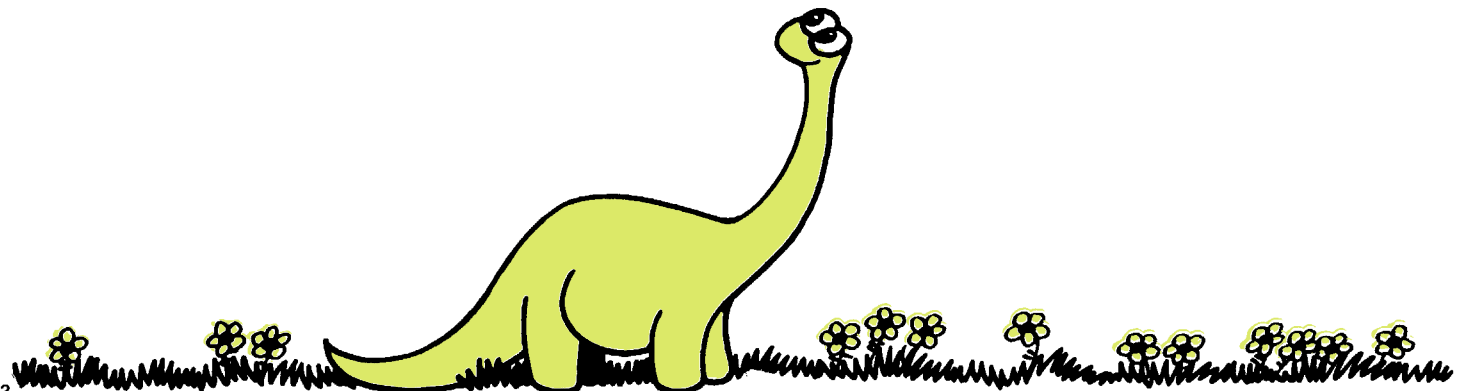
Une rapide information sur la structure de la matière permettra, entre autres, de mettre en évidence les deux formes fondamentales de l'électricité :

- **l'électricité statique** qui résulte d'une accumulation de charges électriques sur les isolants ou les conducteurs isolés,
- **l'électricité dynamique** qui se manifeste par une circulation de charges électriques dans les conducteurs.

Ces préliminaires élémentaires ont uniquement pour but de faciliter la compréhension de problèmes posés par la prévention du risque électrique ; le lecteur qui possède quelques connaissances en électricité peut, sans inconvénient, aborder directement le chapitre II de cette brochure.

1^{re} partie

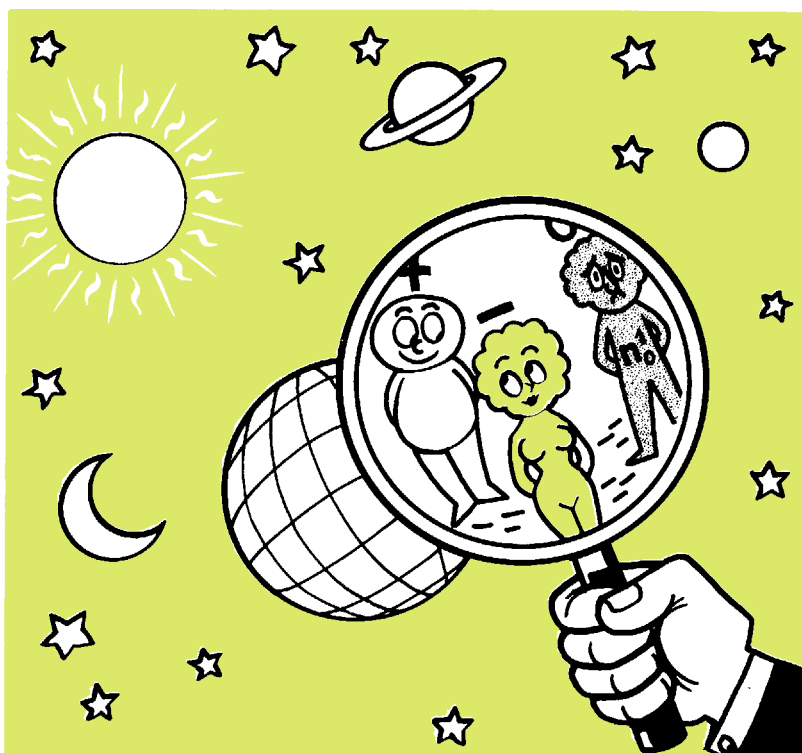
L'électricité, son origine



1 Structure de la matière



Les savants et philosophes grecs de l'Antiquité furent les premiers à penser que la matière était composée d'atomes.



Toute la matière contenue dans l'Univers qu'elle soit solide, liquide ou gazeuse est composée d'atomes. Ces atomes sont constitués de particules électrisées et de particules neutres.

Les premières conceptions sur la composition de la matière sont fort anciennes ; les savants et philosophes grecs ⁽¹⁾ furent les premiers à penser que la matière, qui compose toutes choses, devait être constituée de particules infiniment petites et indestructibles : les atomes.

Cette théorie s'opposait à toutes les superstitions de l'époque et elle émanait du raisonnement logique suivant : « En procédant à une série de fragmentations successives d'un matériau quelconque, il est probable, sinon certain, que la dimension des fragments ainsi obtenus tendra vers une limite inférieure qui interdira la réalisation d'une division supplémentaire ».

Par exemple, en opérant au moyen d'un marteau une série de cassures successives sur un morceau de pierre, les fragments obtenus deviendront de plus en plus petits et, si l'on pouvait poursuivre cette série de cassures des milliards de fois, ces parcelles deviendraient si ténues qu'elles ne seraient même plus visibles à l'œil nu.

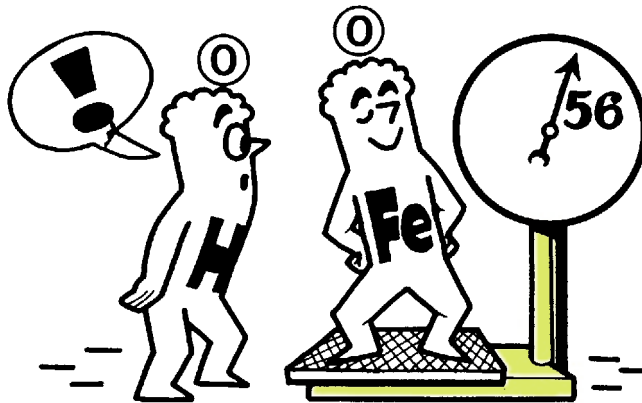
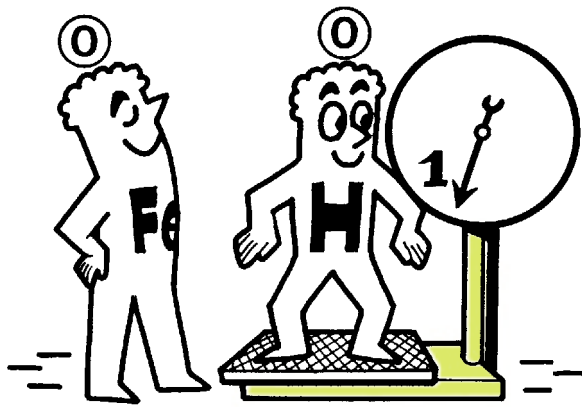
En extrapolant ce résultat, il est effectivement permis de supposer que si nous disposions d'un moyen permettant de continuer à diviser les grains de poussière en particules microscopiques, il existerait très probablement un stade ultime où elles ne seraient plus divisibles.

Ce sont précisément ces particules, considérées à cette époque comme l'extrême limite de fractionnement de la matière dont étaient faites les choses, qui ont été baptisées « atomos », c'est-à-dire non sécable, par les Anciens, d'où le mot atome utilisé de nos jours.

En d'autres termes, si la connaissance de la physique atomique est contemporaine, l'idée que l'atome, constituant de l'Univers, pouvait exister remonte environ à 400 ans avant notre ère, et ce n'est qu'au XX^e siècle, grâce aux possibilités de libération des forces prodigieuses qui étaient contenues dans cet atome, que le grand public prit soudainement conscience de son existence.

Quoi qu'il en soit, nous savons tous maintenant que tout ce qui nous entoure, les métaux, les minéraux, les végétaux, la matière vivante, l'air que nous respirons, est composé d'atomes.

[1] Démocrite, V^e siècle avant J.-C.



6

Si les atomes d'un même corps sont semblables, les atomes qui appartiennent à des corps différents ne sont pas identiques entre eux.

1. Composition et propriétés des atomes

Les chimistes et les physiciens du siècle dernier avaient déjà découvert qu'il existait autant d'atomes différents que d'éléments, c'est-à-dire que de corps chimiques simples : hydrogène, oxygène, fer, cuivre... (il en existe plus de cent), et que tous les atomes d'un même élément étaient identiques.

Ainsi, deux atomes d'hydrogène sont exactement semblables et il est impossible de les distinguer l'un de l'autre ; ils ont la même forme, la même dimension, contiennent les mêmes **charges électriques élémentaires** (1 électron et 1 proton) et possèdent la même masse $M^{(1)}$.

Par contre, les atomes d'un autre élément, comme le fer par exemple, sont identiques entre eux mais différents des atomes d'hydrogène, car si leurs dimensions sont pratiquement les mêmes, la masse de l'atome de fer est 56 fois plus grande que celle de l'atome d'hydrogène et le nombre de charges électriques qu'il contient est plus important : 26 pour le fer, 1 seule pour l'hydrogène.

[1] Cette masse $M = 1,672 \cdot 10^{-24}$ gramme correspond à la masse du proton, car toute la masse de l'atome est concentrée dans son noyau, c'est-à-dire dans la partie où sont rassemblées les particules positives ou protons et les particules neutres ou neutrons. La masse $m = 9 \cdot 10^{-28}$ gramme d'un électron est considérée comme négligeable par rapport à celle d'un proton ou d'un neutron.

2. Matière et charges électriques élémentaires

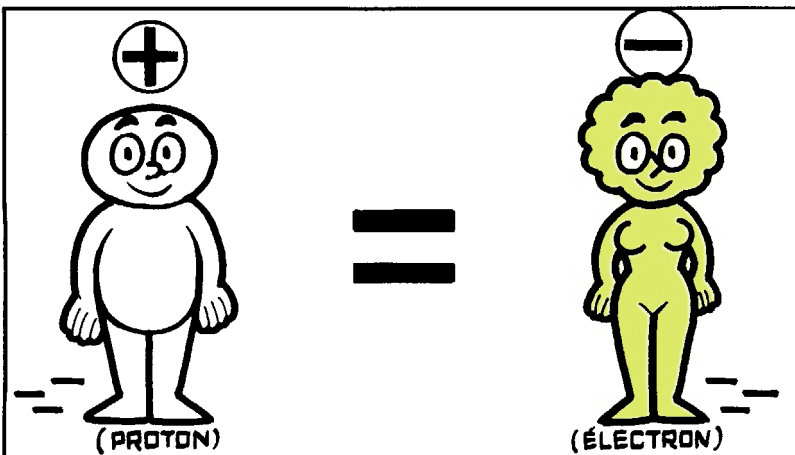
Les physiciens ont également montré :

- que tous les atomes, qu'ils soient issus d'un corps chimique solide, liquide ou gazeux, étaient constitués par des particules électrisées ⁽¹⁾ ou charges électriques élémentaires,
- que ces particules, ou « grains » d'électricité, avaient une réalité physique : elles possédaient à la fois une dimension et une masse,
- qu'elles formaient, à l'intérieur de l'atome, deux groupes identiques en nombre et en charge électrique mais de polarité ⁽²⁾ opposée $|+Q| = |-Q|^{(3)}$,

[1] Toujours associées à des particules neutres ou « neutrons » de symbole n_0 , la seule exception concerne l'atome d'hydrogène. Ces particules neutres ne jouent aucun rôle dans l'origine du courant électrique.

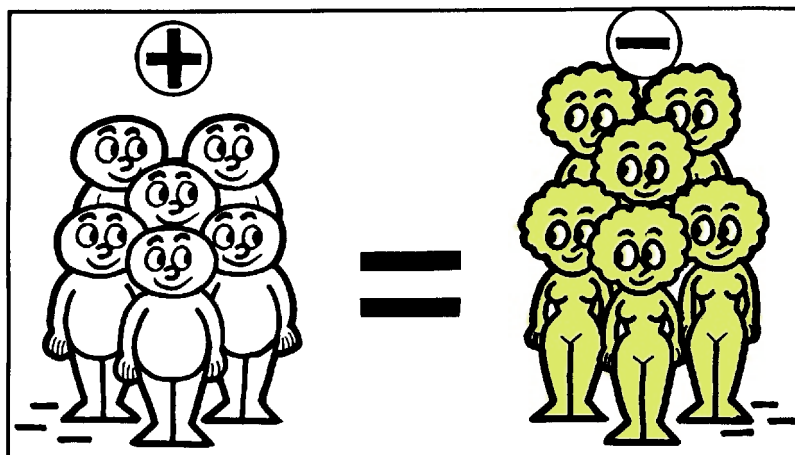
[2] De même que l'on distingue sur une pile électrique ou un accumulateur le pôle $\oplus$ du pôle $\ominus$ on a affecté par convention une polarité positive aux particules qui se trouvent dans le cœur même de l'atome (ou noyau) et une polarité négative à celles qui se trouvent à l'extérieur du noyau.

[3] Le symbole représenté par deux traits verticaux signifie que l'égalité est vérifiée en valeur absolue.



7

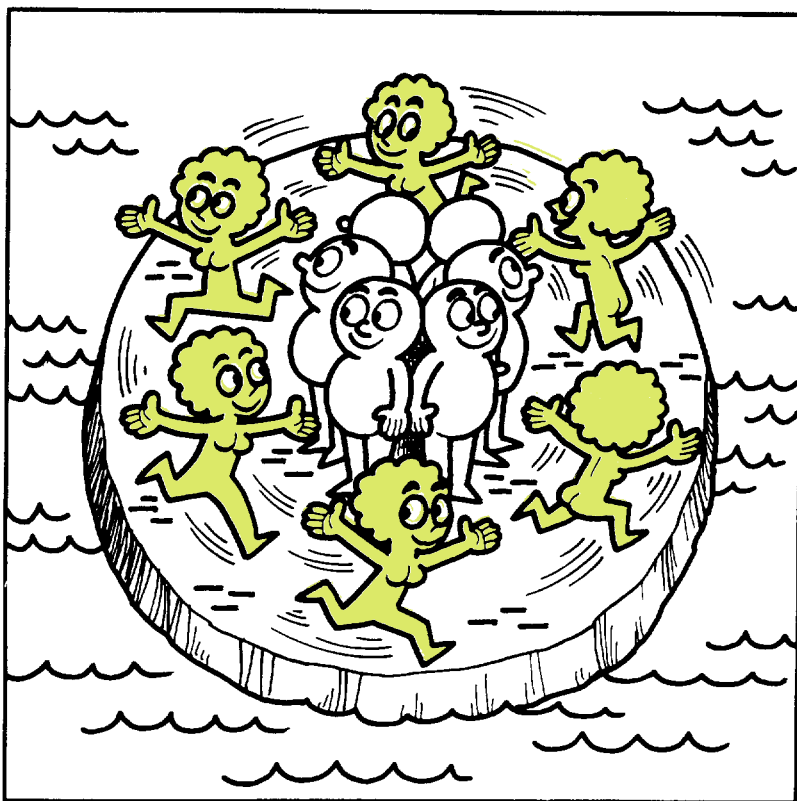
Dans un atome, les particules électrisées, ou charges électriques élémentaires, de même signe ou de signe contraire ont des valeurs équivalentes...



8

... et sont identiques en nombre.

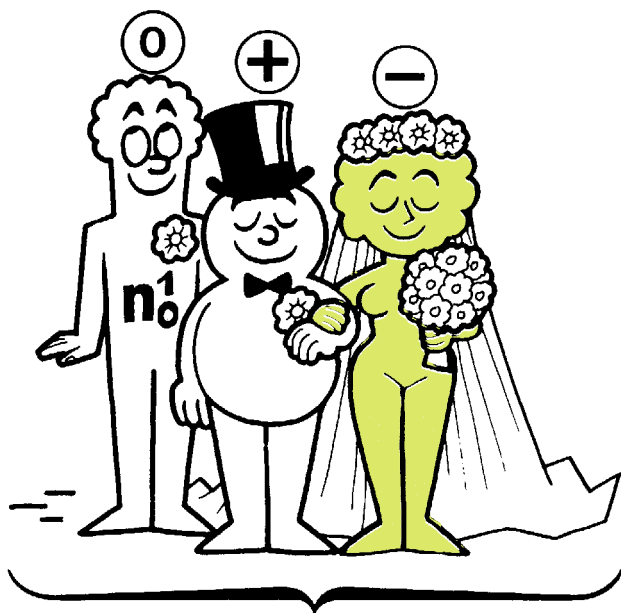
9



Les charges électriques négatives tournent autour du noyau.

- que les charges électriques positives (ou protons) étaient confinées dans le noyau de l'atome et que les charges électriques négatives (ou électrons) tournaient autour du noyau ^[4] en une ronde perpétuelle,
- que toutes ces particules, au « comportement » si différent, n'en formaient pas moins à l'intérieur de l'atome une « famille » très unie, très liée, autrement dit, si les petits « grains » d'électricité négative sont des agités permanents, ils font preuve d'une attirance certaine pour leurs compagnons de signe opposé et ne s'aventurent pas hors de l'atome s'ils ne sont pas sollicités par une force extérieure,
- l'exception à cette dernière règle, que nous examinerons plus loin, concerne tous les matériaux conducteurs de l'électricité. Cette exception très importante, et même fondamentale, est liée au fait que certains électrons périphériques peuvent sortir des atomes constituant ces matériaux et se déplacer avec une relative liberté (électrons libres) alors que dans les corps isolants, les électrons sont tous très liés aux noyaux. Dans ces conducteurs, un flux d'électrons, c'est-à-dire un courant électronique, peut se créer : il y a transport d'énergie électrique.

10



MATIÈRE

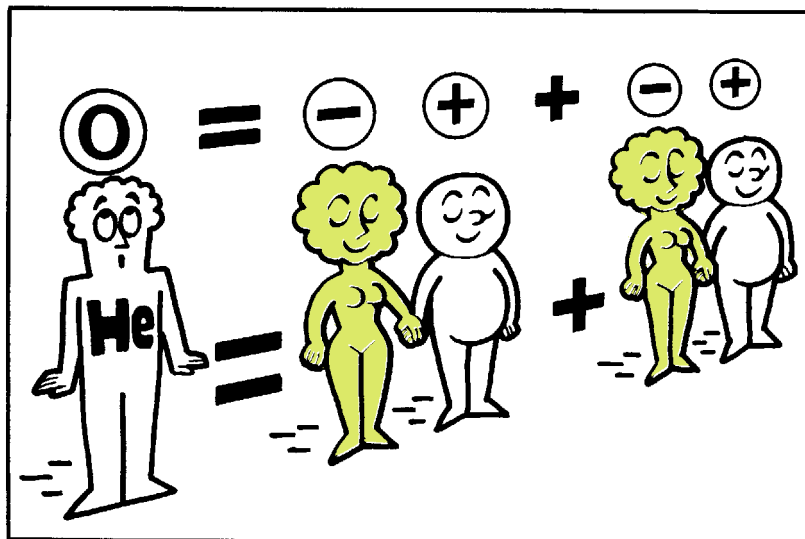
Les composants des atomes forment en général une famille très unie.

De cette première approche sur la structure de la matière, il faut retenir :

- qu'un atome est naturellement neutre au point de vue électrique : le nombre de ses charges électriques élémentaires négatives est égal à celui de ses charges électriques positives,
- que les charges électriques associées à des neutrons sont des constituants de la matière.

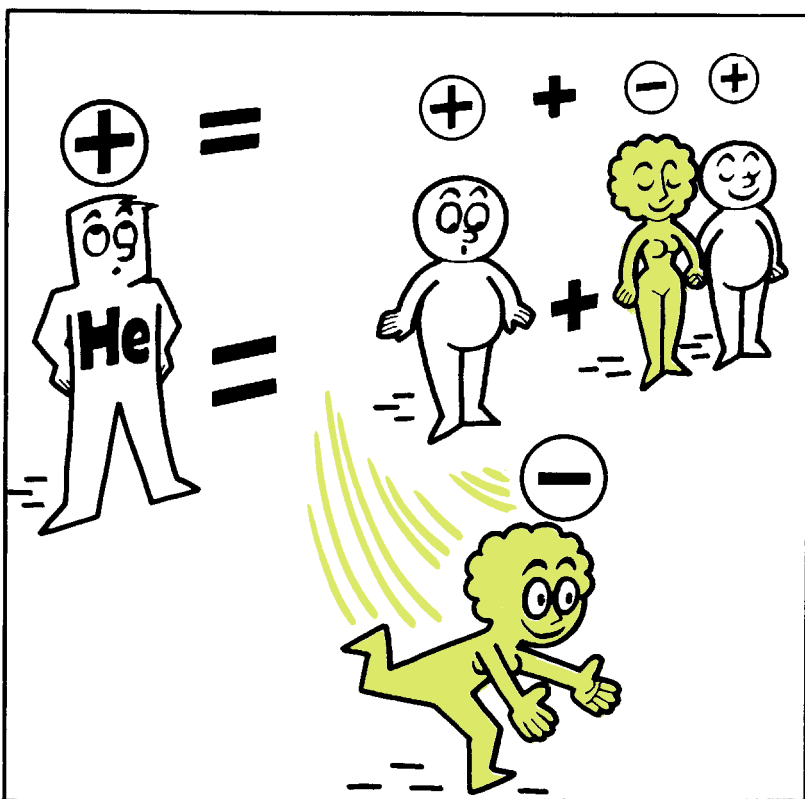
[4] La distance qui sépare les électrons du noyau est considérable ; en supposant un noyau atomique de dimension équivalente à celle d'une balle de tennis, les premiers électrons seraient situés à 4 000 mètres environ de cette balle.

11



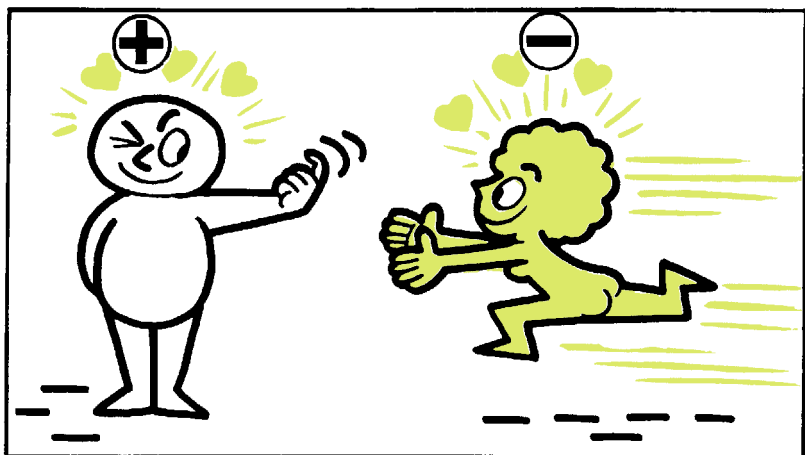
Dans un atome...

12



... l'absence d'une charge négative équivaut à la présence d'une charge positive : l'atome s'est transformé en ion positif.

13



Les charges électriques de signe contraire s'attirent ; dans les métaux, ce sont les charges $\ominus$ qui se dirigent vers les charges $\oplus$.

3. Origine de l'attraction électrostatique ⁽¹⁾ des charges électriques de signes contraires

Considérons un atome d'hydrogène de symbole H qui correspond à l'association de deux charges électriques élémentaires $[+q]$ et $[-q]$.

$$\begin{array}{rcccl} 1 \text{ proton} & + & 1 \text{ électron} & = & 1 \text{ atome d'hydrogène} \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ [+q] & + & [-q] & = & 0 \text{ ou charge} \\ & & & & \text{électrique nulle} \end{array}$$

Soustrayons à cet atome, par un artifice quelconque, son unique électron.

$$\begin{array}{rcccl} 1 \text{ proton} & + & \cancel{1 \text{ électron}} & = & 1 \text{ atome d'hydrogène} \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ [+q] & + & \cancel{[-q]} & = & (+q) \\ & & & & \text{« ionisé » }^{(2)} \end{array}$$

Prenons maintenant comme exemple un atome d'hélium, gaz rare de symbole He, qui correspond à l'association de 4 charges électriques élémentaires 2 $[+q]$ et 2 $[-q]$.

$$\begin{array}{rcccl} 2 \text{ protons} & + & 2 \text{ électrons} & = & 1 \text{ atome d'hélium} \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ 2[+q] & + & 2[-q] & = & 0 \text{ charge électrique} \\ & & & & \text{nulle} \end{array}$$

Soustrayons à cet atome 1 électron, par le même moyen que précédemment,

$$\begin{array}{rcccl} 2 \text{ protons} & + & 1 \text{ électron} & + & \cancel{1 \text{ électron}} & = & 1 \text{ atome} \\ & & & & & & \downarrow \\ & & & & & & \text{d'hélium} \\ & & & & & & \text{ionisé} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcccl} \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ 2[+q] & + & 1[-q] & + & \cancel{1[-q]} & = & (+q) \end{array}$$

D'où la règle suivante : l'absence d'une charge électrique élémentaire négative entraîne automatiquement une charge électrique élémentaire positive de l'atome.

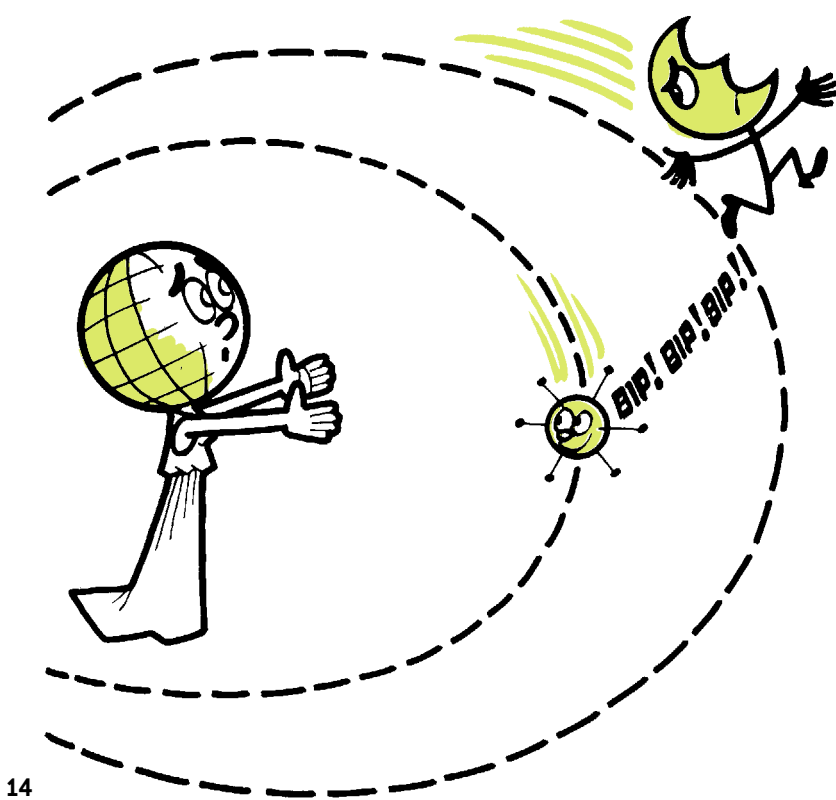
Étant donné que dans les matériaux solides, liquides ou gazeux, les protons qui se trouvent enfermés dans le cœur de l'atome sont inaccessibles ⁽³⁾, les charges positives éventuellement accumulées sur ou dans ces matériaux ne peuvent être constituées que par des ensembles d'atomes ionisés $[+]$ c'est-à-dire des combinaisons « protons + électrons » dans lesquels les électrons sont minoritaires (voir l'électricité statique).

Comme il ne saurait être question de créer de la matière, sauf dans le cas tout à fait exceptionnel où l'énergie peut être transformée en matière, on peut en déduire que toutes les charges positives présentes dans la nature correspondent obligatoirement à des atomes auxquels on a soustrait des charges négatives et qui sont en état de déséquilibre électrique. Pour retrouver cet équilibre, qui est leur état naturel, tous ces atomes n'ont de cesse de récupérer les charges qu'ils ont perdues ; **les charges positives attirent les charges négatives et réciproquement.**

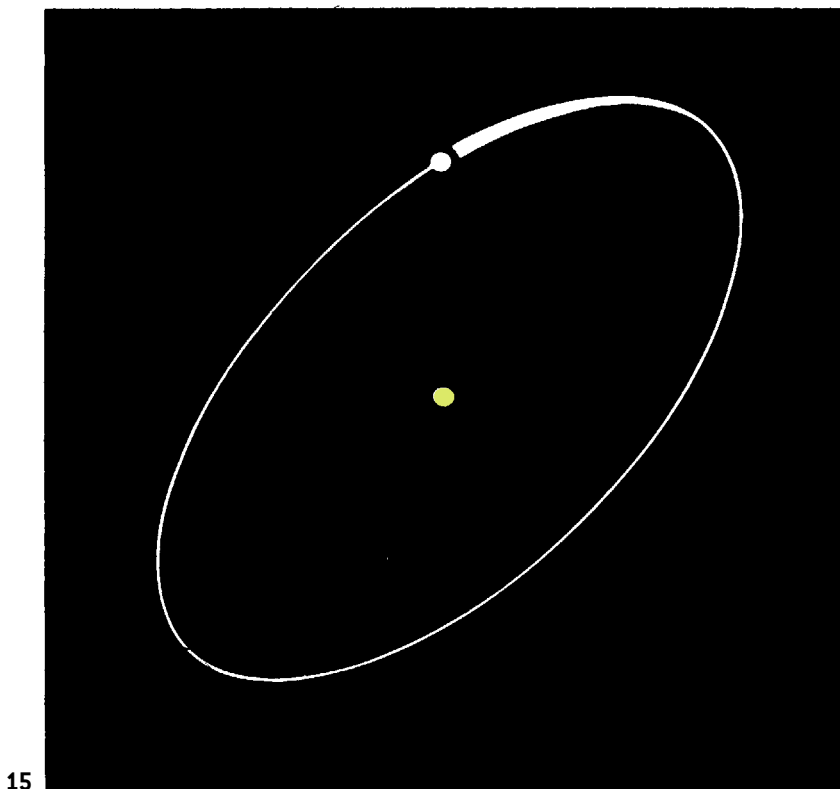
⁽¹⁾ Partie de la physique qui traite des phénomènes relatifs aux corps électrisés, c'est-à-dire aux corps qui ont perdu ou capté des charges électriques.

⁽²⁾ Dans ce cas particulier, le noyau de l'atome est constitué par une seule charge électrique élémentaire positive ou proton.

⁽³⁾ Sauf en physique nucléaire par « bombardement » des noyaux.



La force centrifuge peut compenser la force d'attraction.



Dans l'atome d'hydrogène, l'électron est en orbite autour du noyau.

4. Cohésion des charges électriques atomiques

Les charges électriques de signe contraire s'attirant mutuellement, la distance considérable à l'échelle atomique qui sépare les électrons négatifs du noyau positif peut sembler incompatible avec ce qui vient d'être énoncé car, plus légers que le noyau, les électrons devraient se précipiter vers ce dernier. Puisqu'il n'en est rien, c'est qu'il existe une force contraire qui s'oppose à leur réunion.

Comment cette force prend-elle naissance ?

Pour en saisir à la fois l'origine et les effets, il suffit d'établir un parallèle entre l'infiniment petit et l'infiniment grand. Dans la nature il existe, parmi des millions d'autres, au moins un exemple connu de tous, de deux « infiniment grands » qui ne se précipitent pas l'un vers l'autre, alors qu'une force également prodigieuse les attire, c'est celui de la Terre et de la Lune.

Si la Lune ne « tombe » pas sur la Terre, c'est simplement parce qu'elle tourne autour de notre planète à une vitesse telle que la force centrifuge^[1] résultant de son mouvement giratoire compense l'attraction terrestre.

Il en est d'ailleurs de même avec les satellites artificiels mis en orbite autour de la Terre.

Ainsi nos électrons, tournant à grande vitesse autour du noyau, annulent, par les effets de leur mouvement de rotation, l'attraction exercée par ce dernier.

La vitesse des électrons est si élevée qu'il est impossible de connaître leur position^[2] ; comme les pales d'une hélice d'avion semblent former un disque, ils forment autour du noyau une coquille virtuelle^[3] qui protège tout l'espace inter atomique, et c'est entre autres une des raisons pour laquelle la matière nous apparaît **continue, solide, impénétrable**.

[1] Quand on fait tourner, dans un plan vertical, un récipient plein d'eau, si celle-ci ne tombe pas mais au contraire « s'écrase » au fond du récipient, c'est à cause de la force centrifuge.

[2] Ou plus précisément, il est impossible de connaître à la fois leur vitesse et leur position.

[3] Qui n'a pas de réalité matérielle.

5. Mobilité des électrons

D'une façon générale, les électrons ne se déplacent pas autour du noyau de façon anarchique, mais sur des « orbites » qui sont caractérisées par un niveau d'énergie bien défini.

En clair, cela signifie que les électrons sont liés au noyau et que pour les arracher à ce lien qui les retient prisonniers, il faut fournir une énergie (thermique, mécanique ou électrique) au moins égale à celle qui a été nécessaire pour les assembler.

Sans entrer dans les détails qui sortiraient du cadre de ce document, il faut ajouter que la force d'attraction qui lie les électrons au noyau diminue au fur et à mesure que la distance qui les sépare du noyau augmente.

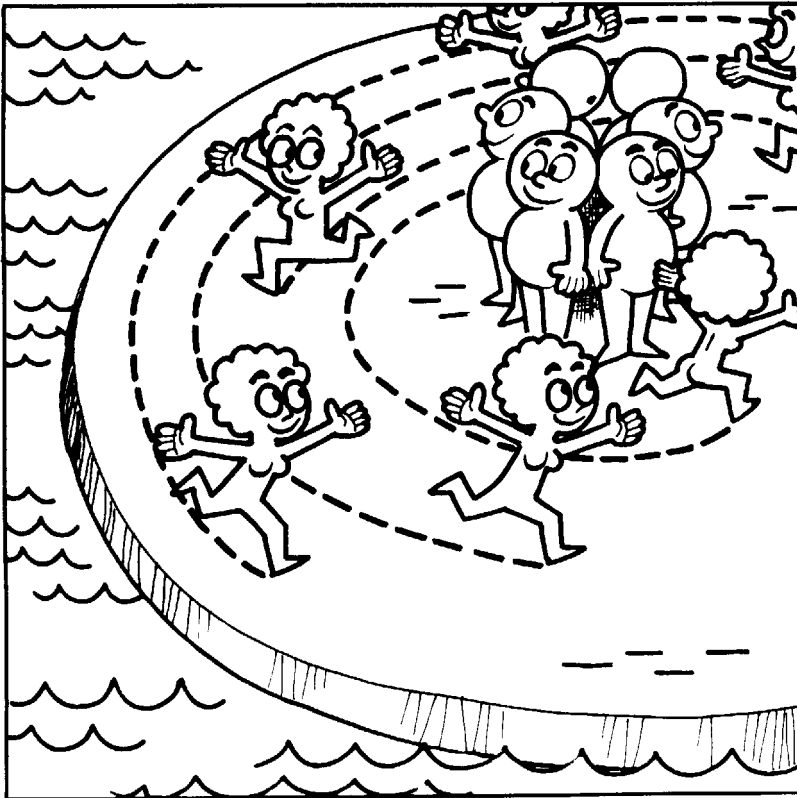
Le nombre d'électrons que doivent comporter ces différentes couches électroniques est égal au double du carré du niveau considéré, soit :

- niveau 1
ou couche K : $\{1\}^2 \times 2 = 2$ électrons
- niveau 2
ou couche L : $\{2\}^2 \times 2 = 8$ électrons
- niveau 3
ou couche M : $\{3\}^2 \times 2 = 18$ électrons.

Les couches suivantes sont rarement complètes, et les corps dont les atomes possèdent 1, 2 ou 3 électrons sur leur couche périphérique peuvent les céder aux atomes d'un corps différent, afin que celui-ci puisse compléter la couche extérieure de ses atomes.

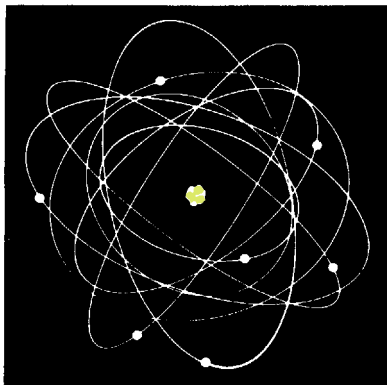
Ce phénomène tient au fait que les électrons isolés sur une orbite externe sont très peu liés au noyau et possèdent par conséquent une relative indépendance qui leur permet, à la température ambiante, de quitter l'atome sans qu'il soit nécessaire de leur fournir de l'énergie ^[1].

16



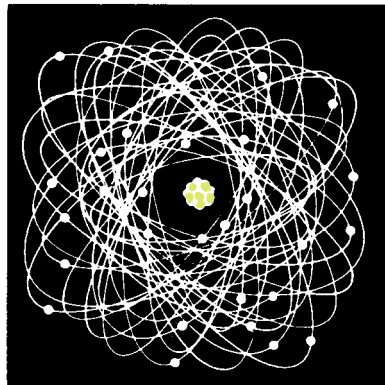
Les électrons d'un atome se déplacent sur des orbites différentes.

17



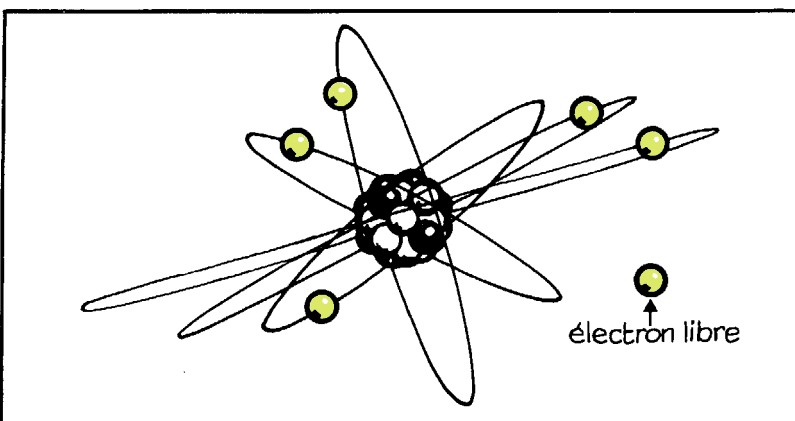
Atome d'oxygène.

18



Atome d'uranium 238.

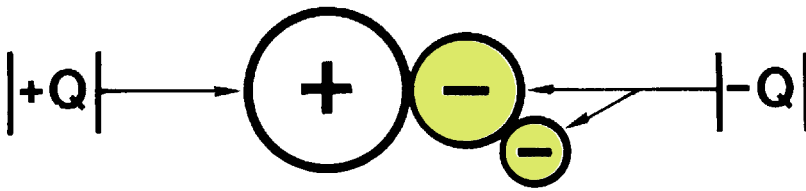
19



Tous les matériaux conducteurs de l'électricité possèdent des électrons libres.

[1] Ce phénomène sera facilité si on fournit aux électrons de l'énergie cinétique avec une source chaude, effet thermoélectronique, ou encore en créant à la surface d'un métal un champ électrique important capable d'attirer les électrons.

20



Représentation schématique des charges électriques d'un atome neutre où $||+Q|| = ||-Q||$.

6. Qu'est-ce qu'un matériau conducteur ?

Pour comprendre ce qui se passe dans les matériaux conducteurs, imaginons par exemple, ce qui est une abstraction, un atome isolé d'un corps simple tel que le cuivre qui comprend n charges électriques élémentaires symétriques $(+q)$ et $(-q)$; sa charge totale est nulle puisque :

$$||n(+q)|| = ||n(-q)||$$

$$||+Q|| = ||-Q||$$

Il peut être symbolisé par trois ensembles distincts (voir fig. 20).

Sa charge électrique négative $||-Q||$ est schématisée par deux symboles séparés ; le plus important représente la totalité, moins une, des charges négatives élémentaires $(-q)$, c'est-à-dire $(n-1)$ fois $(-q)$. Le plus petit représente la charge $(-q)$ non comprise dans le premier symbole. Donc $(n-1)$ fois $(-q)$ et $(-q) = ||-Q||$, ce qui est la condition recherchée pour que l'égalité des valeurs absolues des charges soit respectée $||+Q|| = ||-Q||$.

Ceci étant posé, plaçons un infime fragment de cuivre sous un « microscope » aux performances exceptionnelles ⁽¹⁾, voici la description succincte des observations que l'on pourrait faire :

- les électrons tournent autour des charges positives, ce que nous savions déjà,
- des électrons situés à la périphérie des atomes font preuve d'une totale indépendance vis-à-vis de ceux auxquels ils appartiennent. Tout se passe comme si, du fait du rassemblement des atomes contenus dans cet infime fragment de cuivre, ces électrons périphériques, ou électrons libres, avaient acquis une complète liberté qui leur permettrait de s'affranchir définitivement de la tutelle de leurs atomes,
- le déplacement des électrons libres s'effectue au hasard et dans toutes les directions ; aucun atome n'est privilégié et tous sont affectés par le phénomène.

Ces atomes ayant perdu une charge élémentaire négative $(-q)$, leur charge positive totale $||+Q||$ devient prépondérante par rapport à leur charge négative totale qui devient :

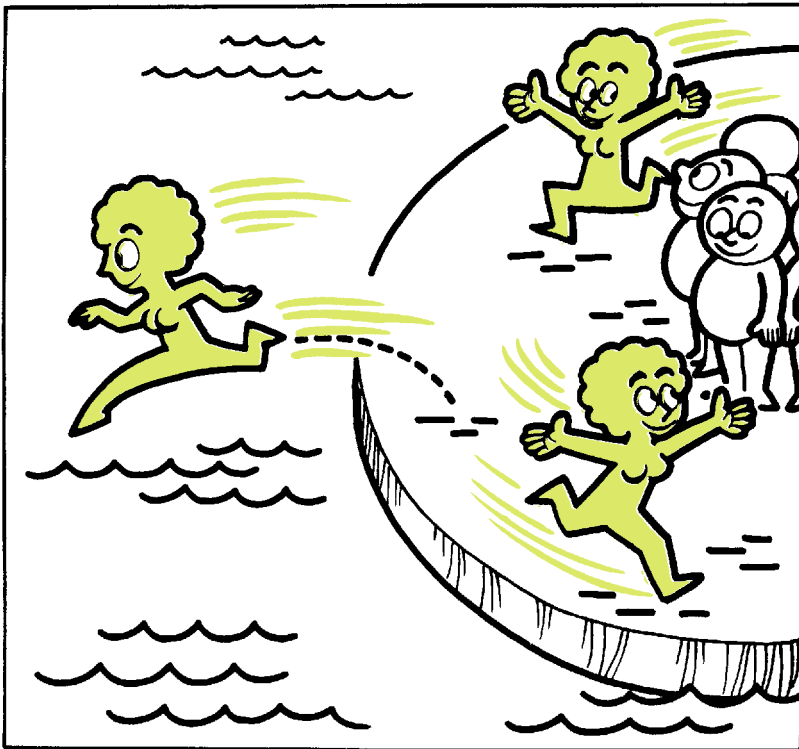
$$||-Q''|| = ||-Q|| - ||-q|| \text{ d'où :}$$

$$||+Q|| > ||-Q''|| \text{ (2)}$$

ce qui correspond à la définition d'un ion positif.

On peut donc dire qu'un matériau conducteur de l'électricité est constitué d'ions positifs entre lesquels circulent des **électrons libres**.

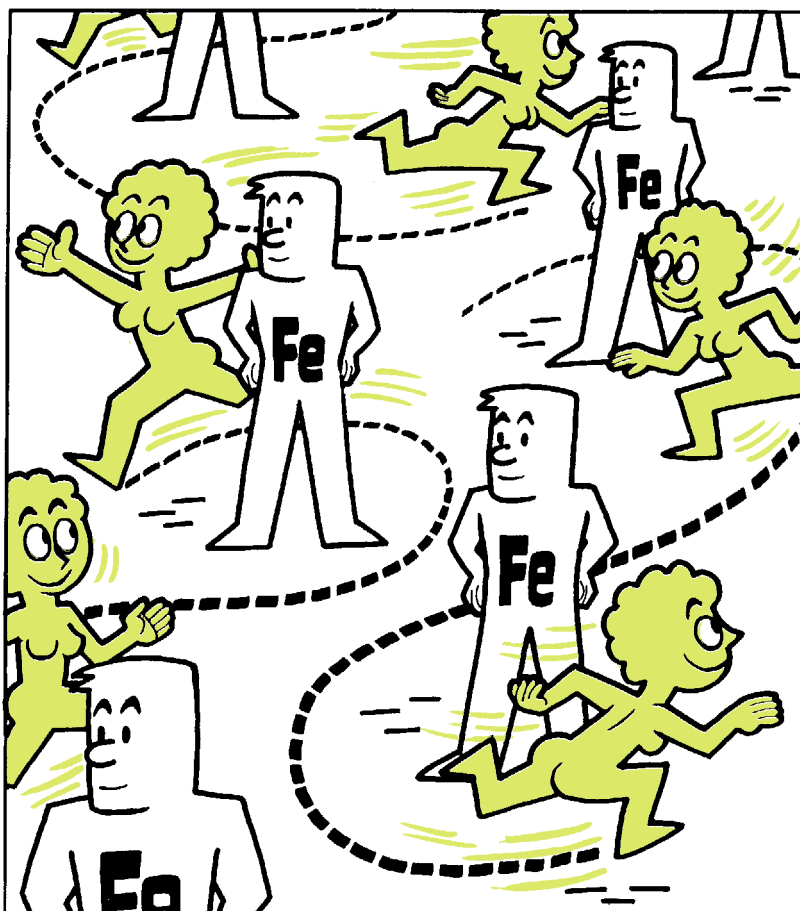
21



Dans un métal tel que le cuivre, certaines charges négatives quittent volontiers les atomes auxquels elles appartiennent. Ces charges électriques, qui se déplacent constamment à l'intérieur du matériau, sont des électrons libres.

[1] Ce microscope est évidemment imaginaire, aucun appareil d'optique ne nous permettra de différencier les composants d'un atome.

[2] Le symbole $>$ signifie : plus grand que... Le symbole $<$ signifie : plus petit que...



22.

La matière solide conductrice de l'électricité est constituée d'ions positifs entre lesquels circulent des électrons libres.

Ces propriétés qui caractérisent tous les matériaux conducteurs sont essentielles ; sans elles, le courant électrique ne pourrait exister.

Si cette aptitude particulière est nécessaire, on verra néanmoins qu'elle n'est pas suffisante pour donner naissance, au sein d'un conducteur, à un courant électrique.

Parmi les conducteurs électriques, on peut citer : le cuivre, l'aluminium, le fer... tous les métaux.

Remarques

Le corps humain qui contient en suspension dans le sang et dans les tissus musculaires des sels divers, par exemple les chlorures de potassium, de sodium, de magnésium, qui sont tous des conducteurs de l'électricité, peut être assimilé, du fait des propriétés de ses composants chimiques, à un conducteur électrique.

De même, la Terre qui renferme des métaux, soit à l'état pur, soit sous forme de minerais, ainsi que des chlorures et divers produits chimiques conducteurs, doit être considérée à la fois :

- comme un conducteur électrique,
- comme un immense réservoir d'électrons libres en raison du nombre considérable de corps conducteurs qu'elle contient.

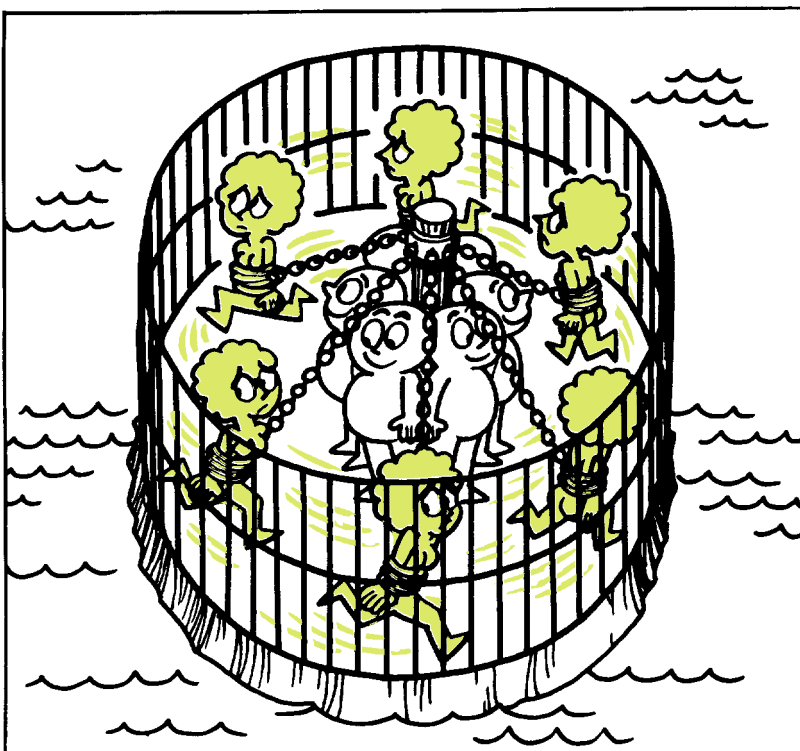
7. Qu'est-ce qu'un isolant électrique ?

Contrairement aux matériaux conducteurs, les atomes des isolants ne possèdent pas d'électrons libres ; la force d'attraction des charges positives du noyau est telle que tous les électrons, y compris les électrons périphériques, sont littéralement prisonniers de l'atome.

Il n'y a pas possibilité de transfert de charges électriques entre les atomes voisins.

Comme cette dernière particularité est indispensable pour donner naissance à un courant électrique dans un matériau, c'est la raison pour laquelle les isolants ne conduisent pas l'électricité.

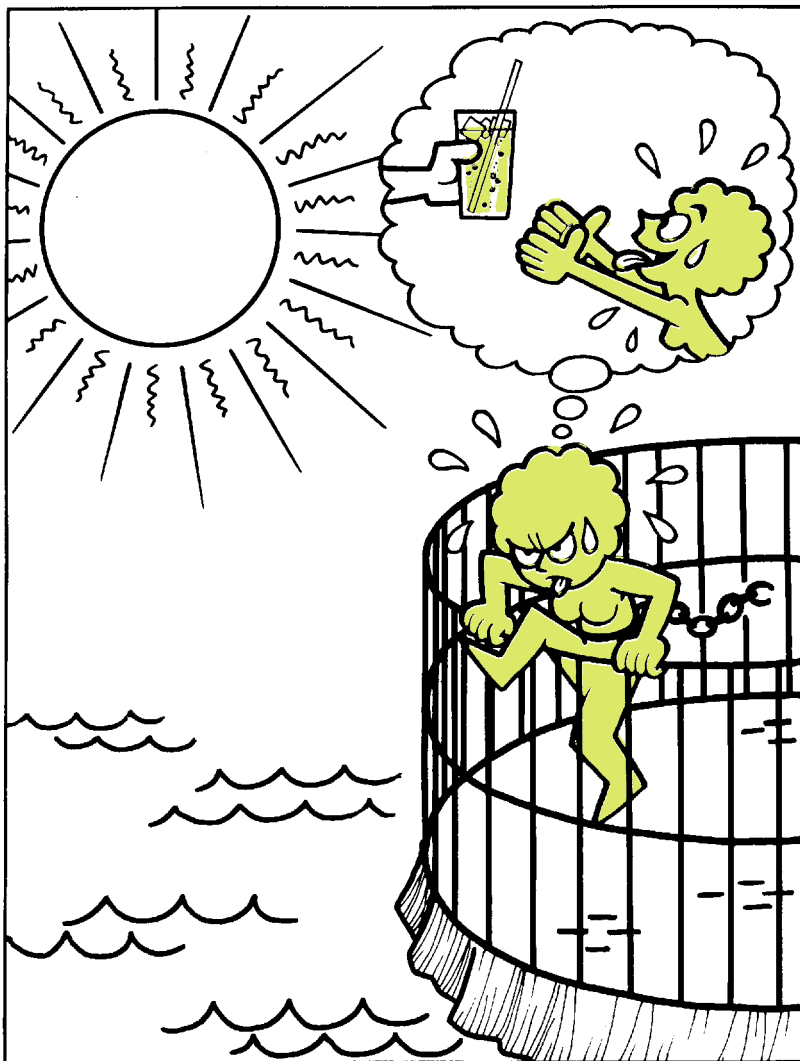
Cependant, de même qu'il n'existe pas de conducteur parfait, c'est-à-dire sans résistance électrique (voir la résistance électrique), le meilleur des isolants peut, dans certaines circonstances, se comporter comme un conducteur dont la conductibilité^[1] s'avérerait simplement médiocre.



23

Les électrons des atomes qui constituent les corps isolants sont prisonniers des noyaux.

[1] Propriété qu'ont certains corps de conduire l'électricité (d'où le terme : conducteur électrique). Tous les bons conducteurs électriques ont une conductibilité élevée.



Une température élevée peut changer les propriétés électriques des atomes d'un corps isolant.

Ce passage de l'état de bon isolant à celui de mauvais conducteur peut être favorisé par le fait :

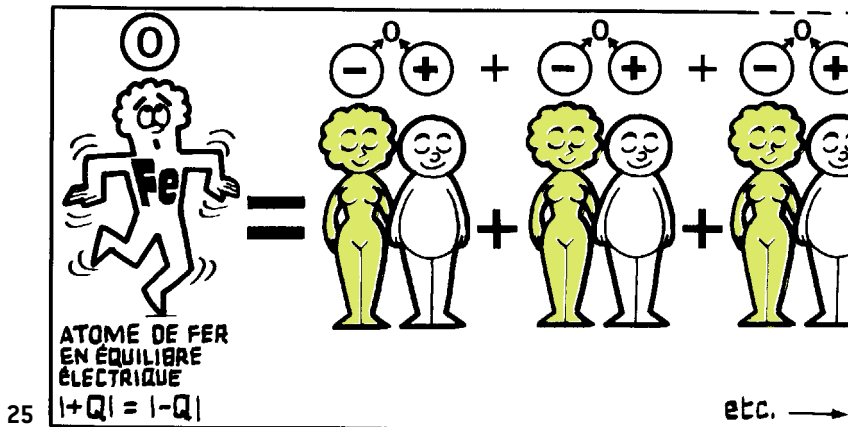
- que l'isolant peut renfermer dans sa masse des impuretés conductrices génératrices d'électrons libres,
- que sous l'effet d'une tension électrique importante (voir la tension électrique), les forces qui lient les électrons au noyau des atomes d'isolant peuvent être annihilées en partie, tout au moins en ce qui concerne les électrons périphériques.

Cette qualité d'isolation peut également se détériorer sous l'influence d'actions extérieures diverses :

- effet des températures élevées, qui modifient au cours du temps les propriétés chimiques de certains isolants et par conséquent leurs propriétés électriques,
- effet de l'humidité (l'eau impure est conductrice) ou de produits chimiques qui peuvent les recouvrir ou les imprégner en partie et supprimer momentanément leur propriété d'isolation,
- effets mécaniques (torsion, écrasement, cisaillement) qui entament ou détériorent l'isolant dans sa masse.

Parmi les isolants les plus connus, citons : l'air, le caoutchouc synthétique, les matières plastiques, la porcelaine, le verre, etc.

2 Qu'est-ce que l'électricité ?



n charges électriques $|q_+| = |Q_+|$
 et n charges électriques $|q_-| = |Q_-|$

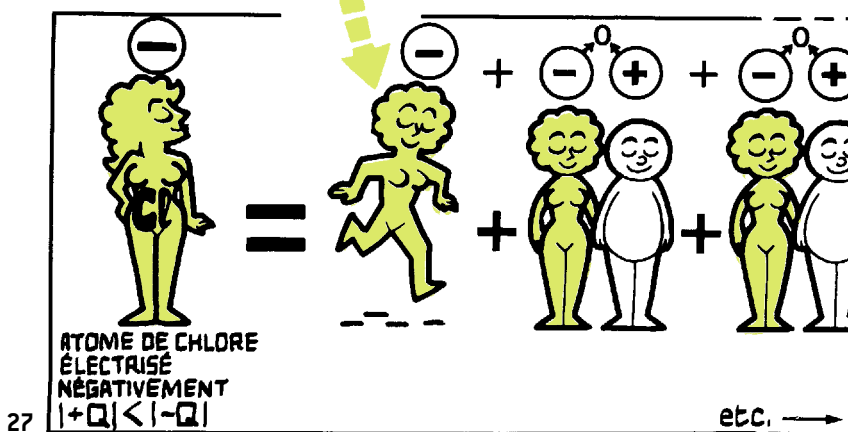
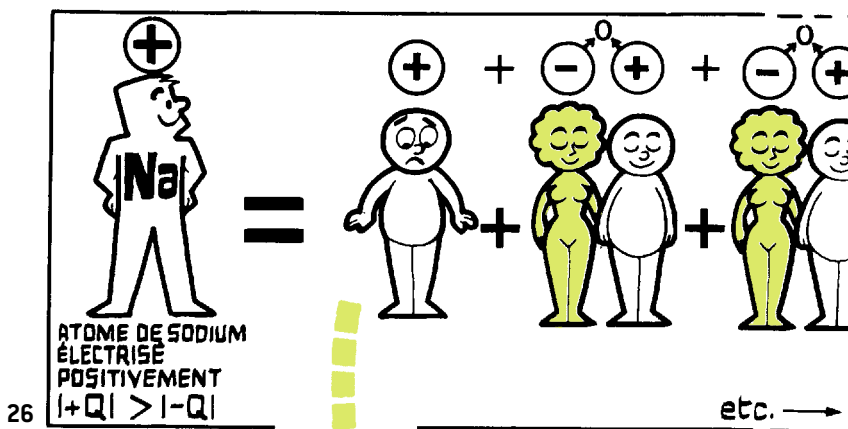


fig. 26 : n charges électriques $|q_+| = |Q_+|$
 et (n - 1) charges électriques $|q_-| = |Q_-| - |q_+|$
 fig. 27 : n charges électriques $|q_+| = |Q_+|$
 et (n + 1) charges électriques $|q_-| = |Q_-| + |q_+|$

1. Électrisation d'un atome

Tous les atomes, qu'ils appartiennent à un corps isolant ou conducteur, possèdent des électrons périphériques ; ce sont les plus sensibles aux actions ou influences extérieures.

