

Techniques du son

www.techniquesduson.com

Didier Pietquin © 2006

Version juin 2004

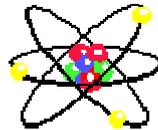
Electricité – Notions de base

Constitution de la matière

1.1 Les atomes

L'atome est le constituant élémentaire de la matière, c'est un assemblage de particules fondamentales.

Il est constitué d'un noyau autour duquel gravitent des électrons, qu'on appellera « nuage électronique ».



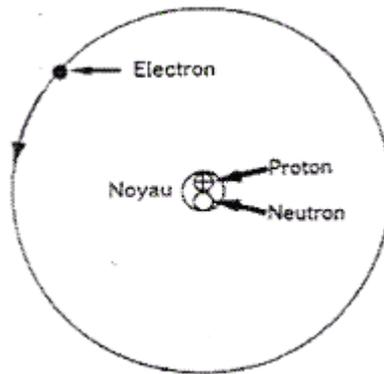
1.2 Le noyau

C'est la partie centrale de l'atome (environ 10 000 fois plus petit que l'atome lui-même). Il est constitué de protons, chargés positivement et de neutrons, sans charge électrique.

1.3 Le nuage électronique

Autour du noyau gravitent des électrons. Les électrons sont des charges électriques négatives très petites et très légères. Ces charges négatives gravitent autour du noyau à des distances bien déterminées. Sur ces orbites, appelées couches électroniques, on trouve toujours un nombre bien déterminé d'électrons.

Enfin, dans un atome neutre, le nombre d'électrons est égal au nombre de protons.



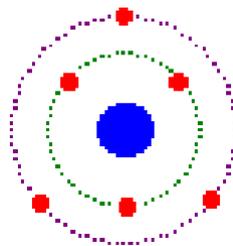
Phénomène d'ionisation

Nous venons de voir que les électrons tournent extrêmement vite autour du noyau sur des orbites bien déterminées.

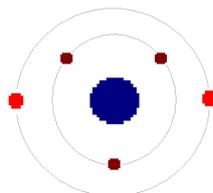
Prenons un exemple : l'atome de carbone, qui possède 6 électrons sur deux orbites.

Les électrons les plus proches du noyau sont fortement attirés par celui-ci. Par contre, ceux qui gravitent sur des orbites éloignées, moins attirés par le noyau, peuvent parfois quitter facilement l'atome et deviennent alors libres.

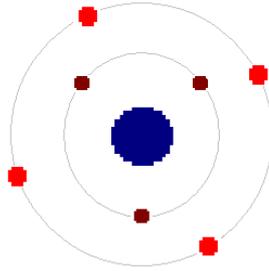
L'atome qu'ils viennent de quitter n'est plus électriquement neutre : il lui manque un ou plusieurs électrons.



On dira que cet atome est devenu un ion positif.



Mais un électron libre peut aussi « s'accrocher » à un atome neutre qui deviendra ainsi un ion négatif.



Un atome peut donc perdre ou gagner un ou plusieurs électrons. C'est le phénomène d'ionisation.

Conséquence : Le courant électrique dans un conducteur est constitué d'électrons libres qui voyagent d'un atome vers un autre.

Production de courant

Un générateur électrique est un appareil capable de fournir d'une part, une grande quantité d'électrons libres à la borne négative et d'autre part, une grande quantité d'ions positifs à la borne positive.

Différence de potentiel

Pour que le courant électrique puisse circuler dans le conducteur qui relie les deux bornes d'un générateur, il faut évidemment qu'il y ait un déséquilibre dans le nombre d'électrons libres. C'est-à-dire un état électrique différent pour chaque borne. Cet état est appelé potentiel électrique.

