

L'ELECTRICITE

Facile a comprendre

Jacques Bevilacqua

L'électricité

Facile à comprendre
Jacques Bevilacqua

Copyright © 2015 Jacques Bevilacqua All rights reserved.
ISBN: 1511683090

ISBN-13: 978-1511683098

COURS
DE
PHYSIQUE

PUREMENT EXPÉRIMENTALE ET SANS MATHÉMATIQUES

A L'USAGE DES GENS DU MONDE,
DES CANDIDATS AU BACCALAURÉAT ÈS LETTRES,
DES CANDIDATS AU BREVET DE CAPACITÉ, DES ÉCOLES
NORMALES PRIMAIRES, DES INSTITUTRICES,
DES PENSIONS DE DEMOISELLES, ETC.

Illustré de 416 vignettes intercalées dans le texte, d'une planche coloriée,
et suivi de notions élémentaires de Météorologie

PAR A. GANOT

PROFESSEUR DE PHYSIQUE

HUITIÈME ÉDITION

Augmentée de 14 vignettes et de nombreux développements,
et renfermant toutes les matières des programmes de 1880 pour le baccalauréat ès lettres

PARIS

CHEZ L'AUTEUR-ÉDITEUR

114, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

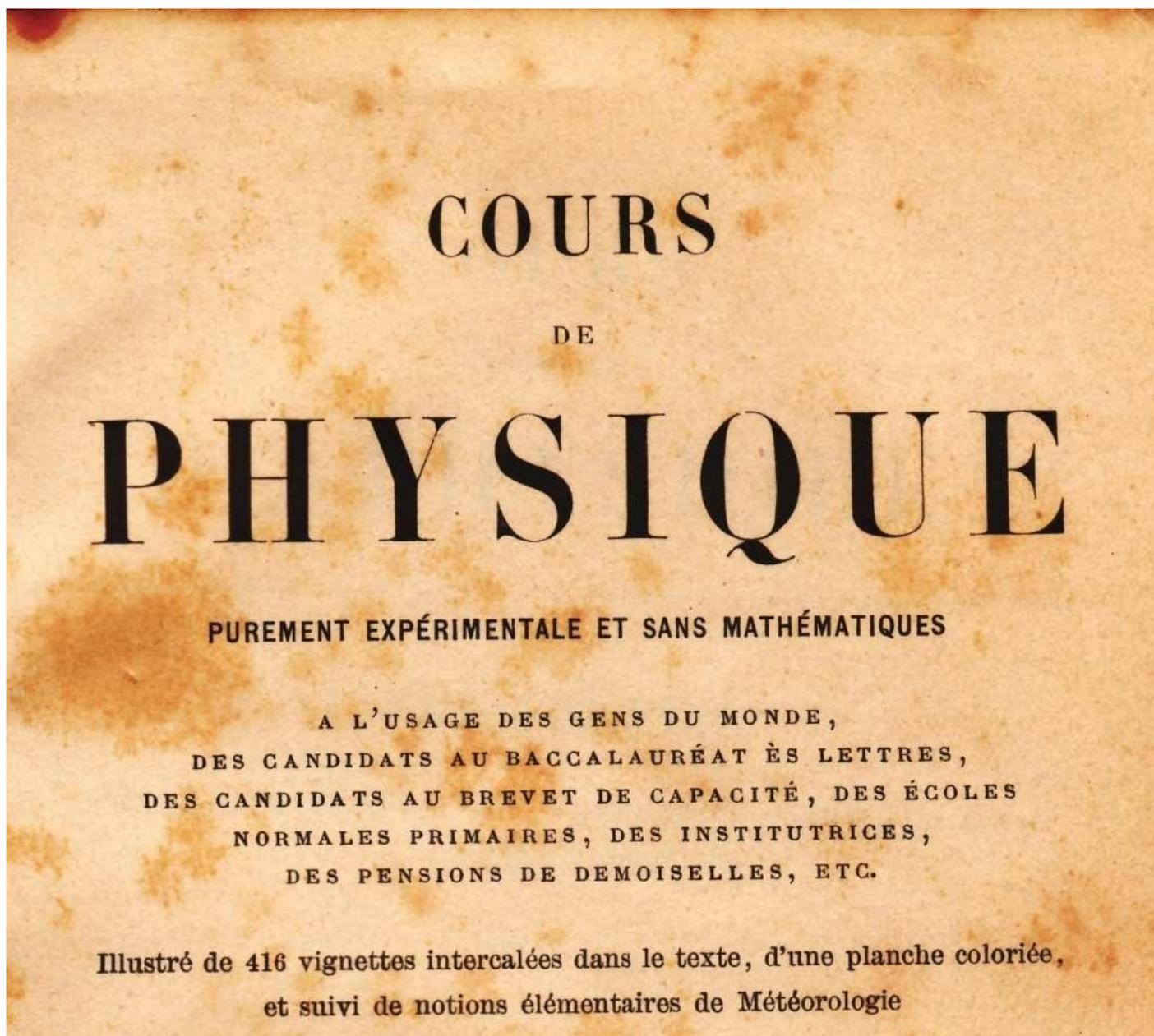
1881

Tous droits réservés.

1 PRÉAMBULE

Voici le livre qui a décidé de ma carrière, c'était mon livre de chevet quand j'avais 15 ans

(j'en ai maintenant 73), il appartenait à mon grand-père qui était opticien.



Le public à qui il est destiné est remarquable, mais c'est son côté "physique purement expérimentale et sans mathématiques" qui me l'a fait apprécier, notamment la partie électricité (qui en était à ses débuts) et je peux dire que je l'ai "dévoré" !

Il date de **1881** ! Et c'est étonnant de voir qu'il y a des domaines où la technologie n'a pas tellement changé : j'ai réglé encore à la fin de ma carrière en 2002 des sonneries dites "trembleuses" absolument identiques à celle décrite dans ce livre, et la "machine de Gramme" qui y figure est conçue comme les dynamos de voiture avant que celles-ci ne soient équipées d'alternateurs...

Toutes les gravures (autres que photos) que je n'ai pas dessinées moi-même en sont tirées et sont repérées par le symbole .

J'ai eu la chance dans ma carrière de rencontrer des personnes qui m'ont fait profiter de leur savoir et je me sens redevable envers ceux qui n'ont pas eu la même chance que moi...

Il ne s'agit en aucun cas d'un cours d'électricité, ni d'un manuel de bricolage (même si ça

peut être utile à certains qui n'osent pas "y mettre les mains" qui trouveront un peu plus loin quelques schémas de circuits domestiques usuels et surtout quelques consignes de sécurité), mais seulement d'une tentative d'explications pour aider à comprendre ce que j'ai compris grâce à d'autres.

On a du mal à retenir ce que l'on a appris, mais on n'a pas besoin de retenir ce que l'on a compris, le raisonnement revient tout seul et pallie à la défaillance de la mémoire qui nous atteint tous plus ou moins.

Les normes sont également bien plus faciles à retenir quand on a compris leur utilité (pour celles qui sont utiles) !

J'aurai atteint mon but si quelques personnes peuvent **ne plus dire** : "Je n'y comprends rien en électricité" après avoir lu ce livre (ça ne veut pas dire : "je connais tout en électricité").

Je vous souhaite bonne lecture... Jacques BEVILACQUA

Jacques.bevilacqua@gmail.com

2 DÉCOUVERTE DE L'ÉLECTRICITÉ.

Déjà 600 ans avant J.C. les sages avaient remarqué que l'ambre jaune (résine fossilisée) frotté vivement avec un tissu de laine attirait certains corps légers.

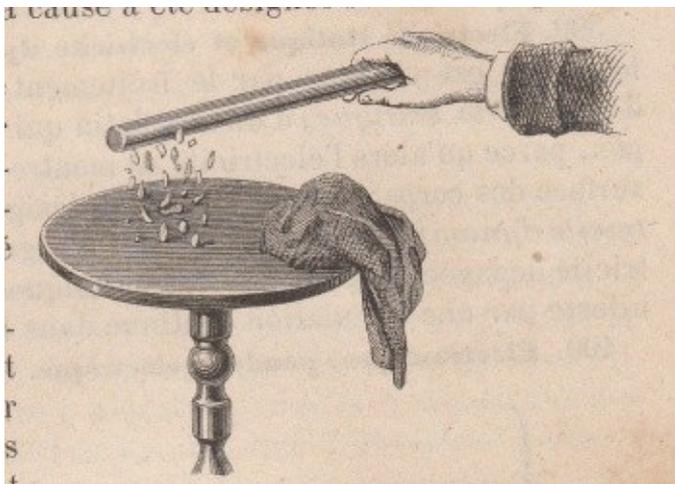


Figure 1 : Électrisation par frottement

Puis, par la suite on s'est aperçu que d'autres corps isolants avaient la même propriété et que l'on pouvait frotter l'objet avec d'autres matières, des peaux d'animaux par exemple. L'ambre se dit électron en Grec et on a donné à ce phénomène le nom d'électricité ou d'électrisation, un corps frotté qui attire de petits objets est dit électrisé.

Ce n'est que bien plus tard (vers les années 1800) que l'on a mis en évidence les "deux sortes" d'électricité que l'on appelait électricité **résineuse** pour celle obtenue avec l'ambre et l'électricité **vitreuse** pour celle obtenue avec le verre.

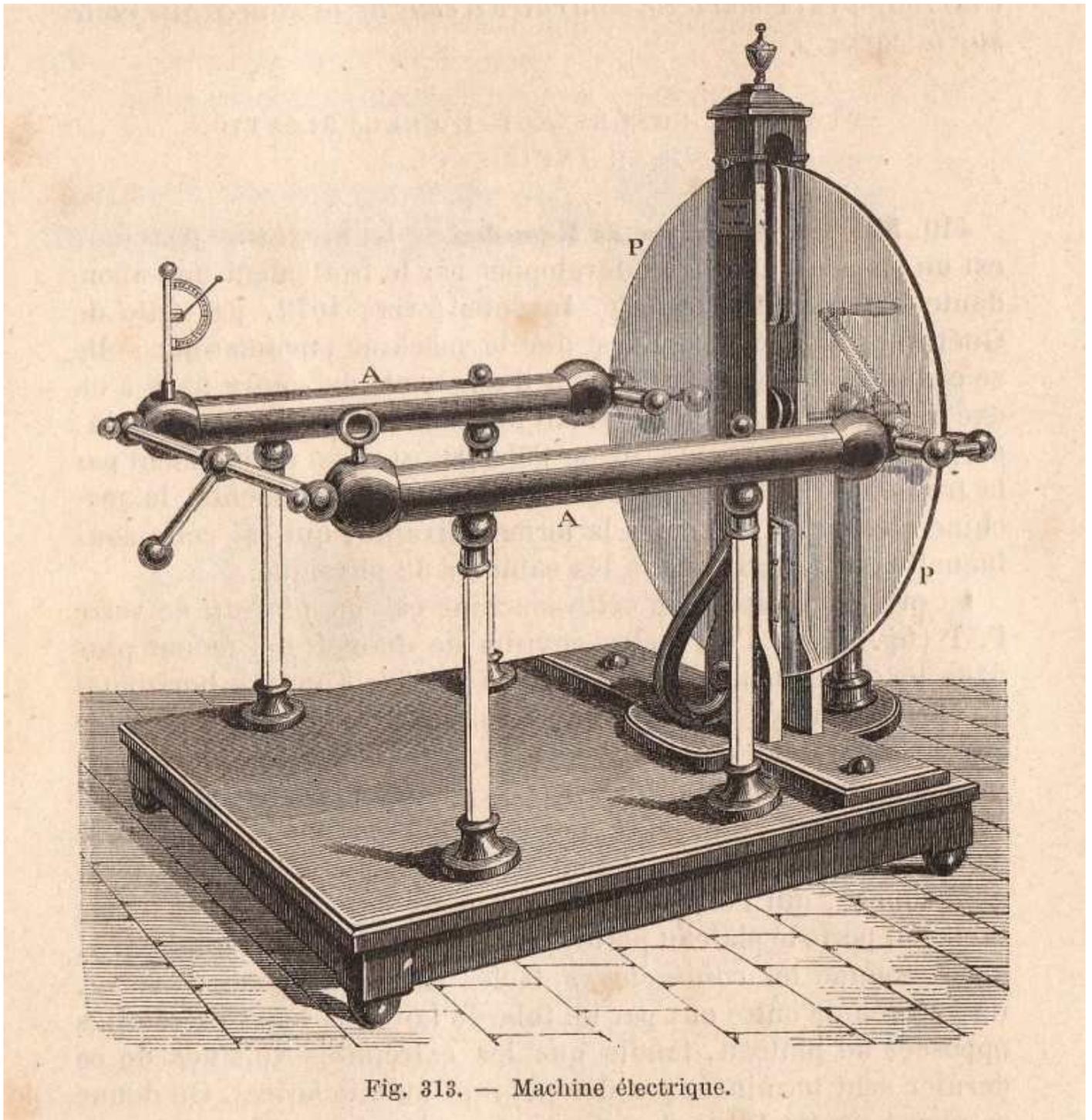


Figure 2 : Machine ayant permis les premières expériences en électricité statique

On a aussi remarqué à l'époque que deux corps chargés de la même électricité se repoussent alors que deux corps chargés d'électricités contraires s'attirent, cela a été mis en évidence grâce au pendule électrique, c'était une boule de moelle de sureau (très légère) suspendue qui était attirée ou repoussée par les corps électrisés.

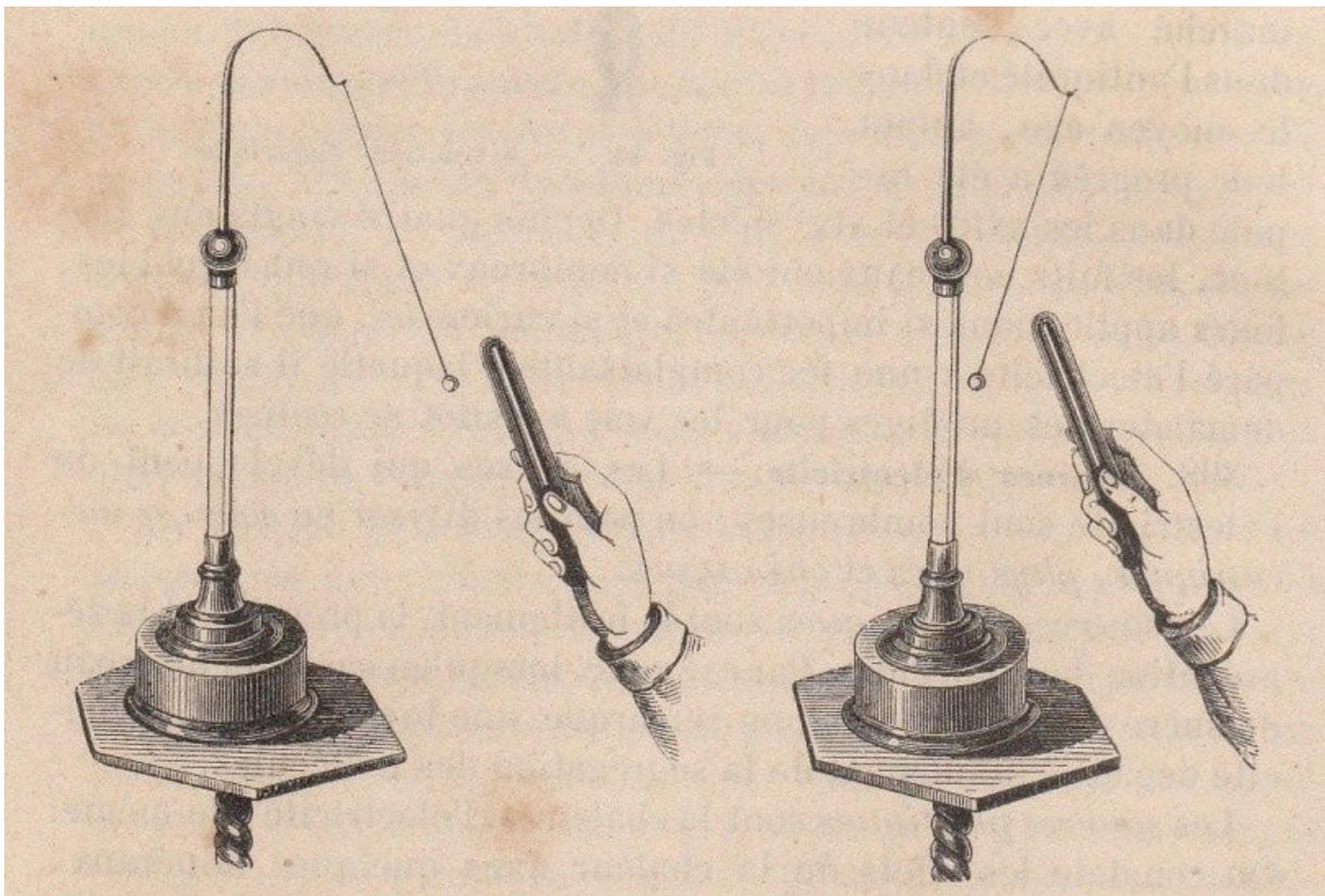


Figure 3 : Pendule électrique

Par la suite, on a découvert ce qu'est réellement l'électrisation, l'explication qui suit est volontairement simpliste, il ne s'agit pas ici 'un cours de physique nucléaire...

La matière est constituée d' **atomes** pour les corps simples : oxygène, hydrogène, cuivre, par exemple et de **molécules** pour les corps composés : l'eau par exemple qui est constituée de molécules regroupant deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène.

L'atome est constitué d'un noyau composé de protons et de neutrons entouré d'une ou plusieurs couches (orbites) d'électrons, ces couches sont concentriques mais pas sur le même plan (tout comme les planètes autour des étoiles) mais on les représente souvent sur le même plan pour en détailler le nombre comme dans la Figure 11 page 9.

Quand on frotte l'ambre avec du tissu de laine ou de soie, des électrons sont arrachés par l'ambre au tissu, et l'ambre est alors chargée négativement (excès d'électrons), c'est l'électricité résineuse, cette charge électrique s'appelle **potentiel** et se mesure en **volts**.

L'ambre étant un isolant, cette charge reste en place et n'est pas dispersée dans le reste de l'objet, elle reste en surface, par contre, un objet électrisé peut transmettre sa charge par contact avec un autre objet, c'est ce qui arrive avec le pendule électrique (neutre au départ) qui est d'abord attiré par l'objet électrisé puis est repoussé par lui après le contact car il est alors chargé de la même électricité et les électricités de même signe se repoussent alors que les électricités contraire s'attirent (chaque électricité attire un corps neutre).

3 LE COURANT ÉLECTRIQUE.

Nous venons de survoler les expériences d'électricité statique, ce sont elles qui ont été à

l'origine des développements qui ont amené cette extraordinaire révolution technologique qu'a apporté l'exploitation des effets du **courant électrique**.

La première source de courant continu a été la **pile de Volta** du nom de son inventeur elle a été créée en **1800**, elle était constituée comme son nom (pile) l'indique d'un empilage de plaques circulaires de **zinc** (pôle négatif), et de **cuivre** (pôle positif) séparées par une couche de tissu imprégné d'**eau salée** constituant ce que l'on nomme l'**électrolyte**, la tension disponible (mesurée en volts) était proportionnelle au nombre d'éléments **zinc+électrolyte+cuivre**.

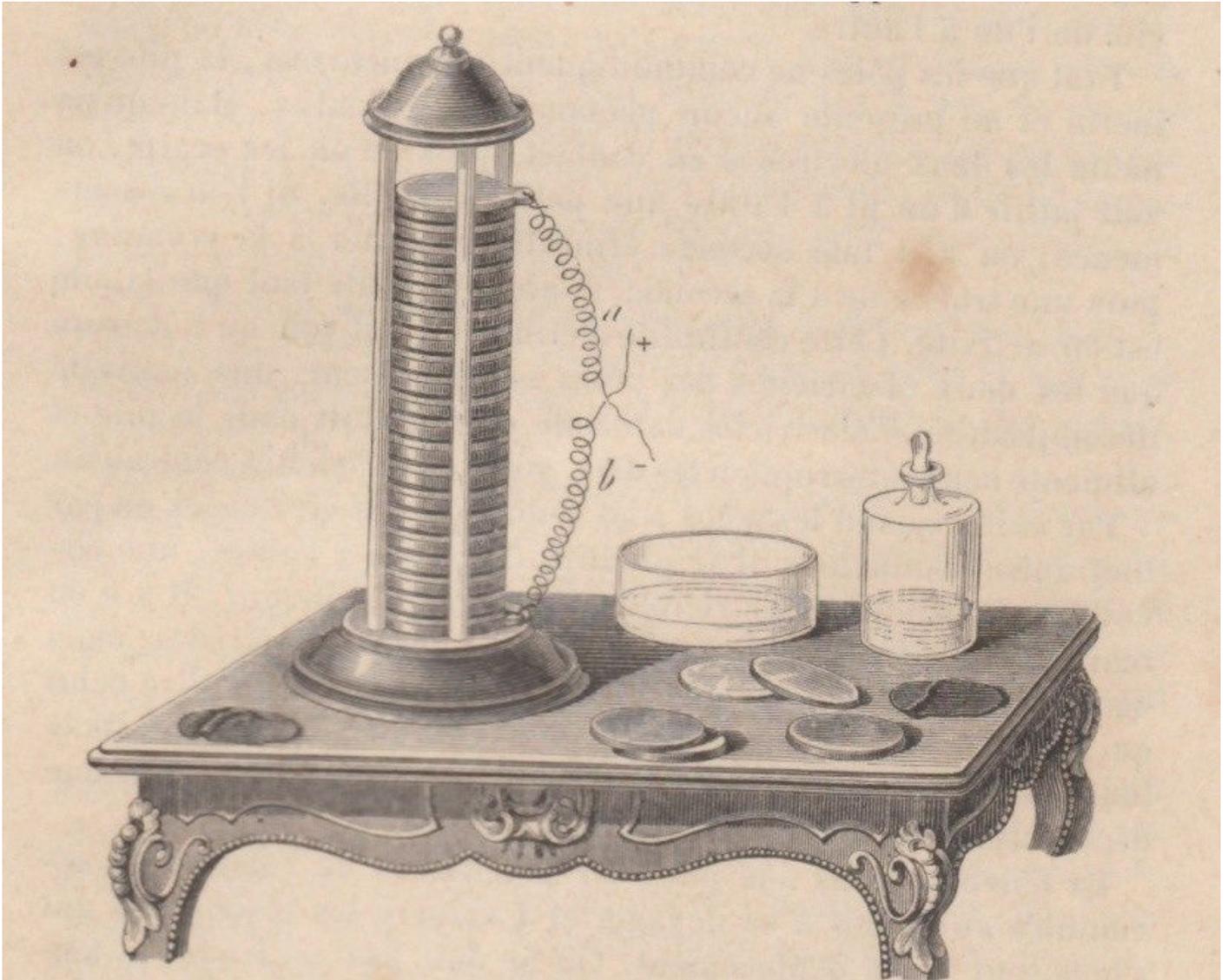


Figure 4 : Pile de Volta

Avec le courant continu, on a découvert les effets magnétiques de l'électricité : Le courant continu parcourant un solénoïde (bobinage) provoque un champ (flux) magnétique (aimantation), si on place un noyau en métal ferreux au centre de ce bobinage on obtient un électro-aimant et suivant la constitution de ce noyau, l'aimantation peut être permanente ou non.

Après des tâtonnements, en essayant de produire de l'électricité en mettant un aimant à l'intérieur d'un bobinage, on a découvert qu'une c'est la variation du flux magnétique à l'intérieur du bobinage (et non pas la seule présence de l'aimant) qui produit une tension électrique proportionnelle à l'importance de cette variation et à sa rapidité.

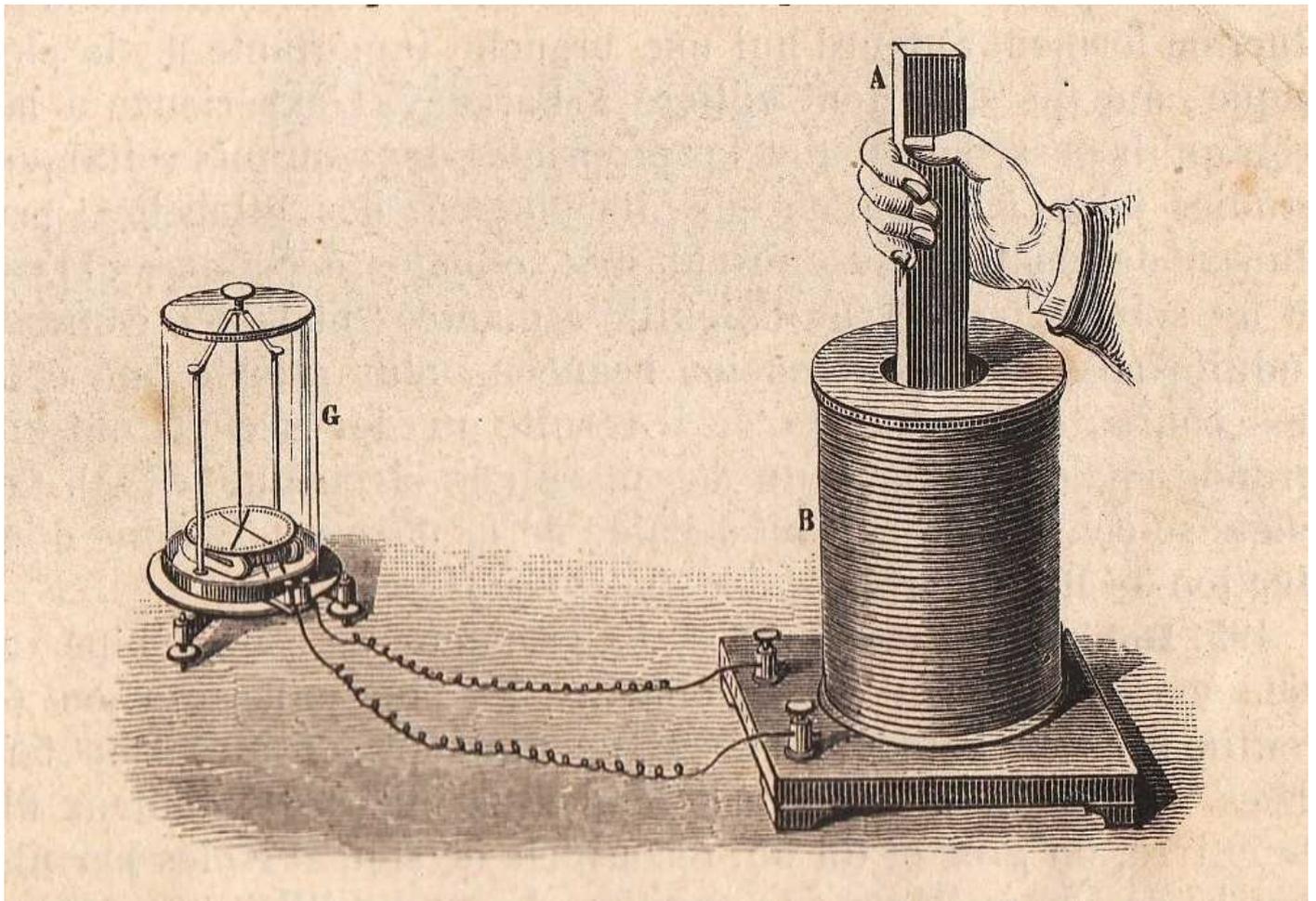


Figure 5 : Découverte de l'induction par le mouvement d'un aimant

Ces découvertes ont amené à la fabrication du premier dispositif de production de courant électrique avec du mouvement : La machine de Gramme, l'ancêtre de la **dynamo** dans laquelle c'est l'aimant qui est fixe et l'ensemble de bobinages qui tourne à l'intérieur du flux magnétique et qui délivre une **tension continue** recueillie sur le collecteur par deux lames de cuivre souple appelées "balais", puis, les balais en cuivres furent remplacés par du graphite et on les appelle maintenant **les charbons**.

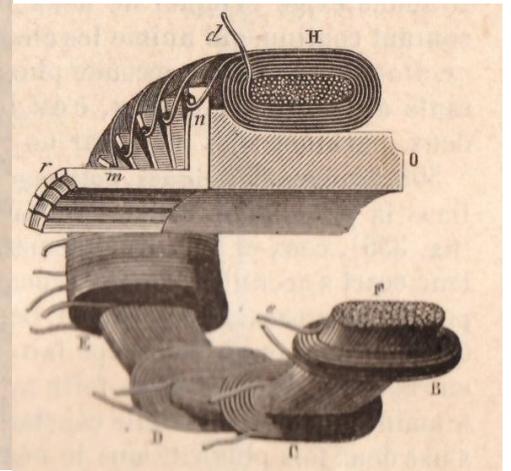
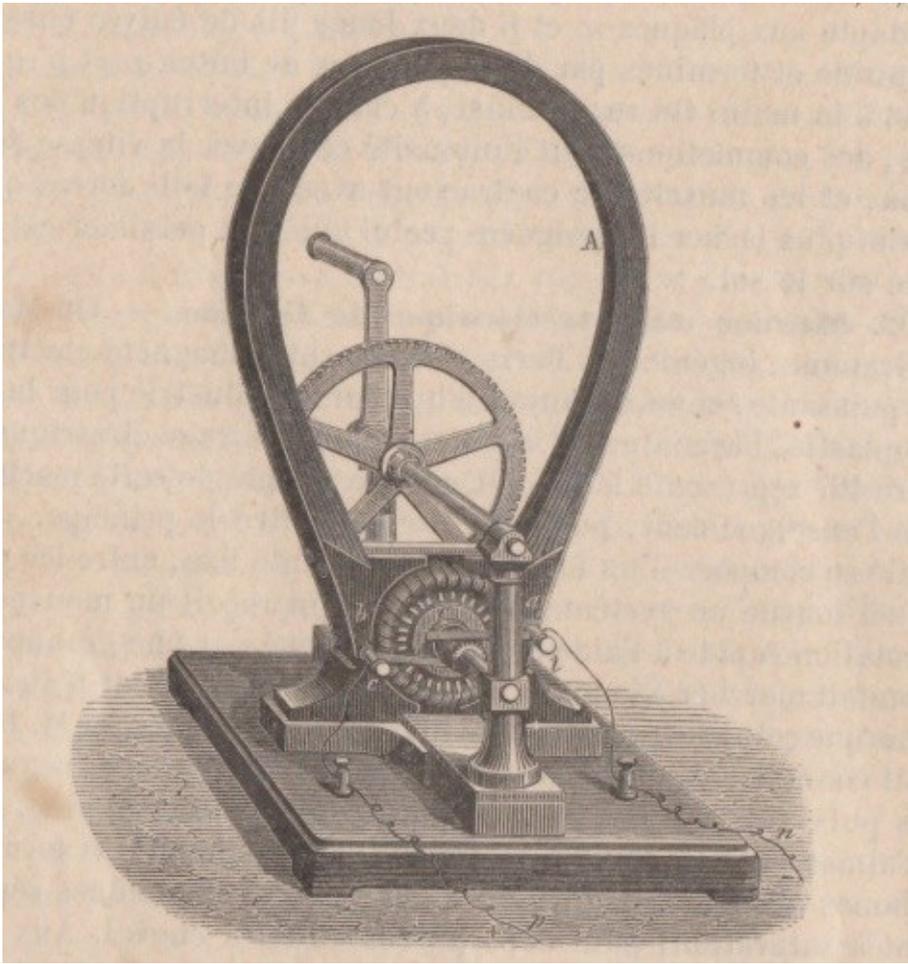


Figure 6 : Machine de Gramme et son Collecteur grossi vu en coupe

Les recherches sur l'induction dans les bobinages ont également mené à la conception des transformateurs (induction dans un bobinage par un autre).