Sous l'action d'une force, dont l'origine peut être mécanique (frottement l'un contre l'autre de deux matériaux différents), sous l'effet d'une réaction chimique, d'une influence magnétique ou électrostatique, il est possible d'extraire d'un atome un ou plusieurs électrons périphériques.

Les charges électriques positives devenant prépondérantes, l'atome est en déséquilibre électrique ; il est électrisé positivement.

$$|+Q| > |-Q|$$

Inversement, quand un atome a réussi à capter et à conserver un ou plusieurs électrons, l'ensemble des charges électriques négatives l'emporte sur les charges électriques positives et l'atome est électrisé négativement.

$$|+Q| < |-Q|$$

2. Électrisation d'un corps

Par extension à l'électrisation possible des atomes qui composent toutes choses, un matériau, un corps quelconque, sera électrisé lorsque quelques-uns des atomes qui le composent auront soit capté, soit cédé un ou plusieurs électrons, et il sera d'autant plus électrisé que ce nombre d'électrons captés ou cédés par le matériau sera plus grand.

On dit alors que ce corps possède une **charge électrique** : il a emmagasiné une quantité d'électricité proportionnelle au nombre d'électrons gagnés ou perdus.

Comment peut-on procéder pour emmagasiner de l'électricité dans un matériau ? C'est ce que nous allons montrer avec l'électricité statique.

3. L'électricité statique

On vient de voir que, pour électriser un corps, il suffisait de contraindre un ou plusieurs électrons à quitter momentanément leurs atomes ou amener quelques atomes à capter un ou plusieurs électrons supplémentaires.

Pour obtenir ce résultat, il faut donc inciter un certain nombre d'électrons, contenus dans la matière constituant le corps en question, à se déplacer, et ce, au moyen d'une énergie susceptible de provoquer ces déplacements.

Avec les isolants ⁽¹⁾, la source principale d'énergie qui permettra d'accumuler de l'électricité est d'origine mécanique, c'est ainsi qu'en frottant l'une contre l'autre deux matières isolantes, telles l'ébonite et la fourrure, on contraint une partie des électrons contenus dans la fourrure à quitter leurs atomes et à s'accumuler sur le bâton d'ébonite.

Pérennité des charges électriques

Lorsqu'un ajusteur lime un morceau de métal pour l'ajuster aux cotes désirées, il lui arrache des milliers de particules métalliques dont chacune est constituée de milliards d'atomes. Si l'on se souvient que la matière est indestructible, il est aisé de comprendre que le poids de la pièce avant l'opération ne peut être différent de celui de la pièce terminée augmenté du poids de tous les copeaux ou limailles de métal que l'ajusteur lui a retirés pour l'amener aux cotes voulues.

En frottant la fourrure avec le bâton d'ébonite, le phénomène est identique, et la seule différence provient du fait que l'on a soustrait à la matière non pas des particules, ni mêmes des atomes, mais simplement des électrons.

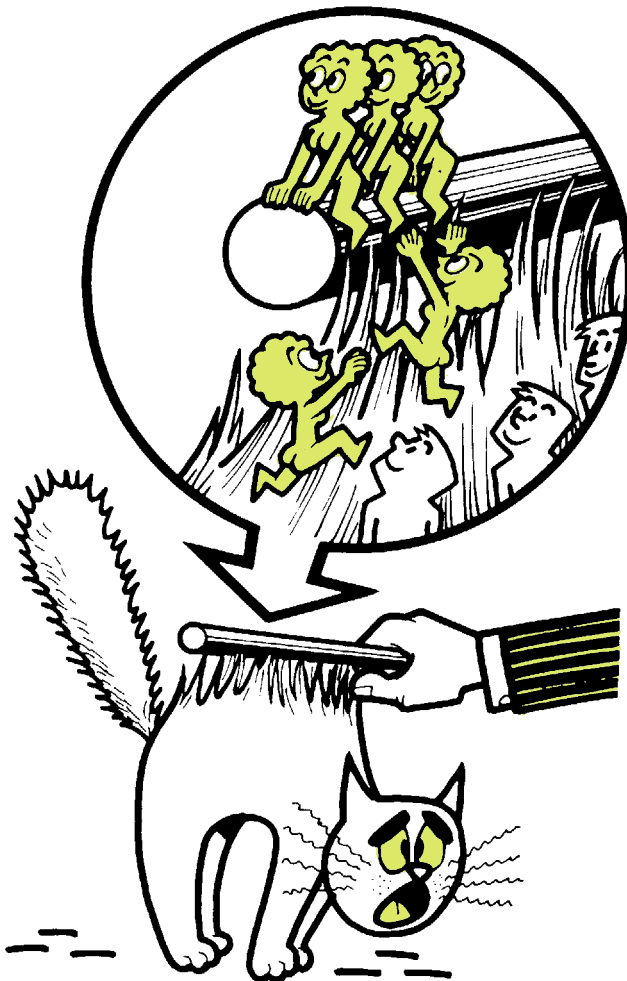
Ces charges négatives, qui sont des constituants de la fourrure, ne pouvant ni être détruites, ni disparaître [comme la limaille de métal], vont se fixer ⁽²⁾ sur le matériau susceptible de les accepter, en l'occurrence sur l'ébonite.

Les quelques atomes de fourrure, qui auront cédé chacun un ou plusieurs électrons, seront chargés positivement, et ils resteront dans cet état jusqu'au moment où ils auront l'occasion de récupérer la même quantité d'électrons qu'ils ont perdue pour retrouver leur état d'équilibre.

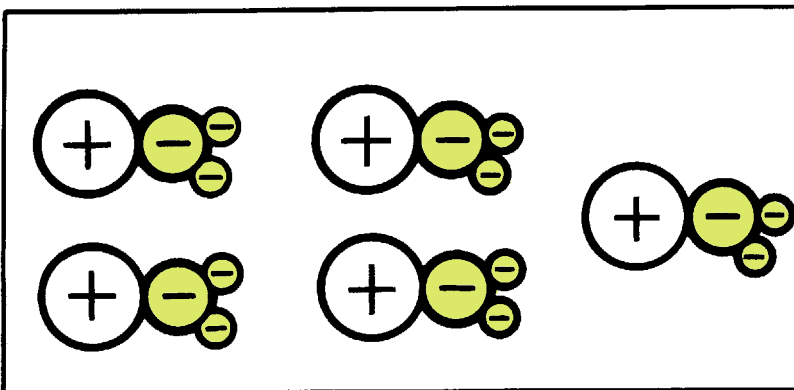
Quant aux atomes d'ébonite qui ont accepté des électrons supplémentaires provenant de la fourrure, ils seront chargés négativement.

⁽¹⁾ Avec les matériaux conducteurs isolés de la terre, on utilise d'autres procédés, leur description ne favoriserait en rien la compréhension des phénomènes électriques.

⁽²⁾ Une étude plus complète de ces phénomènes montrera qu'il existe des corps chimiques qui se séparent facilement de leurs électrons périphériques alors que d'autres corps, non seulement gardent les leurs, mais en plus ont une tendance marquée à prendre ceux des corps voisins [cette propriété est utilisée dans les semi-conducteurs ou transistors].

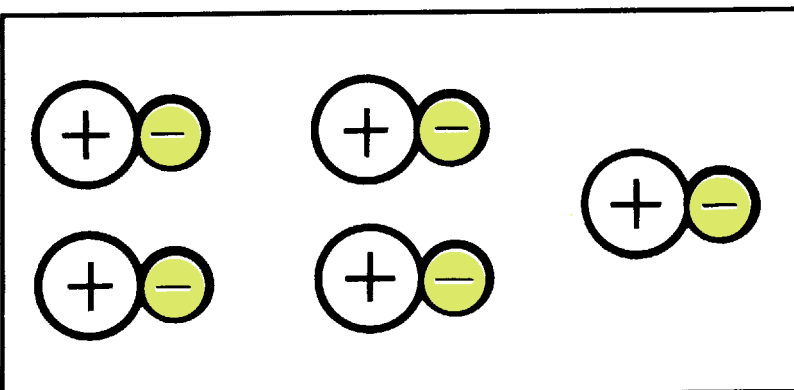


28



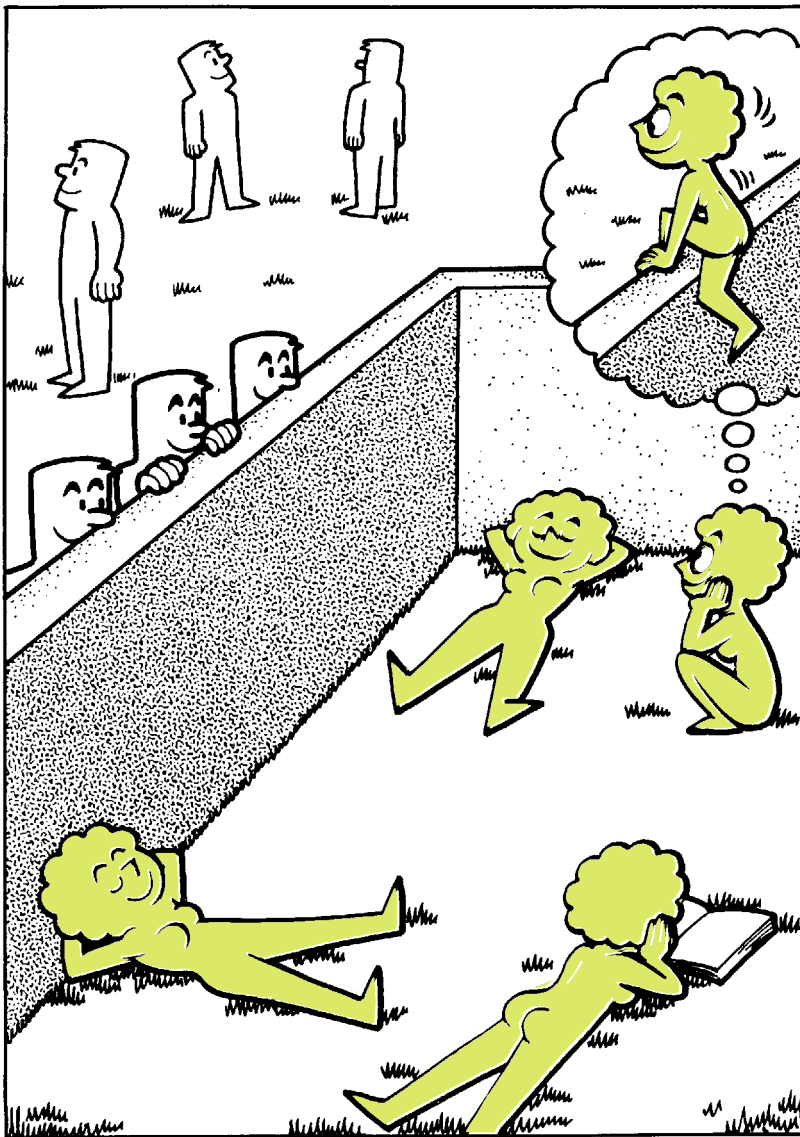
29

Après frottement, l'ébonite a récupéré des électrons provenant de la fourrure. Elle est chargée négativement (voir fig. 28).



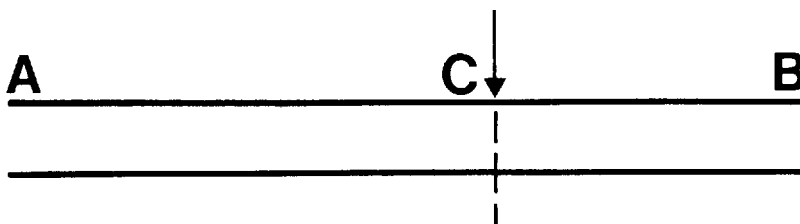
30

Après frottement, la fourrure a perdu des électrons au profit de l'ébonite. Elle est chargée positivement.

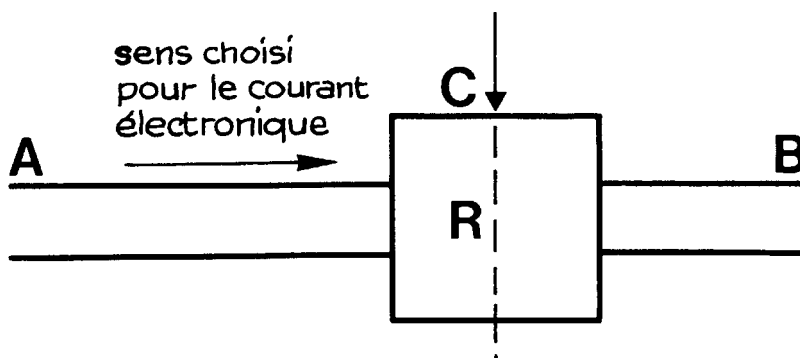


31

Les charges électriques statiques demeurent plus ou moins longtemps à l'endroit où elles ont été assemblées.



32



33

Ces charges, tant positives que négatives, demeureront momentanément^[3] à l'endroit où elles ont été formées, c'est-à-dire sur la surface des corps en présence.

Cette double propriété, permanence et immobilité, conduit à donner à ces charges le nom de charges statiques de surface. Par extension on dira que ces matériaux ont accumulé de l'électricité statique.

Les quantités d'électricité statique emmagasinées par frottement ou autres procédés sont toujours très faibles, et il est totalement exclu de pouvoir produire, par ces moyens, de l'énergie électrique en quantité suffisante pour l'utiliser industriellement, sauf applications spécifiques (peinture, talcage, flochage, dépoussiérage, etc.).

[3] Quelques secondes ou quelques minutes, voire plusieurs jours ou plusieurs mois, exceptionnellement plus d'une année.

4. L'électricité dynamique

D'après les observations précédentes, on a pu remarquer que dans un conducteur les électrons libres se déplacent dans toutes les directions possibles, c'est-à-dire dans un volume, et la somme des courants électriques (voir définition page 26) relatifs à ces déplacements est nulle.

Pour pouvoir utiliser ces déplacements, qui représentent de l'énergie électrique, il est donc nécessaire d'orienter ces « grains d'électricité » dans une même direction afin de les utiliser dans un dispositif, le récepteur, qui transformera l'énergie électrique :

- soit en énergie lumineuse (ampoule ou tube fluorescent),
- soit en énergie thermique (radiateur électrique),
- soit en énergie mécanique (moteur électrique),
- etc.

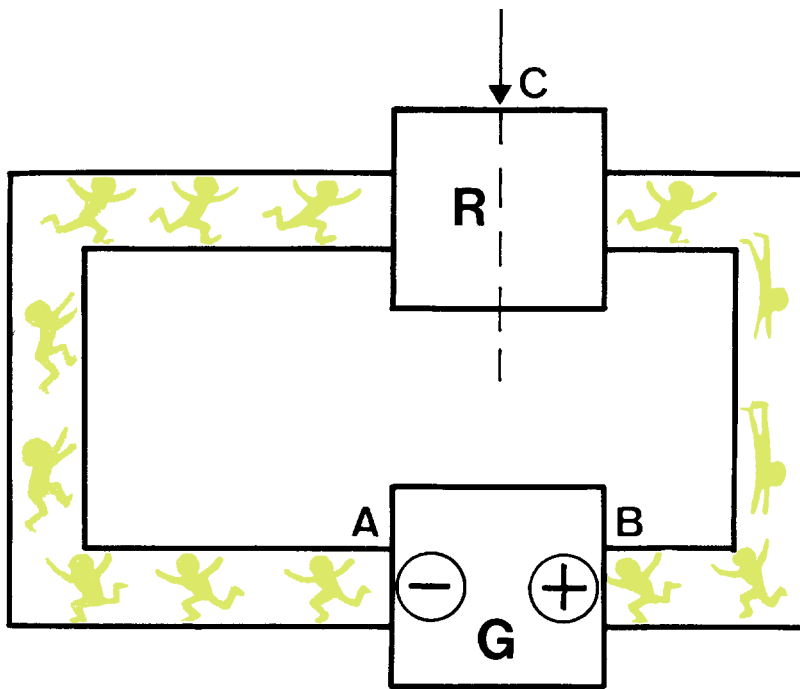
Comment y parvenir ?

Considérons un conducteur électrique de longueur et de section quelconques, simplement défini par ses extrémités A et B [fig. 32].

Étant donné que tous les atomes qu'il renferme sont en équilibre électrique (voir page 12), tous les points situés sur sa surface et dans son volume sont eux-mêmes en équilibre et la charge électrique totale du conducteur est nulle.

Interrompons le conducteur AB en un point C et entre les tronçons AC et CB intercalons un récepteur R qui deviendra le point d'utilisation des charges ; on adoptera le sens $\overrightarrow{ACB}$ comme sens de circulation du flux électronique.

34



Les points A et B du conducteur de la figure sont ramenés aux bornes $\ominus$ et $\oplus$ du générateur G. Seuls les électrons sont représentés.

Pour satisfaire aux exigences précédemment énoncées, il faut trouver un moyen pour contraindre les électrons situés dans la portion du conducteur AC à se diriger du point A vers le point C.

Ce moyen consiste à raccorder les extrémités A et B du conducteur aux bornes d'un appareil particulier appelé générateur électrique, tel une pile électrique, qui précisément possède la propriété d'exercer un pouvoir attractif ou répulsif, suivant le sens considéré, sur tous ces électrons libres qui jusqu'alors se déplaçaient sans la moindre contrainte au gré de leur fantaisie.

On constate que ce pouvoir attractif ne s'exerce dans le sens désiré $\overrightarrow{AC}$ qu'à la condition que l'extrémité A du conducteur soit réunie à une borne particulière du générateur, c'est la raison pour laquelle ces bornes sont différenciées $\oplus$ et $\ominus$ dans les générateurs tels que les piles ou les dynamos. Si cette règle est respectée, en l'occurrence l'extrémité A du conducteur réunie à la borne $\ominus$ du générateur et l'extrémité B à la borne $\oplus$, les électrons libres qui se déplaçaient quelques instants auparavant dans toutes les directions vont se diriger vers le récepteur dans le sens $\overrightarrow{AC}$.

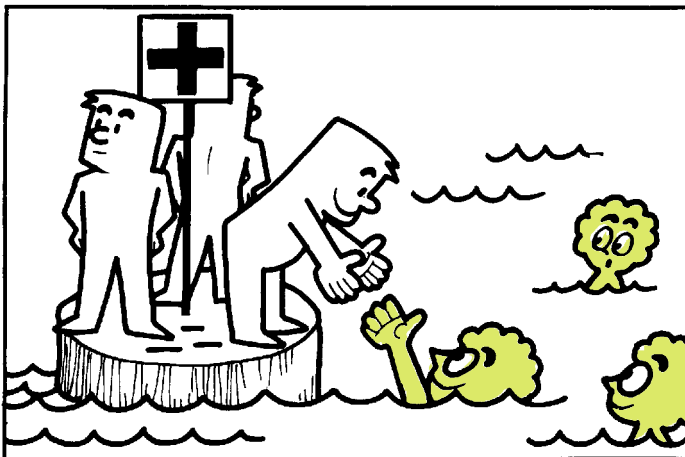
Dès cet instant, en orientant le déplacement des électrons dans un seul sens, on crée à l'intérieur du conducteur un flot continu d'électrons libres ou flux électronique, et, par extension, un **courant électrique**.

D'où la différence fondamentale qui existe entre l'électricité statique, où tous les phénomènes électriques sont figés dans un intervalle de temps plus ou moins long, et l'électricité dynamique **qui résulte du déplacement permanent des charges à l'intérieur des conducteurs**.

Comment ce courant prend-il naissance ?

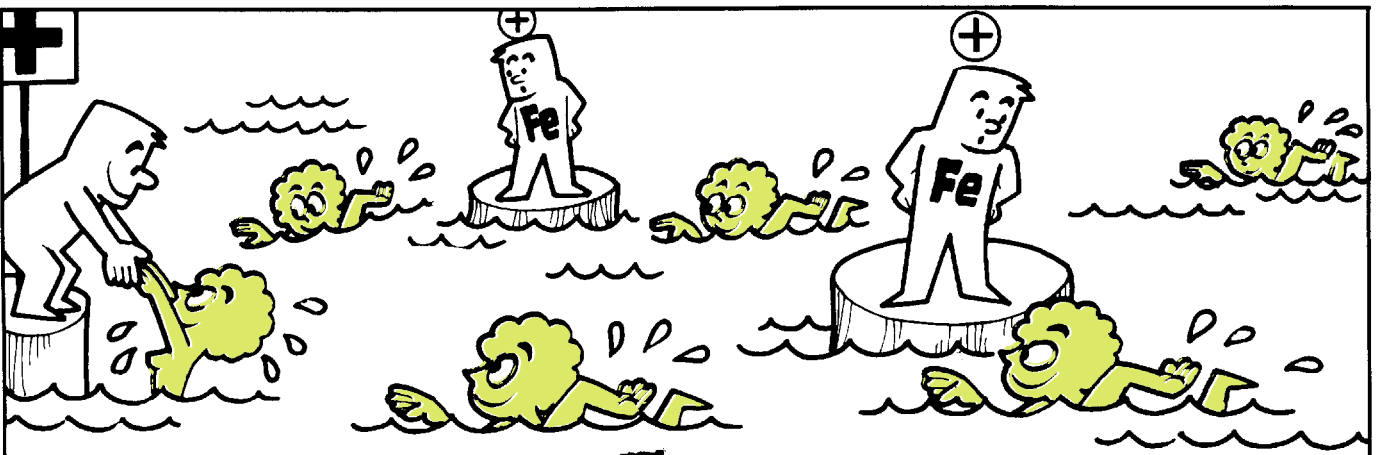
Le générateur, qui transforme l'énergie chimique [pile, accumulateur] ou dynamique [dynamo, alternateur] en énergie électrique, possède la propriété de générer des charges négatives sur sa borne $\ominus$ et d'après la règle énoncée en page 13 des charges positives sur sa borne $\oplus$.

35



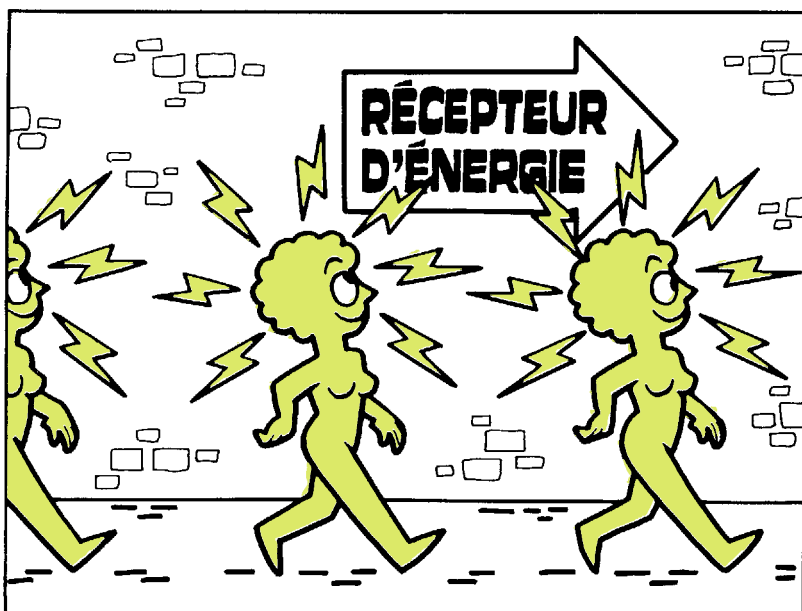
Lorsqu'un conducteur électrique est connecté aux bornes d'un générateur, les charges positives accumulées sur la borne $\oplus$ du générateur attirent les électrons libres contenus dans ce conducteur. Cette attraction s'exerce tout d'abord sur les électrons les plus voisins...

36



... puis se répercute de proche en proche sur tous les électrons libres présents dans le conducteur...

37



Dans les corps solides conducteurs, le flux électronique transporte l'énergie électrique.

C'est précisément cette dissymétrie, qui correspond d'ailleurs à la définition de l'électrisation d'un corps [voir page 19], qui permet d'expliquer l'origine du courant dans le conducteur AB.

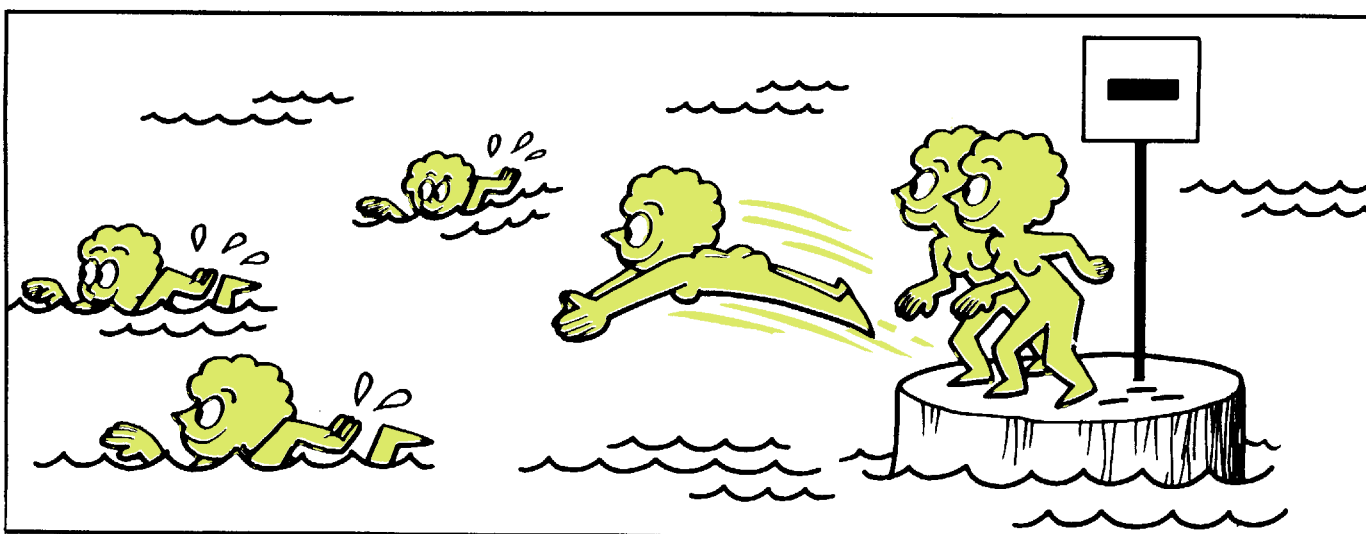
En effet, dès l'instant où le fil conducteur est raccordé aux bornes du générateur, tous les électrons libres voisins de la borne $\oplus$, en fait ceux qui sont situés en B, sont attirés vers la charge positive, ce qui crée localement, à l'échelon électronique, un déséquilibre électrique dans le conducteur.

Pour compenser ce déséquilibre local, les électrons libres voisins de ce point vont à leur tour être attirés par la présence de ces « trous », et le phénomène se propage de proche en proche jusqu'au point C pour finalement affecter tout le conducteur et contraindre les électrons libres, qui se trouvent entre A et C, à pénétrer dans le récepteur.

En provoquant ce mouvement continu d'électrons de A vers C et de C vers B, on a aussi créé dans le conducteur un flux d'électrons ⁽¹⁾ ou un **courant électrique**.

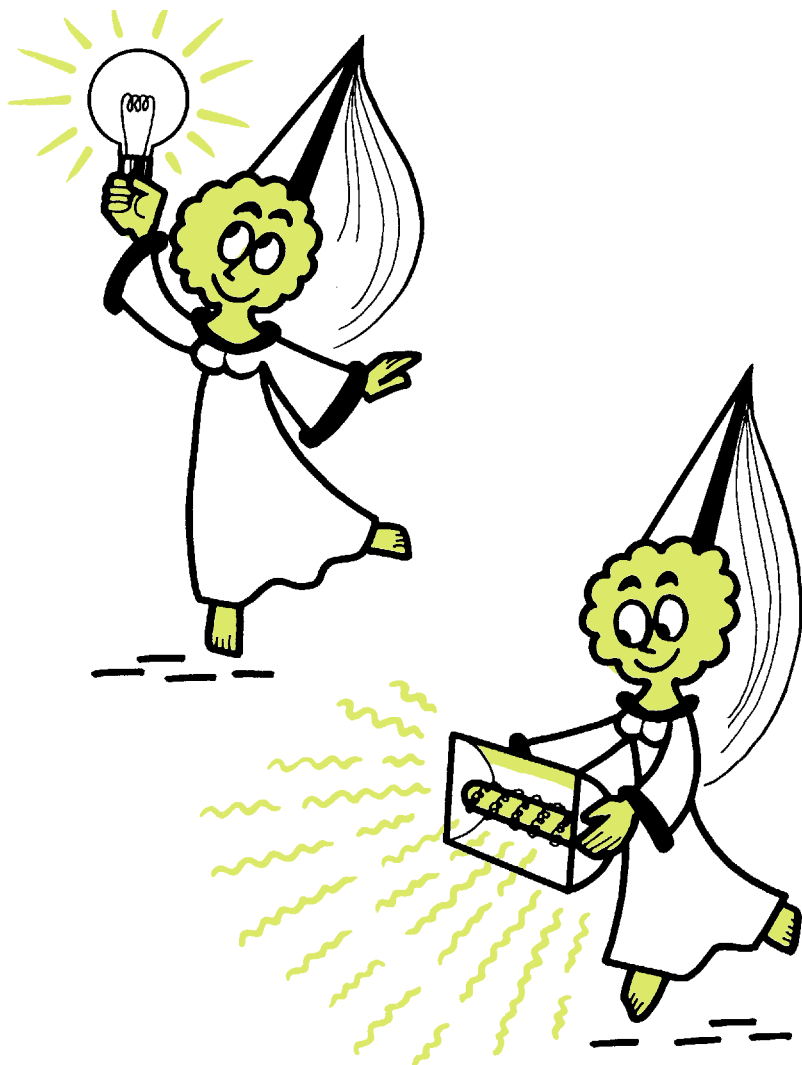
[1] Dans un matériau conducteur, la vitesse de déplacement des électrons libres est ridiculement faible par rapport à la vitesse d'établissement du courant électrique qui est comparable à celle de la lumière. Cette vitesse d'établissement correspond en fait à la propagation quasi instantanée des phénomènes d'attractions successives que nous avons évoqués plus haut.

38



... jusqu'à la borne $\ominus$ du générateur, et c'est l'ensemble de ces déplacements d'électrons libres qui constitue le courant électrique. L'intensité du courant électrique s'exprime en ampères et en milliampères.

3 Les générateurs électriques



L'énergie électrique est susceptible de se transformer :

- en lumière dans les appareils d'éclairage,
- en chaleur dans les appareils de chauffage électrique,
- en énergie mécanique dans les moteurs électriques.

Mais encore faut-il qu'un courant électrique existe.

Pour ce faire, il faut un appareil capable :

- d'attirer les électrons libres contenus dans les conducteurs vers sa borne positive,
- de redonner à ces charges l'énergie qu'elles ont fournie au récepteur ^[1],
- de les réinjecter dans le récepteur par sa borne négative et d'assurer ainsi une circulation continue de charges électriques malgré la résistance qui leur est offerte tout au long de leur parcours.

Cet appareil est un **générateur électrique**.

La permanence de la faculté de transfert des charges d'une extrémité à l'autre d'un conducteur ou d'un récepteur est fonction :

- de la forme d'énergie transformée par le générateur,
- des caractéristiques du générateur pour une source d'énergie déterminée,
- du nombre de charges transférées dans le temps.

Ces générateurs électriques peuvent présenter des aspects différents, par exemple :

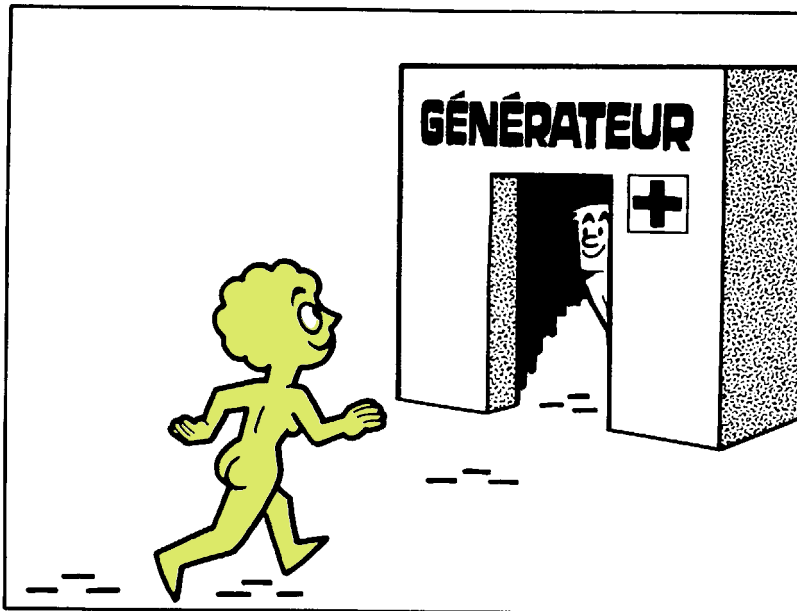
- la pile de la lampe de poche,
- la batterie au plomb qui équipe les automobiles,
- l'alternateur dont le courant électrique produit aboutit, après les transformations successives, à la « prise de courant ».

Le simple fait d'être traversé par le courant électrique implique que tous ces générateurs, statiques ou tournants, soient constitués d'éléments conducteurs qui comme tels ne sont jamais parfaits. Ces générateurs possèdent donc une résistance électrique propre (résistance interne) qui limite leurs possibilités et par conséquent leurs conditions d'utilisation (voir la résistance électrique).

Parmi les types de générateurs électriques existants, nous ne retiendrons que les générateurs électrochimiques et les générateurs électromagnétiques.

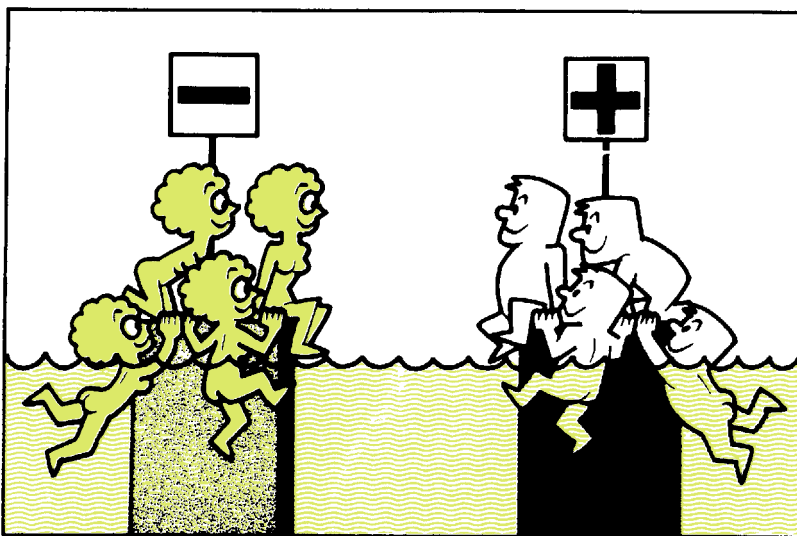
[1] Cette propriété est spécifique des générateurs tournants.

40



L'appareil capable d'attirer les électrons libres contenus dans les conducteurs est un « générateur électrique ».

41



Un générateur électrique a, entre autres, la propriété d'accumuler des charges positives sur sa borne $\oplus$ et des charges négatives sur sa borne $\ominus$. Dans ce cas, il est dit « sous tension ».

1. Générateurs électrochimiques

Les plus courants sont la pile électrique et l'accumulateur électrique.

Pile électrique

Elle est essentiellement constituée de deux éléments conducteurs ou électrodes de nature différente, par exemple cuivre et zinc, ou charbon et zinc, qui sont plongés dans une solution chimique liquide (électrolyte), ou semi-solide (électrolyte pâteux).

Dans cette solution se produisent des réactions chimiques qui ont pour effet de générer des charges négatives sur la plaque de zinc et des charges positives sur l'électrode de cuivre ou de charbon. Cette réaction se produit spontanément par dégradation du zinc, sans apport d'énergie extérieure, ce qui veut dire que la pile n'a pas besoin d'être « chargée » préalablement.

À cause de leur faible réserve d'énergie électrique, ces piles s'épuisent assez rapidement ; en outre, leur conception ne permet pas qu'elles soient rechargées au moyen d'une source électrique auxiliaire.

Accumulateur au plomb

Il est constitué de deux ensembles de plaques (les électrodes) qui baignent dans de l'eau acidulée.

Contrairement à la pile, l'accumulateur a besoin d'être chargé. Pendant la « charge », qui consiste à raccorder un autre générateur électrique aux bornes de l'accumulateur, ce dernier va se comporter comme un récepteur. Le courant électrique qu'il reçoit amorce une réaction chimique qui aura pour effet de créer des charges électriques positives et négatives aux bornes de l'accumulateur. Une fois chargé, il se comporte comme un générateur et il est à même de délivrer des charges électriques jusqu'à épuisement de ses réserves d'énergie électrochimique. Ensuite, il pourra être rechargé.

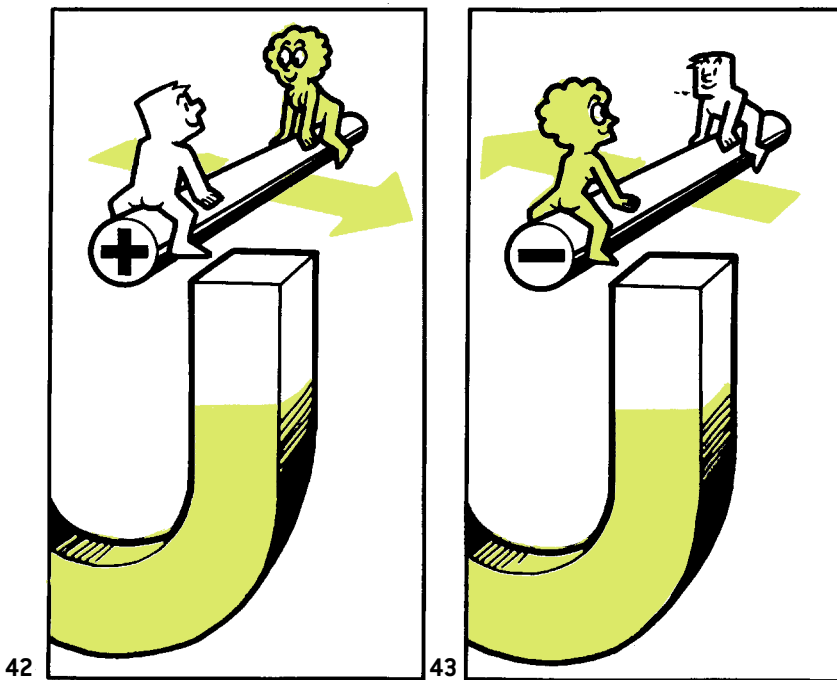
La résistance interne d'un accumulateur est très faible, aussi peut-il délivrer une grande quantité de charges pendant des instants très brefs, alors que, pendant ces instants, sa tension électrique se maintient entre ses bornes (voir la tension électrique).

Pile et accumulateur sont des **générateurs à courant continu**.

2. Générateurs électromagnétiques

Ils constituent le groupe des générateurs qui sont généralement tournants. Pour simplifier leur description, nous associerons dans un même principe de fonctionnement les générateurs à courant continu et les générateurs à courant alternatif⁽¹⁾.

⁽¹⁾ En matière de prévention des accidents d'origine électrique, cette assimilation ne présente aucun inconvénient.



Pour créer un courant alternatif dans un conducteur électrique, il suffit de déplacer rapidement, en une succession d'allers-retours, ce conducteur à proximité des pôles d'un aimant.

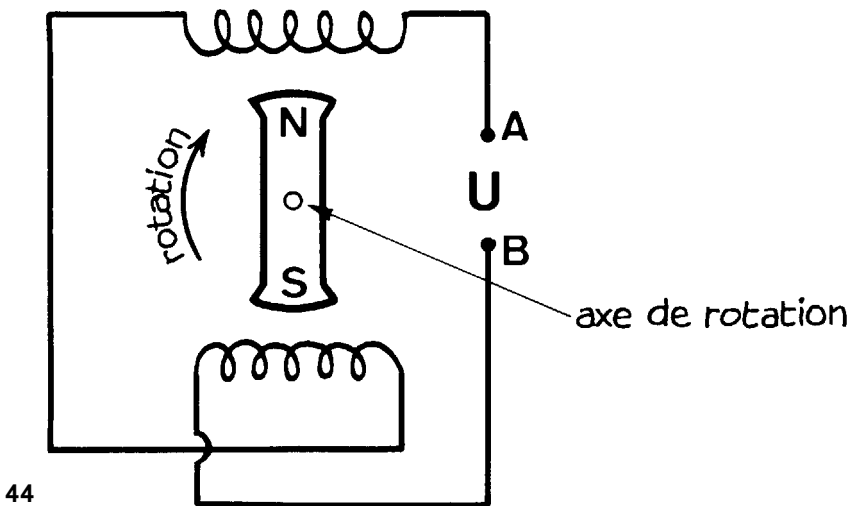


Schéma de principe d'un alternateur monophasé.

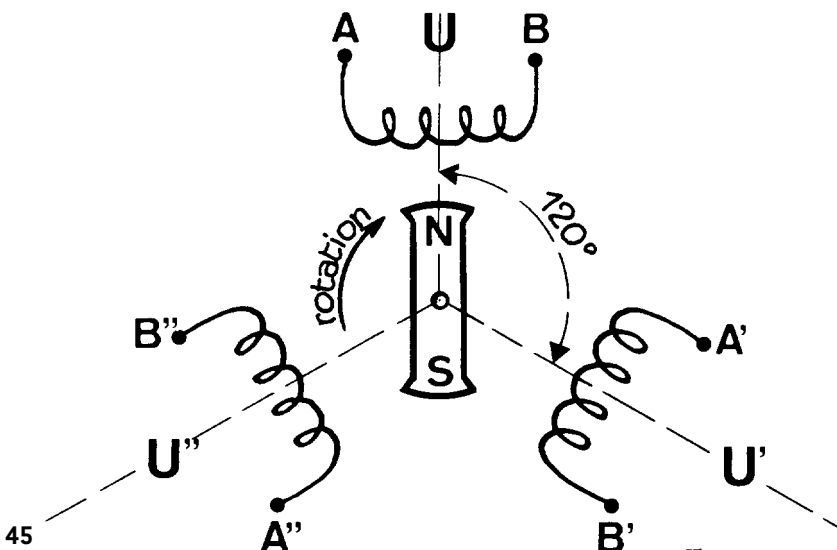


Schéma de principe d'un alternateur triphasé.

Principe des générateurs de courant alternatif monophasés

Une expérience simple, qui consiste à mouvoir rapidement en une succession d'allers-retours un conducteur électrique à proximité d'un aimant ou un aimant à proximité d'un conducteur, montre qu'il est possible de déplacer les électrons libres contenus dans ce conducteur et de les accumuler à l'une de ses extrémités qui devient négative, alors que l'autre, d'après les règles d'équilibre précédemment énoncées, prend une polarité positive ; selon le sens du déplacement, ces polarités s'inversent à la cadence du mouvement.

En créant, à l'intérieur du conducteur, un déplacement d'électrons libres qui rend ses extrémités tantôt négatives, tantôt positives, on a réalisé un **générateur de courant alternatif**.

Pratiquement, pour assurer un mouvement uniforme du conducteur à proximité de l'aimant, il est commode de transformer le mouvement rectiligne en mouvement circulaire. C'est le principe même des générateurs de courant alternatif tournants, et la plus grande partie de l'énergie électrique que nous utilisons est produite par ce moyen.

Pour être plus complet, il nous faut ajouter que dans les générateurs industriels, le conducteur des figures 42 et 43 est remplacé par un bobinage^[1], que l'aimant permanent^[2] est remplacé par un électro-aimant^[3] et que c'est ce dernier qui tourne à proximité du bobinage.

Un tel générateur ou alternateur monophasé peut être défini par sa tension électrique U , qui apparaît entre les bornes A et B du bobinage, et par l'intensité du courant électrique I qu'il est susceptible de fournir à un récepteur (appareil d'éclairage ou de chauffage) connecté entre A et B.

Sans entrer dans le détail, disons que ces générateurs sont réversibles, c'est-à-dire qu'ils peuvent se transformer en moteurs. Par exemple, si l'on connecte une source extérieure de courant entre les bornes A et B de l'appareil, son « rotor » va se mettre à tourner ; de générateur qu'il était, il devient récepteur.

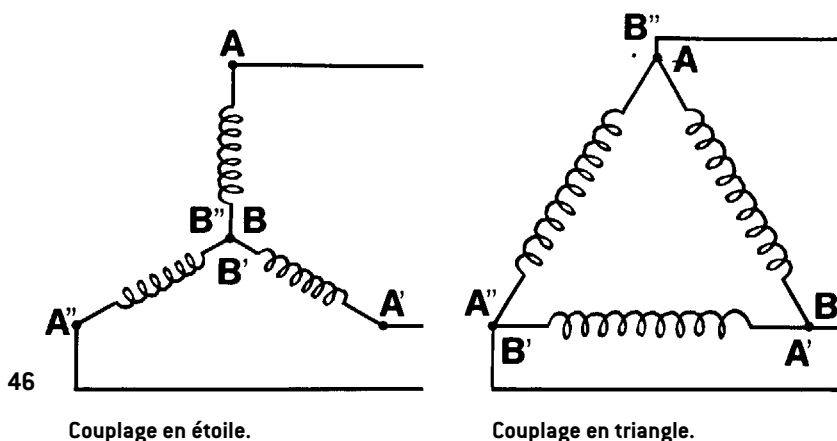
Principe des générateurs de courant polyphasés

Les générateurs, ou alternateurs, polyphasés comportent deux ou plusieurs bobinages (dans la figure ci-contre, bien que les enroulements soient séparés, ils ne constituent en fait qu'un seul bobinage qui aboutit aux bornes A et B) qui sont répartis autour de l'électro-aimant.

[1] Conducteur électrique enroulé sur une bobine.

[2] Un aimant permanent possède en lui-même la propriété d'aimantation, qu'il soit naturel ou artificiel.

[3] Un électro-aimant est constitué d'un barreau de fer doux entouré par un bobinage de fil conducteur. Lorsque ce conducteur est parcouru par un courant électrique, l'électro-aimant produit dans son voisinage un champ magnétique tout comme l'aimant permanent.



C'est ainsi que dans un alternateur triphasé, la partie fixe de la machine, ou stator, est constituée par un ensemble de trois bobinages décalés entre eux d'un angle de 120 degrés ; la partie mobile, ou rotor, constitue l'électro-aimant.

Le générateur ou alternateur triphasé n'a cependant pas six, mais seulement trois connexions à l'extérieur, car les conducteurs de chaque enroulement, ou de chaque phase, sont rassemblés pour former soit un couplage en « étoile », et dans ce cas le point de connexion est appelé « point neutre », soit un couplage en « triangle ».

Dans un couplage en « triangle », la tension électrique entre deux conducteurs est la même que celle aux bornes des bobinages.

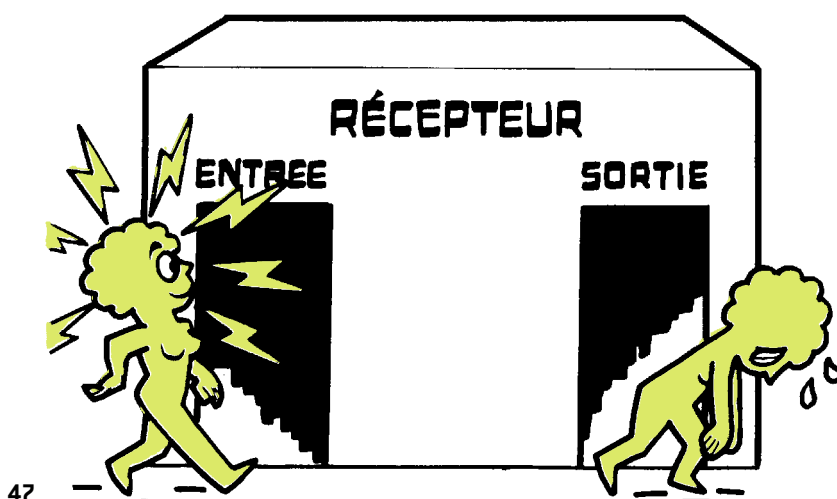
Par contre, le courant électrique circulant dans les conducteurs de phase est $\sqrt{3}$ fois plus grand que le courant traversant les bobinages.

Dans un couplage en « étoile », la tension électrique entre deux conducteurs appartenant à des bobinages, ou phases, différents, par exemple A et A', est $\sqrt{3}$ fois plus grande que la tension entre l'un de ces conducteurs (A ou A') et le point neutre de l'alternateur.

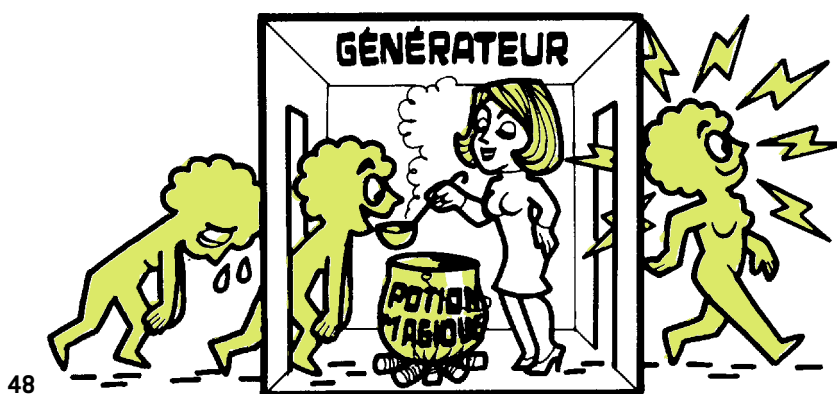
En supposant que la tension aux bornes de l'un des bobinages monophasés soit de 127 volts ($U_{AB} = 127$ volts), un récepteur connecté entre les bornes AA' serait soumis à la tension $U_{AA'} = 127 \times \sqrt{3} = 220$ volts.

Par contre, puisque les enroulements n'offrent au courant électrique qu'un seul trajet possible, les valeurs de l'intensité de courant dans les conducteurs de phase et dans les bobinages sont égales.

Ces trois bobinages de l'alternateur peuvent être considérés comme un ensemble de trois générateurs indépendants pouvant chacun alimenter un récepteur R, dans lequel circule un courant d'intensité I, sous une tension V. Dans la suite de l'exposé, pour faciliter la compréhension des phénomènes électriques, nous supposons que tous les circuits électriques sont alimentés par des générateurs alternatifs monophasés ou par des générateurs à courant continu.



C'est dans les récepteurs électriques (radiateurs, moteurs, appareils d'éclairage) que les électrons libres perdent leur tension, leur énergie se transformant en chaleur ou en énergie mécanique.

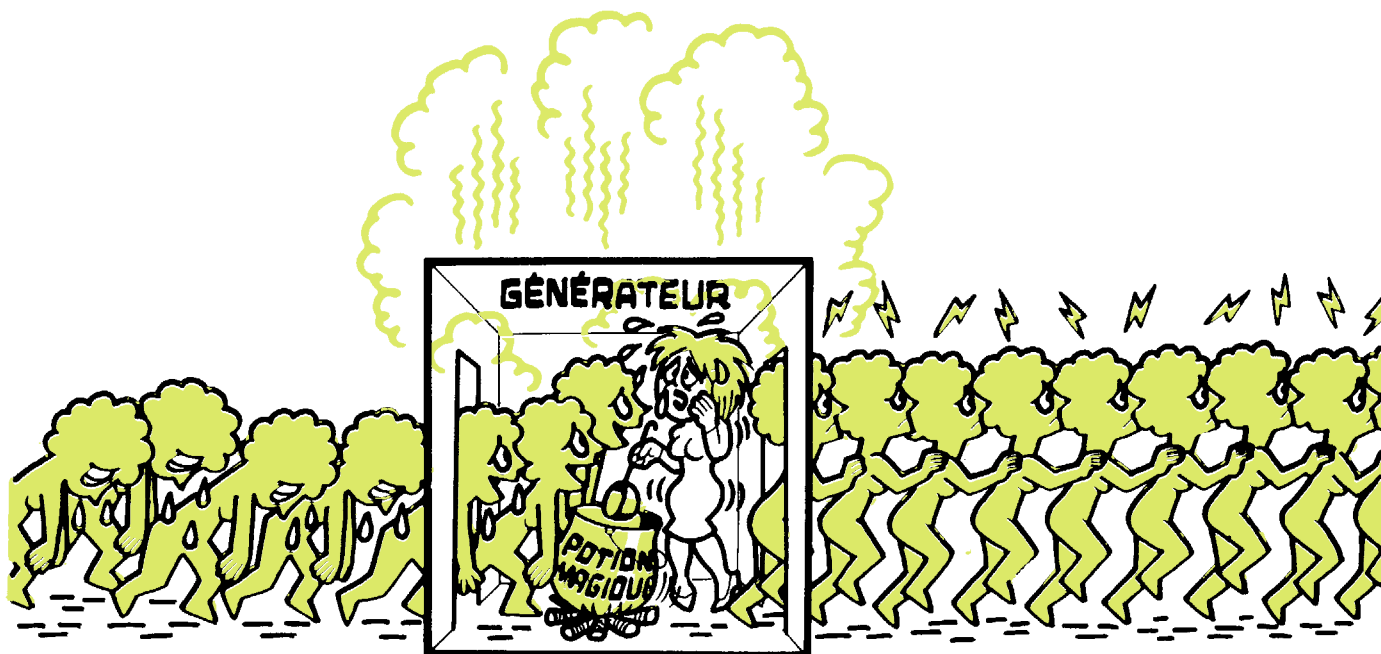


Le générateur électrique redonne aux électrons l'énergie qu'ils ont perdue dans les récepteurs.

3. Conditions d'utilisation des générateurs

Considérons l'ensemble A C B A fermé sur lui-même et schématisé par la figure 34.

Une partie de l'énergie transportée par les charges ayant été utilisée dans le récepteur, le rôle du générateur est de redonner à ces charges électriques l'énergie qu'elles ont perdue, étant entendu que cette énergie électrique peut être engendrée soit par une réaction chimique [accumulateur] soit par l'action mécanique d'une chute d'eau ou d'une pression de vapeur [générateur tournant].



Si un générateur délivre des charges électriques à une cadence excessive, sa température de fonctionnement va augmenter et sa « tension électrique » va diminuer.

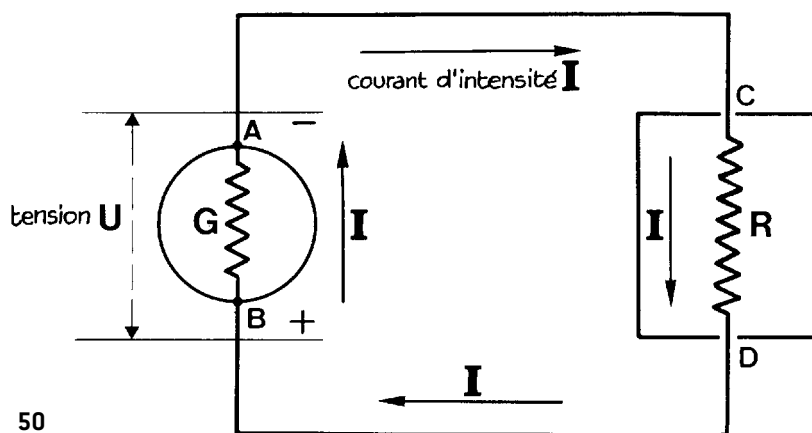
Si l'on exige d'un générateur qu'il délivre des charges électriques à une cadence excessive, l'énergie qu'il utilise (chimique ou mécanique) ne sera plus suffisante pour faire face à l'énergie sollicitée par les récepteurs, c'est-à-dire par les appareils dont le but est de transformer l'énergie électrique en énergie lumineuse, mécanique ou chimique, et la « tension électrique » du générateur va diminuer (voir la tension électrique page 37).

