

## **A.B.C de L'ELECTRICITE,**

**Ce n'est pas si difficile,  
Accessible à tous :**

### **Courant continu**

**C. MARTIN 26 / 04 / 03**

Bonjour !

Comme Obélisque, ce gros sympathique gaulois qui est tombé dans la potion magique, j'ai dû être électriqué en venant au monde.

Alors, je vais tenter de vous faire partager ma passion, et si vous le voulez, nous allons commencer par une petite granule de calculs, car, les souvenirs de l'école se sont peut-être estompés dans les aléas de la vie.

Rassurez-vous, nous nous bornerons à multiplier, à diviser, au plus fort à faire une règle de trois, sans oublier, bien sûr, d'additionner et de soustraire.

De toute façon, une simple calculette vous évitera de fastidieux calculs en les réalisant pour vous.

- Lorsque vous verrez ce signe \* sachez que c'est l'ancien signe X multiplication  
- Ce signe / est celui de la division.

- Le nombre 10 par exemple affligé d'un petit 2 au dessus et à droite,  $10^2$ , cela se calcule :

$$10 * 10 = 100$$

- Ce petit chiffre se nomme L'EXPOSANT, et indique que l'on doit multiplier le chiffre ou le nombre qu'il accompagne par lui-même 2 fois ; on dit que le résultat est le carré du nombre.

$$100 \text{ est le carré de } 10 \text{ exposant } 2$$

Avec l'exposant 3, en multipliant le chiffre ou le nombre par lui-même 3 fois, on obtiens le cube du chiffre ou du nombre :

$$3 * 3 * 3 = 27 \text{ } 27 \text{ est le cube de } 3 \text{ exposant } 3$$

- Si il s'agit du nombre 10 accompagné d'un exposant, il suffit d'ajouter à droite du 1 autant de zéros que vaut l'exposant :

$$10^4 = 1 \text{ et quatre } 0, \text{ soit } 10000.$$

Les deux exposants dont nous venons de parler sont positifs

Il se trouvera également des exposants négatifs, représentés par exemple :  $5^{-2}$

C'est aussi simple que pour le précédant : cela signifie que le chiffre 5 est placé derrière une virgule en deuxième position :

$$5^{-2} = 0,05$$

Voilà toutes les difficultés mathématiques étant vaincues, nous allons entrer dans le vif du sujet !  
**BRAVO, VOUS ÊTES COURAGEUX !**

**Notions préliminaires :**

**Historique :**

C'est 600 ans avant Jésus Christ que fut découvert le premier phénomène électrique. En frottant un morceau d'ambre sur de la laine, le berger grec THALES DE MILET remarqua que ce morceau d'ambre (électron, en grec) attirait les corps légers ; ce n'est qu'au XVI<sup>ème</sup> siècle que GILBERT, physicien français, étendit à d'autres substances cette propriété attractive ; plus tard, l'anglais SOMMER émit l'hypothèse que deux sortes d'électricités pouvaient exister, l'une positive, l'autre négative, provenant du frottement.

L'allemand AUTO DE GUERICKE, vers le milieu du XVII<sup>ème</sup> siècle, réalisa la première machine électrique.

Elle était constituée d'une boule de soufre enfilée sur un axe, que l'on faisait tourner rapidement. En appliquant les mains sèches sur cette boule, elle s'électrisait et communiquait ses propriétés attractives à des corps légers placés dans son voisinage.

En 1800 l'italien VOLTA inventa la pile électrique, point de départ d'une série de découvertes, à cause du flux continu d'électricité qu'elle produisait, se manifestant sous la forme d'un courant électrique capable de produire :

- l'aimantation du fer doux
- la décomposition de l'eau en hydrogène et oxygène
- l'incandescence de fils métalliques fins, etc.....etc....

*En 1832, le physicien anglais FARADAY constata le premier la naissance d'un courant électrique, en déplaçant un aimant au voisinage de fils métalliques formant une boucle.*

*Le principe de l'induction était découvert, et devait donner naissance aux machines électriques industrielles, alternateurs, dynamos, puis moteurs électriques, etc ... et révolutionner ainsi l'industrie mondiale.*

MARIE et PIERRE CURIE découvrant le RADIUM, ouvraient la voie à la radioactivité. On sait aujourd'hui que les corps sont composés de molécules, elles-mêmes formées par la juxtaposition d'atomes.

La radioactivité a montré que l'atome d'un corps simple est composé de deux parties :

1°) Le noyau positif dont la structure détermine celle de la nature du corps considéré, on dit qu'il est une charge positive.

2°) un ensemble d'électrons, corpuscules qui gravitent autour du noyau, comme les planètes autour du soleil ; ces électrons, négatifs, sont assez nombreux pour compenser et équilibrer la charge positive du noyau, de sorte que l'atome est électriquement neutre, et ne donne naissance à aucune manifestation électrique.

Sous certaines influences, tel que le frottement, quelques uns des électrons satellites peuvent abandonner leur atome ;

les électrons négatifs restants ne sont plus assez forts pour neutraliser la charge positive du noyau, ce qui détermine alors un état positif de l'atome.

Inversement, il peut arriver qu'un atome capte un ou plusieurs électrons négatifs supplémentaires, et que sa charge positive ne soit plus assez forte pour annuler la nouvelle charge négative, il prend ainsi la charge négative.

Si l'on frotte un bâton de résine avec de la laine, cette dernière cède quelques électrons à la résine qui devient alors négative, tandis que la laine ayant perdu des électrons, devient positive.

*Corps isolants, corps conducteurs*

Les isolants sont des corps dont les électrons passent difficilement d'une molécule à l'autre.

Les corps conducteurs, au contraire, laissent circuler dans leur masse les électrons qu'une cause appelée "FORCE ELECTROMOTRICE" fait circuler :

C'est le " COURANT ELECTRIQUE "

**Les corps bons conducteurs sont en particulier :**

les métaux , les solutions d'eaux salines , le charbon dit "de cornue" , la terre humide , le corps humain , les corps d'animaux ...etc....

**Les mauvais conducteurs sont très nombreux :**

le soufre , le verre , la soie , la paraffine , les résines , les plastiques , les gaz , le bois très sec...etc....

Ils sont appelés isolants , parce qu'ils s'opposent au passage des électrons.

C'est pour cela que le bâton de résine convenablement frotté attire les corps légers, car l'électricité ainsi développée à sa surface ne se propage pas de notre corps vers la terre.

Au contraire une barre de cuivre frottée et tenue a la main laisse son électrisation s'échapper vers la terre au travers de notre corps.