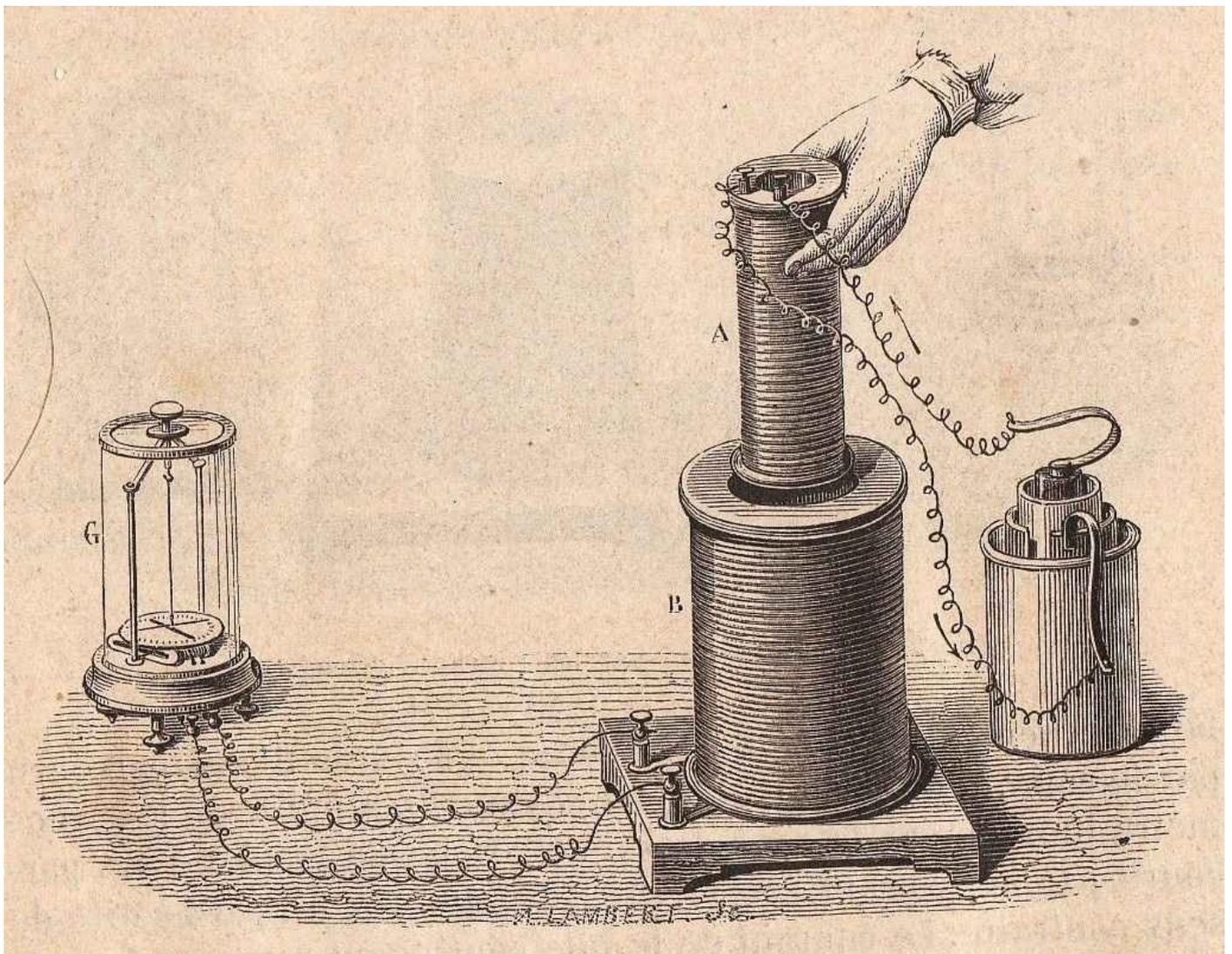


Figure 7 : Induction dans un bobinage par un autre

Dans cette expérience, c'est encore le mouvement qui est à l'origine du courant produit par l'induction, mais l'ingénieur Ruhmkorff a inventé en 1851 une bobine d'induction qui porte son nom, équipée d'un mécanisme vibreur : Le courant dans le bobinage inducteur passe par un contact et une lame de ressort, qui coupe le circuit, quand elle est attirée par le noyau, et le rétablit quand elle est relâchée.

La bobine de Ruhmkorff est le véritable ancêtre du transformateur, elle permettait déjà à l'époque de produire des étincelles pouvant atteindre 30 cm de longueur en partant d'une tension de quelques volts produite par une batterie de piles, elle est aussi utilisée dans l'automobile (bobine d'allumage) où le courant était pulsé au rythme du moteur par le rupteur d'allumage (appelé "les vis platinées").

Le courant ainsi produit n'est pas du courant alternatif, mais du courant dit "pulsé", il permet quand même l'induction car le flux magnétique produit est variable et ce sont les variations de flux qui sont à l'origine de l'induction.

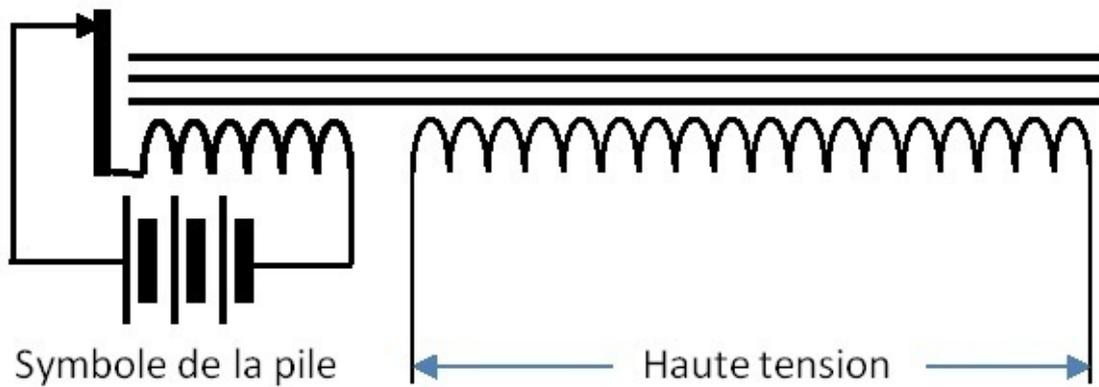


Figure 8 : Principe de

la bobine de Ruhmkorff

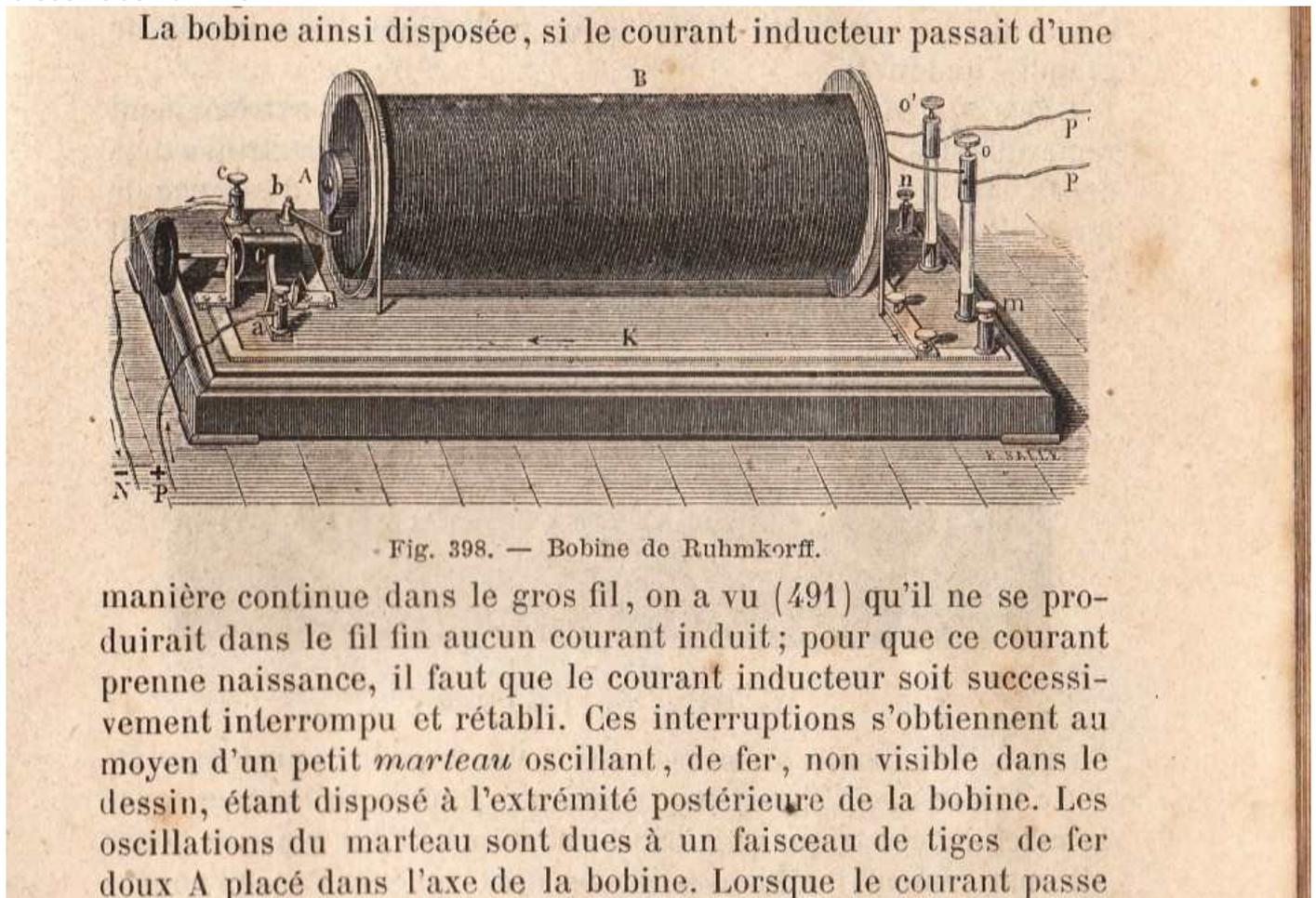


Fig. 398. — Bobine de Ruhmkorff.

La bobine ainsi disposée, si le courant inducteur passait d'une manière continue dans le gros fil, on a vu (491) qu'il ne se produirait dans le fil fin aucun courant induit; pour que ce courant prenne naissance, il faut que le courant inducteur soit successivement interrompu et rétabli. Ces interruptions s'obtiennent au moyen d'un petit *marteau* oscillant, de fer, non visible dans le dessin, étant disposé à l'extrémité postérieure de la bobine. Les oscillations du marteau sont dues à un faisceau de tiges de fer doux A placé dans l'axe de la bobine. Lorsque le courant passe

Figure 9 : Extrait concernant la bobine de Ruhmkorff

La pile de Volta a été améliorée par la suite, on voit un élément de pile de Daniel déjà plus ressemblante à nos piles actuelles Figure 7 page 7, et de nos jours, on utilise encore des piles chimiques avec des solutions alcalines ou non, mais elles sont miniaturisées et étanches, elles ont conservé le nom de pile et un ensemble de piles est appelé **batterie de piles**, mais on utilise également communément le nom de **batterie** (tout court) pour désigner un **accumulateur**.

La lampe à incandescence appelée communément **ampoule électrique à incandescence** a été inventée en **1879** (améliorée depuis), nous permet de décrire un circuit électrique élémentaire décrit Figure 10 encore utilisé aujourd'hui dans les lampes de poche. Dans l'illustration ci-après qui représente ce circuit électrique élémentaire, si l'on ferme l'interrupteur, le courant (le flux d'électrons) circule du pôle positif de la batterie de piles, passe par l'ampoule qui s'allume et revient vers le pôle négatif de la batterie de piles, dès

que l'on ouvre l'interrupteur, le courant ne circule plus et la lampe s'éteint.

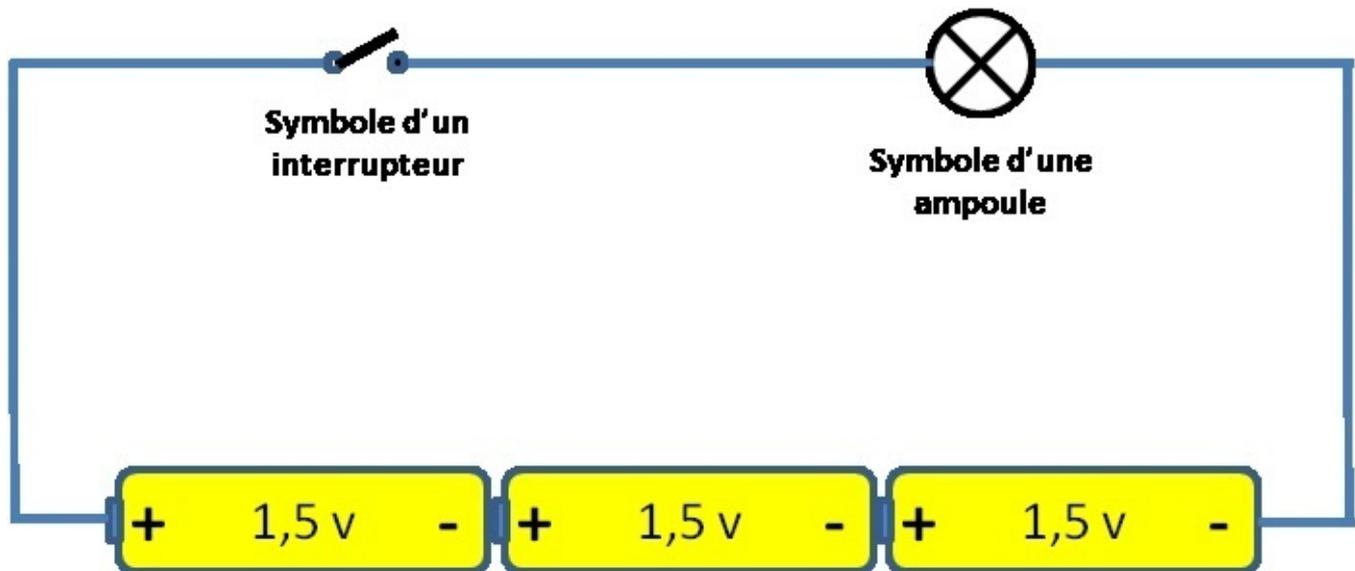


Figure 10 : Circuit électrique élémentaire en courant continu

3.1 COMPARAISON HYDRO ÉLECTRIQUE :

Les matériaux conducteurs de l'électricité (tous les métaux à ma connaissance et bien d'autres éléments : carbone, graphite, etc..., certains liquides et certains gaz) sont constitués de molécules dont les atomes possèdent une couche extérieure d'électrons peu nombreux et qui ne sont que très peu attirés par le noyau (appelés "électrons libres") et ces électrons peuvent passer (sauter) d'une molécule à l'autre et sont remplacés par des électrons de la molécule précédente, ces déplacements constituent **le courant électrique**.

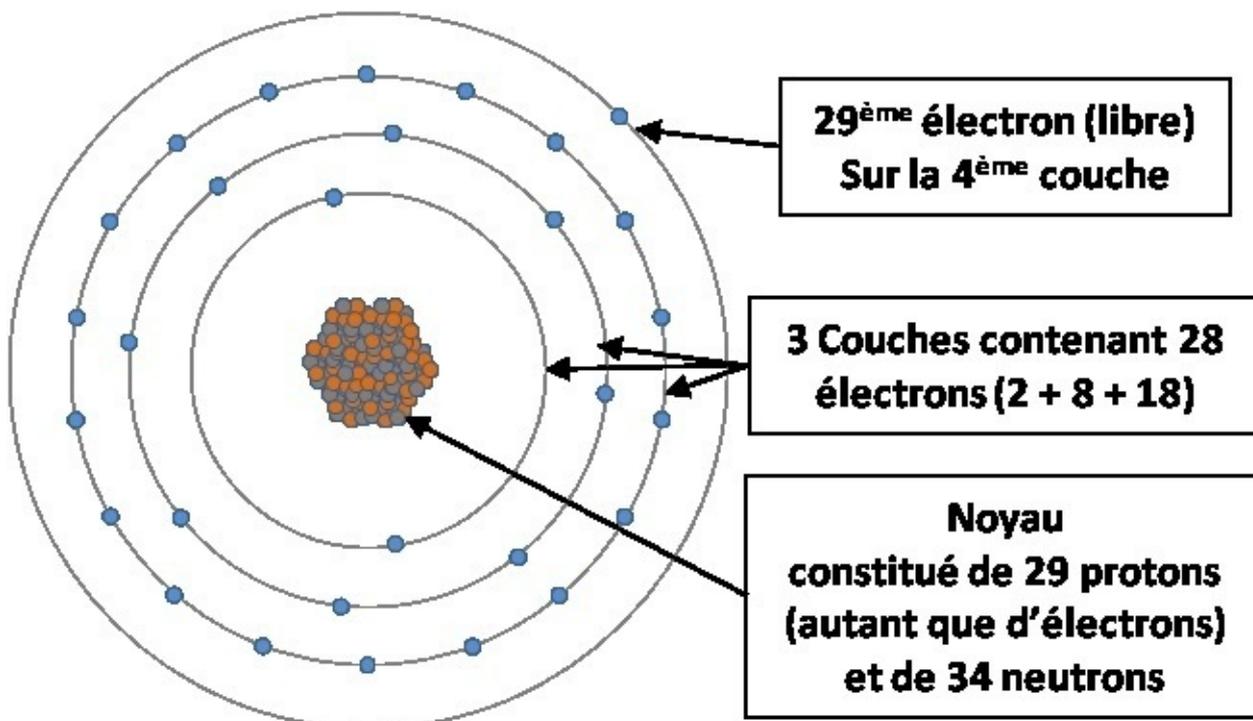


Figure 11 :

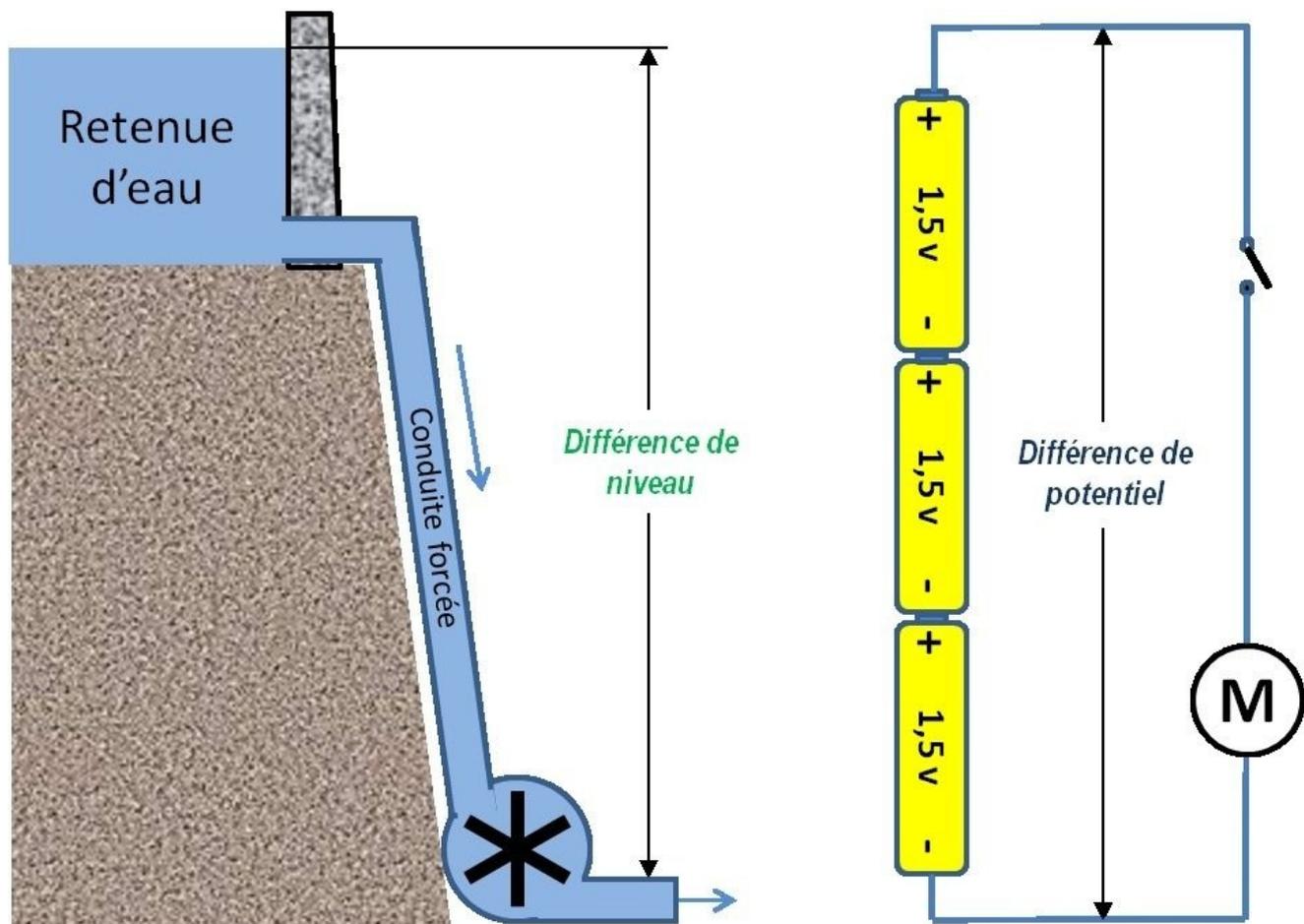
Atome de cuivre (métal très bon conducteur de l'électricité)

Le comportement du courant **électrique** est en de nombreux points, comparable à celui d'un courant **hydraulique**, à la place d'*eau dans un tuyau*, ce sont les *électrons qui se déplacent dans les matériaux conducteurs*, dans la suite de ce chapitre, de nombreuses comparaisons seront faites entre les parties concernant les *courants hydrauliques* sont

écrits en italique vert, et les parties concernant les *courants électriques* sont *écrits en italique bleu* quand ils sont comparés.

Cette analogie n'est bien sûr pas totale, mais les nombreuses similitudes peuvent nous aider à comprendre sans chercher à mettre en évidence les différences qui existent. Une des différences essentielles est que l'air est un isolant pour l'électricité (heureusement) alors qu'il ne l'est pas pour l'eau.

La figure ci-après nous permettra de comparer les différentes grandeurs qui régissent les courants électrique et hydraulique, elle représente à gauche : une turbine actionnée par un courant hydraulique, et à droite : un moteur actionné par un courant électrique.



*Production d'un mouvement par un courant d'eau
(par exemple centrale hydro-électrique)*

*Production d'un mouvement par un courant
électrique (par exemple rasoir électrique)*

Figure 12 : Deux dispositifs de production de mouvement.

Pour le circuit hydraulique, le générateur est le soleil qui fait évaporer l'eau qui retombe en pluie et quand elle est captée et canalisée, elle peut actionner une turbine.

Pour le circuit électrique le générateur est la batterie (qui peut être de piles ou d'accumulateurs) qui recueille les électrons de son pôle négatif et les amène à son pôle positif (le sens réel du courant électrique est malheureusement le contraire du sens conventionnel, mais pour toutes les explications données ici, le sens conventionnel nous convient parfaitement pour comprendre).

3.1.1 LA DIFFÉRENCE DE POTENTIEL RESSEMBLE À LA DIFFÉRENCE DE NIVEAU :

Pour qu'un *courant d'eau* circule spontanément d'un point à un autre, il faut qu'il existe

une **différence de niveau**, de même que pour qu'un **courant électrique** circule, il faut qu'il existe une **différence de potentiel**.

On considère **la terre** (notre planète) comme la référence **0 Volt**, cela veut dire **neutre électriquement**.

Un point d'un circuit électrique peut être à un potentiel positif ou neutre ou négatif (pour le courant continu).

Les orages sont la meilleure illustration de ces différences de potentiel, les nuages se chargent électriquement par le frottement de l'air, ces charges atteignent des valeurs gigantesques, les valeurs données dans l'illustration ci-après sont fantaisistes et seulement destinées à comprendre, mais les valeurs réelles sont aux alentours de **15 à 100 Mégavolts** (millions de Volts).

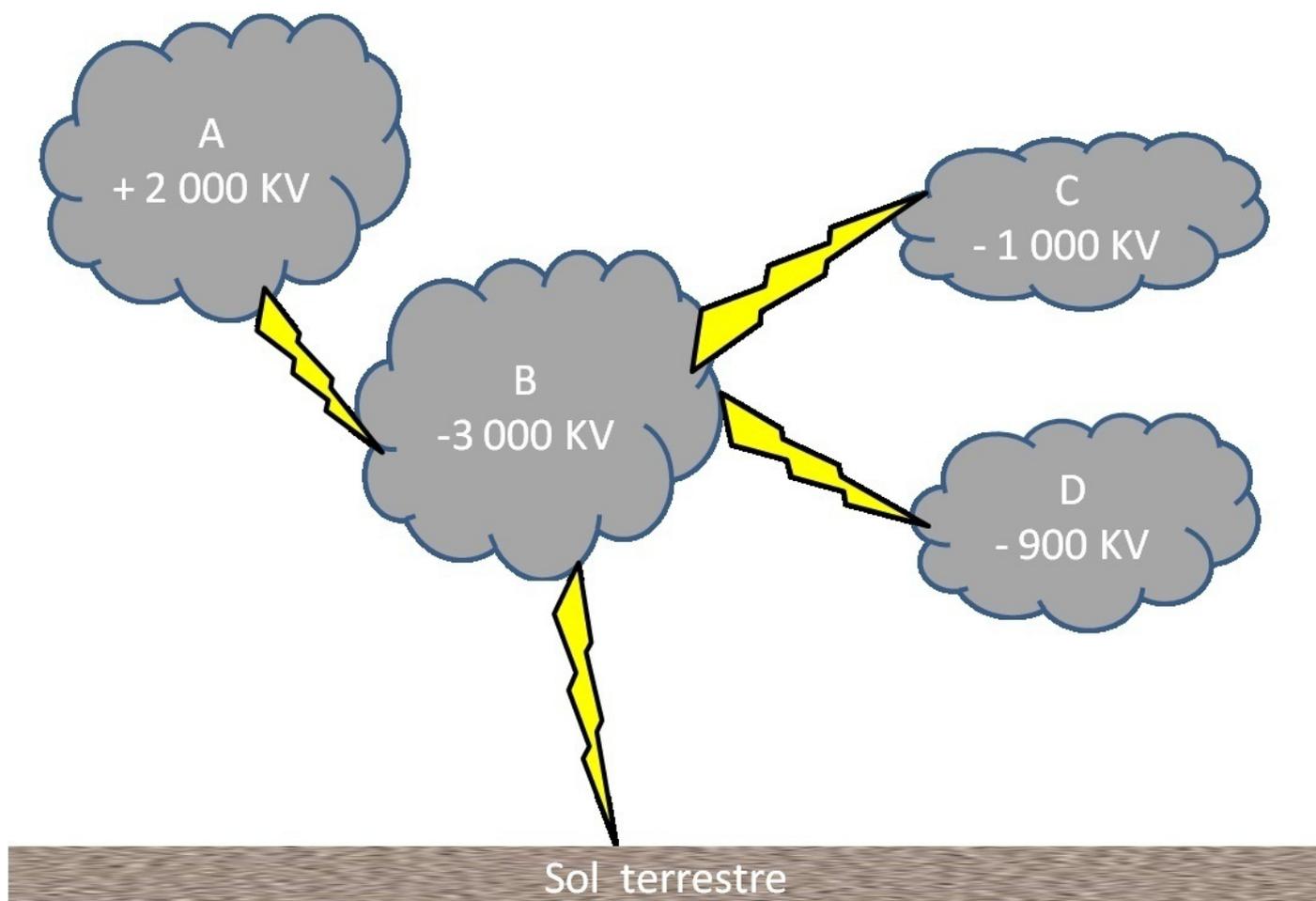


Figure 13 : Différences de potentiel

On peut remarquer que des éclairs ont lieu entre des charges positives et négatives (A et B), puis entre des charges négatives entre elles (B, C et D), et aussi entre une charge (B) et la terre (neutre).

On peut remarquer également qu'il n'y en a pas entre des charges de même signe mais peu différentes. Le nuage A est très éloigné de la terre, très éloigné également du nuage C. Les nuages C et D sont proches mais leur différence de charge est peu importante, donc dans ces cas, l'isolement par l'air est suffisamment rigide.

Cette explication est simpliste, l'étude des phénomènes d'orage est bien plus compliquée que cela (notamment, les nuages ne se chargent pas de manière uniforme, quand on dit qu'un nuage est chargé négativement par exemple c'est que le côté négatif est à proximité,

l'autre côté étant chargé positivement).

Des ouvrages scientifiques passionnants y sont consacrés, mais le but ici est comprendre les principes qui génèrent les courants électriques. Il faut donc voir l'illustration qui suit comme une simplification de la réalité.

3.1.2 LA TENSION RESSEMBLE À LA PRESSION :

La différence de potentiel produit une *tension*, la différence de niveau produit une *pression*.

La pression se mesure en bars et on comprend que plus la pression est élevée, plus il sera possible d'avoir un grand nombre de litres par minute pour un tuyau d'une section donnée (une plus petite section offre une plus grande résistance au passage de l'eau).

Pour l'électricité, la tension, se mesure en volts et plus la tension est élevée, plus elle pourra provoquer le déplacement d'un grand nombre d'électrons dans un circuit opposant une résistance donnée.

3.1.3 LA RÉSISTANCE AU PASSAGE DES COURANTS :

Le courant d'eau est canalisé par des tuyaux, la résistance au passage de l'eau est fonction de la longueur de la canalisation et de sa section, je ne connais pas son unité de mesure, mais nous nous occupons ici de l'électricité

Le courant électrique est canalisé par les matériaux conducteurs qui opposent une résistance à son passage, cette résistance est fonction du matériau, de sa longueur et de sa section, elle se mesure en ohms (Ω), pour le courant alternatif, c'est l'impédance (qui tient compte des déphasages), également en ohms.

3.1.4 L'INTENSITÉ RESSEMBLE AU DÉBIT :

Pour l'eau, c'est le nombre de litres par minutes, on comprend bien que plus le circuit délivre de litres par minute, plus l'action de l'eau sera grande.

Pour l'électricité, l'intensité est le nombre d'électrons qui circulent en même temps, cela se mesure en ampères, et plus il y a d'électrons qui circulent, plus l'action de l'électricité est grande.

3.1.5 LA PUISSANCE EST LE PRODUIT DE LA TENSION PAR L'INTENSITÉ OU DE LA PRESSION PAR LE DÉBIT :

Pour l'eau, la puissance est fonction de la hauteur de la chute (différence de niveau qui définit la pression) et du débit, il est évident que plus la pression est élevée, et plus le débit est élevé, plus la puissance d'un équipement comme celui représenté figure 2 sera élevée.

Si la pression est constante, pour avoir une puissance plus grande on est obligé d'utiliser des tuyaux plus gros pour avoir un débit plus important et si le diamètre des tuyaux est constant, il faudra une pression plus grande pour faire circuler plus d'eau.

Pour l'électricité, plus la tension et l'intensité sont élevés, plus un moteur électrique par exemple, sera puissant, cela se mesure en Watts et se calcule en multipliant la tension par l'intensité, ce qui s'écrit : P (watts) = U (volts) \times I (ampères). Et la tension disponible étant constante (220 Volts), si l'on veut plus de puissance, il faut une intensité plus élevée, c'est à dire des conducteurs de section plus importante.

Attention, ces calculs sont seulement exacts pour le courant continu ! Mais ils sont globalement assez approchants pour le courant alternatif (suffisamment pour la vie courante) cette unité de puissance pour le courant alternatif est le Volt/Ampère et son multiple Kilovolt/Ampère (KVA), mais dans la vie courante : 1 Kilovolt/Ampère = 1 Kilowatt ! Par exemple, un aspirateur qui consomme 5 ampères sous 220 volts a une puissance de $5A \times 220V = 1,1 \text{ KVA}$ ou 1,1 Kilowatt (pour la suite des explications, nous continuerons à utiliser le Watt avec ses multiples : le Kilowatt et le Mégawatt).

3.2 LE COURANT ALTERNATIF :

En améliorant la machine de Gramme (Dynamo) notamment en remplaçant l'aimant permanent par un électro-aimant, on avait trouvé le moyen de produire une grande quantité de courant électrique mais en 1878, le Belge Zenobe invente l'alternateur (et donc le courant alternatif) le Croate Nikola Tesla l'améliore et dépose en 1888 une série brevets pour l'utiliser dans la distribution d'énergie.

Le plus simple alternateur est encore utilisé pour l'éclairage des bicyclettes, il est généralement actionné par friction sur le flanc du pneu avant ou arrière.

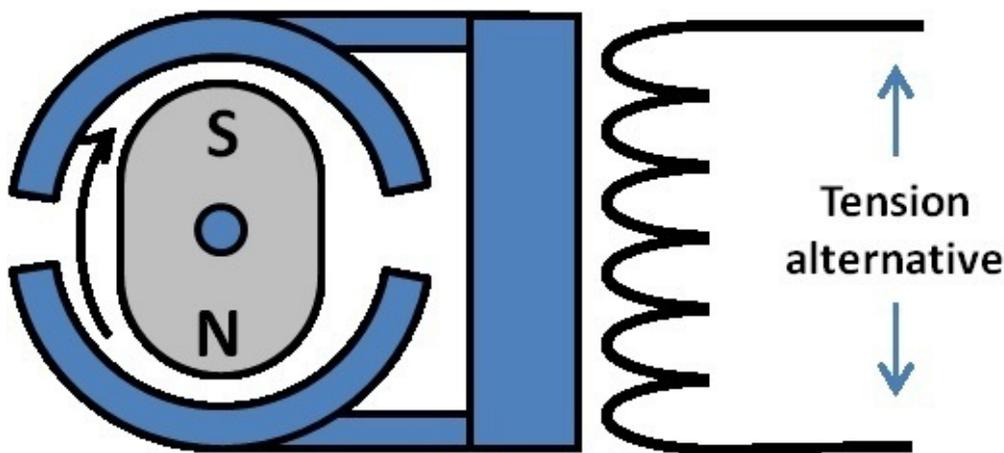


Figure 14 : Alternateur

rudimentaire appelé dynamo de vélo

La tension alternative (et par conséquent sa puissance) délivrée par cet appareil est proportionnelle à la vitesse de rotation et surtout au **nombre de tours** du bobinage. Pour une vitesse de rotation constante (donc une variation de flux magnétique constante), la tension délivrée double si on double le nombre de tours du bobinage, elle est de forme sinusoïdale (tension fonction du temps).