Ce générateur étant lui-même constitué de conducteurs électriques dont la section a été déterminée en fonction de l'intensité du courant qu'il doit débiter, il se comportera comme un récepteur et transformera une partie de l'énergie chimique ou mécanique qu'il utilise en énergie thermique ; sa température de fonctionnement va augmenter (voir les effets thermiques), et s'il s'agit d'un générateur tournant, ces conditions anormales de fonctionnement ne pourront se prolonger indéfiniment sans que les isolants internes ne soient détruits et par suite l'appareil détérioré.

De même, si l'on sollicite trop de travail mécanique d'un moteur électrique (récepteur), qui entraîne par exemple une machine-outil, il consommera une quantité excessive de charges électriques qui auront pour conséquence d'accroître considérablement sa température de fonctionnement.

Les isolants internes qui recouvrent ses conducteurs vont chauffer, perdre leur qualité d'isolation et entraîner des conséquences graves, tant pour le matériel (destruction) que pour le personnel affecté à la commande de la machine (risque d'électrocution).

4 Le circuit électrique



50

Représentation schématique d'un circuit électrique.

L'ensemble fermé ACDBA qui comprend : un générateur G, deux conducteurs AC et DB, un récepteur R, constitue un circuit électrique qui peut être caractérisé par un certain nombre de valeurs, telles que :

- les résistances électriques des conducteurs AC et DB, du récepteur R, du générateur G (voir page 29),
- la tension du générateur G (voir page 37),
- l'intensité du courant électrique qui parcourt l'ensemble du circuit (voir page 34).

Sous réserve de certains aménagements, notamment par l'adjonction d'appareils de coupure et de sectionnement, la réalisation d'un tel circuit définit **l'installation électrique**.

1. La résistance électrique

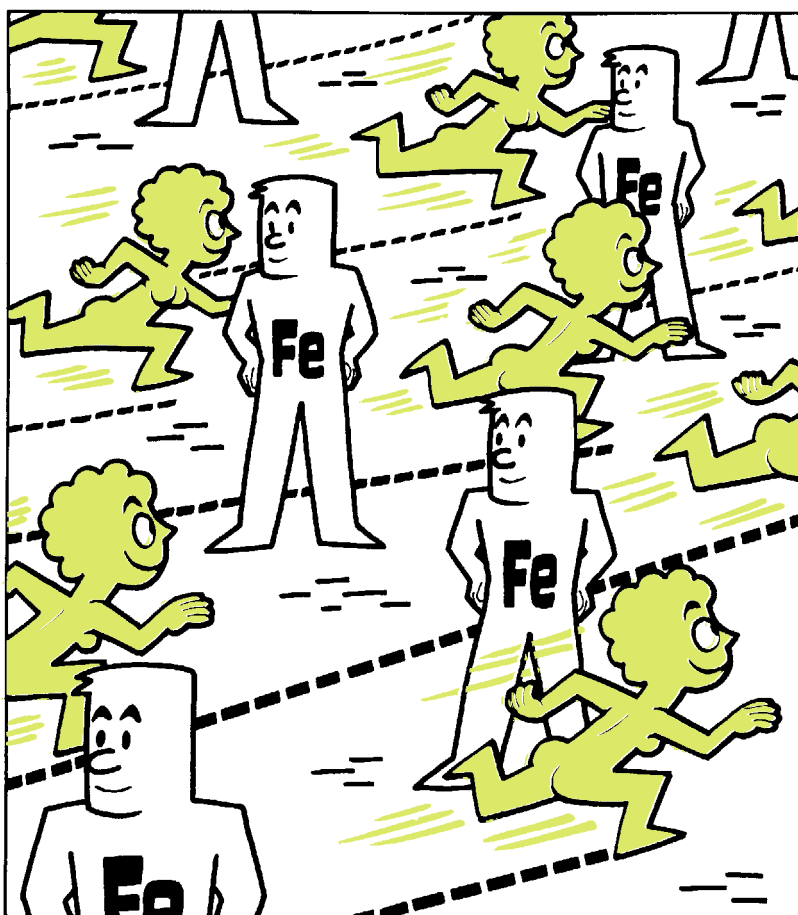
Dans un conducteur électrique parcouru par un courant, les électrons libres qui sont entraînés dans le sens du flux – dans l'exemple précédent de A vers C ou $\overrightarrow{AC}$ – n'en continuent pas moins à s'agiter dans toutes les directions (de même que, dans une rivière, les tourbillons et les remous se déplacent dans le sens du courant), et le déplacement des charges peut être considéré comme la résultante :

- d'un mouvement d'ensemble ordonné dans une direction privilégiée,
- de mouvements individuels désordonnés.

L'énergie qu'il faudra dépenser pour orienter l'ensemble des charges et vaincre leurs mouvements anarchiques, l'énergie perdue au cours des heurts, frottements⁽¹⁾ entre ces électrons qui se déplacent dans un milieu à « densité »⁽²⁾ et à cohésion élevées auront pour résultat d'augmenter la température du conducteur.

⁽¹⁾ En mécanique, les heurts et les frottements produisent de la chaleur.

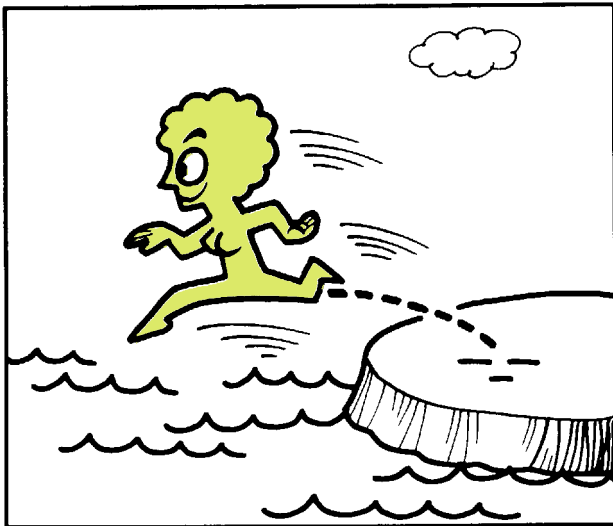
⁽²⁾ Que l'on peut exprimer par le nombre d'ions et d'électrons libres contenus dans 1 cm^3 de matière.



51

Le courant électrique résulte d'un mouvement d'ensemble des charges libres dans une direction privilégiée.

52



Cette manifestation extérieure est la conséquence de l'opposition au déplacement des charges électriques ou de la **résistance opposée au passage du courant électrique**.

On a pu remarquer (voir les conducteurs et les isolants) que tous les matériaux n'offrent pas la même opposition au déplacement des charges électriques. Les atomes de certains corps, les conducteurs, abandonnent facilement un de leurs électrons alors que les atomes d'autres matériaux, les isolants, les conservent jalousement ; dans ce dernier cas, on dit que la matière présente une opposition importante au passage du courant électrique, ou encore que sa résistance électrique est élevée.

Entre le meilleur des isolants, où cette opposition est quasi totale, et le meilleur des conducteurs, où elle est très faible, il existe toute une gamme de matériaux où elle se manifeste avec plus ou moins d'acuité, et pour les différencier il était nécessaire de définir une unité qui exprimait son importance.

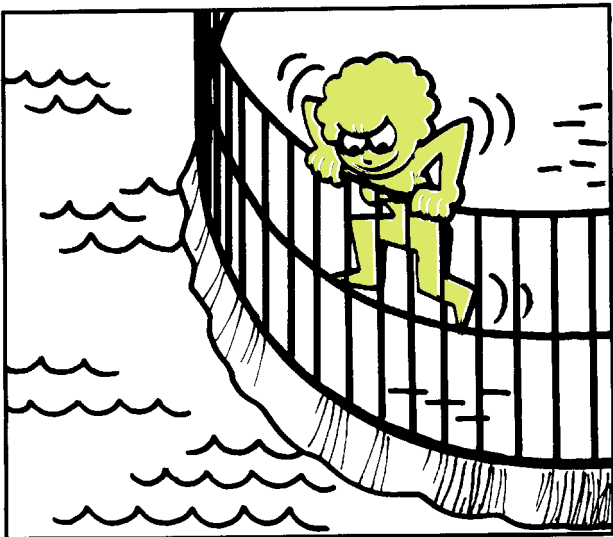
Cette unité, qui permet d'évaluer la résistance électrique d'un conducteur ou d'un isolant, est l'**ohm** (Ω) ⁽¹⁾.

Puisqu'il n'existe pas de conducteurs électriques parfaits, tous les métaux ou leurs alliages, quels qu'ils soient, offrent une résistance au passage du courant et grâce à cette propriété, il est déjà prévisible que l'on pourra, en agissant sur cette résistance, faire varier à volonté la vitesse de déplacement des électrons libres, en fait l'intensité du courant électrique, dans un conducteur ou dans un récepteur (voir la loi d'Ohm).

Cette résistance varie en fonction :

- de la résistivité du métal,
- de la longueur, de la section et de la température des conducteurs.

53

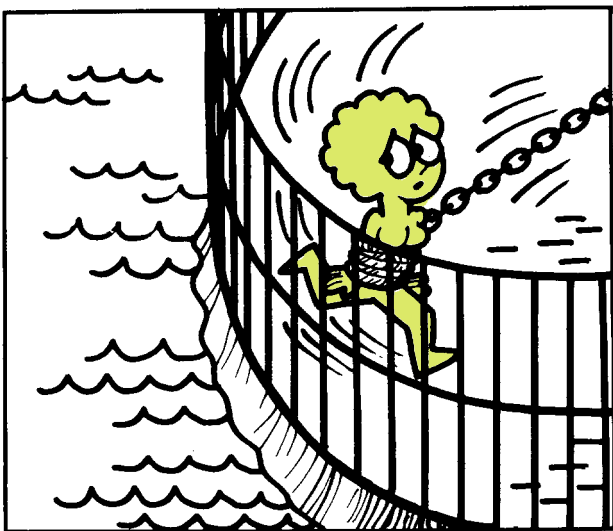


Influence de la résistivité

Étant donné que la résistance électrique d'un corps dépend de la matière dont il est composé, la facilité avec laquelle ses atomes se séparent de certains de leurs électrons ne peut être qu'un facteur déterminant dans le calcul de sa résistance électrique, puisque précisément cette propriété différencie les corps conducteurs des corps isolants.

Aussi a-t-on affecté à chaque matériau une unité qui caractérise l'opposition plus ou moins marquée qu'il manifeste à se séparer de ses électrons et par là même la quantité d'électrons libres qu'il contient. C'est la **résistivité**.

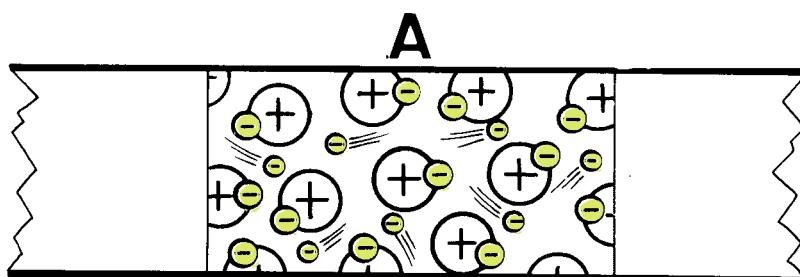
54



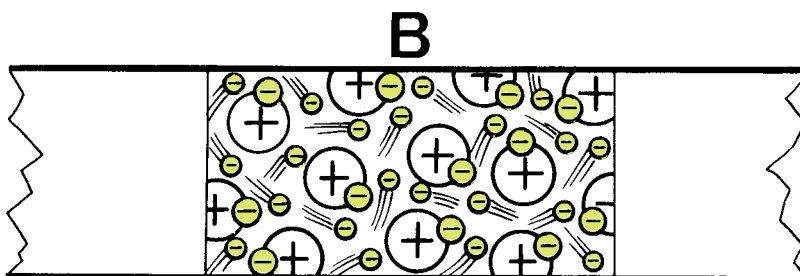
Suivant la nature des matériaux, les électrons périphériques peuvent quitter plus ou moins facilement les atomes auxquels ils appartiennent. Cette propriété permet de différencier les matériaux conducteurs des matériaux isolants et de leur affecter une « résistivité » qui conditionne leur résistance électrique.

⁽¹⁾ Il faut noter que la résistance électrique, unité abstraite, sert aussi à désigner l'objet concret qu'elle représente. C'est ainsi que l'on ne dit pas « c'est un élément conducteur de résistance électrique égale à 100 ohms » mais « c'est une résistance de 100 ohms » ; cette résistance pouvant d'ailleurs se présenter sous différents aspects (bobinée, au carbone, etc.).

55



56



Le conducteur A possède moins d'électrons libres que le conducteur B.

Sa résistivité et par conséquent sa résistance électrique seront plus grandes.

En effet le conducteur B, qui renferme un plus grand nombre de charges électriques libres par unité de volume que le conducteur A, est à même de fournir au récepteur davantage de charges que le conducteur A, ce qui revient à dire que, si B est raccordé aux bornes d'un générateur G, le courant électrique qui circulera dans le circuit sera plus important qu'avec le conducteur A.

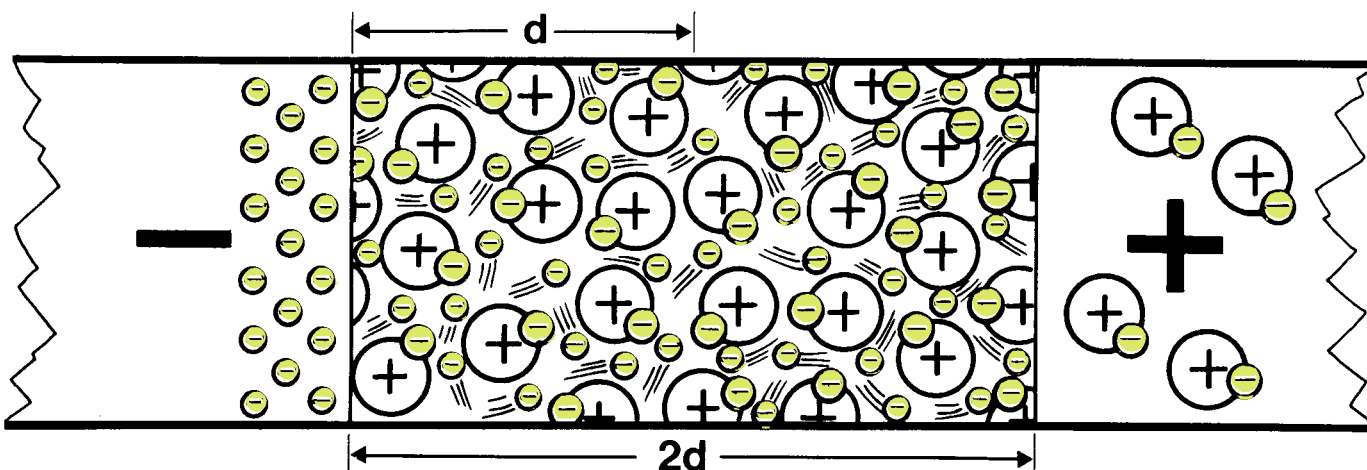
Or, nous verrons avec la loi d'Ohm que, pour une tension U donnée du générateur électrique G, augmenter le courant I qui circule dans le circuit fermé A C D B A, consiste précisément à diminuer la résistance électrique du récepteur R.

Dans l'ordre des résistivités croissantes, on trouverait : l'argent, le cuivre, l'aluminium, le fer...

Influence de la longueur des conducteurs

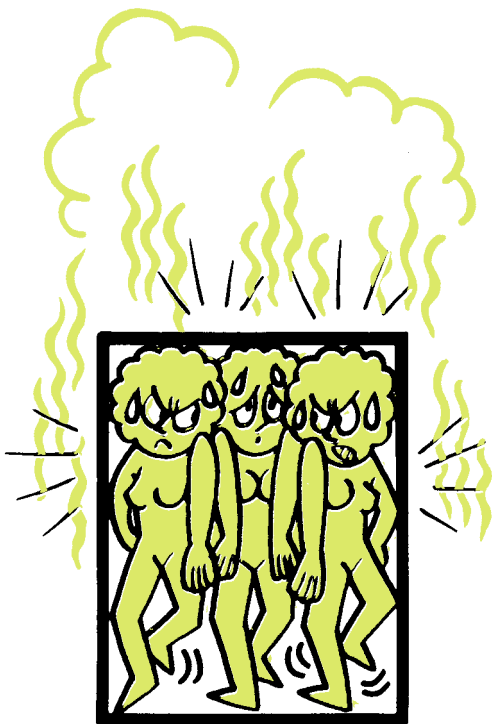
Soit un conducteur de section S et de longueur l raccordé aux bornes d'un générateur G polarisé suivant le sens indiqué par la figure 57 où, pour faciliter la représentation schématique des phénomènes, les atomes sont symbolisés par deux ensembles distincts : un ion et un électron libre.

57



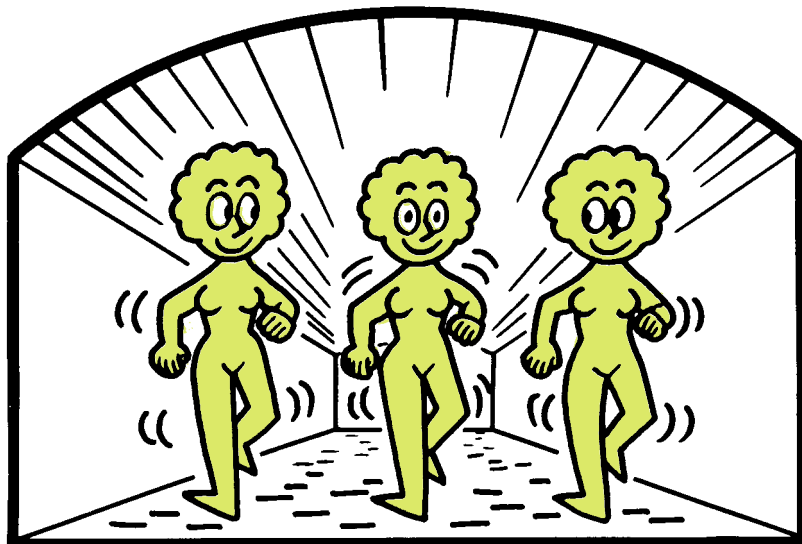
Considérons un électron libre qui se déplace de la charge négative [excédent d'électrons] vers la charge positive [manque d'électrons].

Le milieu dans lequel il évolue, constitué d'ions et d'électrons libres, s'oppose à son déplacement [de même qu'un piéton a « des difficultés » à se mouvoir dans une foule très dense].



58

Pour faciliter le déplacement des électrons et éviter l'échauffement des conducteurs...



59

... la section des câbles d'alimentation doit être suffisante pour assurer la libre circulation des charges électriques.

Puisque la densité de charges est homogène ^[1], chaque unité de longueur du conducteur lui opposera la même résistance à l'avancement ; pour parcourir la distance d , il va dépenser une énergie e ; pour parcourir une distance $2d$ une énergie $2e$, etc.

Ce qui signifie que la résistance électrique d'un conducteur est proportionnelle à sa longueur ^[2].

Influence de la section des conducteurs

Soit N le nombre d'électrons libres disponibles dans le conducteur de section S , de longueur l et de volume $v = S \times l$. En doublant sa section, avec l constant, son volume devient

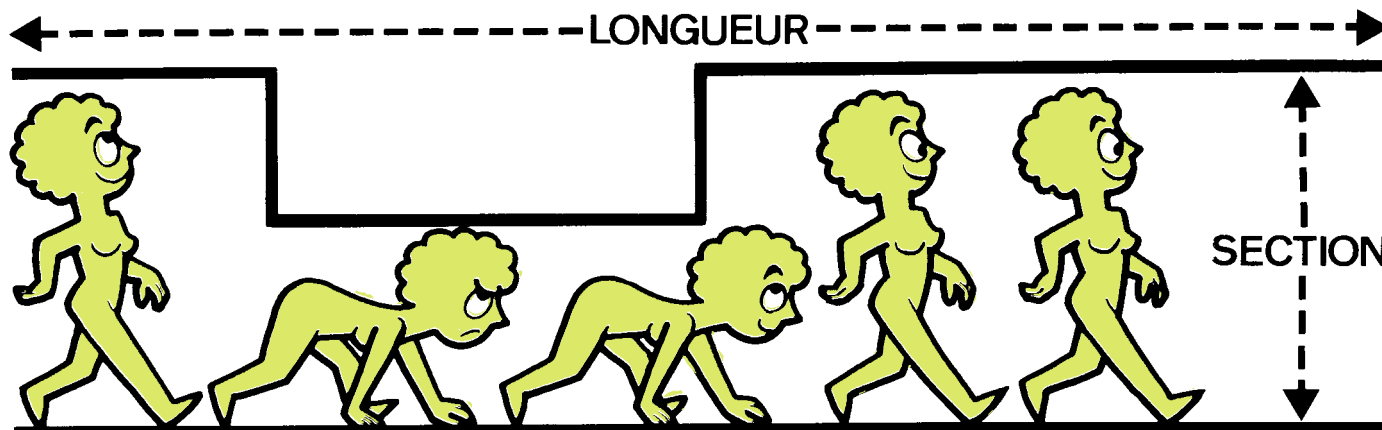
$$v' = 2 S \times l = 2 v.$$

Étant donné que la densité de charges est la même en tous points du conducteur, le nombre d'électrons libres disponibles va passer de N à $2N$. Comme la résistivité est inversement proportionnelle au nombre d'électrons libres, doubler la section d'un conducteur équivaut à diviser par 2 sa résistance : la résistance électrique d'un conducteur est inversement proportionnelle à sa section ^[3].

[1] En négligeant les lacunes et les distorsions toujours présentes dans la répartition des atomes.

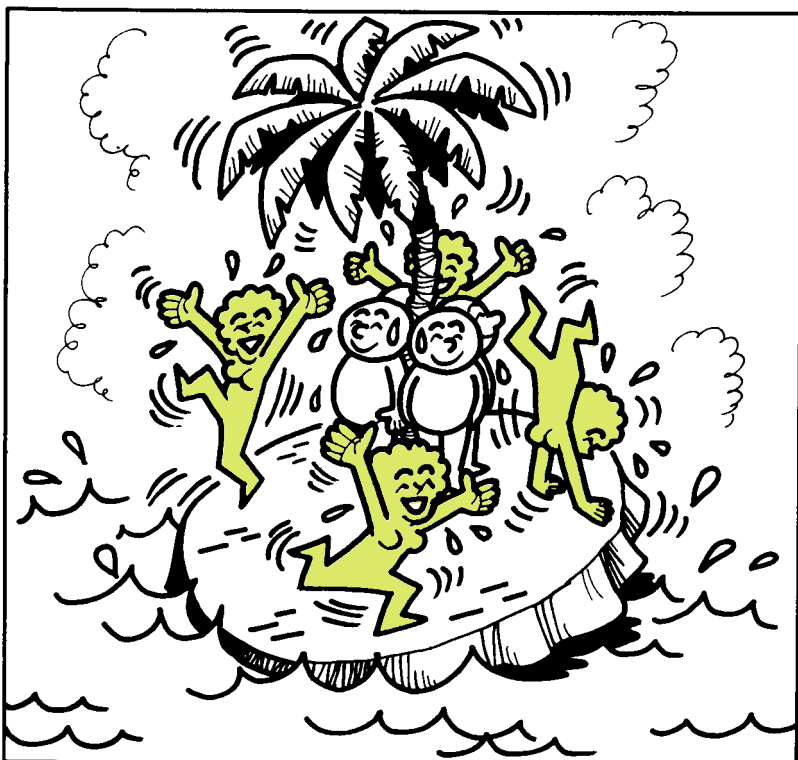
[2] C'est pourquoi en ajoutant des résistances bout à bout « en série », la résistance totale représente la somme de toutes les résistances.

[3] C'est pourquoi en plaçant deux résistances côte à côte, c'est-à-dire en parallèle, on diminue la résistance de l'ensemble ainsi réalisé.



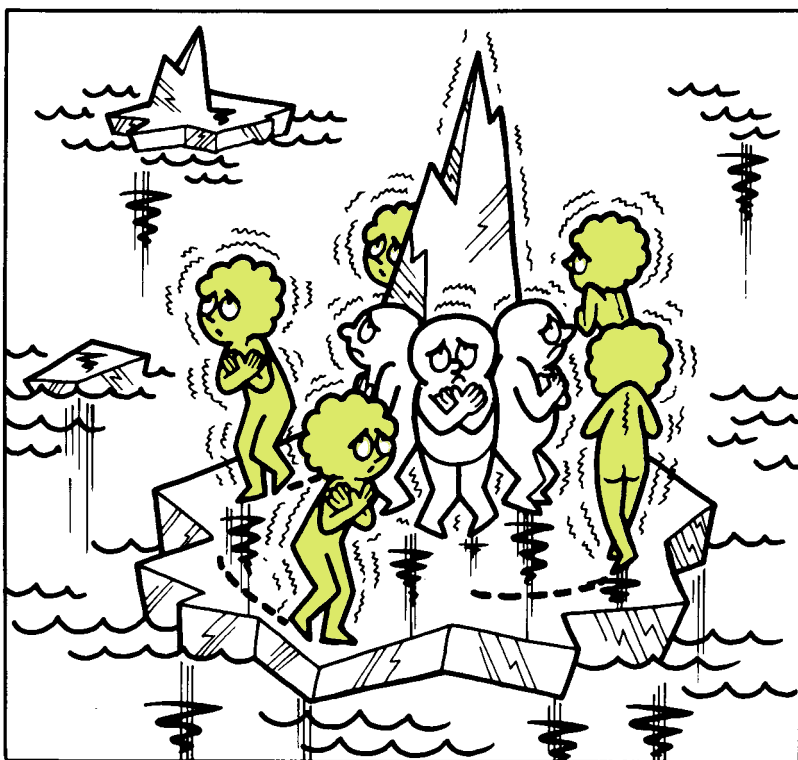
60

La résistance électrique traduit la difficulté plus ou moins grande qu'ont les électrons libres à se déplacer à l'intérieur des conducteurs. Cette résistance dépend de la longueur et de la section du conducteur.



61

L'agitation électronique et la vibration des atomes croissent avec la température et augmentent la résistance électrique des conducteurs.



62

Au voisinage du 0 absolu cette agitation et ces vibrations sont pratiquement nulles et la résistance électrique est minimale.

Influence de la température

Il y a relativement peu de temps, les hommes de science étaient persuadés qu'un corps était chaud parce qu'il contenait de la chaleur.

Aujourd'hui, grâce aux physiciens théoriciens, on sait que la chaleur est en réalité produite par la vibration des atomes au sein de la matière et que la température d'un corps est déterminée par l'amplitude du déplacement de ses atomes ^[1].

À titre d'exemple, si un radiateur est chaud, c'est uniquement parce que les atomes du matériau qui le compose vibrent autour d'une position moyenne avec une amplitude plus importante qu'à la température ambiante.

Inversement, si un morceau de glace est froid, c'est parce que l'amplitude des vibrations de ses molécules – qui sont des assemblages d'atomes – est excessivement faible.

Dans les conducteurs électriques, lorsque la température augmente, ces amplitudes plus importantes provoquent à l'intérieur du métal des imperfections dans le réseau de distribution des atomes qui occupent un espace plus étendu. Par enchaînement, ceux-ci créent des obstacles supplémentaires sur le passage des électrons libres, d'où un accroissement de la résistance électrique.

Note

En courant alternatif, la notion de résistance est remplacée par la notion d'impédance dont la définition sort du cadre de cet exposé.

[1] La sensation de chaleur ou de fraîcheur que nous éprouvons au contact d'un corps est provoquée par la transmission des vibrations des atomes de ce corps à nos propres atomes.

2. L'intensité du courant électrique

C'est le nombre de charges – ou la quantité d'électricité – débitées chaque seconde par le générateur électrique.

L'unité qui permet d'évaluer l'intensité d'un courant qui s'écoule dans un circuit électrique est l'**ampère**⁽¹⁾ ou l'un des ses sous-multiples le milliampère :

$$\frac{1 \text{ ampère}}{1\,000} = 0,001 \text{ ampère.}$$

Effets thermiques du courant électrique

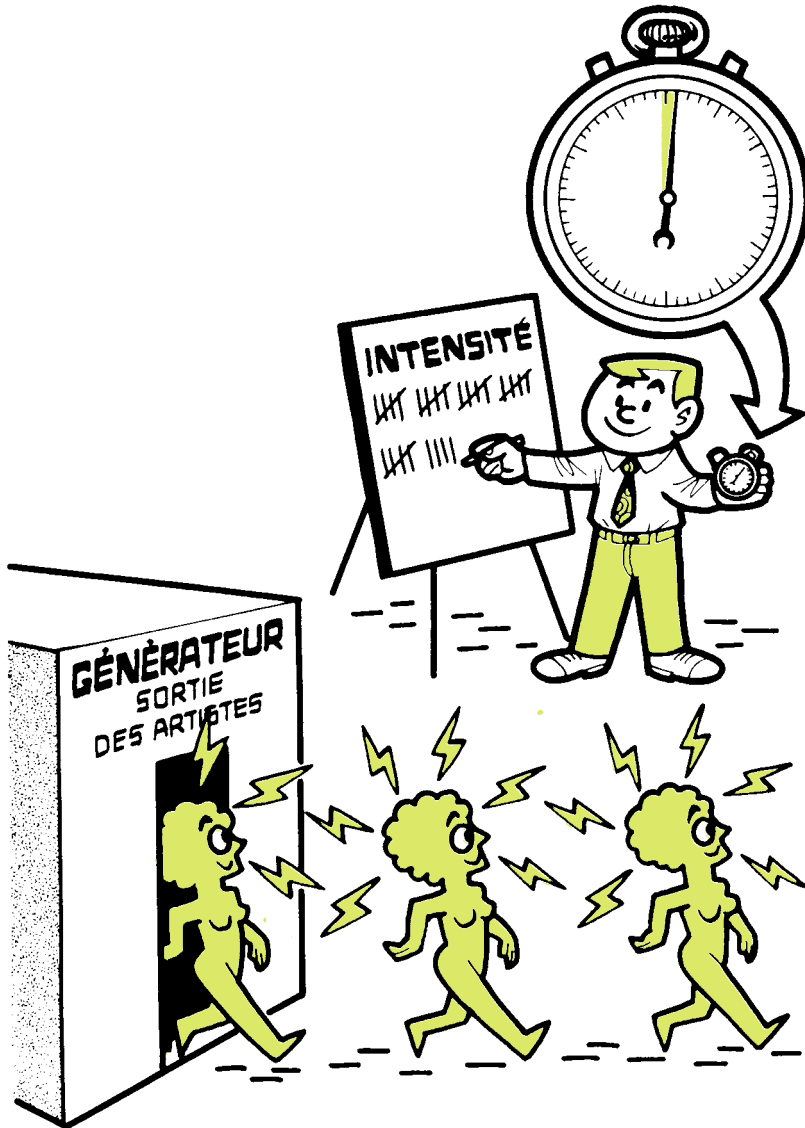
Dans un conducteur de longueur et de section données soumis à une tension électrique, la vitesse des électrons libres dépend de l'intensité du courant qui circule dans ce conducteur.

Au-delà d'une certaine vitesse, ces électrons en mouvement perdent beaucoup d'énergie par les frottements et les heurts qui ont lieu entre eux et avec les ions fixes contenus dans le conducteur. Cette énergie dégradée se manifeste par une élévation de la température du conducteur : il chauffe.

Aussi, lorsque l'on désire recueillir des charges à l'extrémité d'un conducteur, par exemple pour faire tourner un moteur électrique, on a toujours intérêt à ce qu'elles perdent le moins d'énergie possible pendant leur déplacement, donc à prévoir une section suffisante des conducteurs de liaison, car en augmentant la section, on augmente automatiquement le nombre d'électrons libres disponibles.

Cette recommandation présente un double avantage :

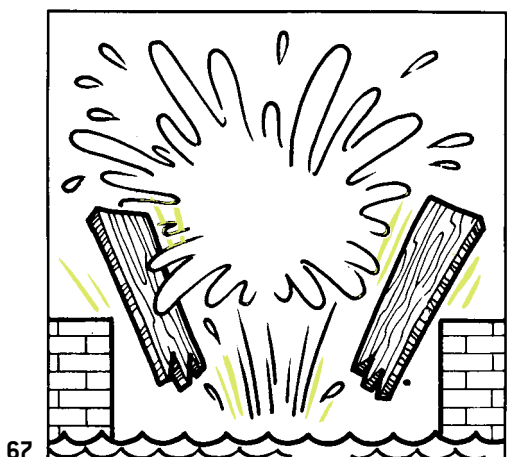
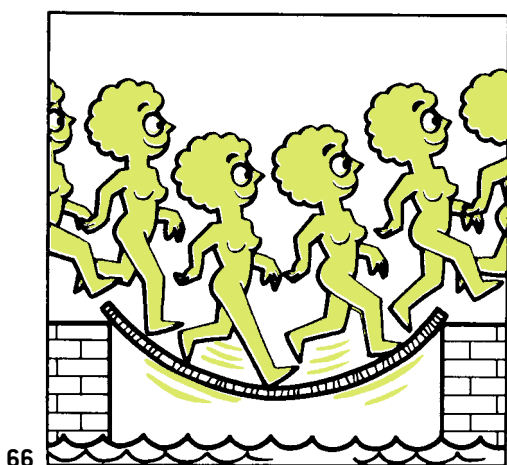
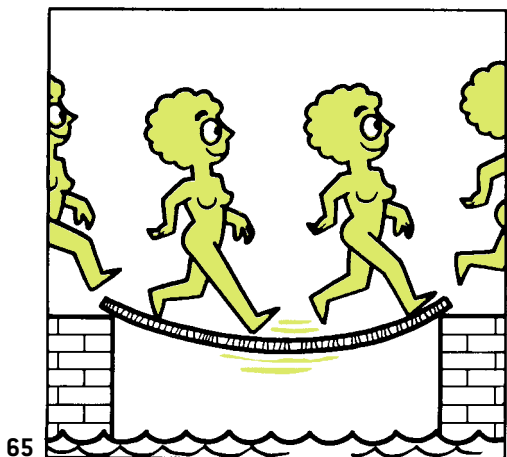
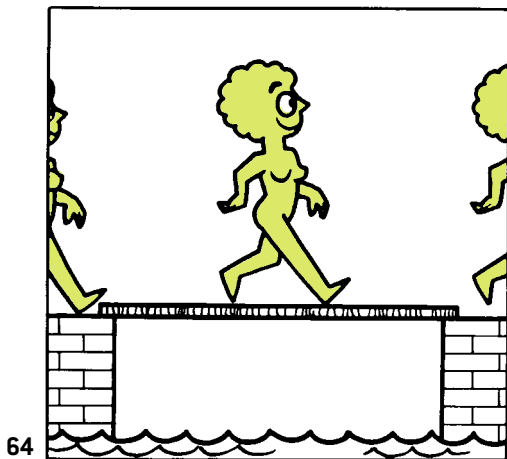
- en diminuant les frottements, l'énergie utilisable est plus importante,
- les isolants qui recouvrent les conducteurs ne sont pas surchauffés et conservent leur qualité d'isolation.



L'intensité d'un courant électrique correspond au nombre d'électrons débités chaque seconde par le générateur électrique.

⁽¹⁾ Ampère : grand savant français (1775-1836), auteur de la première théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques.

1 ampère = 6.10^{18} charges électriques, soit le chiffre 6 suivi de 18 zéros, en 1 seconde !



Les fusibles ou coupe-circuit

Ce sont des conducteurs particuliers qui possèdent la propriété d'interrompre la continuité du circuit électrique lorsque l'intensité du courant qui les parcourt est susceptible de détériorer par effet thermique :

- soit les isolants qui recouvrent les conducteurs utilisés pour transporter l'énergie électrique,
- soit les isolants internes des appareils électriques (récepteurs et générateurs), et par effet secondaire compromettre la sécurité des personnes (voir les courants de fuite, les risques d'électrocution et les risques d'incendie).

Cette interruption est obtenue par fusion du coupe-circuit qui est constitué par un fil ou une lame d'un métal conducteur, de résistivité voisine de celle du cuivre, mais dont la section a été considérablement diminuée pour que l'effet thermique se manifeste précisément dans le corps du fusible.

La section des fusibles est choisie en fonction de l'intensité du courant qu'ils sont à même de supporter de telle sorte que, si celle-ci vient à augmenter exagérément, **le fusible en fondant puisse protéger l'installation électrique.**

En remplaçant ou en substituant inconsidérément, sur un appareil ou à l'origine d'une installation électrique, un fusible de nature ou de caractéristiques déterminées par un fusible de nature ou de caractéristiques différentes, on s'expose à des risques graves :

- pour l'installation (risques d'incendie),
- pour les personnes appelées à utiliser ces appareils ou installations (risques d'électrocution).

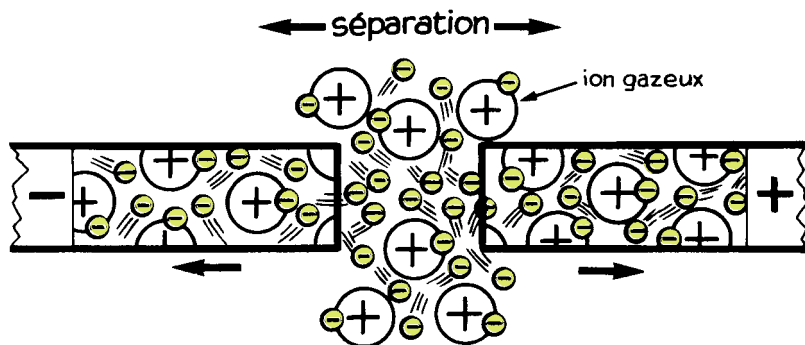
Interruption d'un courant électrique

Sans l'aide de dispositifs électro-mécaniques, il est toujours malaisé d'interrompre le passage d'un courant électrique dans un conducteur ; cette difficulté, qui croît avec l'intensité du courant et la tension du générateur, impose, sauf cas exceptionnel, que l'opération soit réalisée au moyen d'un appareil prévu à cet effet et que l'on nomme interrupteur.

Faute de prendre ces précautions, voici ce qui se passerait : dès l'instant où l'on sépare le conducteur de sa source d'alimentation et suivant la rapidité avec laquelle est effectuée cette séparation, il y a remplacement plus ou moins brusque d'un matériau conducteur de l'électricité par un élément isolant (l'air) qui ne possède pas ou très peu d'électrons libres, et théoriquement, le passage du courant électrique devrait cesser immédiatement.

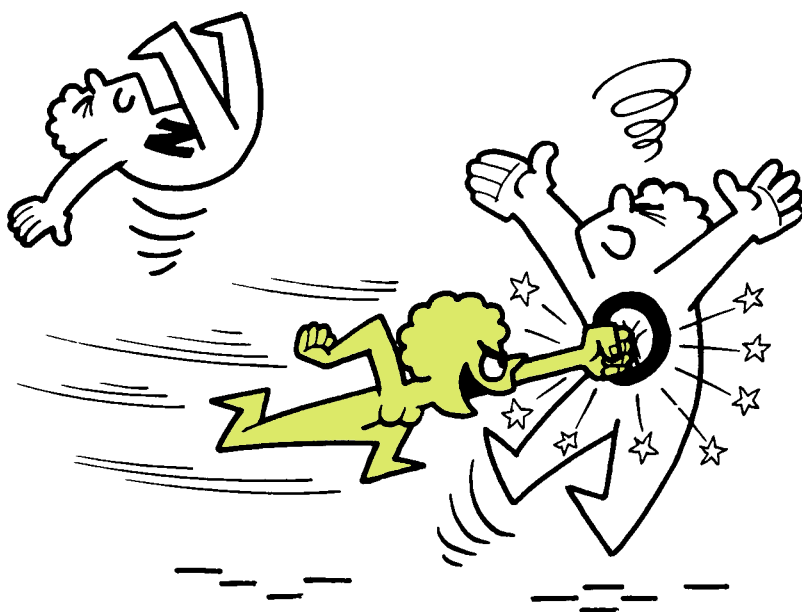
Les fusibles doivent interrompre la continuité du circuit électrique lorsque le nombre d'électrons qui les traversent chaque seconde (l'intensité du courant) est trop important.

68



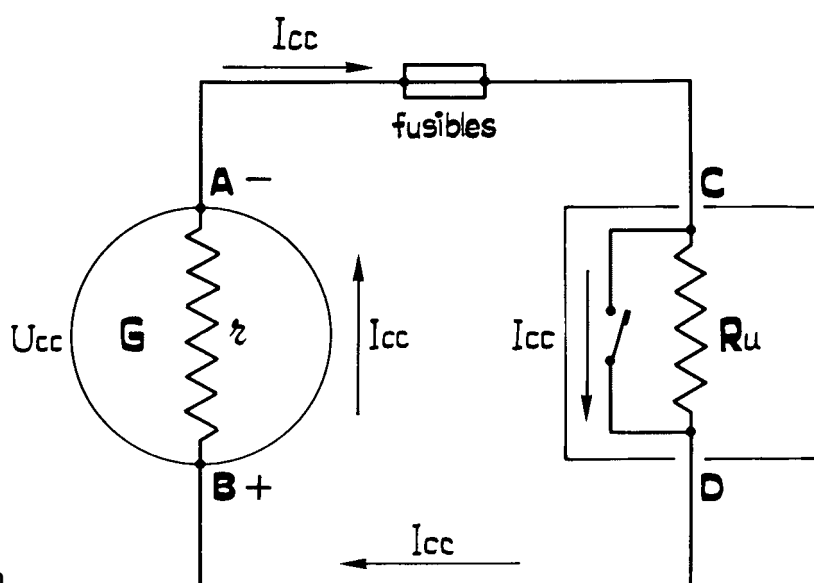
Les conducteurs sont séparés mécaniquement mais non électriquement.

69



Les charges négatives entrent en collision avec les atomes gazeux.

70



Lorsque la résistance R du récepteur est court-circuitée, l'intensité du courant qui circule dans l'ensemble fermé ACDBA n'est plus limitée que par la résistance interne r du générateur, à laquelle s'ajoute celle des conducteurs de liaison. C'est l'intensité de court-circuit I_{cc} .

En pratique, il n'en est pas ainsi : sous l'influence de la tension électrique entre les extrémités $\oplus$ et $\ominus$ du conducteur [fig. 68] les électrons libres sortent du métal et heurtent violemment les molécules d'air qui sont constituées d'atomes d'oxygène, d'azote, etc.

Ce bombardement, par des charges négatives, des atomes gazeux présents dans l'espace situé entre les conducteurs, aura pour conséquence de leur arracher par effet mécanique ^[1] des électrons [voir électricité statique] qui viendront renforcer l'action des électrons primaires, et l'air situé dans cet espace va devenir subitement conducteur.

Ces charges en déplacement, à cause des nombreux obstacles qu'elles rencontrent, se verront opposer une résistance électrique beaucoup plus grande [comme dans le fusible] que celle qui existe dans le conducteur, et l'espace interstitiel sera rapidement porté à la température de fusion du métal.

Les extrémités du conducteur, sous l'effet de cette température élevée, vont se vaporiser et émettre des électrons ^[2] qui s'ajouteront aux précédents ; le processus ira en s'accroissant et il ne cessera que lorsque les deux extrémités seront suffisamment éloignées l'une de l'autre.

Ce phénomène s'accompagne de radiations lumineuses (chocs sur les atomes et fusion du métal) et bien entendu de radiations thermiques (ultra-violet et infra-rouge), **avec projection de particules métalliques en fusion**. C'est l'**arc électrique**.

Pour pallier ces inconvénients, on utilise des interrupteurs qui, par un mouvement brusque de séparation des conducteurs, coupent le circuit et limitent l'amplitude de l'arc électrique, même lorsque leur manœuvre est effectuée lentement.

Dans des appareils plus perfectionnés, pour favoriser la coupure du courant électrique, l'arc est « étiré » artificiellement par soufflage magnétique et simultanément refroidi par de l'air comprimé.

Le court-circuit

Un courant électrique ne peut exister que si le circuit qu'il parcourt est relié, de part et d'autre, aux bornes d'un générateur de façon à réaliser une boucle fermée. Dans ce circuit, constitué par des conducteurs de liaison et des récepteurs, l'intensité du courant est fonction de la résistance électrique de tous ces éléments [voir la loi d'Ohm].

On dit qu'il y a court-circuit lorsque, en raison d'un raccourcissement accidentel du circuit d'utilisation, par exemple quand deux conducteurs alimentant un récepteur sont directement en

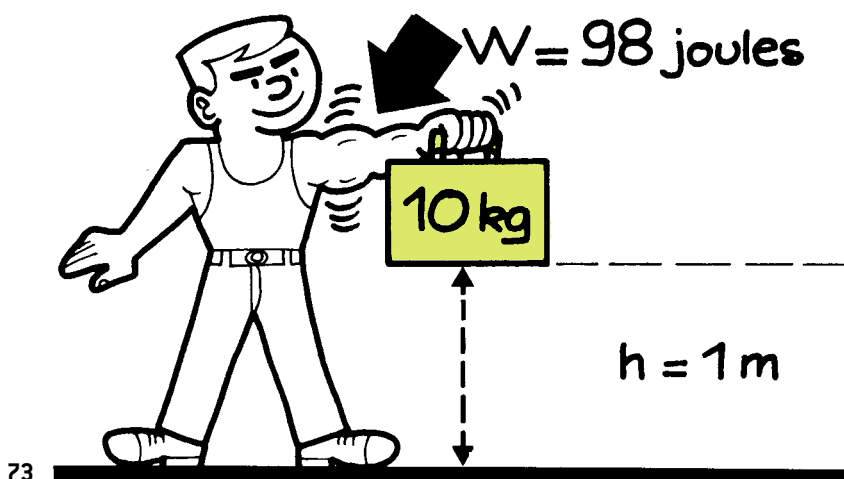
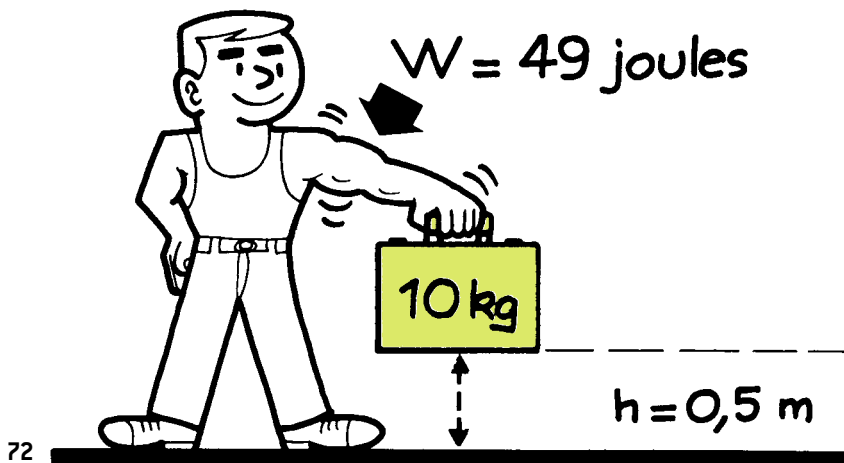
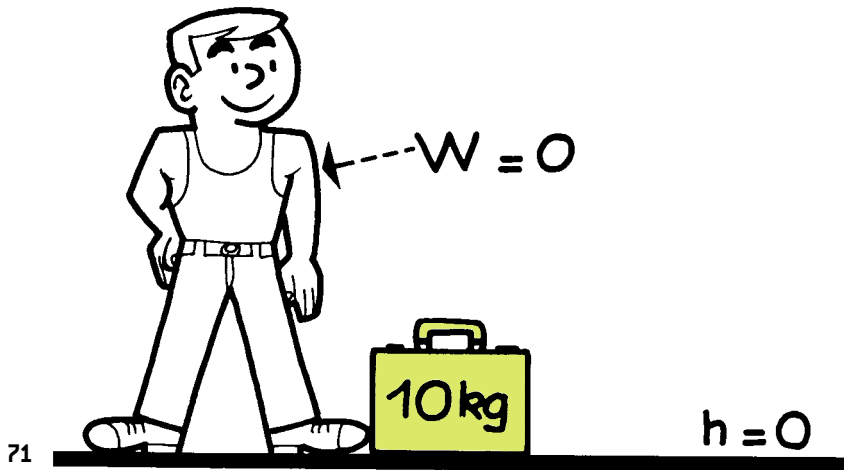
[1] Frottements et chocs.

[2] Par effet thermoionique. Comme le filament chauffé d'un tube de TV émet des électrons qui se manifestent sous forme d'images sur l'écran.

contact, la résistance du circuit est anormalement faible. L'intensité du courant se trouve alors considérablement accrue ; elle n'est plus limitée que par la résistance de court-circuit dans laquelle est incluse la résistance interne du générateur et par la puissance du générateur.

C'est alors que les fusibles, placés à l'origine de l'installation ou circuit, doivent, par fusion, interrompre la continuité électrique et faire cesser cette intensité exagérée, appelée aussi intensité ou « courant de court-circuit »^[1].

[1] Les disjoncteurs sont également des appareils de coupure qui permettent d'assurer la fonction d'interruption du courant de court-circuit.



L'énergie potentielle (qui se mesure en joules) d'une masse en suspension au-dessus du sol est proportionnelle à sa hauteur.

3. La tension électrique

Pour créer un courant électrique dans un conducteur solide, il faut provoquer dans ce conducteur un déplacement d'électrons.

Ce déplacement, qui ne peut être obtenu qu'avec le concours d'un générateur électrique, implique que l'on dépense, pour le provoquer, une énergie qui peut être d'origine chimique (accumulateur) ou mécanique (machines tournantes telles que dynamo et alternateur).

L'énergie électrique $[W]$, emmagasinée par une charge $[q]$ qui sort d'un générateur, est proportionnelle à une nouvelle unité, le **volt** $[v]$ qui exprime la **tension ou le potentiel électrique** de la charge.

$$w = q \cdot v$$

et pour n charges

$$w_n = q_1 \cdot v + q_2 \cdot v + q_3 \cdot v \dots + q_n \cdot v$$

$$w_n = v(q_1 + q_2 + q_3 \dots + q_n)$$

En posant $q_1 + q_2 + q_3 \dots + q_n = Q$

$$W = Q \cdot v$$

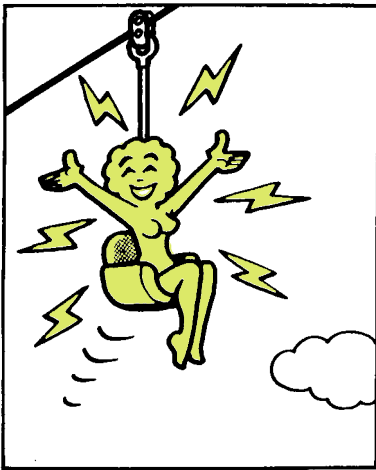
La compréhension intuitive de la tension électrique peut être facilitée en substituant à la notion de tension celle de hauteur ou de « niveau électrique », et à la notion de charge électrique celle d'une masse pesante.

Considérons une masse $[m]$ posée sur le sol telle que l'on ait :

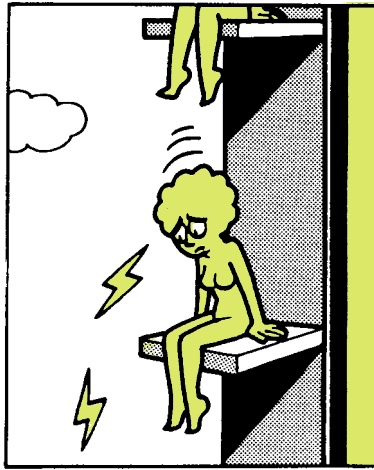
$m = 10 \text{ daN}$ ou 10 kg

ou $m = 10 \text{ kg}$ masse

74



75



Le récepteur électrique abaisse le potentiel des charges.

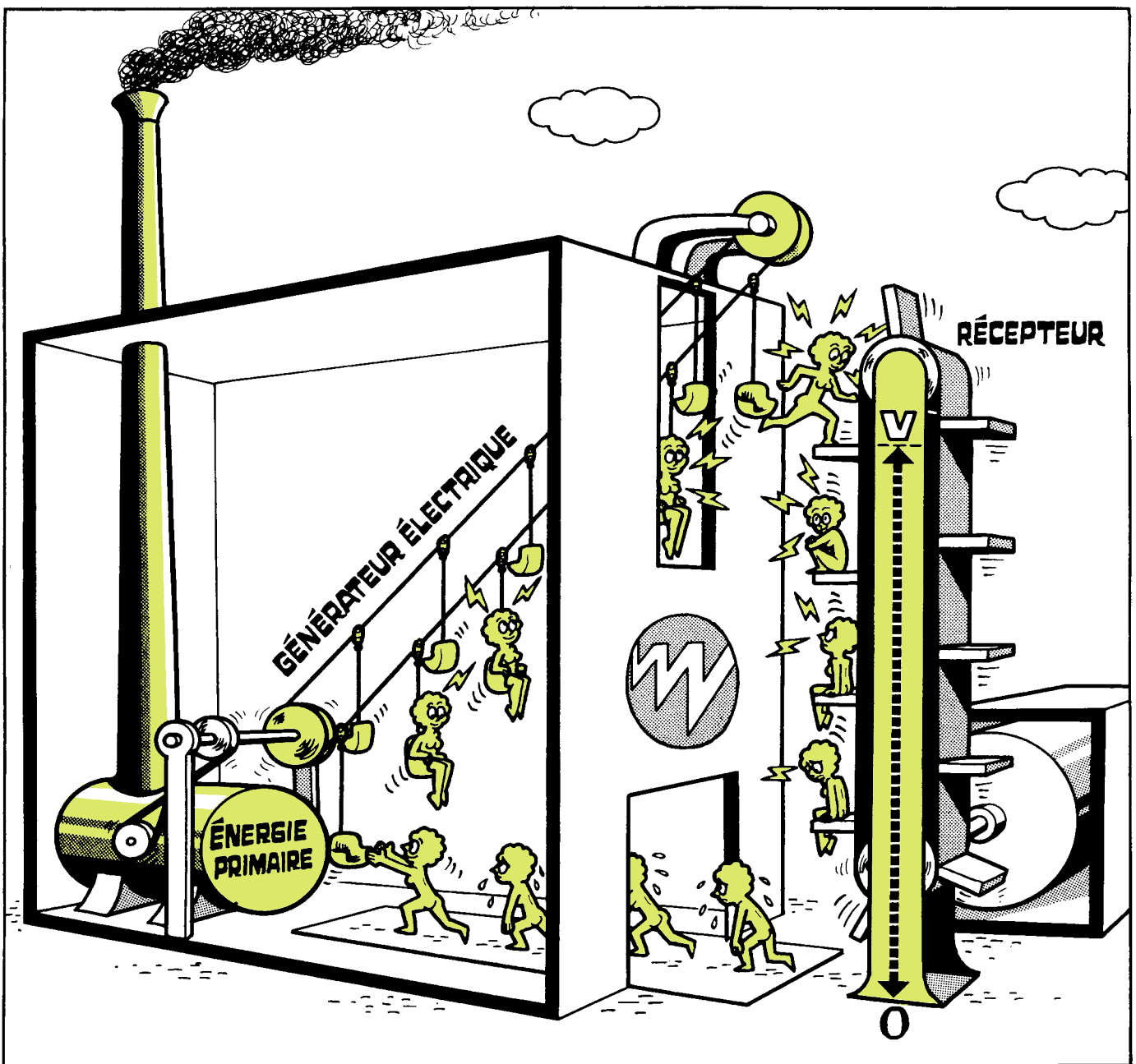
Élevons cette masse à une distance $h = 1$ mètre ; au rendement près, son énergie potentielle sera égale au travail qu'il a fallu fournir pour la déplacer, c'est-à-dire pour l'amener du niveau initial 0 (le sol) au niveau final $h = 1$ mètre, et l'énergie qu'elle pourrait libérer en tombant est donnée par la formule : $W = mg.h$ ou encore, pour isoler la masse (m) : $W = gh.m$.

Comme g est une constante à l'endroit considéré et que (m) est déterminée, seule la hauteur (h) permet de faire varier l'énergie potentielle du système ; plus cette hauteur est importante et plus l'énergie potentielle est élevée.