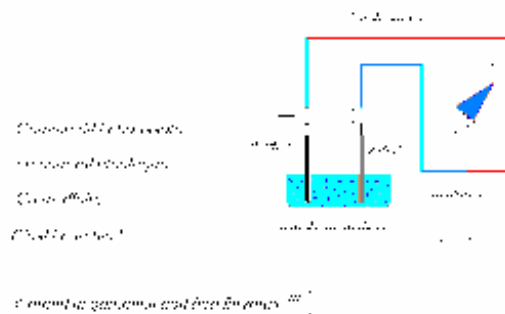
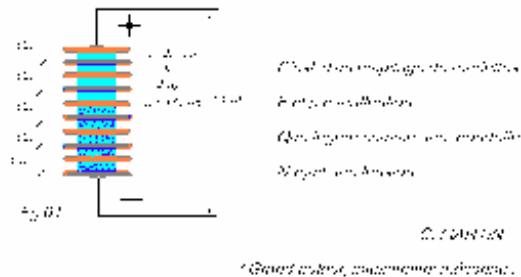
Si l'on soutient la barre de cuivre avec un manche isolant , elle conserve son électrisation et peut attirer des corps légers , même avec la partie non frottée :

*c'est un corps conducteur*

Par contre le bâton de résine tenu par un manche isolant , n'attire les corps légers que par sa partie frottée :

*c'est un corps isolant .*

EN RESUME , LE COURANT ELECTRIQUE N'EST AUTRE QU'UN FLUX CONTINU D'ELECTRONS QU'UNE CAUSE APPELEE FORCE ELECTROMOTRICE (FEM ) FAIT CIRCULER A TRAVERS UN CORPS CONDUCTEUR.



## CHAPITRE II

### LE COURANT ELECTRIQUE :

*Pour faire circuler un courant électrique , il faut une FEM .*

Comment la produire ? Par exemple comme Volta , à l'aide d'une pile , en empilant des rondelles de drap imbibées d'eau acidulée , séparant des rondelles de zinc et de cuivre; c'est à cause de cet empilage que l'on donna le nom de pile à cet appareil .(Fg 01)  
On peut réaliser facilement une pile , avec une tige de charbon de cornue , (récupérée dans une vieille pile "batterie de 4V5" ) , et une plaque de zinc, plongées dans un verre d'eau acidulée à l'acide sulfurique .

ATTENTION , IL FAUT VERSER L'EAU EN PREMIER DANS LE VERRE , PUIS AJOUTER L'ACIDE (environ 1/10 de l'eau ) ENSUITE ; SINON RISQUE DE BRULURES !!!!

Avec cette pile , on peut mettre en évidence le passage du courant électrique , en faisant dévier l'aiguille aimantée d'une boussole. (Fg 02 A)

L'acide attaque différemment le zinc, et le charbon :

*Le zinc est rongé plus vite que le charbon, les molécules de zinc deviennent moins nombreuses que celles du charbon !!!*

Cette différence d'état moléculaire provoque une charge positive du charbon, et une charge négative du zinc.

Si l'on réunit les deux corps par un fil de cuivre (conducteur), un courant d'électrons va s'établir, ayant tendance à remettre les deux plaques à l'équilibre du nombre d'électrons, soit à les ramener à l'état neutre.

*Mais, comme l'attaque du zinc persiste, le flux d'électrons ou " courant électrique», va se maintenir dans le fil jusqu'à l'épuisement du zinc.*

On peut assimiler ce phénomène à un circuit hydraulique, comme le montre la figure 03 :  
*La force motrice appliquée à la manivelle M, provoque un courant d'eau dans le tube a.b.*

De la même façon , la différence d'attaque de l'eau acidulée sur le charbon et le zinc provoque l'apparition d'une force électromotrice , qui fait circuler un courant d'électrons dans le fil

Pour que le circuit soit complet , ce courant revient à l'intérieur de la pile , comme l'eau circulant de b. vers a. par l'intermédiaire la pompe P. .

### SENS DU COURANT :

*A l'époque de VOLTA , les physiciens pensaient que le courant partait du pôle positif , pour se diriger vers le pôle négatif , par le fil conducteur .*

Des études plus modernes ont démontré le contraire.

*Toutefois , pour éviter de regrettables confusions , on continue à admettre (jusqu'à nouvel ordre ! ) que le courant électrique circule du + vers le - à l'extérieur du générateur (la pile par exemple)*

*Comment déceler le sens du courant électrique ?*

L'expérience de la boussole (Fg 02 A) , avec la pile expérimentale , va nous permettre de nous rendre compte du sens du courant .

*En faisant 5 ou 6 tours de fil isolé parallèlement à l'aiguille aimantée , et en branchant les 2 fils sur la pile , l'aiguille aimantée va se mettre à 90 ° par rapport au fil enroulé précédemment.*

- Débranchons un fil , l'aiguille va reprendre sa place en indiquant le nord.

- Invertissons le sens de branchement des 2 fils sur la pile , l'aiguille va se mettre à nouveau en croix , mais à l'inverse de l'expérience précédente.( Fg 02B)

Il circule bien quelque chose dans le fil entourant la boussole , ce quelque chose, agissant à distance sur l'aiguille aimantée , change de sens selon que tel ou tel fil est branché sur le plus , ou le moins de la pile.

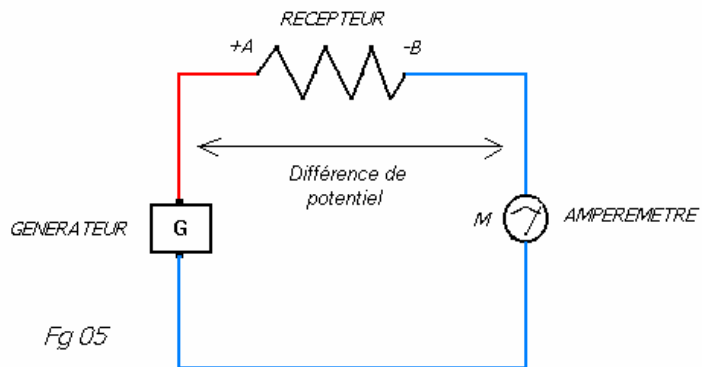
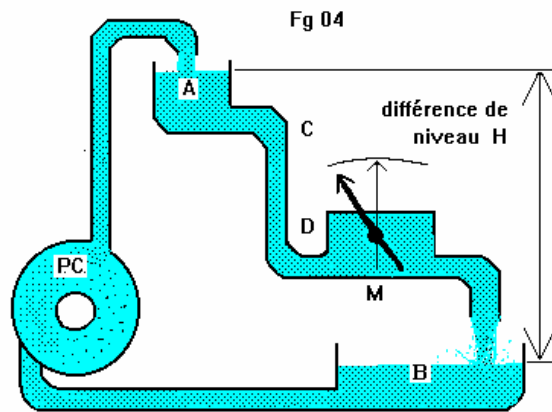
Ce phénomène se nomme " L'ELECTROMAGNETISME " , nous en reparlerons plus tard.