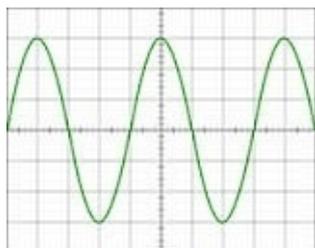


Figure 15 : Tension produite par l'alternateur (avec une vitesse de rotation constante)

3.3 CHOIX CONTINU OU ALTERNATIF POUR LA DISTRIBUTION :

Dans les années 1890, une véritable guerre avait lieu entre la compagnie **Edison** qui

distribuait du courant continu et la compagnie **Westinghouse** (employeur de Nikola Tesla), tenante du courant alternatif, celle-ci a même failli perdre cette guerre car le 6 août 1890, la première exécution au moyen de la chaise électrique avait tourné au supplice à cause d'une mauvaise évaluation de la tension nécessaire, et cela utilisait le courant alternatif !

Heureusement, les critères techniques ont été plus importants que les critères sentimentaux et l'invention du transformateur par le Français Gaulard a été décisive.

Pour choisir entre le courant continu et le courant alternatif, dans la distribution d'énergie, le problème posé est de transporter une grande quantité d'énergie depuis les centrales électriques vers les utilisateurs.

Si on transportait directement le 220 Volts, utilisé dans les installations domestiques actuelles, cela exigerait des conducteurs démesurés (1 000 fois ceux des lignes à haute tension usuelles puisque ces lignes transportent couramment 220 000 Volts et plus) ! Il a donc fallu trouver le moyen d'élever la tension pour le transport et de l'abaisser pour la consommation.

Quelques notions sont à prendre en considération pour comprendre la nécessité de transporter l'énergie électrique sous des tensions très élevées :

La perte en tension en ligne (on dit aussi chute de tension) est proportionnelle à la longueur de la ligne et à l'intensité, mais elle est **indépendante de la tension initiale**.

La section des conducteurs est proportionnelle à l'intensité.

La perte de puissance en ligne est proportionnelle **au carré** de l'intensité

Grâce aux transformateurs, on peut transporter l'énergie sur de grandes distances... Voici un **exemple** chiffré avec des valeurs usuelles (arrondies pour la simplicité).

Pour transporter **seulement 2,2 Mégawatts** (2 200 000 Watts, mais on transporte couramment des centaines de mégawatts)



Sous 220 Volts, Il faudrait 10 000 Ampères !



Sous 220 000 Volts il suffit de 10 Ampères

En fixant la densité de courant admise à 10 ampères par mm^2 (c'est plausible pour des conducteurs à l'air libre qui ne s'échauffent donc pas trop),

Il faudrait des conducteurs de **1 000 mm^2** de section soit **36,5 mm** de diamètre pour passer **10 000 Ampères**, ces conducteurs pèseraient 8,92 Kg au mètre et il suffirait de conducteurs de **1 mm^2** de section soit environ **1,1 mm** de diamètre pour **10 Ampères**. De plus, une chute de tension de **200 Volts par exemple** serait inacceptable sur une tension initiale de **220 Volts** alors qu'elle est tout à fait insignifiante sur une tension initiale de **220 000 Volts**.

Le transport sur de grandes distances s'effectue donc en **très haute tension sur les grandes distances** jusqu'à 440 000 volts triphasé ! Et en **moyenne tension sur les distances moyennes** (par exemple vers les villages (10 000 – 30 000 Volts triphasé)).

Le courant triphasé est maintenant généralisé, dans le transport d'énergie, il permet d'optimiser l'utilisation des conducteurs, nous avons vu que la magnéto fournit une tension qui varie de positif à négatif en passant par zéro, les conducteurs ne sont donc pas parcourus par le courant en permanence.

En ajoutant un troisième conducteur, on transporte trois fois plus d'énergie, les courants étant décalés, on appelle cela le déphasage, il est de 120° dans le cas du triphasé représenté par la figure suivante.

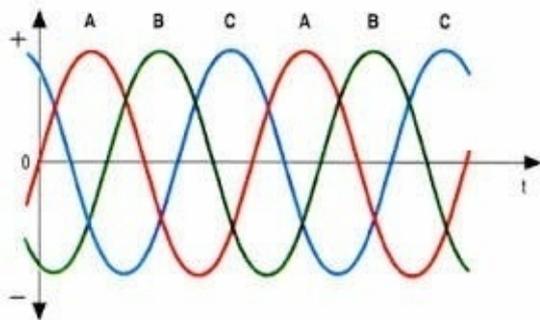


Figure 16 : Déphasage de 120°

Prenons 3 conducteurs nommés 1, 2 et 3, le courant de la phase A circule entre les conducteurs 1 et 2, celui de la phase B circule entre les conducteurs 2 et 3 et celui de la phase C circule entre les conducteurs 3 et 1

Le transport à grande distance ne se fait qu'en triphasé et il n'est pas question de n'utiliser qu'une seule phase le conducteur neutre est donc inutile car la tension et l'intensité des trois phases sont équilibrées (dans le transport).

Le courant triphasé est également très répandu dans l'industrie, car il est utilisé dans pratiquement tous les moteurs de puissance, mais pour la suite de nos explications, nous continuerons à raisonner sur le courant monophasé qui alimente pratiquement toutes les installations domestiques, et qui utilise un fil de phase et le neutre.

3.4 LES TRANSFORMATEURS :

Le **transformateur** (monophasé) est constitué d'un circuit magnétique autour duquel sont enroulés deux bobinages avec un nombre de tours différent. La différence des nombres de tours détermine le rapport de transformation. La puissance délivrée après transformation

est un peu diminuée à cause du rendement qui n'est pas de 100%, (les pertes sont dues à l'échauffement des bobinages, aux courants de Foucault et aux fuites magnétiques). Il existe plusieurs formes pour les circuits magnétiques des transformateurs, les anciens transformateurs étaient souvent de forme rectangulaire et constitués de tôles de fer doux empilées, c'est la forme qui présente le plus de fuites magnétiques.

Le noyau est en matériau magnétique non conducteur de l'électricité pour éviter les pertes par courants de Foucault, soit il est en **tôles isolées** par du papier, noyau dit feuilleté, soit il est constitué de **ferrite céramique** qui rassemble des grains magnétiques noyés dans de la céramique, ce type de noyau permet pratiquement de supprimer les courants de Foucault, et il est particulièrement bien adapté aux fréquences élevées... Mais je ne compte pas faire ici un cours de technologie sur les transformateurs...

Les transformateurs récents sont plus souvent en forme torique (voir ci-après) et leur matériau est généralement la ferrite céramique, ils sont surtout répandus dans les équipements électroniques et musicaux par exemple, ils sont très performants, ont un rendement élevé et ne présentent pratiquement pas de fuites magnétiques, ils ne perturbent donc pas les équipements sensibles..



Transformateur rectangulaire



Transformateur torique

Figure 17 : Transformateurs

Le bobinage qui reçoit la tension en entrée est appelé primaire, et le bobinage qui délivre la tension en sortie est appelé secondaire, il peut y avoir plusieurs secondaires (c'était souvent le cas du temps de la radio à tubes, mais rarement plusieurs primaires (par souci de simplicité, nous ne parlons ici que du courant monophasé.

Le bobinage (on dit aussi **l'enroulement**) primaire produit la variation de flux dans le circuit magnétique (puisque'il est parcouru par un courant alternatif), et le ou les enroulements secondaires recueille(nt) cette variation de flux et délivrent une tension alternative fonction du rapport de transformation.

Un transformateur est dit abaisseur si la tension primaire est supérieure à la tension secondaire et il est dit élévateur dans le cas contraire.

Malgré les contraintes techniques, notamment concernant l'isolement, les transformateurs

ont été à l'origine de la distribution d'énergie à grande distance (La Figure 18 montre un poste de transformation haute tension, on peut remarquer en haut les réservoirs d'huile et de liquide réfrigérant).

L'isolement interne des transformateurs est également problématique, les bobinages des transformateurs à haute tension baignent généralement dans l'huile car les conducteurs sont rapprochés notamment les enroulements et il n'y aurait pas assez d'épaisseur d'air entre eux.



Figure 18 : Poste de transformation Haute Tension

Le gros problème de ces valeurs élevées est l'isolement des conducteurs aériens, on peut évaluer la tension des lignes électriques que l'on voit le long des routes de campagne en sachant que la capacité d'isolement des isolateurs (on appelle ça : **rigidité diélectrique**) est de 5 000 volts par tasse...

Attention, l'air sec est un bon isolant, mais l'air humide l'est déjà moins et quand l'épaisseur de la couche d'air est insuffisante, un arc peut se produire, c'est le "claquage d'isolant", ça veut dire que le courant réussit à passer au travers de l'isolant et peut faire de gros dégâts.

Pour information, la **rigidité diélectrique de l'air** (la valeur à partir de laquelle un arc peut se produire) est environ de **30 Kilovolts par centimètre** (air sec), la foudre est la meilleure illustration du claquage de l'isolation de l'air et on sait que ses dégâts peuvent être considérables...

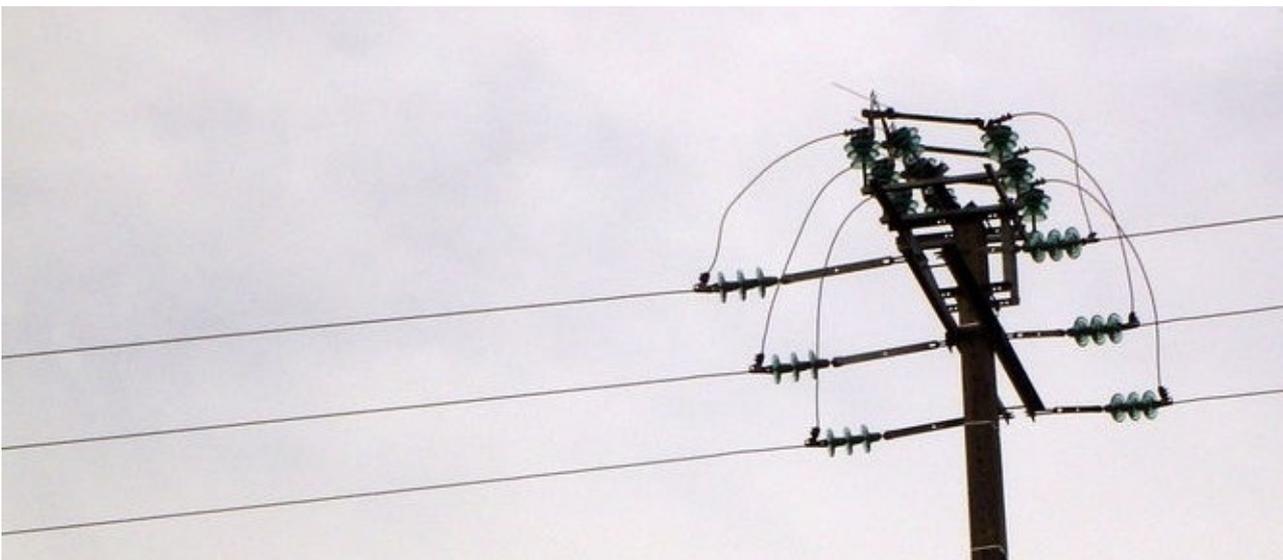


Figure 19

: Ligne à 15 000 Volts (isolateurs à 3 tasses) avec dispositif de sectionnement.

Une ligne à moyenne tension (10 000 à 30 000 volts) dessert généralement plusieurs villages, les transformateurs qui abaissent la tension à 220 volts se trouvent souvent en

haut d'un poteau à l'arrivée dans le village. Ils sont quelquefois associés à des dispositifs anti-surtension, ces dispositifs ne protègent pas de la foudre proprement dite (rien n'y résiste) mais des **surtensions induites** à proximité d'un impact de foudre qui peuvent atteindre des centaines de milliers de volts, mais elles sont d'une durée très brève.



Figure 20 : Transformateurs abaisseurs desservant des villages.

4 ACTIONS DU COURANT ÉLECTRIQUE.

Le courant électrique produit trois principales actions.

4.1 L'ÉCHAUFFEMENT :

Le courant qui traverse un conducteur produit toujours un échauffement de celui-ci, proportionnel à la résistance du conducteur et au carré de son intensité, c'est pourquoi on cherche à avoir des conducteurs les plus courts possibles et suffisamment dimensionnés (en section) car toutes les pertes d'énergie se transforment en chaleur (la résistance d'un conducteur est proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle à sa section).

À contrario, dans la résistance des appareils chauffants le but est de chauffer et on ne peut pas vraiment parler de rendement pour un appareil chauffant puisque toutes les pertes sont en chaleur, le rendement avoisine donc les 100%, les seules pertes sont en lumière (rougeoiement des résistances) par contre, on peut parler d'efficacité, c'est la capacité de communiquer cette chaleur au bon endroit et de façon homogène.

Même pour un appareil chauffant, il faut que ce soit l'appareil qui chauffe lui-même et non pas les conducteurs qui l'alimentent.

C'est pourquoi on définit une densité de courant admissible maximum pour un conducteur en fonction de sa section. Celle-ci est en moyenne de **7 ampères** par **mm²** pour les conducteurs gainés et aérés mais attention, un prolongateur (rallonge) sur un enrouleur s'échauffe beaucoup plus à cause du manque de ventilation, il faut donc dérouler complètement les prolongateurs si l'on s'en sert à leur densité de courant maximale.

4.1.1 APPAREILS DONT L'ÉLÉMENT CHAUFFANT EST UNE RÉSISTANCE : (liste non exhaustive)

4.1.1.1 LES RADIATEURS :



À **convection naturelle** : la chaleur produit naturellement une circulation de l'air (l'air chaud monte à cause de sa densité moindre).



À **convection mécanique** : (ventilo convecteurs) un ventilateur force la circulation de l'air.



À **Infrarouge ou rayonnants** : la chaleur n'est pas seulement transmise par l'air, mais également par rayonnement, la résistance est quelquefois apparente, protégée ou non par un tube de quartz et un réflecteur dirige la chaleur, ils sont relativement efficaces, mais ont

l'inconvénient de nécessiter un espace libre, on ne doit pas en approcher de matière combustible à moins de 1 mètre.



À inertie sèche ou liquide : ces radiateurs sont généralement à convection naturelle, les résistances sont noyées soit dans du liquide (huile) ou dans un matériau qui accumule la chaleur (céramique, stéatite ou autre), ils ont une efficacité supérieure aux précédents et assurent une meilleure température ressentie grâce à une meilleure répartition dans le temps.

4.1.1.2 LES APPAREILS DE CUISSON :



Fours : avec ou sans fonction “grill”, avec ou sans “chaleur tournante” (ventilation), avec ou sans fonction “pyrolyse” (élimination des graisses par surchauffe prolongée), ou à “catalyse” (un traitement chimique limite l’adhérence des graisses), la ou les résistances chauffent directement les aliments.



Plaques de cuisson en fonte : ce moyen de cuisson a une grande inertie et exigent une surface du récipient parfaitement plane pour obtenir une bonne efficacité, à cause de l’inertie, l’utilisation de ces plaques nécessite une grande habitude pour arrêter la cuisson à temps.



Plaques de cuisson vitro cérame : Elles ont la même exigence que les plaques en fonte pour l'efficacité, mais avec beaucoup moins d'inertie.

4.1.1.3 LES FERS À FRISER, À REPASSER, À SOUDER ETC...

La résistance transmet directement la chaleur à la partie métallique.

4.1.1.4 LES CHAUFFE-EAU À ACCUMULATION :

Appelés communément "cumulus", La résistance est plongée dans l'eau, ils fonctionnent généralement associés à un dispositif permettant de consommer l'électricité la nuit pour profiter d'un tarif avantageux.

4.1.1.5 LES AMPOULES À INCANDESCENCE :

Dont seulement 10% environ de l'énergie sert à éclairer, le reste est perdu en chaleur, les ampoules à halogène permettent un échauffement encore plus élevé de filament et ont un rendement légèrement supérieur, elles sont censées durer plus longtemps que les ampoules simples grâce à un cycle qui ramène le tungstène (métal composant les filaments) volatilisé sur le filament lui-même mais nous en avons maintenant tous utilisé et pour ma part, je n'ai pas constaté d'augmentation de durée de vie, seulement une nette augmentation de leur prix...

4.1.2 ÉCHAUFFEMENT AUTRE QUE RÉSISTANCE :

4.1.2.1 LES APPAREILS DE SOUDURE À L'ARC :

Le poste de soudure à l'arc électrique n'est autre qu'un transformateur dont le secondaire est prévu pour délivrer une très forte intensité sous une faible tension (quelques volts), Le court circuit entre l'électrode et les pièces à souder produit un arc d'une très grande chaleur capable de faire fondre le métal, l'électrode constitue le métal d'apport, il possède généralement un dispositif de réglage permettant d'adapter l'intensité au diamètre de l'électrode et à l'épaisseur des pièces à souder.

Une nouvelle génération de postes de soudure appelés "**Inverter**", font appel à l'électronique, pour la transformation et le réglage, ils permettent d'avoir une tension de départ un peu plus élevée qui permet un amorçage plus efficace (c'était le gros point faible des anciens matériels) et grâce au découpage dont nous parlons au chapitre 6.2.2.2, Figure 41 page 43, la puissance s'adapte avec précision et le transformateur est bien moins important et bien moins lourd car le découpage est cadencé à des fréquences beaucoup plus élevées et les transformateurs en haute fréquence sont beaucoup moins importants.

De plus, ils fournissent un courant continu qui permet un arc plus constant tendant beaucoup moins à se désamorcer.



2 postes de soudure à l'arc (à Madagascar) dont un torique ! Pas de réglage, pas de sécurité mais ça marche quand même !

Figure 21 : Pour l'anecdote : postes de soudure à l'arc...

4.1.2.2 LE CHAUFFAGE DIT “À LA LAME DE RASOIR“:

Ce n'est pas à recommander, mais j'ai pratiqué à l'armée le chauffage de l'eau dans un “casque lourd” (pour faire la lessive, car l'eau ainsi chauffée n'est pas buvable), il s'agit du casque métallique de combat relié au fil neutre du courant d'éclairage (220 volts) rempli d'eau dans laquelle est plongée une lame de rasoir reliée au fil de phase, abstraction faite des dangers d'électrocution auxquels j'ai miraculeusement échappé, l'eau arrive assez vite à ébullition à cause du passage du courant entre la lame de rasoir (qui sert d'électrode et le casque), l'eau pure est un isolant, mais l'eau de ville est chlorée et en tout cas, “non pure”, c'est pour ça que ça marche ! Mais il vaut mieux se contenter d'un appareil appelé thermo plongeur vendu dans le commerce !

4.2 LE MAGNÉTISME :

Nous avons vu qu'un courant électrique parcourant un bobinage produit un champ (flux) magnétique, quand ce bobinage est autour d'un noyau, c'est un électro-aimant, là aussi, dans le cas de courant alternatif, pour éviter les courants de Foucault, le noyau doit être feuilleté ou en ferrite magnétique.

4.2.1 VOICI QUELQUES EXEMPLES D'APPAREILS À ÉLECTRO-AIMANTS :

4.2.1.1 LES GÂCHES ÉLECTRIQUES :

L'action de l'électro-aimant déverrouille l'ouverture d'une porte.

4.2.1.2 LES CONTACTEURS / LES RELAIS :

L'électro-aimant actionne un ou plusieurs interrupteurs (contacts) durant le temps où il est alimenté.

4.2.1.3 LES TÉLÉ RUPTEURS :

Appelés également relais bistables, ils actionnent un ou plusieurs interrupteurs, mais au contraire des relais, le ou les interrupteurs du télé rupteur restent en leur position même quand l'alimentation cesse, et ils reprennent la position inverse à la nouvelle commande, imagés par l'expression populaire “**un coup je te vois, un coup je te vois pas**”.

4.2.1.4 LES ANCIENNES MINUTERIES :

L'action de l'électro-aimant arme un mécanisme qui maintient un ou des interrupteurs en position fermée (le courant passe) pour une durée réglable contrôlée par un système mécanique souvent à balancier (dans les nouvelles minuterias, la durée est contrôlée par un circuit électronique).

4.2.1.5 LES MOTEURS :

Les moteurs sont une mise en œuvre particulière des électro-aimants, ils sont constitués d'une partie fixe appelée **Stator** et d'une partie mobile (rotative) appelée **Rotor**. Le rotor est constitué de plusieurs électro-aimants qui produisent un mouvement rotatif par rapport au stator grâce à leur alimentation distribuée par une pièce solidaire de leur axe appelée **collecteur**. Le courant est transmis au collecteur par l'intermédiaire de **balais** généralement en graphite appelés communément **charbons**.

4.2.2 CAS PARTICULIER DES NOUVEAUX MODES DE CUISSON :

4.2.2.1 LES FOURS À MICRO ONDES :

C'est une action électro magnétique, mais également d'échauffement, les micro ondes échauffent les aliments, notamment les liquides, par augmentation de l'**agitation moléculaire** *¹ le temps de chauffage est proportionnel à la quantité, l'efficacité est assez bonne car si le récipient est bien choisi, seule la partie concernée est échauffée, le récipient est échauffé par le contact du contenu, ce qui fait dire à certains que les aliments chauffés aux micro ondes se refroidissent plus vite, ce qui est vrai, mais pas à cause des micro ondes, mais à cause du transfert de la chaleur au contenant... Mais certaines porcelaines sont également chauffées par les micro ondes.

Deux précautions sont à prendre en cas d'utilisation des micro ondes !



Il ne faut jamais faire fonctionner un four à micro ondes vide, les micro ondes sont peut-être dangereuses pour la santé et si elles ne sont pas absorbées, elles peuvent être diffusées autour de l'appareil.



On ne doit pas introduire de partie métallique dans l'enceinte de cuisson, car les courants générés dans le métal pourraient provoquer des arcs susceptibles de détériorer les grilles carbonées qui servent de blindage sur la vitre de la porte du four et occasionner ainsi des diffusions de micro ondes à l'extérieur du four.

4.2.2.2 LES PLAQUES “À INDUCTION” :

Ce sont les courants de Foucault (les mêmes qui provoquent des pertes dans les transformateurs) qui font échauffer les récipients magnétiques, **pour savoir si un récipient est compatible avec les plaques à induction, il suffit de vérifier qu’il peut être attiré par un aimant, sinon, le récipient restera froid !**

Ces plaques ne présentent aucune inertie, elles n’exigent pas une surface de contact plane pour obtenir une bonne efficacité, leur utilisation ressemble à l’utilisation des modes de cuisson à gaz à une différence près, c’est qu’elles ne s’échauffent pas si aucun récipient compatible n’est en place, c’est une sécurité pour les enfants, mais après une cuisson, elles peuvent quand même avoir été chauffées par le récipient et présenter une chaleur résiduelle souvent signalée par un voyant.

**1 Les électrons des atomes des molécules constituant toute matière tournent autour de leur noyau, c’est appelé l’agitation moléculaire. Quand une matière s’échauffe, ses molécules s’agitent plus rapidement, et quand on agite les molécules plus rapidement, la matière s’échauffe...*

4.3 LA LUMIÈRE AUTRE QUE PAR CHAUFFAGE D’UN FILAMENT :

4.3.1 LA LUMINESCENCE :

Le passage du courant électrique au travers de certains gaz notamment néon les rend lumineux, cette action est souvent utilisée à faible puissance dans les lampes témoin, les enseignes publicitaires (pour des raisons de faible coût), chaque gaz émet sa couleur, pour les enseignes publicitaires, le trajet dans le gaz peut être long et cela nécessite une tension assez élevée mais avec une très faible intensité...

La luminescence est parfois utilisée à une puissance importante, c’est le cas des lampes à éclats dans l’automobile ou du flash de votre appareil photo.

4.3.2 LA FLUORESCENCE :

La fluorescence n’est pas une action du courant électrique lui-même, mais un moyen d’éclairage avec un rendement supérieur à celui des ampoules à incandescence, la lumière est produite par une peinture à l’intérieur d’un tube, qui est rendue lumineuse par des rayons ultraviolets obtenus par volatilisation de mercure certains sont à démarrage instantané, mais d’autres sont démarrés après préchauffage, par une surtension générée par la rupture d’alimentation d’une self appelée “ballast” dans ce cas, cette rupture d’alimentation est provoquée par l’échauffement d’un bilame dans un petit dispositif appelé “starter”.

Longtemps, les tubes fluorescents ont éclairé les locaux commerciaux ou de bureau mais rarement des logements (à cause de la couleur froide de cet éclairage assez peu compatible avec l’intimité d’un appartement et de leur aspect industriel).

Depuis quelques années, du fait de l’influence des écologistes, et les ampoules à incandescence tendent à être remplacées par de drôles d’appareils qui ressemblent à un chou-fleur, avec un culot énorme qui vous empêche de le mettre en remplacement de vos anciennes ampoules, c’est en fait un tube fluorescent enroulé quelquefois protégé par un verre dépoli, (le même qui a été interdit pour les lampes à incandescence), le système ballast / starter est remplacé par un système de conversion à découpage, c’est pourquoi il

rayonne...

4.3.3 L'ÉLECTROLUMINESCENCE DES DIODES :

Certaines diodes émettent de la lumière quand elles sont parcourues par un courant électrique, leur rendement est assez élevé, leur encombrement leur permet de remplacer vos anciennes ampoules sans remplacer vos luminaires, elles fonctionnent en courant continu et elles sont alimentées par un convertisseur à découpage comme les précédentes, et comme les précédentes, elles rayonnent, mais leur durée de vie est véritablement plus élevée.

4.4 LES EFFETS CHIMIQUES :

4.4.1 L'ACCUMULATEUR :

C'est la principale application des effets chimiques de l'électricité, en réalité, l'électricité n'est pas accumulée mais transformée en énergie chimique pendant la charge (en courant continu) et cette énergie chimique est transformée en électricité pendant la décharge mais tout se passe comme si l'électricité était accumulée.

4.4.2 LA GALVANOPLASTIE :

C'en est également une autre application, c'est le transfert par du courant continu, de métal dans un bain chimique (métaux argentés, dorés, cuivrés chromés). Le métal source est l'électrode positive appelée **anode** et la partie qui reçoit le traitement (pas obligatoirement métallique, mais obligatoirement conductrice) est l'électrode négative appelée **cathode** (dans certains traitements de l'aluminium pour le rendre inoxydable, les pièces à traiter sont connectées en tant qu'anode, cela devient de l'aluminium "anodisé", généralement de couleur noire).

4.5 LES EFFETS PHYSIOLOGIQUES :

Le courant électrique provoque de nombreuses actions en traversant les corps vivants : cela peut être des contractions musculaires, des désordres cardiaques, des brûlures et même l'électrolyse du sang.

4.5.1 LES CLÔTURES ÉLECTRIQUES :

Le courant pulsé à haute tension (jusqu'à 30 000) volts est utilisé pour contenir le bétail dans les prairies, les secousses ressenties sont très désagréables mais ne sont pas dangereuses car l'intensité est limitée et les secousses de faible durée, elles fonctionnent comme la bobine de Ruhmkorff Figure 8, page 7 mais le rupteur est ralenti pour donner des impulsions très espacées, certaines de ces clôtures sont maintenant alimentées par des panneaux photovoltaïques pour être autonome.

Il existe un autre type de clôtures électriques où les précautions contre la dangerosité n'ont pas été prises, ce sont les clôtures utilisées pendant les guerres ou aux frontières, là, l'intensité n'est pas limitée et le but n'est pas de dissuader mais d'éliminer ceux qui tentent de les franchir.

4.5.2 LA CHAISE ÉLECTRIQUE :

Encore plus horrible que les clôtures électriques aux frontières que l'on peut éviter, la chaise électrique est une autre application létale de l'électricité, la tension utilisée avoisine

les 3 000 volts avec toute l'intensité nécessaire.

Elle rassemble de nombreux détracteurs qui nient son efficacité contre la délinquance, ils veulent ignorer son efficacité de 100% contre la récidive.

4.5.3 LES APPAREILS MÉDICAUX :

Le courant électrique n'a heureusement pas que des effets négatifs pour le corps humain, il peut être très utile dans le domaine médical, notamment cardiaque :



Le **stimulateur cardiaque** (pacemaker) implanté dans la poitrine du malade peut surveiller le cœur à l'aide d'électrodes qui recueillent les impulsions et pallier à son ralentissement éventuel en déclenchant les contractions par les mêmes électrodes.



Le **défibrillateur** peut relancer un cœur arrêté par une brusque décharge appliquée à l'extérieur de la poitrine à l'aide d'électrodes de contact ressemblant à des fers à repasser, comme on le voit parfois au cinéma.



Les **appareils de mesure** divers et variés qui à l'aide d'électrodes surveillent le fonctionnement de nos organes utilisent les impulsions électriques naturelles de notre corps, entre autres : les **électrocardiographes et électroencéphalographes**.



Certaines applications utilisent le courant continu pour fluorer les dents par exemple.



Malgré leur réputation sulfureuse, les **électrochocs** ont rendu quelques services en psychiatrie.

5 CONVERSION ALTERNATIF CONTINU ALTERNATIF.

L'avantage du courant continu, est qu'il peut se stocker facilement grâce aux batteries d'accumulateurs. Par erreur, on utilise presque toujours le terme batterie pour désigner les accumulateurs mais il existe aussi des batteries de piles...Nous continuerons donc à utiliser le terme batterie pour les accumulateurs.

Comme on stocke l'électricité en courant continu, il est donc nécessaire de convertir le courant alternatif en courant continu pour le stockage et de convertir le courant continu stocké en courant alternatif pour les applications qui l'exigent.

Pour comprendre ce chapitre, il est nécessaire de connaître le comportement de certains composants.

5.1 COMPOSANTS PARTICULIERS :

Trois composants simples ont un comportement différent concernant le courant continu ou alternatif :

5.1.1 LA DIODE :

Ce composant ne laisse passer le courant que dans un seul sens et non dans l'autre (à la façon d'une valve de chambre à air qui laisse passer l'air seulement dans le sens du gonflage), d'ailleurs, cet élément s'appelait aussi valve dans les postes de radio à tubes, il peut être également comparé à un clapet anti-retour en plomberie.

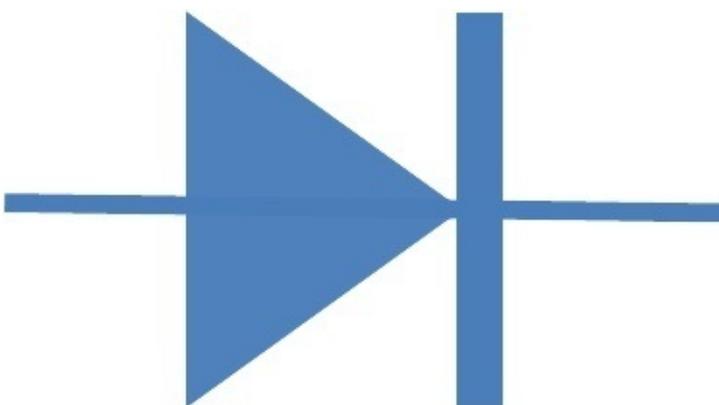


Figure 22 : Représentation symbolique de la diode

5.1.2 LA SELF (BOBINAGE AVEC OU SANS NOYAU MAGNÉTIQUE) : Ce composant oppose une grande résistance contre le courant alternatif mais très faible contre le courant continu, je n'ai pas trouvé comment illustrer ces propos, l'explication est que

quand un bobinage est traversé par un courant électrique, il produit un flux magnétique, à l'établissement du courant, il y a donc une brève variation de flux mais ensuite, le flux est stabilisé, mais si le courant est alternatif, il y a donc une variation de flux répétée. Cette variation de flux produit un courant induit dans le bobinage qui lui a donné naissance (self induction, d'où le nom du composant) et cette variation de flux s'oppose à celle qui l'a générée : **“Les courants induits sont de tel sens que le flux qu'ils produisent tend toujours à s'opposer à la variation de flux qui leur a donné naissance”** C'est la loi de Lenz...

5.1.3 LE CONDENSATEUR :

Ce composant est constitué de deux surfaces métalliques séparées par un isolant, le courant ne devrait pas passer au travers, mais le condensateur peut être chargé, c'est à dire que des électrons enlevés à une des deux surfaces sont recueillis par l'autre, cet équilibre peut être conservé à cause de l'attraction des électrons de la plaque négative (en surplus d'électrons) par la surface positive (en manque d'électrons).