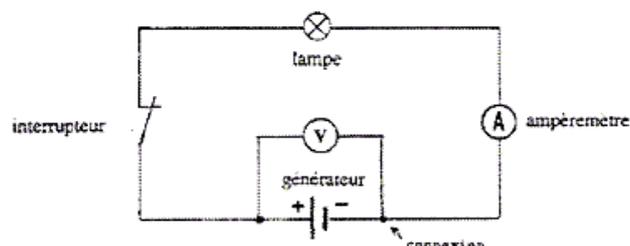
L'unité de différence de potentiel (ddp) est le VOLT (V), symbolisé par la lettre U.

Pour mesurer cette ddp, on utilise un voltmètre. Celui-ci se branche toujours en parallèle sur le circuit.

Intensité du courant électrique

Pour qu'un courant électrique circule dans un circuit, il faut :

- un générateur aux bornes duquel il existe une ddp
- un récepteur (charge) relié aux bornes du générateur par un circuit électrique fermé



L'intensité du courant électrique représente la quantité d'électrons qui ont traversé le circuit (générateur, conducteur et charge).

L'intensité du courant se mesure en Ampère (A), symbolisé par la lettre I.

Pour mesurer cette intensité, on utilise un ampèremètre qui se monte en série sur le circuit.

Dans l'illustration ci-dessus la charge utilisée est une lampe.

Loi de Pouillet

Plusieurs notions :

- On peut définir la résistance électrique d'un circuit comme étant la difficulté que présente ce circuit au passage du courant électrique. L'unité de résistance est l'OHM (W).

- Nous pouvons également déclarer que lorsque la longueur l d'un conducteur augmente, sa résistance grandit proportionnellement. De même lorsque la longueur diminue, sa résistance diminue.

Enfin, la loi de Pouillet nous donne la relation suivante :

La résistance d'un conducteur est directement proportionnelle à sa résistivité (ρ) et à sa longueur (L); elle est inversement proportionnelle à la section (S) de ce conducteur.

$$R = \rho \cdot l / S$$

Avec R : la résistance électrique du conducteur en ohm (W)

ρ : Résistivité de la matière en ohm.mm²/ m

L : longueur du conducteur en m

S : section du conducteur en mm²

Quelques exemple de valeurs en ohm mm²/ m à 20°C :

- Cuivre 0.017

- Argent 0.016

- Alu 0.028

- Fer 0.1

Nous noterons que les corps permettant le passage du courant sont appelés conducteurs. On trouve par exemple les métaux comme le cuivre, l'aluminium, l'argent, ...

Les corps ne permettant pas le passage du courant sont appelés isolants. Le caoutchouc, le verre, le mica, la porcelaine, plastiques, ... sont des corps isolants.

Conclusion : Un fort courant dans un fil de faible section provoque un échauffement du fil et sa combustion. Il est impératif d'adapter la section des fils si on ne veut pas transformer son installation en radiateur ou pire, déclencher un incendie...

Puissance électrique

7.1 La loi d'ohm

$$U = R \cdot I$$

U : tension en VOLTS (V)

R : résistance en ohm ($R = U / I$)

I : intensité en ampère ($I = U / R$)

7.2 Calcul de la puissance

$$P = U \cdot I$$

P correspondant à la puissance en watt.

7.3 Formules dérivées

$$P = R \cdot I^2$$

$$P = U^2 / R$$

Pour rappel, la section d'un câble suivant son diamètre se calcule comme suit :

$$S = p \cdot D^2 / 4$$

Ou suivant son rayon : $S = p \cdot R^2$

Notions de courant et de tension

On a vu que la tension représente la ddp aux bornes d'une charge, tandis que le courant représente l'énergie qu'elle consomme.

Mais il ne faut surtout pas oublier que ces deux notions sont liées. En effet, nous avons vu par la loi d'ohm que $I = U / R$ et que $U = R \cdot I$

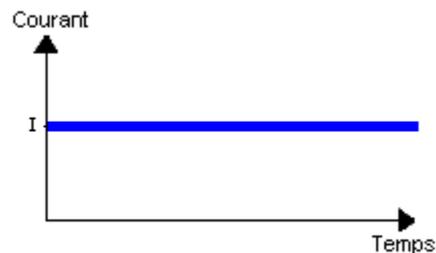
Pour simplifier les choses, nous parlerons de courant plutôt que de tension, sachant que ce mot est le plus couramment utilisé.