Dans le cas présent, l'énergie dépensée pour élever cette masse $m = 10$ kg masse à la distance $h = 1$ mètre, serait :

$$W = 10 \times 1 \times 9,81 = 98,1 \text{ joules.}$$

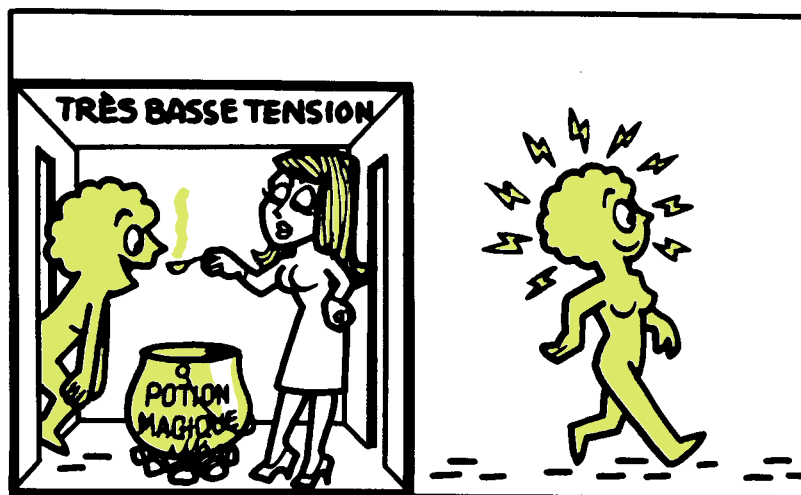
76



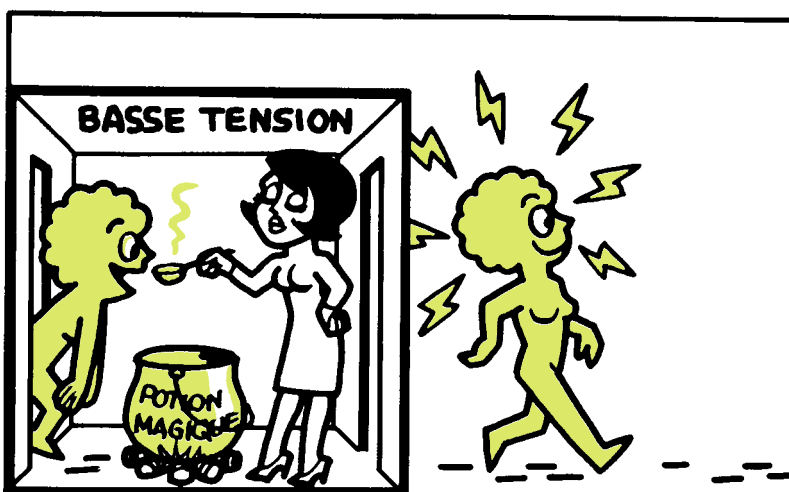
L'énergie emmagasinée par une charge électrique est proportionnelle à son potentiel ou à son « niveau électrique » V . Ce potentiel traduit l'énergie qu'il a fallu dépenser sous forme thermique, mécanique ou chimique pour élever cette charge au niveau électrique considéré.

L'énergie acquise peut être libérée dans un récepteur, par exemple sous forme mécanique, si celui-ci fait « chuter » le potentiel de la charge.

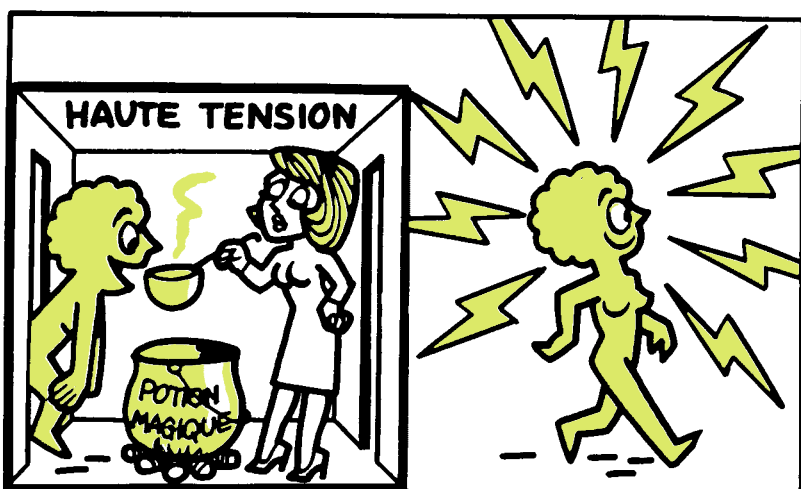
77



78



79



L'énergie électrique communiquée aux électrons par les générateurs varie suivant les classes de tension auxquelles appartiennent ces générateurs ; c'est pourquoi l'énergie emmagasinée par une charge électrique issue d'un générateur « haute tension » sera beaucoup plus importante que celle d'une charge issue d'un générateur « basse tension » ou « très basse tension ».

Supposons maintenant que l'on puisse réaliser un minuscule élévateur, une sorte de petit télésiège à l'échelle des électrons et, par la pensée, imaginons dans ce petit élévateur des charges électriques élémentaires q .

Si l'on dépense une énergie mécanique égale à $1,6 \cdot 10^{-19}$ joule pour élever une de ces charges du niveau 0 volt au niveau $V = 1$ volt, la différence de potentiel entre ces deux niveaux sera de 1 volt et l'énergie acquise par la charge sera de 1 électron-volt ou de $1,6 \cdot 10^{-19}$ joule ⁽¹⁾.

Par analogie avec le système précédent, on constate en rapprochant les deux formules de l'énergie $W = q \cdot V$ et $W_m = m \cdot g \cdot h$ qu'une charge électrique [q] située à un niveau électrique ou à une tension [V] peut être assimilée à une masse [m] située à une hauteur [h].

Augmenter le potentiel (V) d'une charge [q] équivaut à rehausser son énergie W , et c'est cette différence de potentiel qui est communiquée aux électrons par le générateur.

L'énergie emmagasinée par une charge électrique sera donc beaucoup plus importante si elle est issue d'un générateur dit « haute tension » que si elle est issue d'un générateur « basse tension » ou « très basse tension ».

À noter que l'énergie acquise peut être libérée en totalité, au rendement près, dans un récepteur électrique sous forme thermique, mécanique ou lumineuse si celui-ci fait « chuter » le potentiel V de cette charge (comme la masse qui chuterait de la distance h).

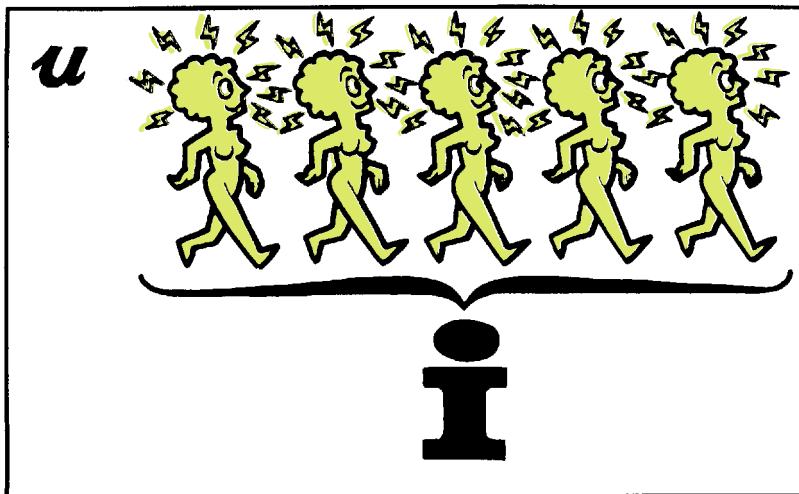
La force électromotrice U d'un générateur, couramment appelée « tension électrique » à vide ⁽²⁾, est indépendante de la quantité de charges élémentaires présentes à ses bornes ; c'est ainsi qu'il existe des générateurs de tension électrique inférieure à 10 volts qui peuvent débiter des intensités de courant supérieures à 10 000 ampères et des générateurs de tension électrique supérieure à 10 000 volts dont l'intensité maximale est limitée à quelques milliampères.

Dans le premier cas, une quantité importante d'électrons a été accumulée aux bornes du générateur, mais l'énergie potentielle emmagasinée par chacun d'eux est faible. Dans le deuxième cas, peu de charges élémentaires ont été assemblées, mais l'énergie potentielle accumulée par chaque électron est importante.

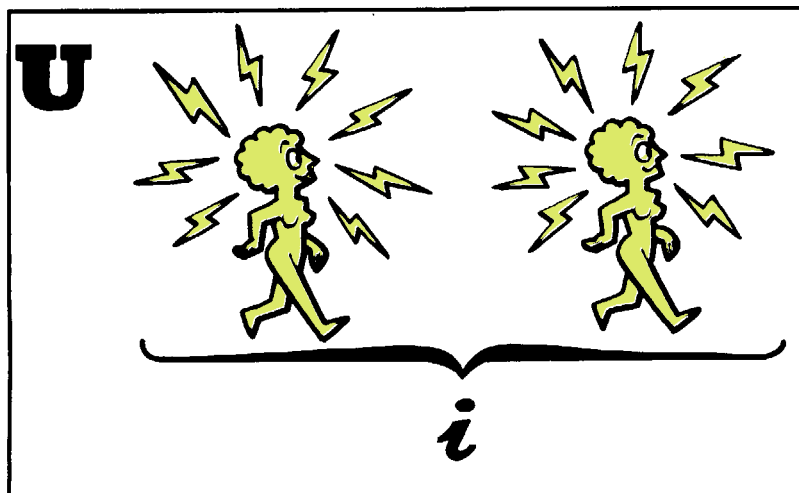
⁽¹⁾ Cette énergie est bien entendu excessivement faible, minuscule, elle appartient comme toutes les dimensions que l'on rencontre dans l'étude de la structure de la matière au domaine de l'infiniment petit. Pour en donner une idée un peu plus précise, disons qu'il faudrait environ $6,10^{20}$ ou 600 milliards de milliard de charges électriques élémentaires soumises à un potentiel de 1 volt, pour fournir l'énergie de 98 joules envisagée précédemment.

⁽²⁾ « Tension électrique à vide » sous-entend que le circuit électrique est « ouvert » ou encore qu'aucun récepteur n'est raccordé entre les bornes du générateur. À noter que certains récepteurs possèdent une force contre-électromotrice qui s'oppose à la force électromotrice du générateur.

80

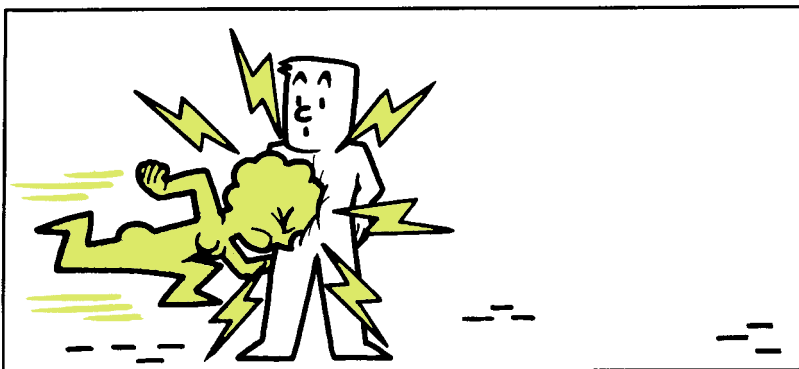


81

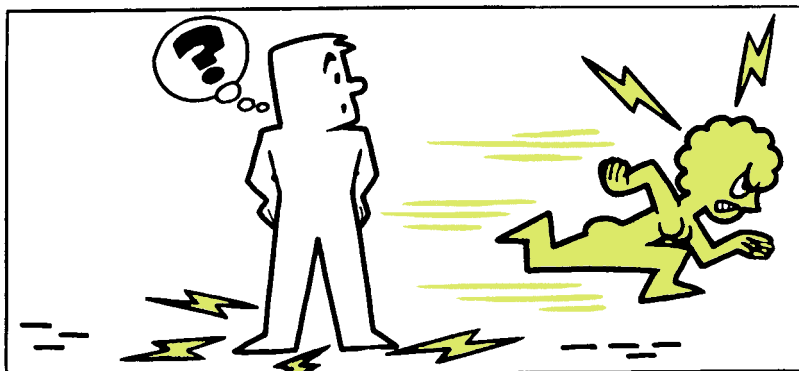


Les générateurs électriques peuvent fournir aux récepteurs une quantité importante d'électrons sous un faible potentiel ou au contraire une faible quantité d'électrons de potentiel élevé.

82



83



Dans un conducteur parcouru par un courant, tous les électrons libres sont mobilisés. Un accroissement de l'intensité ne peut se traduire que par une augmentation de leur vitesse de déplacement : les heurts et les frottements seront plus importants, et l'énergie emmagasinée par les charges et leur tension vont diminuer.

Remarque

La puissance P d'un générateur électrique s'exprime par le produit de deux facteurs : sa tension U et l'intensité maximale I du courant qu'il peut fournir au récepteur : $P = U \times I$.

Ces deux paramètres, qui sont par définition même fondamentalement différents, sont néanmoins interdépendants et pratiquement indissociables.

En effet, dans un générateur susceptible de débiter une charge électrique Q formée de $(n \times q)$ charges élémentaires, l'énergie communiquée à cette charge est caractérisée par le potentiel U du générateur ; théoriquement cette tension devrait être indépendante du circuit électrique connecté à ses bornes. Quant à l'intensité électrique débitée, celle-ci peut prendre soit une valeur nulle, lorsque le circuit électrique est ouvert, soit une valeur maximale compatible avec la dissipation d'énergie thermique du générateur.

Supposons maintenant qu'un récepteur, connecté aux bornes d'un générateur, exige un courant électrique supérieur à celui que la source peut normalement fournir. Que se passe-t-il ?

La tension V du générateur ainsi que l'intensité I qu'il peut débiter étant fixées par la quantité d'énergie externe qu'il utilise [chimique ou mécanique], le générateur ne pourra faire face à cette demande supplémentaire.

Les conducteurs internes, dont il est constitué, qui n'ont pas été prévus pour assurer la libre circulation de ces charges électriques excédentaires, vont leur opposer une résistance à l'avancement d'autant plus importante que leur vitesse sera plus élevée.

Pour vaincre cette opposition, les charges électriques vont céder dans cette résistance interne de l'énergie sous forme thermique, qui viendra se soustraire de celle qu'elles ont emmagasinée ; en fonction de la définition que nous avons donnée, la **tension électrique** du générateur va **diminuer**, entraînant par réaction une **diminution** de l'intensité du courant (voir la loi d'Ohm) et par conséquent une limitation de la puissance fournie au récepteur.

En résumé, dans un circuit électrique fermé, pour que la tension d'un générateur reste sensiblement constante, il importe :

- dans les générateurs électro-chimiques : que la quantité de charges élémentaires utilisée par le récepteur soit faible par rapport à celle qui est accumulée par le générateur (cas de l'accumulateur électrique utilisé sur les véhicules automobiles),
- dans les autres générateurs : que la résistance électrique interne, dissipatrice d'énergie thermique, soit la plus faible possible et que l'intensité de courant exigée par le récepteur ne soit pas supérieure à celle que peut normalement fournir le générateur.

Tension électrique entre des corps chargés

Soient trois corps conducteurs A, B, C.

Le corps A est chargé positivement, c'est-à-dire que tous les atomes qui le composent ne sont pas neutres et que quelques-uns d'entre eux ont perdu des électrons.

Tous les atomes du corps B sont neutres, ce qui est leur état normal, donc sa charge est nulle.

Quant au corps C, qui possède un excédent d'électrons, sa charge est négative.

Supposons que le potentiel du corps A soit + 100 volts et que celui du corps C soit - 100 volts.

Entre A et B, la différence de potentiel sera de :

$$+ 100 \text{ V} - 0 \text{ V} = + 100 \text{ volts}$$

et entre B et C de :

$$0 \text{ V} - 100 \text{ V} = - 100 \text{ volts.}$$

Par contre, entre A et C, celle-ci sera de :

$$+ 100 - [- 100] = 200 \text{ volts.}$$

En substituant au corps B la terre ⁽¹⁾, qui par définition est le potentiel zéro, on peut aussi dire que la différence de potentiel entre A et la terre est proportionnelle au potentiel de la charge A.

Si cette charge est positive [A], la terre est négative relativement à cette charge.

Inversement, si le corps chargé est négatif [C], le sol est positif par rapport à cette charge.

De ce qui précède, il résulte :

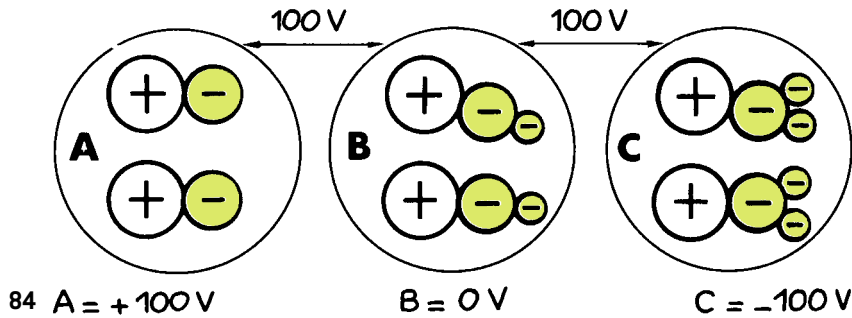
- qu'il existe toujours une différence de potentiel ou de tension entre deux corps chargés positivement, ou négativement, lorsque leurs potentiels sont différents en valeur absolue,
- que cette différence de potentiel est **une notion purement relative** ; elle exprime seulement une relation entre deux corps chargés de même signe ou de signe contraire.

Conducteur sous tension

Tout conducteur électrique, relié à un générateur en fonctionnement, qu'il soit ou non parcouru par un courant, est un conducteur dit « sous tension ».

Il peut être considéré comme le simple prolongement de l'une des bornes du générateur.

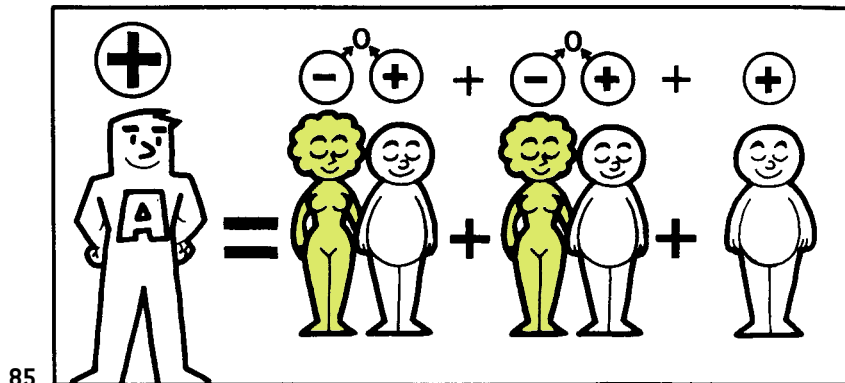
⁽¹⁾ La terre prise dans son ensemble est un conducteur électrique non chargé. Sa quantité de charges libres est telle que le fait de lui soustraire ou de lui fournir des charges négatives, les seules qui pratiquement circulent librement, ne modifie en rien la valeur de sa charge totale qui reste nulle ; son potentiel est appelé par définition « potentiel zéro ». On est amené à constater, localement et dans des circonstances particulières (écoulement d'un courant de fuite, effets de la foudre...), que des points situés à des distances relativement courtes (quelques mètres) sont portés momentanément à des potentiels différents. Ces phénomènes jouent un rôle extrêmement important en matière de risques électriques.



84 $A = +100 \text{ V}$

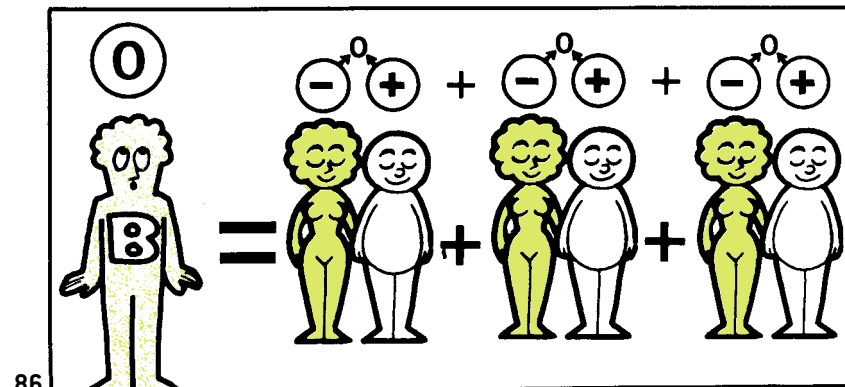
$B = 0 \text{ V}$

$C = -100 \text{ V}$



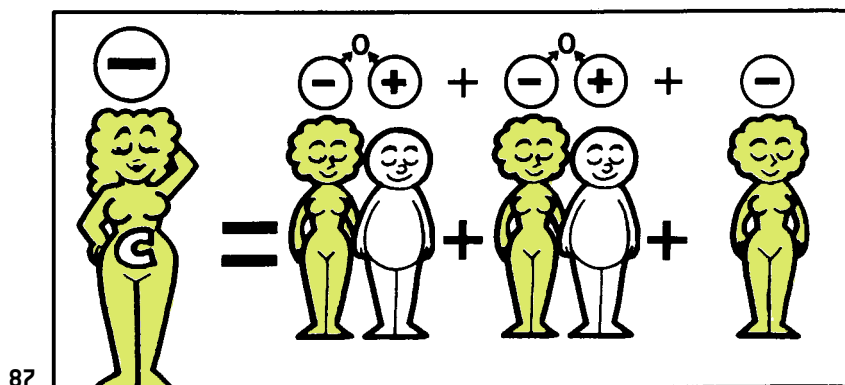
85

Le corps A est chargé positivement par rapport aux corps B et C.



86

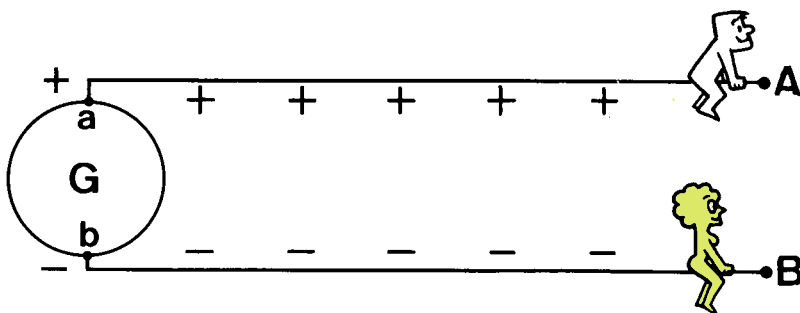
Le corps B est non chargé. Son potentiel est nul.



87

Le corps C est chargé négativement par rapport aux corps A et B.

88



Par exemple, les deux conducteurs aA et bB soumis au potentiel des bornes a et b du générateur G sont des conducteurs sous tension.

Susceptibles d'être traversés instantanément par un courant électrique, lorsque les charges portées par bB ont la possibilité de rejoindre celles portées par aA, ils sont tout aussi dangereux pour le personnel que les conducteurs parcourus par un courant [voir les risques d'électrocution].

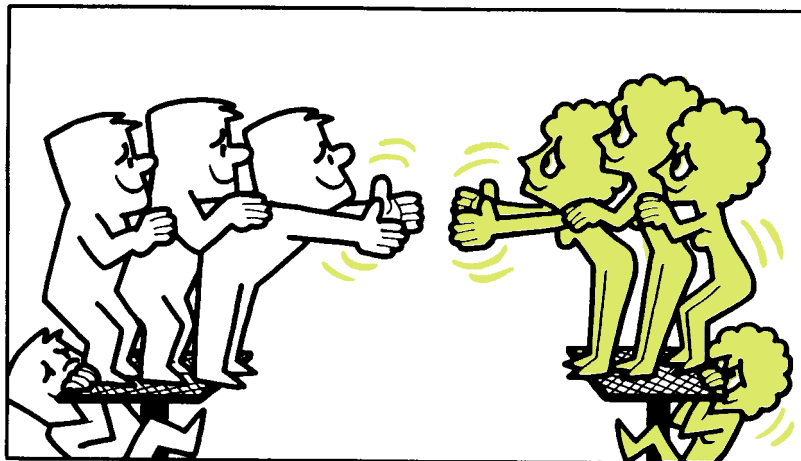
Tension disruptive

Quand la tension électrique entre les charges positives et négatives est très importante, la force d'attraction entre ces charges est telle qu'elles peuvent se neutraliser momentanément, sans l'aide d'un conducteur matériel ; la liaison conductrice se présente alors sous l'aspect d'un arc électrique qui peut d'ailleurs être précédé d'une forme plus discrète : le courant de fuite.

De tels arcs électriques peuvent jaillir entre deux conducteurs ou deux récepteurs voisins portés à des potentiels différents, lorsque la distance ou l'épaisseur de l'isolant qui les sépare n'est pas suffisante ou que sa qualité d'isolation a été affectée pour des motifs déjà évoqués.

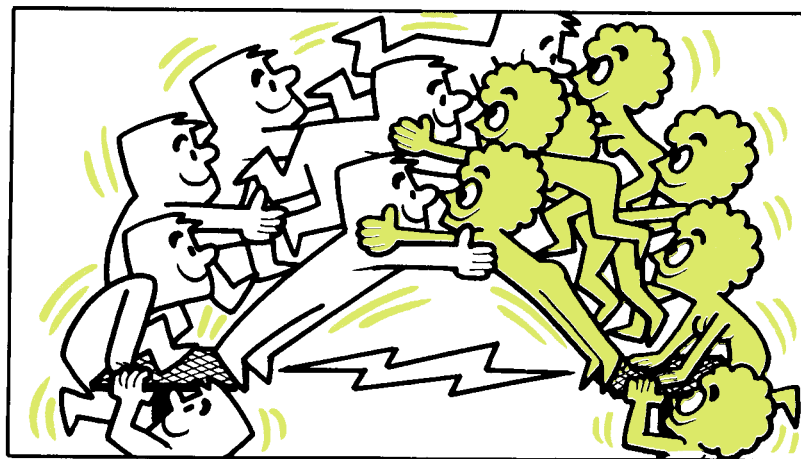
C'est la **tension de rupture**.

89



Quand la tension électrique entre les charges est très importante...

90



... il n'est pas nécessaire, pour qu'elles se rejoignent, d'établir entre elles une liaison matérielle.

a - Rupture d'un isolant gazeux

Sous l'influence du champ électrique – ou des forces d'attraction – qui règne dans l'espace qui sépare les charges électriques ou les conducteurs sous tension, quelques électrons seront arrachés aux atomes des conducteurs métalliques et se dirigeront vers le potentiel positif [électrons primaires]. Sur leur parcours, ils vont heurter des atomes gazeux et, sous l'effet du choc, leur soustraire des électrons secondaires avec lesquels ils constitueront un flux continu de charges libres [électrons et atomes ionisés].

C'est le **courant de fuite**.

Cette liaison conductrice qui s'établit entre les conducteurs ou entre les charges est tout d'abord invisible, mais si le nombre des électrons primitivement arrachés est suffisant, il provoquera le passage quasi instantané d'un courant beaucoup plus élevé qui se concrétisera par un **arc électrique**.

Pendant les orages, les « éclairs » qui jaillissent entre les nuages ou entre les nuages et le sol en sont l'illustration.

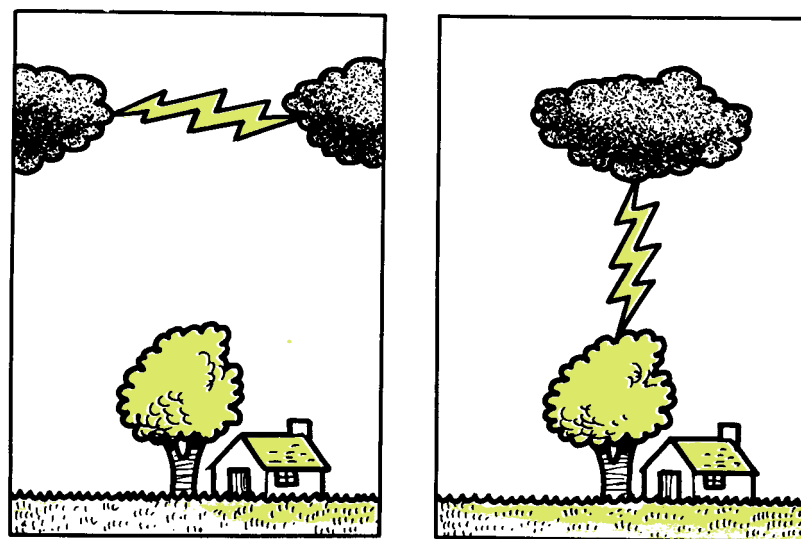
Après interruption du courant de décharge, par neutralisation momentanée, partielle ou totale des charges électriques ou par suppression de la tension, l'**isolation se reconstituera**.

b - Rupture d'un isolant solide

Soit un isolant solide soumis à la tension U d'un générateur polarisé suivant les signes indiqués par la figure 95.

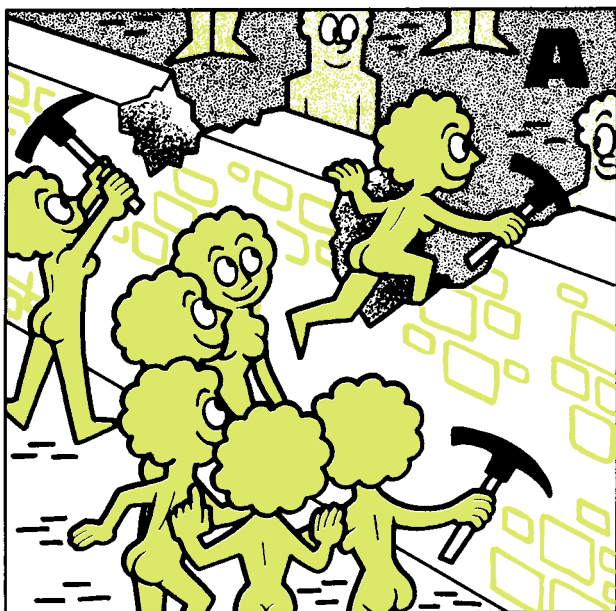
Comme tous les isolants non parfaits, il possède des atomes d'impuretés conductrices répartis

91

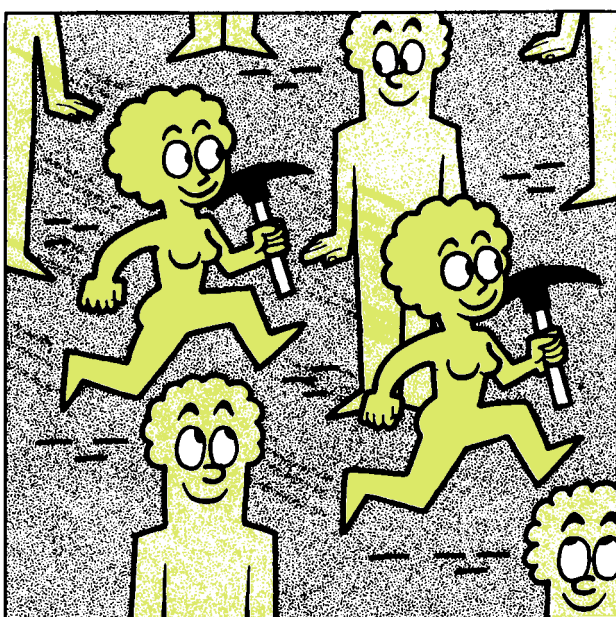


Pendant les orages, les éclairs en sont la preuve.

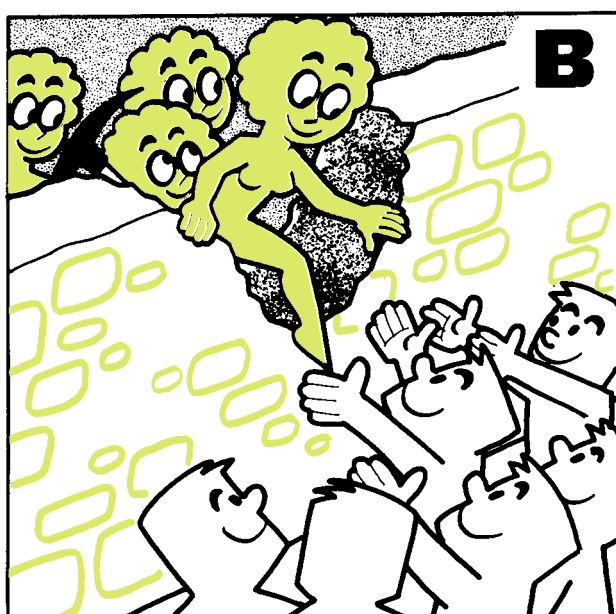
92



93



94



Quand il existe une faille dans les isolants qui recouvrent les conducteurs d'alimentation ou les éléments sous tension d'un appareil, les électrons libres vont s'infiltrer à travers cette ouverture pour rejoindre les charges positives ; à brève échéance, l'isolant sera détruit et le matériel rendu dangereux.

non uniformément dans sa masse et qui sont générateurs de charges libres.

Parallèlement, sous l'effet de la tension électrique et si celle-ci est suffisamment intense, quelques atomes d'isolant vont perdre des électrons périphériques.

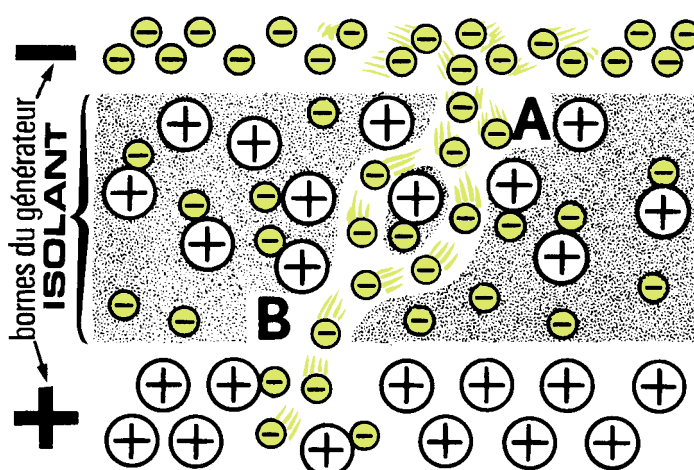
Progressivement, par migration, toutes ces charges s'accumuleront le long de la barrière « virtuelle »^[1] de séparation face aux charges emmagasinées par le générateur^[2] [côté positif]. En migrant, ces charges libres laisseront derrière elles autant de charges positives qui feront face aux charges négatives accumulées par le générateur.

Des imperfections d'ordre technologique (variation de l'épaisseur de l'isolant, concentration des atomes d'impuretés, lacunes dans la distribution des atomes) font que la densité des charges n'est pas homogène sur toute la surface de l'isolant et en ces points, par exemple A et B, le champ électrique pourra être suffisant pour que les charges libres franchissent la barrière virtuelle qui sépare l'isolant des pôles du générateur ; un flux permanent de charges négatives circulera entre les points A et B, c'est le **courant de fuite**.

En fonction du temps et suivant l'importance de ce courant, le chemin de circulation peut se « carboniser » ou se « métalliser », par effet thermique, et accélérer le phénomène jusqu'à la « rupture » de l'isolant.

Les propriétés chimiques et électriques de l'isolant sont modifiées de façon irréversible et, contrairement aux isolants gazeux, après interruption du courant par suppression de la tension, **l'isolant solide ne se reconstitue pas**.

Ces défauts électriques qui affectent les isolants internes des récepteurs sont le plus souvent invisibles et indécélables par le personnel affecté à la manipulation des appareils électriques, et par conséquent ils sont extrêmement dangereux.

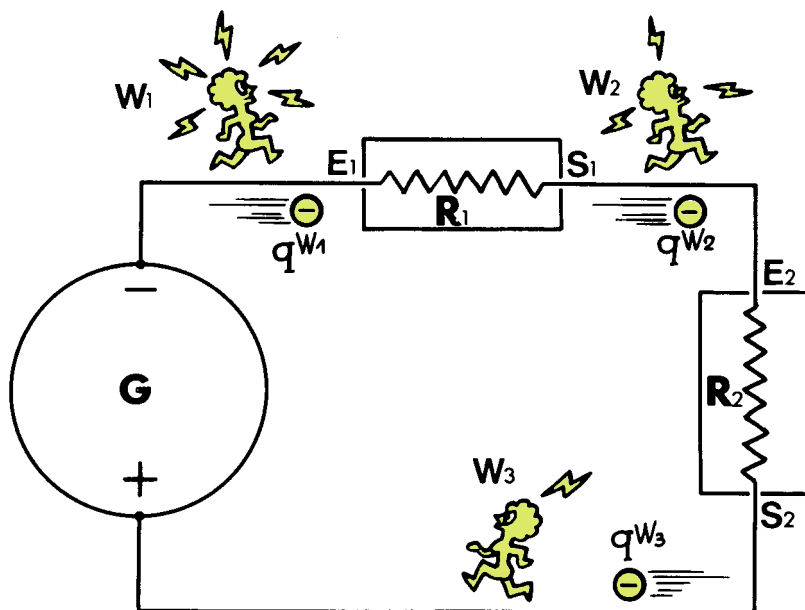


95

[1] Interface entre deux corps différents.

[2] En réalité, les phénomènes sont un peu plus complexes. Les molécules [qui sont des assemblages d'atomes] du corps isolant constituent des petits « dipôles » polarisés + et -, et ce sont ces dipôles qui vont s'orienter dans le sens du champ électrique.

96



Potentiel d'un point situé sur un circuit électrique

À la sortie du générateur G, une charge électrique q qui possède une énergie électrique W_1 la conserve jusqu'à son entrée dans le récepteur R_1 si la liaison électrique entre récepteur et générateur est assurée par un conducteur de faible résistance.

À la sortie du récepteur R_1 , où une partie de cette énergie électrique initiale W_1 a été transformée en travail, l'énergie électrique W_2 de la charge, c'est-à-dire celle qu'elle est encore susceptible de fournir au récepteur R_2 , est plus faible que W_1 , et par déduction l'énergie potentielle W_3 sera inférieure à W_2 .

Dans le récepteur R_1 , la charge a dépensé une énergie $W_1 - W_2$ et dans le récepteur R_2 une énergie $W_2 - W_3$.

Si ce raisonnement est vérifié pour une charge, il l'est pour toutes les charges qui circulent dans le circuit fermé GR_1R_2G , et l'énergie électrique disponible à l'entrée du récepteur R_1 est plus élevée qu'à sa sortie ou encore, comme la charge q est constante, le **potentiel** du point E_1 est plus élevé que le **potentiel** du point S_1 (voir la tension électrique).

On peut donc en conclure que le potentiel se dégrade en même temps que l'énergie et que les charges électriques circulent du point situé au potentiel le plus élevé vers le point situé au potentiel le plus bas.

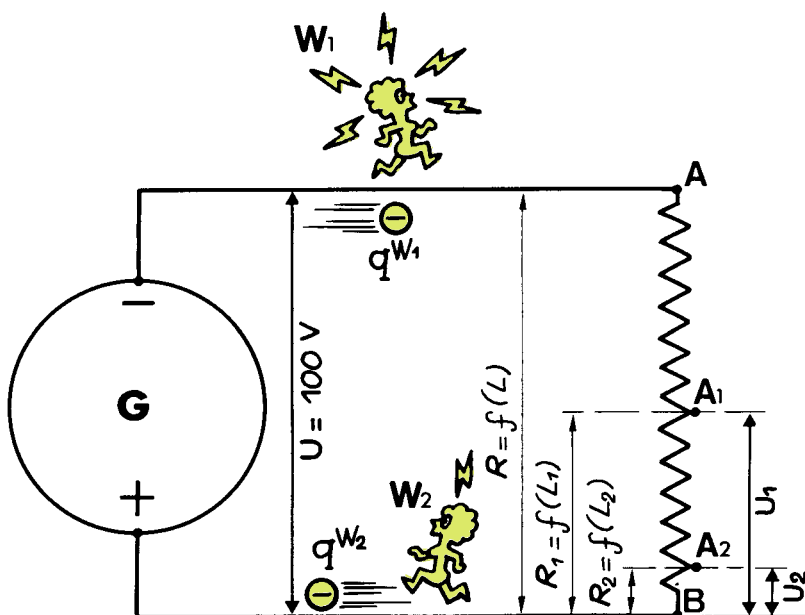
Distribution du potentiel le long d'une résistance

Si l'on assimile tous les récepteurs, sans force contre-électromotrice, à des résistances ⁽¹⁾, il est nécessaire pour prendre conscience des risques électriques d'examiner un peu plus en détail comment se distribuent les potentiels le long de ces résistances.

Dans le schéma précédent, supposons que les deux récepteurs soient identiques $R_1 = R_2$ et imaginons une charge électrique qui part du point E_1 pour se diriger vers le point S_2 positif par rapport à E_1 (ou moins négatif que E_1).

Au fur et à mesure qu'elle s'éloigne de E_1 , la distance qui la sépare du point S_2 diminue, et relativement à ce point, tous les points intermédiaires situés entre E_1 et S_2 seront moins négatifs (ou plus positifs) que E_1 , ce qui veut dire que la différence de potentiel, à laquelle est soumise cette charge, diminue avec la distance qui la sépare de S_2 , c'est-à-dire avec la résistance électrique, pour devenir minimale au point S_2 ⁽²⁾.

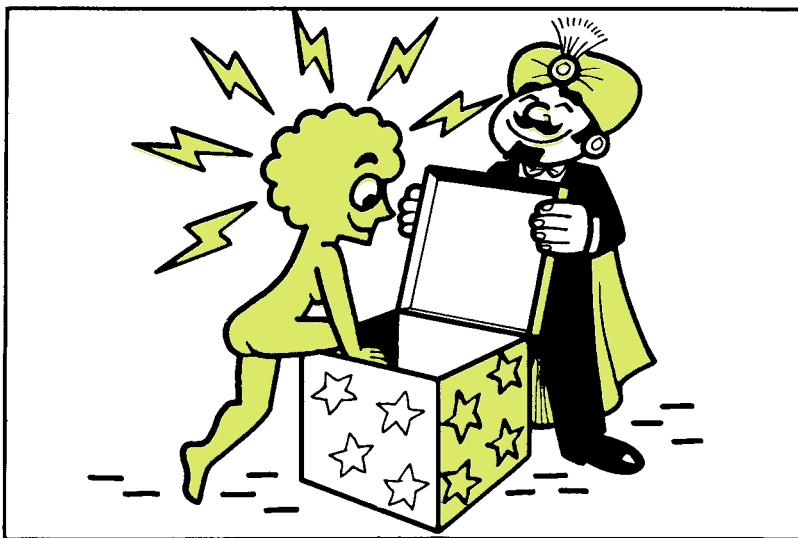
97



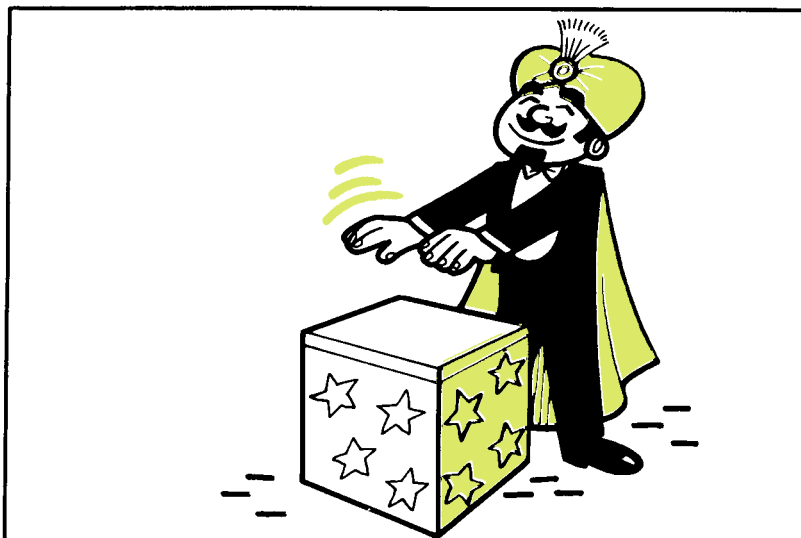
⁽¹⁾ Un électricien ajouterait « ou à des impédances », ce qui ne change rien au raisonnement.

⁽²⁾ L'application de ce principe fait l'objet d'une mesure de protection contre les risques électriques.

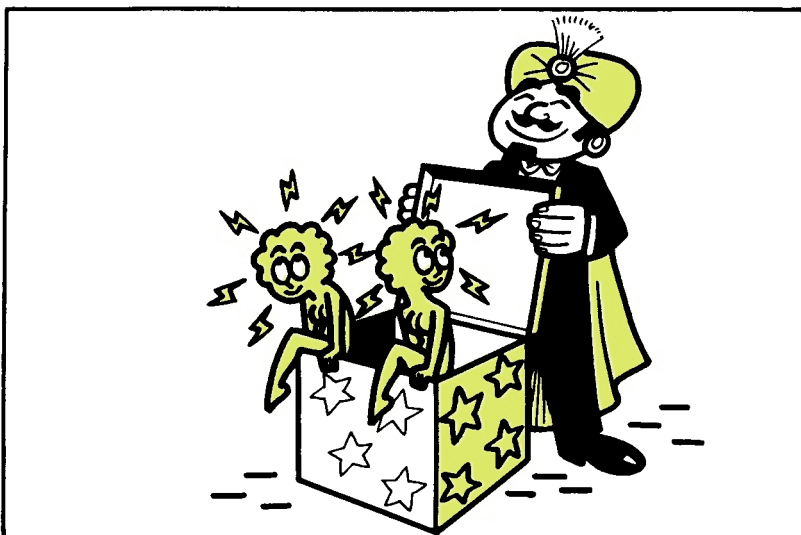
98



99



100



Les propriétés magnétiques du fer doux permettent de modifier les valeurs de la tension et de l'intensité du courant électrique.

Exemple : Considérons un circuit électrique constitué par un conducteur résistant homogène de longueur L , dont la résistance R est proportionnelle à sa longueur, et un générateur de tension U constante connecté aux bornes de cette résistance.

Les liaisons électriques entre générateur et récepteur sont supposées comme étant de résistance négligeable.

$$U = 100 \text{ volts} \quad R = 100 \text{ ohms} \quad L = 100 \text{ cm}$$

Au point A, la charge qW_1 est soumise à la différence de potentiel maximale :

$$U = 100 \text{ volts.}$$

Au point A_1 , situé à égale distance de A et B ($L_1 = 50 \text{ cm}$, $R_1 = 50 \text{ ohms}$), la charge qW_1 est soumise à la moitié de la tension maximale U , soit $U_1 = 50 \text{ volts}$.

À la moitié de la résistance correspond la moitié de la tension.

Au point A_2 , situé à 90 cm de A ($L_2 = 10 \text{ cm}$, $R_2 = 10 \text{ ohms}$), la charge qW_2 est soumise au $1/10^{\text{e}}$ de la tension U , soit $U_2 = 10 \text{ volts}$.

Au $1/10^{\text{e}}$ de la résistance correspond le $1/10^{\text{e}}$ de la tension, etc.

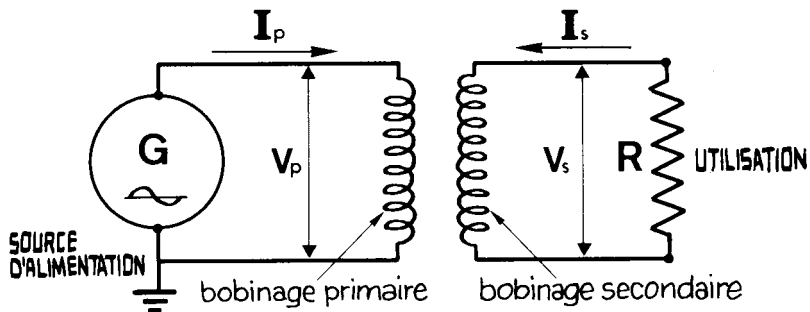
Dans un conducteur électrique de résistance R , parcouru par un courant I , la distribution du potentiel décroît proportionnellement à la valeur de la résistance.

4. Le transformateur

Un transformateur à enroulements séparés est constitué de deux bobinages enroulés sur un même noyau magnétique (assemblage de tôles de fer doux) et isolés électriquement l'un de l'autre. Le « primaire », sous-entendu le bobinage primaire, est connecté à la source d'énergie électrique – le réseau de distribution – et le secondaire est connecté à l'appareil d'utilisation.

Il n'existe donc aucune liaison matérielle, c'est-à-dire aucun point commun entre le « circuit primaire » et le « circuit secondaire » (sauf si l'une des extrémités du bobinage secondaire est elle-même réunie à la terre).

Le principe de fonctionnement est simple : la source d'alimentation alternative G de tension V_p (voir page 25) crée à l'intérieur du bobinage primaire un déplacement d'électrons libres qui rend les extrémités tantôt négatives, tantôt positives.



La proximité des deux bobinages, primaire et secondaire, entraîne par « influence magnétique » un mouvement alternatif identique des électrons libres contenus dans le bobinage secondaire, d'où l'apparition aux bornes de ce bobinage d'une tension alternative V_s .

Suivant l'usage auquel le transformateur est destiné, la tension au secondaire peut être identique, plus grande ou plus petite que la tension primaire qui est celle du réseau de distribution :

$$\frac{U_s}{U_p} = 1 \quad \frac{U_s}{U_p} > 1 \quad \frac{U_s}{U_p} < 1$$

Si l'on néglige les pertes du transformateur, la puissance disponible au secondaire est égale à la puissance absorbée au primaire, de telle sorte que si la tension secondaire est égale à la moitié de la tension primaire, le courant absorbé par l'appareil d'utilisation peut être deux fois plus important que le courant fourni par le réseau de distribution.

Il faut enfin noter que, vu du côté source d'alimentation, le bobinage primaire constitue un **récepteur d'énergie** électrique qui est soumis à la tension V_p du réseau de distribution et est parcouru par un courant I_p . Par contre, vu du côté utilisation, le bobinage secondaire constitue une **source d'alimentation** qui peut fournir à un récepteur R un courant I_s sous une tension V_s .

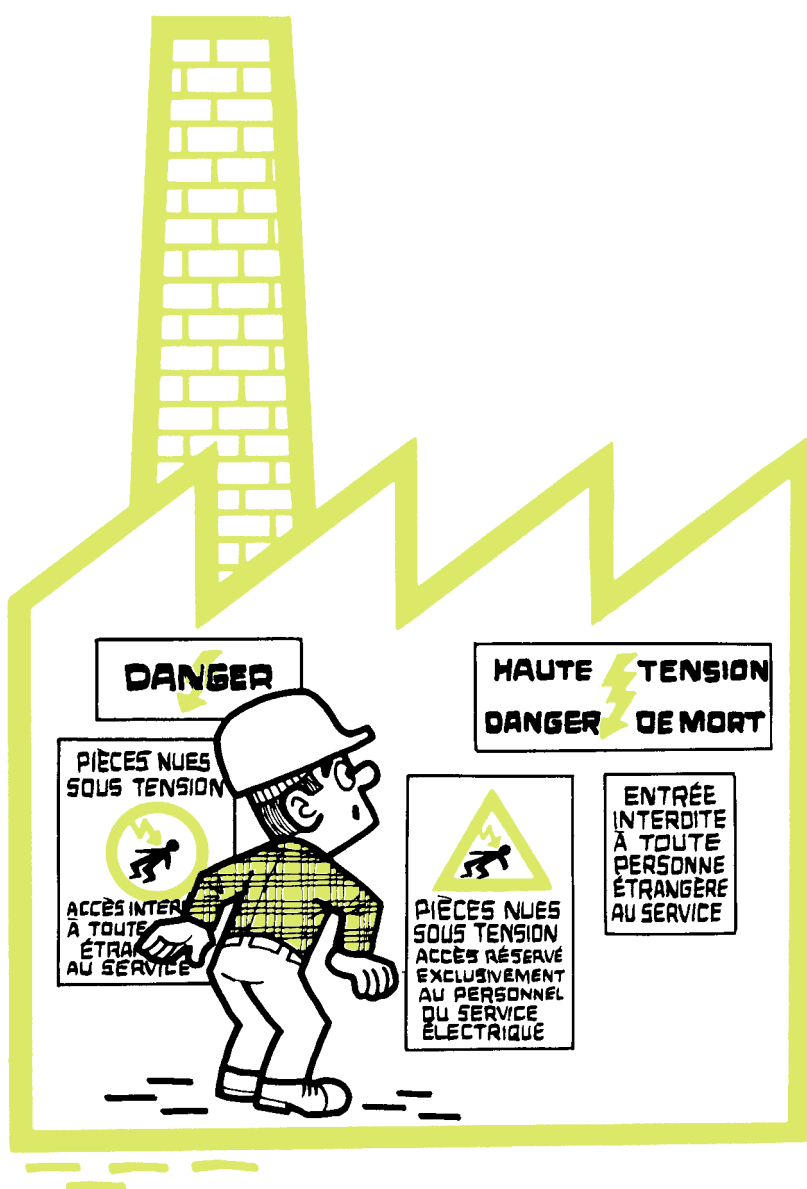
Au rendement près,
 $V_p I_p = V_s I_s$.

2^e partie

L'électricité, Comment s'en protéger



1 Origine du risque électrique



103

Chaque activité, professionnelle ou autre, est entachée de risques et la probabilité que des accidents surviennent existe. Le but de la prévention est de faire en sorte que cette probabilité tende vers zéro.

Par exemple : l'automobiliste qui, le dimanche, décide de faire une promenade en voiture prend, consciemment ou non, un risque qui s'accroît avec le nombre de kilomètres parcourus, le nombre d'heures de conduite, ainsi qu'avec d'autres facteurs difficiles à analyser, mais cet automobiliste diminue ses risques s'il est sobre, s'il a une voiture bien entretenue, etc.

Dans le cadre des activités professionnelles, on constate que, d'une façon générale, cette probabilité d'accident varie suivant les professions et, pour une même profession, suivant les entreprises.

Les accidents d'origine électrique ne font pas exception à la règle ; le risque électrique prend naissance avec l'action du travailleur dans son milieu de travail.

En 2007, on a enregistré en France 838 accidents du travail ⁽¹⁾ dus à l'électricité, dont 11 mortels.

On estime à environ 150 le nombre total de décès dus à l'électricité en France, tous domaines confondus.

[1] Ces chiffres concernent les seuls salariés assujettis au régime général de la Sécurité sociale.

2 Dommages corporels causés par le courant électrique

Le corps humain peut être considéré comme un récepteur électrique, et la gravité des dommages corporels provoqués par le courant électrique résulte de la conjugaison de plusieurs facteurs concomitants :

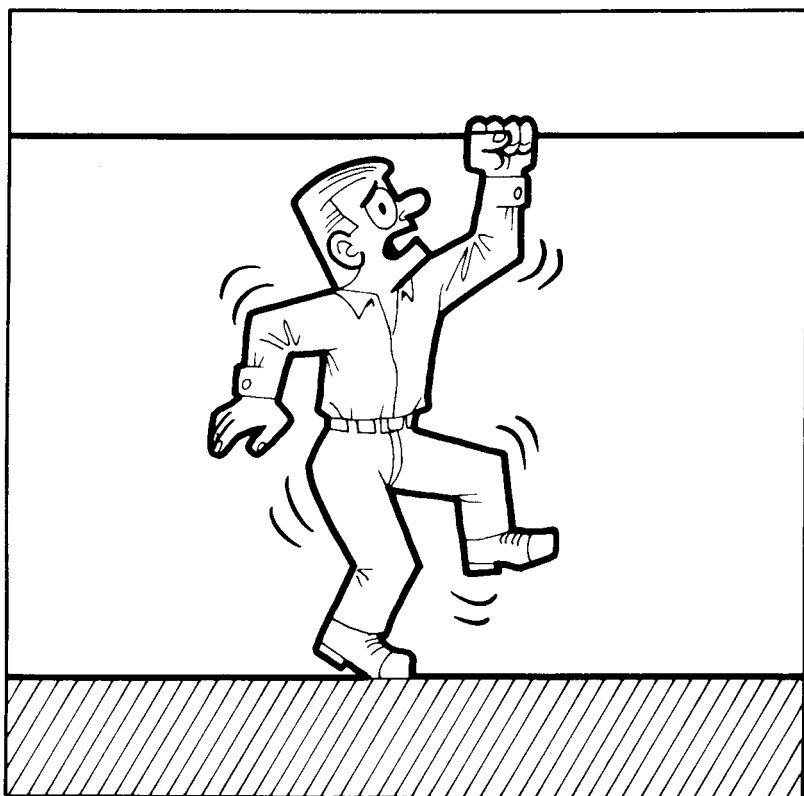
- valeur de l'intensité du courant électrique circulant à travers le corps humain, valeur qui dépend elle-même de la source d'énergie électrique (puissance, tension) et du milieu dans lequel s'exerce habituellement l'activité du travailleur (emplacement de travail isolant ou très conducteur),
- trajet du courant dans l'organisme suivant que le contact s'établit entre deux mains ou entre une main et les pieds,
- durée de passage du courant électrique à travers le corps humain,
- susceptibilité particulière de la personne soumise à l'action du courant électrique.