Plus l'isolant est mince et plus la surface en présence est importante, plus la capacité de charge du condensateur est importante, la capacité est donc proportionnelle de la surface en présence et inversement proportionnelle à l'épaisseur de l'isolant.

En reprenant notre comparaison hydro électrique, il peut être comparé à un réservoir qui serait séparé en son milieu par une membrane élastique, on comprend que si la fréquence des charges et charges inverses est suffisamment élevée, il n'oppose pratiquement pas de résistance au passage du courant alternatif, le courant est proportionnel à la fréquence et à la capacité du réservoir... La capacité est aussi la mesure des condensateurs.

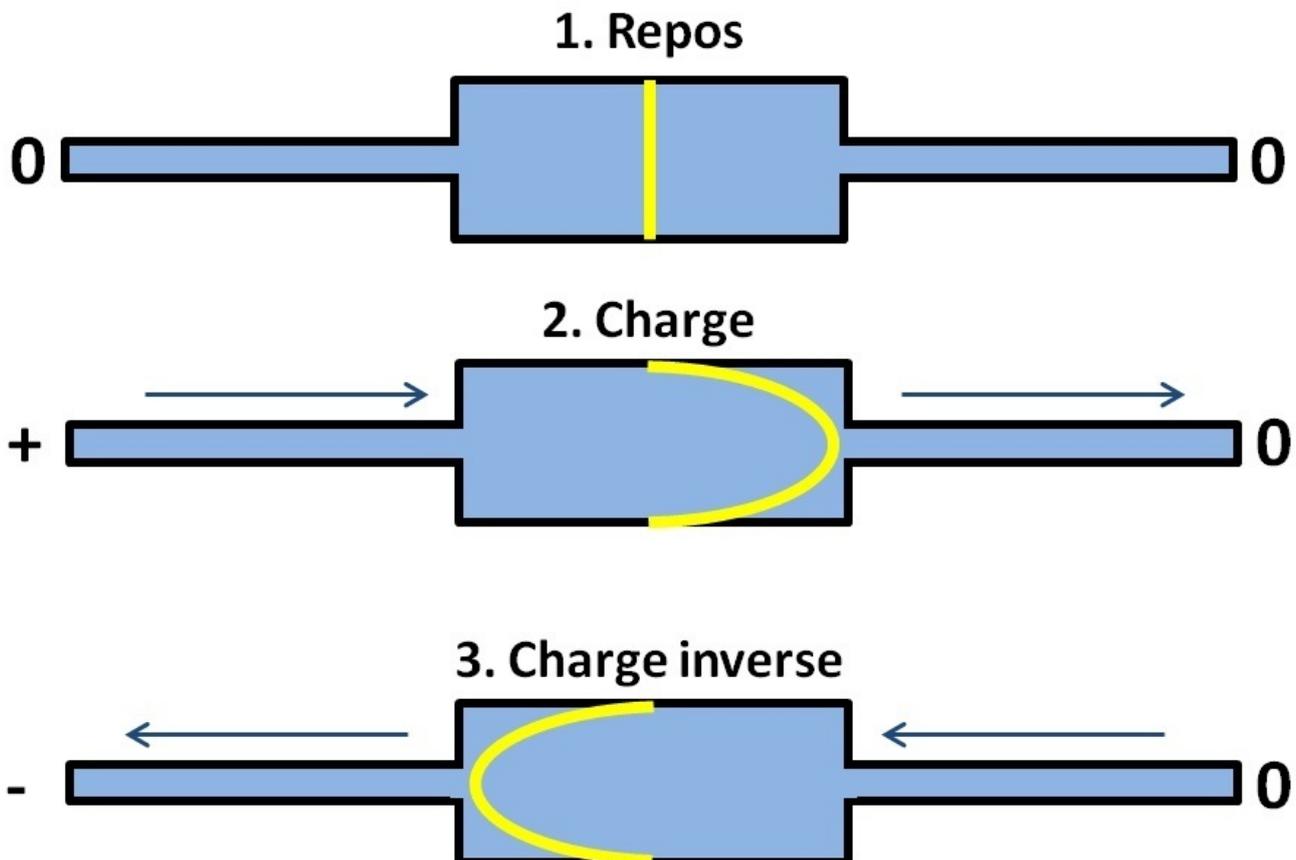


Figure 23 : “Passage” du courant alternatif dans le condensateur

Pas une seule goutte d'eau ne passe au travers de la membrane, mais c'est bien un mouvement, donc un courant, alternatif d'eau qui circule dans les tuyaux...

5.2 CONVERSION ALTERNATIF VERS CONTINU :

Nous avons vu que **la galvanoplastie** nécessite du courant continu, c'est également le cas dans plusieurs secteurs de l'industrie chimique et métallurgique (traitements de l'aluminium notamment), et **les applications électroniques** fonctionnent en courant continu.

Les équipements automobiles fonctionnent en courant continu à cause de sa facilité de stockage (accumulateurs).

Ce livre étant destiné au grand public et non aux industriels ni aux professionnels, nous ne traiterons ici que le cas des utilisations du courant alternatif monophasé pour en faire du courant continu.

Dans les installations domestiques communes, l'arrivée de l'électricité est composée de deux conducteurs : l'un dit "**neutre**" qui est effectivement au potentiel de la terre, c'est à dire **0 V**, et l'autre dit "**phase**" dont le potentiel varie de **+220 V à -220 V (efficaces) *2**, 50 fois par seconde.

Le passage de +U à -U volts ne se fait pas brusquement mais progressivement. La figure ci-après montre la variation de tension dans le temps pour une "**période**" (une alternance positive et une alternance négative en 20 millisecondes).

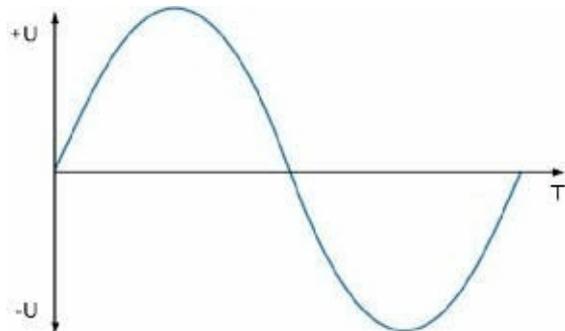


Figure 24 : Courbe de la variation de tension fonction du temps

Pour les puissances importantes, des "usines électriques" ont été conçues, des moteurs alternatifs entraînant des dynamos, le métro parisien a longtemps été alimenté de cette façon.

Pour les puissances moins élevées, il faut "redresser" le courant alternatif, c'est-à-dire remettre les deux alternances dans le même sens (positif ou négatif), nous obtenons ainsi un courant unidirectionnel, mais toujours pas continu.

* 2 La **tension efficace** correspond à la tension continue qu'il faudrait appliquer à une résistance pour obtenir le même résultat, elle est égale à la tension "crête à crête" U divisée par ($\sqrt{2}$), la tension **crête à crête** : U pour 220 V est donc égale à : !

Le redressement est réalisé à l'aide d'un élément appelé **diode**, (semi-conducteur) c'est un élément qui laisse passer le courant électrique dans un seul sens, dont nous parlons au chapitre 5.1.1 page 27

5.2.1 IL Y A EU PLUSIEURS TECHNOLOGIES DE DIODES :



Les tubes radio (maintenant abandonnés),



Des ensembles à **vapeur de mercure** (coûteux),



Des ensembles **tungstène / argon** (abrévés tungar),



Des ensembles **cuiivre / oxyde de cuiivre** (cuproxyde),



Des cellules au **sélénium** (un peu fragiles et encombrantes),



Des diodes au germanium (pour les faibles puissances et la radio)



Des diodes au **silicium** (seules utilisées maintenant).

5.2.2 ON DISTINGUE DEUX TYPES DE REDRESSEMENT :

5.2.2.1 LE REDRESSEMENT SIMPLE ALTERNANCE :

une seule des deux alternances est utilisée, l'autre est purement et simplement supprimée, ce type de redressement est rarement utilisé, typiquement pour charger les accumulateurs, mais pour d'autres applications nécessitant un courant parfaitement continu, le filtrage (dont nous allons parler plus loin) ne serait pas assez efficace.

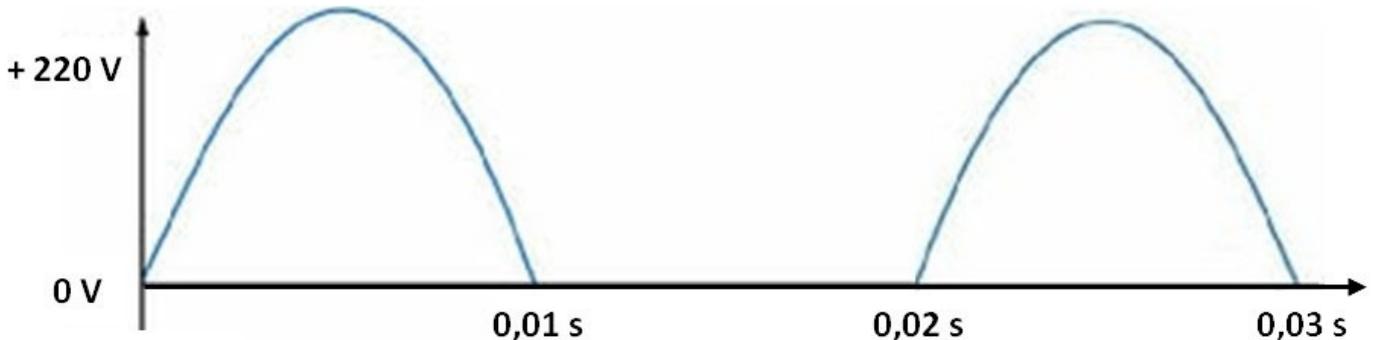


Figure 25 : Redressement simple alternance

5.2.2.2 LE REDRESSEMENT DOUBLE ALTERNANCE :

les deux alternances sont utilisées, ramenées dans le même sens.

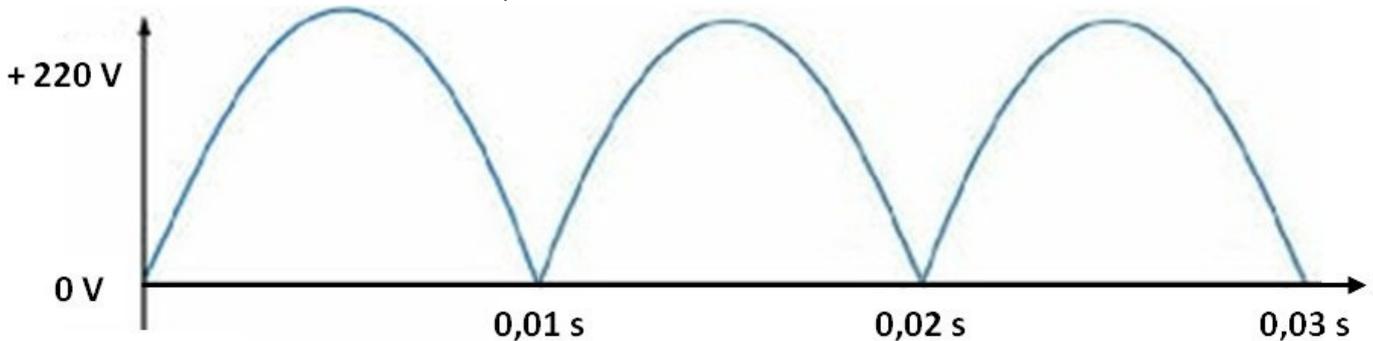


Figure 26 : Redressement double alternance

La figure suivante montre le chemin du courant dans le montage de redressement double

alternance le plus couramment utilisé appelé “redresseur en pont”, dans l’exemple, le “récepteur” est une lampe d’éclairage pour la simplicité du schéma, mais ce n’est bien sûr pas l’utilisation habituelle de ce montage.

On peut noter que le courant ainsi redressé **sans filtrage** a une tension efficace égale à celle du courant alternatif, une lampe à incandescence n’éclairera pas plus avec ce courant redressé qu’elle n’éclairerait avec le courant alternatif source, par contre, **après filtrage**, la lampe recevrait pratiquement la tension crête à crête, c’est à dire **311 V** ! voir note 2 page Erreur ! Signet non défini.

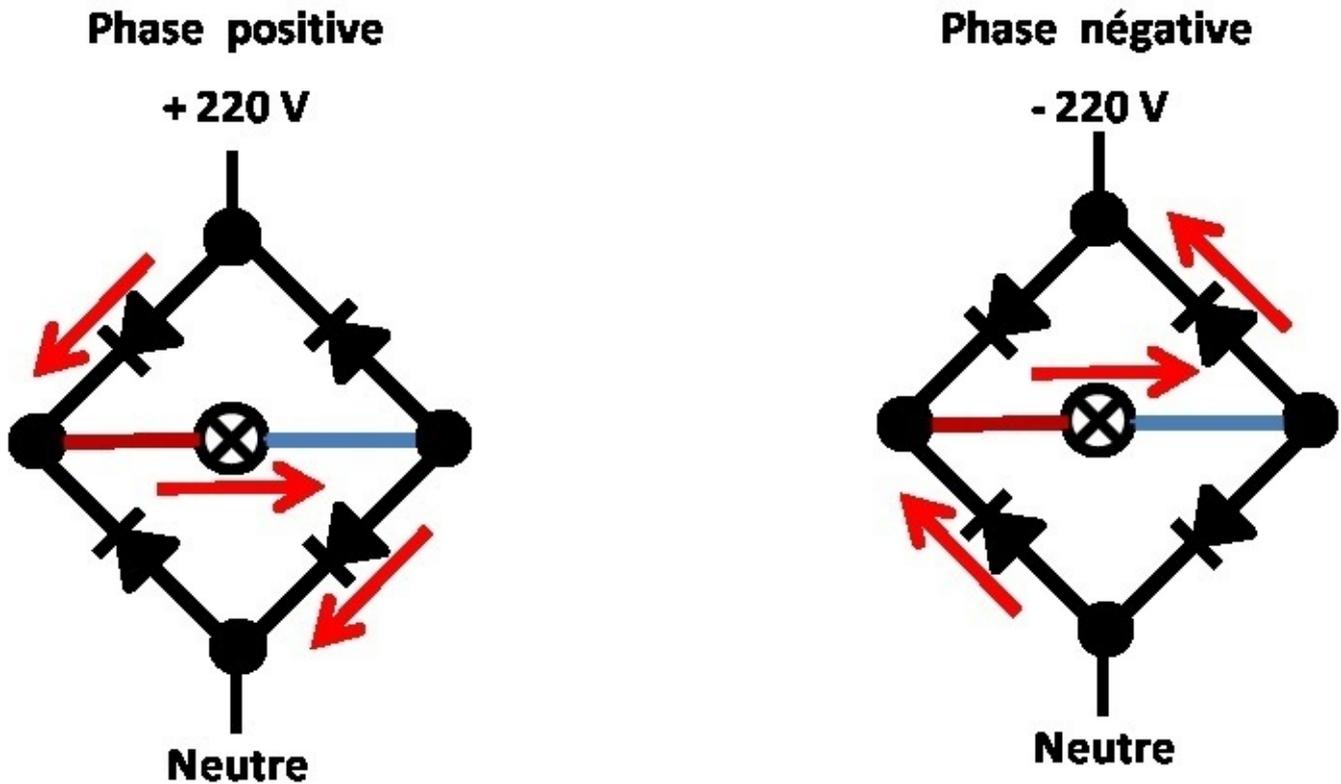


Figure 27 : Montage redresseur dit “en pont”

Dans de nombreuses applications, notamment électroniques, le courant unidirectionnel utilisé doit être abaissé (souvent à 5 ou 12 Volts) et “filtré” pour obtenir un courant parfaitement continu, le filtrage est obtenu à l’aide de bobinages, presque toujours avec un noyau magnétique, appelés **selfs** et de **condensateurs**.

La self oppose une grande résistance au courant alternatif, voir chapitre 5.1.2 page 27 et les condensateurs peuvent être comparés à de petits accumulateurs, voir chapitre 5.1.3 page 28 .

Le montage appelé filtrage en Pi à cause de sa forme rappelant la lettre grecque du même nom, est le plus couramment utilisé, le premier condensateur est appelé tête de filtre, les condensateurs sont polarisés, de type électrolytique seuls à offrir une capacité suffisante (la capacité d’un condensateur est la quantité d’électricité qu’il peut accumuler), elle se mesure en “Farad” en souvenir de Faraday, le **Farad** est une unité très grande et ce sont ses sous multiples qui sont utilisés : le microfarad **μF** = 10^{-6} F, le nanofarad **nF** = 10^{-9} F et le picofarad **pF** = 10^{-12} F.

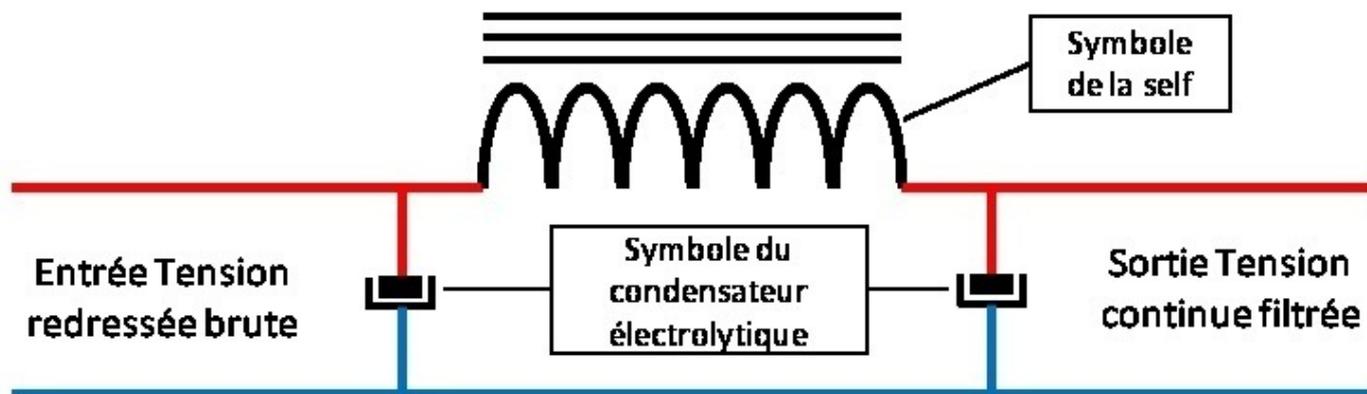


Figure 28 : Filtrage en Pi

5.2.3 COMPARAISON DES PRINCIPAUX TYPES DE BATTERIES :

5.2.3.1 BATTERIES AU PLOMB (Pb) :

Elles ont été longtemps les plus répandues surtout les batteries fixes, entre autres dans les utilisations suivantes : **Centraux téléphoniques**, ordinateurs, automobile, groupes de secours (notamment pour les phares côtiers).

Les batteries au plomb de grande capacité sont souvent réalisées “à bacs ouverts”, il faut garder en mémoire qu’en fin de charge, le courant électrique ne peut plus être transformé en énergie chimique mais il est transformé en chaleur et il provoque l’électrolyse de l’eau, ce qui produit de l’oxygène et de l’hydrogène... Dans un mélange d’une proportion explosive ! Il est donc primordial que les locaux qui accueillent ces batteries soient très ventilés.

Avantages : Robustesse, très faible résistance interne permettant des intensités instantanées très élevées, stabilité de la tension pendant la décharge.

Inconvénients : Poids élevé, Volume important, seuil critique de la tension de décharge provoquant en cas de dépassement, la dégradation irréversible de la capacité.

5.2.3.2 BATTERIES NICKEL / CADMIUM (Ni-Cd) :

Elles ont remplacé les batteries au plomb, notamment dans l’aéronautique, et, plus tard, dans les appareils portatifs : Téléphones, radio, et autres.

Avantages : Poids et volume raisonnables, grande durée de vie en nombre de cycles charge / décharge, recharge aisée même après une longue période de stockage et même à froid.

Inconvénients : Effet mémoire empêchant la batterie de restituer toute son énergie en cas de charge partielle, autodécharge importante, courbes de charge et décharge critiques (voir encadré).

5.2.3.3 BATTERIES NICKEL / MÉTAL HYDRIDE (Ni-MH) :

Utilisées dans les outillages portatifs notamment, ainsi que dans les caméras ou les téléphones.

Avantage : Effet mémoire très diminué.

Inconvénients : Détection de fin de charge compliquée, durée de vie en nombre de cycles charge / décharge moins importante que pour le Ni-Cd, courbes de charge et décharge critiques (voir encadré).

5.2.3.4 BATTERIES AU LITHIUM (Li-ION) :

Elles remplacent de plus en plus les précédentes dans presque toutes les utilisations.

Avantages : Aucun effet mémoire, autodécharge très faible, charge partielle bénéfique, aptitude à fournir des intensités relativement importantes.

Inconvénient : courbes de charge et décharge critiques et différentes selon les constructeurs (voir encadré), Présentent un grand danger d'explosion en cas de surchauffe.

Toutes les batteries sont détériorées par la surcharge !

Les batteries au plomb acceptent des courants de charge et de décharge variables sans inconvénient tant qu'on ne dépasse pas le seuil de 1,85 volt par élément pendant la décharge. Elles peuvent donc être montées en "tampon", c'est à dire maintenues en permanence en fin de charge par un léger courant d'entretien, elles assurent le filtrage le plus efficace, et elles sont prêtes à assurer le fonctionnement sans coupure en cas de rupture de l'alimentation.

Les autres batteries nécessitent de respecter des régimes de charge compliqués et une surveillance des fins de charge et décharge, les paramètres de charge et décharge peuvent différer pour un même type de batterie suivant le constructeur, c'est pourquoi il n'est pas souhaitable de remplacer une batterie d'origine par une batterie adaptable !

5.3 CONVERSION CONTINU VERS ALTERNATIF :

Pour certaines applications, l'énergie stockée ne peut être utilisée en courant continu. Si les appareils électroniques ou les centraux téléphoniques sont alimentés en courant continu, les ordinateurs de bureau, les appareils médicaux, les appareils électroménagers et bien d'autres ne fonctionnent qu'en courant alternatif.

Deux dispositifs sont couramment utilisés pour la conversion du courant continu en courant alternatif :

5.3.1 LES ONDULEURS :

Il s'agit de dispositifs électroniques statiques à transistors, alimentés par une batterie d'accumulateurs mais ces dispositifs ne donnent généralement que de faibles puissances, mais cela peut suffire pour des ordinateurs de bureau par exemple ou du petit électroménager tel que télévision etc. Les onduleurs sont silencieux et leur démarrage est quasi instantané, ils sont souvent utilisés en camping, déplacements, bateaux etc.

5.3.2 LES GROUPE ÉLECTROGÈNES :

Là, il ne s'agit pas seulement de conversion continu vers alternatif, même si l'ensemble "moteur à courant continu / alternateur" alimenté par une batterie d'accumulateurs existe pour les puissances importantes, mais aussi de la production de courant alternatif de secours individuelle.

Ce sont des ensembles constitués d'un moteur généralement thermique entraînant un alternateur, ces dispositifs peuvent délivrer une puissance respectable et présentent une grande autonomie, mais l'inconvénient est qu'ils nécessitent un temps de démarrage non négligeable et ils sont bruyants et polluants, ils sont utilisés pour assurer la permanence du service en cas de panne (hôpitaux, hôtels, entreprises, ascenseurs etc.) ou pour des installations provisoires.

6 LES INSTALLATIONS FINALES.

6.1 TRIPHASÉ ÉTOILE / TRIANGLE :

Après transformation finale, il existe 3 tensions de base dans les réseaux, Le premier nombre indique la tension entre phase et neutre, et le nombre **en gras** indique **la tension entre phases** :



127 / **220** (maintenant délaissé en Europe mais encore employé aux U.S.A.)



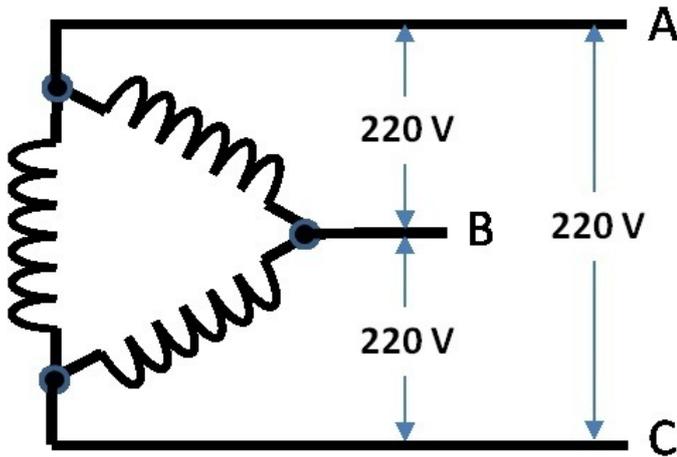
220 / **380** (dit 220 / 400 maintenant le plus utilisé)



380 / **660** (dit 400 / 690 plus répandu dans l'industrie).

Les appareils prévus pour fonctionner en triphasé (souvent des moteurs) peuvent généralement être raccordés "en étoile" ou "en triangle" ce qui leur permet d'être utilisés sur deux de ces réseaux.

Raccordement en triangle



Raccordement en étoile

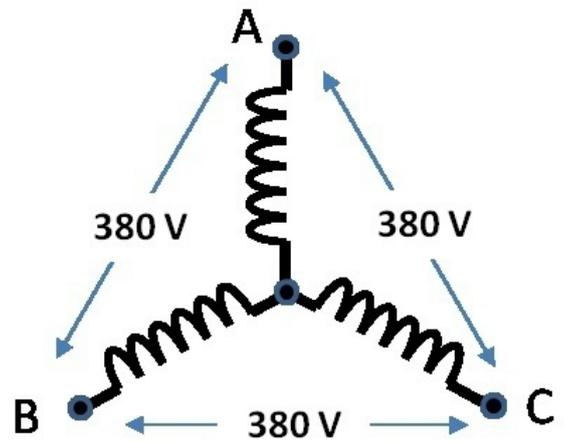


Figure 29 : Raccordements étoile / triangle

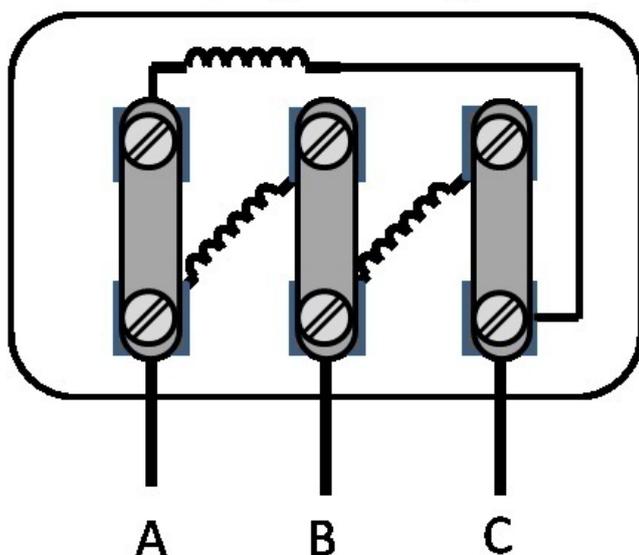
L'exemple montre les raccordements possible d'un moteur prévu pour 220 volts, il est à noter que le fil neutre n'est pas utilisé même dans le cas de raccordement en étoile.

Le raccordement en triangle applique directement la tension entre phases (220 volts) à chacun des éléments (enroulement ou résistance) alors que dans le cas du raccordement en étoile, chaque élément reçoit la tension entre phases divisée par

Dans le cas d'un moteur, on peut aussi retenir que l'on inverse le sens de rotation simplement en croisant deux fils de phase.

Le couplage des éléments en étoile ou en triangle se fait généralement au niveau de la plaque à bornes de raccordement par la mise en place de barrettes suivant les exemples ci après.

Couplage triangle



Couplage étoile

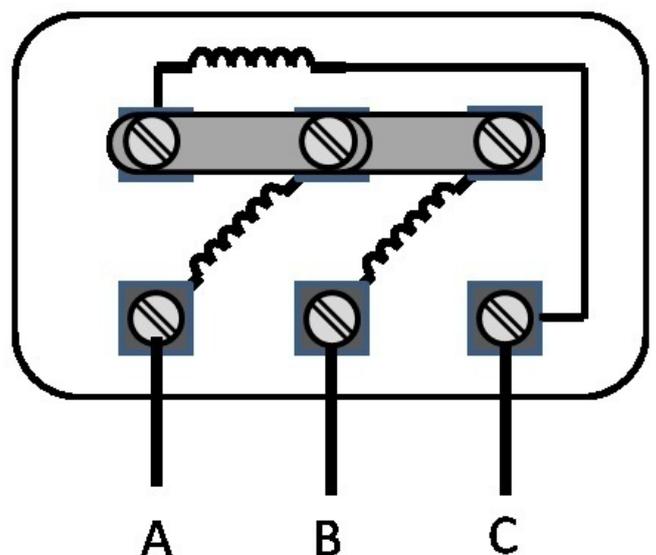


Figure 30 : Plaque à bornes de raccordement étoile / triangle

Le fil neutre n'est pas utilisé parce que les trois éléments sont équilibrés (représentent la même charge) si ce n'était pas le cas, la tension ne serait pas égale dans les éléments. Dans les installations domestiques, on n'utilise généralement qu'une phase et le fil neutre.

6.2 LES INSTALLATIONS DOMESTIQUES :

Comme nous l'avons dit au chapitre précédent, dans les installations domestiques communes, l'arrivée de l'électricité est assurée par deux conducteurs : l'un dit "neutre" qui est effectivement au potentiel de la terre, c'est à dire 0 V, et l'autre dit "phase" dont le potentiel varie de +220 V à -220 V (efficaces) 50 fois par seconde (nous ne traitons pas ici le cas particulier du courant triphasé que l'on peut considérer en ce qui nous concerne comme trois installations séparées).

Ces deux conducteurs traversent un compteur qui mesure la consommation en Wattheure et son multiple Kilowattheure. Pour mémoire : **100 Watts** pendant **une heure = 100 Wattheures** puis un disjoncteur général qui peut isoler toute l'installation, rien ne doit être branché avant ce disjoncteur général ! (encore moins avant le compteur, mais là, ce n'est pas pour la sécurité). Ce disjoncteur est souvent "différentiel" ($\Delta I = 0,5 \text{ A}$) si l'installation n'est pas trop ancienne, nous en parlons en détail plus loin.

Cette énergie doit ensuite être répartie vers les différents points de consommation (tout comme l'eau), on dispose généralement d'un "coffret de distribution" appelé aussi "tableau électrique" équipé maintenant d'un certain nombre de "disjoncteurs" remplaçant les anciens "fusibles". Dans l'exemple ci après, il est constitué de :



1 interrupteur différentiel de 40 A ($\Delta I = 0,03 \text{ A}$)



1 disjoncteur de 32 A (typiquement pour un appareil de cuisson)



2 disjoncteurs de 20 A (typiquement pour lave-linge ou lave-vaisselle)

●
3 disjoncteurs de 16 A (typiquement pour les prises)

●
2 disjoncteurs de 10 A (typiquement pour l'éclairage)

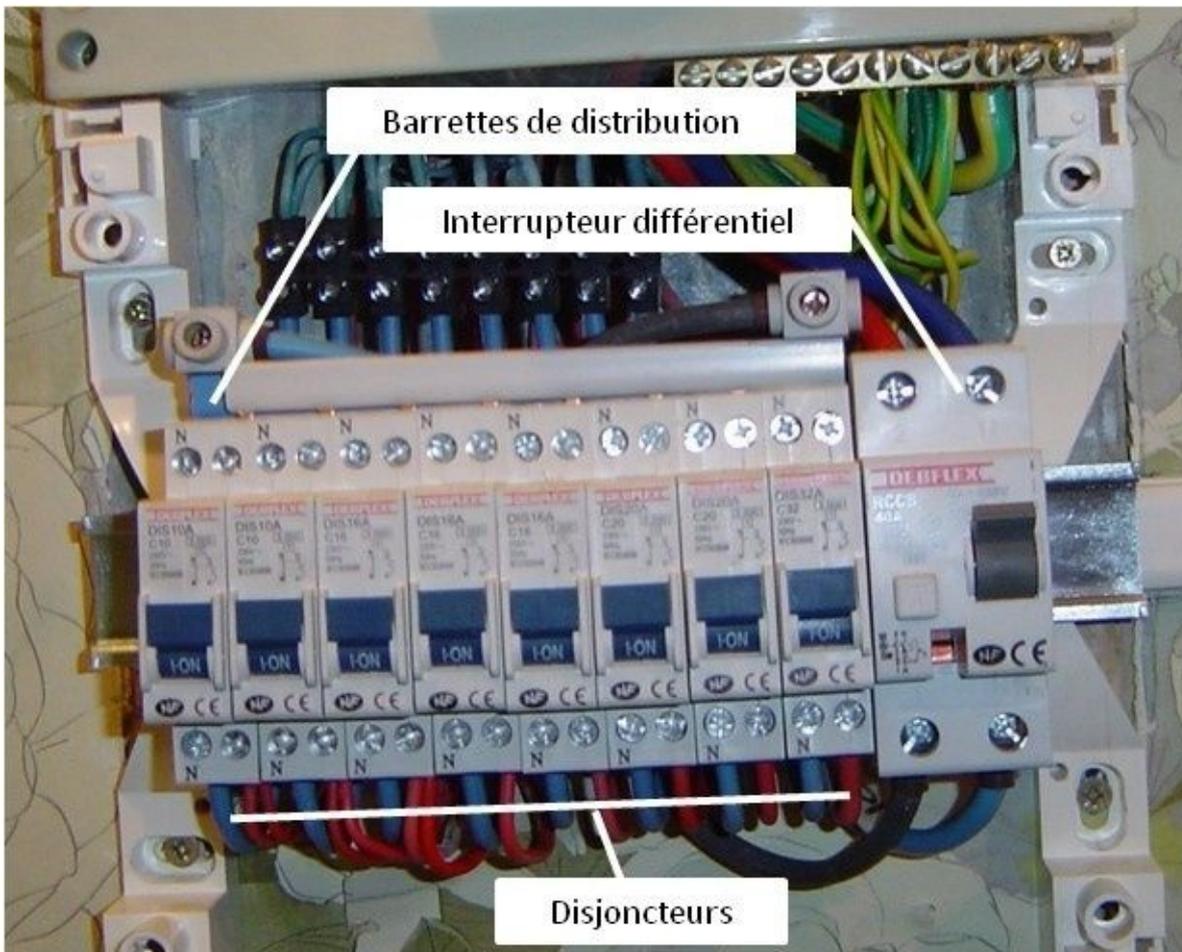


Figure 31 :

Tableau électrique ouvert

Comme on peut le voir sur l'image, l'énergie est distribuée aux disjoncteurs depuis l'interrupteur différentiel par des barrettes appelées également peignes, nous verrons plus loin au chapitre des dangers, les risques de la distribution dite "en cascade".