Nous distinguerons trois états :

- un état statique (courant continu)
- un état dynamique (courant alternatif)
- un état transitoire (tout changement d'état)

Le courant continu

C'est ce type de courant que l'on rencontre aux bornes d'une pile, d'un générateur, d'une batterie,... Il est caractérisé par un mouvement global des électrons allant d'un pôle vers l'autre sans inversion de polarité.



La notation qui indique qu'il s'agit de courant continu est DC (Direct Current). On verra par exemple sur un transformateur une tension de sortie de 6 Volts DC.

Le courant alternatif

Celui-ci est produit comme son nom l'indique par un alternateur. Hormis un groupe électrogène ou un convertisseur, il est généralement issu du réseau de distribution EDF, ou Electrabel en Belgique. Il sert à l'alimentation de la plupart des appareils électriques présents sur le marché.

C'est aussi le type de courant le plus utilisé en sonorisation, en éclairage, en vidéo, que ce soit pour transporter le signal du micro à la console, ou de l'amplificateur aux enceintes. Il se note AC (Alternative Current)

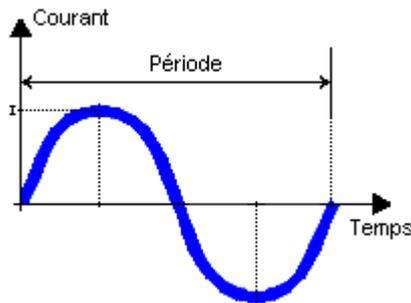
On associe le courant alternatif aux signaux plus complexes tels que la voix ou la musique (ici on ne parle que de sono), car ces signaux s'analysent de la même façon qu'un signal alternatif.

Un son est en effet composé de différentes fréquences. Toutes ces fréquences se représentent par des sinusoïdes. Mais un son n'est pas composé d'une seule et unique fréquence. C'est un ensemble de fréquences, et donc un ensemble de sinusoïdes qui vont former un signal complexe.

Il faut donc bien faire attention à ne pas faire l'amalgame entre le courant alternatif produit par EDF et le courant alternatif produit par un micro,... Nous ne nous intéresserons qu'au courant servant à l'alimentation des appareils électriques.

10.1 Le courant alternatif, représentation

Le courant alternatif est un courant dont l'intensité varie de façon régulière au cours du temps, tantôt positive, tantôt négative, en passant par zéro.



Le courant (ou tension) alternatif est caractérisé par :

- son amplitude
- sa fréquence (ou période)
- sa phase

10.1.1 L'amplitude

L'amplitude est la valeur du courant à un instant donné. Elle se mesure en ampères (intensité).

10.1.2 La fréquence

La fréquence se mesure en Hertz. Ce qui correspond au nombre d'oscillations par seconde. La période est le nombre de cycles en une seconde, ou encore la durée d'un cycle en secondes.

Une fréquence de 1 Hz correspond à 1 cycle, ou 1 oscillation par seconde.

Nous obtenons la relation suivante : $F = 1/T$

Avec : F fréquence en Hertz, et T la période en seconde.

10.1.3 La phase

La phase représente la synchronisation du signal par rapport à un point de référence.

Exemple : Prenons un circuit automobile circulaire avec une voiture qui roule continuellement à vitesse fixe et constante. On veut prendre une photo de la voiture chaque fois qu'elle passe la ligne de départ. Il faut donc se synchroniser sur la vitesse du véhicule pour déclencher la photo. Ce sera la référence (phase = 0).

Décidons maintenant de ne plus photographier la ligne de départ, mais une dizaine de mètres avant la ligne de départ. Nous devons décaler notre synchronisation pour être « en phase » avec la voiture. Ce décalage se mesure et s'appellera phase ou déphasage (en degrés).