Le parcours du courant qui a agi sur la boussole est :

" LE CIRCUIT ELECTRIQUE"

OUI, mais attention: la Fg 04 représente non pas un mesureur d'ampères, mais un mesureur de débit d'eau, appelé dans la réalité "débitmètre"

CE N'EST PAS UN AMPEREMETRE !!



*Il est comparable au circuit hydraulique de la Fg0 3 , page8 :*  
- le moulinet P met en mouvement le liquide à l'intérieur du tuyau , et le fait revenir au point de départ , à l'intérieur de la pompe (P).

*Dans le circuit électrique , par le fil, au départ du charbon, le courant fait le tour de la boussole, revient dans le zinc, puis, par l'eau acidulée, retourne dans le charbon.*

#### **DEBIT, INTENSITE :**

La Fg 04 représente une pompe centrifuge PC remontant l'eau du réservoir B au réservoir plus élevé A .  
Supposons que l'eau s'écoule d'elle même de A vers B, à travers le tuyau C D  
Avant d'arriver en B , intercalons une boîte M , contenant un volet que le courant d'eau poussera en s'écoulant .  
On comprend que suivant l'intensité du courant d'eau , le volet sera plus ou moins poussé , et qu'il indiquera donc le débit de la conduite grâce à l'aiguille fixée sur son axe.  
De là a un circuit électrique , il n'y a qu'un pas :  
- la Fg 05 représente un générateur d'électricité (pile ou machine productrice ) lequel tout comme la pompe PC, établit une différence de niveau électrique appelée :  
« DIFFERENCE DE POTENTIEL »  
ou " TENSION ELECTRIQUE " entre les conducteurs +A et -B

Si nous plaçons un appareil de mesure électrique M dans le trajet du courant traversant le conducteur ( comme celui placé dans le tuyau de la Fg 04 ) , cet appareil indiquera le débit , ou " INTENSITE " du courant :

*c'est un " AMPEREMETRE ."*

#### **RESISTANCE :**

Il y a une chose très importante , tant en hydraulique qu'en électricité :  
la résistance qu'oppose le circuit lui même au bon passage du fluide .  
Dans nos circuits , si la différence de niveau ou de potentiel est constante , nous constaterons que plus les conducteurs sont étroits , ou fins , moins il y aura de débit .  
Ce que les conducteurs opposent au passage du débit de l'eau ou des électrons se nomme la " RESISTANCE " .  
Cette résistance est proportionnelle à leur section S, ( la surface de passage ) :

$$S = 3,14 * R^2$$

*avec S en millimètres carrés , et R en millimètres*

La résistance s'exprime en ohms .  $\Omega$  ( oméga, lettre grecque )  
*Elle est d'autant plus grande que la section est petite ( il est beaucoup plus difficile de souffler dans une paille de 20 cm de long que dans un tuyau d'arrosage de même longueur ) .*

Dans le courant d'eau de la Fg 03 page 8, la partie rétrécie du conducteur a.b , offre au passage de l'eau une résistance plus grande que s'il était partout de grosse section

#### **TENSION ELECTRIQUE :**

C'est la différence de niveau entre les 2 réservoirs (H , SUR LA Fg 04 page 9) , qui provoque le courant liquide lorsqu'on les réunit par un tuyau.  
*En électricité , c'est la différence de potentiel électrique entre deux points qui provoque l'apparition d'un courant électrique , lorsqu'on les réunit par un conducteur :*

*c'est la différence de potentiel , appelée "TENSION" elle s'exprime en " VOLT " ; on peut l'écrire U et aussi V*

Loi d'OHM, ( nom du physicien allemand qui l'a énoncée )

Ainsi que nous venons de le voir, un circuit électrique dans lequel passe un courant est caractérisé par trois grandeurs bien définies :

- 1 ) la tension , U , que l'on exprime en volts , V, ( du nom de VOLTA )
- 2 ) l'intensité du courant , I , que l'on exprime en ampères (nom d'un physicien allemand ) et que l'on écrit A ,

- 3 ) la résistance offerte au passage du courant , que l'on exprime en ohms , et que l'on écrit R ; le symbole de l' ohm est :  $\Omega$  (oméga)

QUELQUES GRANDEURS COURANTES :

- Notre pile expérimentale délivre une tension d'environ 1 V
- L'ampoule du phare de la voiture éclaire sous 12 V
- La télévision fonctionne avec 230 V
- Le TGV utilise une tension de 25.000 V
- L'intensité du courant de la sonnerie de la porte est de 0,100 A
- Le radiateur électrique absorbe environ 6 A
- La résistance d'un fil de cuivre de 1mm de diamètre et de 50mde longueur est pratiquement de 1 ohm ;

La relation mathématique qui relie ces trois grandeurs , U ,A, et R, se nomme la "Loi d'OHM".

Elle s'exprime de la façon suivante :

L'INTENSITE DU COURANT EST PROPORTIONNELLE A LA DIFFERENCE DE POTENTIEL EN JEU , ET INVERSEMENT PROPORTIONNELLE A LA RESISTANCE DU CIRCUIT. "

Cela s'écrit :  $intensité (en A) = U (en V) / résistance (en ohm) , soit :$

$$I = U / R$$

Cette relation permet , si l'on connaît 2 des 3 grandeurs de trouver la 3<sup>ème</sup> :

$$I = U / R , \quad U = R * I , \quad \text{et} , \quad R = U / I$$

Les unités utilisées sont celles que nous avons vues précédemment soit :

I en ampères      A

U en volts              V

R en ohms               $\Omega$

Chacune d'elles a des multiples, et des sous multiples :

Le volt :

- microvolt ( $\mu V$ ) vaut 0,000001 V  $10^{-6} V$
- millivolt (mV) vaut 0,001 V  $10^{-3} V$
- kilovolt (KV) vaut 1000V  $10^3 V$

L'ampère :

- nanoampère (nA) vaut 0,000000001 A  $10^{-9} A$
- microampère ( $\mu A$ ) vaut 0,000001 A  $10^{-6} A$
- milliampère (mA) vaut 0,001A  $10^{-3} A$
- kiloampère (KA) vaut 1000A  $10^3 A$

L'ohm :

- microhm ( $\mu \Omega$ ) vaut 0,000001 ohm  $10^{-6} ohm$
- milliohm ( $m\Omega$ )vaut 0,001 ohm  $10^{-3} ohm$
- kilohms ( $K\Omega$ ) vaut 1000 ohms  $10^3 ohms$
- mégohms ( $M\Omega$ ) vaut 1000000 ohms  $10^6 ohms$

Exemples de calculs divers utilisant la loi d'Ohm :

- Un fil de cuivre de 0,1mm de diamètre mesure 0,07 $\Omega$  par mètre ,à une longueur de

140m , et une résistance de :  $0,07 * 140 = 9,8 \Omega$  .