Les disjoncteurs qui constituent le tableau peuvent être :

THERMIQUES : une surintensité déclenche la coupure du circuit par l'échauffement, mais

ce système est lent et une surintensité importante et rapide (court circuit par exemple) peut occasionner des dégâts avant que le disjoncteur n'ait coupé le circuit.

MAGNÉTIQUES : une surintensité déclenche la coupure du circuit immédiatement mais ce système rapide ne permet pas d'admettre des légères surintensités de courte durée notamment provoquées par les démarrages de moteurs (réfrigérateurs par exemple).

MAGNÉTOTHERMIQUES : c'est l'association de ces deux systèmes, la partie magnétique est réglée à une valeur légèrement supérieure à la valeur nominale et la partie thermique est réglée à la valeur nominale. De cette façon, un court circuit provoque la coupure du circuit instantanément par la partie magnétique, et une surintensité même légère mais durable est interrompue par la partie thermique.

Les disjoncteurs **utilisés maintenant** sont généralement de type **magnétothermiques**.

Dans cet exemple, il s'agit d'une installation assez peu équipée, mais des installations plus conséquentes nécessitent plusieurs rangées de disjoncteurs, dans ce cas, il est d'usage de prévoir un interrupteur ou disjoncteur différentiel par rangée.

D'autres appareils (au même format que les disjoncteurs) sont souvent intégrés dans les tableaux électriques tels que :



Télé rupteurs, minuteries,



Vibreurs, sonneries,



Relais "jour/nuit" pour les chauffages à accumulation,

●

Prise de tableau (plus large qu'un disjoncteur),

●

Vibreurs ou sonneries.

L'étiquetage est également très important, au point de vue sécurité, l'image suivante montre le tableau électrique fermé avec son étiquetage.

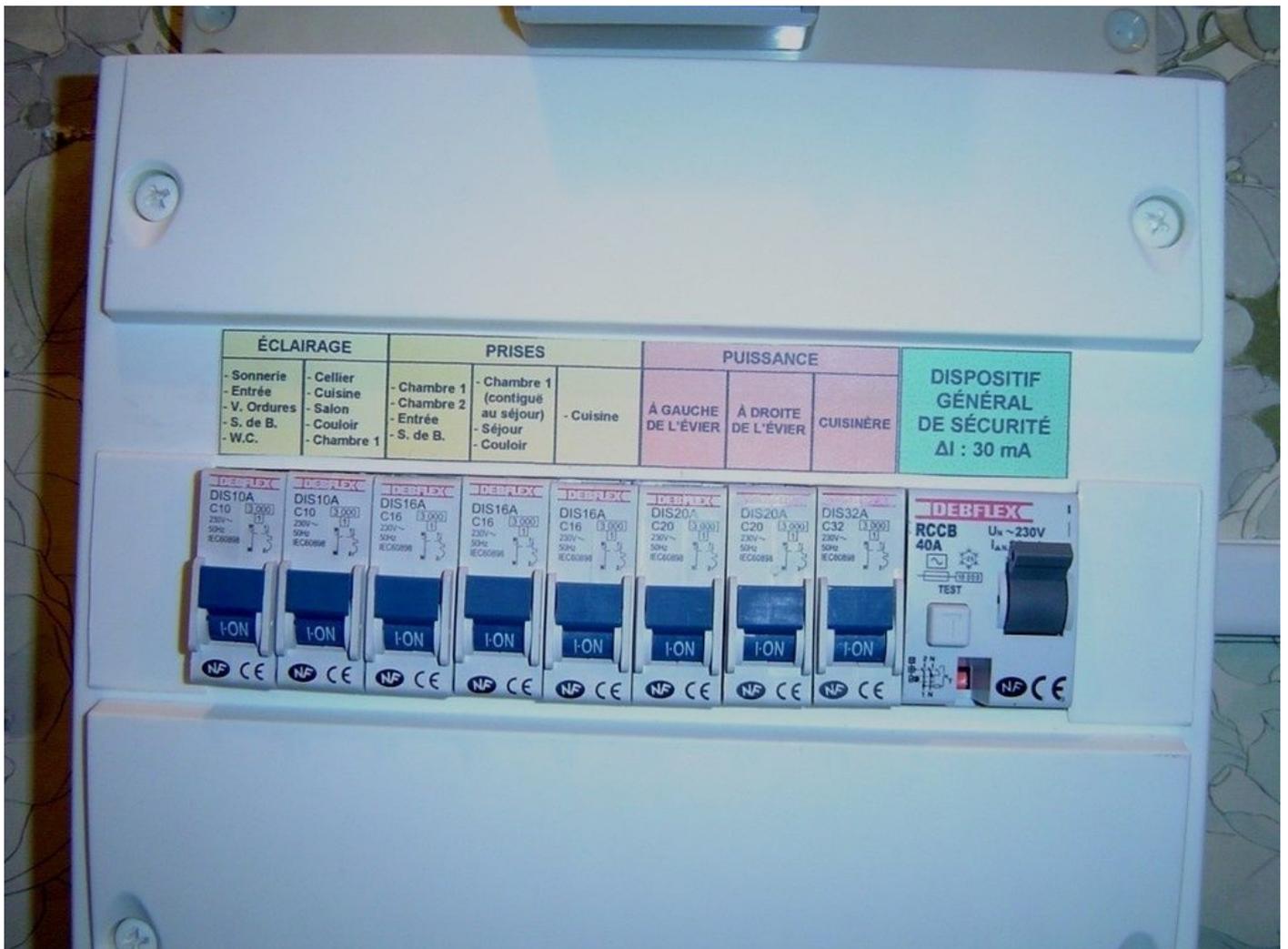
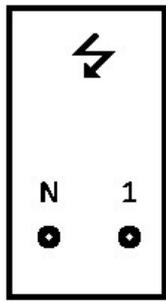
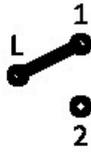


Figure 32 : Tableau électrique étiqueté

Je vais maintenant décrire quelques circuits usuels, voici les symboles utilisés.



Disjoncteur



Interrupteur
(bistable)



Bouton poussoir
(momentané)



Lampe
d'éclairage



Prise de
courant



Télé rupteur

Avant de commencer, voici quelques conventions qui malheureusement ne sont pas toujours respectées... Cela éviterait pourtant bien des erreurs ou des accidents : La couleur du fil **neutre** est le **bleu**, et pour la sécurité, aucun autre conducteur que le neutre ne devrait être bleu et aucun conducteur neutre ne devrait être d'une autre couleur que bleu.

La couleur du fil de **terre** est le **jaune/vert**, aucun autre conducteur que le fil de terre ne devrait être jaune/vert et aucun fil de terre ne devrait être d'une autre couleur que jaune/vert.

La couleur du fil de **phase** direct est de préférence le **rouge**.

Les autres conducteurs (phase commandée, navettes de va et vient, commandes de minuteries ou de télé rupteurs etc.) peuvent être de n'importe quelle couleur **autre que bleu ou jaune/vert**.

Dans certaines installations anciennes, on trouve des fils **neutres** en **gris ou blanc**, mais c'est de plus en plus rare.

6.2.1 QUELQUES SCHÉMAS :

Commençons par le circuit d'éclairage le plus élémentaire, c'est le même qu'avec les piles, on le trouve pratiquement dans chaque pièce d'un appartement : un interrupteur commandant une ou plusieurs lampes : Si L'interrupteur est en position 1, les lampes sont éteintes, et en position 2, elles sont allumées.



Figure 33 : Circuit d'éclairage simple

Cela se passe de commentaire, passons de suite à un circuit aussi courant mais pas toujours compris appelé : Le "**va et vient**". J'ai toujours été étonné d'être pris quelquefois pour un gourou parce que je pouvais installer ou dépanner un va et vient alors que c'est si

simple...

Le but est de commander l'éclairage d'un point ou d'un autre d'une pièce, c'est une extension du montage précédent dans lequel si les deux interrupteurs sont en position 1 ou en position 2 (en contact avec la même navette), les lampes sont allumées, et si les deux interrupteurs sont en positions différentes, les lampes sont éteintes.

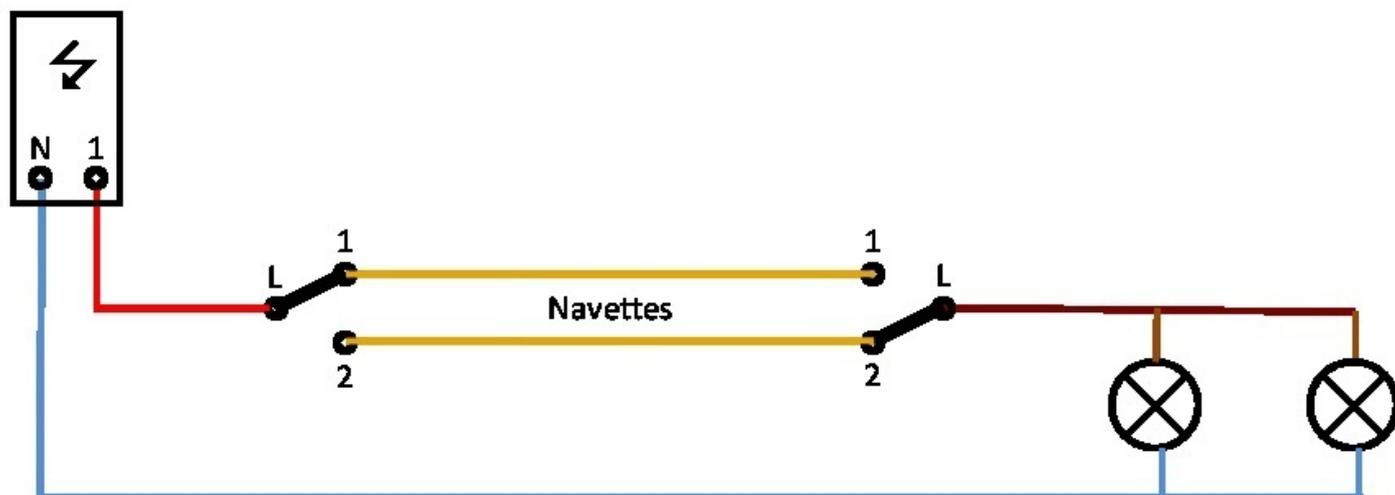


Figure 34 : Montage Va et vient

Il se peut que l'on veuille commander un éclairage de plus de deux endroits, cas d'une grande salle de séjour ou d'un sous sol ou pour toute autre raison, on fera alors appel au télérupteur, c'est un commutateur bistable, commandé par impulsion, les interrupteurs sont remplacés par des "boutons poussoirs", une pression sur l'un quelconque des boutons poussoirs change l'état allumé ou éteint

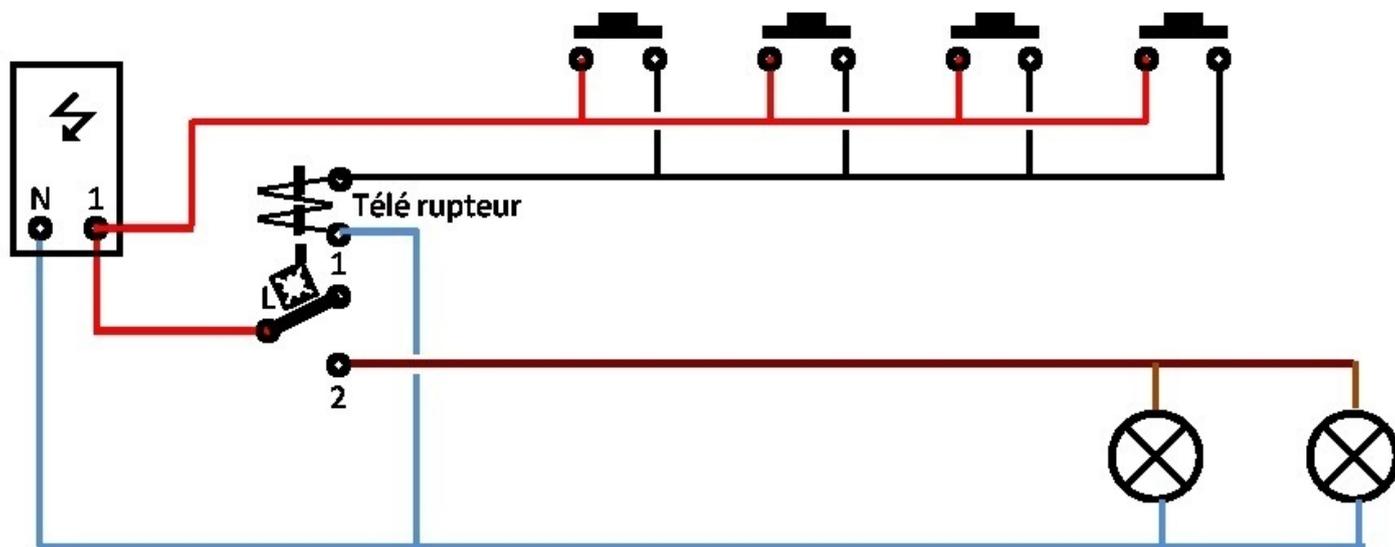


Figure 35 : Remplacement du va et vient par le télérupteur

Le montage est exactement le même pour une minuterie, seul l'appareil se comporte différemment, au lieu d'être bistable, après l'appui sur un des boutons poussoirs, il reste allumé durant un temps prédéfini et revient seul à l'état éteint à la fin de ce temps.

6.2.2 APPAREILS ET ÉLÉMENTS DIVERS :

6.2.2.1 LAMPES TÉMOIN À GAZ RARE :

Les interrupteurs sont parfois équipés de lampes témoin à gaz rare (néon ou autre suivant la couleur) qui peuvent avoir deux fonctions : Repérage pour qu'on puisse les trouver dans le noir ou Témoin (avec un raccordement différent) afin de signaler que l'élément

commandé est sous tension. La consommation d'une lampe à gaz rare est tellement infime qu'elles peuvent être raccordées directement "en parallèle sur les bornes de l'interrupteur, le courant qui les traverse ne perturbe pas l'installation.

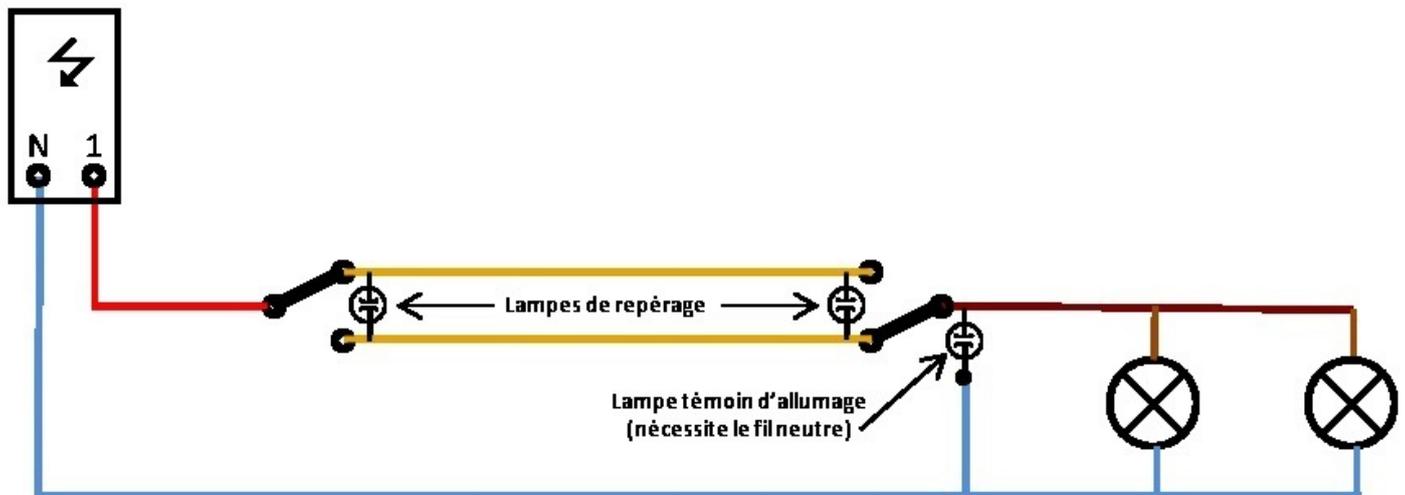


Figure 36 : Raccordement de lampes témoin à gaz rares

6.2.2.2 LES VARIATEURS DE LUMIÈRE :

La modulation de l'éclairage a toujours été un élément de confort devenu impossible depuis que les écolos on sévi (les lampes à économie d'énergie même à D.E.L.*³ sont incompatibles avec ces accessoires), ils ont été réalisés suivant trois technologies :



Les anciens modèles appelés **rhéostats** (c'est une résistance variable insérée dans le circuit) ils avaient un inconvénient majeur : ils diminuaient la lumière en dissipant une partie de l'énergie en chaleur, ce qui diminuait encore le rendement des lampes déjà déplorable : pour réduire la puissance de la lampe au quart, il faut insérer une résistance équivalente à celle de la lampe, la lampe reçoit le quart de la puissance, mais la résistance également, l'ensemble consomme donc la moitié de l'énergie initiale pour un quart d'éclairage, ils étaient très volumineux surtout pour les grandes puissances, utilisés principalement dans les spectacles.

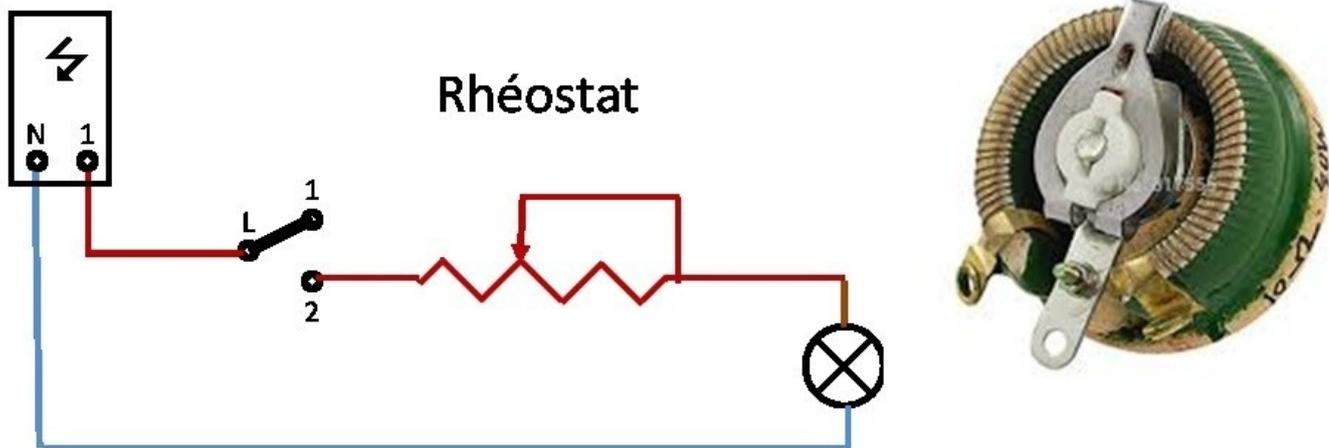


Figure 37 : Schéma et photo du rhéostat

***3** Je préfère utiliser l'abréviation française : **D.E.L. Diode ElectroLuminescente** que l'abréviation anglaise **L.E.D. LightEmitting Diode** (c'est la même chose et ça fonctionne aussi bien !)



Les modèles à “triacs” (2 thyristors tête-bêche) : Le thyristor est un composant qui se comporte comme une diode commandée par une gâchette, il laisse passer le courant d'une alternance après le déclenchement jusqu'à son passage par zéro, la quantité d'énergie utilisée par l'appareil dépend donc du niveau de déclenchement de chaque alternance. La réduction de puissance ne peut être que de moitié (déclenchement seulement à la tension de crête). Ces variateurs sont les plus utilisés actuellement pour l'éclairage (à incandescence notamment halogène), les moteurs des petits appareils électroménagers et d'outillage.



Remarque : Pour l'éclairage halogène, il est conseillé de ne pas éteindre puissance réduite mais de laisser environ 5 minutes à pleine puissance avant d'éteindre pour que le cycle de retour du métal sur le filament se termine normalement (à puissance réduite, la fonction halogène est annulée puisque la température du filament se rapproche de celle d'une lampe ordinaire).

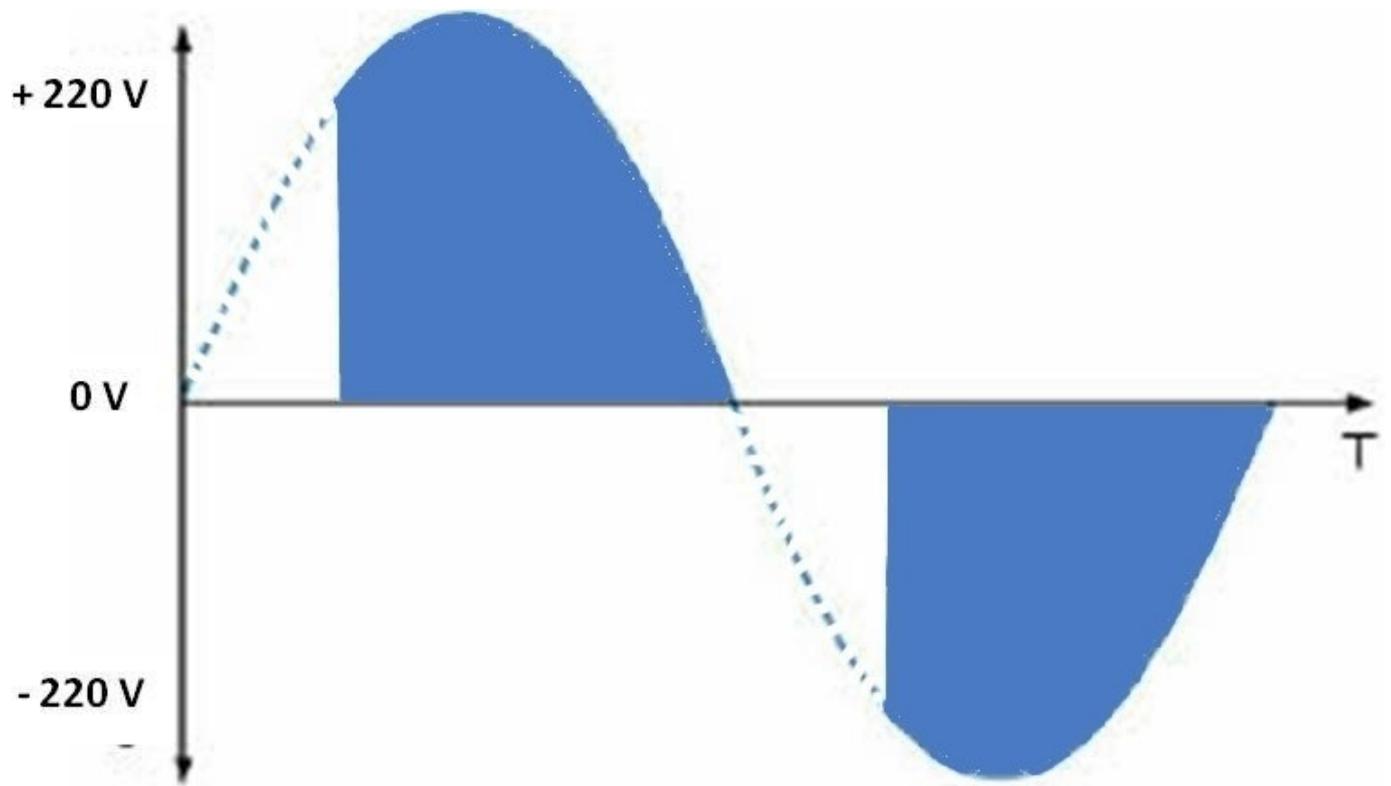


Figure 38 : Variateur à triac, transmission de $\approx 60\%$ de la puissance environ

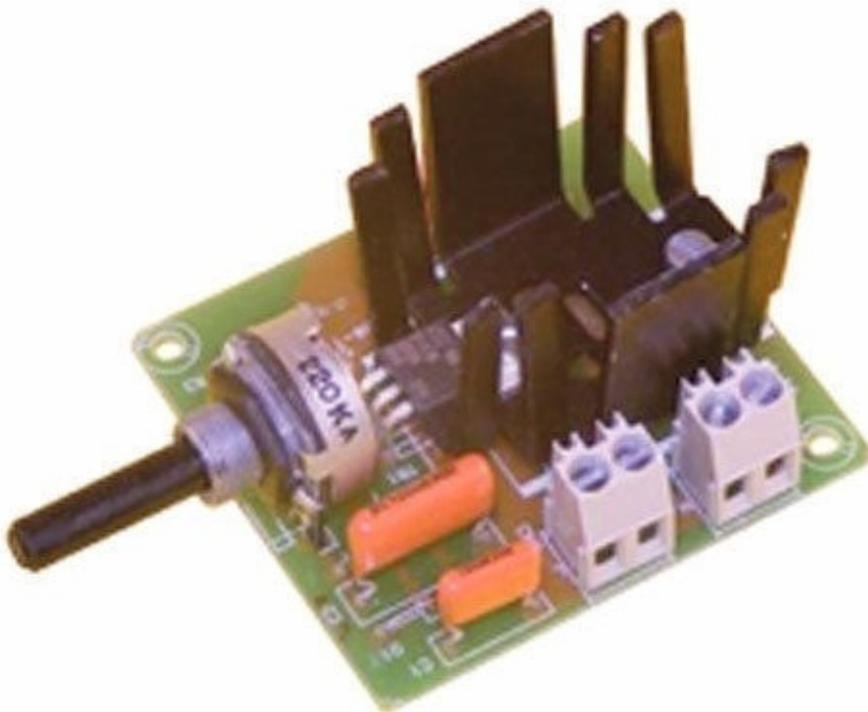


Figure 39 : Variateur à triac pour



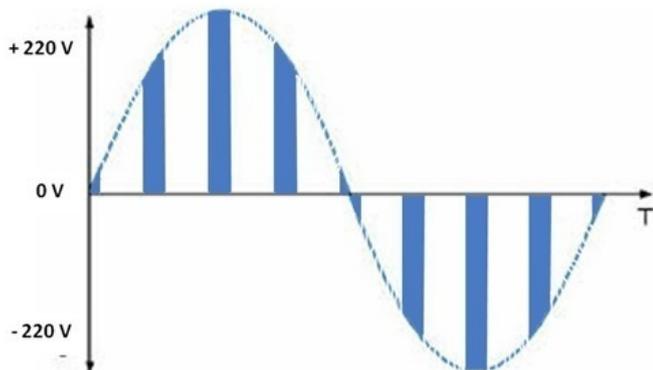
une puissance jusqu'à 2 000 Watts
: Rhéostat 2 700 watts !

Figure 40



Variateurs à découpage : L'arrivée des semi-conducteurs de puissance a permis de développer de nouveaux variateurs, ils peuvent être comparés à un interrupteur que l'on manœuvrerait environ 200 à 600 fois par seconde, la durée de la position "On" par rapport à la durée de la position "Off" détermine la quantité d'énergie délivrée à l'appareil commandé.

25% de puissance transmise



75% de puissance transmise

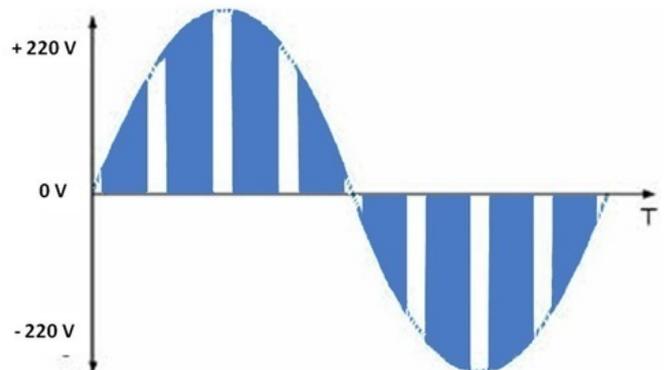


Figure 41 : Deux exemples de découpage par un variateur de dernière génération

Ce type de découpage est notamment utilisé dans certaines rames de chemin de fer ou de R.E.R., on entend en permanence cette note désagréable (environ 250 Hertz à l'oreille) dont l'intensité varie suivant la puissance consommée, on appelle cela également "courant haché".

7 DANGERS DE L'ÉLECTRICITÉ.

Les dangers de l'électricité sont de plusieurs ordres, les deux premiers avérés et le troisième supposé.

7.1 DANGER D'ÉLECTROCUTION :

Ce n'est pas la tension proprement dite qui est dangereuse (les clôtures électriques délivrent des secousses qui peuvent atteindre jusque 30 000 volts, suffisamment désagréables pour dissuader un taureau ou un cheval de quitter son enclos mais limitées à quelques milliampères donc, sans danger mortel), mais l'intensité qu'elles peuvent générer dans le corps humain, cette intensité est proportionnelle à la tension elle-même et inversement proportionnelle à la résistance du corps humain, notamment de la peau, c'est pourquoi un corps mouillé est très vulnérable à l'électricité (l'eau rend la peau plus conductrice, c'est à dire offrant moins de résistance à l'électricité, un chanteur célèbre en a fait les frais) !

Il faut garder à l'esprit qu'un courant supérieur à 30 milliampères (0,030 A) traversant le corps, surtout si son chemin passe par le cœur, peut être mortel ! C'est tout l'intérêt des interrupteurs différentiels (qui peuvent également être disjoncteurs) sensibles avec un seuil de 0,030 A qui sont maintenant exigés sur les tableaux de distribution.

L'interrupteur différentiel se déclenche quand le courant qui passe par le fil de phase diffère de celui qui passe par le fil neutre de plus de 0,030 A.

Le disjoncteur différentiel se déclenche Comme l'interrupteur pour une différence de 0,030 A mais également en cas d'intensité supérieure à la valeur maximum définie (comme tous les disjoncteurs).

Comme je ne suis pas bon dessinateur, je vous présente Robert que je vais torturer et qui va m'aider à vous indiquer par où passe le courant quand il est dangereux (sans me soucier des notions d'échelle des dessins).

7.1.1 DÉFAUT D'ISOLEMENT D'UN APPAREIL :

Il arrive parfois qu'un conducteur soit mal isolé à l'intérieur d'un appareil ménager métallique par exemple, et qu'il vienne en contact avec la carcasse de celui-ci, si ce conducteur n'est pas le neutre, et que l'appareil n'est pas relié à la terre, le corps de l'utilisateur(trice) peut offrir un chemin pour le courant vers la terre si l'utilisateur n'est pas lui-même isolé (sol non conducteur, semelles isolantes, marchepied non conducteur etc).

Même si l'appareil est bien isolé, il existe souvent des dispositifs destinés à éviter les parasites (généralement condensateurs) qui sont reliés à la carcasse de l'appareil, ils ne représentent pas un réel danger, mais ils peuvent occasionner des secousses désagréables.