1. Résistance électrique du corps humain

Le corps humain se laisse parcourir par le courant électrique avec plus ou moins de facilité suivant sa propre résistance électrique qui représente l'obstacle que la peau et les tissus intérieurs opposent au passage du courant. La peau constitue la barrière la plus efficace à la pénétration du courant à l'intérieur du corps et sa résistance électrique varie en fonction :

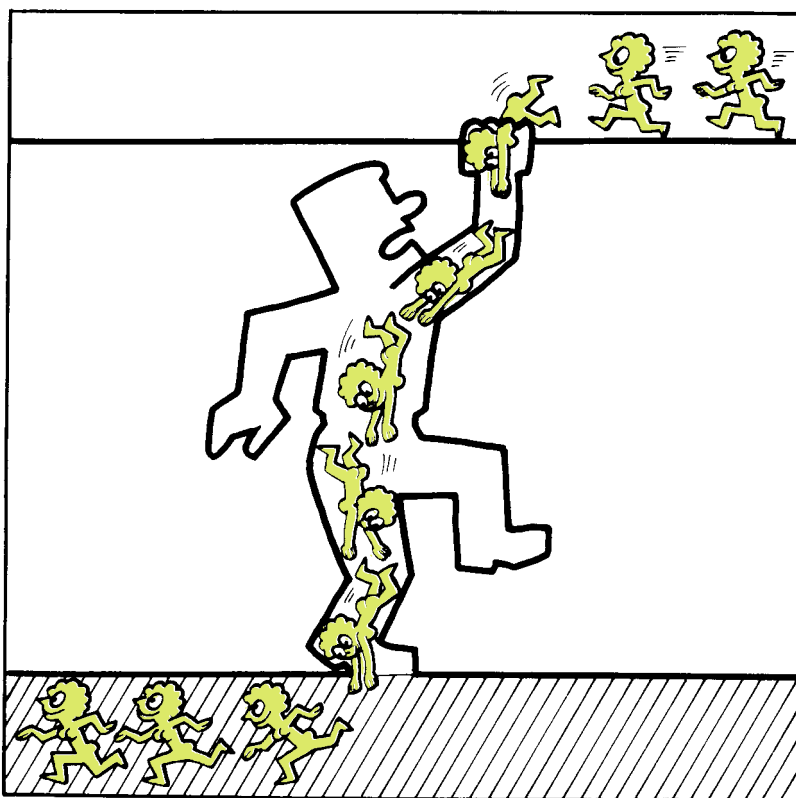
- de son état de surface (peau sèche, humide, imprégnée de produits chimiques),
- de son épaisseur (peau fine ou calleuse).

Pour une peau sèche et fine, au-delà d'une tension électrique que l'on peut estimer à 40 ou 50 volts, la barrière isolante cède (voir la rupture des isolants solides) et le courant augmente très rapidement ; il n'est plus limité que par la résistance des tissus et liquides internes qui est faible par rapport à celle de la peau, on peut estimer cette résistance à 300 ohms environ.



104

Le corps humain se laisse parcourir par le courant électrique...



... qui suit des trajets préférentiels : organes offrant la moindre résistance (cœur, poumons, etc.).

Hormis les cas où la tension est appliquée entre deux mains, cette résistance peut être augmentée par les vêtements et tout spécialement par les chaussures.

La pression exercée sur le conducteur ou les parties conductrices sous tension et l'étendue de la surface de contact jouent un rôle particulièrement important dans les conséquences de l'accident.

Les faits mentionnés dans les comptes rendus relatant les circonstances dans lesquelles se sont produits des accidents d'origine électrique montrent que, lorsque ce contact est bien assuré, tant par la pression exercée que par la surface de contact, il entraîne souvent la mort ou provoque des séquelles irréversibles.

2. Trajet du courant électrique dans l'organisme

Dans l'organisme, le courant électrique suit des trajets préférentiels qui passent par les organes offrant la moindre résistance : le cœur, les poumons, les reins.

Des contacts établis entre deux doigts d'une même main n'offriront qu'un court trajet limité à la main, alors qu'une liaison établie entre chacune des deux mains intéressera la totalité du thorax, c'est-à-dire le cœur et les poumons.

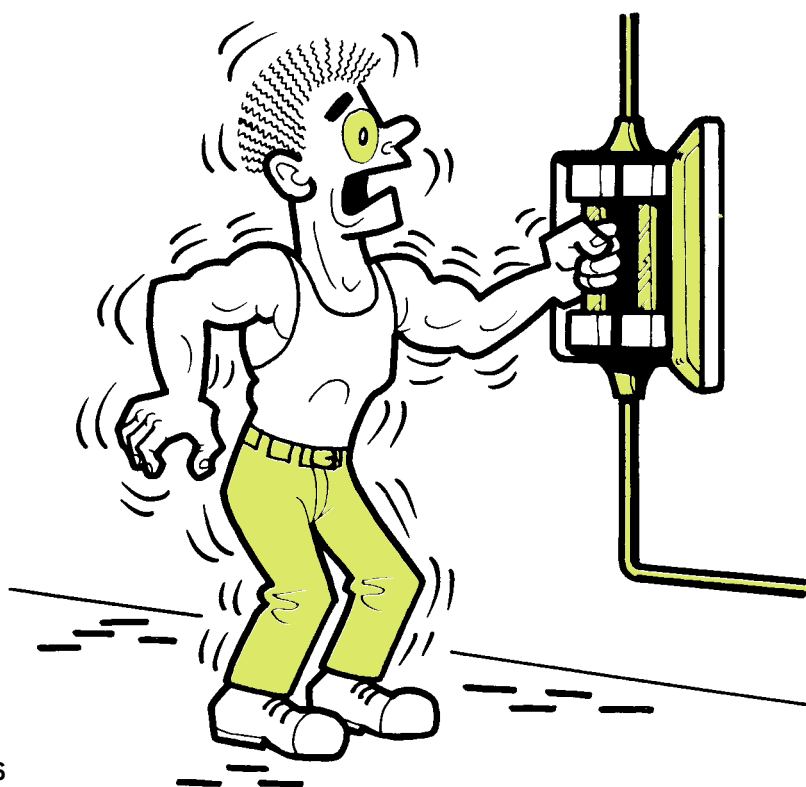
Ces notions de trajet du courant électrique sont déterminantes dans les conséquences des accidents puisque ce courant, en circulant à l'intérieur du corps humain, peut affecter ou non des organes vitaux.

3. Effets thermiques

On admet généralement que les brûlures électriques superficielles provoquées par le passage du courant peuvent se manifester pour des intensités relativement faibles, de l'ordre de 10 milliampères⁽¹⁾, si le contact est maintenu pendant quelques minutes.

4. Effets téтанisants

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 dégagement volontaire du sujet soumis à la tension du générateur. Ce faisant, elles assurent un meilleur contact qui diminue la résistance et augmentent ainsi les risques de brûlures.



Les muscles intéressés par le trajet du courant se contractent.

⁽¹⁾ Soit 20 fois moins que l'intensité qui traverse le filament d'une ampoule de lampe de poche.

5. Effets respiratoires et circulatoires

Si l'intensité du courant qui traverse le corps humain atteint 20 milliampères, 60 secondes suffisent pour bloquer la respiration par contraction du diaphragme et des muscles respiratoires⁽¹⁾. C'est l'asphyxie ou syncope bleue.

Une fibrillation ventriculaire apparaît pour des intensités du 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.

Dans les deux cas, plus la durée de passage du courant est longue, plus les conséquences sont néfastes pour l'accidenté et, si l'intervention d'un sauveteur secouriste ou d'un témoin de l'accident n'est pas suffisamment rapide, l'issue est souvent fatale.

6. Intensité maximale admissible du courant électrique

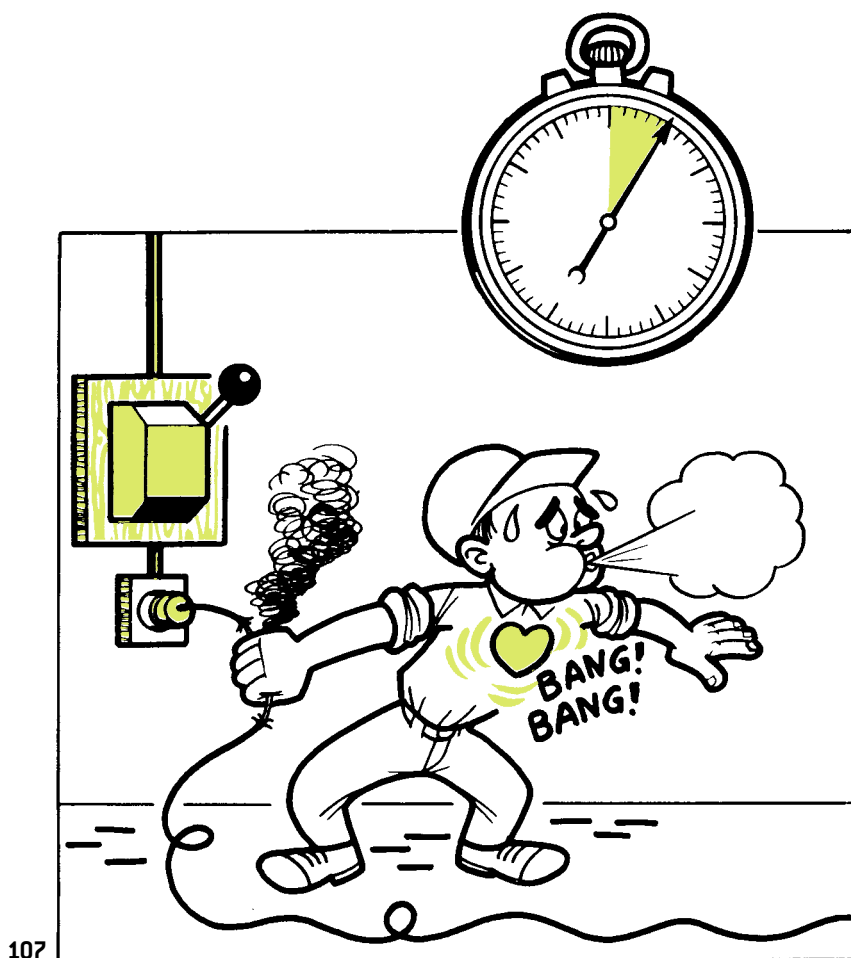
La présence éventuelle de facteurs individuels, liés à l'état physique ou physiologique d'une personne soumise à l'action du courant électrique, font que la prévision ou l'appréciation des dommages ou des conséquences dus à un accident d'origine électrique est souvent hasardeuse.

Une susceptibilité particulière du sujet accidenté (« choc » sur le système nerveux) peut toujours amplifier les effets du courant et entraîner la mort pour des intensités qui sont en général considérées comme sans danger ; aussi est-il toujours malaisé de définir une valeur-seuil à ne pas dépasser. Toutefois il est admis, actuellement, qu'une intensité maximale de 10 mA est supportable sans limitation de temps, tandis qu'au-delà il y a :

- risque d'asphyxie ventilatoire à partir de 25 mA pendant plus de 3 minutes,
- risque d'asphyxie circulatoire à partir de 40 mA pendant plus de 5 secondes.

Il en résulte qu'un générateur électrique, susceptible de débiter en permanence dans l'organisme une intensité supérieure à 10 mA, doit être considéré comme dangereux pour l'homme.

Pratiquement, c'est le cas de la plupart des générateurs industriels.



Un courant électrique de 25 milliampères, soit sensiblement la 10^e partie du courant qui circule dans le filament d'une ampoule électrique, peut tuer un homme.

10 milliampères, qui traversent le corps d'une personne pendant quelques secondes, sont suffisants pour provoquer des brûlures superficielles ou des troubles circulatoires ou respiratoires qui peuvent être irréversibles.

⁽¹⁾ Cette tétanisation musculaire entraîne une sidération totale de l'accidenté qui se trouve dans l'impossibilité d'appeler à l'aide.

Compte tenu de la résistance du corps humain^[1], qui diminue lorsque la différence de potentiel à laquelle celui-ci est soumis augmente, il importe :

- soit d'éviter formellement les contacts avec des conducteurs ou parties conductrices sous des tensions de 130, 230, 400 volts, etc., couramment utilisées,
- soit d'utiliser des tensions beaucoup plus faibles (voir plus loin « Protection des personnes qui utilisent l'énergie électrique »).

7. La loi d'Ohm considérée comme l'équation du risque électrique

Chaque fois qu'une liaison conductrice est assurée entre des charges différentes, en signe ou en valeur absolue, celle-ci donne naissance à un courant électronique qui s'écoule de la charge négative vers la charge positive, c'est-à-dire du $\ominus$ vers le $\oplus$ ou, par convention, à un courant électrique qui circule dans le sens inverse^[2].

En précisant la notion de la résistance électrique, qui « freine » le passage du flux électronique dans les matériaux conducteurs et l'interdit pratiquement dans les matériaux non conducteurs, il a, par ailleurs, été souligné qu'en agissant sur la valeur de cette résistance, exprimée en ohms, il serait possible de faire varier à volonté l'intensité d'un courant dans un récepteur quelconque. D'autre part, si l'on se souvient que l'énergie emmagasinée par des charges électriques est de la forme $W = q.V$ (q étant la valeur de la charge et V son potentiel) on peut concevoir intuitivement que, pour diminuer l'énergie dissipée dans le récepteur, deux possibilités nous sont offertes :

- ou freiner l'écoulement des charges en augmentant artificiellement au moyen d'une résistance additionnelle^[3] la résistance du récepteur,
- ou limiter le potentiel des charges créées en diminuant la tension électrique du générateur.

Pour la prévention des accidents d'origine électrique, les deux solutions peuvent être envisagées^[4] mais, dans l'utilisation de l'énergie électrique, la solution qui consiste à réduire la tension électrique du générateur s'avère de beaucoup préférable à la première où l'énergie dissipée dans la résistance additionnelle est perdue pour le récepteur.

C'est ainsi que pour pouvoir adapter cette intensité aux exigences des récepteurs, tout le matériel électrique (ampoules, moteurs, radios, TV) porte l'indication de sa tension de service.

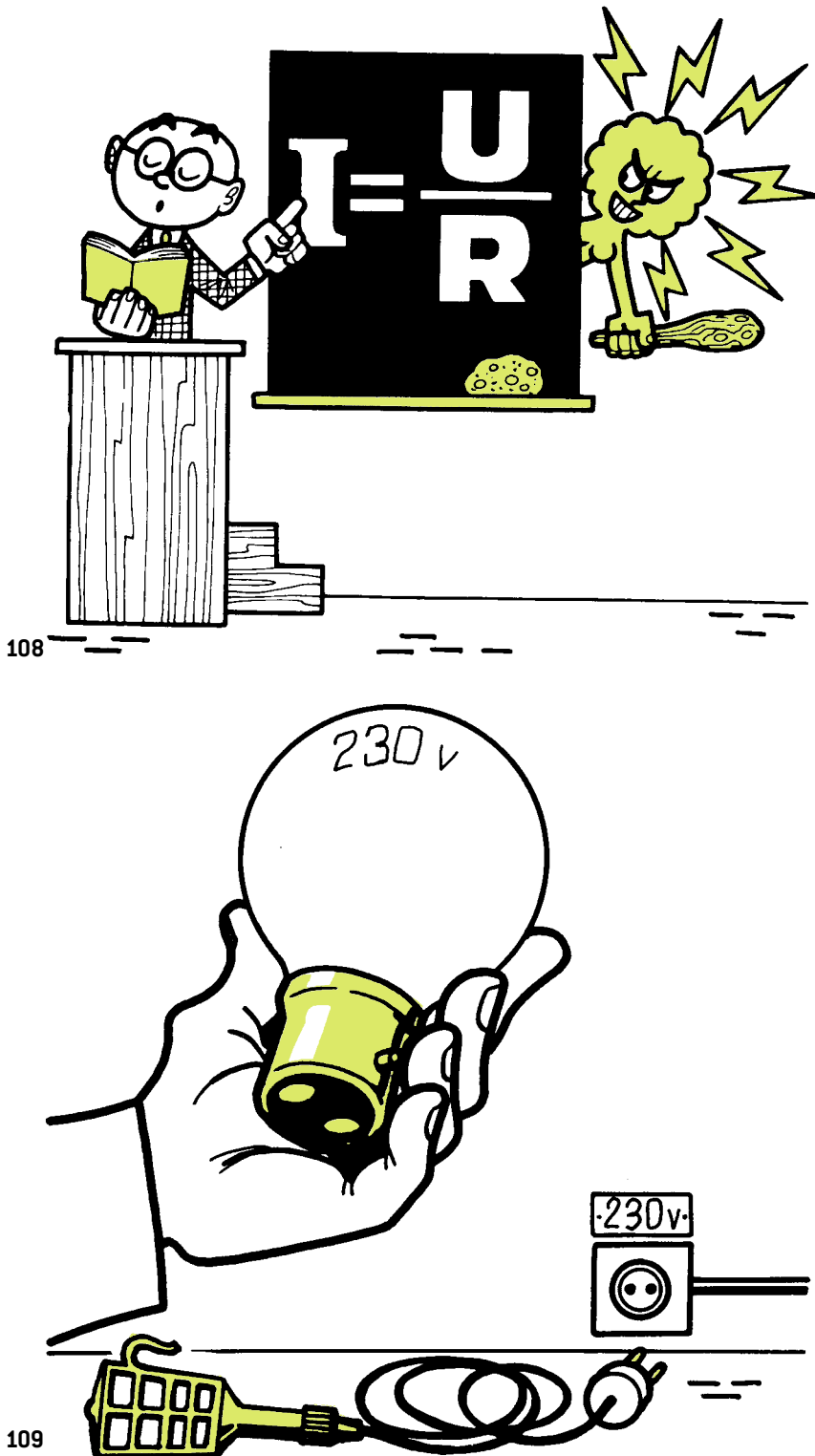
Variable selon les appareils, elle peut être de 24 - 48 - 130 - 230 - 400 volts ; des tensions plus élevées sont également utilisées.

[1] Sur les lieux de travail autres que ceux considérés comme mouillés, cette résistance est de l'ordre de 5 000 ohms sous 25 volts et d'environ 2 000 ohms sous 220 volts. Dans les locaux ou sur les emplacements de travail mouillés (chantiers du BTP par exemple) elle passe, pour les mêmes valeurs de tension, respectivement à 1 000 et à 600 ohms.

[2] Ce qui est contraire à la réalité.

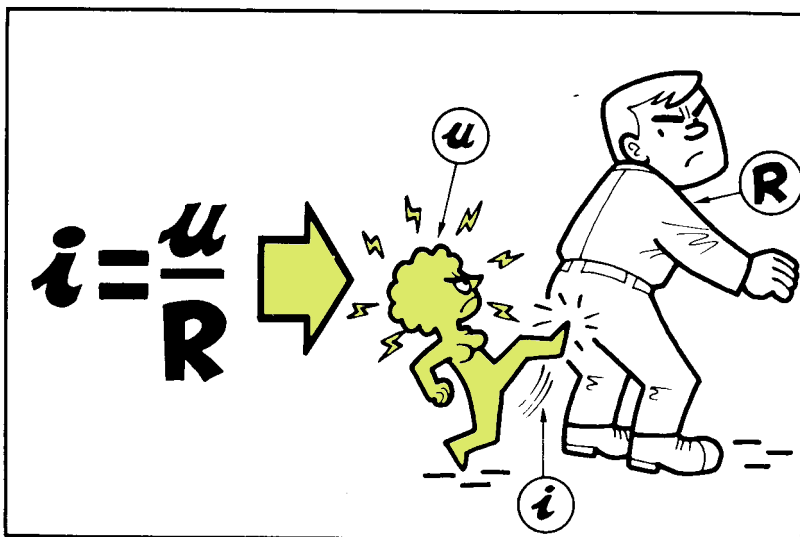
[3] C'est-à-dire en intercalant, dans le circuit électrique formé par le générateur et le récepteur, une résistance supplémentaire.

[4] Une troisième solution pourrait consister à limiter l'intensité en utilisant des générateurs à grande résistance interne (voir la tension électrique).



La tension nominale d'un récepteur électrique doit correspondre à la tension du réseau de distribution.

110



Lorsqu'un moteur électrique, prévu pour fonctionner sous une tension de 130 volts, est connecté aux bornes d'un générateur qui fournit une tension de 230 volts, l'intensité excessive du courant détruit, par effet thermique, les isolants internes du moteur qui est mis rapidement hors d'usage.

Si la même erreur est commise avec une ampoule électrique, celle-ci risque tout simplement d'exploser dans les mains de la personne qui aura commis cette imprudence.

Ces exemples simples sont une illustration de l'interdépendance entre les différentes unités que nous avons définies précédemment et qui caractérisent tous les circuits électriques.

La relation, qui lie l'intensité traversant le récepteur, la tension du générateur et la résistance de l'ensemble du circuit, est exprimée par une loi, la loi d'Ohm, dont on ne retient en général que la formule ⁽¹⁾ qui résume son énoncé :

$$I = \frac{U}{R}$$

Cette formule, d'application courante en technique électrique, donne la possibilité de calculer rapidement l'un des trois facteurs si l'on connaît les deux autres.

En matière de prévention des accidents d'origine électrique, elle nous permet surtout de mettre l'accent sur l'importance de ces éléments qui conditionnent la gravité des dommages corporels causés aux travailleurs qui, fortuitement, entrent en contact avec un conducteur ou une masse sous tension.

Exemples

Un ouvrier qui travaille sur une machine-outil veut réenclencher, dans une armoire de commande, un relais thermique ; malencontreusement, il entre en contact avec un conducteur porté au potentiel de 230 volts par rapport à la terre.

Calculons l'intensité qui le traverse à cet instant, en supposant que le contact s'établisse entre la main et les pieds :

R totale = 2 000 ohms (voir page 53)

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230}{2\,000} = 115 \text{ milliampères,}$$

soit de deux à quatre fois l'intensité supportable.

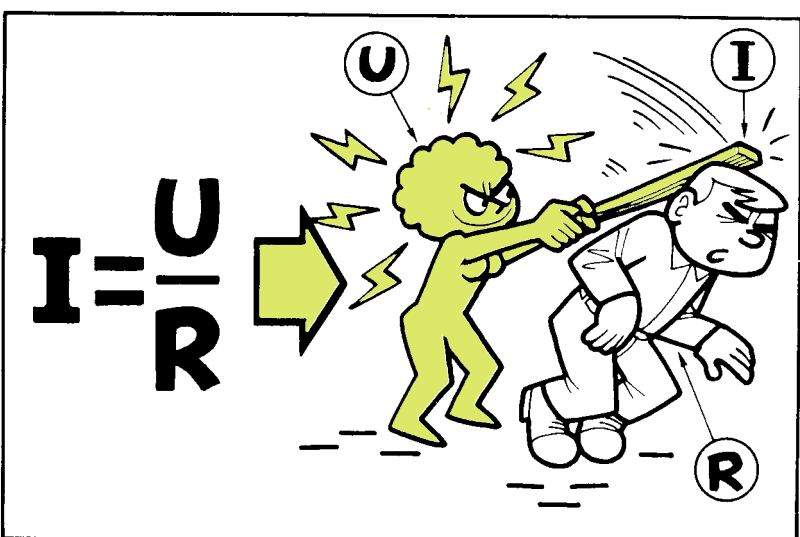
Imaginons maintenant que l'incident se passe à l'extérieur, sur un coffret électrique d'un chantier de travaux publics, un jour de pluie ; les mains et les pieds de l'ouvrier sont mouillés :

R totale = 600 ohms

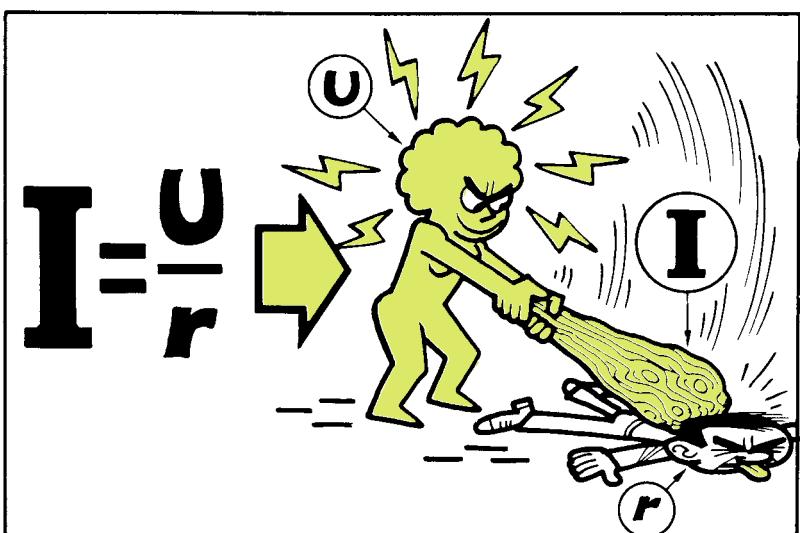
$$I = \frac{U}{R} = \frac{230}{600} = 380 \text{ milliampères,}$$

soit de neuf à quinze fois l'intensité supportable.

111



112



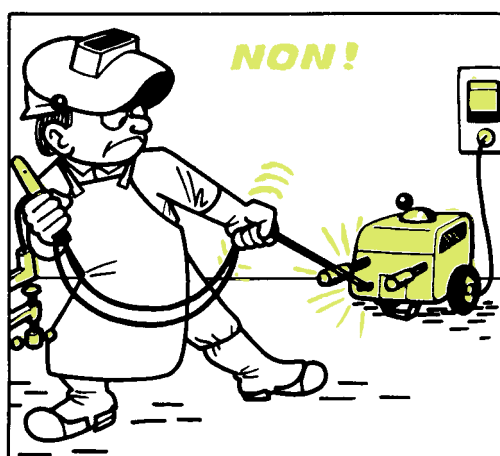
(1) La seule que nous utilisons dans ce document
 I = intensité [en ampères]
 U = tension du générateur [en volts]
 R = résistance du récepteur [en ohms].

3 Les causes du risque électrique



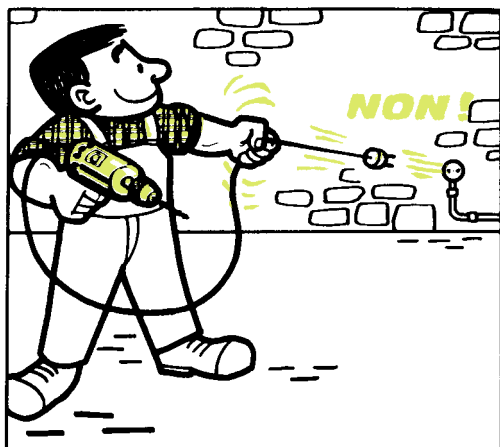
113

... de déceler les défauts du matériel...



114

... d'adopter des attitudes conformes aux opérations à exécuter...



115

...de modifier ses habitudes si celles-ci peuvent compromettre sa sécurité ou celle des autres...

Une analyse systématique des causes d'accidents d'origine électrique montre que ceux-ci sont souvent engendrés par des situations qui rendent la tâche à accomplir par le travailleur dangereuse pour lui-même ou pour des tiers. En outre, certains comportements dangereux sont parfois spontanés, apparemment non justifiés ; ils résultent souvent d'un manque de connaissances techniques.

En conséquence, la prévention des accidents électriques ne peut se passer d'informations élémentaires qui doivent permettre au travailleur :

- de déceler les défauts du matériel et les conditions de travail dangereuses,
- d'adopter des attitudes conformes à la situation ou adaptées aux opérations à exécuter,
- de modifier ses habitudes si celles-ci peuvent compromettre sa sécurité ou celle des autres,

de telle sorte que chacun d'entre eux puisse connaître le risque et savoir comment s'en protéger.

Pour atteindre cet objectif, il faut tout d'abord savoir qu'il existe une relation étroite entre l'apparition du risque électrique et :

- la technique utilisée par le distributeur ou le concessionnaire dans la distribution de l'énergie électrique aux particuliers et aux entreprises,
- la conception, la réalisation et l'entretien des installations électriques,
- la conception, la réalisation et l'entretien des appareils d'utilisation de l'énergie électrique,
- la nature des locaux ou emplacements de travail où s'exerce l'activité des travailleurs,
- certaines attitudes, non réfléchies, des travailleurs qui entraînent parfois des actions dangereuses.

1. Distribution de l'énergie électrique

Afin d'assurer au mieux la continuité de son exploitation ainsi que la protection de son réseau de distribution d'énergie électrique, le distributeur, ou le concessionnaire, a été amené à choisir un mode de distribution compatible avec ces impératifs et qui consiste à réunir à la terre le point neutre des générateurs de courant électrique.

Liaison à la terre d'un générateur électrique

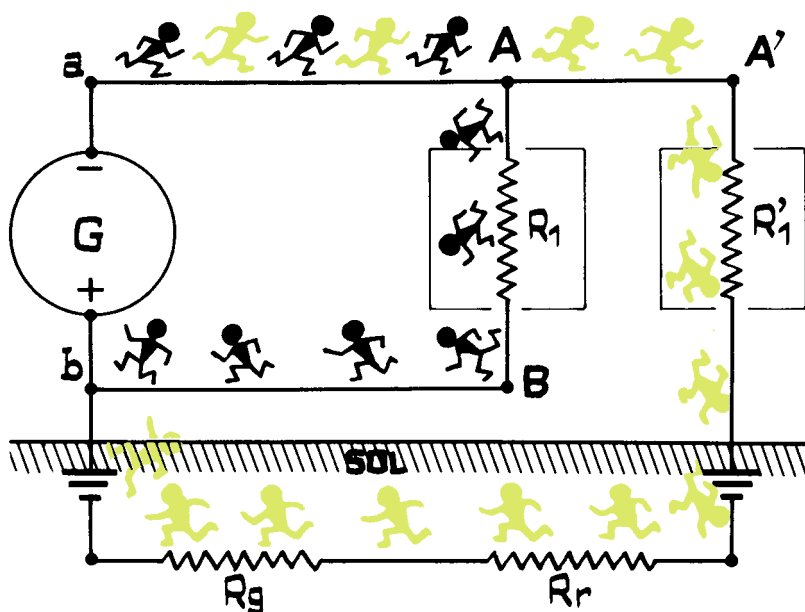
Relier l'extrémité b d'un générateur à la terre a pour conséquence de donner la possibilité aux charges portées par a de rejoindre celles portées par b par deux voies différentes :

- une voie directe, représentée par le conducteur Bb, lorsque le récepteur R_1 est connecté entre A et B,
- une voie indirecte représentée par le sol, puisque la terre est conductrice, lorsque le récepteur R'_1 (représentant le défaut) est connecté entre A' et la terre ⁽¹⁾.

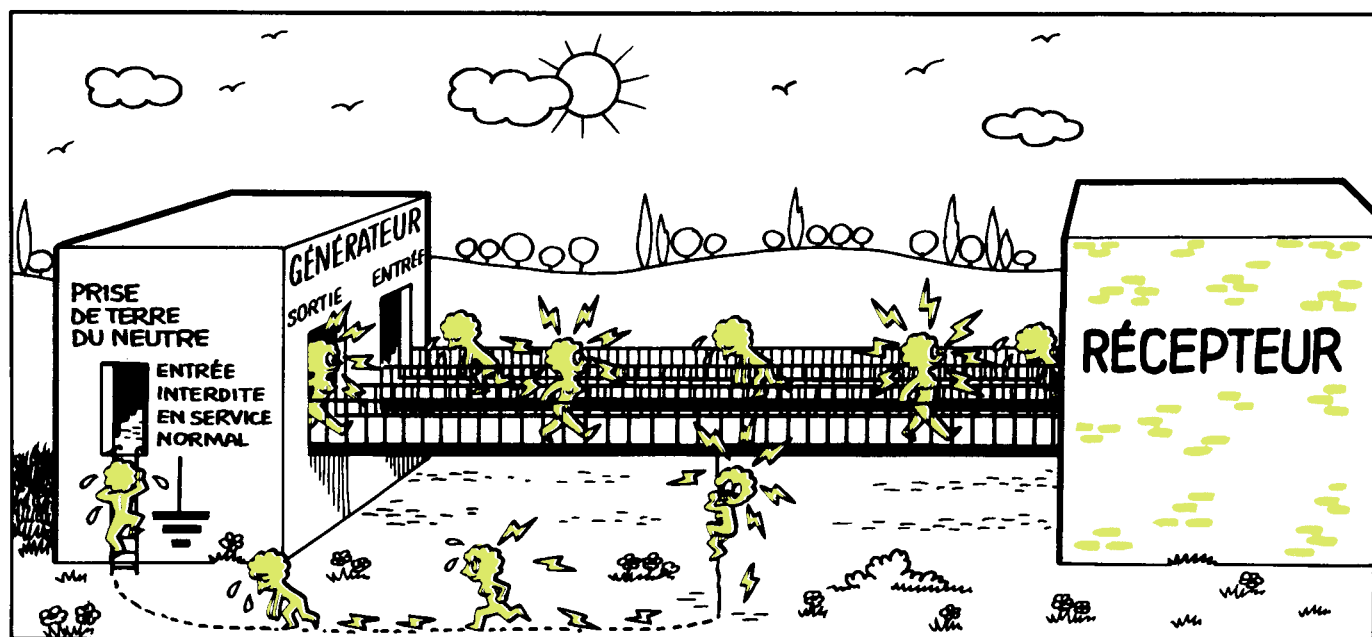
Notons que les deux voies peuvent être empruntées conjointement par le courant fourni par le générateur lorsque le conducteur aA ou le récepteur R_1 présentent un isolement défectueux par rapport à la terre.

Il faut également remarquer que, si cet isolant est en mauvais état, il peut constituer à lui seul un récepteur dissipateur d'énergie thermique avec les risques d'incendie qui lui sont associés.

116



117



Le courant électrique retourne toujours au générateur qui lui a donné naissance. En réunissant à la terre l'une des bornes d'un générateur d'électricité (comme sur les générateurs de l'EDF), on permet aux charges électriques qui ont réussi à quitter les conducteurs, parfois à travers les isolants, d'utiliser le sol pour rejoindre la source d'énergie.

[1] Connecter volontairement un récepteur entre l'extrémité [a] du générateur et la terre est interdit par la réglementation en vigueur.

Cette liaison a lieu de fait (accidentellement) lorsque l'isolement interne du récepteur est défectueux et que son enveloppe métallique externe est réunie à la terre.

En conclusion, avec ce mode de distribution, il suffit d'un contact accidentel avec le conducteur aA, c'est-à-dire en fait avec UN SEUL conducteur actif, pour qu'il y ait risque d'électrocution.

Le sujet électrocuté remplace le récepteur R'_1 qui est connecté entre le point A' et la terre.

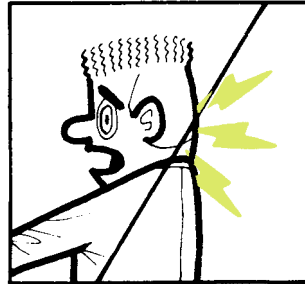
TOUTE PARTIE DU CORPS SERT AU CONTACT

En règle générale, le courant électrique retourne toujours au générateur qui lui a donné naissance, même par des voies détournées et notamment par la terre.

C'est ainsi qu'un homme relié à la terre, indirectement par ses chaussures ou par l'intermédiaire d'un corps conducteur (charpente métallique, conduite d'eau), risque l'électrocution s'il entre en contact avec un conducteur nu sous tension.

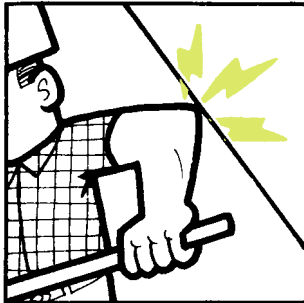
Il ne le touchera peut-être pas avec la main, car, s'il connaît le danger, il surveille ses mains. Mais il pourra, par exemple, le toucher...

118



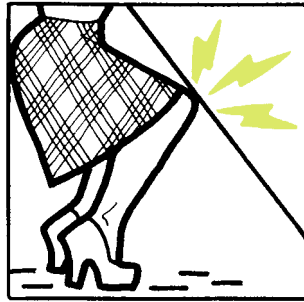
avec la nuque ou la tête...

119



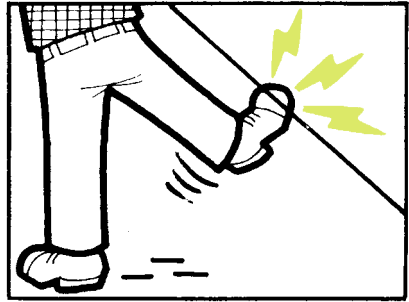
avec le coude...

120



avec le genou...

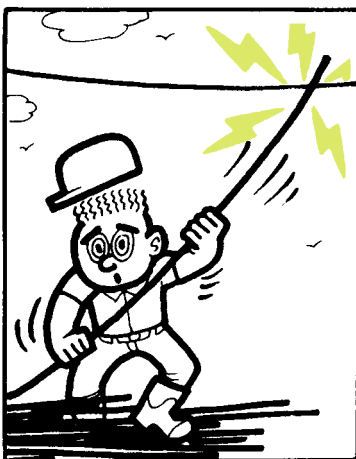
121



ou tout simplement avec le pied...

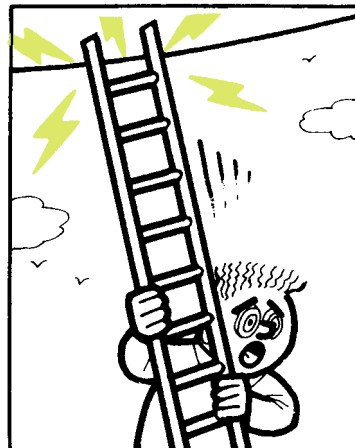
IL NE TOUCHERA PAS FORCÉMENT CE FIL SOUS TENSION AVEC UNE PARTIE DU CORPS, mais par l'intermédiaire d'un outil métallique, une barre ou un tuyau métalliques, par exemple, qu'il tient à la main...

122



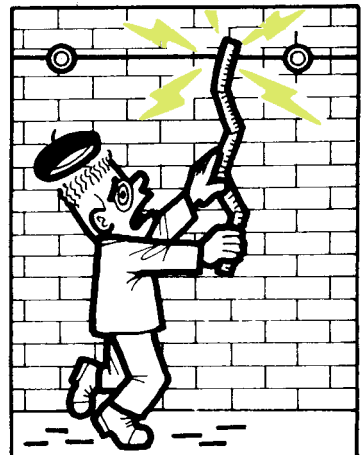
un fer à béton...

123



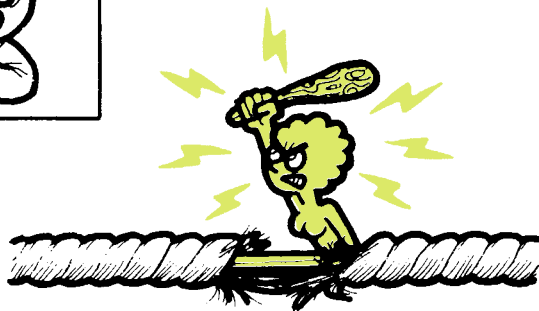
une échelle métallique...

124



un mètre métallique...

125



mais il peut aussi bien entrer en contact avec un conducteur revêtu d'une gaine isolante en mauvais état.

Classement des installations en fonction des tensions

Les installations électriques sont classées, en fonction des tensions mises en jeu, en différents « domaines » [au lieu de « classes »].

Selon la valeur de la tension nominale, ces installations sont classées, pour le courant alternatif, comme suit :

- **domaine très basse tension (par abréviation TBT)** : installations dans lesquelles la tension ne dépasse pas 50 volts,
- **domaine basse tension A (par abréviation BTA)** : installations dans lesquelles la tension excède 50 volts sans dépasser 500 volts,
- **domaine basse tension B (par abréviation BTB)** : installations dans lesquelles la tension excède 500 volts sans dépasser 1 000 volts,
- **domaine haute tension A (par abréviation HTA)** : installations dans lesquelles la tension excède 1 000 volts sans dépasser 50 000 volts,
- **domaine haute tension B (par abréviation HTB)** : installations dans lesquelles la tension excède 50 000 volts.

Nous ne considérerons, dans ce qui suit, que les installations alimentées en courant alternatif du domaine BTA, auxquelles ont généralement affaire la plupart des travailleurs qui utilisent l'énergie électrique.

Dans une entreprise, les récepteurs (moteurs, appareils de chauffage ou d'éclairage, etc.) sont connectés au réseau d'alimentation de façon différente suivant leur puissance ou leur tension nominale.

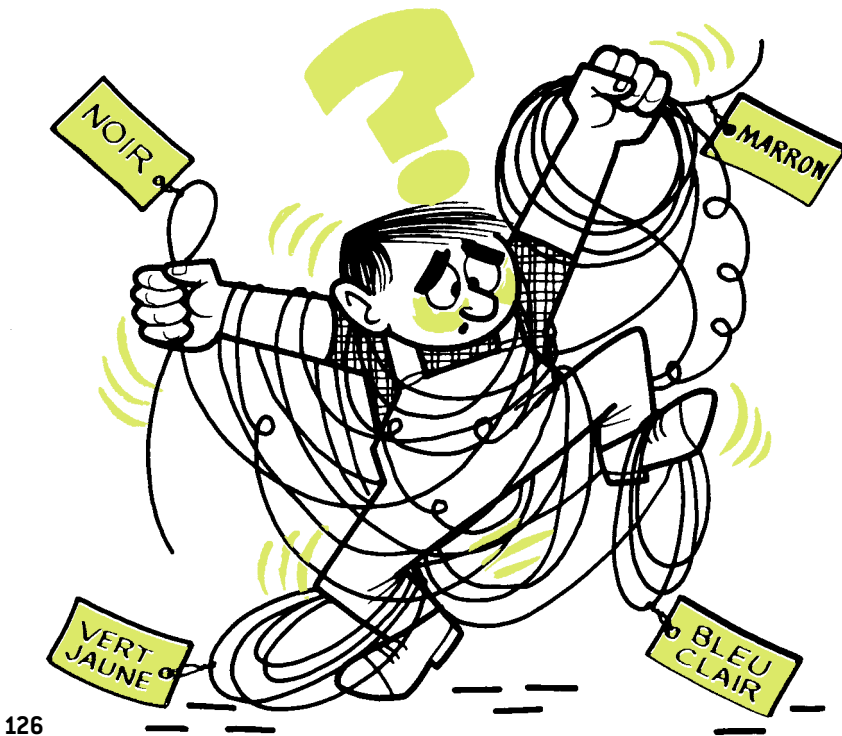
- entre phase et neutre ou entre deux phases pour les appareils monophasés,
- entre les trois phases, avec ou sans neutre, pour les appareils triphasés.

Selon les cas, les récepteurs peuvent comporter deux, trois ou quatre conducteurs d'alimentation et, en principe, un conducteur de protection ou de mise à la terre ^[1].

Il est bien évident que tous ces conducteurs n'ont pas la même fonction, ils ne sont donc pas interchangeables. Aussi, pour éviter les erreurs de connexion, certains de ces conducteurs doivent-ils être repérés (voir « La normalisation » page 68), mais encore faut-il en connaître la signification.

Pour le personnel non électricien, il en résulte des possibilités de confusion, et lorsque des personnes non qualifiées veulent se substituer à l'homme de l'art, ces confusions peuvent entraîner soit des accidents matériels, soit des accidents corporels.

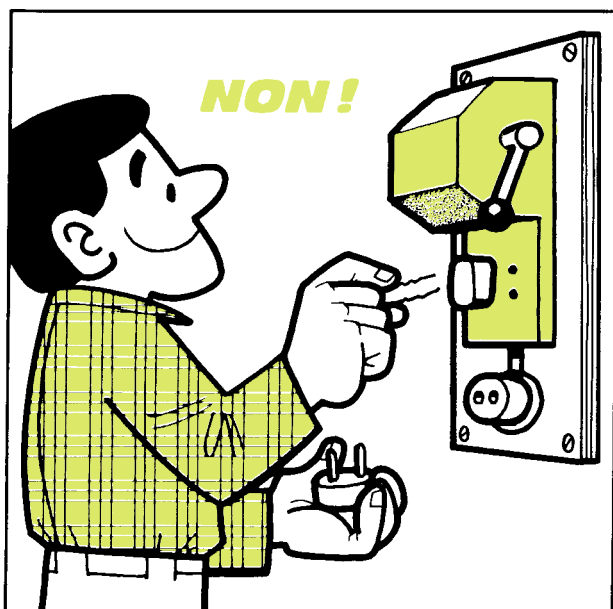
[1] Conducteur qui relie les masses des appareils électriques, soit à la terre, soit à d'autres masses. La masse d'un appareil électrique est constituée par l'ensemble des pièces métalliques de cet appareil qui sont normalement isolées des parties sous tension, telle la carcasse d'un moteur par exemple, mais qui peuvent être mises accidentellement sous tension à la suite d'un défaut d'isolement.



126

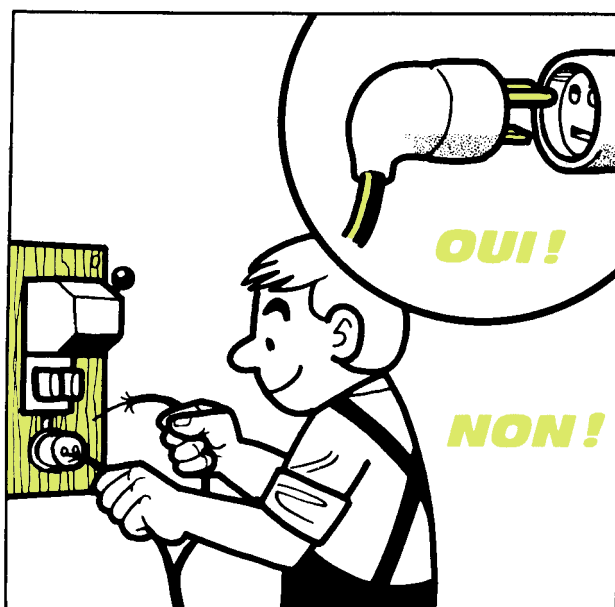
Dans une entreprise, un atelier, un bureau, ou sur un chantier, la distribution d'énergie aux appareils électriques peut, suivant les cas, s'effectuer au moyen de deux ou plusieurs conducteurs. Ces « fils électriques » n'ont pas la même fonction, ils ne sont donc pas interchangeables, par contre ils sont tous dangereux au toucher. S'emmêler ou se mélanger dans les fils entraîne toujours un risque pour soi-même ou pour le matériel.

127



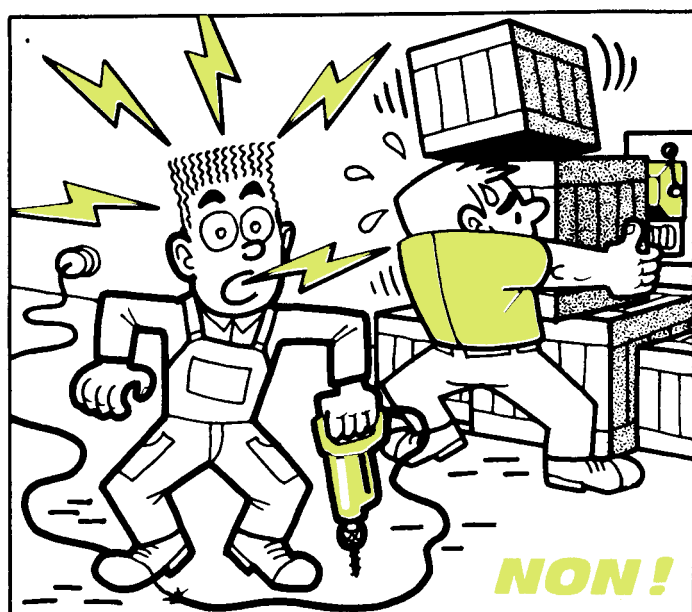
... les installations satisfaisantes à l'origine mais modifiées...

128



... les installations improvisées ou bricolées...

129



... les dispositifs de coupure rendus inaccessibles...

2. Les installations électriques ⁽¹⁾

Si la conception, la réalisation et l'entretien des installations électriques sont, en principe, confiés à des personnes qualifiées, ces installations voient néanmoins leur qualité d'origine, principalement leur isolation, se détériorer au cours du temps.

Ces détériorations apparaissent plus ou moins rapidement suivant l'importance des agressions extérieures auxquelles elles sont soumises et qui peuvent être d'origine mécanique, thermique, chimique, ou autre.

Pour le personnel appelé à les utiliser, il en résulte des possibilités d'électrocution :

- d'une part, en cas de contact fortuit au cours du travail avec des conducteurs ou parties conductrices sous tension incomplètement ou imparfaitement isolés,
- d'autre part, en cas de contact volontaire ou involontaire avec les structures métalliques ⁽²⁾ qui servent de support ou voisinent ces installations et qui sont mises accidentellement sous tension du fait de l'isolement défectueux des conducteurs ou des parties conductrices.

Il faut d'ailleurs noter que la gravité du risque encouru est d'autant plus importante que l'agent extérieur ayant provoqué cette détérioration est d'origine chimique et ce, en raison de la conductibilité particulièrement élevée (voir la loi d'Ohm) des lieux ou emplacements de travail où sont utilisés et manipulés ces agents agresseurs (blanchisseries, teintureries, ateliers où sont employés des acides ou des bases, etc.).

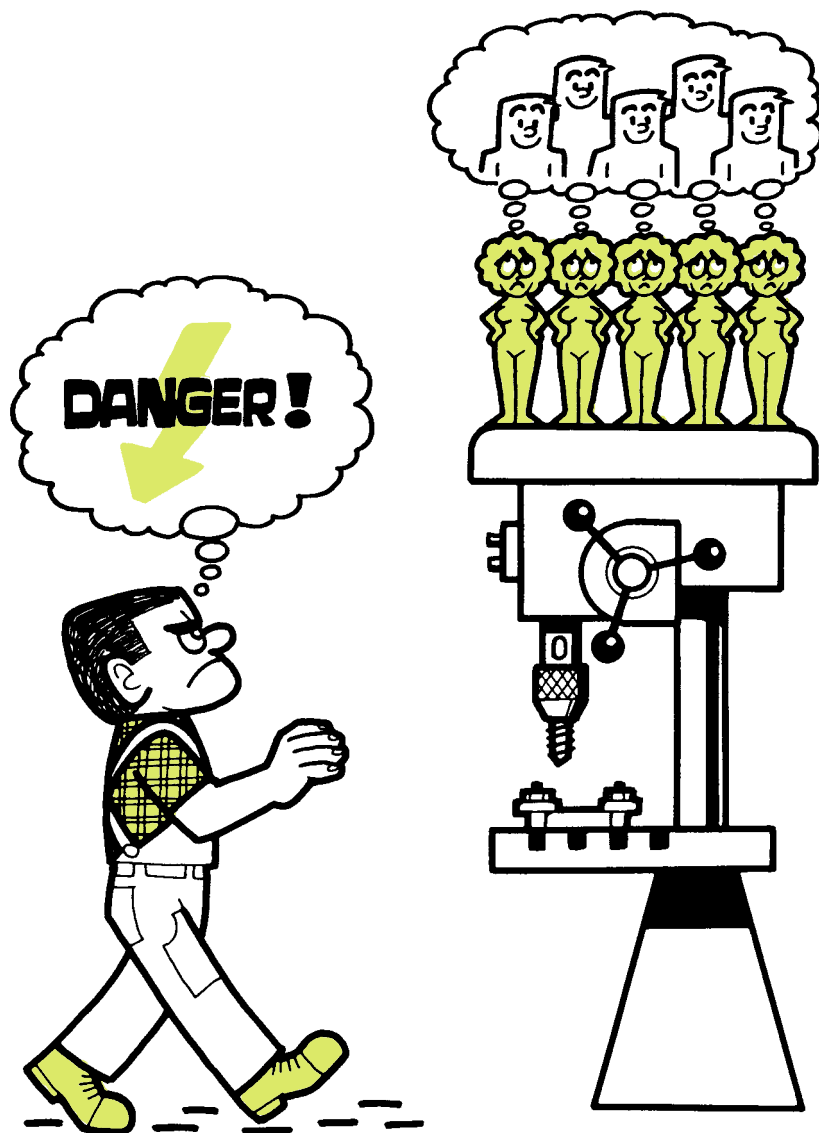
Dans ce bilan sommaire, il nous faut enfin mentionner :

- les installations improvisées, volantes, où l'on rencontre des conducteurs mal protégés et des fusibles dont le calibre a été indûment augmenté,
- les installations « bricolées », où la bonne volonté liée à l'incompétence provoquent souvent des catastrophes,
- les installations provisoires mal réalisées dès l'origine sous le prétexte que ces installations ne sont que temporaires,
- les installations satisfaisantes à l'origine mais modifiées par des personnes non qualifiées ou peu respectueuses des règles de l'art et de la réglementation,
- etc.,

avec les dangers d'électrocution et d'incendie qui leur sont associés.

⁽¹⁾ Ensemble des matériels électriques mis en œuvre dans un établissement.

⁽²⁾ Par exemple, une huisserie métallique.



Dans un appareil électrique sous tension, lorsque des électrons libres ont réussi à s'échapper des conducteurs à travers les isolants, ces charges électriques créent un risque pour les personnes qui viendraient à toucher l'enveloppe externe de l'appareil, puisque le seul chemin qui leur est offert pour retourner au générateur passe à travers le corps de ces personnes.

3. Les récepteurs électriques

Extérieurement, les récepteurs électriques peuvent se présenter sous des aspects différents. Les uns sont recouverts d'une enveloppe métallique, les autres d'une enveloppe isolante et, comme tous sont constitués intérieurement de conducteurs électriques, il suffit d'une défaillance de l'isolation interne, provoquée par des contraintes mécaniques ou un échauffement exagéré, pour qu'un contact électrique se produise entre l'un des conducteurs et l'enveloppe externe. Lorsque l'enveloppe est métallique, celle-ci est portée au potentiel du réseau de distribution et il y a risque d'électrocution pour la personne qui viendrait à toucher ces appareils.

Ces défauts d'isolement, qui peuvent se produire sur un grand nombre de récepteurs, constituent sans doute le danger le plus sournois par l'apparence totalement inoffensive des appareils qui en sont affectés.

La poignée de commande d'une perceuse d'établi, l'enveloppe d'un outil électrique portatif, la douille en cuivre d'une ampoule, le capot d'un interrupteur, toutes choses que l'on a touchées maintes fois, ou prises en main, sans la moindre appréhension, peuvent s'avérer subitement dangereuses à la suite de circonstances ou d'événements qui sont souvent ignorés de l'opérateur.

Ces mauvais isollements internes peuvent être consécutifs aux actions :

- thermiques (inadaptation de l'outil au travail à effectuer ou à la tension d'alimentation),
- mécaniques (chocs, chutes sur le sol, traction sur les câbles d'alimentation),
- chimiques (produits corrosifs ou simplement conducteurs),
- de l'humidité (matériel non protégé contre les projections d'eau),
- humaines (bricolage, réparation de fortune),

ou plus simplement, mais plus rarement, à une mauvaise conception de l'appareil.

Quant aux câbles d'alimentation qui relient les générateurs aux récepteurs, soumis aux mêmes actions néfastes, ils présentent les mêmes dangers.

Cas particulier des outils électroportatifs

Pendant leur service, et plus particulièrement lorsqu'ils sont fréquemment sollicités, des particules de charbon (balais), de cuivre (collecteurs) se détachent et forment à l'intérieur des appareils un dépôt conducteur qui altère progressivement leur qualité d'isolation.

De plus, utilisés dans des conditions les plus diverses, des particules d'eau, des poussières, pénètrent à l'intérieur de ces outils par les ouvertures de ventilation et diminuent peu à peu leur résistance d'isolement ; des chocs, des surcharges provoquent des effets identiques.

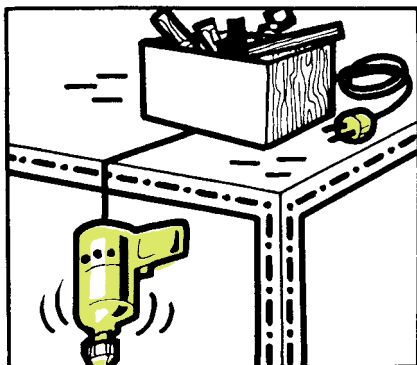
QUELQU'UN — OU QUELQUE CHOSE — A EXERCÉ SUR LE CÂBLE UN EFFORT DE TRACTION QUI A ENDOMMAGÉ LA PRISE OU LA FICHE D'ALIMENTATION DE L'APPAREIL. LES FILS CONDUCTEURS ONT PU ÊTRE ARRACHÉS DE LEURS CONNEXIONS OU ENDOMMAGÉS.

Les dommages subis par les extrémités d'un câble se traduisent le plus souvent, à la remise en service, par un court-circuit, mais ils peuvent être aussi à l'origine d'une électrocution.



131

Quelqu'un a pu retirer la fiche en tirant sur le câble : c'est ce qu'il ne faut jamais faire car on risque ainsi de détacher un fil de sa connexion.



132

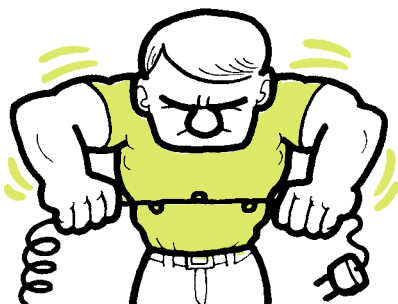
Quelqu'un a pu faire tomber par mégarde l'appareil, et l'a ensuite remis en place sans vérifier les connexions et sans signaler l'incident. Une pièce a pu se déplacer à l'intérieur de l'appareil, créant un défaut d'isolement.



133

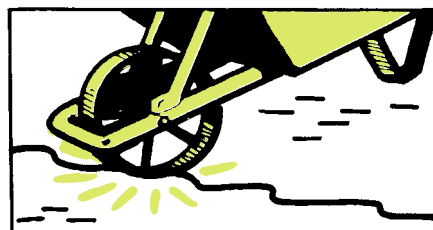
Quelqu'un a pu trébucher sur le câble, marcher dessus, de telle façon que la traction se soit transmise aux extrémités. Quelque chose, en tombant, peut avoir brusquement tendu le câble.

QUELQU'UN OU QUELQUE CHOSE A PU ENDOMMAGER LE CÂBLE LUI-MÊME, EN PARTICULIER SA GAINÉ ISOLANTE, SI SOLIDE SOIT-ELLE.