- Si on le branche sur une pile de 12V, l'intensité qui le traverse est de :

$$I = U / R , \text{ soit : } 12 \text{ V} / 9,8 \Omega = 1,22 \text{ A}$$

- Un circuit de 2700 ohms raccordé sur une pile de 9 V est parcouru par une intensité de :

$$9 \text{ V} / 2700 \Omega = 0,0033 \text{ A} , \text{ soit } 3,3 \text{ mA}$$

Un circuit de 1500 ohms est parcouru par un courant de 0,25 A ; quelle est la tension mesurée à ses bornes ? :

$$U = R * I , \text{ soit } 1500 \Omega * 0,25 \text{ A} = 375$$

Quelle est la résistance d'un circuit de fil de cuivre branché sur une pile de 4,5V, dans lequel circule un courant de 30 mA ? :

$$R = U / I , \text{ soit } 4,5 / 0,030 = 150 \Omega$$

**Voilà ce que permet la loi d'OHM , avec des opérations de base :**

### **Division, multiplication, et règle de trois**

Elle régit sous cette forme simple , ou sous d'autres formes légèrement différentes

mais aussi simples , toutes les applications de l'électricité et de l'électronique .

*D'autres lois existent , pour résoudre d'autres problèmes , nous allons les étudier , toujours en partant de circuits hydrauliques , comparés à des circuits électriques .*

QUANTITE D' ELECTRICITE :

Dans un circuit hydraulique , lorsqu'un liquide s'écoule pendant un certain temps , on en recueille une certaine quantité .

Un petit filet d'eau qui remplit une bouteille arrive à donner 1 litre au bout d'un certain temps qui varie selon le débit du filet de liquide , donc du courant .

De même en électricité , le courant qui traverse un circuit met en mouvement une quantité d'électricité d'autant plus grande que l'intensité du courant est plus importante , et le temps plus long .

Appelons T le temps exprimé en secondes .

L'unité pratique de quantité d'électricité s'appelle le coulomb , (nom du savant qui étudia ce phénomène) .

On la représente par la lettre majuscule C , alors que l'on appelle Q la valeur de la quantité d'électricité , et on peut écrire :

$$Q_c = I * T , \text{ avec } Q \text{ en coulomb , } I \text{ en ampère A, et } T \text{ en secondes}$$

$$1C = 1A * 1 \text{ Sec. } \text{ soit } 1C = 1 \text{ A.Sec.}$$

Pour certaines applications , on prend le temps T en heures au lieu de secondes .

Dans ce cas la quantité d'électricité s'exprime en Ampère / Heure , et l'on écrit :

$$1A * 1H = 1AH$$

On parle de cette unité l'AH , surtout pour les quantités d'électricité contenues dans les accumulateurs , les piles , et les condensateurs que nous verrons plus tard .



## PUISSANCE ELECTRIQUE :

Prenons la roue d'un moulin à eau qui est actionnée par une chute d'eau . (Fg06)  
Plus le débit d'eau tombant sur la roue sera grand , plus la force motrice disponible sur l'arbre de la roue sera importante .

De même , plus la hauteur de la chute sera importante , plus l'axe de la roue délivrera de force.

Il y a donc deux facteurs qui interviennent sur la force délivrée par la roue :

- 1) le débit  $Q$  ,
- 2) la hauteur  $H$ .

Si nous appelons  $W$  le travail possible à partir de la roue , on peut écrire :

$$W = Q * H$$

Mais ce travail peut être effectué dans un temps plus ou moins long :

S'il tombe 1 litre/seconde au lieu de 100 litres/seconde , le travail effectué sera 100 fois plus faible .

On peut aussi exprimer la quantité d'eau qui chute sur la roue du moulin en poids , par exemple en kilogrammes , la hauteur de la chute en mètres , et considérer que le travail s'est effectué en une seconde .

Dans ce cas , on parlera de travail dans une unité de temps .

C'est ce que l'on nomme " PUISSANCE " , et elle s'exprimera sous la forme suivante :

$P = \text{poids} * \text{hauteur} * \text{secondes}$

$$P = 1\text{Kg} * 1\text{m} * 1\text{sec. soit } P = 1\text{Kg/m/sec}$$

On a décidé ( sans nous consulter , nous !!! ) ,de définir que 75Kg.m.sec valaient :

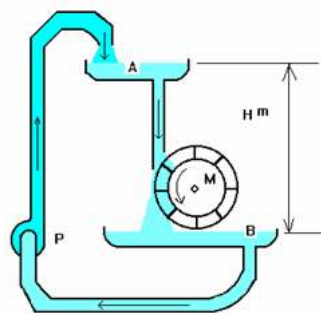
- 1 cheval vapeur ( CV )en unité de puissance mécanique,
- et, 736 Watts en unité de puissance électrique.

Aujourd'hui , on ne parle plus que d'une unité de puissance commune :

le " WATT " (savant anglais )

Le watt a des multiples et des sous multiples qui sont :

- le milliwatt (  $mW$  ) qui vaut 0,001W
- l'hectowatt (  $HW$  ) qui vaut 100W
- le kilowatt (  $KW$  ) qui vaut 1000W
- le mégawatt (  $MW$  ) qui vaut 1000000 W



C'est un vieux moulin, qui chante au bord de l'eau,  
Qui chante et charme le ruisseau.

(vienne chanson française !)

## TRAVAIL, OU ENERGIE :

Si la chute d'eau qui actionne le moteur M de la Fg 06 ,est alimentée par un lac ou par un grand réservoir , cette réserve d'eau constitue une réserve de travail, puisque chaque litre d'eau tombant de 1m fournit un travail de 1Kgm .(1 litre d'eau pèse 1 Kg)  
On peut avoir ainsi en réserve des millions de Kgm ; on dit que c'est une réserve d'énergie .

De même, le charbon qui est en réserve dans l'usine où se trouve le générateur G, (Fg07) , qui en brûlant , chauffera l'eau , formant ainsi de la vapeur d'eau, capable d'entraîner la turbine solidaire du générateur .