En courant alternatif, nous parlerons de déphasage du courant par rapport à la tension. En effet, suivant le type de récepteur (charge), le courant engendré peut être soit en phase avec la tension, soit déphasé en avance ou en retard par rapport à la tension.

Les différentes impédances : résistance, inductance, condensateur :

On va caractériser la charge d'un circuit par son impédance, qui prend en compte le déphasage du courant par rapport à la tension :

$$U(\varphi) = Z(\varphi) \cdot I(\varphi)$$

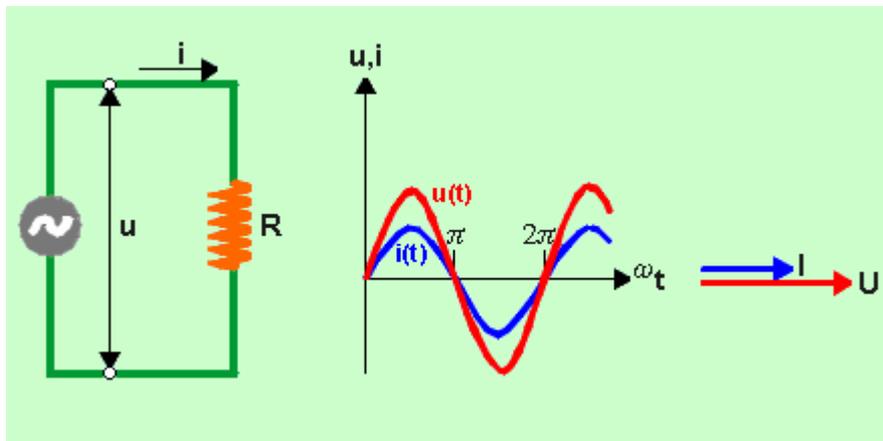
$$P(\varphi) = U(\varphi) \cdot I(\varphi)$$

La résistance est une impédance particulière qui ne déphase pas le courant.

Résistance :

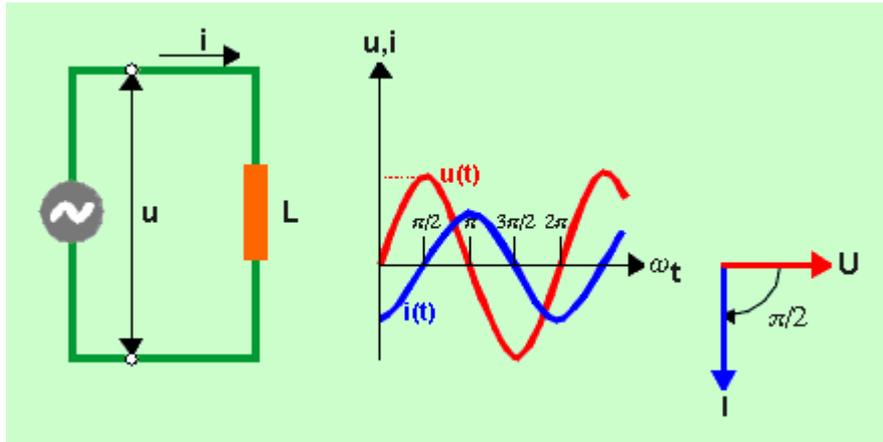
Un filament de lampe, le fil chauffant d'un grille-pain d'un chauffage électrique,... constituent des résistances R pures. Toute l'énergie fournie par la source s'y trouve convertie en chaleur. On parle de chauffage par effet Joule.

Dans ce type d'impédance, le courant engendré est toujours en phase avec la tension.



Inductance :

Une bobine de fil conducteur constitue une inductance, encore appelée self. On la rencontre dans les moteurs, dans les ballasts des tubes néons,... Cette bobine réagit constamment aux variations du courant qui la traverse, suite à un phénomène magnétique. Si cette bobine est soumise à un courant continu, elle n'aura aucun effet sur celui-ci. Si par contre on veut lui faire passer du courant d'intensité variable (c'est le cas dans les circuits alternatifs), elle va réagir en opposant une résistance au passage du courant.