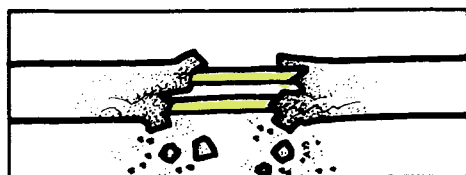
134

Quelqu'un a pu vouloir redresser un câble entortillé en tirant dessus, ce qu'il ne faut jamais faire.



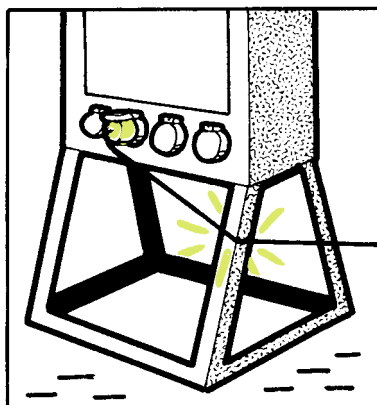
135

Quelqu'un a écrasé par mégarde le câble, soit en le piétinant, soit en faisant passer un objet dessus.



136

Quelqu'un a rangé le câble auprès d'une source de chaleur, ou bien a travaillé avec une source de chaleur à côté d'un câble (plombier maniant un chalumeau, par exemple). La gaine isolante, carbonisée, émiettée, ne recouvre plus entièrement les fils conducteurs.

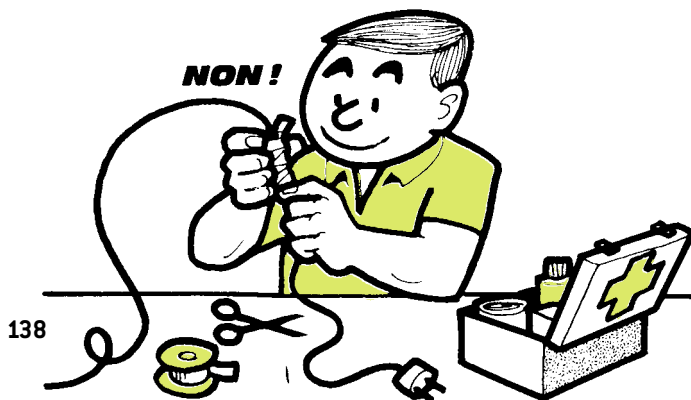


137

Mais ce peut être aussi bien la chute d'un objet ou un frottement malencontreux qui a endommagé le câble.

CES INCIDENTS PEUVENT AVOIR EU POUR CONSÉQUENCE DE DÉNUDER UN FIL.

QUELQU'UN A PEUT-ÊTRE BRICOLÉ LE CÂBLE OU SES FICHES SANS QUE NOUS EN SOYONS PRÉVENUS.



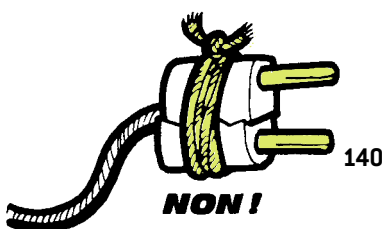
Quelqu'un a mis un pansement provisoire de chatterton sur un câble abîmé, et le provisoire a duré. Le chatterton, en séchant, s'est détaché, s'est détérioré, a brûlé : le fil dénudé est de nouveau dangereux.

N'INTERVERTISSONS PAS LES SEXES (DES FICHES)

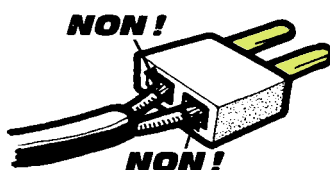


Le fil par où arrive le courant doit se terminer toujours par une prise femelle. Le câble souple de branchement d'un appareil d'utilisation doit se terminer toujours, côté source du courant, par une fiche mâle. Un câble prolongateur ne doit jamais se terminer par deux fiches du même « sexe » : toujours une fiche mâle d'un côté, une fiche femelle de l'autre.

139



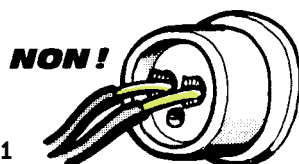
Quelqu'un a réparé en vitesse une fiche, sans outil. Les vis de fixation des fils ne sont pas suffisamment serrées.



Quelqu'un a modifié un câble usagé ou détérioré en le raccourcissant, par exemple, après avoir coupé une extrémité usagée. Le raccord ainsi fait ne présente plus les garanties d'isolement qu'avait le câble neuf.



Quelqu'un a fait un branchement de fortune sans utiliser les fiches normalisées.



Les cordons d'alimentation, qui relient les outils électriques portatifs à la source de courant, peuvent être facilement endommagés s'ils sont coincés, écrasés, tendus par-dessus des arêtes vives ou lorsqu'ils entrent en contact avec des éléments en mouvement ou encore quand ils sont portés à haute température.

Enfin, alors que la rupture de l'un des conducteurs d'alimentation est le plus souvent mise en évidence par l'arrêt de l'appareil, la rupture du conducteur de protection (voir la protection par mise à la terre des masses) peut passer inaperçue, car le fonctionnement de l'appareil n'en est pas affecté ; non seulement la protection des personnes n'est plus assurée, mais si l'extrémité détachée du conducteur de protection, dans la fiche de prise de courant, entre en contact avec le conducteur d'alimentation, elle met la carcasse de l'outil sous tension.

Le même incident peut se produire lorsque par ignorance un conducteur d'alimentation a été confondu avec un conducteur de protection à l'occasion de la réparation d'une fiche de prise de courant.

Toutes ces raisons font que les appareils électriques portatifs (perceuse, ponceuse, etc.), où toutes les conditions qui permettent d'assurer un bon contact avec la main sont réunies, sont particulièrement dangereux lorsqu'ils sont maltraités ou mal entretenus.

Mentionnons également que l'outil électroportatif ne possède pas toujours de dispositif (relais de tension) qui ramène automatiquement l'interrupteur de l'outil en position d'ouverture lorsque la source d'énergie est momentanément interrompue (coupure accidentelle du réseau de distribution) ; en cas de rétablissement de la tension du réseau, il y a remise en route inopinée de l'outil qui risque d'échapper des mains du travailleur et par conséquent de provoquer des accidents. Pour pallier ce risque, il est recommandé, en cas d'interruption momentanée de la tension du réseau, de remettre l'interrupteur sur la position arrêt.

4. Risques spécifiques à certains locaux ou emplacements de travail

La gravité des dommages corporels, résultant d'un contact direct d'une personne avec des parties normalement sous tension, ou indirect avec des masses accessibles dont l'isolement avec les parties sous tension est défectueux, est considérablement accrue quand la conductibilité du circuit de retour du courant électrique à la source d'énergie est particulièrement élevée.

142



La présence d'eau, de produits chimiques ou de surfaces métalliques sur les emplacements de travail augmente considérablement le risque d'électrocution. Sur ces emplacements, le matériel électrique et surtout les outils électroportatifs en mauvais état peuvent s'avérer particulièrement dangereux.

143



Aux risques d'électrocution s'ajoutent parfois des risques d'incendie ou d'explosion, lorsque le matériel électrique utilisé n'est pas prévu pour fonctionner en atmosphère explosive.

144



La « basse tension » n'exprime pas un aspect limitatif du risque, elle est dangereuse.

C'est notamment le cas lorsque ce circuit de retour (sol ou parois du local où s'exerce l'activité des travailleurs) est constitué de parties ou d'éléments métalliques non isolés de la terre, ou lorsque le sol (ou la terre) est souillé ou imprégné de liquides ou produits conducteurs (eau, produits chimiques).

- Sur les lieux de travail : les blanchisseries, teintureries, laiteries, chantiers du bâtiment et de travaux publics, etc.
- À la maison : les caves, les salles d'eau, l'extérieur, etc.

Notons également que dans les locaux qui présentent des risques d'incendie ou d'explosion (stockage ou transformation de produits inflammables, présence de gaz et de vapeurs de solvant, poussières...) l'électricité, par ses effets thermiques :

- peut provoquer l'élévation de température des conducteurs ou des récepteurs due à une surintensité (surcharge, court-circuit) ou à une résistance de contact (mauvais serrage, contact oxydé, etc.),
- peut créer des étincelles dues au fonctionnement normal de certains appareils (interrupteurs, disjoncteurs, contacts glissants ou tournants, etc.) ou à l'utilisation anormale de certains autres (prise de courant ou sectionneur, par exemple, pour ouvrir ou fermer un circuit en charge),
- risque de compromettre la sécurité du personnel.

Le choix des équipements, du matériel et du mode de protection doit être effectué en tenant compte de ces différentes conditions de travail afin d'assurer la sécurité des personnes et du matériel.

5. Travaux à proximité des installations électriques

Si un grand nombre d'accidents d'origine électrique sont liés directement à l'utilisation de l'électricité, il ne faut pas pour autant négliger ceux qui surviennent lors de travaux divers tels que : terrassement, manutention, peinture, nettoyage, ravalement de façade, maçonnerie, pose d'antenne de TV, plomberie, etc., et qui sont provoqués par des contacts directs avec des installations électriques sous tension.

Une part importante de ces accidents témoigne de la méconnaissance des risques encourus :

- la basse tension est trop souvent considérée comme sans danger, et les travaux à proximité des installations sont entrepris sans que les précautions élémentaires et indispensables soient prises,
- sur les chantiers, la manutention manuelle d'objets conducteurs, l'évolution d'engins au voisinage de lignes aériennes BT ou HT sont exécutés sans se soucier du respect des distances minimales de sécurité,
- dans le cas où des travaux d'ordre non électrique doivent être exécutés avec l'installation hors tension, l'opération qui consiste à vérifier que cette mise hors tension est effective est souvent omise.

145



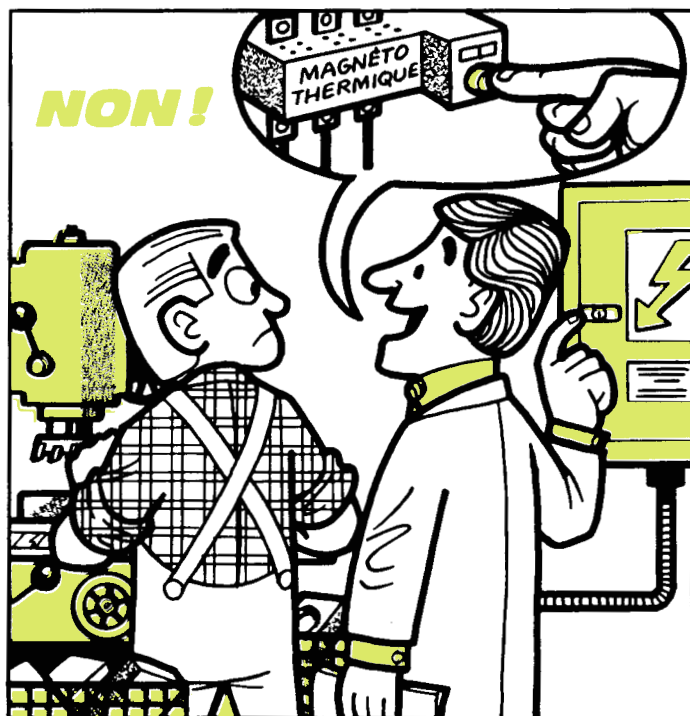
Les impératifs de la réglementation qui fixe les moyens de protection à mettre en œuvre pour assurer la sécurité des travailleurs doivent être traduits dans un langage clair, assimilable par les exécutants.

146



N'utilisez pas l'outillage à un usage autre que celui pour lequel il est prévu.

147



Les seules commandes autorisées pour le personnel de production sont celles qui sont prévues à l'extérieur des tableaux, armoires ou coffrets (bouton-poussoir, interrupteurs, disjoncteurs, etc.).

6. Actions dangereuses du personnel

Ces actions dangereuses ou néfastes peuvent être la conséquence :

- d'une méconnaissance du risque par manque d'informations sur le risque lui-même ou sur le déroulement du travail (mauvaise organisation générale ou absence de coordination lors d'un travail en équipe),
- d'une mauvaise compréhension des ordres et des instructions,
- de l'utilisation d'un outillage non adapté à l'exécution du travail,
- etc.

Dans la genèse de l'accident, si l'une de ces causes est non déterminante à un instant donné, elle peut le devenir à un autre moment, lorsqu'elle est associée simultanément à un autre événement qui peut être d'ordre matériel (telle l'intervention sous tension d'une personne non qualifiée avec un outillage inadapté) ; dans la naissance du risque, ces actions néfastes et ces événements matériels sont pratiquement indissociables.

Au niveau du personnel et de la maîtrise, ces comportements sont parfois engendrés par des réactions d'ordre psychologique :

- le danger électrique est abstrait, non apparent et, sauf cas exceptionnels, impossible à détecter par nos sens ; rien n'est plus ressemblant que deux conducteurs dont l'un est sous tension et l'autre hors tension,
- le risque encouru peut sembler anodin aux personnes non averties simplement à cause du vocabulaire utilisé pour définir l'aspect « quantitatif » de la tension électrique : l'appellation « basse tension » peut être considérée à tort comme une garantie de non-exposition aux dangers électriques,
- dans certaines circonstances, il arrive à la maîtrise d'établir subjectivement et à tort une relation entre la probabilité d'accident et le temps pendant lequel la situation dangereuse subsiste. Par exemple, elle peut admettre que des travaux au voisinage d'une installation électrique sous tension peuvent être effectués sans prendre les précautions indispensables, si ces travaux sont de courte durée,
- dans le même ordre d'idée, la maîtrise peut admettre, également à tort, qu'une intervention puisse être exécutée par le personnel de production si cette intervention est jugée mineure.

4 Prévention du risque électrique



La réglementation

Le Code du travail permet au ministre chargé du travail de prendre des décrets portant règlement d'administration publique en vue d'assurer l'hygiène et la sécurité des travailleurs.

En matière d'électricité, c'est le décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988, et les arrêtés d'application complétés par la circulaire DRT n° 89-2 modifiée, qui traitent de la protection des travailleurs dans les établissements, assujettis au Code du travail, 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.

Il comprend 62 articles répartis en 7 sections.

Les sections III, IV, et V, qui sont les parties maîtresses du décret, traitent de la prévention des risques d'électrisation et des risques de brûlures, incendies 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.

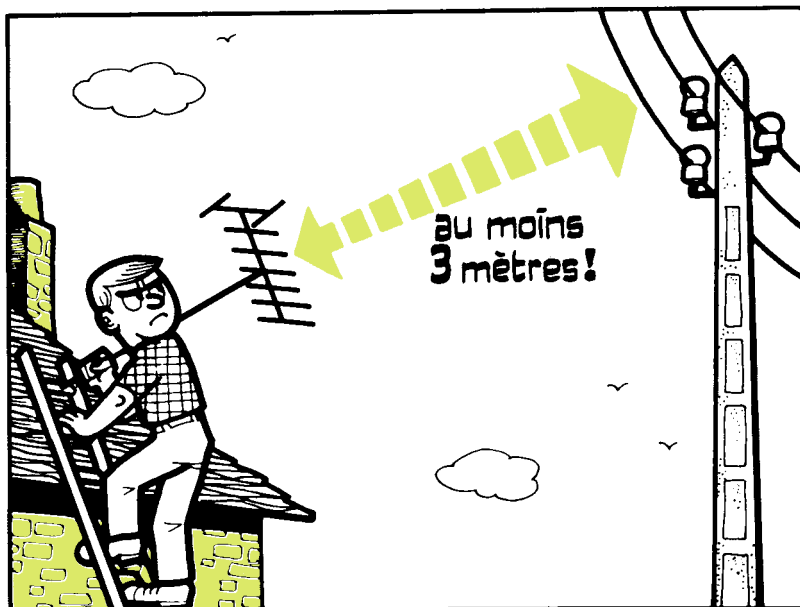
Quant aux sections I et VII, elles contiennent des mesures plus générales ou administratives.

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

Structure du décret du 14 novembre 1988

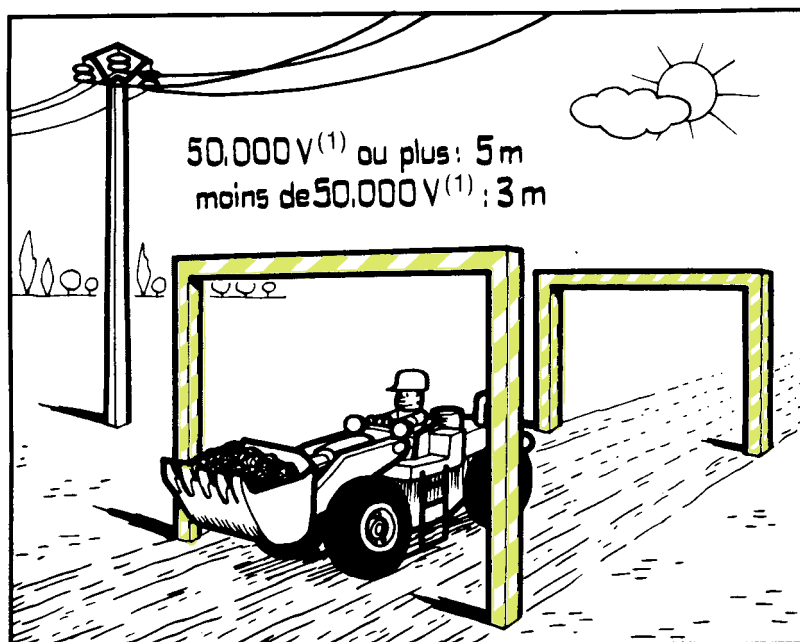
Sections	I	II	III	IV	V	VI	VII
Objets :	Généralités	Conditions générales auxquelles doivent satisfaire les installations	Protection des travailleurs contre les risques de contact avec des conducteurs actifs ou des pièces conductrices habituellement sous tension (contact direct)	avec des masses mises accidentellement sous tension (contact indirect)	Prévention des brûlures, incendies et explosions d'origine électrique	Utilisation, surveillance, entretien et vérification des installations électriques	Mesures diverses
Articles :	1 à 3	4 à 15	16 à 28	29 à 40	41 à 44	45 à 55	56 à 62

149



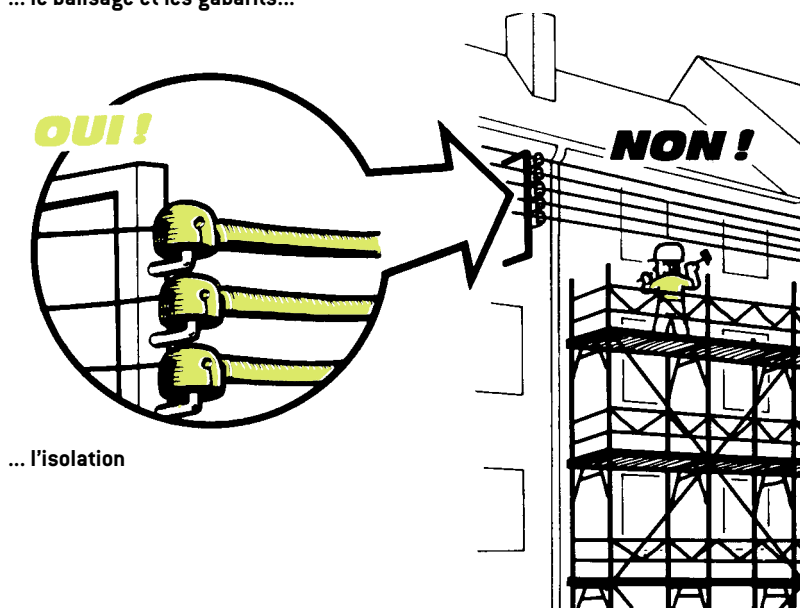
Lors des travaux au voisinage des installations sous tension, l'éloignement...

150



... le balisage et les gabarits...

151



... l'isolation

Analyse du décret

La section I fixe, en tout premier lieu, le champ d'application du décret. Elle donne ensuite les définitions des principaux termes techniques employés dans le texte et enfin le classement des installations en fonction de la nature et de la valeur des tensions mises en jeu.

La section II, qui fixe les conditions générales auxquelles doivent satisfaire les installations, porte notamment sur :

- l'adaptation du matériel et des canalisations à la tension d'utilisation et aux risques (chocs mécaniques, présence d'eau, corrosion, etc.) auxquels ils peuvent être exposés,
- l'identification des circuits, des appareils et des conducteurs,
- la séparation des sources d'énergie et la coupure d'urgence,
- les caractéristiques des prises de terre et des circuits de protection,
- les installations de sécurité et en particulier de l'éclairage de sécurité.

La section III concerne la protection des travailleurs contre les risques d'électrisation par contact direct avec des conducteurs nus ou des pièces conductrices nues habituellement sous tension. Si, compte tenu du respect des dispositions des sections II et VI, les prescriptions qu'elle renferme étaient parfaitement satisfaites d'une façon permanente, les mesures prévues dans la section IV deviendraient superflues.

Ces prescriptions font plus appel au bon sens qu'à la technique. Elles consistent à mettre hors de portée des personnes ces conducteurs (phases et neutre) ou pièces conductrices habituellement sous tension.

Cette mise hors de portée peut être réalisée :

- **soit par éloignement**, ce qui implique de prévoir entre ces parties actives et les personnes une distance telle qu'un contact fortuit soit impossible directement ou indirectement par l'intermédiaire d'objets conducteurs (perches, barres ou tubes métalliques) ;
- **soit par interposition d'obstacles**, dans ce cas la mise hors de portée consiste à disposer des obstacles efficaces entre les personnes et les parties sous tension. L'obstacle est utilisé lorsque l'éloignement ne peut être assuré.

Ces obstacles peuvent être des parois pleines (transformateurs ou disjoncteurs dans l'huile), percées de trous, ou des grillages (barres, sectionneurs), sous réserve que la dimension des trous ou des mailles n'en compromettent pas l'efficacité ;

- **soit par isolation**, 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).

À noter que ceux des cas reconnus comme ne pouvant satisfaire aux principes qui viennent d'être énoncés doivent faire l'objet de mesures compensatrices destinées à donner un niveau de sécurité équivalent. Par exemple : les lignes de contact des ponts roulants, le soudage à l'arc, les locaux réservés aux électriciens, etc.

(1) Ces valeurs sont données par le décret du 8 janvier 1965 et la publication UTE C 18-510.

Les prescriptions mentionnées dans la section IV ont pour objet d'éviter que le travailleur soit soumis à des tensions dangereuses **par contact indirect**, c'est-à-dire par contact avec des masses mises accidentellement sous tension par suite d'un défaut d'isolement et dont le potentiel serait susceptible de dépasser, en courant alternatif :

- 25 volts dans les locaux ou sur des emplacements de travail mouillés,
- 50 volts pour les autres locaux ou emplacements de travail.

Les mesures de protection, qui reposent essentiellement sur la mise à la terre des masses associée à un dispositif de coupure qui coupe l'alimentation lorsque le potentiel atteint par les masses dépasse les valeurs précitées, seront examinées plus en détail dans les pages 74 à 77.

La section V a pour but de prévenir les risques de brûlures, incendies et explosions d'origine électrique. Elle comprend trois parties :

- les articles 41 et 42 qui définissent les exigences, communes à tous les établissements, auxquelles doivent satisfaire les installations et le matériel,
- l'article 43 qui complète les mesures précédentes pour les locaux présentant des risques d'incendie,
- l'article 44 comprend des mesures plus strictes, complétant celles définies dans les trois articles précédents, qui se rapportent aux zones présentant des risques d'explosion.

Enfin, dans la section VI, le législateur a prescrit les mesures propres à garantir la permanence des mesures de protection et de prévention :

- par une surveillance et des vérifications des installations,
- par des travaux d'entretien.

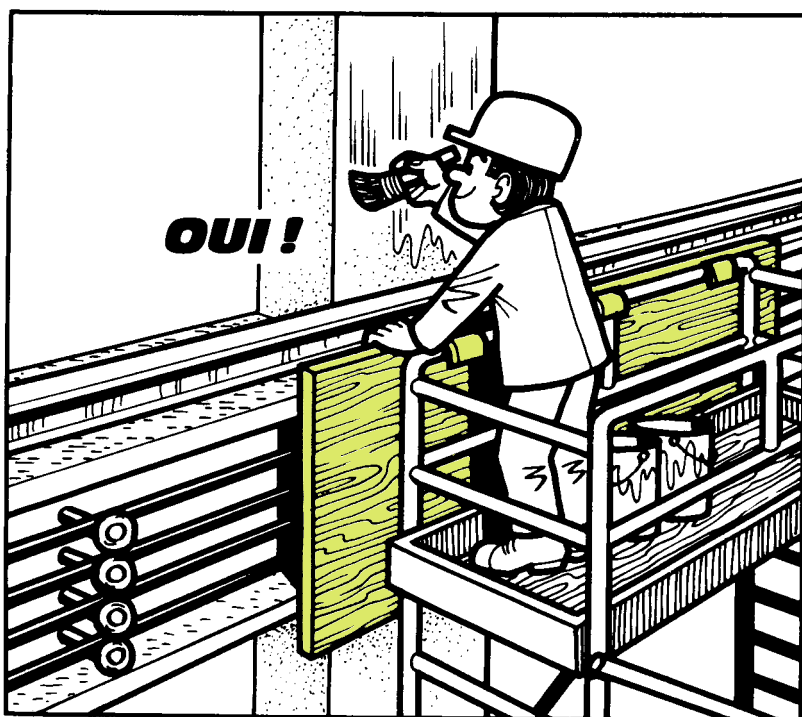
En outre, il se propose, par les prescriptions au personnel (art. 46), de donner le sens du risque électrique aux travailleurs et pour terminer de définir, dans l'article 55, les obligations du chef d'établissement pour la constitution du dossier permettant de s'assurer que les mesures prescrites par le décret sont bien observées.

Cette réglementation, prise en application du Code du travail, ne fixe, la plupart du temps, que des objectifs ou des buts à atteindre ; c'est le minimum exigible.

Pour l'application pratique de ces objectifs ou de ces buts, elle renvoie à des arrêtés ainsi qu'à des articles ou paragraphes de normes en vigueur.

La réglementation élaborée par d'autres départements ministériels peut toutefois demander des mesures complémentaires, propres à certains types d'établissements, pour améliorer la sécurité des personnes.

C'est le cas, par exemple, du ministère de l'Intérieur pour les établissements recevant du public ERP ou les immeubles de grande hauteur IGH.



... et les obstacles sont des moyens de protection contre les risques de contacts directs.



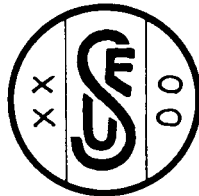
Une installation électrique bien conçue et bien entretenue est un gage de sécurité pour les travailleurs. La vérification des installations doit être effectuée périodiquement, et les résultats consignés dans un rapport détaillé. Les dates et natures des vérifications ainsi que les noms et qualités des personnes qui les ont effectuées doivent être portés sur un registre.

154

APPAREILLAGE

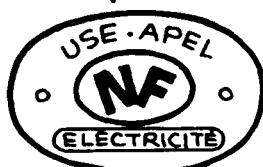


Conforme à une norme
électrique française
homologuée
ou enregistrée



Conforme
aux normes UTE

ÉLECTRODOMESTIQUE



Conforme à une norme française homologuée ou enregistrée

155

La normalisation

S'il n'appartient pas à la normalisation de définir des règles de sécurité, les normes s'élaborent en prenant en compte les exigences de la sécurité ; cette prévention technique se manifeste dans le domaine électrique tant dans les normes des appareils récepteurs (utilisation de l'énergie électrique) que dans celles relatives aux règles d'installation (distribution de l'énergie électrique).

Sur le plan national, l'Association française de normalisation (AFNOR) élabore ces normes avec le concours de bureaux de normalisation qualifiés ou avec des commissions techniques s'il n'existe pas de bureau qualifié.

En matière d'électricité, c'est l'Union technique de l'électricité (UTE) qui constitue le bureau de normalisation.

Parmi les documents de la normalisation française, on peut distinguer :

- les normes françaises homologuées dont l'application totale ou partielle a été rendue obligatoire par décret, ou par arrêté ministériel,
- les normes françaises enregistrées sur décision du commissaire à la normalisation qui sont purement normatives et suivent de très près l'évolution technique,
- les publications, qui n'ont pas de caractère obligatoire ou normatif, mais qui reproduisent des textes officiels ou contribuent à améliorer la sécurité.

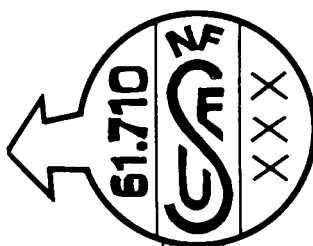
Exemple :

L'arrêté du 22 octobre 1969 du ministère de l'Équipement et du Logement stipule que les installations électriques des bâtiments d'habitation doivent être conformes aux dispositions de la norme NF C 15-100.

D'une façon générale, les normes constituent la meilleure expression des règles de l'art à un instant donné ; elles permettent notamment de réduire la possibilité d'une défaillance :

- des installations électriques,
- des récepteurs électriques et de leurs composants,
- des appareils de commande et de protection,
- des conducteurs et systèmes de connexion qui relient les récepteurs au réseau de distribution de l'énergie électrique.

156

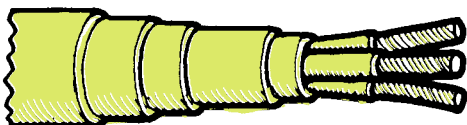


157

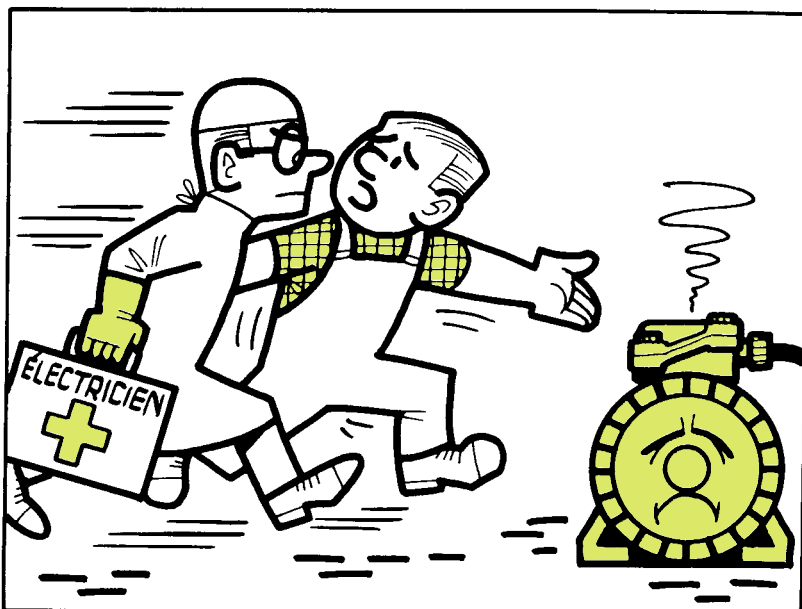
H07RN-F
NF C 32-102



U-1000RGPFV
NF C 32-111

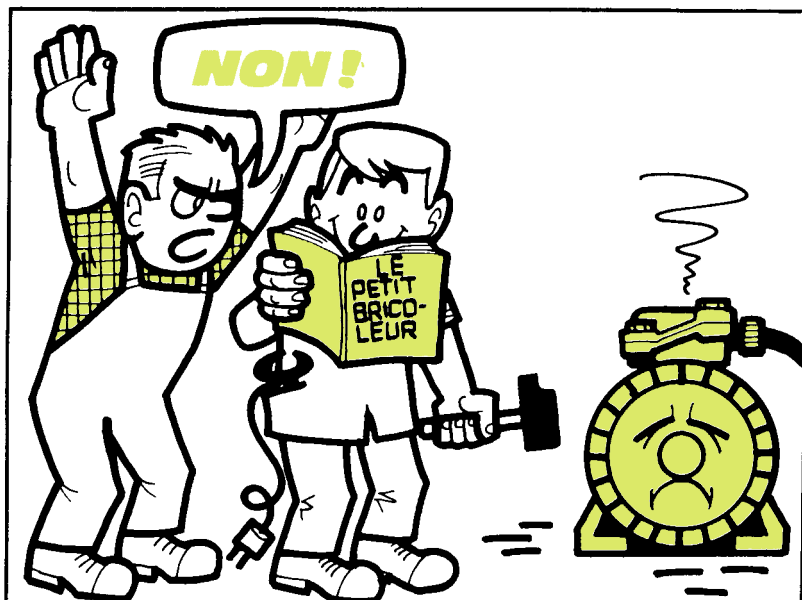


Les normes de construction des appareils électriques et des conducteurs contribuent à améliorer la sécurité des travailleurs contre les risques électriques.



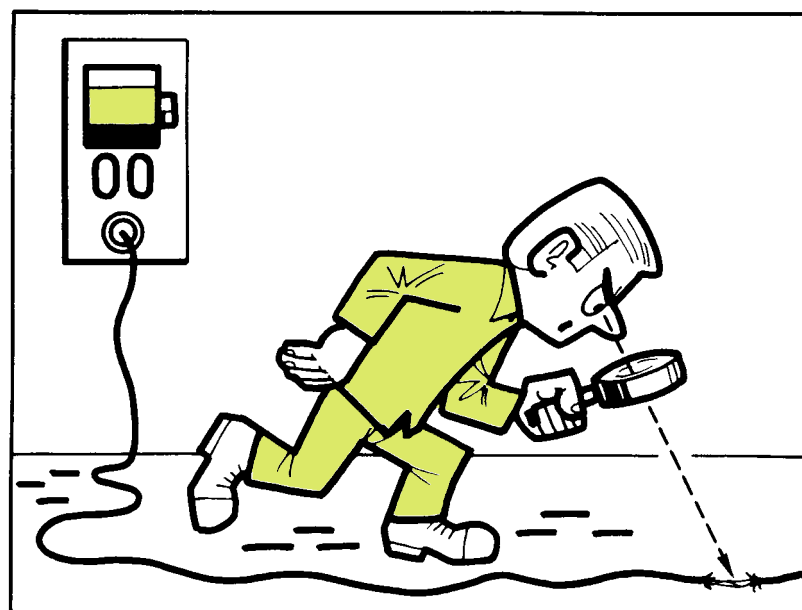
158

Les installations électriques doivent être entretenues par des professionnels qualifiés.



159

Les adjonctions ou réparations doivent être exécutées dans les mêmes conditions.



160

Les vérifications doivent être effectuées conformément à la réglementation.

La marque USE a pour but de certifier que le produit, qui en est généralement revêtu, remplit les conditions prescrites par les règles en vigueur de l'Union technique de l'électricité.

Lorsque les normes qui servent de base aux conditions techniques imposées pour l'attribution de la marque ont été homologuées ou enregistrées, la marque prend le caractère de marque nationale de conformité aux normes ; son symbole devient alors NF-USE ou, dans le cas des appareils électrodomestiques, NF-ÉLECTRICITE.

1. Protection des personnes qui utilisent l'énergie électrique

Les installations et équipements

Pour assurer la protection des personnes contre les risques électriques, il est essentiel, pour le lecteur non électricien, de retenir de ce qui précède que les installations électriques, situées dans les établissements industriels ou commerciaux, doivent répondre à un certain nombre de prescriptions fixées par la réglementation et que la responsabilité de leur application incombe à l'employeur.

Il s'agit, en premier lieu, de mettre hors de portée des personnes tous les conducteurs ou pièces conductrices habituellement sous tension ; cette exigence est satisfaite :

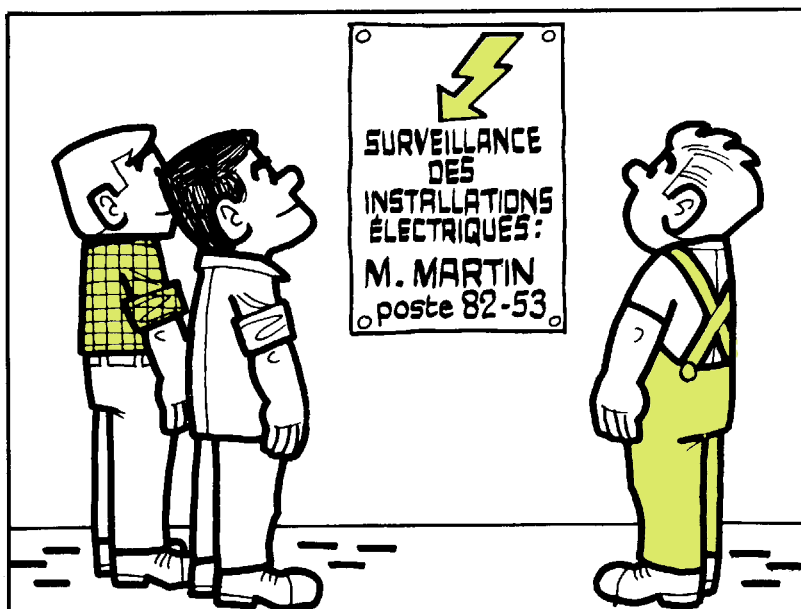
- soit en éloignant des travailleurs tous les conducteurs ou les parties conductrices nus sous tension,
- soit en intercalant, entre les personnes et les parties sous tension, des obstacles infranchissables,
- soit en recouvrant les conducteurs et les parties conductrices d'un isolant adapté à la tension et choisi en fonction de la nature et de l'importance des risques dus à l'environnement (présence d'eau ou de poussières, corrosion, chocs mécaniques, etc.) ou aux matières fabriquées, traitées ou entreposées.

Les installations électriques doivent être réalisées en respectant les règles de l'art, dont la meilleure expression est constituée par les normes NF C 13-100 à 13-103 pour les postes de livraison raccordés à un réseau de distribution publique du domaine haute tension au plus égale à 33 kV, par la norme NF C 13-200 pour les installations à haute tension en général, et par la norme NF C 15-100 pour celles du domaine basse tension.

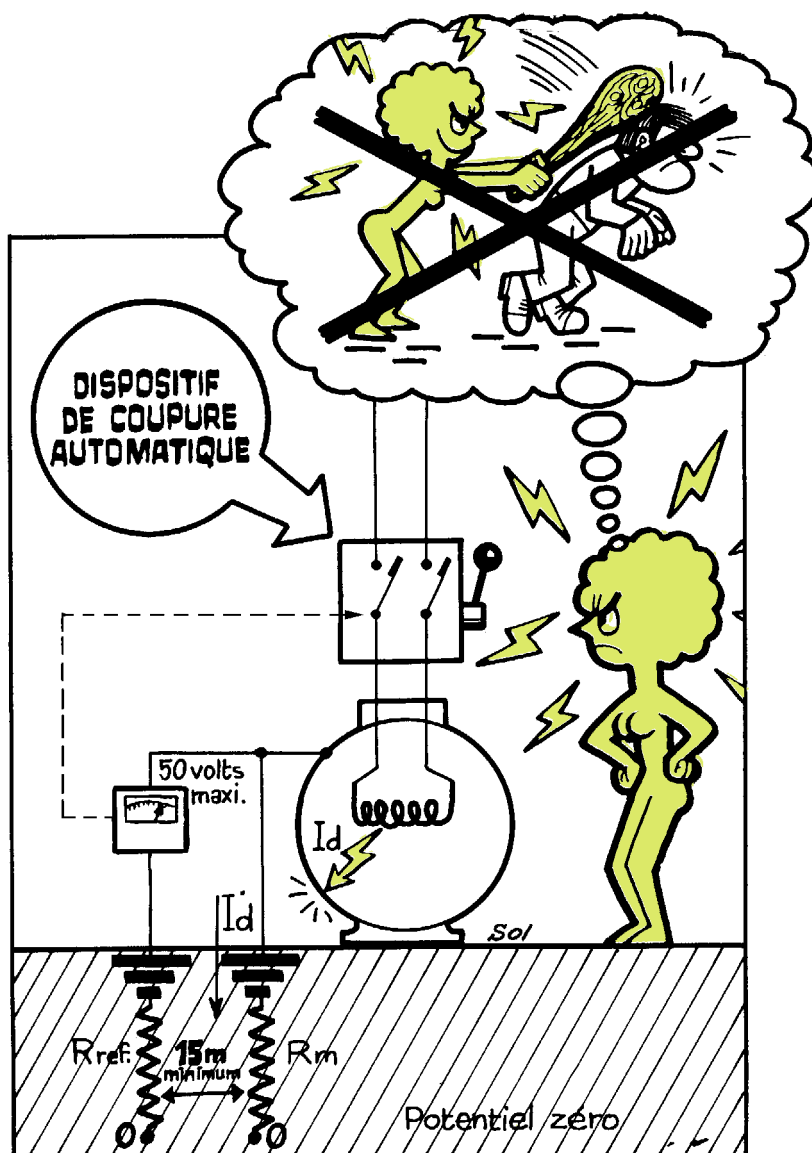
En second lieu, ces mêmes personnes doivent être protégées contre les risques de contact avec des « masses » mises accidentellement sous tension.

Cette protection peut être assurée :

- soit en mettant en œuvre des tensions qui, même en cas de défaut, ne pourront, par définition, porter les masses de l'installation à un potentiel dangereux,
- soit en faisant en sorte que, si un défaut se produit, la partie du matériel, qui peut de ce fait être portée à un potentiel dangereux, soit rendue inaccessible aux personnes par l'utilisation de la double isolation ou de l'isolation renforcée,



La surveillance des installations doit être assurée par une personne compétente.



... faire en sorte qu'aucun point de l'installation ne soit porté à un potentiel dangereux.

- soit en coupant automatiquement l'alimentation de l'installation ou de la partie de l'installation intéressée.

En troisième lieu, les installations et le matériel doivent être conçus et réalisés de telle façon qu'ils ne puissent être à l'origine de brûlures, d'incendies et d'explosions dus :

- soit à des surcharges ou à des courts-circuits,
- soit à la projection d'étincelles ou de particules incandescentes,
- soit aux matières traitées, manipulées, etc., qui sont susceptibles de prendre feu instantanément ou de présenter avec l'air des mélanges explosibles.

Il faut également savoir que :

- les adjonctions, modifications, réparations ou entretien doivent être effectués par des professionnels qualifiés,
- les travailleurs appelés à utiliser les installations électriques doivent être informés des risques d'accidents d'origine électrique et invités à signaler tous les défauts et anomalies de fonctionnement qu'ils pourraient constater,
- pour assurer la pérennité des dispositions prises en matière d'installation électrique, celles-ci doivent être vérifiées conformément à la réglementation et leurs résultats consignés dans un rapport détaillé. Les dates et natures des vérifications ainsi que les noms et qualités des personnes qui les ont effectuées doivent être portés sur un registre.

Notons à ce propos qu'il ne faut pas confondre la surveillance des installations [art. 47 du décret du 14.11.1988], qui doit être opérée aussi fréquemment que de besoin, avec les vérifications [art. 53] qui doivent être effectuées lors de la mise en service des installations ou après des modifications de structure [vérifications initiales], puis ensuite périodiquement tous les ans ou tous les trois ans suivant la nature des locaux.

La surveillance doit être assurée par des membres du personnel désignés par le chef d'établissement. Sans devoir posséder une qualification en électricité, ces derniers ont pour mission de « prendre toutes dispositions permettant de faire cesser sans délai les risques pouvant résulter des anomalies ou des défauts constatés par les travailleurs dans l'état apparent du matériel ou dans son fonctionnement ».

Cette surveillance a pour but essentiel de veiller :

- au maintien des dispositions mettant hors de portée des travailleurs les conducteurs et pièces conductrices normalement sous tension,
- au bon raccordement et au bon état de conservation des conducteurs de protection,
- au bon état des conducteurs souples aboutissant aux appareils amovibles ainsi qu'à leurs organes de raccordement,
- à ce que le calibre des fusibles et le réglage des disjoncteurs ne soient pas indûment modifiés,
- au bon fonctionnement des dispositifs sensibles au courant différentiel résiduel,

- à l'efficacité de la signalisation des défauts d'isolement détectés par les contrôleurs permanents d'isolement CPI,
- au maintien de l'éloignement des matériaux combustibles par rapport à l'installation électrique,
- au bon état de propreté du matériel qui, par suite d'accumulation de poussières, peut chauffer dangereusement,
- au maintien en bon état du matériel utilisé dans les zones présentant des risques d'explosion,
- au respect des dispositions de sécurité relatives à l'émission de substances toxiques en cas d'incident sur le matériel.

Quant aux vérifications, elles doivent être assurées, soit par des personnes ou des organismes agréés, soit par des personnes connaissant bien les risques électriques, leur prévention et les dispositions réglementaires correspondantes ; celles-ci doivent par ailleurs exercer régulièrement cette activité.

Ces vérifications ont pour objet de rechercher si les installations ont été établies et sont entretenues conformément aux dispositions réglementaires.

Elles doivent donc porter, non seulement sur les points énumérés ci-dessus, mais également sur la conformité générale des installations aux dispositions de la section II, à celles relatives à la protection contre les risques de contact direct ou indirect, ainsi que sur l'efficacité de celles-ci.

En ce qui concerne notamment la protection contre les contacts indirects, il convient, qu'en cas de défaillance de l'installation ou des équipements, aucun point de cette installation ou de ces équipements ne soit porté à un potentiel dangereux pendant un temps suffisant pour créer un risque physio-pathologique.

Dans les petites ou moyennes installations, alimentées directement en basse tension (130-230 ou 400 volts) par le réseau de distribution publique, on atteint cet objectif :

- en raccordant à la terre toutes les masses de l'installation,
- en mettant en place, à l'origine de l'installation, en tête des départs principaux puis divisionnaires, des dispositifs différentiels (disjoncteurs ou interrupteurs) qui coupent automatiquement, en un temps très court, l'alimentation de l'installation ou de la partie d'installation dont les masses sont portées à un potentiel supérieur à :
 - 25 volts, en courant alternatif, dans les locaux ou sur les emplacements mouillés,
 - 50 volts, toujours en courant alternatif, dans les autres locaux ou sur les autres emplacements.

Le matériel électrique

Le matériel et l'appareillage étant constitués intérieurement par des conducteurs électriques le plus souvent isolés et inaccessibles, il importe que cette inaccessibilité et cet isolement ne soient pas compromis par des actions mécaniques ou par l'introduction à l'intérieur de ces récepteurs de produits solides ou liquides. En outre, il ne faut pas que l'utilisation de ce matériel et de cet appareillage soit une cause d'inflammation possible de l'atmosphère lorsque celle-ci est composée d'un mélange air-gaz. D'où l'intérêt d'établir une classification portant à la fois sur le type d'isolation, la classe, le degré de protection normalement assuré par l'enveloppe ainsi que sur le mode de protection s'il s'agit de matériels appelés à fonctionner en atmosphère explosible.

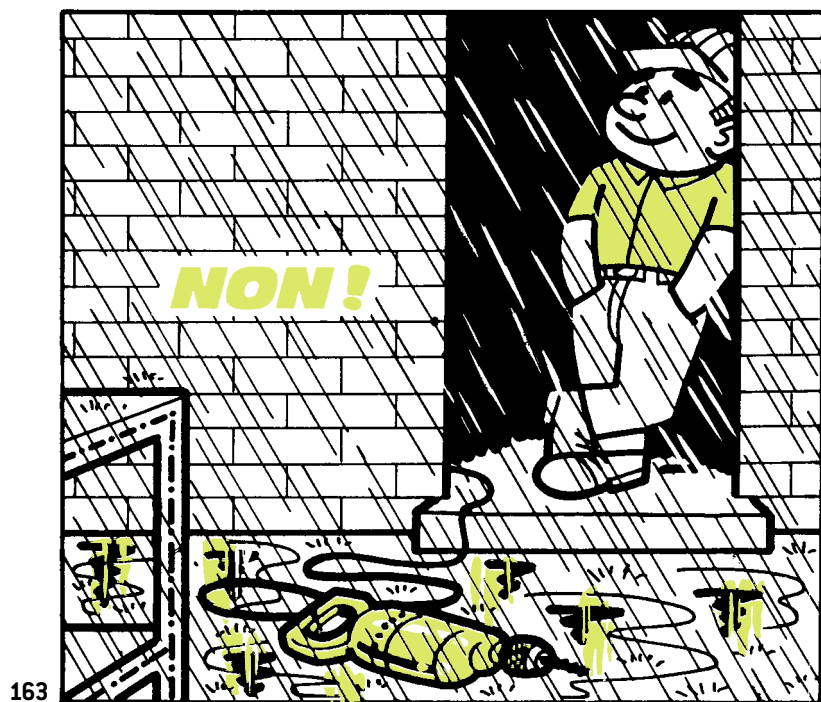
Classification du matériel électrique

Cette classification (norme française NF C 20-030) n'a pas pour objet de rendre compte du niveau de sécurité du matériel, mais uniquement d'indiquer comment la sécurité est obtenue.

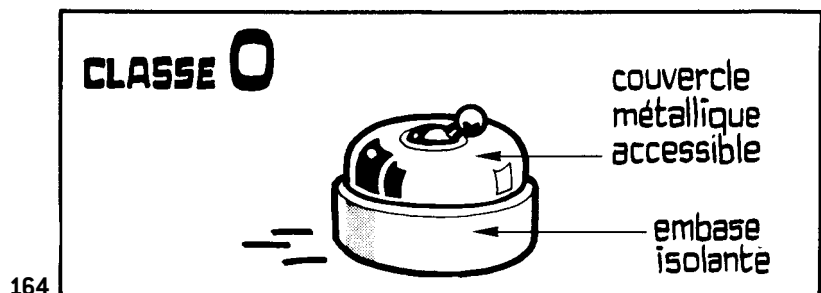
Elle est applicable au matériel prévu pour être alimenté par un réseau extérieur sous des tensions n'excédant pas 400 volts en valeur efficace entre phases (250 volts en valeur efficace entre phases et terre).

Définitions

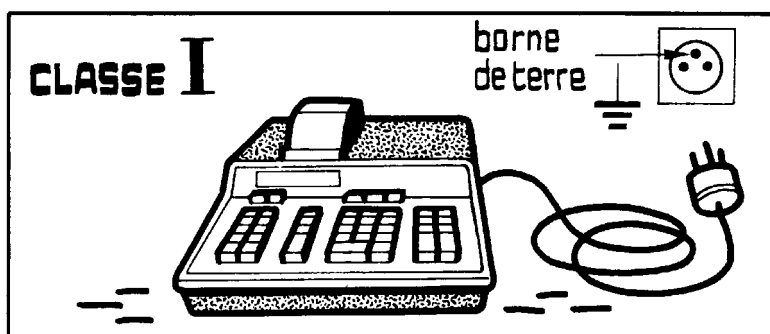
- Isolation : ensemble des isolants entrant dans la construction d'un matériel électrique pour isoler ses parties actives. Action d'isoler.
- Isolation principale : isolation des parties actives dont la défaillance peut entraîner un risque de choc électrique.
- Isolation renforcée : isolation unique assurant une protection contre les chocs électriques équivalente à celle procurée par une double isolation.



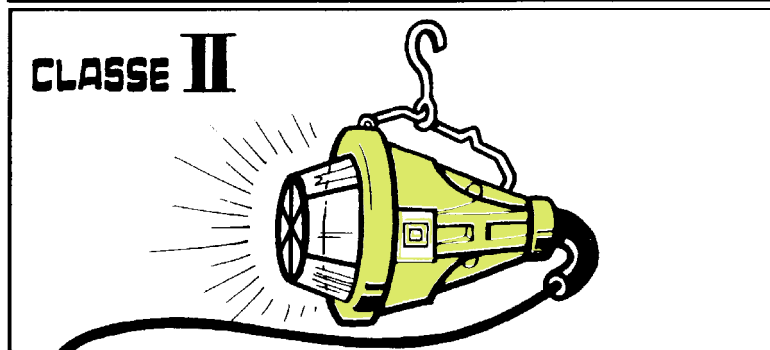
L'inaccessibilité et l'isolement des conducteurs électriques ne doivent pas être compromis par l'introduction de produits solides ou liquides à l'intérieur des récepteurs.



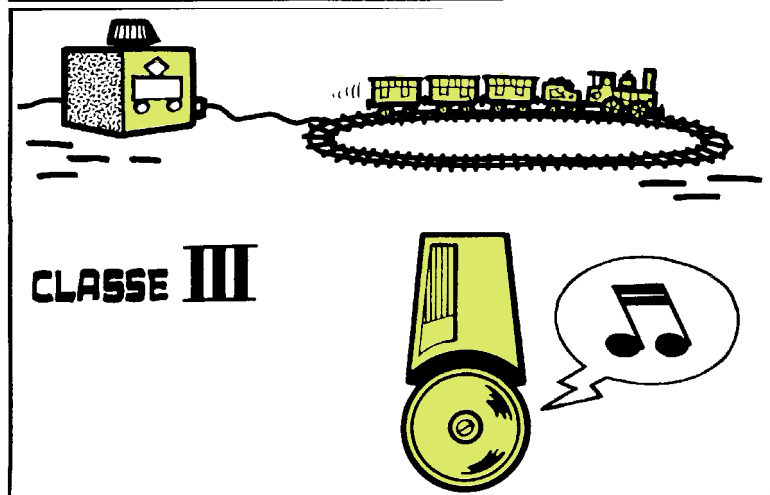
165



166



167



168

1 ^{er} CHIFFRE	2 ^{ème} CHIFFRE	CODE IK (00 à 10)
PÉNÉTRATION DES POUSSIÈRES	PÉNÉTRATION DES LIQUIDES	DOMMAGES MÉCANIQUES

169

(1) Conducteur repéré par la double coloration vert/jaune.

(2) Très basse tension de sécurité (TBTS) et très basse tension de protection (TBTP) : tension n'excédant pas 50 volts, en courant alternatif, entre conducteurs ou entre un conducteur quelconque et la terre, dans un circuit dont la séparation du réseau d'alimentation est assurée par des moyens tels qu'un transformateur de sécurité, conforme à la norme NF C 52-742, ou un convertisseur à enroulements séparés.

- Isolation supplémentaire : isolation indépendante prévue en plus de l'isolation principale en vue d'assurer la protection contre les chocs électriques en cas de défaut de l'isolation principale.
- Double isolation : isolation comprenant à la fois une isolation principale et une isolation supplémentaire.

Classes de matériel

- Matériel de la classe 0 (zéro) : matériel dans lequel la protection contre les chocs électriques repose sur l'isolation principale. Aucune disposition n'est prévue pour raccorder les parties conductrices accessibles à un conducteur de protection faisant partie du câble d'alimentation.

Comme la protection en cas de défaut de l'isolation principale repose uniquement sur l'environnement (absence ou présence d'éléments conducteurs réunis à la terre), cette classe d'appareil est, sauf cas exceptionnels, à proscrire.

- Matériel de la classe I (un) : matériel dans lequel la protection contre les chocs électriques ne repose pas uniquement sur l'isolation principale, mais comporte une mesure de sécurité supplémentaire sous la forme de moyens de raccordement des parties conductrices accessibles à un conducteur de protection incorporé au câble d'alimentation et permettant la mise à la terre ⁽¹⁾.

La fiche de prise de courant raccordée à ce câble d'alimentation doit comporter un contact de mise à la terre. Celui-ci ne doit pas pouvoir entrer en contact avec les parties sous tension et doit assurer la liaison du conducteur de protection avec le réseau de mise à la terre avant l'établissement des contacts des conducteurs actifs et rompre cette liaison après leur séparation.

Ce matériel porte le symbole

- Matériel de la classe II (deux) : matériel dans lequel la protection contre les chocs électriques ne repose pas uniquement sur l'isolation principale, mais qui comporte des mesures supplémentaires de sécurité, telles que la double isolation ou l'isolation renforcée.

Il ne comporte pas de moyen permettant de relier les parties métalliques accessibles, s'il en existe, à un conducteur de protection.

Ce matériel porte le symbole

- Matériel de la classe III (trois) : matériel dans lequel la protection contre les chocs électriques repose sur l'alimentation sous TBTS ou TBTP ⁽²⁾.

La tension d'alimentation est notée sur la plaque signalétique.

Degrés de protection procurés par les enveloppes

Le type de protection visé par ce système de classification (norme française NF C 20-010) est le suivant :

- protection des personnes contre les contacts ou l'approche de parties sous tension et contre les contacts avec des pièces en mouvement intérieures à l'enveloppe,
- protection du matériel contre la pénétration de corps solides étrangers,
- protection du matériel contre les effets nuisibles dus à la pénétration de l'eau.

DÉFINITION	MARQUAGES ÉQUIVALENTS	
protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau	IP X1	
protégé contre l'eau de pluie	IP X3	
protégé contre les jets d'eau	IP X5	 ou 
protégé contre les effets de l'immersion	IP X7	

Les symboles utilisés pour définir les degrés de protection procurés par les enveloppes des appareils électriques sont constitués par les lettres IP suivies de deux chiffres caractéristiques :

- le premier chiffre, 0 à 6, désigne le degré de protection, tant en ce qui concerne les personnes que le matériel contenu dans l'enveloppe, contre les contacts avec les parties sous tension et la pénétration des corps solides étrangers et des poussières,

- le deuxième chiffre, 0 à 8, désigne le degré de protection contre les effets dus à la pénétration de l'eau.

Une ou deux lettres peuvent, en option, compléter ces chiffres caractéristiques (A, B, C, D et/ou H, M, S, W).

Concernant la tenue des enveloppes aux chocs mécaniques, un nouveau code IK, issu de la NF C 20-015, complété par un groupe de chiffres caractéristiques (de 00 à 10), remplace le troisième chiffre du code IP. Il est souvent utilisé dans des normes spécifiques, par les constructeurs pour caractériser leur matériel ou par les utilisateurs pour adapter ce matériel aux risques mécaniques inhérents à leur activité.