Cela ne devrait pas arriver car les appareils métalliques devraient tous être reliés à la terre, mais les prises de courant ne sont pas toutes bien raccordées à la terre et certains appareils ne sont pas équipés pour être reliés à la terre, c'est le cas des lampes de chevet par exemple ou de certains anciens appareils qui ne sont reliés que par un "codon souple" et une prise à deux conducteurs seulement.

L'interrupteur différentiel est le dernier rempart contre ce risque : si le courant qui passe par la phase est détourné vers la terre par un corps humain par exemple et que ce

détournement a une valeur supérieure à 0,030 A, le courant est coupé.

7.1.2 TRAVAUX SUR L'INSTALLATION OU REMPLACEMENT D'AMPOULES :

Même dans une installation bien réalisée (bonnes couleurs des conducteurs, protection différentielle etc.), il peut être dangereux de manipuler les conducteurs sous tension !! Voici deux exemples d'erreurs communément commises par Robert.

7.1.2.1 CONTACT AVEC DEUX CONDUCTEURS :

Il pense que parce qu'il est sur un support isolant, et que la lampe est éteinte, il peut manipuler les fils d'un interrupteur car il ne touche pas à la fois un fil de phase et un fil neutre ! (il n'a pas conscience que la lampe présente une résistance négligeable par rapport au corps humain), et le deuxième fil de l'interrupteur, bien que marron, rejoint le neutre au travers de la lampe. **Cette erreur est grave** car précisément à cause du support isolant, **l'interrupteur différentiel n'agira pas**.

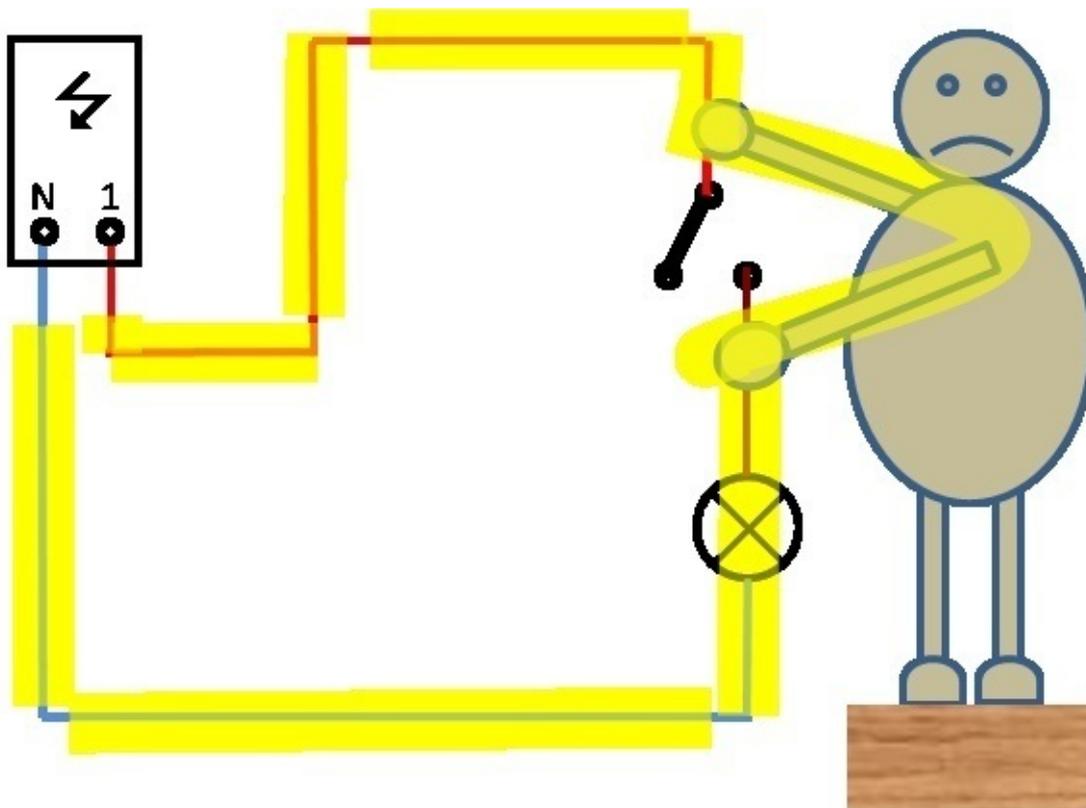


Figure 42 : Le courant

qui passe par le fil de phase revient par le fil de neutre

7.1.2.2 CONTACT AVEC UN SEUL CONDUCTEUR :

Il pense qu'il ne risque rien en ne touchant qu'un seul fil car la lampe est éteinte... **mais elle peut être grillée !**

C'est pourquoi il est intéressant de câbler les interrupteurs de façon à ce qu'ils soient tous ouverts toujours dans la même position (pour ma part, toujours éteint en bas, et pour les va et vient : éteint quand ils sont dans des positions différentes).

Malgré tout, Robert 2 sera protégé par le déclenchement du différentiel car il n'est pas isolé du sol.

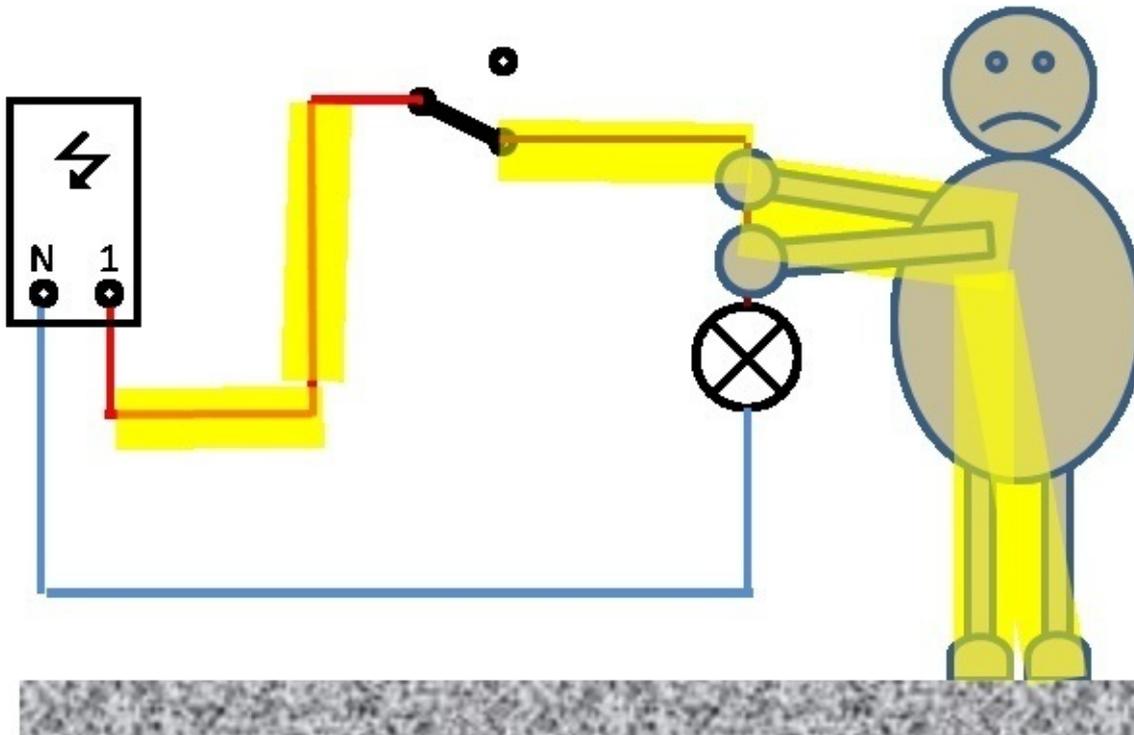


Figure 43 : Le

courant qui passe par le fil de phase revient par la terre

Certaines installations comportent de graves erreurs les rendant dangereuses, en voici quelques unes (liste non exhaustive).

7.1.2.3 ABSENCE DE DISPOSITIF DIFFÉRENTIEL SENSIBLE (30 mA) : Notamment en cas de défaut d'isolement d'un appareil qui ne serait pas relié à la terre, ainsi que pendant les travaux, c'est une protection indispensable.

7.1.2.4 PRISE DE TERRE INEXISTANTE OU DE MAUVAISE QUALITÉ :

C'est grave surtout si les prises sont munies d'une borne de terre et qu'elles sont **reliées entre elles** mais pas à la terre ou reliées à la terre mais avec une grande résistance ! C'est le cas des prises de terre de substitution (reliées à un tuyau d'eau ou pire à un tuyau de chauffage central). Un défaut d'isolement peut alors se propager à d'autres appareils par ce fil de terre censé nous protéger. L'utilisation des tuyaux d'eau a été répandue mais les anciennes conduites d'eau en plomb sont de plus en plus remplacées par des conduites en néoprène et la résistance de ce moyen de protection devient de plus en plus grande et il devient de plus en plus inefficace ! Il est également dangereux pour les plombiers qui dans le cas de remplacement d'un compteur d'eau par exemple peuvent constituer le chemin de retour la terre au travers de leur corps !

7.1.2.5 LIAISONS ÉQUIPOTENTIELLES INEXISTANTES (DANS UNE SALLE D'EAU) : Dans une salle d'eau, tous les points métalliques ou conducteurs doivent être reliés entre eux et à la terre, cela évite qu'on puisse être soumis à une différence de potentiel (d'où le nom de ces liaisons) en touchant à la fois un robinet ou lavabo et la baignoire par exemple.

7.1.2.6 CONDUCTEURS DE COULEUR INAPPROPRIÉE

On ne doit jamais se fier à la couleur d'un conducteur pour savoir s'il est dangereux ou pas, mais le respect des couleurs conventionnelles évite bien des erreurs.

7.1.2.7 INTERRUPTEUR COUPANT SEULEMENT LE NEUTRE

Cela nous ramène à l'erreur N° 2 de Robert au chapitre précédent, la lampe est éteinte mais la phase est toujours présente !

7.1.2.8 FILS NEUTRES NON APPARIÉS AVEC LEURS FILS DE PHASE SUR LEUR DISJONCTEUR

Cette erreur est assez courante, et souvent associée à une absence d'étiquetage !



Exemple 1

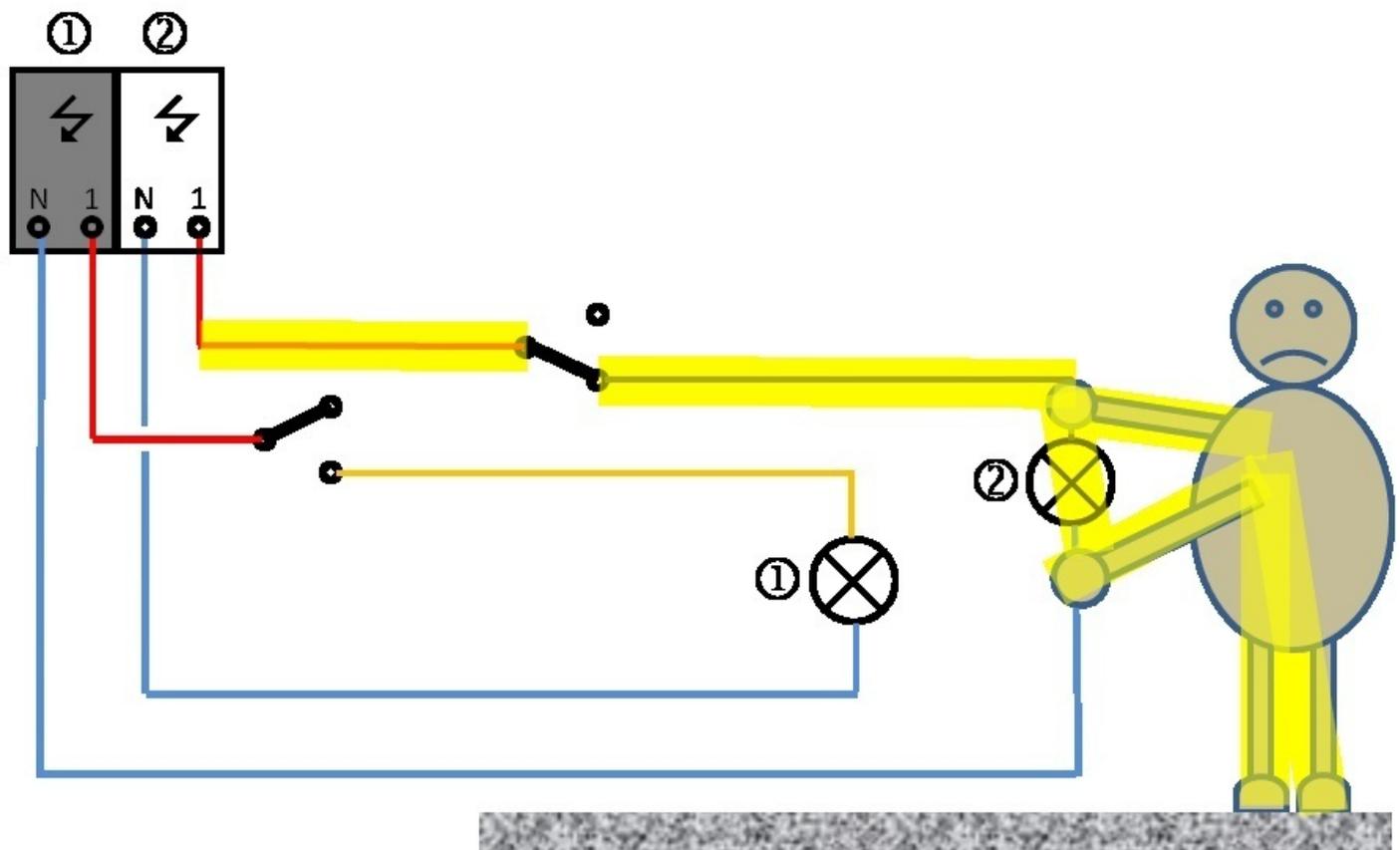


Figure 44 : Fils neutres non appariés avec leur fils de phase exemple 1

Dans cet exemple, la lampe 2 était allumée, mais robert veut remplacer la douille, alors il coupe le disjoncteur 1 (à cause de l'absence d'étiquetage), la lampe 2 s'éteint effectivement (privée du fil neutre) et Robert qui n'a pas pris le soin de s'isoler car il croit le courant coupé, est électrocuté quel que soit le fil qu'il touche (même s'il ne touche que le fil neutre, il est électrocuté au travers de la lampe car le fil neutre est isolé par le disjoncteur 1).



Exemple 2

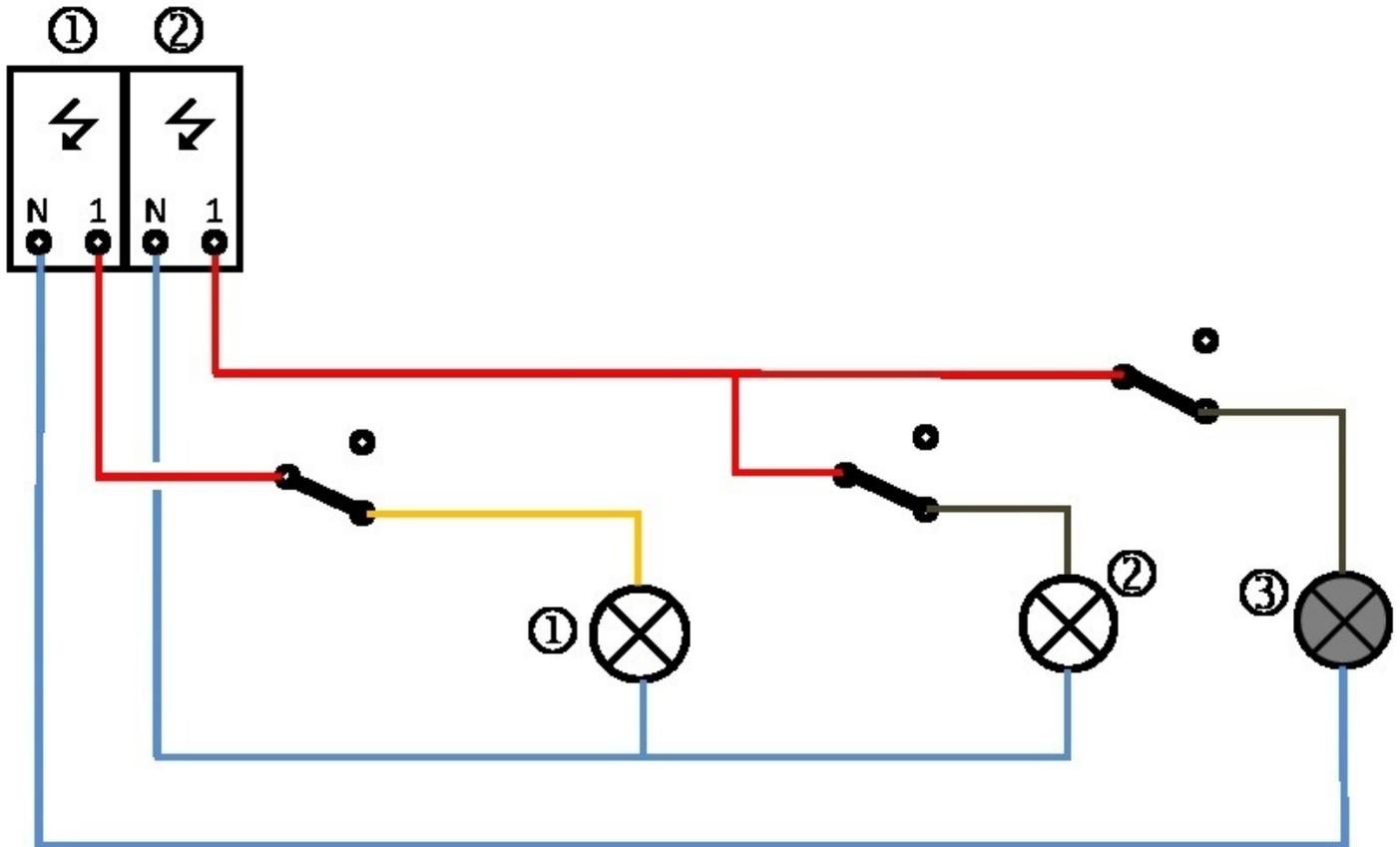


Figure 45 : Fils neutres non appairés avec leur fils de phase exemple 2

L'exemple ci-dessus représente un des cas les plus défavorables, **seule la lampe 2 est correctement raccordée**, (phase et neutre coupés par le même disjoncteur 2).

Les 3 lampes étaient allumées, et la lampe 3 s'éteint brusquement, Robert la remplace mais la nouvelle lampe est défectueuse et Robert ne le remarque pas, il soupçonne donc un mauvais raccordement dans la douille, alors il coupe le disjoncteur 2 (à cause de l'absence d'étiquetage), la lampe 2 s'éteint effectivement ainsi que la lampe 1 (privée du fil neutre) et la lampe 3 est déjà éteinte, il a pris le soin de s'isoler par précaution avant d'ouvrir la douille, mais il a oublié de couper l'interrupteur car il l'a manœuvré plusieurs fois et il ne sait plus quelle est la position "arrêt" ! et il est électrocuté car il n'a pas vérifié avec un tournevis testeur Figure 48 page 50 l'absence de tension et il touche deux conducteurs, c'est donc lui qui permet le chemin du courant, de plus comme il est isolé, là non plus, la protection différentielle ne sera pas efficace, le chemin du courant est compliqué mais la résistance des lampes est négligeable par rapport à celle du corps.

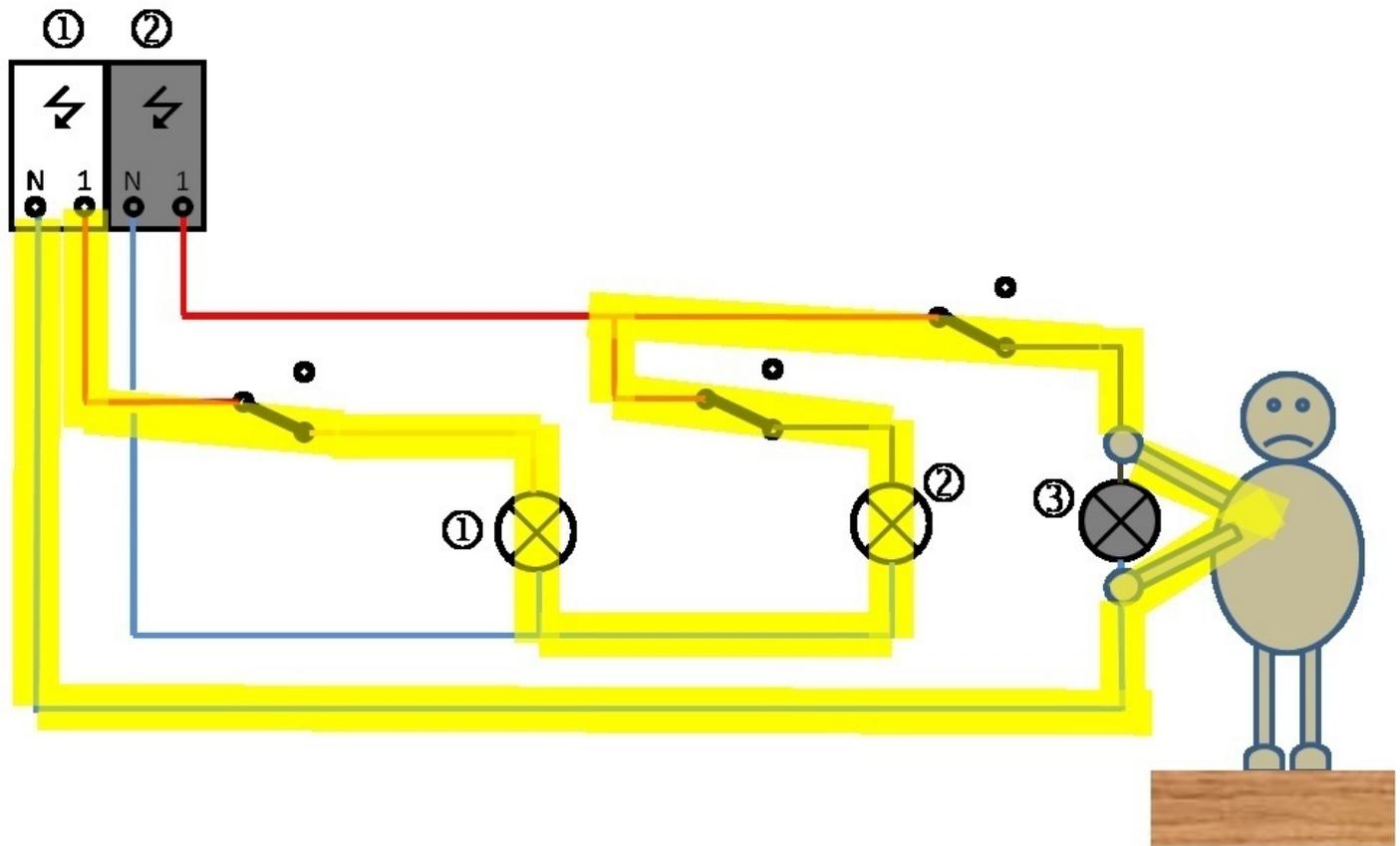


Figure 46 : La résistance des lampes est négligeable par rapport à celle du corps !

7.1.2.9 VA ET VIENT DANGEREUX :

Ce montage est quelquefois utilisé car il peut sembler plus simple à réaliser... Mais il est très dangereux car on voit très bien que dans la position où sont les interrupteurs sur ce schéma, bien que la lampe soit éteinte, le remplacement de la douille par exemple et même de l'ampoule est dangereux car les deux conducteurs sont sous tension (phase).

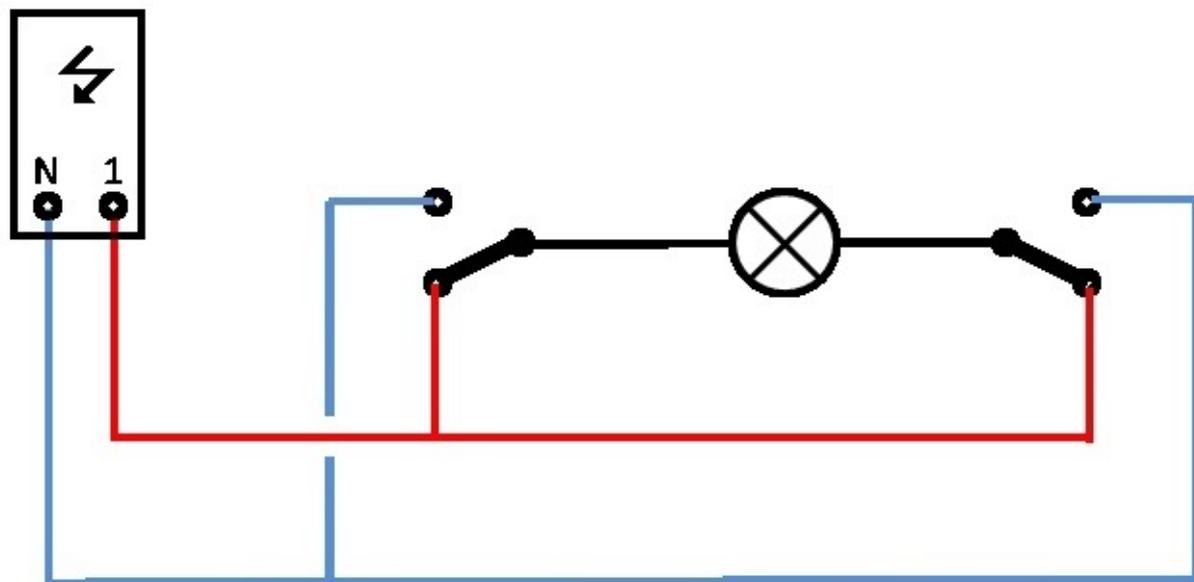


Figure 47 : Va

et vient dangereux

7.1.2.10 EN RÉSUMÉ :

Que l'installation soit faite dans les règles ou non, il est indispensable de vérifier que les conducteurs que l'on s'apprête à manipuler sont hors tension **et surtout, n'en manipuler qu'un à la fois !**

Il existe un outil peu couteux qui peut vous aider à vérifier la présence de la phase sur un conducteur : **Le tournevis testeur**.

Il suffit de mettre en contact la pointe du tournevis avec les conducteurs concernés en touchant son extrémité avec un doigt, il ne doit pas s'illuminer.

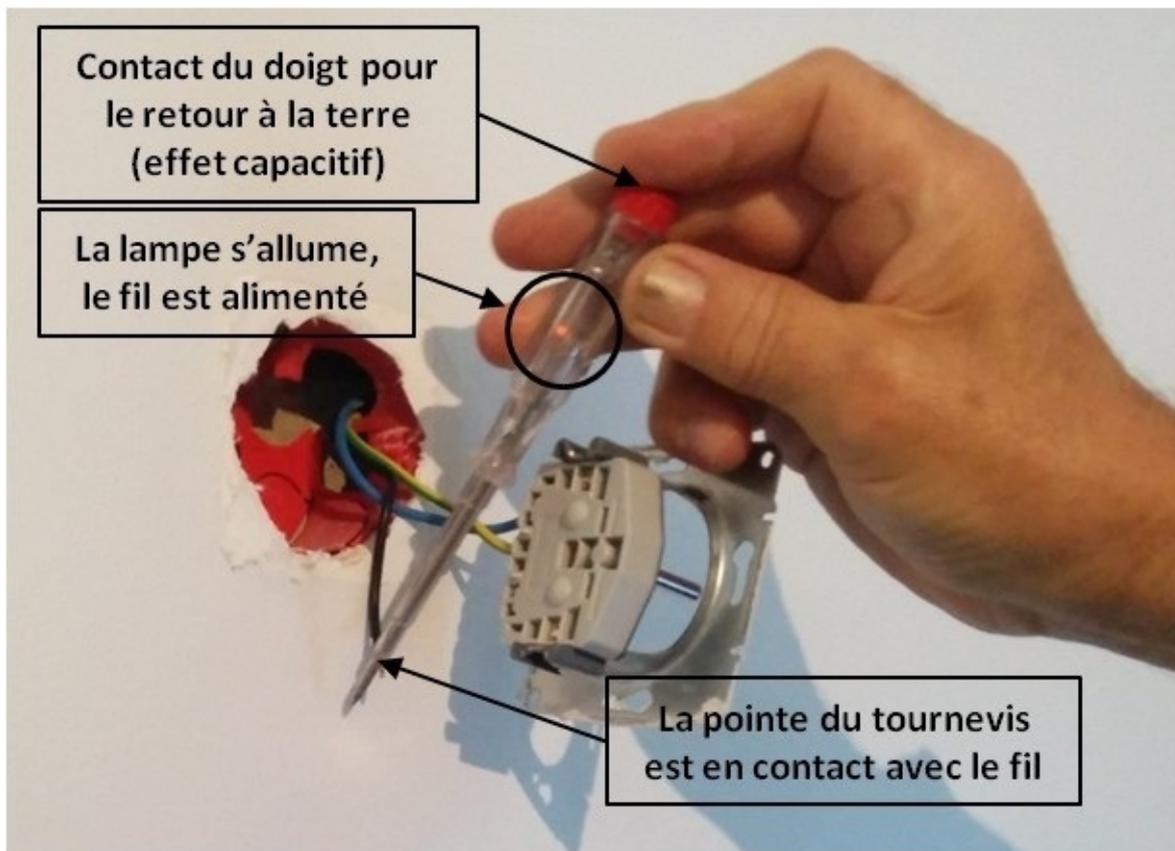


Figure 48 :

Tournevis testeur.

Le fonctionnement de cet outil est simple, un courant de **moins de 1 milliampère** suffit à rendre rougeoyante l'ampoule au néon contenue dans le manche et il fonctionne même si l'on est sur un support isolant à cause de l'effet capacitif que nous ne détaillerons pas ici, il suffit de savoir que la capacité entre le corps et la terre permet le passage d'un courant infime suffisant pour éclairer l'ampoule au néon.

7.2 DANGER D'INCENDIE :

Le passage du courant électrique dans un conducteur provoque son échauffement. Si l'on respecte les règles, cet échauffement ne pose pas de problème, mais voici les dangers potentiels :

7.2.1 SOUS DIMENSIONNEMENT DES CONDUCTEURS :

Les conducteurs doivent être d'un diamètre suffisant pour l'intensité maximale supportée par le disjoncteur qui les alimente.

Voici les intensités maximales absolues normalisées pour les conducteurs courants : Pour $1,5 \text{ mm}^2$: 16 A maximum (moi, je me limite à 10 A),
Pour $2,5 \text{ mm}^2$: 20 A maximum,
Et pour 6 mm^2 : 32 A maximum.

Au dessus de ces valeurs, surtout pour des conducteurs non ventilés, l'échauffement peut amener jusqu'à la fonte des isolants avec tous les risques liés : court-circuit par exemple, et un court circuit dans un circuit mal protégé peut générer un arc électrique suffisant pour enflammer ce qui l'entoure.

7.2.2 ÉPISSURES :

Les épissures ont été au début la seule méthode pour faire des "dérivations", et elles ont été le départ de nombreux incendies, surtout avec des conducteurs isolés par du caoutchouc entouré d'une gaine de coton et contenus dans des "baguettes rainurées en bois" ! avec le temps, les consommations électriques ont augmenté et donc les intensités également ! Or une épissure pas assez serrée offre une résistance non négligeable au passage du courant, cette résistance peut s'échauffer jusqu'à fusion (surtout les épissures fil souple sur fil rigide).

Les épissures peuvent être réalisées mais avec un serrage complémentaire par vis dans des raccords type "dominos", il existe également des embouts plus sécurisés car obturés à leur extrémité libre, destinés à cet usage, Figure 50 page 51.



Figure 49 : Épissures dangereuses

À droite une dérivation dans une baguette plastique, et à gauche dérivation d'une prise en fil souple sur une ligne qui était contenue dans une baguette en bois.

Épissure de 3 conducteurs



Épissure dans sa protection



Figure 50 : Épissure correctement réalisée



Figure 51 : Autre exemple d'épissures sans danger (boîte de prolongation)

7.2.3 REMPLACEMENT DE FUSIBLES NON CONFORMES :

Dans les anciennes installations, avant l'arrivée des disjoncteurs, les différents circuits étaient protégés par des fusibles, dans les meilleurs cas, c'étaient des fusibles dits "à cartouche", mais dans d'autres cas, l'élément fusible généralement en plomb était serré par vissage plus ou moins efficace.

7.2.3.1 PORTE FUSIBLES PORCELAINES :

L'élément fusible (destiné à fondre en cas de surintensité) est vissé, si c'est du plomb, il s'écrase et le contact devient moins bon...



Figure 52 : Différents modèles de porte fusible porcelaine.

L'erreur la plus commune est de remplacer l'élément fusible par du fil de cuivre d'un diamètre aléatoire, (un seul brin d'un conducteur souple peut laisser passer 2 à 4 ampères suivant le diamètre du conducteur et le nombre de brins) car le fil de plomb devient de plus en plus difficile à trouver, et dans ce cas, le circuit n'est plus protégé et les conducteurs de l'installation peuvent être soumis à des intensités trop importantes et éventuellement s'échauffer jusqu'à l'incendie.