L'importance de ce frein est mesurée par la valeur de l'inductance L , exprimée en Henry (H).

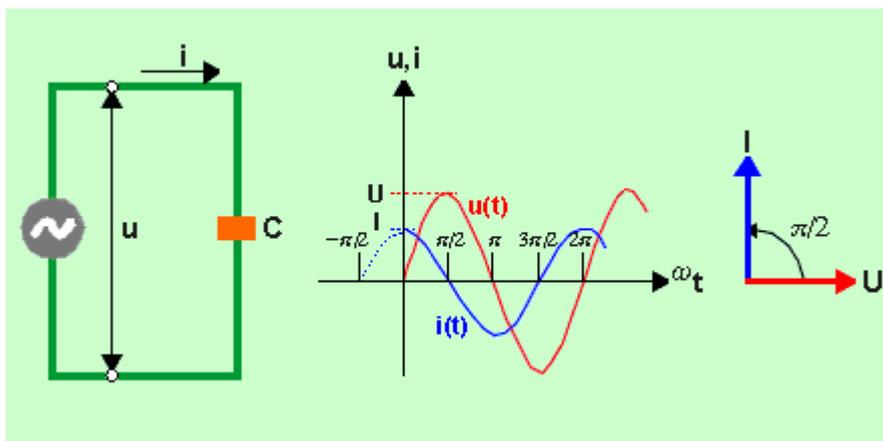
Ce type d'impédance aura un deuxième effet sur le courant : une bobine retarde le courant par rapport à la tension. On dit qu'elle déphase le courant. Ainsi, une inductance pure verra son courant déphasé de 90 degrés en retard sur la tension.

Condensateur :

Un condensateur, encore appelé capacité est un réservoir de charges électriques. Si on le soumet à la tension d'un générateur, il va accumuler des charges. Ces charges seront restituées au réseau lorsque la tension d'alimentation diminuera. S'il s'agit d'une tension alternative, le condensateur se charge et se décharge au rythme de la fréquence alternative...

La valeur d'un condensateur est exprimée en Farad (F).

Ce type d'impédance aura également un effet de déphasage du courant par rapport à la tension, mais cette fois le courant est déphasé en avance de 90 degrés sur la tension.



On constate que l'effet de la charge est à considérer dans les installations électriques puisqu'une charge inductive ne réagit pas comme une charge capacitive.

EDF s'intéresse de près à la charge appliquée sur son réseau car vu depuis une centrale, une ville est une accumulation de charges inductives, résistives et capacitatives. Prévoir un générateur stable lorsqu'on ne maîtrise pas la charge qui lui est connectée est illusoire.

C'est dans ce but qu'a été instauré le $\cos \varphi$.

Le cosinus Phi ($\cos \varphi$)

Le $\cos \varphi$ est le déphasage du courant par rapport à la tension sur les appareillages électriques. On l'appelle « facteur de puissance » car il donne une indication sur la puissance dite « réactive » qui n'intéresse qu'EDF et les gros consommateurs de courant. Il est indiqué sur une plaquette d'identification pour les machines concernées (ne le cherchez pas sur votre ventilateur, ni votre perceuse ! quoique...).

Alimentation et énergie

Le domaine qui nous intéresse ici est le courant distribué par EDF ou par toute autre source (Groupe électrogène,...).

Sa fréquence en Europe est de 50 Hz, 60 Hz aux Etats- Unis. Ce qui correspond à 50 oscillations (ou pulsations) par seconde en Europe.

Il existe deux types d'alimentation possibles, le courant monophasé et le courant triphasé.

11.1 Le monophasé

Le courant monophasé est véhiculé par une phase et un neutre, soit deux conducteurs, plus la prise de terre. C'est le courant le plus répandu. En effet, tous les appareils ménagers fonctionnent en monophasé.