Les symboles définis ci-contre doivent figurer soit sur la plaque signalétique du matériel, soit dans les documents, schémas ou catalogues du constructeur. Toutefois, le symbole du degré de protection pourra être remplacé sur certains matériels par tel ou tel dessin symbolique défini par les règles particulières à ces matériels. C'est ainsi qu'il existe une équivalence entre les marquages prévus ci-dessus pour indiquer le degré de protection contre la pénétration des liquides et ceux basés sur les symboles de la CEI.

Matériel électrique utilisable dans les atmosphères explosibles

Dans les zones présentant des risques d'explosion, les installations doivent répondre à un certain nombre de critères :

- elles doivent être réduites à ce qui est strictement nécessaire à l'exploitation de la zone,
- les canalisations ne doivent pas pouvoir être la cause d'une inflammation de l'atmosphère explosible ou de propagation de la flamme,
- le matériel doit être choisi en fonction du risque : il est soit du type utilisable en atmosphère explosible, soit étanche aux poussières.

La réglementation concernant le matériel utilisable en atmosphère explosible est celle issue du décret n° 96-1010 modifié.

Huit modes de protection sont prévus :

- immersion dans l'huile o,
- surpression interne p,
- remplissage pulvérulent q,
- enveloppe antidéflagrante d,
- sécurité augmentée e,
- sécurité intrinsèque et système électrique de sécurité intrinsèque i,
- encapsulage m,
- matériel de type n.

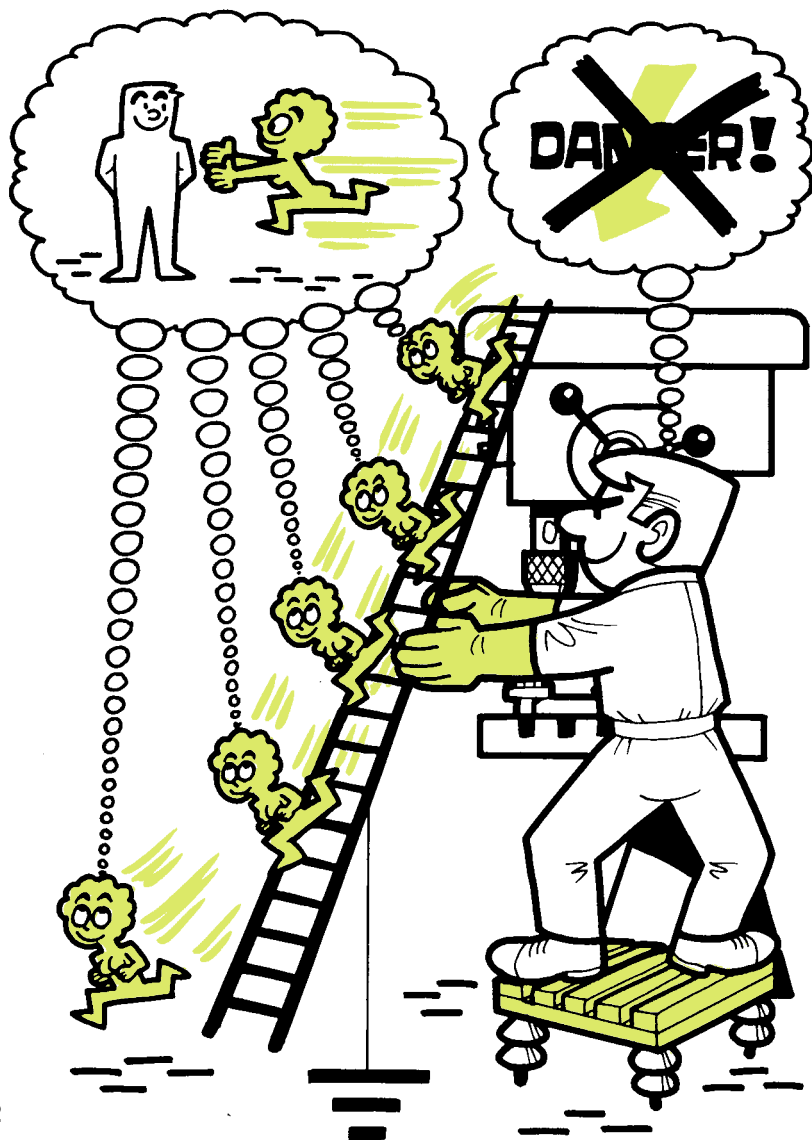
Les laboratoires français habilités pour attester de la conformité de ces produits sont l'Ineris ⁽¹⁾ et le LCIE ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Institut national de l'environnement et des risques.

⁽²⁾ Laboratoire central des industries électriques.

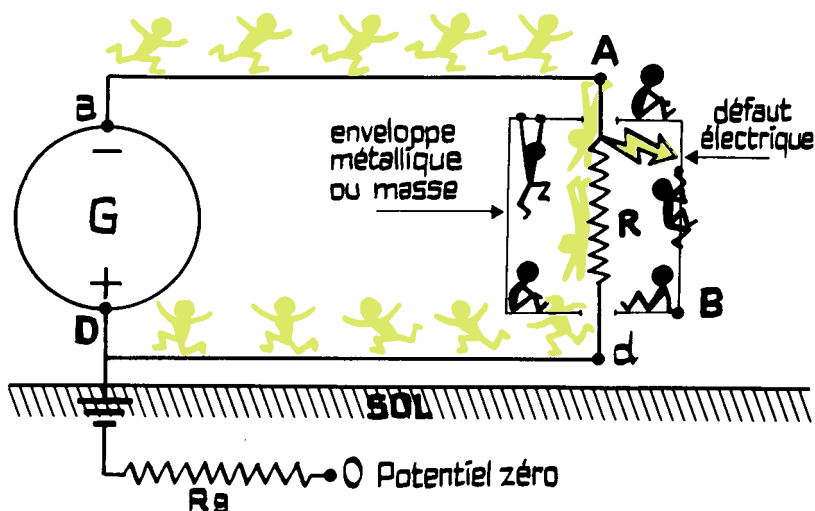


N'entrez pas dans un local où existe un risque d'explosion avec un appareil d'éclairage portable non conforme à la réglementation en vigueur.



172

Pour limiter les risques d'électrisation, il faut offrir aux charges électriques, qui ont réussi à s'échapper des isolants, la possibilité de retourner au générateur par une voie indirecte en réunissant à la terre l'enveloppe métallique des appareils électriques.



173

Moyens de prévention contre les contacts indirects

D'une façon générale, les mesures préventives qui visent à protéger les personnes contre les défauts d'isolement des récepteurs consistent :

- soit à mettre à la terre la masse des appareils en y associant un dispositif de coupure automatique,
- soit à prendre des dispositions destinées à supprimer le risque lui-même en rendant les contacts non dangereux ou en empêchant les contacts simultanés entre les masses et un élément conducteur non isolé de la terre.

Mise à la terre des masses des récepteurs

Ce mode de protection consiste à réunir toutes les masses de l'installation à une prise de terre dont la résistance électrique doit être telle que le potentiel atteint par la masse ne puisse être maintenu à une valeur supérieure à celle indiquée précédemment.

Ainsi, à la maison, les masses de la cuisinière électrique, de la machine à laver et du réfrigérateur sont réunies à une prise de terre par l'intermédiaire d'un conducteur supplémentaire incorporé dans le câble souple d'alimentation.

Il en est de même sur le chantier, à l'atelier, au bureau où les masses des machines fixes ou mobiles, des outils électriques portatifs, des machines à écrire électriques sont réunies à un conducteur dit « conducteur de protection », lui-même relié à une prise de terre.

Ce conducteur de protection n'intervient qu'en cas de mise sous tension accidentelle de l'enveloppe métallique externe des récepteurs, soit à la suite d'un échauffement exagéré, ou encore de contraintes mécaniques ayant affecté l'isolation principale des appareils.

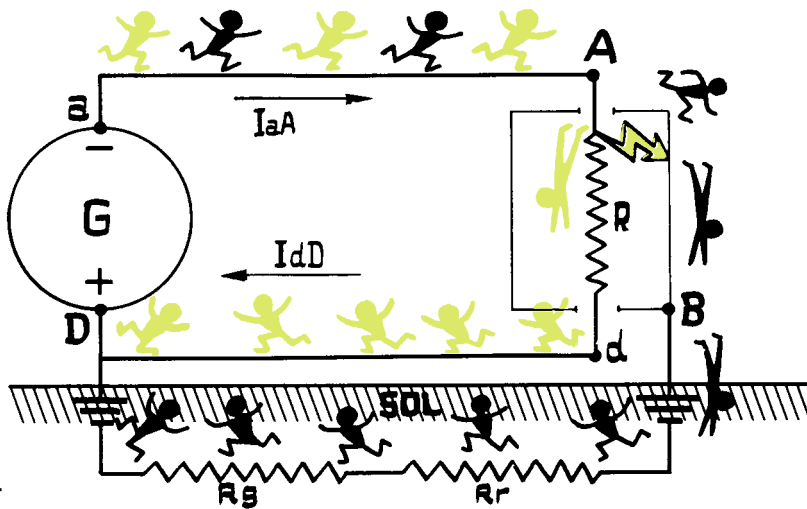
Dès que cette tension se manifeste, elle se répartit le long de la résistance du circuit de retour, constitué par la prise de terre du générateur et la prise de terre du récepteur, suivant le principe exposé précédemment.

Principe de la protection des personnes par mise à la terre des masses

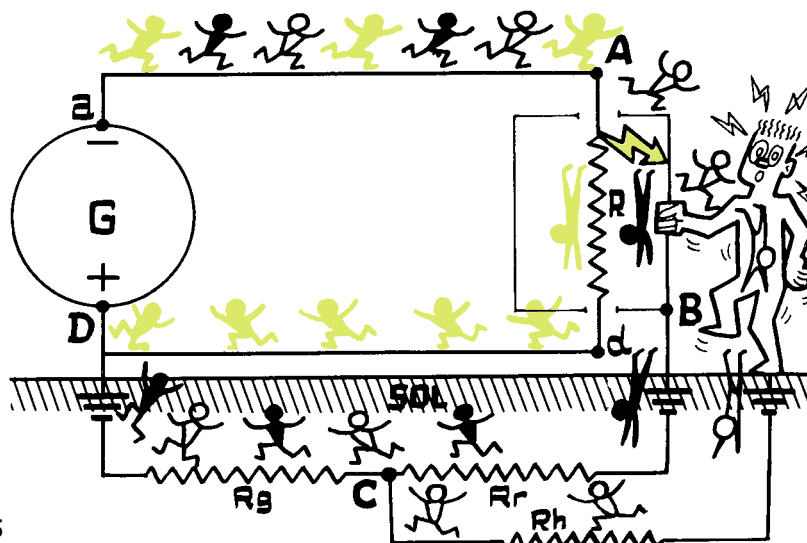
En présence d'un défaut de l'isolation et en l'absence d'une mise à la terre de la masse du récepteur R, l'enveloppe métallique de l'appareil est portée au potentiel du point A (les points A et B sont réunis par l'intermédiaire du défaut), elle est sous tension (voir le conducteur sous tension) de telle sorte que la différence de potentiel entre la masse et le sol est égale à celle du générateur G (fig. 173).

Toute personne qui voudrait se saisir de l'appareil pourrait être électrisée.

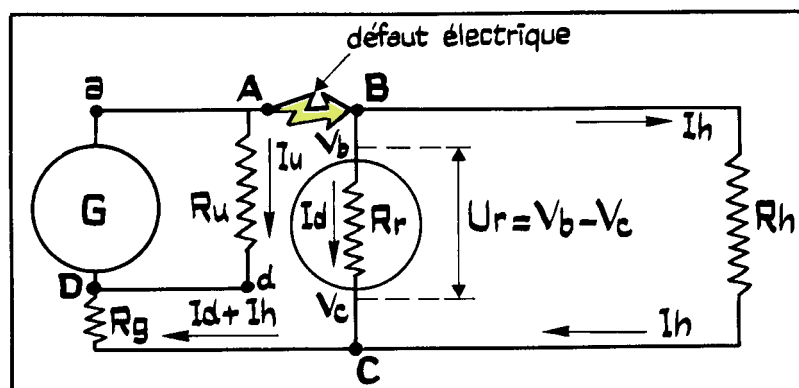
174



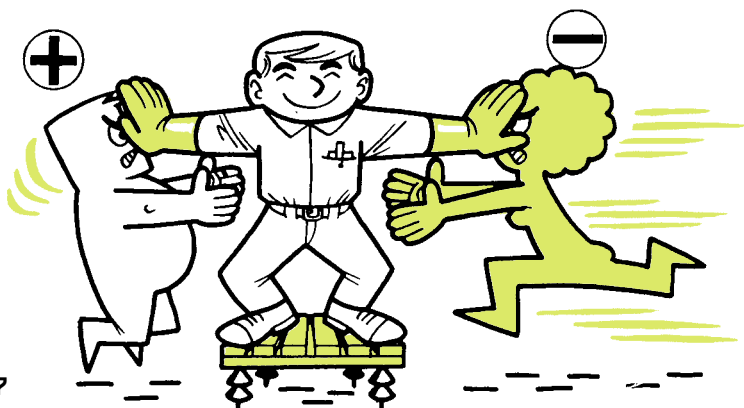
175



176



177



C'est pour éviter de servir d'intermédiaire ou de liaison entre les charges électriques que l'électricien prend soin de s'isoler du sol et des charges.

Par contre, si la « masse » du récepteur est réunie à la terre, par l'intermédiaire d'un conducteur de protection, les charges électriques « en attente » sur cette masse auront la possibilité de rejoindre le générateur par cette voie indirecte qui leur est offerte [fig. 174].

Le potentiel du générateur va se « répartir » le long de la résistance formée par l'ensemble $R_g + R_r$ avec R_g = résistance de la prise de terre du générateur et R_r = résistance de la prise de terre du récepteur.

En fait, lorsque la puissance de la source d'énergie électrique est suffisante (cas du réseau de distribution publique), la tension aux bornes du générateur, et partant celle de l'enveloppe, se maintient à sa valeur initiale bien que le courant électrique soit plus important et, apparemment, le risque encouru est identique à celui envisagé dans le cas précédent.

La résistance R_r , aux bornes de laquelle existe une différence de potentiel $V_b - V_c$, peut être assimilée à un deuxième générateur de résistance interne R_r , de tension $U_r = V_b - V_c$ connecté aux bornes d'une résistance R_h [fig. 176].

La tension du générateur G ainsi que la résistance R_g (résistance de la prise de terre du neutre) sont imposées par le distributeur.

La résistance R_h = résistance du corps humain plus la résistance de contact avec le sol dépendent de facteurs tels que :

- l'état du sol (conducteur ou isolant),
- la nature et l'importance des surfaces de contact « mains-pieds »,
- la résistance des tissus musculaires, sur lesquels nous n'avons que peu d'action hormis les moyens de protection individuelle réservés aux électriciens (gants isolants, tapis de sol et tabouret isolant, etc.).

Pour que le courant dans R_h soit le plus faible possible, il faut et il suffit que la résistance R_r soit très faible.

En effet, les charges électriques issues du générateur G qui traversent la résistance R_r vont perdre dans cette résistance une partie de leur énergie ; cette perte d'énergie peut être représentée par la différence entre l'énergie potentielle initiale d'entrée W_1 et l'énergie potentielle de sortie W_2 .

Pour un courant de fuite ou de défaut à la terre déterminé I_d , si $W_1 \neq W_2$ cela implique :

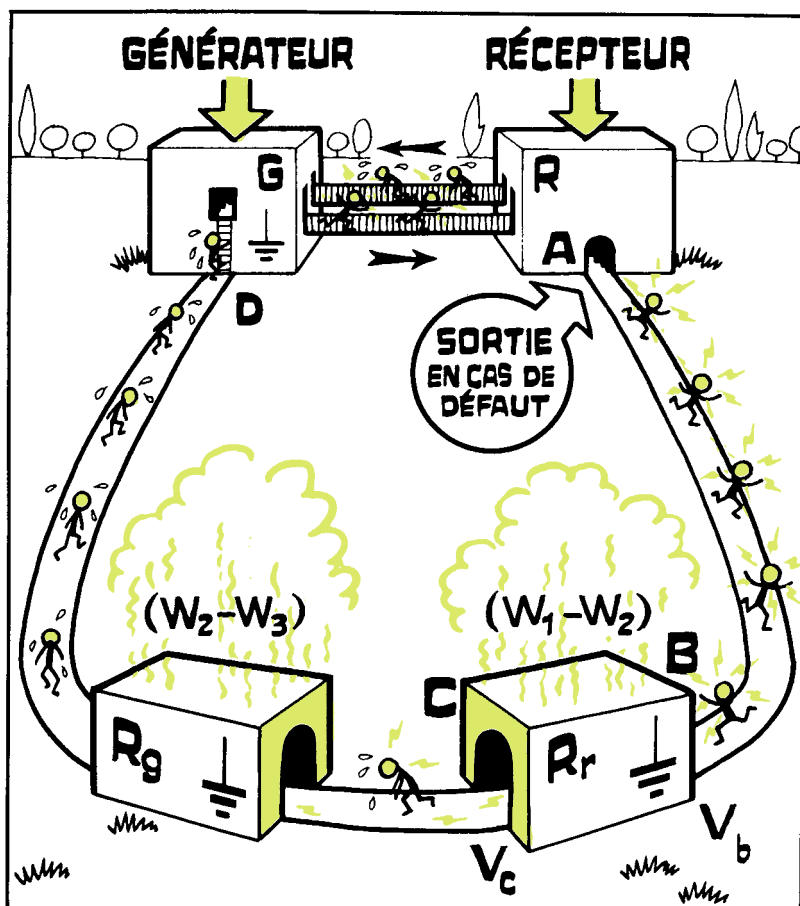
- que l'énergie perdue est minimale,
- que la résistance est très faible (voir l'énergie thermique perdue dans les résistances),
- que le potentiel d'entrée V_b est sensiblement égal au potentiel de sortie V_c , ou encore, que

$$U_r = V_b - V_c$$

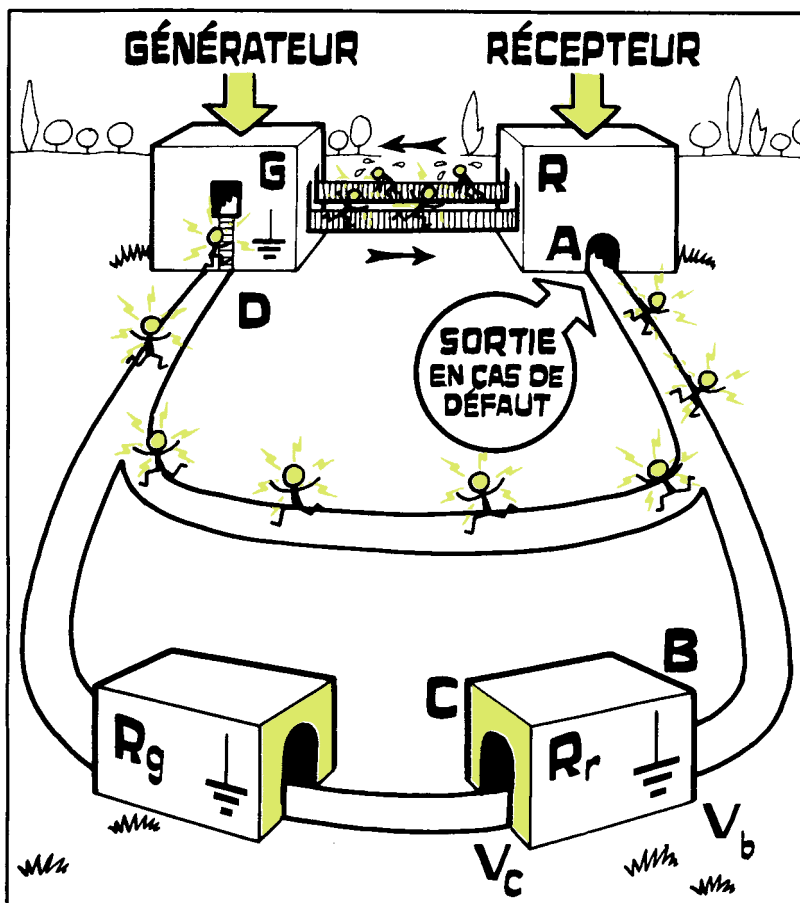
(voir « Potentiel d'un point », page 44),

$$\text{ainsi que } I_h = \frac{U_r}{R_h}$$

soient eux-mêmes très faibles, ce qui est la condition recherchée.



La différence de potentiel $V_b - V_c$ qui apparaît aux bornes de la résistance R_r est proportionnelle à l'énergie perdue par les charges qui traversent cette résistance.



Pour prévenir les risques d'électrisation par courant de défaut, il faut supprimer le courant dans la prise de terre des masses. $V_b - V_c = 0$.

Une solution élégante consisterait à annuler $V_b - V_c$ en réunissant les points B et D par un conducteur de protection. En cas de défaut d'un des récepteurs, le générateur G se trouve en court-circuit, ce qui entraîne automatiquement le fonctionnement des dispositifs de protection contre les surintensités. Malheureusement, cette solution n'est pas facilement acceptée par le distributeur et le point D doit être considéré comme inaccessible.

Une autre méthode, pour aborder le mécanisme de la protection par la mise à la terre des masses, consiste à remarquer que la répartition du potentiel du générateur G s'effectue suivant le rapport des résistances R_r et R_g [voir « Distribution du potentiel le long d'une résistance », page 44].

V : tension du réseau de distribution.

R_r : résistance de la prise de terre du récepteur.

R_g : résistance de la prise de terre du neutre du générateur.

R_h : résistance du corps humain.

V_r : différence de potentiel aux bornes de R_r .

Appliquons la loi d'Ohm :

$$I_d = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_g + R_r}$$

$$V_r = R_r \times I_d$$

$$V_r = V \times \frac{R_r}{R_g + R_r}$$

ou encore :

$$V_r = V \times \frac{R_r}{\frac{R_g}{R_r} + 1}$$

d'où :

$$\frac{R_r}{R_g} = \frac{V_r}{V - V_r} \text{ et } R_r = R_g \frac{V_r}{V - V_r}$$

Exemple : $V = 220$ volts

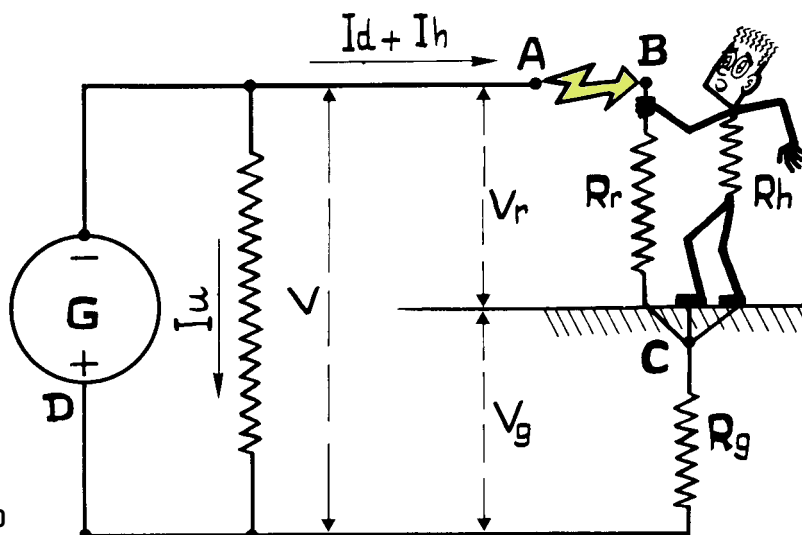
$V_r = 25$ volts

$R_g = 1$ ohm

$$R_r = 1 \times \frac{25}{220 - 25} = 0,13 \text{ ohm}$$

Dans les petites ou moyennes installations (logement individuel, PME, etc.), il est souvent très difficile ou onéreux d'obtenir des valeurs de résistance de prises de terre aussi faibles.

Par contre, dans les établissements plus importants (ou sur le réseau de distribution publique), des résistances de cet ordre de grandeur sont très fréquentes, soit en réalisant des prises dites « à fond de fouille », soit en interconnectant les masses avec des structures métalliques telles que charpentes, ferrailage du béton, etc.



Pour pallier les dangers de l'emploi de prises de terre de résistance trop élevée, la réglementation stipule que celles-ci doivent être associées, comme nous l'avons vu précédemment, à un dispositif différentiel qui coupe automatiquement l'alimentation de l'installation correspondante dès que le potentiel des masses dépasse 25 ou 50 volts.

Il faut également noter que si ce dispositif de coupure est nécessaire, en aucun cas il ne saurait se substituer à la mise à la terre des masses qui reste obligatoire ⁽¹⁾.

Dispositifs de protection à courant différentiel résiduel ou dispositifs DR

Connectés à l'origine de l'installation électrique ou des départs principaux et divisionnaires, et en amont des appareils d'utilisation (matériel fixe ou mobile, outils électriques portatifs), ces dispositifs complètent les protections classiques à maximum d'intensité (fusibles et disjoncteurs).

Associés, dans un même appareil, à la protection contre les surintensités, ils sont appelés « disjoncteurs différentiels ». Utilisés seuls, ce sont alors des interrupteurs différentiels.

Compte tenu de leurs différentes caractéristiques, ils peuvent être utilisés dans n'importe quel type d'installation, soit pour assurer la coupure automatique en cas de défaut, soit pour détecter et mesurer des courants de défaut à la terre.

La sensibilité des dispositifs DR est définie par la valeur maximale du courant de défaut à la terre [courant différentiel résiduel nominal] pour lequel le dispositif assure la mise hors tension de la partie d'installation ou de l'appareil électrique défectueux.

L'emploi de dispositifs DR dits à « haute sensibilité » est recommandé chaque fois que les appareils électriques, alimentés par câbles souples, sont utilisés dans des conditions sévères, c'est-à-dire lorsqu'il y a risque de rupture du conducteur de protection ou lorsque l'humidité, ou toute autre cause, peut nuire au maintien de la bonne isolation de ces appareils.

Il en est notamment ainsi sur les emplacements de travail mouillés pour l'alimentation des outils électriques portatifs, etc.

Dans les cas suivants, l'emploi des dispositifs différentiels dits à « haute sensibilité » est obligatoire ⁽¹⁾⁽²⁾ :

- prises de courant de courant assigné inférieur ou égal à 32 A,
- prises de courant installées dans les locaux mouillés quel que soit le courant,
- installations temporaires (chantiers, foires, expositions...),
- salles d'eau (luminaires, appareils de chauffage...),
- piscines (luminaires, appareils d'utilisation...),
- établissements agricoles et horticoles,
- caravanes,
- bateaux de plaisance,
- véhicules automobiles,
- câbles chauffants et autres équipements de chauffage.

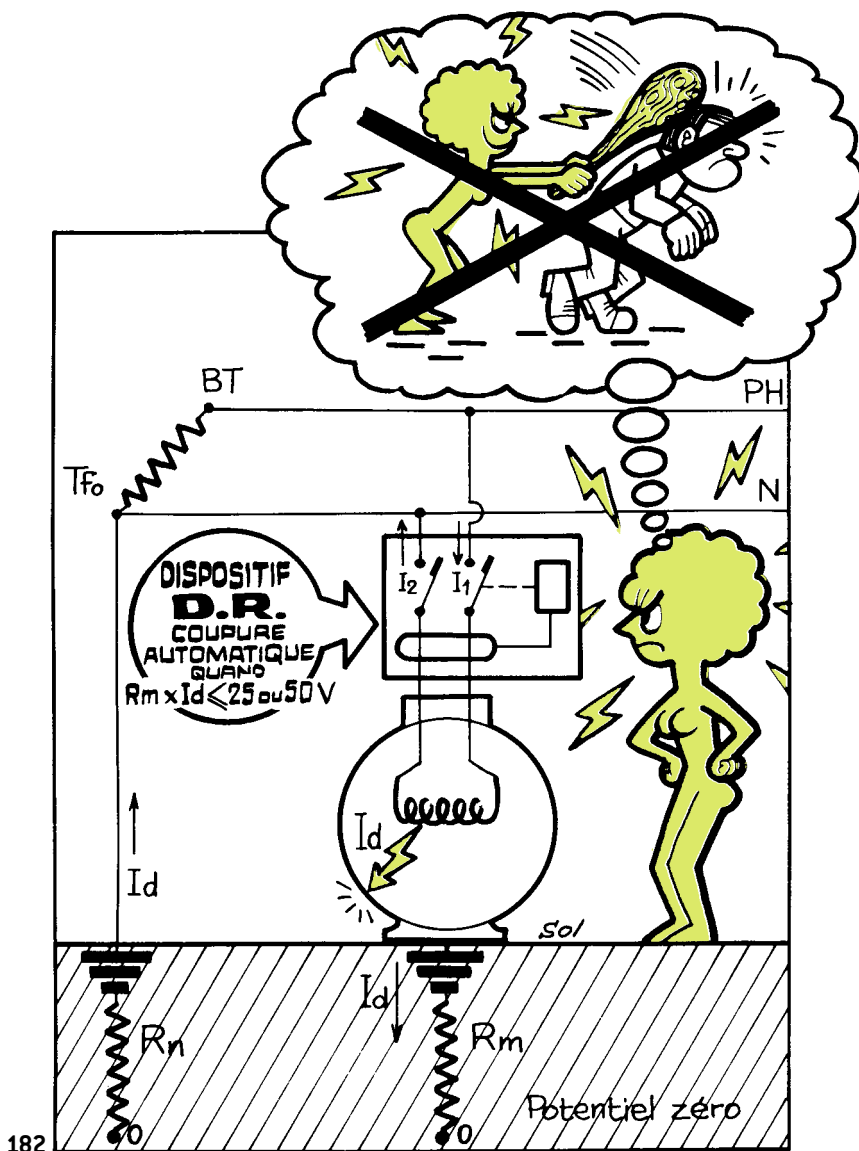
Principe de protection des dispositifs DR

Dans une alimentation monophasée, en l'absence d'un défaut électrique, la somme arithmétique des courants électriques dans les conducteurs actifs « aller » et « retour » est nulle (le courant « aller » est égal, en valeur absolue, au courant « retour »).

⁽¹⁾ Sauf dérogations exceptionnelles.

⁽²⁾ Arrêté du 8 janvier 1992.

L'emploi des dispositifs DR à haute sensibilité est recommandé chaque fois que les appareils électriques sont utilisés dans des conditions sévères.



Les dispositifs DR assurent une bonne protection contre les contacts indirects.

En présence d'une défaillance de l'isolement, soit de l'installation, soit d'un appareil d'utilisation, une partie I_d des charges électriques fournies par le générateur s'écoule à la terre et l'équilibre des courants est rompu ; c'est ainsi que sur le schéma 174, I_{aA} est différent de I_{dD} .

Le dispositif DR détecte cette différence et lorsque l'intensité du courant de défaut qui s'écoule dans la prise de terre atteint la valeur seuil du courant différentiel résiduel pour lequel le dispositif doit fonctionner, celui-ci coupe automatiquement, en un temps très court, l'alimentation de l'installation ou de l'appareil électrique dont l'isolement est défectueux.

La valeur du seuil du courant différentiel résiduel est choisie de telle sorte que le produit I_d [intensité du courant de défaut] R_m [résistance électrique de la prise de terre] reste inférieur ou égal à 25 ou 50 volts.

Protection par séparation des circuits

On peut ne pas réaliser la mise à la terre des masses, associée à la coupure automatique, dans les installations ou parties d'installation qui répondent simultanément aux conditions suivantes :

- l'alimentation est sous une tension au plus égale à 500 volts en courant alternatif et par l'intermédiaire d'un transformateur conforme à la norme NF C 52-742 ⁽¹⁾ ou à partir d'un groupe moteur-générateur,
- l'installation est constituée par des circuits de faible étendue et d'un niveau d'isolement élevé,
- les circuits ne sont ni reliés à la terre, ni reliés à d'autres circuits,
- l'isolation de ces circuits est vérifiée régulièrement.

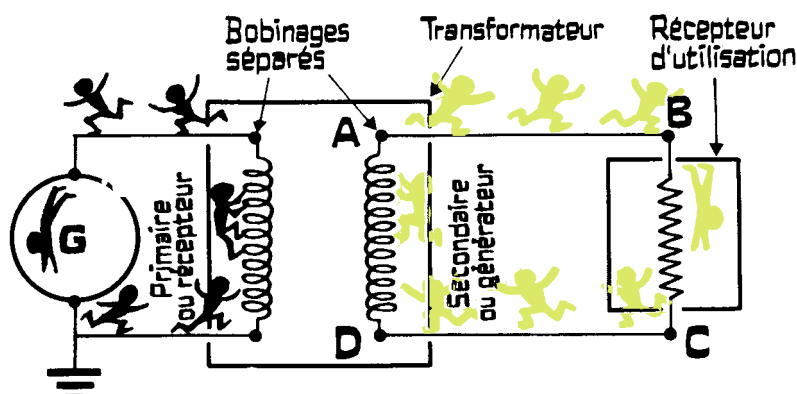
Nota : Si plusieurs appareils sont connectés au même transformateur, leurs masses doivent être reliées par un conducteur de protection non relié à la terre. Si la séparation est assurée par un transformateur mobile, l'installation ne doit comprendre qu'un récepteur et le transformateur doit être revêtu d'une enveloppe isolante.

Principe de la protection par séparation des circuits

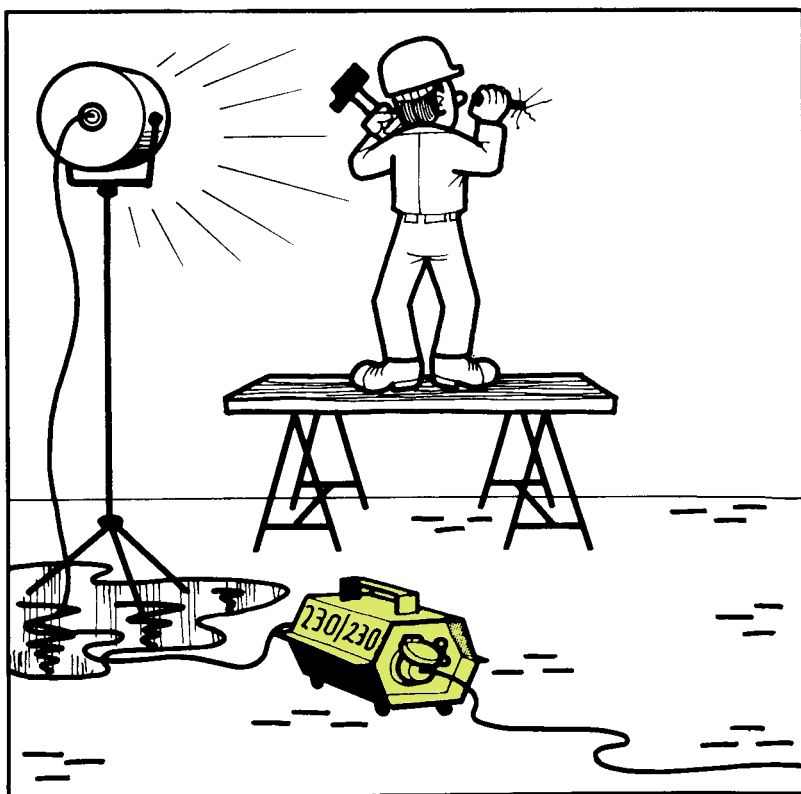
Le transformateur utilisé pour séparer le ou les appareils électriques de la source d'énergie électrique peut être considéré comme un récepteur du côté réseau de distribution – **c'est le bobinage primaire** – et comme une source de courant du côté utilisation – **c'est le bobinage secondaire**.

Suivant le principe même des générateurs électriques, toute charge issue d'une extrémité du bobinage secondaire doit être réinjectée à l'autre extrémité afin d'assurer ainsi une circulation continue des charges dans le circuit fermé ABCDA.

Les deux extrémités du bobinage étant isolées du sol, les charges portées par A ne peuvent rejoindre celles portées par D que par le conducteur CD lorsque le récepteur est connecté entre B et C.



⁽¹⁾ Il est identifié par le symbole



184

Dans certains cas particuliers, la séparation des circuits peut être préférable à l'emploi des dispositifs DR, notamment lorsqu'un déclenchement peut entraîner un risque d'ordre non électrique.

En cas de contact accidentel d'une personne avec l'un des conducteurs AB ou DC, ou volontaire avec l'enveloppe métallique d'un récepteur alors que son isolement est déficient, les charges électriques ne pouvant utiliser le sol comme conducteur occasionnel, tout danger d'électrisation est en principe écarté ; étant entendu que ce mode de protection ne peut être efficace qu'à la condition expresse qu'aucun point du circuit secondaire ne soit réuni à la terre (voir la liaison à la terre des générateurs).

D'où l'intérêt de vérifier fréquemment le bon état d'isolation des conducteurs AB et DC.

La séparation des circuits est recommandée pour l'alimentation du matériel portatif chaque fois que des risques de dégradation des câbles souples d'alimentation sont à craindre (garages, serrureries, etc.) ou lorsque techniquement on ne peut utiliser la TBTS ou la TBTP.

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

Installations à très basse tension

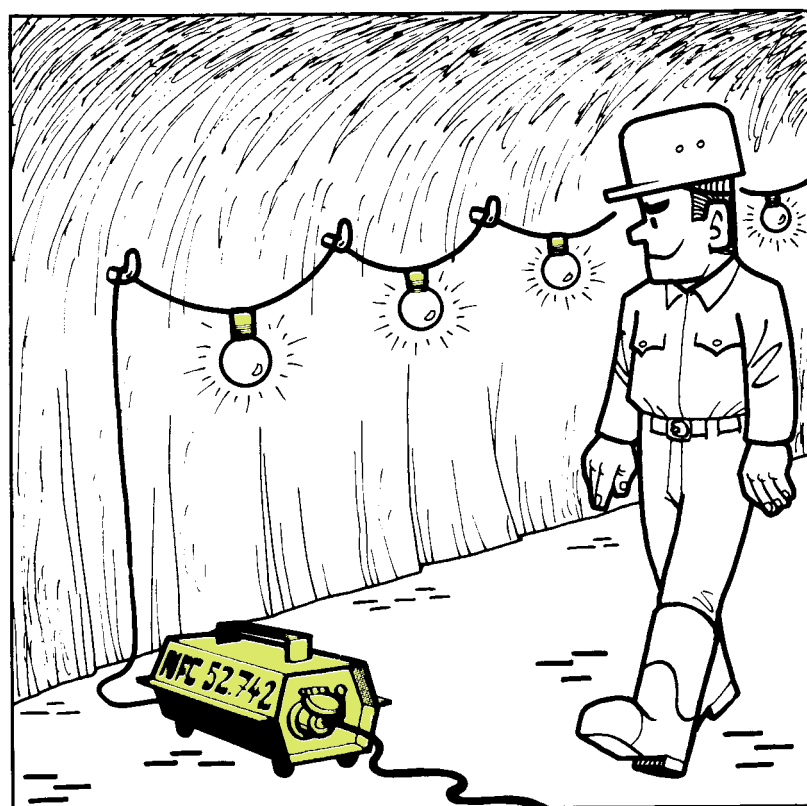
	Locaux ou emplacements	Tension
TBTS	Non mouillés	$U \leq 50$ volts alt. $U \leq 120$ volts cont.
	Mouillés	$U \leq 25$ volts alt. $U \leq 60$ volts cont.
TBTP	Non mouillés	$25\text{ V} < U \leq 50\text{ V alt.}$ $60\text{ V} < U \leq 120\text{ V cont.}$
		$U \leq 25$ volts alt. $U \leq 60$ volts cont.
	Mouillés	$12\text{ V} < U \leq 25\text{ V alt.}$ $30\text{ V} < U \leq 60\text{ V cont.}$
		$U \leq 12$ volts alt. $U \leq 30$ volts cont.
TBTF	Non mouillés	$U \leq 50$ volts alt. $U \leq 120$ volts cont.
	Mouillés	$U \leq 25$ volts alt. $U \leq 60$ volts cont.

L'alimentation des installations en TBT est obligatoire :

- dans les locaux et sur les emplacements de travail où la poussière, l'humidité, l'imprégnation par des liquides conducteurs, 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'appareils portatifs à main à l'intérieur d'enceintes conductrices exiguës (réservoirs, cuves, gaines... de faibles dimensions) où la résistance de contact entre utilisateur et parois est très faible.

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.

Les deux premières de ces catégories doivent répondre simultanément à des impératifs bien précis :



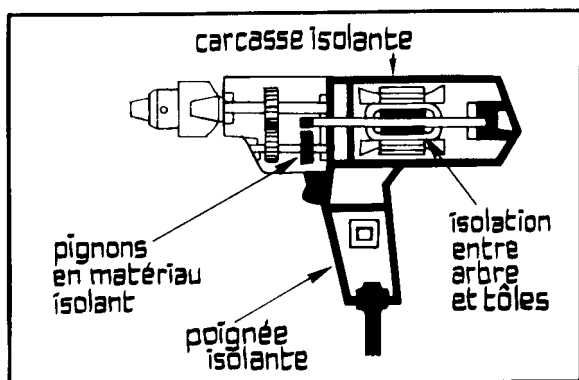
185

Lorsque l'installation d'éclairage est accessible, l'utilisation de la TBTS est recommandée pour alimenter les sources lumineuses.



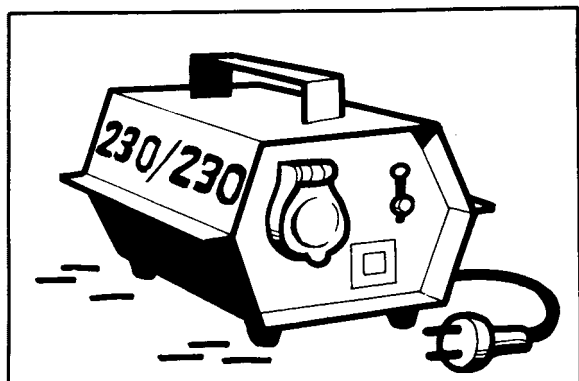
186

Le transformateur de sécurité doit être placé à l'extérieur de l'enceinte très conductrice.



187

Le matériel de classe II...



188

... la séparation des circuits, sont des moyens qui participent à la protection des travailleurs contre les risques électriques.

• Très basse tension de sécurité TBTS

1 - La source d'alimentation doit être constituée soit par un transformateur de sécurité conforme à la norme NF C 52-742, soit par un groupe moteur-générateur qui présente, lorsque le moteur est électrique, les mêmes garanties d'isolement, soit enfin par un générateur autonome tel que pile ou accumulateur.

2 - Les canalisations utilisées ne doivent comporter aucun conducteur assemblé avec des conducteurs de toute autre installation ⁽¹⁾.

Si toutes ces prescriptions sont respectées, il n'est pas nécessaire de prendre, pour les installations correspondantes, d'autres mesures de protection contre les contacts directs ou contre les contacts indirects.

3 - Le matériel alimenté en TBTS doit présenter, entre ses parties actives et celles de toute autre installation, une isolation équivalente à celle d'un transformateur de sécurité.

4 - Aucun point de l'installation ne doit être relié à la terre ou comporter de liaison avec des conducteurs de protection appartenant à d'autres installations.

• Très basse tension de protection TBTP

Elle doit répondre aux mêmes prescriptions que précédemment, à l'exception de la dernière.

Les installations correspondantes de tension inférieure à 25 volts ⁽²⁾ en courant alternatif sont dispensées de satisfaire aux prescriptions concernant la protection contre les contacts directs et contre les contacts indirects. Celles de tension supérieure à 25 volts ne sont dispensées que des mesures de protection contre les contacts indirects.

La troisième catégorie, dite très basse tension fonctionnelle TBTF, correspond aux installations qui ne répondent pas aux prescriptions des deux premières catégories ; elles sont par conséquent soumises, en ce qui concerne la protection contre les contacts directs ou contre les contacts indirects, aux prescriptions correspondantes du décret.

Dans le cas particulier des enceintes conductrices exigües, les lampes baladeuses doivent également être alimentées en TBTS ou en TBTP.

Dans tous les cas d'alimentation par transformateur, celui-ci doit être placé à l'extérieur de l'enceinte [sauf s'il s'agit de transformateur de type fixe faisant partie intégrante de l'installation électrique fixe de l'enceinte].

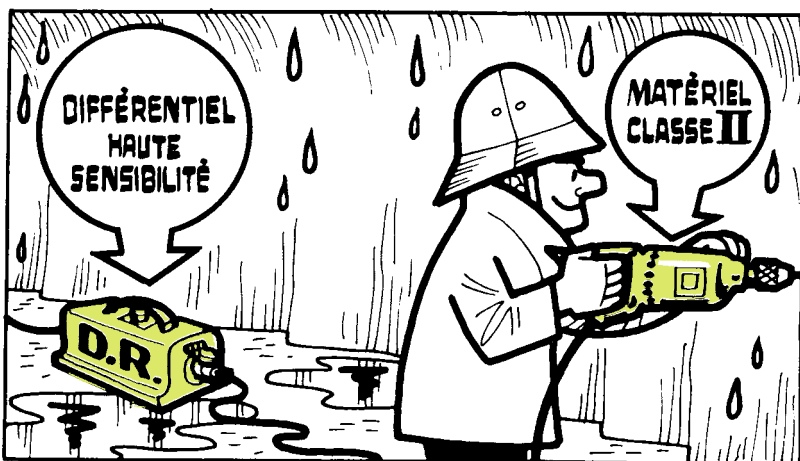
Les transformateurs de sécurité sont identifiables soit par la mention « Transformateur de sécurité » sur la plaque signalétique, soit par la mention de conformité à la norme, soit par le symbole .

Dans le cas où ils ne comportent pas ces indications, les installations TBT doivent être considérées et, par conséquent, traitées comme s'il s'agissait d'installations TBTF.

⁽¹⁾ Il est souvent admis que, dans les câbles de fabrication industrielle ou en pose sous conduit isolant, les conducteurs alimentés en TBTS soient inclus avec d'autres conducteurs soumis à des tensions plus élevées à condition qu'ils soient isolés pour la plus grande des tensions mises en jeu.

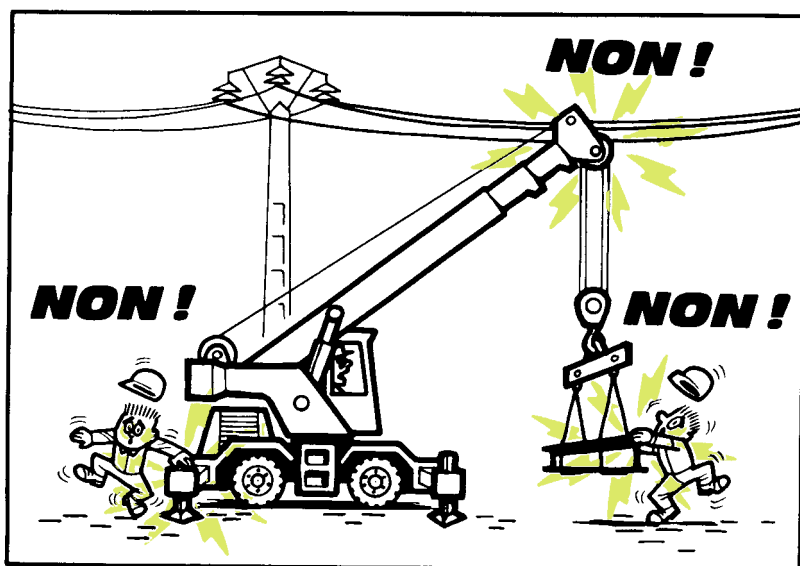
⁽²⁾ Cette valeur doit être ramenée à 12 volts dans les locaux ou sur les emplacements mouillés.

189

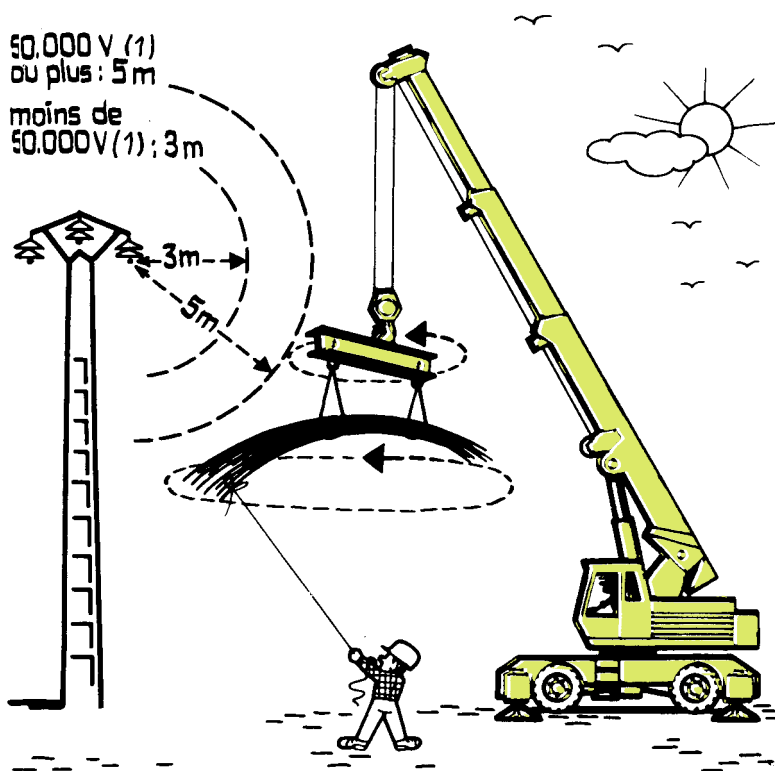


Le matériel de classe II n'est pas nécessairement protégé contre les effets nuisibles dus à la pénétration de l'eau. Une protection supplémentaire contre les contacts indirects est nécessaire.

190



191



Protection par double isolation ou isolation renforcée. Matériel électrique dit de classe II

Nous avons vu que sur les lieux et emplacements de travail :

- humides ou mouillés,
- où s'exercent des effets nuisibles (vapeurs corrosives et autres causes), ainsi que dans les enceintes conductrices exiguës,

la réglementation impose :

- soit des installations TBTS,
- soit du matériel présentant et conservant un niveau d'isolement compatible avec le domaine de tension, eu égard à toutes les causes nuisibles qui exercent habituellement leurs effets.

Pour beaucoup de personnes, le matériel de classe II semble suffisant ; c'est une erreur car cette disposition ne protège que contre les contacts indirects.

Il faut penser non seulement à l'humidité, mais à toutes autres causes telles :

- la corrosion (liquides ou vapeurs),
- l'abrasion,
- les poussières conductrices,
- les vibrations, chocs, etc.

Il faut par conséquent utiliser du matériel qui assure la protection contre les pénétrations éventuelles de poussières conductrices, de liquides, etc., mais, également, qui ait un degré de protection contre les chocs mécaniques approprié.

Ainsi, sur les chantiers du BTP, par exemple, le simple usage du matériel de classe II n'est pas suffisant s'il ne possède pas un degré de protection au moins égal à IP 55X.

Si ce degré de protection est incompatible avec le type de matériel utilisé (perceuse, par exemple), ce matériel doit être protégé par un dispositif différentiel à haute sensibilité (30 mA maximum).

Les appareils de classe II ne comportent pas de borne de mise à la terre ; ils ne doivent en aucun cas être raccordés, par un artifice quelconque, à une prise de terre.

L'enveloppe externe peut être en matériau isolant (matériel de classe II à isolation enveloppante) ou métallique (matériel de classe II à enveloppe métallique).

Principe de la protection assurée par le matériel de classe II

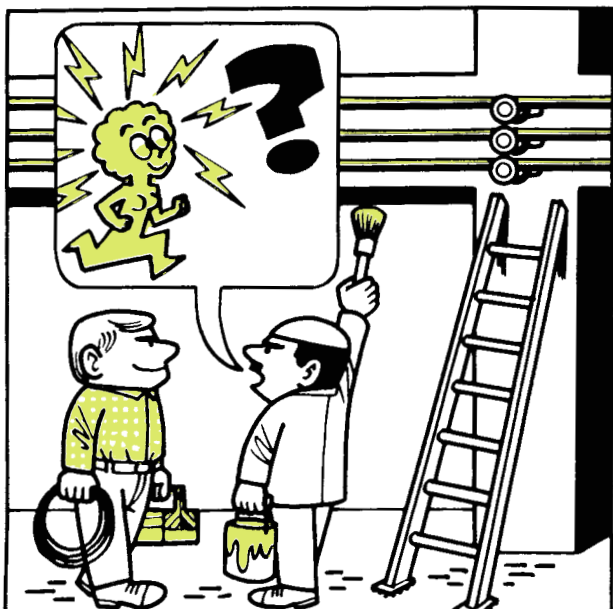
La sécurité présentée par la double isolation provient du fait qu'une isolation supplémentaire est ajoutée à l'isolation principale.

Ainsi, on multiplie la faible probabilité d'un défaut de l'isolation principale par la probabilité tout aussi faible d'un défaut de l'isolation supplémentaire.

Dans l'isolation renforcée, l'isolation principale est améliorée de telle sorte que ses propriétés mécaniques et électriques procurent le même niveau de protection que la double isolation.

[1] Ces valeurs sont données par le décret du 8 janvier 1965 et la publication UTE C 18-510.

192



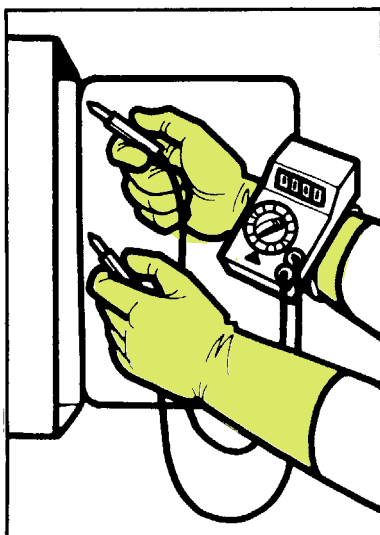
La mise hors tension de l'installation garantit l'élimination du risque électrique.

193



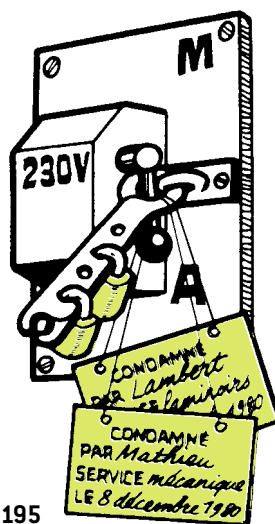
Pour être efficace, l'isolation temporaire des conducteurs doit être réalisée avec soin.

194



Pour les travaux exécutés hors tension, la séparation de la source d'énergie, le contrôle de l'absence de tension et la condamnation de l'appareil de coupe doivent être exécutés par un électricien.

195



Alors que dans les appareils de la classe I les parties normalement sous tension sont rendues inaccessibles aux personnes par l'isolation principale, dans les appareils de la classe II ce sont les **masses** que l'on met en plus hors de portée.

Ce mode de protection est surtout utilisé pour les outils portatifs à main et pour les transformateurs de faible puissance.

2. Protection des personnes qui travaillent au voisinage des installations électriques

Lors de l'exécution de travaux au voisinage des installations électriques, il s'agit de protéger le personnel d'exécution contre la possibilité de contacts directs, éventuellement par l'intermédiaire d'objets manipulés, avec des conducteurs ou parties conductrices nus sous tension.

Il convient pendant la durée des travaux :

- ou de mettre hors tension l'installation électrique,
- ou de rendre inaccessible aux personnes tous les points qui présentent une différence de potentiel par rapport à la terre :
 - soit en disposant des obstacles entre l'installation et le personnel (écrans),
 - soit en isolant les conducteurs et les parties conductrices (gaines et nappes isolantes),
 - soit en éloignant le poste de travail.

À l'extérieur des locaux, les distances d'éloignement sont respectivement de 3 mètres pour les lignes aériennes de tension efficace inférieure à 50 000 volts et de 5 mètres pour les lignes aériennes de tension efficace égale ou supérieure à 50 000 volts.

Préalablement à l'implantation d'un ou de plusieurs postes de travail dans le voisinage de conducteurs aériens, il y a lieu de prévoir, sur plan ou en se rendant sur place, les accès de dégagement ou de circulation des engins de transport, de terrassement ou de levage, de façon à respecter ces distances de sécurité.

Si l'on se trouve devant l'impossibilité de respecter ces distances, il faut consulter l'exploitant⁽¹⁾ pour qu'il procède à la mise hors tension de l'installation (la procédure à respecter pour le chef d'établissement est contenue dans le titre XII du décret du 8 janvier 1965. INRS, ED 535).

Si la mise hors tension est impossible, il convient de demander à l'exploitant d'isoler l'installation (gaine, nappes, écrans).