*Ce charbon, comme le lac , constitue une réserve d'énergie.*

Cette réserve, par l'intermédiaire du générateur , produira donc du courant dont le débit sera exprimé en ampères , pendant un temps en secondes , d'où une tension mesurée en volts,et une énergie proportionnelle aux trois grandeurs :

I ampères, U volts et T heures

*L'unité de cette quantité d'énergie deviendra le wattheure, WH :*

$$1W = 1V * 1A \quad \text{d'ou } 1WH = 1V * 1A * 1H \quad \text{cela s'écrit}$$

$$W = U * I * T.$$

Cette unité a aussi ses multiples :

- 1) l'hecto-watt-heure ,soit 100 WH,
- 2)le Kilowattheure , soit 1000 WH ,
- 3)le Méga-watt-heure ,soit 1.000.000 WH

TRANSFORMATION DE L'ENERGIE, ( loi de JOULE = énergie calorifique)

L'énergie se trouve sous différentes formes :

Les ordures ménagères , ou le charbon , brûlant dans une chaudière , produisent de la vapeur d'eau qui actionne une turbine. Cette turbine produit de l'énergie mécanique en entraînant un générateur électrique , qui a son tour , produit de l'énergie électrique .

*L'énergie électrique qui fait chauffer et porte à l'incandescence le filament de l'ampoule d'éclairage , fournissant ainsi de la lumière , et qui fait chauffer le fer à repasser se transforme alors en énergie calorifique .*

Il faut savoir que les physiciens ont adopté une unité d'énergie de transformation (mécanique et calorifique ) , qui est la :

" CALORIE INTERNATIONALE.»

Cette unité est peu utilisée par les électriciens, qui lui préfèrent l'unité de travail appelée JOULE , ( nom du physicien anglais ) , symbole J .

On admet que le joule est le travail fourni par une puissance de 1W, pendant 1 seconde :

$$1J = 1W \text{ sec} \quad \text{d'ou } 1WH = 3600J$$

*La calorie internationale, symbole CALt ,vaut :*

$$1CALt = 4,18 \text{ joules}$$

*La quantité de chaleur émise par un récepteur électrique quel qu'il soit, un radiateur électrique , par exemple , est régi par la loi de JOULE .*

Cette quantité de chaleur dépend de la puissance mise en jeu , et du temps pendant lequel elle est développée ; on peut donc écrire :

$$J = P * T , \text{ avec } P \text{ en watts et } T \text{ en secondes ou , aussi :}$$

$$\text{comme } P = U * I :$$

$$J = U * I * T , \text{ avec } U \text{ en volts et } I \text{ en ampères , } T \text{ en sec.}$$

**En conclusions , nous dirons que la loi de joule s'applique à tous les corps conducteurs d'électricité .**

Le passage du courant dans un corps conducteur y provoque un échauffement et , donc

,dégage une énergie thermique proportionnelle à sa résistance, au carré de l'intensité du courant qui le traverse , et enfin au temps durant lequel on laisse passer le courant .  
 Cette énergie , exprimée en joule , peut donc se calculer avec la formule suivante :

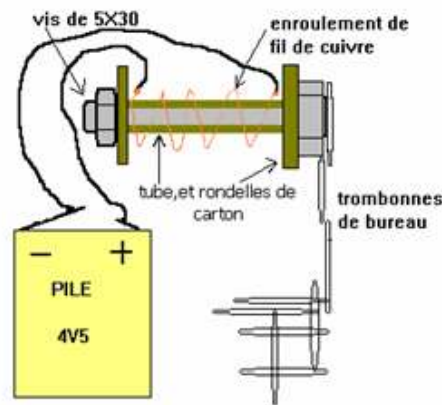
$$J = P * T \quad \text{dans laquelle } P \text{ peut aussi s'écrire : } P = U * I ,$$

$$U \text{ peut s'écrire } R * I , \text{ donc , } J = R * I^2 * T ,$$

dans laquelle J est en joules , R en ohms , I en ampères , et T en secondes .  
 Dans la pratique , on utilise comme unité de temps , non pas la seconde , mais l'heure ,  
 donc :

$$\text{comme } 1 \text{ heure vaut } 3600 \text{ secondes , avec } P = 1W , \text{ on écrit :}$$

$$1W * 3600 = 3600J \text{ ou encore , } 1W * 1H = 3600J = 1WH$$



Fg 08

*Cette expérience se réalise avec du fil très fin,  
 0,10 à 0,25 mm de diamètre, isolé par du vernis ;*

*le fil est enroulé en spires jointives pour en placer  
 un maximum .*

*( 150 à 200 spires conviennent bien )*

Nous avons retrouvé le '  $WH = U * I * 1H$  ' du paragraphe " Travail ou énergie "

Nous avons vu que le passage du courant dans un fil faisait dévier l'aiguille d'une boussole , c'est aussi une façon de transformer l'énergie électrique , en énergie mécanique , ( il faut une certaine force mécanique pour entraîner l'aiguille de la boussole ) .

C'est ce que l'on peut appeler une énergie " ELECTROMECHANIQUE " .

C'est grâce à elle que les moteurs électriques fournissent de l'énergie capable d'entraîner toutes sortes de machines , du moulin a café au TGV ,en passant par l'aspirateur , la machine à laver , l'essuie-glace de la voiture , etc....

Faisons une expérience facile : ( Fg 08, page 20 )

Nous prenons une vis 5 X 30 , 2 rondelles de 6 , un écrou de 5 , 5m de fil de cuivre de diamètre 0,2 environ , du scotch , une pile de 1,5V , des trombones à papier , et réalisons le montage de la figure 08

Dans un premier temps, enroulons une couche de fil , puis raccordons la pile de 4,5V.

Nous venons de fabriquer un électro-aimant !! Il est capable d'attirer quelques trombones placés à un centimètre .

Débranchons la pile , et enlevons les trombones , rebranchons la pile , et approchons une

boussole de la tête de notre électro-aimant :  
-l'aiguille dévie dans un sens , plus ou moins fortement , selon que l'on approche ou éloigne l'électro-aimant .

Débranchons la pile , et rebranchons là , en inversant les fils ;

si nous rapprochons à nouveau la boussole , nous constaterons qu'elle dévie toujours de la même valeur à une même distance , mais en sens inverse cette fois

Reprenons notre électro ( aimant, maintenant nous le savons ) ,et continuons à bobiner encore 4 ou 5 couches de fil.

En rebranchant la pile , nous allons attirer et soulever plus de trombones que lors de l'expérience précédente .

La pile débranchée, nous pouvons encore attirer quelques trombones :

ce phénomène se nomme la " rémanence magnétique " .

Le fait que la boussole dévie en changeant de sens démontre que notre électro possède des pôles magnétiques à chaque extrémité nord et sud qui changent de coté avec le sens de circulation du courant :

- celui qui était le nord devient le sud , et, lycée de Versailles,
- celui qui était le sud devient le nord .

Cette petite expérience nous confirme deux choses :

- 1° on réalise un aimant avec du courant , c'est l'électromagnétisme ,
- 2° l'électromagnétisme est capable d'engendrer une force ( rotation de l'aiguille aimantée ) , et il à la possibilité de soulever un poids , celui des trombones .