Egalement, en sonorisation, à part quelques appareils spécifiques, principalement en éclairage, tout fonctionne en monophasé.

11.2 Le triphasé

Ce type de courant est généralement réservé aux installations nécessitant une forte puissance.

En effet, la formule permettant de calculer la puissance en triphasé est légèrement différente :

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi$$

Avec :

- P puissance en watt

- U tension en volt

- $\sqrt{3}$ soit 1,73

- $\cos\phi$: sa valeur dépend du déphasage du courant par rapport à la tension. Par simplicité, nous considérerons que sa valeur est égale à 1 (une valeur de 0.8 serait cependant plus réaliste).

Attention, la réponse obtenue, c'est-à-dire la puissance totale est une puissance à répartir sur les trois phases.

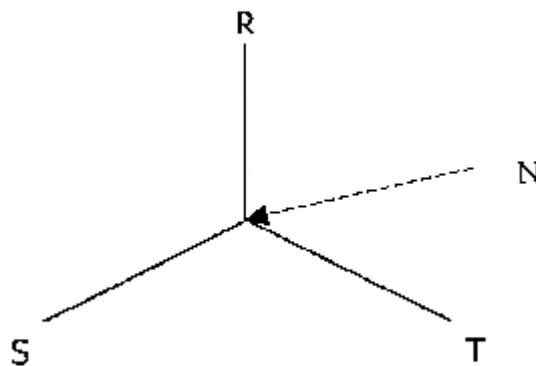
Le courant triphasé correspond à trois forces électromotrices de même fréquence déphasée de 120 degrés l'une par rapport à l'autre.

La somme algébrique de ces trois forces électromotrices est nulle.

11.2.1 Couplage en étoile

En plus des trois phases, nous avons la présence d'un neutre.

La tension entre les différentes phases est de 380 volts. Pour obtenir une tension de 220 volts, nous devons « coupler » chaque phase avec le neutre (phase 1 et neutre, phase 2 et neutre, phase 3 et neutre).

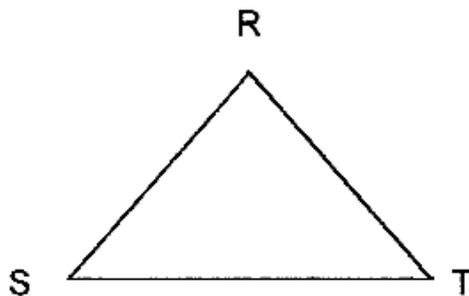


Sur le schéma, R, S et T correspondent aux phases, N au neutre.

Que ce soit sur une fiche, un tableau électrique,... Il est important de respecter la couleur du conducteur utilisé pour le neutre. Par convention, c'est le conducteur bleu qui est utilisé.

11.2.2 Couplage en triangle

Dans ce cas ci, le neutre est fictif. Il n'y a en effet que trois phases. Entre phase, nous avons une tension de 220 volts.



Pour revenir à du monophasé, il faut répartir les phases comme suit :

- Phase 1 et 2
- Phase 2 et 3
- Phase 1 et 3

Transport du courant

Comme nous l'avons vu au point 6, il est important d'adapter la section des fils par rapport au courant que l'on veut transporter.

En effet, dans une installation électrique, le câble doit répondre à deux exigences principales :

- assurer le transport du courant nominal de l'installation
- ne pas provoquer des chutes de tension excessives

Pour ce, voici un petit tableau récapitulatif :

Section en mm ²	Ampérage	Remarques
1.5	16 A	
2.5	20 A Ou 16 A	sur de grandes longueurs
4	25 A	
6	32 A	
10	40 A	
16	63 A	
25	100 A	
35	125 A	

En sonorisation, il est préférable d'utiliser du câble d'une section de 2,5 mm² pour les allonges électriques. Il n'est pas rare en effet de devoir tirer une grande longueur.

Une section de 1,5 mm² entraînerait des pertes non négligeables.