Des éléments fusibles en fil fin calibré serti sur une plaquette isolante, de cuivre ou d'argent représentent une solution un peu plus sûre mais ils deviennent également plus difficiles à trouver.

7.2.3.2 PORTE FUSIBLES TYPE CARTOUCHE :

L'élément fusible est noyé dans un tube en céramique, cela limite les risques de projection de métal en fusion, certaines cartouches sont équipées d'une pastille qui disparaît quand le fusible a fondu. Elles sont de longueurs et diamètres différents suivant leur intensité nominale.

L'erreur la plus commune est d'enrober la cartouche avec du papier d'aluminium en plusieurs couches et cela représente le même danger que le fil de cuivre.



Figure 53 : Porte

fusibles à cartouches et cartouches

7.3 RAYONNEMENTS ÉLECTROMAGNÉTIQUES :

C'est le danger supposé, certaines personnes prétendent être incommodées par les rayonnements des équipements électriques Wi-Fi, Bluetooth, GSM etc.

Les statisticiens ont remarqué que la proportion de personnes atteintes d'un cancer est plus importante chez les personnes qui s'éclairent à l'électricité que chez celles qui s'éclairent à la bougie... C'est bien sûr une boutade, mais il faut se méfier de **l'interprétation des statistiques !**

En ce qui concerne le GSM, j'ai remarqué que dans beaucoup d'hôpitaux, l'utilisation des téléphones portables est interdite même quand sur le toit de ces mêmes hôpitaux sont installées les antennes relais qui rayonnent autrement plus que votre modeste téléphone !

Pour ma part, j'espère que ce danger est imaginaire car si cela s'avère exact, les écolos sont en train de nous assassiner avec leurs lampes à économie d'énergie à cause de leur rayonnement très important.

Ces lampes sont la démonstration de la puissance des lobbys : Elles apportent une **diminution négligeable** de l'énergie consommée dans le monde, elles contiennent des produits dangereux, elles ont des encombrements obligeant souvent à changer de luminaire, elles sont incompatibles avec les variateurs, elles ont un impact sur l'environnement bien supérieur à celui des lampes à incandescence à la fabrication, elles coûtent bien plus cher et **ne durent pas plus longtemps** contrairement aux arguments de vente, en bref : **C'est de l'arnaque**

Les nouvelles lampes à diodes électroluminescentes (DEL ou bien LED pour les anglophones) présentent moins d'inconvénients, leur encombrement est plus compatible avec les luminaires existants, elles éclairent immédiatement, mais malheureusement, elles rayonnent au moins autant, elles n'acceptent toujours pas les variateurs, et elles émettent une lumière dangereuses pour les yeux.

8 DIVERS PÊLE-MÊLE.

Ce chapitre dépasse un peu le cadre que je m'étais fixé au départ, mais mon but est

d'essayer d'aider à comprendre, là encore, il ne s'agit pas de références mais de notions, donc très incomplètes, mais qui peuvent aider certaines ou certains à trouver une réponse à une question en y réfléchissant.

8.1 COMMENT MESURER LA RÉSISTANCE DE LA PRISE DE TERRE :

Il existe un appareil appelé : **Telluromètre** il faut deux autres points reliés à la terre pour faire cette mesure et l'appareil fait le calcul pour donner le résultat final.

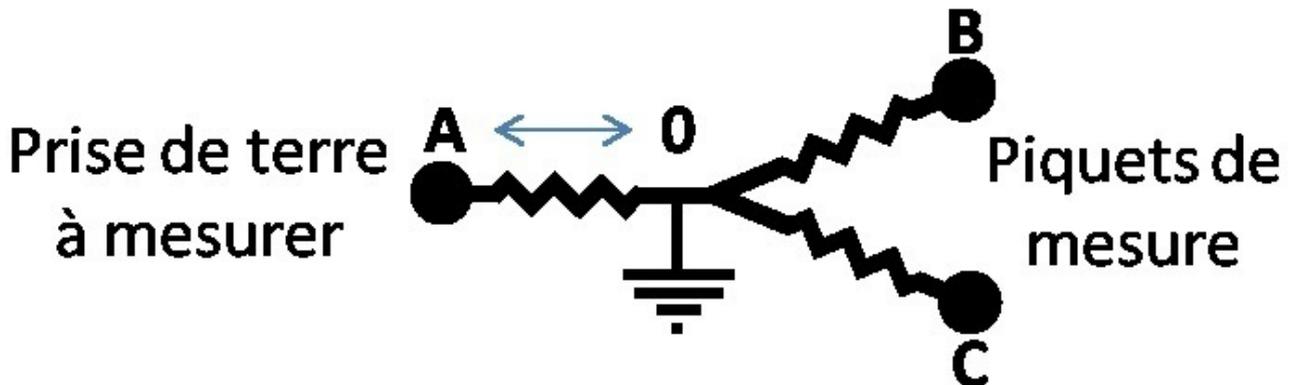


Figure 54 : Schéma de mesure de la résistance de la prise de terre

Si l'on ne dispose pas de cet appareil, il faut faire le calcul soi-même : On plante deux piquets dans la terre à proximité de la prise de terre à mesurer (comme avec le telluromètre), Nommons **A** le point à mesurer, **B** et **C**, les deux autres points, on mesure les résistances entre **A B**, **A C** puis **B C**, le résultat final est équivalent à :

La résistance à mesurer est $A0$, mais 0 est inaccessible, la formule pourrait donc s'écrire : , le résultat de ces opérations est $2A0$ que l'on divise par 2 pour obtenir $A0$ seul.

8.1.1 POLARITÉ RELIÉE À LA TERRE :

Le raccordement à la terre ne sert pas qu'à la protection des personnes dans les installations domestiques, mais également à la stabilité des montages électroniques en courant continu.

Dans les applications **électroniques** on a besoin de "blindage" pour éviter les parasites et pour rendre ce blindage plus efficace, il faut le relier à la terre. Par convention, le pôle **néгатif** de leur alimentation est relié au blindage et à la terre. Dans **l'industrie automobile**, (avant l'arrivée de l'électronique), aucune raison technique ne justifiait un choix quelconque, la plupart des pays relient le pôle négatif à la masse, les Anglais ont bien entendu opté pour le pôle positif à la masse.

En **téléphonie**, (l'ancienne, celle qui nécessitait deux fils par ligne et qui était analogique) c'est le pôle **positif** qui a été relié à la terre pour une raison pratique : Les câbles (certains atteignaient 900 paires = 1800 fils !) étaient sous plomb, les raccords (manchons) tous les 150 mètres à cause du poids des tourets, étaient soudés comme les tuyauteries et étanches, on vérifiait l'étanchéité en mettant toute la longueur de la liaison sous pression (3 ou 4

bars !) vérifiée par un manomètre pendant 24 heures.

En cas d'accident sur l'enveloppe du câble (en plomb), l'humidité provoquait une électrolyse plus défavorable du cuivre vers le plomb que du plomb vers le cuivre et le défaut était plus vite repéré, ce qui évitait d'avoir à remplacer de grandes longueurs de câble. Et depuis, la téléphonie a conservé le pôle positif à la terre.

8.1.2 CAS DES PRISES DE COURANT AVEC BORNE DE TERRE :

la réaction habituelle est de se dire : *“C'est du courant alternatif, donc le sens n'est pas important !”*. C'est une erreur, des appareils électroménagers de plus en plus nombreux sont pourvus de circuits de commande électroniques qui ont besoin d'un blindage électromagnétique relié à la terre et un pôle de leur alimentation est relié au blindage (d'où les fameuses fuites avec une composante continue du paragraphe 8.2 page 57)... Il est donc important de respecter le fil neutre par rapport au fil de phase.

Les prises avec terre vues de face avec la borne de terre en haut, sont donc câblées conventionnellement avec le fil de phase à droite et le fil neutre à gauche (de face). **Donc vues côté câblage (de dos) toujours avec la borne de terre en haut, c'est comme en politique : Rouge à gauche et bleu à droite.**



Figure 55 : Prise avec terre

8.2 INTERRUPTEURS DIFFÉRENTIELS TYPE A ET TYPE AC :

Comme il est dit au paragraphe 7.1, l'interrupteur différentiel détecte la différence (d'où son nom “différentiel”) entre le courant qui passe par le fil de phase (I_N) et celui qui passe par le fil neutre. Comme les deux enroulements identiques sont parcouru par un courant de sens opposé, si les deux courants sont égaux, le flux magnétique de chacun est annulé par l'autre, mais **si le courant qui passe par le fil neutre est moins important que celui qui passe par le fil de phase, c'est qu'une partie est dérivée vers la terre par un corps humain ou autre** mais il ne détecte pas le courant de fuite proprement dit.

La figure ci-après montre l'intensité dans le fil de phase I_N (Intensité Nominale) en rouge et l'intensité dans le fil neutre en bleu dans un circuit présentant une fuite pure et simple, si l'intensité (efficace) *⁴ résultant de la somme de ΔI^+ et ΔI^- (alternance positive + alternance négative) dépasse 0,03 A, les deux flux magnétiques ne s'annulent plus, et l'interrupteur différentiel coupe le circuit.

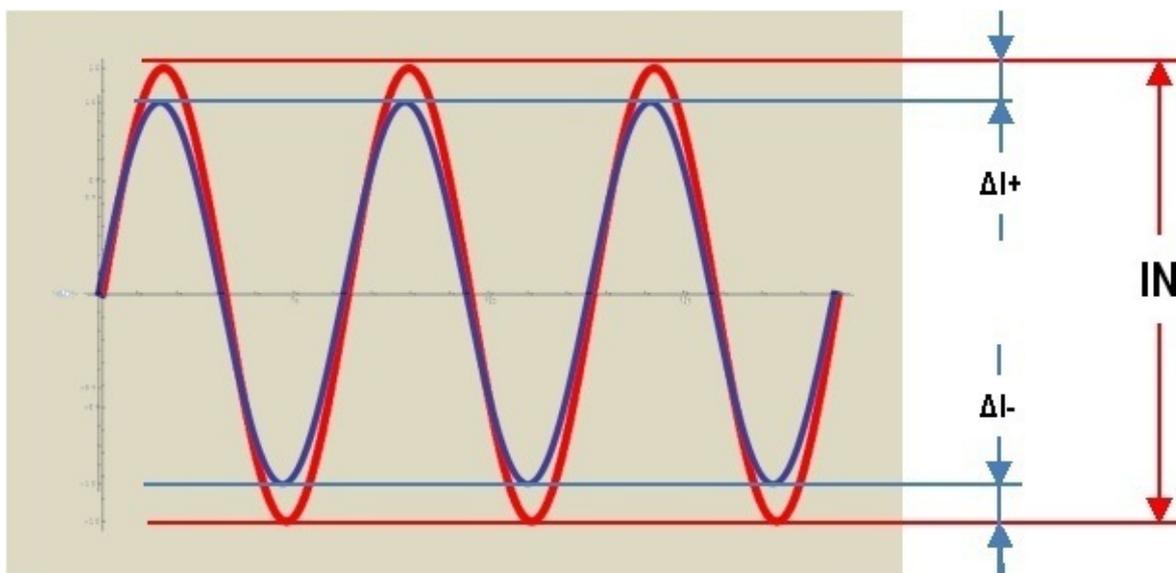


Figure 56 :

Courant différentiel d'un circuit présentant une fuite équilibrée de 0.03 A.

Les appareils électroménagers (pas seulement les plaques de cuisson et les lave-linge), sont de plus en plus dotés d'e systèmes de commande ou de régulation électroniques, qui peuvent provoquer des fuites sur une seule des deux alternances, fuites appelées pompeusement "avec composante continue" (alternance négative dans cet exemple).

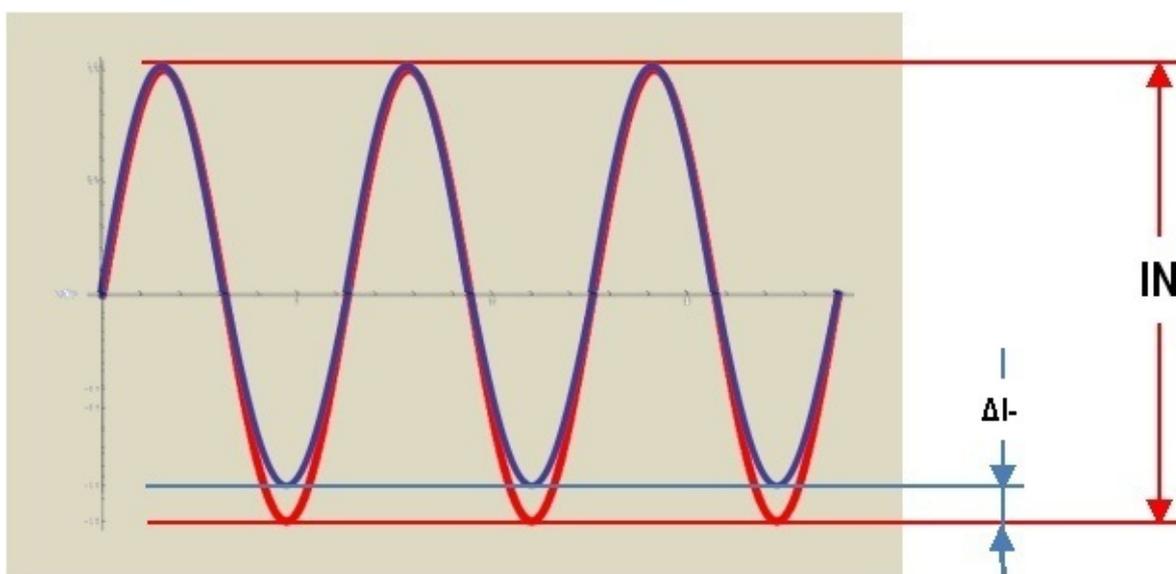


Figure 57 :

Courant différentiel d'un circuit présentant une fuite de 0.03 A sur une seule alternance.

*4 Comme pour la tension, l'intensité **efficace** correspond à l'intensité "crête à crête" I divisée par donc, l'intensité crête à crête correspondant à 0,03 A est égale à : !

Si cette fuite est de la même importance que dans le cas précédent, l'intensité efficace est divisée par deux puisque résultant seulement de ΔI^- et pour que l'interrupteur différentiel agisse, il faut que ΔI^- soit le double (pour obtenir la même intensité efficace)...

Il reste à prouver que 0,03 A efficace obtenu par 0,084 A crête à crête 50 fois par seconde (une seule alternance) soit plus dangereux que 0,03 A efficace obtenu par 0,042 A 100 fois par seconde...

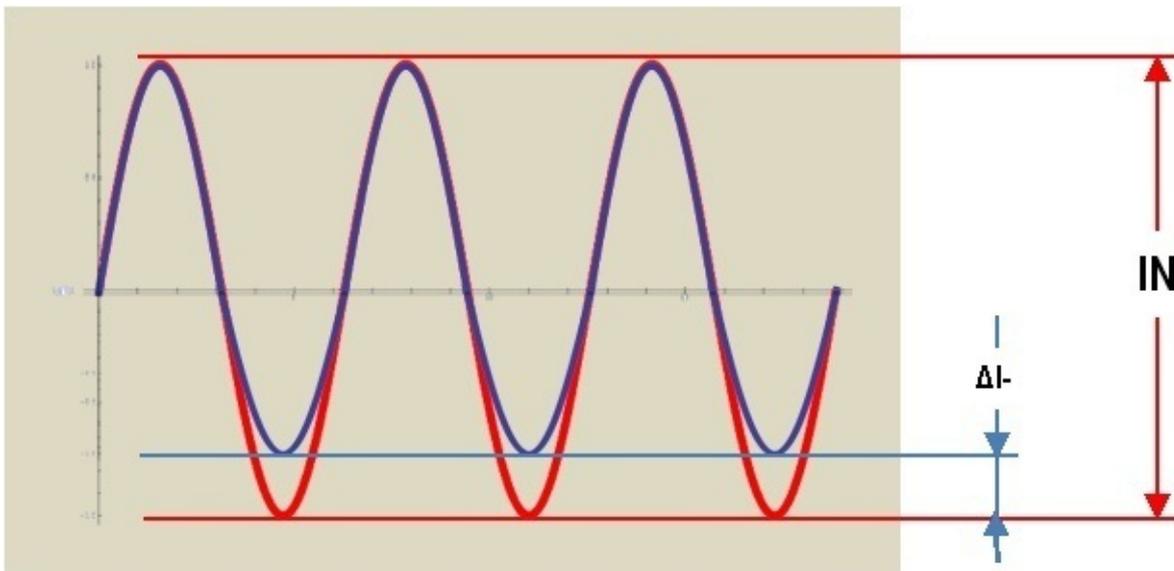
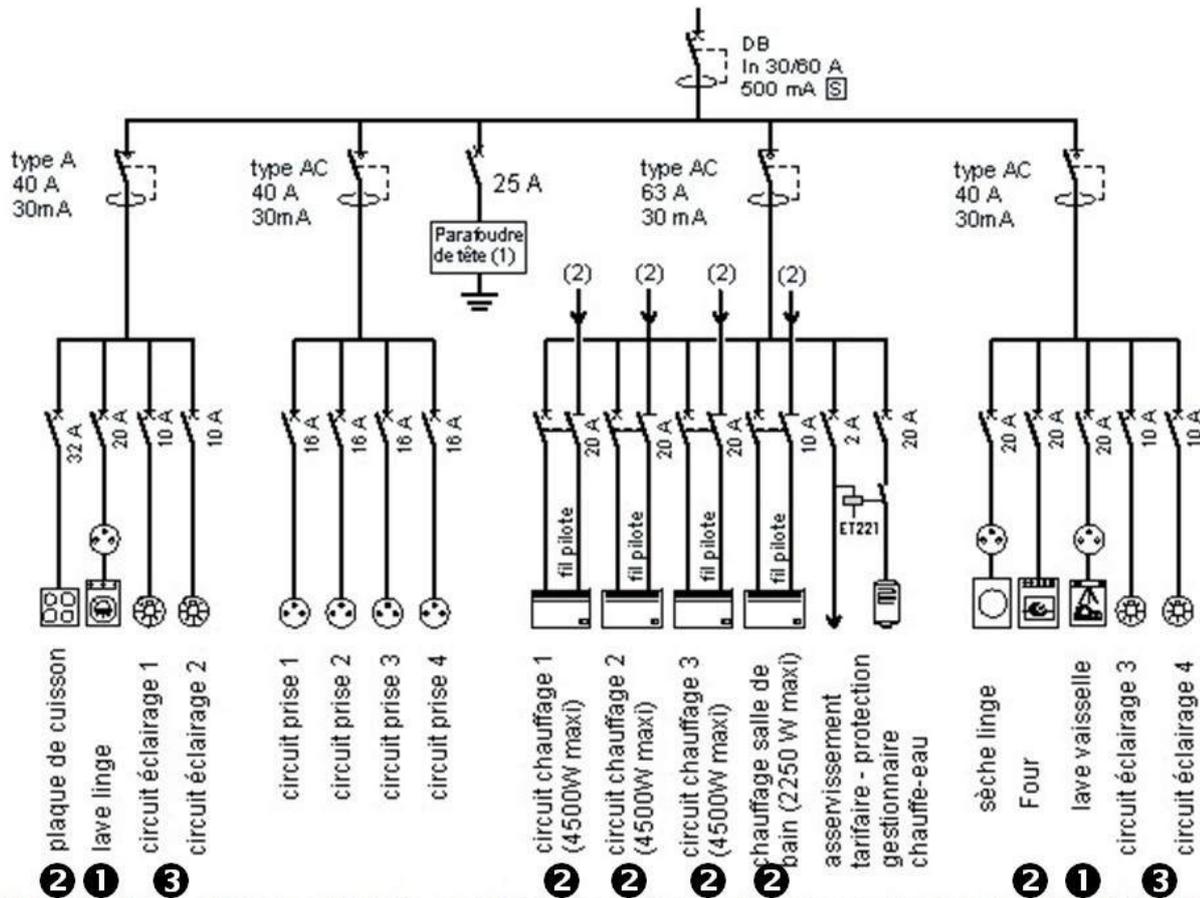


Figure 58 :

Courant différentiel d'un circuit présentant une fuite de 0.06 A sur une seule alternance.

Maison individuelle 130 m²

Note : la gestion du chauffage n'est pas traitée.



Note (1), parafoudre de tête : obligatoire dans certains cas. Lorsqu'un parafoudre est mis en oeuvre sur la partie puissance, il est recommandé d'en installer un sur le réseau de communication.

Note (2), sectionnement du fil pilote en provenance du gestionnaire de chauffage.

Figure 59 : Norme NF C 15-100 différentiels type A et type AC

Le schéma d'installation pour une maison de 130 m² donné en exemple dans la norme NF C 15-100 Figure 59 page 58 met en évidence sinon l'inutilité, au moins l'imbécillité pour

ne pas dire l'ineptie de cette partie de la norme.

En effet, il n'y a aucune raison technique pour que :

: Il n'y a aucune raison technique pour que Le moteur, la pompe, le système de commande électronique, ou la résistance de chauffage de l'eau provoquent une "fuite avec une composante continue" **dans un lave-linge et pas dans un lave-vaisselle**, pourtant, seul le lave-linge doit être protégé par un interrupteur différentiel de type A.

: Il n'y a aucune raison technique pour que la résistance chauffante (toutes les plaques de cuisson ne sont pas "à induction") ou le système de régulation électronique provoquent une "fuite avec une composante continue" **dans une plaque de cuisson et pas dans un four ou un radiateur de chauffage**, pourtant seule la plaque de cuisson doit être protégé par un interrupteur différentiel de type A. (Amusant quand il s'agit d'une plaque de cuisson en verre !)

: Il n'y a aucune raison technique pour que les circuits d'éclairage 1 et 2 provoquent une "fuite avec une composante continue" et pas les circuits d'éclairage 3 et 4, et si c'est le cas, comment les reconnaître... et si c'est pour justifier l'utilisation d'un interrupteur différentiel supplémentaire, il aurait été préférable d'y raccorder le lave-vaisselle et le four (cousins des appareils déjà raccordés au type A) si ce dispositif était vraiment plus efficace que le type AC, mais la répartition semble avoir été faite à pile ou face...

Ce n'est pas la seule norme imbécile imposée dans le secteur du bâtiment, mais contrairement au reste du contenu de ce livre, il ne faut pas chercher à comprendre, mettons un interrupteur différentiel de type A pour le lave linge et la plaque de cuisson (ces appareils traités en pestiférés) si ça fait plaisir aux normalisateurs et votre vie ne sera pas en danger même si vous avez un appareil d'un autre type qui provoque une "fuite avec composante continue" protégé par un interrupteur différentiel de type AC seulement, car pour qu'il soit dangereux, il faut aussi qu'il ne soit pas relié à la terre !!!

Et enfin, **si le type AC n'est réellement pas assez efficace** pour les appareils en question, **tous les interrupteurs différentiels autorisés devraient être du type A** car maintenant, pratiquement tous les appareils sont susceptibles de provoquer des "fuites avec une composante continue"...

8.3 REPÉRAGE DES FILS NEUTRES ASSOCIÉS AUX FILS DE PHASE :

Nous avons vu au paragraphe 7.1.2.8 page 47 qu'il est très important que le fil neutre d'un circuit soit sectionné par le même disjoncteur que le fil de phase du même circuit. Pour y parvenir, l'idéal, quand on remplace un tableau électrique est de raccorder d'abord les fils de phase sur leurs disjoncteurs respectifs, d'essayer de mettre tous les circuits en marche : lampes, radiateurs etc, rien ne doit consommer puisque tous les fils neutres sont débranchés et tous les disjoncteurs coupés.

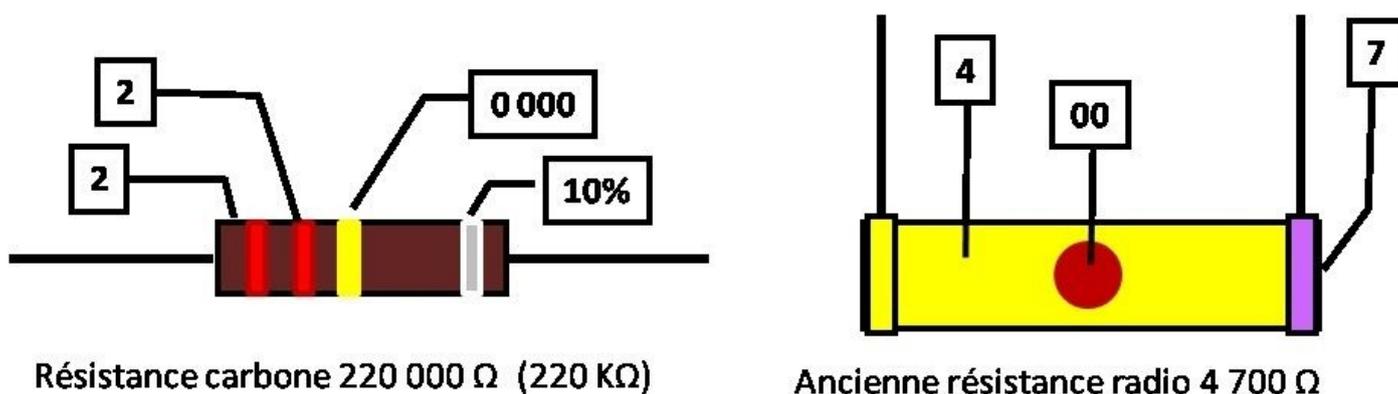
Ensuite, on met un disjoncteur sur marche et avec un tournevis témoin, on retrouve les fils neutres concernés (normalement le même nombre et les mêmes diamètres que les fils de phase), on raccorde ces fils neutres à leur place, on coupe ce disjoncteur à nouveau puis on recommence avec le disjoncteur suivant.

8.4 NOTATION DES VALEURS DE RÉSISTANCES :

Dans les circuits électroniques, les résistances sont repérées par des anneaux selon un code de couleurs, les deux premiers anneaux pour les chiffres significatifs, le troisième pour le multiplicateur (nombre de 0) et le dernier pour la tolérance.

Au temps de la radio à lampes, les résistances étaient plus volumineuses, et elles étaient repérées par la couleur du corps, la couleur de l'extrémité (bout) et la couleur d'un point ajouté au milieu du corps, dans l'ordre : "corps, bout, point" :

Corps = 1^{er} chiffre significatif, **Bout** = 2^{ème} chiffre significatif et **Point** = le multiplicateur (nombre de 0).



| Couleur | 1 ^{er} chiffre significatif | 2 ^{ème} chiffre significatif | Multiplicateur | Tolérance |
|---------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------|
| Argent | | | $\times 10^{-2} \Omega$ | $\pm 10 \%$ |
| Or | | | $\times 10^{-1} \Omega$ | $\pm 5 \%$ |
| Noir | | 0 | $\times 1 \Omega$ | $\pm 20 \%$ |
| Marron | 1 | 1 | $\times 10 \Omega$ | $\pm 1 \%$ |
| Rouge | 2 | 2 | $\times 10^2 \Omega$ | $\pm 2 \%$ |
| Orange | 3 | 3 | $\times 10^3 \Omega$ | |
| Jaune | 4 | 4 | $\times 10^4 \Omega$ | |
| Vert | 5 | 5 | $\times 10^5 \Omega$ | |
| Bleu | 6 | 6 | $\times 10^6 \Omega$ | |
| Violet | 7 | 7 | | |
| Gris | 8 | 8 | | |
| blanc | 9 | 9 | | |

Figure 60 : Code de couleurs des résistances

8.5 NUMÉRISATION :

Hormis l'informatique qui est numérique par définition, la téléphonie a été le premier domaine où la numérisation a permis une grande évolution, elle a été suivie par la musique (C.D.), la télévision (notamment T.N.T.) et la photographie.

Sans trop entrer dans les détails, le principe consiste en l'échantillonnage de la donnée à transmettre ou à stocker et la reconstitution de la donnée à l'arrivée ou pour l'utilisation. Les images sont échantillonnées pixel par pixel alors que le son est échantillonné un

nombre de fois par seconde (fréquence) variable suivant l'utilisation

Pour stocker ou transmettre les données échantillonnées, on a recours à la numération binaire, l'unité binaire est le **"bit"** (compression de **B**inary **d**igit), il ne peut avoir pour valeur que **0** ou **1** (cela peut suffire pour les pixels d'un document en noir et blanc), pour des autres valeurs, on regroupe les bits par huit pour former des octets dans lesquels chaque bit représente une valeur suivant son "poids", chacune de ces valeurs est une puissance de 2, $2^0 (= 1)$ pour le dernier bit de l'octet et 2^7 pour le premier bit du même octet puis 2^8 pour le dernier bit de l'octet précédent éventuel etc. la valeur est ajoutée si le bit est à 1 ou ignorée si le bit est à 0. La ligne ci-après montre le poids de chaque bit d'un "mot" de 2 octets : $2^{15}, 2^{14}, 2^{13}, 2^{12}, 2^{11}, 2^{10}, 2^9, 2^8, 2^7, 2^6, 2^5, 2^4, 2^3, 2^2, 2^1, 2^0$.

Les échantillons d'images vidéo peuvent être codés sur 8 à 24 bits (3 octets) suivant la profondeur de la palette de couleurs et le son, ils peuvent nécessiter jusqu'à 32 bits (4 octets). Le tableau suivant présente le poids de chaque bit d'un octet avec un exemple pour la valeur 217.

| | | | | | | | | |
|------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------------------------|
| 2^7 | 2^6 | 2^5 | 2^4 | 2^3 | 2^2 | 2^1 | 2^0 | Puissances de 2 |
| 128 | 64 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | Poids des bits |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Bits sélectionnés |
| 128 | 64 | 0 | 16 | 8 | 0 | 0 | 1 | 128+64+16+8+1 = 217 |

Figure 61 : Numération binaire

La numération binaire est un peu fastidieuse à écrire (notamment sur un grand nombre de bits), c'est pourquoi on a créé la numération hexadécimale qui permet d'écrire un octet sur deux caractères, chacun représentant la valeur de 4 bits selon le tableau ci-après

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1111 | 1110 | 1101 | 1100 | 1011 | 1010 | 1001 | 1000 | 0111 | 0110 | 0101 | 0100 | 0011 | 0010 | 0001 | 0000 |
| F | E | D | C | B | A | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |

Figure 62 : Numération hexadécimale

La valeur **11011001 = 217** du premier exemple précédent s'écrit **D9** (1101 = D et 1001 = 9), c'est très intéressant pour les valeurs importantes : Par exemple :

La valeur 4 155 812 053 s'écrirait en binaire 11110111101101001010100011010101 alors qu'elle s'écrit **F7B4A8D5** en hexadécimal ! 10 caractères en décimal, 32 caractères en binaire et 8 caractères en hexadécimal.

Revenons à l'utilisation de la numérisation.

8.5.1 POUR LA TÉLÉPHONIE :

le son est échantillonné à 8 KHz (8 000 fois par seconde), un échantillon est constitué d'un **octet** (8 bits) qui représente une valeur de 0 à 255, Le signal échantillonné est constitué de 8 000 octets soit 64 000 bits **par seconde**, ils sont transmis et le signal est reconstitué à l'arrivée, le progrès immense pour la téléphonie est l'absence d'affaiblissement qui était la grande difficulté des transmissions, et par conséquent, l'abolition des distances, un signal

échantillonné est reconstitué sans déformation ni affaiblissement quelle que soit la distance (environ 72 000 Km pour les communications par satellite), par contre, les conversations sont moins fluides du fait des retards de transmission, même à 300 000 Km à la seconde, un son met $\frac{1}{4}$ de seconde à parcourir les 72 000 Km et même si le correspondant répond vite, il faut encore $\frac{1}{4}$ de seconde pour recevoir la réponse, il faut donc se discipliner un peu pour parler chacun à son tour...