#### ELECTROCHIMIE :

Le courant électrique a aussi une action chimique ,  
Expériences :

- a ) décomposition de l'eau ( Fg 09 page23 )

Dans un récipient de verre , mettons de l'eau acidulée à l'acide sulfurique.

Retournons deux tubes de verre que nous remplissons d'eau acidulée, dans lesquels arrivent les extrémités des fils de plomb qui seront raccordés à la pile de 9V .

Des bulles gazeuses vont apparaître le long des fils de plomb , et au bout d'un certain temps elles vont se dégager et monter dans les tubes en faisant descendre le niveau du liquide ;

on remarquera que le fil relié au pôle négatif de la pile dégage beaucoup plus de bulles que celui qui est relié au pôle positif :

le tube "moins" se remplit de gaz "hydrogène" ,

le tube "plus" se remplit de gaz "oxygène"

Ce phénomène s'appelle " L'ELECTROLYSE " ( de l'eau en l'occurrence )

- b ) électrolyse du sulfate de cuivre ( Fg 10, page23 )

Dans un récipient de verre, mettons de l'eau dans laquelle nous faisons fondre du sulfate de cuivre :

- plongeons deux fils de plomb ( les électrodes ) , et relient les aux pôles plus et moins d'une pile de 12V :

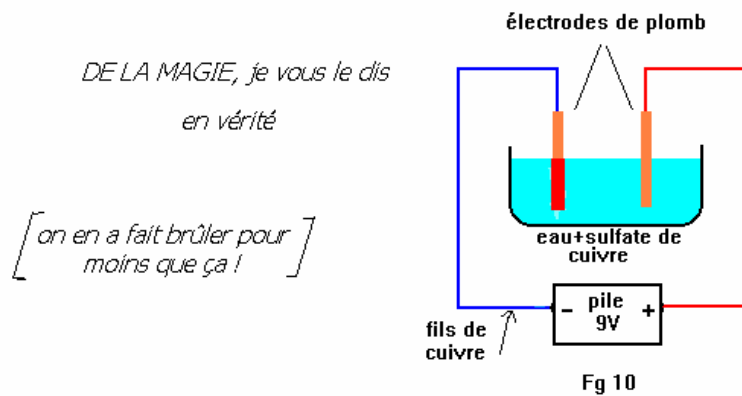
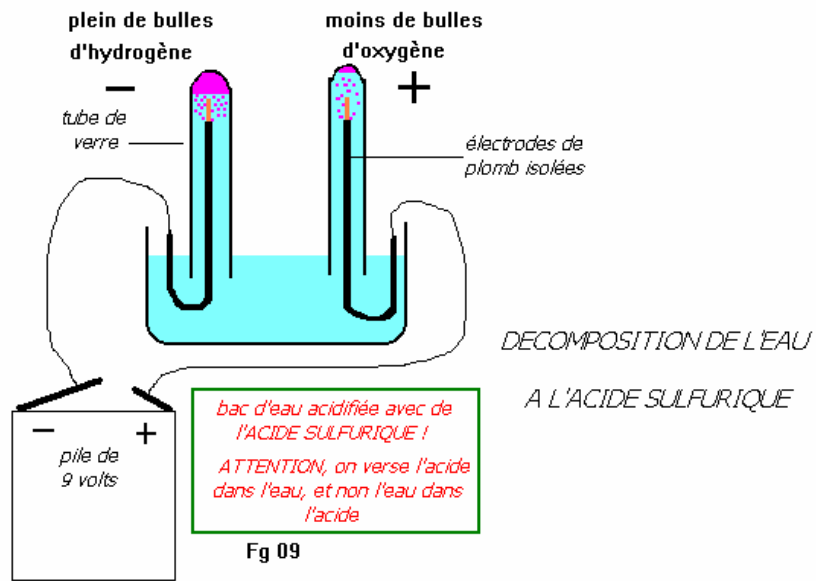
Nous serons surpris de constater , au bout d'un certain temps , que l'électrode reliée au moins de la pile se couvre de cuivre rouge...!!!

Le passage du courant dans la solution de cuivre a modifié l'équilibre chimique du sulfate de cuivre , et a entraîné le cuivre vers le pôle négatif pour l'y appliquer :

il s'agit d'un moyen simple pour extraire le cuivre d'une solution .

Le savant anglais FARADAY a étudié l'électrolyse et en a déduit une loi , qui dit .

LE POIDS DU CORPS DECOMPOSE EST DIRECTEMENT PROPORTIONNEL A LA QUANTITE D'ELECTRICITE QUI A TRAVERSE L'ELECTROLYSE, AINSI QUE DU TEMPS ECOULE.



Voici donc les grands effets du courant électrique :

- il chauffe les conducteurs qu'il traverse , (lois de Joule et d'Ohm ) ,

-il provoque des phénomènes magnétiques :  
lois de MAXWELL, d'OERSTED , etc...

-il permet de décomposer des solutions liquides , ( loi de Faraday )



Fig 11

.....  
.....  
.....

.....  
.....

### CHAPITRE III

La RESISTANCE : ( Histoire de tuyaux )

Imaginons un conducteur électrique comme un tuyau , dans lequel circulent des parisiens; donnons à ce tuyau une longueur de 10m , et un diamètre intérieur de 1m,60 , soit une surface de passage de :

$$S = 3,14 * 1,6^2 / 4 = 2 \text{ m}^2$$

Les parisiens se déplacent tous dans le même sens ; même en se faisant le plus petit possible , ils ne peuvent pas aller plus vite que ne leur permet le diamètre du tuyau. (Fg 11)

D'autre part , même des petits, petits parisiens ont un volume , une taille, qui fait que l'on ne peut pas en mettre davantage lorsque le tuyau est plein , et qu'ils doivent malgré tout se déplacer .

Le nombre de parisiens qui passe dans un mètre de tuyau s'appelle :

« la DENSITE DE PARISIENS »

Si dans notre tuyau , il en passe 20 dans une surface de  $2 \text{ m}^2$  , nous dirons que la densité de parisiens dans le tuyau est de :

$$D_{\text{parisiens}} = N. \text{ parisiens} / S \text{ mètre carré} = 20 / 2 = 10 \text{ parisiens} / \text{m}^2 \text{ ( Fg11 )}$$

Une chose est certaine : plus ils seront nombreux , plus le tuyau sera long, plus le passage sera difficile ; au contraire , 20 parisiens se déplaceront plus facilement dans un tuyau plus gros, et plus court .

Les difficultés de déplacement des parisiens dépendent donc des points suivants :

- 1° le nombre de parisiens,
- 2° le diamètre du tuyau,
- 3° la longueur du tuyau.

On peut alors déduire que la difficulté de déplacement est :

LA RESISTANCE

(On pourrait aussi parler de « résistance », en parlant des bouchons de voitures sur l'autoroute, lors des vacances. Les véhicules se comparent aux parisiens dans le métro. A vous de choisir entre les deux ...)