L'électricité en toute sécurité

Il est très important que tous les câbles, fiches, appareils,... soient bien isolés afin d'éviter toute perte de courant.

Si vous entrez en contact par hasard avec un appareil ou un câble mal isolé, la perte de courant se propagera par votre corps. En basse tension, ça peut ne pas être grave. Par contre, en haute tension, les conséquences peuvent être mortelles.

On a évalué expérimentalement la résistance du corps humain à 1000 ohms dans les conditions suivantes : peau humide, sans chaussure et dans un local mouillé. Dans ces conditions, il pourrait y avoir danger pour $0.025 \times 1000 = 25$ volts, ce qui a permis de fixer la tension limite à 24 volts.

On a en effet découvert que 50 mA en courant continu et que 25 mA en courant alternatif sont des valeurs qui peuvent être mortelles.

Effets physiologiques du courant alternatif à 50 Hz :

Le courant électrique a une action sur les principales fonctions vitales : respiration et circulation sanguine. Il peut également provoquer des brûlures en traversant l'organisme.

Effets de l'intensité sur une personne adulte, pendant un temps indéterminé :

- de 0 à 0.5 mA : aucune sensation
- de 0.5 à 10 mA : sensation très faible
- de 10 mA à 30 mA : téτανisation musculaire : c'est une contraction qui, dans certains cas, « accroche » la victime à la partie sous tension
- de 30 à 75 mA : seuil de paralysie respiratoire
- de 75 mA à 1 A : seuil de fibrillation cardiaque irréversible : la fréquence du courant occasionne un désordre du rythme cardiaque, qui s'ajoute aux brûlures provoquées par le passage du courant.

13.1 Mise à la terre

La mise à la terre a principalement pour but de protéger les personnes contre les électrocutions par contact indirect, c'est-à-dire contre l'apparition d'une tension dangereuse sur le châssis d'un appareil électrique lors d'un défaut d'isolement. L'électricité se déchargera donc dans la terre et non sur vous.

Réalisation d'une prise de terre :

- Par ceinturage à fond de fouille : La prise de terre peut être constituée par un conducteur en cuivre nu de section de 28 mm² ou par un feuillard en cuivre nu de 28 mm² x 2 mm. Ce conducteur est donc enfoui dans le sol et entoure la maison, l'immeuble,...
- Par piquet de terre : tube en acier galvanisé d'un diamètre au moins égal à 25 mm et de 1 à 2 mètres de long. On peut éventuellement relier plusieurs piquets en parallèle pour améliorer la prise de terre. C'est cette solution qui est utilisée lors de l'utilisation de groupes électrogènes.

- Par plaque mince ou grille en métal déployé : Plaque carrée ou rectangulaire de 1 m² de surface, de 2 mm d'épaisseur minimale pour le cuivre et de 3 mm pour l'acier galvanisé, enterrée verticalement de manière à ce que son centre se trouve au moins à 1 m de profondeur.

Remarque : Il est interdit d'utiliser comme canalisation de terre ou comme conducteurs de protection les canalisations d'eau, de gaz, de chauffage central, et les gaines métalliques des câbles.

Une « bonne terre » n'est ni sèche, ni humide. Certains pourraient penser à tort que l'eau étant conductrice, si la terre est humide, on aura une meilleure masse. C'est l'inverse qui se produit : la terre humide traversée par un courant va produire une électrolyse, et donc créer une ddp à l'endroit où l'on a planté le piquet.

Bilan : une terre qui vaut quelques volts (ou dizaines de volts), et pas 0V !!!

13.2 Protections possibles

Lors de pertes de courant, de courts-circuits ou de surcharges de réseau électrique, le courant doit être immédiatement coupé. C'est à cela que servent les disjoncteurs (ou fusibles) et les différentiels.

Le différentiel va en effet couper le courant en cas de déséquilibre entre phase et neutre pour du monophasé, et entre les phases et le neutre pour du triphasé (la fuite à la terre est une protection suffisante en elle-même ; par exemple, lorsqu'on reçoit du « jus », une partie du courant part à la terre, et donc ne repasse pas par le neutre => il y a un déséquilibre, c'est ce que détecte le différentiel.).