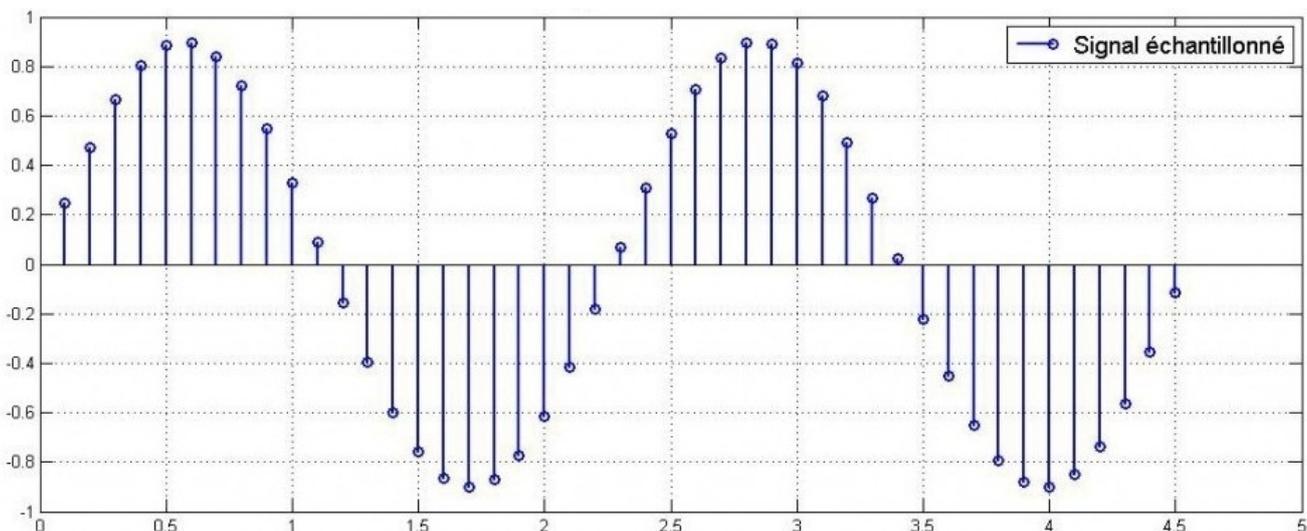


Figure 63 : Signal sonore, chaque échantillon est codé en binaire

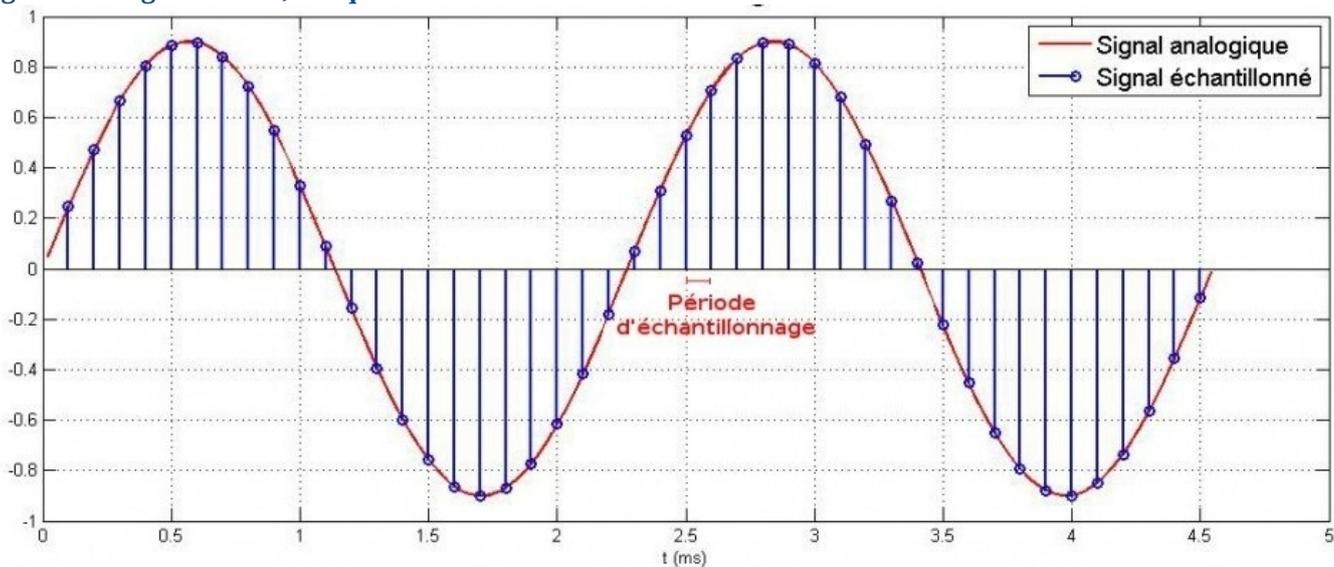


Figure 64 : Signal reconstitué à l'arrivée

La transmission est effectuée selon un protocole que je ne décrirai pas ici, il suffit de savoir que les octets sont “enveloppés” dans des messages avec adresse, ce qui nécessite quelques octets supplémentaires.

8.5.2 POUR LA MUSIQUE :

La numérisation a également révolutionné le monde audiophile, même si certains nostalgiques reviennent aux enregistrements sur disques vinyle, le Compact Disc apporte une qualité d'enregistrement qui ne se dégrade pas avec l'usage... L'échantillonnage est fait à une fréquence de 44 100 Hz et la valeur des échantillons peut être codés sur 16, 24 ou 32 bits de façon à obtenir un signal reconstitué avec une définition supérieure.

8.5.3 POUR L'IMAGE :

Chaque pixel est codé sur 24 bits pour la plus haute définition (16 777 215 couleurs) et chaque couleur primaire (rouge, vert, bleu) est codée sur 8 bits, le blanc (sur l'écran) est

l'addition de ces trois couleurs à leur valeur maximale (FF hexa), donc blanc pur = FFFFFFFF hexa et le noir correspond à 0, c'est à dire aucune couleur.

Le volume de données pour une image en haute définition est très important, par exemple : une image de 12 000 000 de pixels (relativement courante) nécessiterait en format non compressé (par exemple BMP) : 402 653 160 bits soit 50 331 645 octets \approx 50 Mégaoctets (Mo) *⁵, alors, on a mis au point des formats qui compressent ces données avec différents algorithmes, le plus populaire est le JPEG ou JPG, il dégrade assez peu l'image, son niveau de compression est réglable et bien sûr, plus le niveau de compression est élevé, plus la dégradation est élevée également, c'est pourquoi, si l'on doit modifier un fichier image avec un logiciel en plusieurs étapes, il faut essayer de sauvegarder le fichier modifié en format **BMP (sans compression)**, **entre chaque session** de travail, sinon le fichier se dégrade à chaque sauvegarde et le résultat peut être décevant, puis on le sauvegarde en format compressé à la fin du travail et on peut effacer le fichier de travail BMP.

Il existe des algorithmes de compression sans dégradation pour les fichiers de données tels que : ZIP ou RAR (entre autres) mais les fichiers doivent être décompressés avant utilisation alors que JPEG par exemple est directement lisible par la plupart des logiciels.

*⁵ Attention à ces multiples d'octets, **1 Ko** (Kilo octets) ne signifie pas 1 000 octets mais **1024 octets**, de même, **1 Mo** signifie **1 048 576 Octets** et **1 Go** (Gigaoctets) signifie **1 073 741 824 octets**.

De plus, les Anglais utilisent le mot **Byte** (prononcer baïte) pour désigner un octet, et les multiples sont : **KB**, **MB**, et **GB** pour : **KiloByte**, **MégaByte** et **GigaByte**, ce qui peut prêter à confusion avec les abréviations : **Kb**, **Mb**, et **Gb** pour : **Kilobits**, **Mégabits** et **Gigabits**.

J'ai oublié de parler du multiple "Téra" égal à 1024 Giga ! **1 To** = 1 099 511 627 776 octets.

8.6 INTERNET (NOTIONS SUCCINCTES) :

L'Internet à vu le jour aux États Unis, quand en pleine guerre froide, les Américains se sont aperçus que leur réseau d'ordinateurs était vulnérable parce que centralisé... Ils ont créé le réseau "ARPANET", réseau dont les ordinateurs sont disséminés en de nombreux endroits, Il a été ouvert au public en 1981, puis il est devenu Internet vers 1990 et s'est réellement démocratisé à ce moment là.

Les ordinateurs qui se connectent à Internet obtiennent une "adresse **IP** (Internet Protocol)" c'est une adresse unique attribuée à l'ordinateur qu'on peut comparer à un numéro de téléphone (il ne peut y avoir deux ordinateurs avec la même adresse sur un même réseau), qui leur est attribué par l'intermédiaire d'un serveur "**DHCP** (Dynamic Host Configuration Protocol)", cette adresse peut être fixe (nécessitée par certaines applications) mais elle est le plus souvent temporaire, elle fait l'objet d'un "bail" à durée déterminée.

Pour atteindre un site ou un "portail", la requête est transmise au moyen d'un serveur "**DNS** (Domain Name System)", ce système traduit les noms tapés dans la barre d'adresse du navigateur, en l'adresse IP du destinataire recherché.

Le navigateur (Internet Explorer, Google Chrome, Mozilla Firefox, Opéra etc) est une fenêtre ouverte sur Internet, c'est le logiciel qui est capable d'afficher les pages fournies par le site visité qui sont transmises le plus souvent sous le format **HTML** (HyperText Mark-Up Language) qui permet de transmettre les textes, la mise en page et les illustrations, mais il existe d'autres formats : Flash par exemple.

8.6.1 LE WORLD WIDE WEB (WWW) :

La traduction française : “**Toile d’araignée mondiale**” correspond tout à fait, le réseau Internet est réellement comparable à une toile d’araignée, les serveurs sont interconnectés et parfois redondants : Le site de la Française des jeux par exemple a longtemps été doublé (je ne sais pas si c’est encore le cas) en deux endroits éloignés pour assurer la permanence du service en cas de catastrophe majeure (type tremblement de terre ou autre), l’un à Nice et l’autre à Lille ! Les voies de communication sont également multiples et avec des moyens physiques différents : Satellites, fibre optique, relais hertziens, etc. Tout comme l’était déjà le réseau téléphonique.

8.6.2 SUPPORTS DE TRANSMISSION DOMESTIQUE :

Au moment où j’écris ces lignes, beaucoup de foyers sont reliés à l’extérieur par une “**box**” (on l’appelle aussi modem) qui procure l’accès au téléphone, l’Internet et la télévision par l’intermédiaire d’un fournisseur d’accès auprès duquel on souscrit un abonnement, c’est cette box qui obtient une adresse auprès du DHCP (plus haut dans ce chapitre)

Cette box avec les ordinateurs ou autres périphériques forme un sous réseau, c’est elle qui attribue une adresse IP à ses périphériques, elle est connectée au réseau global Internet (l’expression “**le cloud**” qui signifie nuage, image bien cette notion).

La connexion a Internet peut s’effectuer par de nombreux moyens dont certains sans support physique : Satellite, GSM (système global de téléphonie mobile). Mais le plus souvent, un support physique est nécessaire pour un plus grand débit, ce sont :

8.6.2.1 LES ANCIENNES LIGNES DE TÉLÉPHONIE FILAIRE :

Les données sont acheminées par le procédé DSL ou ADSL... Au temps où j’étais en activité, les volumes de données qu’on pouvait acheminer sur une ligne téléphonique étaient limités à 56 Kilobits par seconde, et on ne pouvait pas téléphoner en même temps, c’étaient des limites physiques dues aux propriétés des lignes... Maintenant, on atteint des débits jusqu’à 12 Méga bits par seconde et on peut téléphoner en même temps puisque les 64 kilobits nécessaires à la téléphonie sont largement inclus dans ce flot de données et en plus, si l’accès n’est pas “dégrouper”, on peut conserver la possibilité de téléphoner avec la ligne analogique support (sans passer par la box)... Les lignes téléphoniques n’ont pas changé et je n’ai malheureusement pas encore compris comment fonctionne l’ADSL et par quel artifice ces limites ont été largement dépassées, je ne peux donc tenter de l’expliquer...

8.6.2.2 LE CÂBLE :

Les données transitent par un réseau de câble coaxiaux qui permettent la transmission de hautes fréquences, certains opérateurs appellent **abusivement** ce moyen de transmission “**la fibre**“, malheureusement, les répartiteurs ou raccordements sont souvent sur les trottoirs abrités par des boîtiers en PVC (en zone pavillonnaire) et de jeunes arriérés mentaux désœuvrés les détruisent par plaisir...

8.6.2.3 LA FIBRE OPTIQUE :

Les données sont acheminées par des fibres sous forme de lumière modulée, c’est pratiquement insensible aux parasites électromagnétiques contrairement aux deux autres moyens, les débits atteignent les 100 Mégabits par seconde, pour le moment seuls Orange

et Free (à ma connaissance) ont des box qui peuvent recevoir directement la fibre optique.

8.6.2.4 CONNEXION DES TERMINAUX ET ACCESSOIRES :

Les ordinateurs, tablettes, etc doivent se connecter à cette box pour atteindre Internet, les smartphones ont le choix de se raccorder au travers de la box ou par le réseau GSM.

8.6.2.5 ÉTHERNET :

Pour les ordinateurs fixes, le raccordement à la box par **câble Éthernet** direct est le plus stable, les données sont transmises par un câble à 8 conducteurs, les connecteurs portent la référence : **RJ45**, la longueur des liaisons Éthernet peuvent des longueurs de quelques centaines de mètres dans les réseaux professionnels, dans ce cas, les câbles et les connecteurs sont “blindés”.

8.6.2.6 C.P.L. :

Dans les réseaux privés, si la box n'est pas dans la même pièce que l'ordinateur ou pire à un étage différent, alors on peut utiliser les coupleurs **CPL** (**Courants Porteurs en Ligne**) pour prolonger virtuellement le câble Éthernet, le principe est ressemblant à ADSL : les données sont superposées au courant existant, et comme l'ADSL, je ne sais pas expliquer.

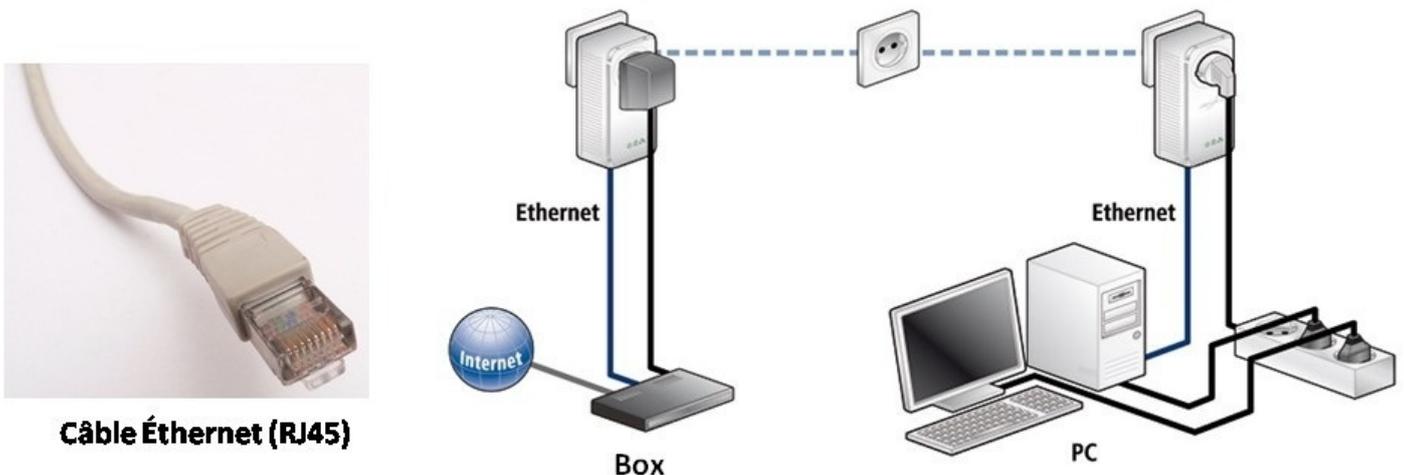


Figure 65 : Liaison Éthernet et CPL

8.6.2.7 WI-FI :

Les box fournissent un accès **Wi-Fi** (**WirelessFidelity** (par opposition à Hi-Fi HighFidelity)) d'une portée de quelques centaine de mètres, les données sont transmises par ondes radio, les ordinateurs portables, tablettes et smartphones peuvent se connecter à Internet par ce moyen, généralement, cet accès exige une connexion avec un mot de passe pour sécuriser la transmission, mais dans les lieux publics, on peut se raccorder à des “hot spots ouverts” dans ce cas, il ne faut pas transmettre de données “sensibles” car elles peuvent aisément “piratées”.

8.6.2.8 BLUETOOTH :

C'est également une liaison radio mais à plus **courte distance** que le Wi-Fi, elle sert surtout à la connexion des accessoires tels que : oreillettes, souris et claviers, manettes de jeux ou imprimantes etc, elle peut également servir à des liaisons entre deux smartphones proches.

8.7 CONCLUSION

J'espère que cet ouvrage sans prétention vous aura un peu permis de répondre par vous même à certaines questions seulement en y réfléchissant, et je remercie encore tous ceux qui, au cours de ma carrière m'ont transmis ce qu'ils savaient, et c'est grâce à eux que j'ai pu faire comme métier ce que j'aurais fait le week-end pour me distraire si je n'avais pas fait ce métier la (quand la téléphonie, ma profession de départ, s'est informatisée) ! Et c'est le bonheur que je souhaite à mes enfants.

Par ailleurs, je serais reconnaissant à mes lecteurs qui noteraient des erreurs ou des fautes d'orthographe de me les signaler (en précisant les numéros de paragraphe et de page si possible), je les corrigerai immédiatement.

Jacques.bevilacqua@gmail.com

Table des illustrations

Toutes les illustrations tirées du cours de physique décrit en préambule sont repérées par le symbole :

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Électrisation par frottement | 3 |
| Figure 2 : Machine ayant permis les premières expériences en électricité statique | 3 |
| Figure 3 : Pendule électrique | 4 |
| Figure 4 : Pile de Volta | 5 |
| Figure 5 : Découverte de l'induction par le mouvement d'un aimant | 6 |
| Figure 6 : Machine de Gramme et son Collecteur grossi vu en coupe | 6 |
| Figure 7 : Induction dans un bobinage par un autre | 7 |
| Figure 8 : Principe de la bobine de Ruhmkorff | 7 |
| Figure 9 : Extrait concernant la bobine de Ruhmkorff | 8 |
| Figure 10 : Circuit électrique élémentaire en courant continu | 8 |
| Figure 11 : Atome de cuivre (métal très bon conducteur de l'électricité) | 9 |
| Figure 12 : Deux dispositifs de production de mouvement | 10 |
| Figure 13 : Différences de potentiel | 11 |
| Figure 14 : Alternateur rudimentaire appelé dynamo de vélo | 13 |
| Figure 15 : Tension produite par l'alternateur (avec une vitesse de rotation constante) | 13 |
| Figure 16 : Déphasage de 120° | 15 |
| Figure 17 : Transformateurs | 16 |
| Figure 18 : Poste de transformation Haute Tension | 17 |
| Figure 19 : Ligne à 15 000 Volts (isolateurs à 3 tasses) avec dispositif de sectionnement | 18 |
| Figure 20 : Transformateurs abaisseurs desservant des villages | 18 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Figure 21 : Pour l'anecdote : postes de soudure à l'arc... | 21 |
| Figure 22 : Représentation symbolique de la diode | 27 |
| Figure 23 : "Passage" du courant alternatif dans le condensateur | 28 |
| Figure 24 : Courbe de la variation de tension fonction du temps | 29 |
| Figure 25 : Redressement simple alternance | 30 |
| Figure 26 : Redressement double alternance | 30 |
| Figure 27 : Montage redresseur dit "en pont" | 31 |
| Figure 28 : Filtrage en Pi | 32 |
| Figure 29 : Raccordements étoile / triangle | 35 |
| Figure 30 : Plaque à bornes de raccordement étoile / triangle | 36 |
| Figure 31 : Tableau électrique ouvert | 37 |
| Figure 32 : Tableau électrique étiqueté | 38 |
| Figure 33 : Circuit d'éclairage simple | 39 |
| Figure 34 : Montage Va et vient | 40 |
| Figure 35 : Remplacement du va et vient par le télérupteur | 40 |
| Figure 36 : Raccordement de lampes témoin à gaz rares | 41 |
| Figure 37 : Schéma et photo du rhéostat | 41 |
| Figure 38 : Variateur à triac, transmission de $\approx 60\%$ de la puissance environ | 42 |
| Figure 39 : Variateur à triac pour une puissance jusqu'à 2 000 Watts | 42 |
| Figure 40 : Rhéostat 2 700 watts ! | 43 |
| Figure 41 : Deux exemples de découpage par un variateur de dernière génération | 43 |
| Figure 42 : Le courant qui passe par le fil de phase revient par le fil de neutre | 45 |
| Figure 43 : Le courant qui passe par le fil de phase revient par la terre | 46 |
| Figure 44 : Fils neutres non appairés avec leur fils de phase exemple 1 | 47 |
| Figure 45 : Fils neutres non appairés avec leur fils de phase exemple 2 | 48 |
| Figure 46 : La résistance des lampes est négligeable par rapport à celle du corps ! | 49 |
| Figure 47 : Va et vient dangereux | 49 |
| Figure 48 : Tournevis testeur | 50 |
| Figure 49 : Épissures dangereuses | 51 |
| Figure 50 : Épissure correctement réalisée | 51 |
| Figure 51 : Autre exemple d'épissures sans danger (boîte de prolongation) | 52 |
| Figure 52 : Différents modèles de porte fusible porcelaine | 52 |
| Figure 53 : Porte fusibles à cartouches et cartouches | 53 |
| Figure 54 : Schéma de mesure de la résistance de la prise de terre | 55 |
| Figure 55 : Prise avec terre | |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| ..... | 56 |
| Figure 56 : Courant différentiel d'un circuit présentant une fuite équilibrée de 0.03 A..... | 57 |
| Figure 57 : Courant différentiel d'un circuit présentant une fuite de 0.03 A sur une seule alternance. | 57 |
| Figure 58 : Courant différentiel d'un circuit présentant une fuite de 0.06 A sur une seule alternance. | 58 |
| Figure 59 : Norme NF C 15-100 différentiels type A et type AC..... | 58 |
| Figure 60 : Code de couleurs des résistances..... | 60 |
| Figure 61 : Numération binaire..... | 61 |
| Figure 62 : Numération hexadécimale..... | 61 |
| Figure 63 : Signal sonore, chaque échantillon est codé en binaire..... | 62 |
| Figure 64 : Signal reconstitué à l'arrivée..... | 62 |
| Figure 65 : Liaison Éthernet et CPL..... | 66 |

Table des matières

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 PRÉAMBULE | ..... |
| 1 | ..... |
| 2 DÉCOUVERTE DE L'ÉLECTRICITÉ. | 3 |
| 3 LE COURANT ÉLECTRIQUE. | 5 |
| 3.1 COMPARAISON HYDRO ÉLECTRIQUE : | 9 |
| 3.1.1 LA DIFFÉRENCE DE POTENTIEL RESSEMBLE À LA DIFFÉRENCE DE NIVEAU : | 10 |
| 3.1.2 LA TENSION RESSEMBLE À LA PRESSION : | 11 |
| 3.1.3 LA RÉSISTANCE AU PASSAGE DES COURANTS : | 12 |
| 3.1.4 L'INTENSITÉ RESSEMBLE AU DÉBIT : | 12 |
| 3.1.5 LA PUISSANCE EST LE PRODUIT DE LA TENSION PAR L'INTENSITÉ OU DE LA PRESSION PAR LE DÉBIT : | 12 |
| 3.2 LE COURANT ALTERNATIF: | 13 |
| 3.3 CHOIX CONTINU OU ALTERNATIF POUR LA DISTRIBUTION : | 14 |
| 3.4 LES TRANSFORMATEURS : | 15 |
| 4 ACTIONS DU COURANT ÉLECTRIQUE. | 19 |
| 4.1 L'ÉCHAUFFEMENT : | 19 |
| 4.1.1 APPAREILS DONT L'ÉLÉMENT CHAUFFANT EST UNE RÉSISTANCE : | 19 |
| 4.1.1.1 LES RADIATEURS : | 19 |
| 4.1.1.2 LES APPAREILS DE CUISSON : | 20 |
| 4.1.1.3 LES FERS À FRISER, À REPASSER, À SOUDER ETC..... | 20 |
| 4.1.1.4 LES CHAUFFE-EAU À ACCUMULATION : | 20 |
| 4.1.1.5 LES AMPOULES À INCANDESCENCE : | 20 |
| 4.1.2 ÉCHAUFFEMENT AUTRE QUE RÉSISTANCE : | 20 |
| 4.1.2.1 LES APPAREILS DE SOUDURE À L'ARC : | 20 |

| | |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.2.2 LE CHAUFFAGE DIT “À LA LAME DE RASOIR” : | 21 |
| 4.2 LE MAGNÉTISME : | |
| | |
| 22 | |
| 4.2.1 VOICI QUELQUES EXEMPLES D’ APPAREILS À ÉLECTRO-AIMANTS : | 22 |
| 4.2.1.1 LES GÂCHES ÉLECTRIQUES : | |
| ..... | 22 |
| 4.2.1.2 LES CONTACTEURS / LES RELAIS : | |
| ..... | 22 |
| 4.2.1.3 LES TÉLÉ RUPTEURS : | |
| ..... | 22 |
| 4.2.1.4 LES ANCIENNES MINUTERIES : | |
| ..... | 22 |
| 4.2.1.5 LES MOTEURS : | |
| ..... | 22 |
| 4.2.2 CAS PARTICULIER DES NOUVEAUX MODES DE CUISSON : | 23 |
| 4.2.2.1 LES FOURS À MICRO ONDES : | |
| ..... | 23 |
| 4.2.2.2 LES PLAQUES “À INDUCTION” : | |
| ..... | 23 |
| 4.3 LA LUMIÈRE AUTRE QUE PAR CHAUFFAGE D’ UN FILAMENT : | 24 |
| 4.3.1 LA LUMINESCENCE : | |
| ..... | 24 |
| 4.3.2 LA FLUORESCENCE : | |
| ..... | 24 |
| 4.3.3 L’ÉLECTROLUMINESCENCE DES DIODES : | |
| ..... | 24 |
| 4.4 LES EFFETS CHIMIQUES : | |
| ..... | 25 |
| 4.4.1 L’ACCUMULATEUR : | |
| ..... | 25 |
| 4.4.2 LA GALVANOPLASTIE : | |
| ..... | 25 |
| 4.5 LES EFFETS PHYSIOLOGIQUES : | |
| ..... | 25 |
| 4.5.1 LES CLÔTURES ÉLECTRIQUES : | |
| ..... | 25 |
| 4.5.2 LA CHAISE ÉLECTRIQUE : | 25 |
| 4.5.3 LES APPAREILS MÉDICAUX : | |
| ..... | 26 |
| 5.1 COMPOSANTS PARTICULIERS : | |
| ..... | 27 |
| 5.1.1 LA DIODE : | |
| ..... | 27 |
| 5.1.2 LA SELF (BOBINAGE AVEC OU SANS NOYAU MAGNÉTIQUE) : | 27 |
| 5.1.3 LE CONDENSATEUR : | |
| ..... | 28 |
| 5.2 CONVERSION ALTERNATIF VERS CONTINU : | |
| ..... | 29 |
| 5.2.1 IL Y A EU PLUSIEURS TECHNOLOGIES DE DIODES : | 30 |
| 5.2.2 ON DISTINGUE DEUX TYPES DE REDRESSEMENT : | 30 |
| 5.2.2.1 LE REDRESSEMENT SIMPLE ALTERNANCE : | 30 |
| 5.2.2.2 LE REDRESSEMENT DOUBLE ALTERNANCE : | 30 |
| 5.2.3 COMPARAISON DES PRINCIPAUX TYPES DE BATTERIES : | 32 |
| 5.2.3.1 BATTERIES AU PLOMB (Pb) : | 32 |
| 5.2.3.2 BATTERIES NICKEL / CADMIUM (NI-Cd) : | |
| ..... | 32 |
| 5.2.3.3 BATTERIES NICKEL / MÉTAL HYDRIDE (Ni-Mh) : | 33 |
| 5.2.3.4 BATTERIES AU LITHIUM (LI-ION) : | 33 |
| ..... | 33 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 5.3 CONVERSION CONTINU VERS ALTERNATIF : | 33 |
| ..... | 5.3.1 LES ONDULEURS : |
| ..... | 34 |
| 5.3.2 LES GROUPES ÉLECTROGÈNES: | 34 |
| ..... | 6 LES INSTALLATIONS |
| FINALES. | 35 |
| 6.1 TRIPHASÉ ÉTOILE / TRIANGLE : | 35 |
| ..... | 36 |
| 6.2 LES INSTALLATIONS DOMESTIQUES : | 36 |
| ..... | 6.2.1 QUELQUES SCHÉMAS |
| : | 39 |
| APPAREILS ET ÉLÉMENTS DIVERS : | 40 |
| 6.2.2.1 LAMPES TÉMOIN À GAZ RARE : | 40 |
| ..... | 6.2.2.2 LES VARIATEURS DE |
| LUMIÈRE : | 41 |
| ..... | 7 DANGERS DE |
| L'ÉLECTRICITÉ. | 44 |
| 7.1 DANGER D'ÉLECTROCUTION : | 44 |
| ..... | 7.1.1 DÉFAUT |
| D'ISOLEMENT D'UN APPAREIL : | 44 |
| 7.1.2 TRAVAUX SUR L'INSTALLATION OU REMPLACEMENT D'AMPOULES : | 45 |
| ..... | 45 |
| 7.1.2.1 CONTACT AVEC DEUX CONDUCTEURS : | 45 |
| 7.1.2.2 CONTACT AVEC UN SEUL CONDUCTEUR : | 46 |
| 7.1.2.3 ABSENCE DE DISPOSITIF DIFFÉRENTIEL SENSIBLE (30 mA) : | 46 |
| 7.1.2.4 PRISE DE TERRE INEXISTANTE OU DE MAUVAISE QUALITÉ : | 46 |
| 7.1.2.5 LIAISONS ÉQUIPOTENTIELLES INEXISTANTES (DANS UNE SALLE D'EAU) : | 47 |
| 7.1.2.6 CONDUCTEURS DE COULEUR INAPPROPRIÉE | 47 |
| 7.1.2.7 INTERRUPTEUR COUPANT SEULEMENT LE NEUTRE | 47 |
| 7.1.2.8 FILS NEUTRES NON APPARIÉS AVEC LEURS FILS DE PHASE SUR LEUR DISJONCTEUR | 47 |
| 7.1.2.9 VA ET VIENT DANGEREUX: | 49 |
| ..... | 49 |
| 7.1.2.10 EN RÉSUMÉ : | 49 |
| ..... | 50 |
| 7.2 DANGER D'INCENDIE : | 50 |
| ..... | 50 |
| 7.2.1 SOUS DIMENSIONNEMENT DES CONDUCTEURS : | 50 |
| 7.2.2 ÉPISURES : | 51 |
| ..... | 52 |
| 7.2.3 REMPLACEMENT DE FUSIBLES NON CONFORMES : | 52 |
| 7.2.3.1 PORTE FUSIBLES PORCELAINE : | 52 |
| ..... | 7.2.3.2 PORTE FUSIBLES TYPE |
| CARTOUCHE : | 53 |
| ..... | 7.3 RAYONNEMENTS |
| ÉLECTROMAGNÉTIQUES : | 53 |
| ..... | 8 DIVERS |
| PÊLE-MÊLE. | 55 |
| ..... | 55 |
| 8.1 COMMENT MESURER LA RÉSISTANCE DE LA PRISE DE TERRE : | 55 |
| 8.1.1 POLARITÉ RELIÉE À LA TERRE : | 55 |
| ..... | 8.1.2 CAS DES PRISES DE |
| COURANT AVEC BORNE DE TERRE : | 56 |
| ..... | 8.2 INTERRUPTEURS |
| DIFFÉRENTIELS TYPE A ET TYPE AC : | 57 |
| ..... | 8.3 REPÉRAGE |
| DES FILS NEUTRES ASSOCIÉS AUX FILS DE PHASE: | 59 |
| ..... | 8.4 NOTATION DES |
| VALEURS DE RÉSISTANCES : | 60 |
| ..... | 8.5 |
| NUMÉRISATION : | 61 |
| ..... | 62 |
| 8.5.1 POUR LA TÉLÉPHONIE : | 62 |
| ..... | 8.5.2 POUR |
| LA MUSIQUE : | 62 |

| | | |
|-----------------------------------------------------------------|----|--------------------------|
| ..... | 63 | 8.5.3 |
| P OUR L'IMAGE : | | |
| ..... | 63 | |
| 8.6 I NTERNET (NOTIONS SUCCINCTES) : | | |
| ..... | 64 | 8.6.1 |
| W IDE W EB (WWW) : | 64 | L E W ORLD |
| 8.6.2 S UPPORTS DE TRANSMISSION DOMESTIQUE : | | |
| 65 8.6.2.1 L ES ANCIENNES LIGNES DE TÉLÉPHONIE FILAIRE : | 65 | |
| 8.6.2.2 L E CÂBLE : | | |
| ..... | 65 | |
| 8.6.2.3 L A FIBRE OPTIQUE : | | |
| ..... | 65 | 8.6.2.4 |
| C ONNEXION DES TERMINAUX ET ACCESSOIRES : | 66 | 8.6.2.5 |
| É THERNET : | | |
| ..... | 66 | |
| 8.6.2.6 C.P.L. : | | |
| | | |
| 66 8.6.2.7 W I-FI : | | |
| | | |
| 66 8.6.2.8 B LUETOOTH : | | |
| ..... | 67 | 8.7 |
| C ONCLUSION | | |
| | | |
| 67 | | |