#### ASSEMBLAGE DE PLUSIEURS TUYAUX :

Je place bout à bout 3 tuyaux de 10m de long , et de 1,60m de diamètre , et je demande (poliment ) au même nombre de parisiens de les traverser (Fg12) ;

J'ai réalisé un tuyau unique de 30m de long , et de 1,60m de diamètre , et par la même occasion , j'ai triplé leurs difficultés , donc la résistance , bien que le nombre de parisiens soit resté le même , ainsi que le diamètre . (Donc même densité ! )

Continuons l'expérience avec 2 tuyaux placés cote à cote , de 10m de long et de 1,60m de diamètre (Fg13 ) ; la longueur à traverser reste la même , mais la surface de passage a doublé , elle est de 4 mètres carrés :

- je garde le même nombre de parisiens, mais ils vont se diviser en deux groupes de 10 , (ils sont intelligents !! ) , pour passer dans les tuyaux .

Etant deux fois moins nombreux dans chaque tuyau , ils passeront deux fois plus facilement .

La densité de parisiens dans chaque tuyau sera de :

$D = n / \text{m}^2 = 10 n / 4 \text{ m}^2 = 2,5 \text{ parisiens} / \text{m}^2$  ( si !!! avec des parisiens on peut en avoir une moitié, m'enfin ! ) ( comme dirait Gaston LAGAFF )

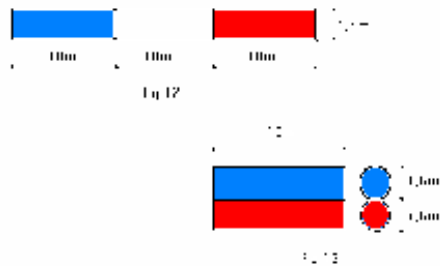
Dans la deuxième expérience , les tuyaux sont en "parallèle" , alors que dans la première , ils sont en " série " .

REVENONS SUR TERRE , ( oublions les parisiens, demandons leur pardon et expliquons nous sérieusement !!!! )

Les tuyaux sont des conducteurs électriques ; ils ont des caractéristiques physiques , une longueur et une certaine section , ( la surface transversale ) .

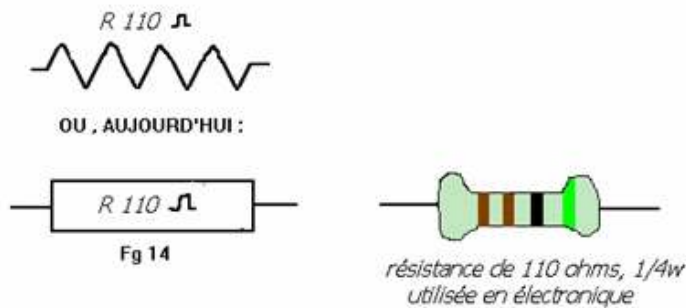
Les "parisiens" sont les électrons satellites , capables d'abandonner leurs atomes. Leur nombre varie selon la nature du conducteur , on les nomme :

*ELECTRONS LIBRES*



.....





*C'est ça le progrès, un rectangle, c'est quand même plus facile à faire qu'un zig-zag régulier !*

Tous les métaux n'offrent pas la même résistance au passage du courant L'argent est meilleur conducteur que le cuivre , parce qu'il possède davantage d'électrons libres que le cuivre ; le fer , qui en possède moins que le cuivre est moins bon conducteur , pour une même longueur , et une même section .

On peut classer les matériaux selon leur résistance , à dimensions égales ; cela se nomme LA RESISTIVITE , et elle s'exprime en ohms pour 1 m<sup>2</sup> de section , et pour 1m de longueur , elle est appelée Rô .( lettre grecque ) : ρ  
Voici la résistivité de quatre métaux courants :

- l'argent : 0,0000000164 soit  $1,64 * 10^{-8}$  (Rô), ρ
- le cuivre : 0,0000000172 soit  $1,72 * 10^{-8}$  ρ
- l'aluminium : 0,0000000269 soit  $2,69 * 10^{-8}$  ρ
- le fer : 0,000000098 soit  $9,8 * 10^{-8}$  ρ

On calcule la résistance d'un conducteur dont on connaît la matière , la section, et la longueur à partir de la formule suivante :

$$R = \rho * L / S , \quad \text{avec } R \text{ en } \Omega, \rho \text{ en } \Omega, L \text{ en } m, S \text{ en } m^2$$

Voici un exemple :

Quelle est la résistance d'un fil de cuivre de 1mm<sup>2</sup> de section et de 200m de longueur : ( 1mm<sup>2</sup> = 0,000001 m<sup>2</sup> , soit 10<sup>-6</sup> )

$$R = 1,72 * 10^{-8} * 200 / 10^{-6} = 3,44 \text{ ohms}$$

Le dessin qui représente une résistance est représenté par la Ffg14, avec sa valeur en ohms.

#### COUPLAGE DES RESISTANCES :

Prenons 3 résistances , et relierons les bout à bout , comme les tuyaux de la fg12 précédente ; nous dirons qu'elles sont montées en séries , et leurs valeurs s'additionnent :

$$R_{\text{Totale}} = R1 + R2 + R3 , \text{ exemples } 33+27+56= 116\text{ohms}$$

Nous venons de réaliser un COUPLAGE SERIE ,. ( Fg15 )

Comme nous avons placé tout à l'heure , 2 tuyaux en parallèles , nous pouvons aussi monter des résistances en parallèle ; dans ce cas , le passage du courant sera plus facile , et donc la résistance totale sera plus faible .

Nous venons de réaliser un COUPLAGE PARALLELE . (Fg 16 )

Il y a différentes façons de calculer la résistance équivalente d'un montage parallèle :

- 1) additionner l'inverse de chaque résistance , ex. :

$$1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots = 1/R_{\text{Totale}}, \text{ soit :}$$

$$(1/22) + (1/39) + (1/86) = 1/0,082 \# 12,2 \text{ ohms}$$

- 2 ) si il n'y a que 2 résistances on applique la formule simple :

$$R_1 * R_2 / R_1 + R_2 = R_{\text{Totale}}, \text{ soit :}$$

$$110 * 470 / 110 + 470 = 89,13 \# 89 \text{ ohms}$$

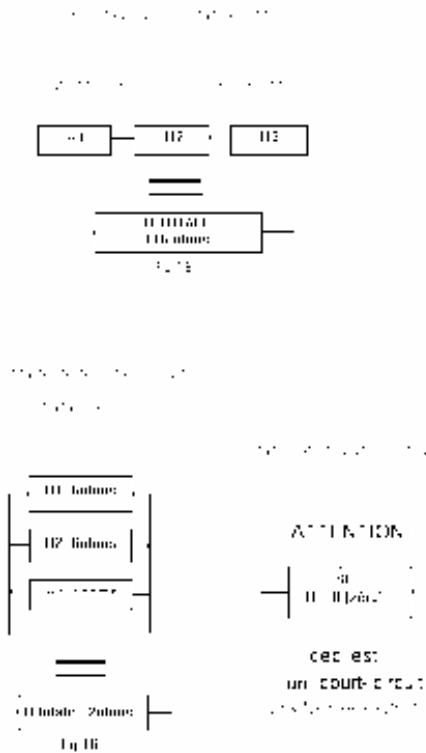
- 3 ) lorsqu'il n'y a que des résistances d'égales valeurs ,on divise la valeur de l'une par le nombre de résistances , ex :