Les disjoncteurs vont eux réagir aux courts-circuits et à la surcharge.

13.2.1 Les disjoncteurs

Le but ici n'est pas d'expliquer entièrement le fonctionnement des disjoncteurs, mais simplement de donner une indication quant à leurs caractéristiques.



Un disjoncteur se compose de deux éléments principaux :

Un système de détection, qui commande le déclenchement des pôles de coupure, ce système est constitué par :

- un détecteur de surintensités,

- un détecteur de courts- circuits

Un système de coupure.

En plus de ces deux éléments principaux, on détermine plusieurs valeurs décrivant les caractéristiques de coupure du disjoncteur :

- Sa tension nominale : c'est la tension efficace que peut couper le fusible en alternatif, pour une fréquence de 48 à 62 Hz. Cette tension est habituellement de 400 volts.

- Son courant nominal : c'est le courant efficace que le fusible est capable de supporter en permanence, sans modification de ses caractéristiques. Dans ce cas, la valeur dépend de l'utilisation. Par exemple : 16 A, 20 A,...

- Son pouvoir de coupure : C'est le courant présumé que le disjoncteur est capable de supporter et de couper pendant son temps d'ouverture. La valeur la plus courante est de 30 KVA.

- Son seuil de déclenchement : On parle alors de différentes courbes, suivant l'utilisation :

Courbe B : Commande de protection contre les surcharges et les courts- circuits d'installations n'occasionnant pas de pointe de courant à la mise sous tension : installations domestiques, circuits de cuisson et de chauffage, prises de courants,...

Courbe C : Commande et protection contre les surcharges et les courts- circuits d'installations correspondant à des applications générales.

Courbe D : Commande et protection contre les surcharges et les courts- circuits d'installations présentant de forts courants d'appels : transformateurs, moteurs,...

Courbe Z

Courbe K

Courbe MA

Les disjoncteurs les plus rencontrés dans des applications courantes sont de courbe C.

13.2.2 Les différentiels

Là non plus, nous ne rentrerons pas dans les détails.



Ces deux principales caractéristiques sont celles- ci :

- Son courant différentiel résiduel assigné, appelé autrefois « calibre ». La valeur la plus courante est de 30 mA. Une valeur supérieure est maintenant interdite pour les installations domestiques. C'est d'ailleurs cette valeur qui est à conseiller pour les tableaux électriques en sonorisation.

- Son courant assigné : c'est le courant maximal que peut supporter l'appareil en service normal, sans provoquer d'échauffements excessifs.

Juste un petit truc : Si vous hésitez quant à l'arrivée de courant sur votre tableau électrique, vous pouvez utiliser le bouton test présent sur le différentiel. Lorsqu'il n'y a pas de courant à l'arrivée, le bouton test est mou. Il ne sert à rien. Par contre, lorsqu'il y a du courant, ce bouton est plus dur pour autant que la position de l'interrupteur soit sur ON. Lorsque vous appuyez dessus, le différentiel se coupe. C'est aussi une manière de tester le bon fonctionnement de celui-ci.

Conclusion

Cette première partie a eu pour but d'expliquer le pourquoi et le comment de l'électricité. Il s'agit de notions théoriques que nous appliquerons en pratique dans une seconde partie. Nous verrons les types de fiches régulièrement utilisées en sonorisation, quelques idées et conseils sur les tableaux électriques, l'utilisation d'un multimètre,...

Bibliographie, sources :

- Circuits électriques, courant continu. Herbert W. Jackson, Editions Dunod
- Circuits électriques, courant alternatif. Herbert W. Jackson, Editions Dunod
- Electricité professionnelle, M. Vial. Editions Nathan
- <http://energie.wallonie.be>

Didier Pietquin Juin 2004 ©

www.techniquesduson.com