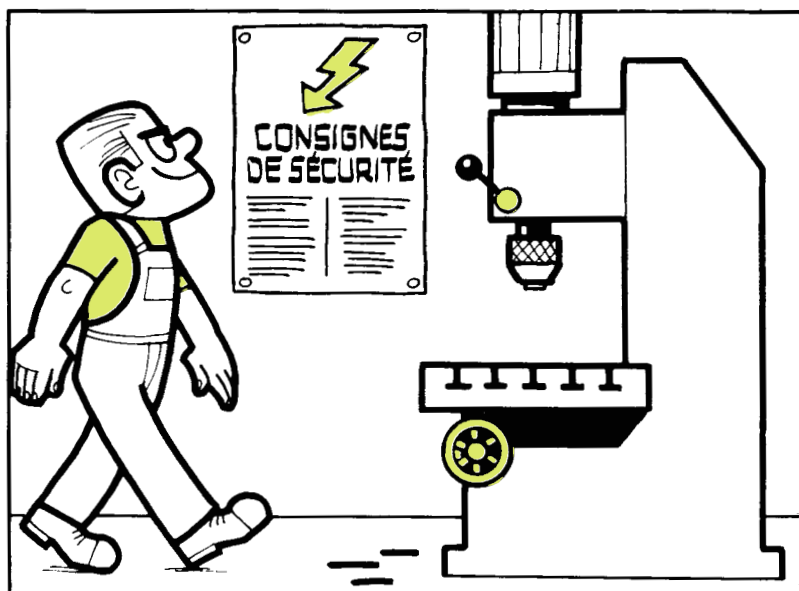
À l'intérieur des locaux ne comportant que des installations électriques basse tension (BT), le chef d'établissement doit faire mettre hors tension l'installation électrique.

Excepté le cas où ces travaux sont exécutés dans des locaux très conducteurs, il peut être dérogé à cette mise hors tension sous réserve que toutes les mesures de sécurité soient prises pour mettre hors d'atteinte directe, ou indirecte par les objets manipulés, les parties de l'installation susceptibles de provoquer des contacts dangereux :

- soit en disposant des obstacles efficaces solidement fixés,

⁽¹⁾ Le distributeur de l'énergie électrique : EDF ou entreprises concessionnaires, chargé de l'exploitation de l'ouvrage de distribution.

196



Le personnel doit être informé des prescriptions de sécurité à respecter dans son travail.

- soit en faisant procéder à une isolation efficace par recouvrement des conducteurs et parties conductrices nus ou insuffisamment isolés.

Dans le cas de travaux effectués à proximité d'installations mises hors tension, il convient :

- de n'ordonner le début du travail qu'après s'être assuré que cette mise hors tension est effective,
- de signaler de façon visible cette mise hors tension,
- de se prémunir contre le rétablissement inopiné de la tension pendant la durée des travaux en condamnant en position d'ouverture les appareils de coupure ou de sectionnement correspondants,
- de ne rétablir cette tension que lorsque les travaux ont cessé et que le personnel ne court plus aucun danger ; cette tension ne pouvant être rétablie que par le responsable ou sur son ordre.

3. Mesures de prévention pour pallier les actions dangereuses du personnel

Les travailleurs, appelés par leurs fonctions à utiliser une installation électrique ou à travailler dans son voisinage, doivent être informés sur le risque électrique et sur les mesures de sécurité à respecter dans leur travail au moyen de consignes ou d'ordres de service portés à leur connaissance par voie d'affichage, dans un endroit très apparent, ou par remise contre décharge d'un carnet de prescriptions.

Il convient en outre :

- de fournir au personnel du matériel adapté au travail à exécuter pour éviter le bricolage et les improvisations,
- de faire vérifier pendant l'exécution du travail que les consignes de sécurité sont respectées,
- lors de travaux inhabituels, de faire élaborer au besoin un mode opératoire,
- de s'assurer que les consignes de sécurité et instructions de travail sont parvenues aux destinataires en cas de message écrit et, dans tous les cas, informations orales ou message écrit, que ces consignes et instructions sont bien comprises par les personnes intéressées,
- de faire identifier clairement les circuits et appareils de manœuvre, de signaler par tous moyens appropriés les zones dangereuses, appareils ou parties d'installations susceptibles d'être dangereux, etc.,
- d'organiser des séances d'information pour le personnel d'exécution.

197



L'odeur de l'émail ou du caoutchouc surchauffé...

198

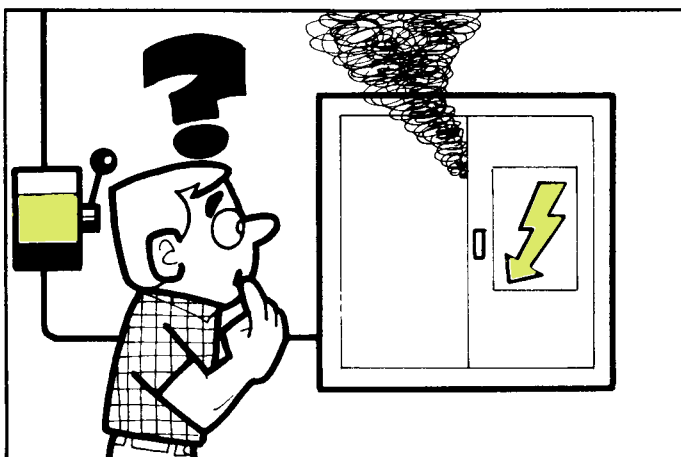


... le crépitement des étincelles ou autres anomalies doivent être signalés à la personne compétente.

4. Invitation du personnel à signaler les défauts du matériel

Si l'électricité est invisible et pratiquement inaccessible à nos sens, la présence d'un défaut électrique dans l'installation ou d'anomalies de fonctionnement peut être souvent détectée.

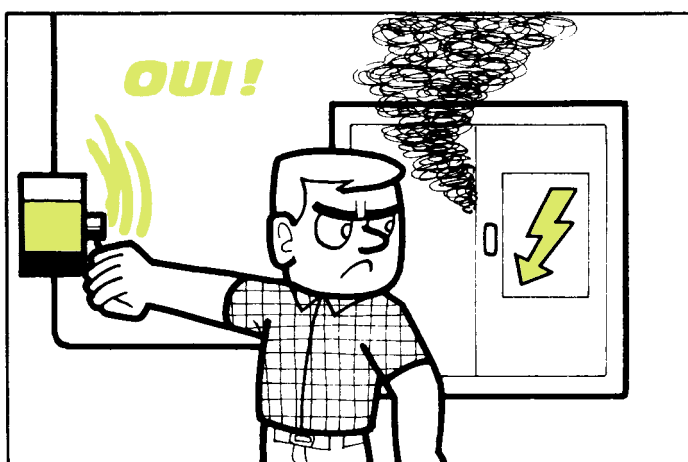
199



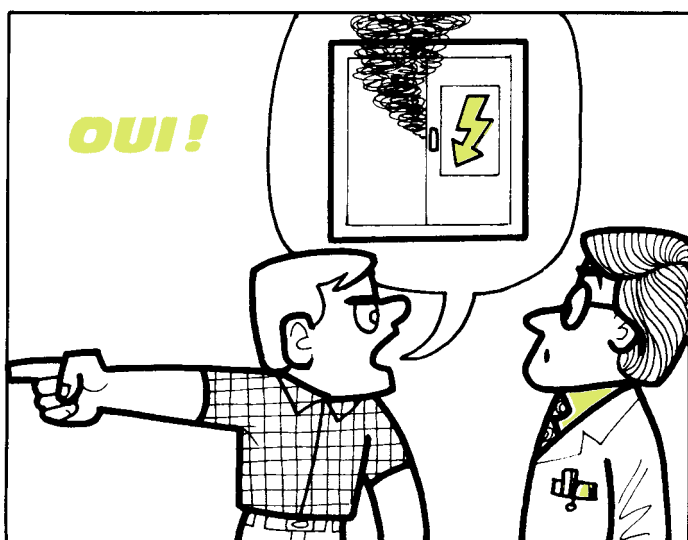
200



201



202



Par exemple :

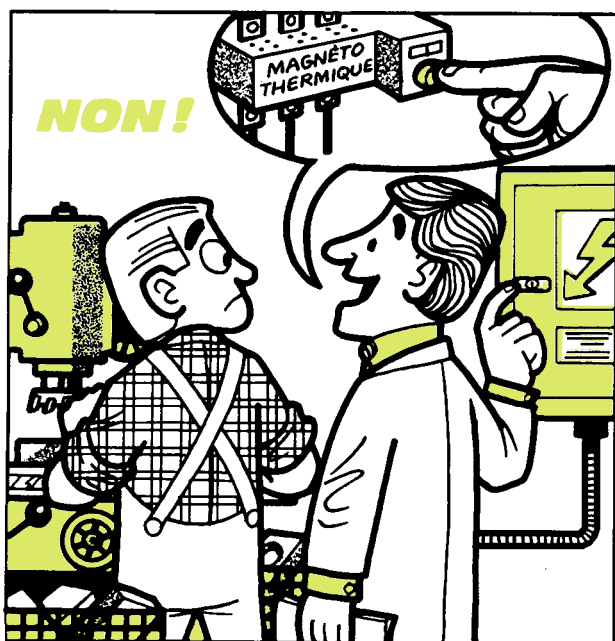
- l'odeur caractéristique des isolants surchauffés lors d'un défaut d'isolement ou d'une surcharge mécanique prolongée d'un récepteur tournant,
- le grésillement significatif des amorçages (tension de rupture) à l'extérieur ou à l'intérieur d'un appareil électrique,
- la prise de courant ou le coupe-circuit à fusible qui chauffent par mauvais contact entre les broches mâles et femelles ou lorsque l'intensité du courant est trop importante,
- la sensation de picotement au contact de l'enveloppe externe d'un outil électrique portatif, de la carcasse d'un moteur, d'une canalisation,
- l'odeur prononcée du caoutchouc chaud qui traduit l'échauffement exagéré d'un conducteur isolé dont la section est trop faible,
- les câbles souples dont la gaine isolante est abîmée ou réparée sommairement,
- les prises de courant ou connecteurs en mauvais état,
- etc.

Toutes ces manifestations extérieures, qui sont des causes possibles non seulement d'accidents d'ordre électrique, mais aussi d'incendies ou d'explosions, doivent être signalées à la personne ou aux personnes chargées de la surveillance des installations (voir page 70) dont le nom doit être connu de tout le personnel.

Toutes les initiatives prises dans ce domaine par une personne non qualifiée pour remédier aux anomalies constatées peuvent avoir des conséquences néfastes, tant pour la personne elle-même que pour celles qui seraient appelées à utiliser ces matériels ou installations.

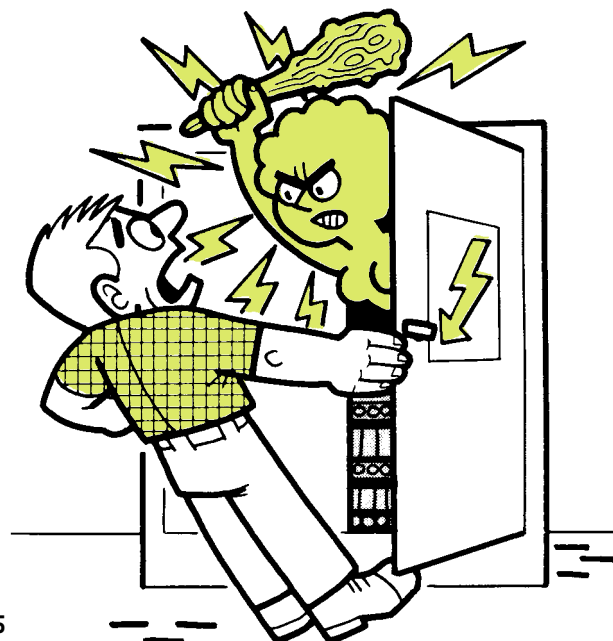
Les témoins doivent se contenter de couper le courant, soit à l'aide des disjoncteurs, discontacteurs, interrupteurs, « coups de poing », etc. prévus à cet effet sur ou à proximité du matériel, soit en retirant les fiches des prises de courant des canalisations souples.

5 Règles générales de sécurité destinées au personnel non électricien



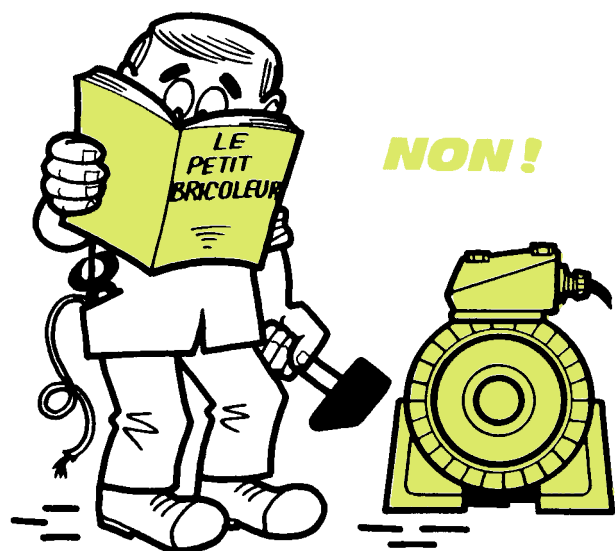
203

- Les seules commandes autorisées pour le personnel de production sont celles qui sont prévues **à l'extérieur** des tableaux, armoires ou coffrets (bouton-poussoir, interrupteur, disjoncteur, etc.).



205

- **N'intervenez jamais** dans une armoire d'appareillage électrique, même pour réenclencher un relais.



204

- Vous n'êtes pas électricien, n'acceptez jamais et ne vous proposez pas de vous substituer à lui.



206

- Si vous laissez tomber un outil électrique sur le sol, **signalez cet incident** au magasinier ou à l'électricien : ce faisant, vous sauvez peut-être votre vie ou celle d'un camarade.

207



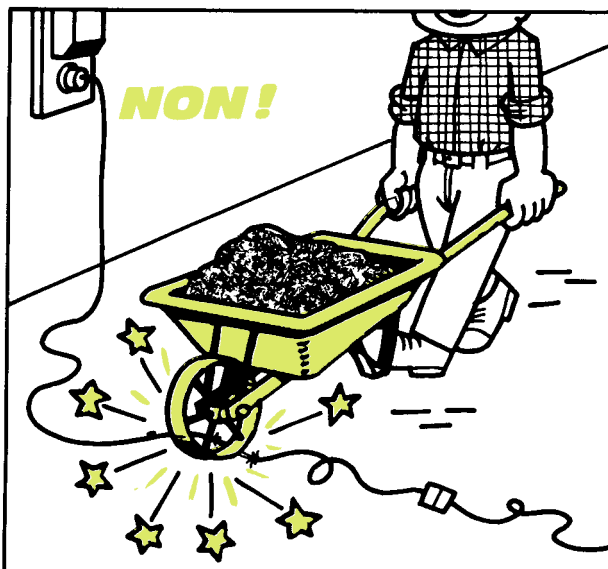
- Si des gaines de protection sont installées sur des conducteurs nus sous tension, **il ne faut jamais procéder à leur déplacement**, même si la protection qu'elles doivent assurer semble insuffisante. Seul, le spécialiste possède les moyens de protection pour y remédier : il faut donc l'avertir sans tarder.

208



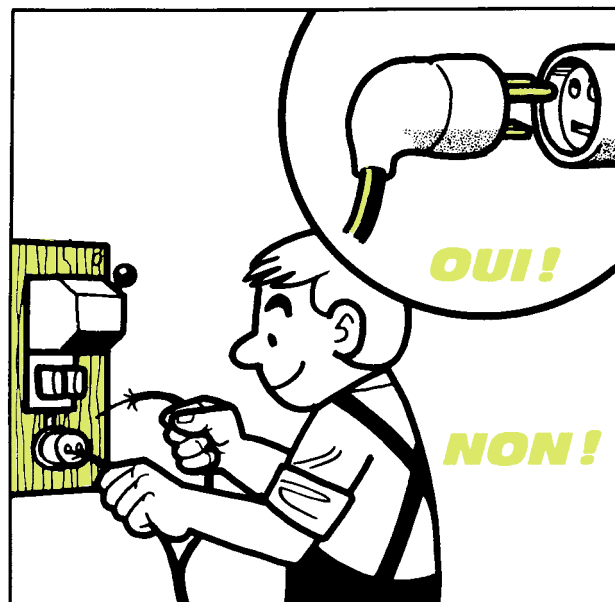
- En cas d'incident, n'intervenez jamais directement sur une installation électrique, **faites appel au spécialiste** pour changer fusibles, prolongateurs, prises de courant.

209



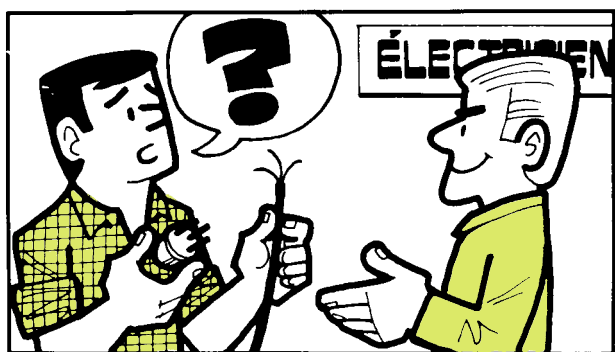
- Pour prévenir la détérioration de l'isolant des conducteurs d'alimentation des appareils électriques, **ces conducteurs doivent être protégés** contre les actions mécaniques (passage de véhicules, pièces lourdes, objets tranchants, etc.), les actions thermiques (sources de chaleur) ou les actions chimiques (produits corrosifs).

210



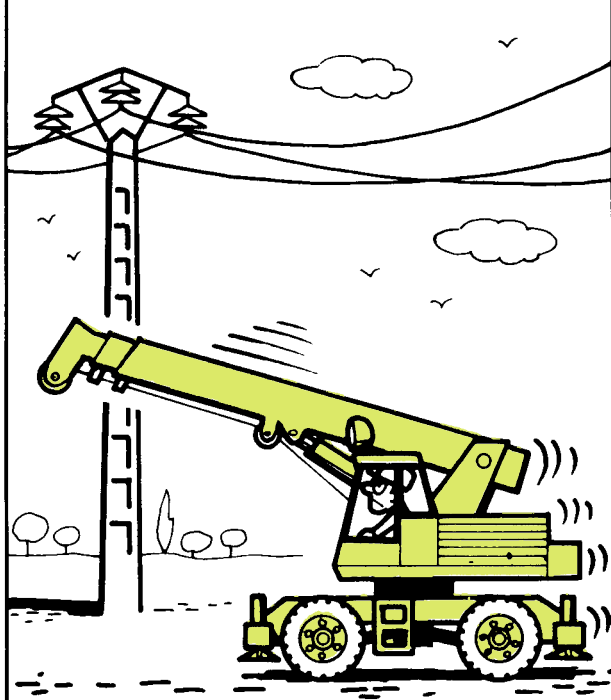
- Les seuls raccordements à effectuer par les travailleurs sont ceux réalisables par prises de courant.
- Lorsque celles-ci ou les canalisations sont détériorées, **il est indispensable de les faire remplacer par l'électricien**.

211



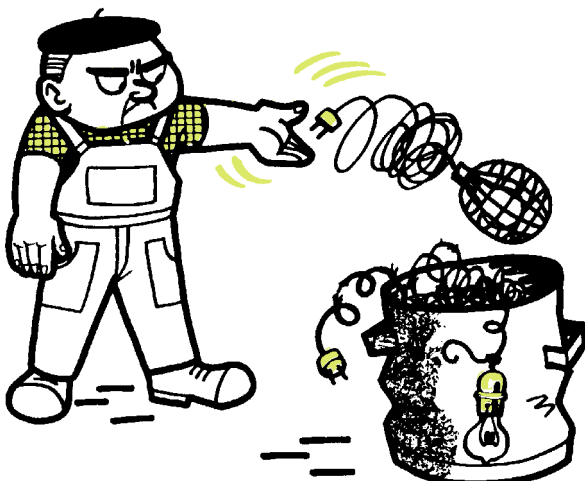
- La majorité des conducteurs d'alimentation comporte un conducteur de protection (mise à la terre) de couleur vert-jaune. **Une erreur de connexion dans la prise de courant peut être mortelle.**

212



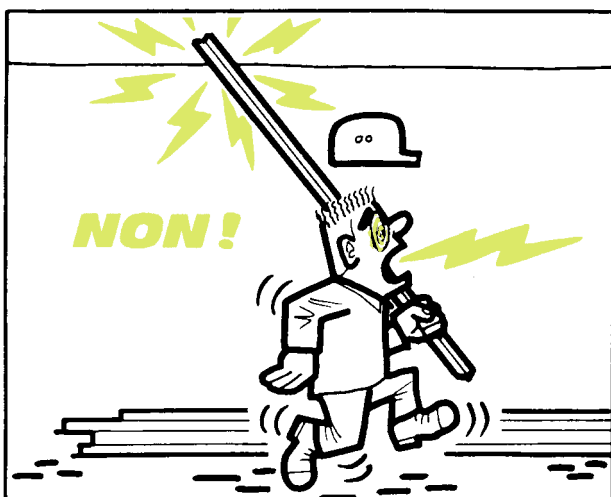
- Les conducteurs électriques aériens sont rarement isolés. Même si certains l'étaient à l'origine, les intempéries ont pu détériorer l'isolant. Si vous manœuvrez des charges dans leur voisinage, vérifiez que le dispositif de levage reste à **une distance suffisante** de ces conducteurs.

213



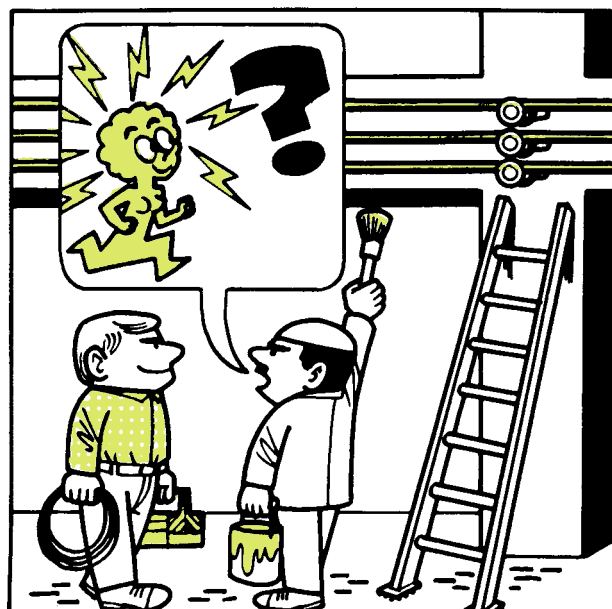
- Les baladeuses de fortune constituées d'une simple ampoule électrique reliée à des conducteurs électriques, celles munies d'un « panier » en fil de fer vissé sur la douille de l'ampoule, **doivent être systématiquement détruites**.

214



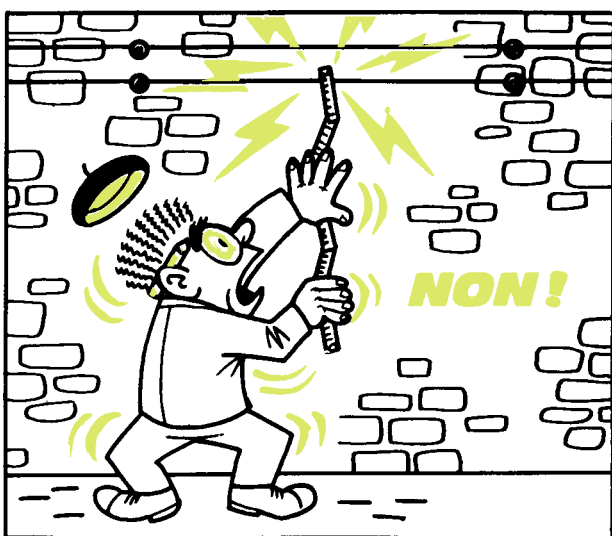
- Sur les chantiers, ne stockez pas les ferrailles ou les fers à béton sous les lignes aériennes.

215

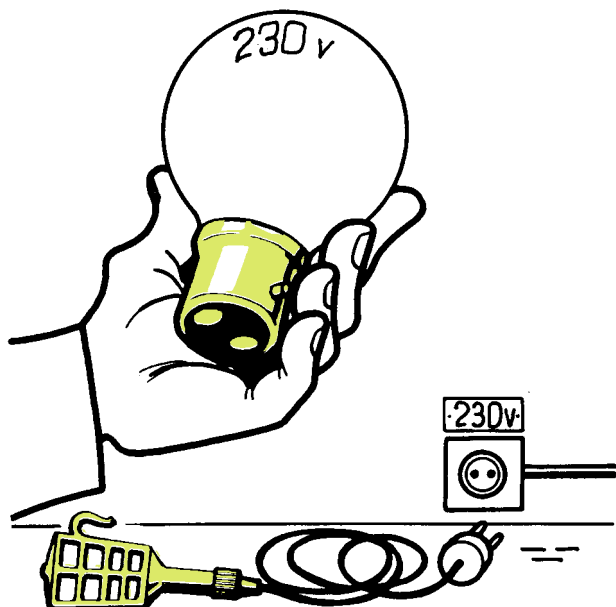


- Avant d'entreprendre un travail dans le **voisinage immédiat** d'une installation, peintres, tuyauteurs, élingueurs, élagueurs, etc., demandez à votre supérieur si toutes les précautions ont été prises pour que vous puissiez travailler en toute sécurité.

216



- Lorsque vous manœuvrez **des outils ou des objets conducteurs** : échelles, échafaudages mobiles, fers à béton, etc., n'oubliez pas que la distance qui vous sépare des pièces ou lignes sous tension diminue proportionnellement à la longueur de l'objet ou de l'outil manipulé.



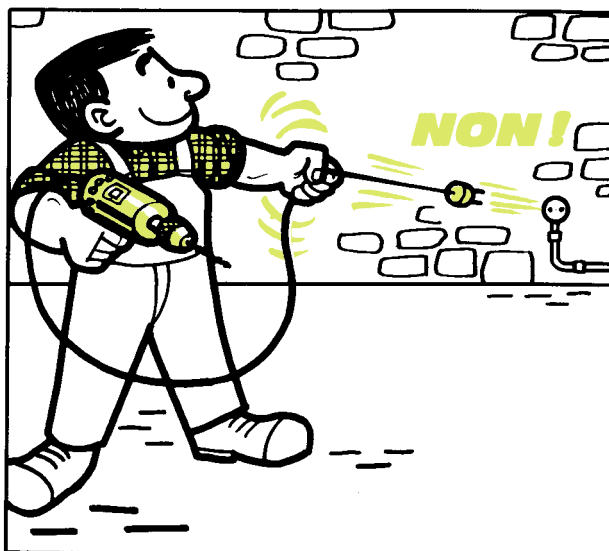
217

- Préalablement au raccordement d'un appareil électrique sur une prise de courant ou au remplacement d'une ampoule électrique, il faut toujours s'assurer que **la tension indiquée sur l'appareil ou sur l'ampoule** correspond à celle du réseau de distribution d'énergie électrique.



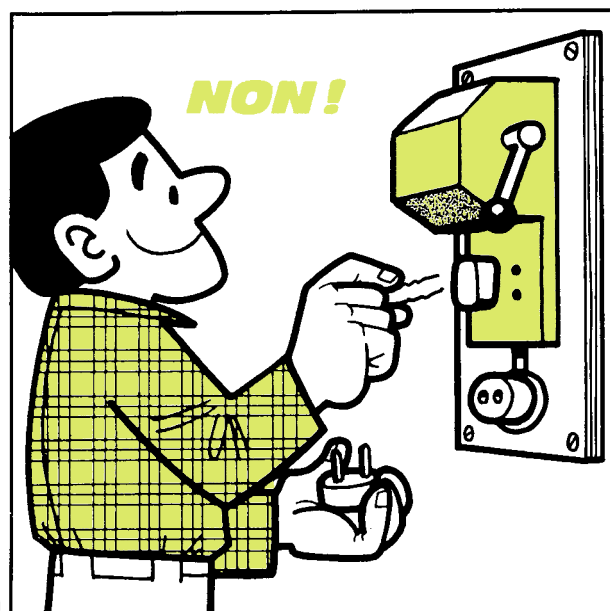
218

- En présence d'un conducteur non isolé ou partiellement dénudé, surtout si l'on n'en perçoit que l'une des extrémités, il faut agir comme si ce conducteur était sous tension, c'est-à-dire **ne pas y toucher**.



219

- Pour débrancher un appareil électrique, il faut tirer sur la fiche de prise de courant et non sur le conducteur d'alimentation.
- Si vous êtes obligé de déplacer un câble d'alimentation qui a été prolongé, **ne le saisissez jamais à l'endroit où les extrémités sont raboutées** (prise de courant femelle par exemple).

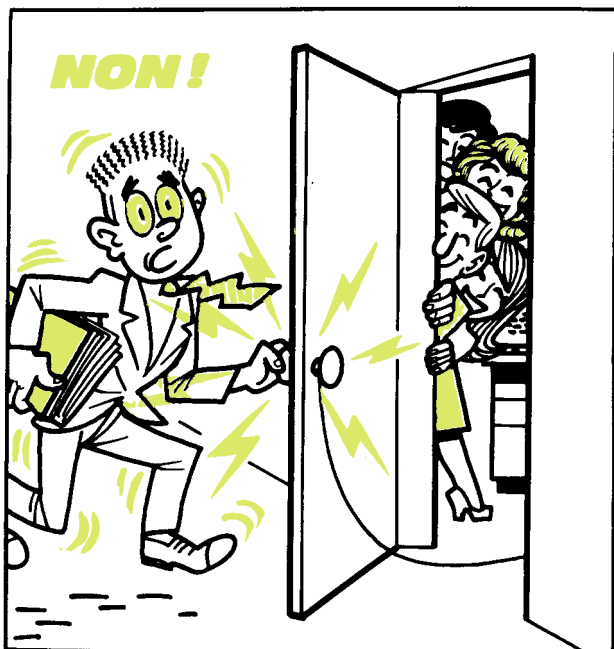


220

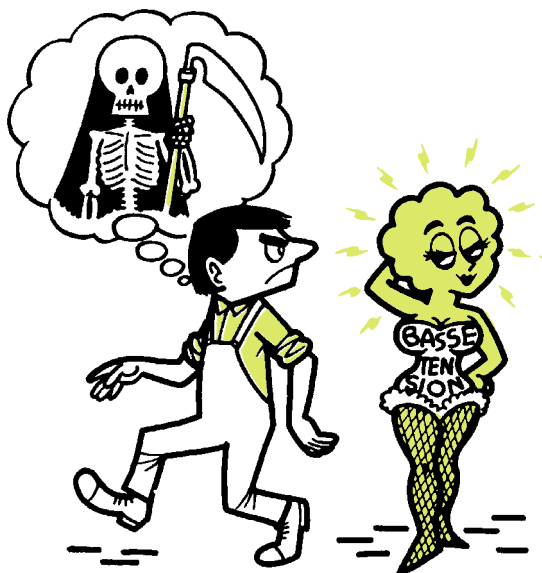
- Un fusible qui fond signale un défaut électrique : soit une surcharge de l'installation ou d'un récepteur, soit un court-circuit, soit un défaut d'isolement. **Avertissez l'électricien** de cet incident qui peut se transformer en accident.

Une installation satisfaisante à l'origine, c'est-à-dire réalisée suivant les règles de l'art par un personnel qualifié, est un facteur de sécurité pour les travailleurs. Un aménagement, une modification ou une extension même provisoire de ces installations sont exclusivement du ressort des services électriques.

221

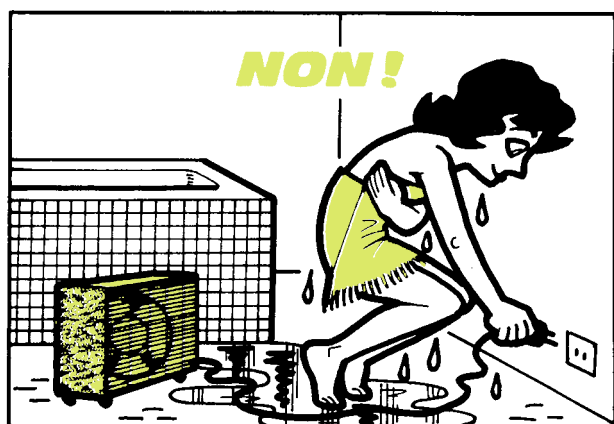


222



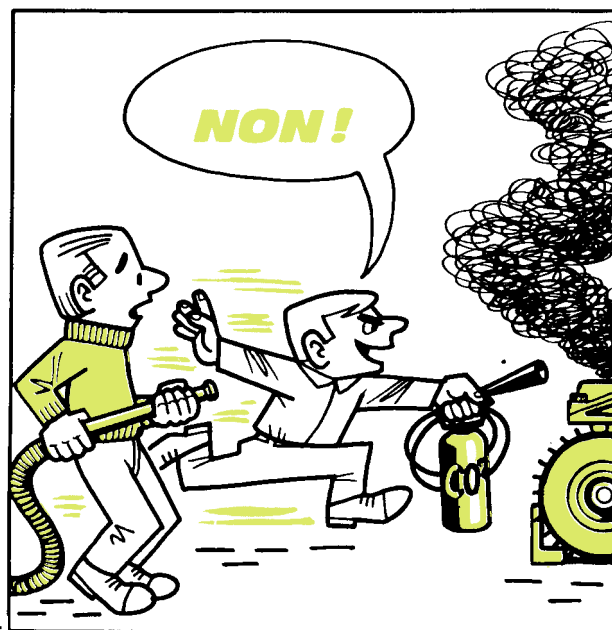
- Attention au vocabulaire utilisé par les électriciens. La basse tension qui commence à 50 volts, en courant alternatif, est plus que suffisante pour tuer un homme.

223



- Ne touchez pas un interrupteur, une prise de courant, un appareil électrique avec des mains mouillées ou souillées par des produits chimiques.
- Dans votre baignoire ou sous la douche, ne touchez jamais à un appareil ou à de l'appareillage qui n'est pas alimenté en TBTS ou TBTP.

224



- Jamais d'eau sur un feu d'origine électrique, à moins qu'elle ne soit pulvérisée.

225



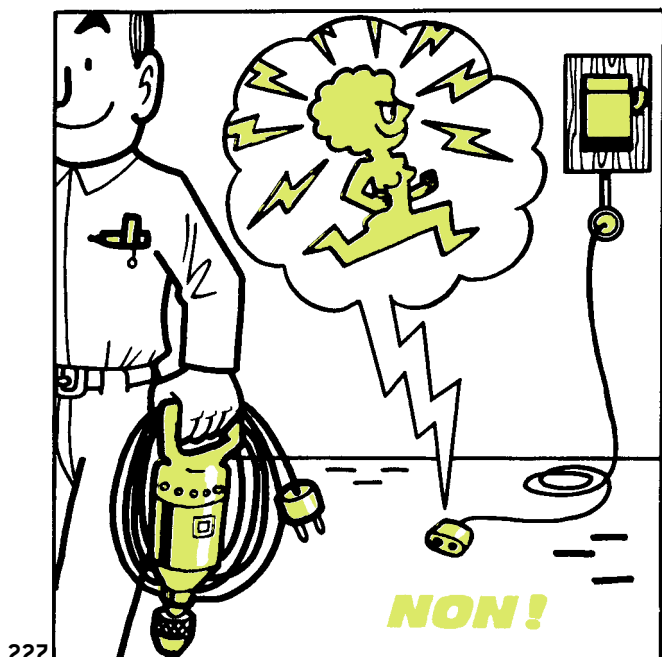
- Les appareils électriques ne sont pas tous protégés contre les projections d'eau ; pendant le nettoyage des aires de travail, il est impératif d'en tenir compte.

- Quand une installation électrique est sous tension, **tous les conducteurs sans exception sont dangereux au toucher.**



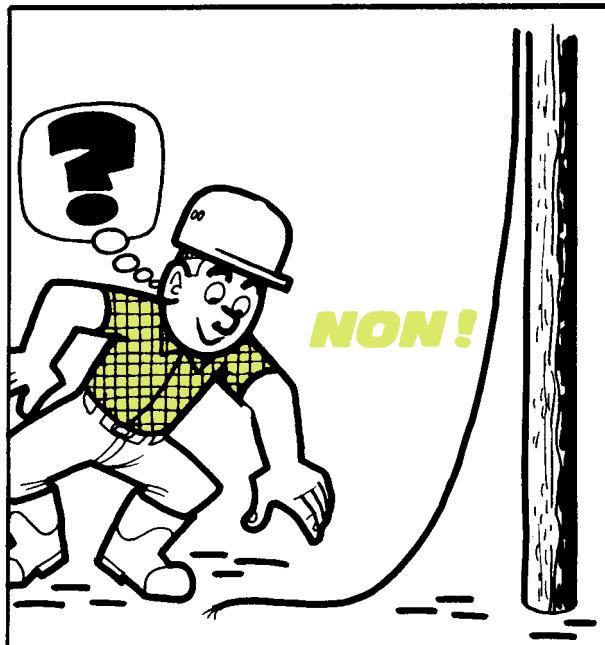
226

- Même si votre absence doit être de courte durée, **ne laissez jamais** un outil électrique branché sur une prise de courant.
- Lors de l'utilisation d'outils électriques portatifs à main (meuleuses, perceuses, ponceuses, etc.), en cas d'interruption momentanée de l'alimentation électrique, **débranchez** la prise de courant pour éviter une remise en route inopinée des appareils.



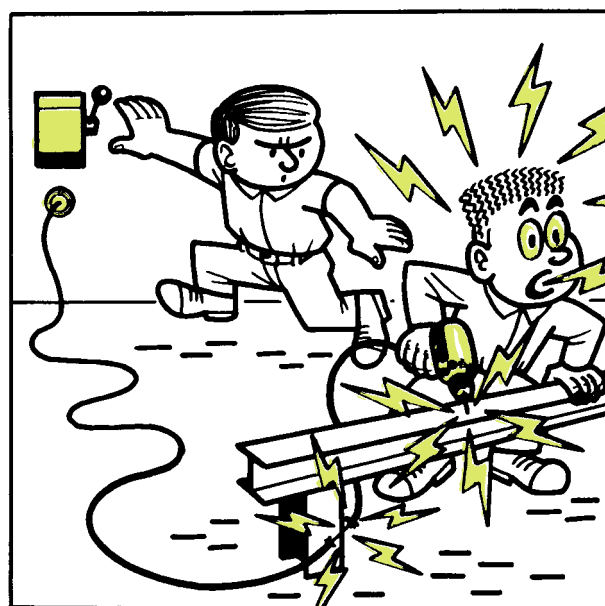
227

- Il ne faut jamais laisser sur un socle de prise de courant un câble d'alimentation dont l'autre extrémité n'est pas reliée à un appareil électrique. Un câble d'alimentation doit tout d'abord être réuni à l'appareil et ensuite au socle de la prise de courant.



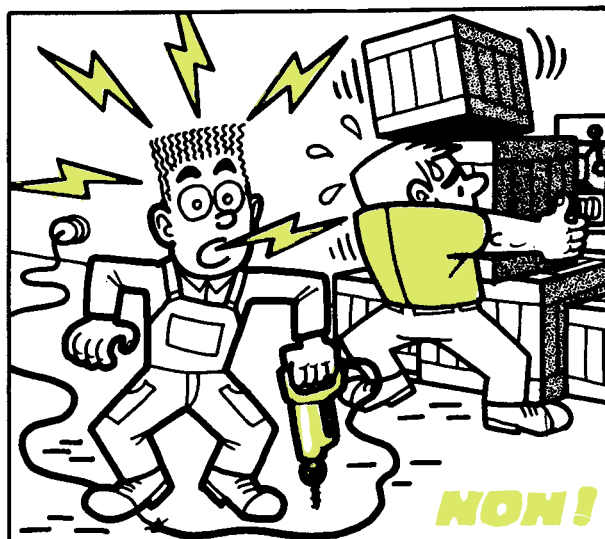
228

- N'approchez pas des conducteurs aériens tombés à terre.



229

- Une personne en contact avec un conducteur électrique sous tension peut se trouver dans l'impossibilité de se dégager elle-même ou d'appeler à l'aide. Si l'un de vos camarades vous semble en difficulté, **ne perdez pas une seconde, coupez le courant, avant quoi que ce soit.**



230

- Les dispositifs de coupure doivent être aisément reconnaissables et accessibles.



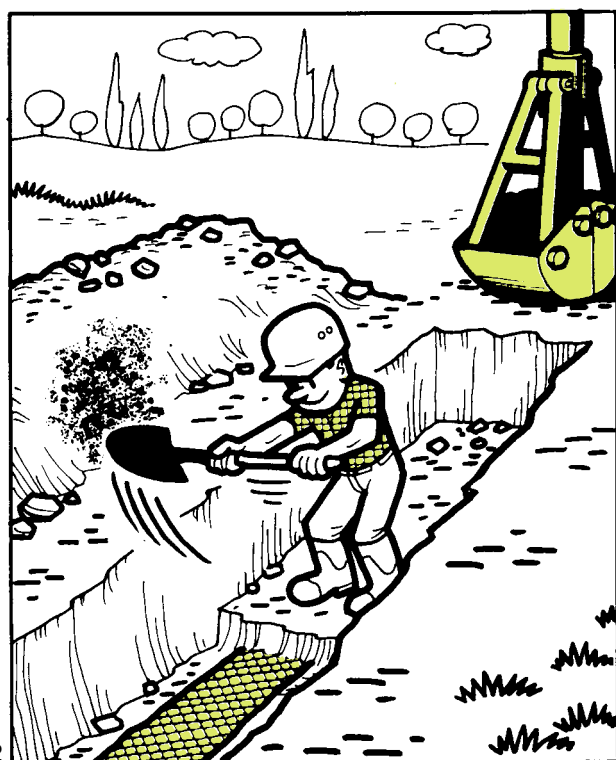
231

- Il est interdit d'entrer dans un local où il existe un **risque d'explosion** avec un appareil d'éclairage portatif qui n'est pas prévu pour être utilisé dans une atmosphère explosive.



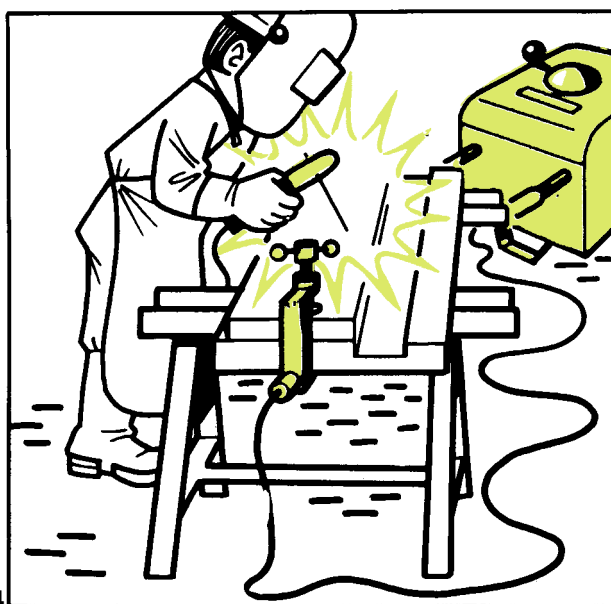
233

- En prenant possession d'un outil électrique portatif, **assurez-vous du bon état** du câble souple d'alimentation et de la solidité mécanique des raccordements côté appareil et côté prise de courant.



232

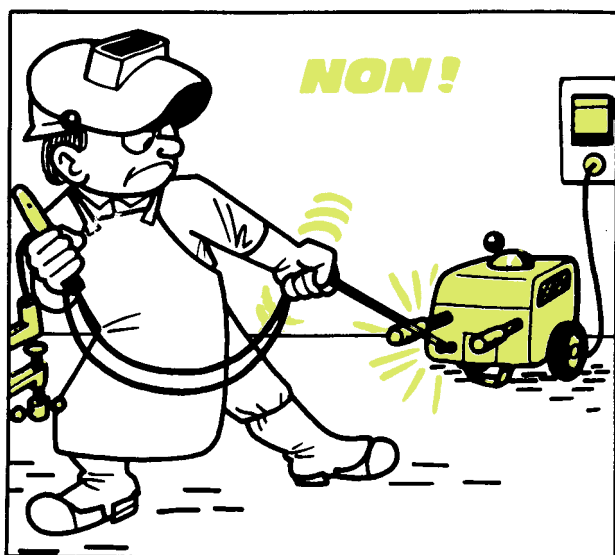
- Avant d'entreprendre des travaux de terrassement, assurez-vous de la présence éventuelle de **câbles électriques enterrés**.
- Les dégagements de câbles enterrés doivent s'effectuer avec des **outils à main** et non avec des engins mécaniques.



234

- La prise de « masse » d'un poste de soudage électrique doit être raccordée à la **pièce à souder**, non à son support. Avant toute opération de soudage, il faut en outre s'assurer que cette prise, reliée au conducteur de retour, est bien serrée sur la pièce à souder et qu'elle est la plus près possible du point de travail.

235



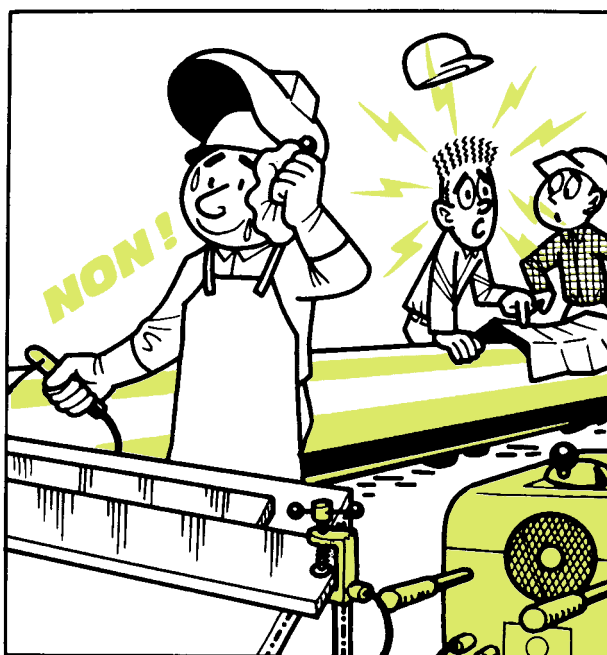
- Les conducteurs électriques ne doivent pas être utilisés comme moyen de traction ou de levage pour déplacer ou lever un appareil.

236



- Lorsque les conditions de travail nécessitent que l'on soit allongé ou assis sur des parties métalliques en contact avec la pièce à souder : ensemble de chaudronnerie, vide de construction, bâti de machine, charpente métallique, il faut **s'isoler** de ces parties conductrices au moyen d'un caillebotis, de planches ou d'une bâche, porter des gants et des vêtements ajustés.

237



- Pendant une interruption de travail, en déposant le porte-électrode sur une partie métallique, on risque de s'électrocuter ou d'électrocuter un camarade. Ne jamais laisser une électrode en attente sur un poste-électrode et n'utiliser que des poste-électrode isolés.

238



- L'odeur de l'émail et du caoutchouc surchauffés, la sensation de picotement au contact de la poignée d'un outil électrique ou du bâti d'une machine, le crépitement des amorçages à l'intérieur ou à l'extérieur d'un appareil électrique dénotent autant de **possibilités d'accidents** qui doivent être signalées à l'électricien.

Conclusions

Les actions de prévention qui visent à protéger les personnes contre les risques électriques doivent s'exercer simultanément sur deux niveaux :

Au niveau des installations électriques qui distribuent l'énergie électrique, dans l'entreprise ou sur le chantier, à partir du poste de transformation ou du réseau de distribution publique :

- par le respect des dispositions réglementaires et normes en vigueur qui régissent à la fois la conception, la réalisation, la vérification et l'entretien de ces installations, notamment par le choix d'appareils de protection, de coupure et de surveillance adaptés à ces installations.

Au niveau de l'utilisation de l'énergie électrique

a) Matériel

- par l'emploi d'un matériel électrique et de canalisations (récepteurs ou transformateurs de l'énergie électrique, conducteurs d'alimentation, etc.) adaptés aux conditions d'utilisation (emplacements et lieux de travail très conducteurs, atmosphère explosive, etc.) et qui satisfont aux exigences réglementaires, normes ou recommandations visant la conception, la réalisation et les conditions d'utilisation de ce matériel.

b) Personnel

Personnel d'intervention et d'entretien ⁽¹⁾

- par une formation et une information adaptées à ce personnel,
- par la planification préalable des travaux,
- par l'élaboration de modes opératoires qui doivent être conçus en prenant en considération le risque électrique.

Ces actions doivent notamment permettre :

- de donner à ce personnel le sens du risque électrique, une meilleure connaissance du danger et une meilleure connaissance des moyens de s'en protéger,
- au chef d'établissement ou d'entreprise de donner aux intéressés la qualification et l'habilitation nécessaires à l'exécution des différents travaux.

Personnel d'encadrement et de maîtrise non spécialisé en électricité

- par une formation visant à répondre le plus simplement possible aux questions que ces personnes sont susceptibles de se poser en matière de risques électriques.

Personnel d'exécution

qui utilise l'énergie électrique ou travaille dans le voisinage des installations électriques :

- par l'élaboration de règles et de consignes de sécurité,
- par l'organisation de séances d'information sur le risque électrique.

[1] Brochure INRS ED 539.

En ce qui concerne le personnel d'exécution, il y a lieu de noter :

- que celui-ci est rarement conscient des possibilités d'accidents, même lorsqu'il est en contact permanent avec les matériels électriques, car n'ayant pu bénéficier, en général, d'une « formation appropriée », le risque électrique lui est trop souvent étranger,
- que dans le cadre de ses activités quotidiennes, ses possibilités d'action sur les conditions de travail qui lui sont imposées par la nature de ce travail et par le milieu dans lequel il s'exerce habituellement sont pratiquement nulles,
- que les moyens mis à sa disposition, adaptés ou non à l'exercice de son activité, sont souvent imposés par l'employeur (les artisans sont un cas particulier),
- que, **dans l'état actuel**, les actions de prévention que l'on peut préconiser au niveau de l'exécutant non qualifié sont très restreintes et pratiquement elles ne peuvent se traduire que par des « injonctions » au sens littéral du terme : ces injonctions, qui utilisent généralement comme supports d'information l'affiche ou le carnet de prescriptions, doivent correspondre à l'activité des établissements auxquels elles sont destinées et aux risques particuliers qu'elle comporte. Lorsque ces informations sont destinées aux travailleurs étrangers, il est utile, pour éviter l'obstacle constitué par le langage, que ces règles de sécurité soient complétées par une illustration *ad hoc*.

Pour commander les films (en prêt), les brochures et les affiches de l'INRS, adressez-vous au service prévention de votre CRAM ou CGSS.

Services prévention des CRAM

ALSACE-MOSELLE

(67 Bas-Rhin)
14 rue Adolphe-Seyboth
BP 10392
67010 Strasbourg cedex
tél. 03 88 14 33 00
fax 03 88 23 54 13
prevention.documentation@cram-alsace-moselle.fr

(57 Moselle)
3 place du Roi-George
BP 31062
57036 Metz cedex 1
tél. 03 87 66 86 22
fax 03 87 55 98 65
www.cram-alsace-moselle.fr

(68 Haut-Rhin)
11 avenue De-Lattre-de-Tassigny
BP 70488
68018 Colmar cedex
tél. 03 89 21 62 20
fax 03 89 21 62 21
www.cram-alsace-moselle.fr

AQUITAINE

(24 Dordogne, 33 Gironde,
40 Landes, 47 Lot-et-Garonne,
64 Pyrénées-Atlantiques)
80 avenue de la Jallière
33053 Bordeaux cedex
tél. 05 56 11 64 36
fax 05 57 57 70 04
documentation.prevention@cramaquitaine.fr

AUVERGNE

(03 Allier, 15 Cantal, 43 Haute-Loire,
63 Puy-de-Dôme)
48-50 boulevard Lafayette
63058 Clermont-Ferrand cedex 1
tél. 04 73 42 70 76
fax 04 73 42 70 15
preven.cram@wanadoo.fr

BOURGOGNE et FRANCHE-COMTÉ

(21 Côte-d'Or, 25 Doubs,
39 Jura, 58 Nièvre, 70 Haute-Saône,
71 Saône-et-Loire, 89 Yonne,
90 Territoire de Belfort)
ZAE Cap-Nord
38 rue de Cracovie
21044 Dijon cedex
tél. 03 80 70 51 32
fax 03 80 70 51 73
prevention@cram-bfc.fr

BRETAGNE

(22 Côtes-d'Armor, 29 Finistère,
35 Ille-et-Vilaine, 56 Morbihan)
236 rue de Châteaugiron
35030 Rennes cedex
tél. 02 99 26 74 63
fax 02 99 26 70 48
drpcdi@cram-bretagne.fr
www.cram-bretagne.fr

CENTRE

(18 Cher, 28 Eure-et-Loir, 36 Indre,
37 Indre-et-Loire, 41 Loir-et-Cher, 45 Loiret)
36 rue Xaintrailles
45033 Orléans cedex 1
tél. 02 38 81 50 00
fax 02 38 79 70 29
prev@cram-centre.fr

CENTRE-OUEST

(16 Charente, 17 Charente-Maritime,
19 Corrèze, 23 Creuse, 79 Deux-Sèvres,
86 Vienne, 87 Haute-Vienne)
4 rue de la Reynie
87048 Limoges cedex
tél. 05 55 45 39 04
fax 05 55 79 00 64
doc.tapr@cram-centreouest.fr

ÎLE-DE-FRANCE

(75 Paris, 77 Seine-et-Marne,
78 Yvelines, 91 Essonne, 92 Hauts-de-Seine,
93 Seine-Saint-Denis, 94 Val-de-Marne,
95 Val-d'Oise)
17-19 place de l'Argonne
75019 Paris
tél. 01 40 05 32 64
fax 01 40 05 38 84
prevention.atmp@cramif.cnamts.fr

LANGUEDOC-ROUSSILLON

(11 Aude, 30 Gard, 34 Hérault,
48 Lozère, 66 Pyrénées-Orientales)
29 cours Gambetta
34068 Montpellier cedex 2
tél. 04 67 12 95 5
fax 04 67 12 95 56
prevdoc@cram-lr.fr

MIDI-PYRÉNÉES

(09 Ariège, 12 Aveyron, 31 Haute-Garonne,
32 Gers, 46 Lot, 65 Hautes-Pyrénées,
81 Tarn, 82 Tarn-et-Garonne)
2 rue Georges-Vivent
31065 Toulouse cedex 9
tél. 0820 904 231 (0,118 €/min)
fax 05 62 14 88 24
doc.prev@cram-mp.fr

NORD-EST

(08 Ardennes, 10 Aube, 51 Marne,
52 Haute-Marne, 54 Meurthe-et-Moselle,
55 Meuse, 88 Vosges)
81 à 85 rue de Metz
54073 Nancy cedex
tél. 03 83 34 49 02
fax 03 83 34 48 70
service.prevention@cram-nordest.fr

NORD-PICARDIE

(02 Aisne, 59 Nord, 60 Oise,
62 Pas-de-Calais, 80 Somme)
11 allée Vauban
59662 Villeneuve-d'Ascq cedex
tél. 03 20 05 60 28
fax 03 20 05 79 30
bedprevention@cram-nordpicardie.fr
www.cram-nordpicardie.fr

NORMANDIE

(14 Calvados, 27 Eure, 50 Manche,
61 Orne, 76 Seine-Maritime)
Avenue du Grand-Cours, 2022 X
76028 Rouen cedex
tél. 02 35 03 58 22
fax 02 35 03 58 29
prevention@cram-normandie.fr

PAYS DE LA LOIRE

(44 Loire-Atlantique, 49 Maine-et-Loire,
53 Mayenne, 72 Sarthe, 85 Vendée)
2 place de Bretagne
44932 Nantes cedex 9
tél. 0821 100 110
fax 02 51 82 31 62
prevention@cram-pl.fr

RHÔNE-ALPES

(01 Ain, 07 Ardèche, 26 Drôme,
38 Isère, 42 Loire, 69 Rhône,
73 Savoie, 74 Haute-Savoie)
26 rue d'Aubigny
69436 Lyon cedex 3
tél. 04 72 91 96 96
fax 04 72 91 97 09
preventionrp@cramra.fr

SUD-EST

(04 Alpes-de-Haute-Provence,
05 Hautes-Alpes, 06 Alpes-Maritimes,
13 Bouches-du-Rhône, 2A Corse Sud,
28 Haute-Corse, 83 Var, 84 Vaucluse)
35 rue George
13386 Marseille cedex 5
tél. 04 91 85 85 36
fax 04 91 85 75 66
documentation.prevention@cram-sudest.fr

Services prévention des CGSS

GUADELOUPE

Immeuble CGRR, Rue Paul-Lacavé, 97110 Pointe-à-Pitre
tél. 05 90 21 46 00 - fax 05 90 21 46 13
lina.palmont@cgss-guadeloupe.fr

GUYANE

Espace Turenne Radamonthe, Route de Raban,
BP 7015, 97307 Cayenne cedex
tél. 05 94 29 83 04 - fax 05 94 29 83 01

LA RÉUNION

4 boulevard Doret, 97405 Saint-Denis cedex
tél. 02 62 90 47 00 - fax 02 62 90 47 01
prevention@cgss-reunion.fr

MARTINIQUE

Quartier Place-d'Armes, 97210 Le Lamentin cedex 2
tél. 05 96 66 51 31 - 05 96 66 51 32 - fax 05 96 51 81 54
prevention972@cgss-martinique.fr



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
30, rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14 • Tél. 01 40 44 30 00
Fax 01 40 44 30 99 • Internet : www.inrs.fr • e-mail : info@inrs.fr

Édition INRS ED 596

7^e édition (1991) • réimpression novembre 2009 • 3 000 ex. • ISBN 978-2-7389-1827-7