5 résistances de 220Kohms en parallèle valent :

$$220.000 / 5 = 44.000 \text{ohms soit } 44K \Omega$$

Il est a remarquer que :

**LA VALEUR DE LA RESISTANCE EQUIVALENTE DU GROUPE ,  
EST TOUJOURS INFERIEURE A LA PLUS FAIBLE VALEUR DU GROUPE.**



DENSITE DE COURANT :

Comme nous avons défini une densité de nain tout a l'heure, nous pouvons aussi définir une densité de courant ; cette densité s'exprime en ampère/mm2  
Son symbole sera D , et l'on écrit :

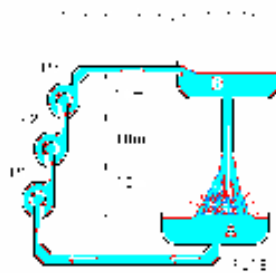
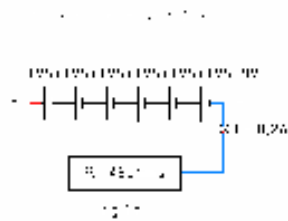
$$D = I_A / S_{mm2}$$

exemple : la densité de courant dans un conducteur de 4<sup>mm2</sup> , parcouru par un courant de 12A , est de :

$$12 / 4 = 3 \text{ A/mm}^2$$

En général , pour un conducteur d'installation domestique , on prend une densité comprise entre 3 et 4 A/mm2 .

:



## CHAPITRE IV

### Montage " SERIE "

Depuis le chapitre II , nous savons ce qu'est une pile électrique ; toutefois , la différence de potentiel , ou , tension , qu'elle nous offre est faible , de l'ordre de 0,8V à 1,48V , selon la composition des électrodes , et de l'électrolyte (liquide dans lequel elles sont plongées ). Si l'on a besoin de 9V par exemple , il faut grouper plusieurs piles les unes au bout des autres , en reliant respectivement leurs poles positifs aux pôles négatifs , et réaliser ainsi un montage série ( Fg18 )

Ce type de montage permet d'augmenter la tension utile , mais chaque pile ne peut fournir que sa propre énergie .

Si nous utilisons des piles R6 , capables de fournir 1A/H , sous une tension de 1,5V , pour obtenir 9V , il sera nécessaire d'utiliser :

$$9V / 1,5V = 6 \text{ piles}$$

Nous aurons réalisé un générateur de 9V pouvant fournir 1 A/H , c'est à dire donnant une intensité de 1A pendant 1 heure , ou 0,2A pendant 5 heures par exemple ; ceci sera vrai si les 6 piles sont bien toutes de 1A/H .

Il suffit que l'une d'entre elles soit déjà usagée , qu'elle ne possède plus que 0,65A/H par exemple , pour que notre générateur ne soit plus capable de nous fournir davantage que 0,65A/H .

Le circuit de la Fg 18 , nous permet d'expérimenter le montage série de nos piles , en les faisant débiter dans une résistance Ru de différentes valeurs , pour obtenir ainsi différentes intensités . Nous pouvons faire une comparaison entre notre circuit électrique série précédant et un circuit hydraulique composé de trois pompes installées en série , comme le montre la Fg19 :

*SI chaque pompe est capable d'élever l'eau de 10 m , et , que nous voulions remplir le réservoir B situé 30 m au dessus du réservoir A , nous utiliserons 3 pompes :*

*la première, P1, prenant l'eau de A , pour l'élever 10 m au dessus dans l'aspiration de la pompe P2 , laquelle élèvera l'eau de 10 m pour l'amener à l'aspiration de P3, qui , à son tour, enverra l'eau dans le réservoir situé 10 m au dessus.*

*Bien entendu, le débit d'eau qui arrivera dans le réservoir B , sera celui de la pompe la plus faible des trois !*

Il en est de même pour le montage série de nos piles :

- les tensions (hauteurs de pompage) s'ajoutent
- les intensités (débit d'eau pompée) sont celles de la plus faible

*On écrit que la tension totale U volts est égale à la somme des tensions de chaque partie constituante du générateur :*

$$U_{\text{tot.}} = U_1 + U_2 + U_3 + U \dots$$

### MONTAGE PARALLELE :

Si nous n'avons pas besoin d'une tension importante , mais d'une forte intensité , nous allons monter nos piles en parallèle , c'est à dire relier ensemble tous les pôles positifs , puis relier ensemble tous les pôles négatifs , (Fg20) .

Faisons débiter notre montage sur une résistance Ru de 1,25 ohm ; les tensions ne s'additionnent pas , par contre , les intensités , elles , s'additionnent !

*La comparaison hydraulique est toujours vraie :*

- en installant les trois pompes comme le représente la Fg21 , on voit que la hauteur de pompage est la même pour les trois pompes , par contre, le débit de chacune d'elles s'additionne, et le débit total est égal à la somme des trois débits .

Il en est de même pour le couplage en parallèle de nos piles :

- les tensions ne s'ajoutent pas ; la tension est égale à celle d'une seule pile ,
- les courants débités s'ajoutent .

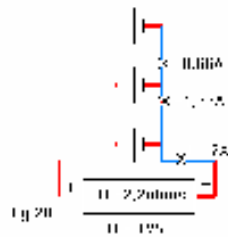
L'intensité que peut débiter le montage s'écrit :

$$I_{tot.} = I_1 + I_2 + I_3 + I \dots\dots$$

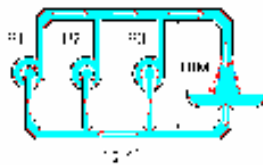
**Remarque importante :** dans un montage où les piles sont couplées en parallèle , il est absolument indispensable que chaque générateur fournisse exactement la même tension !! En effet ,si une pile produisait une tension plus faible , elle recevrait alors du courant au lieu d'en donner, d'où une inversion du courant circulant à travers la dite pile , et sa destruction serait alors plus rapide , ayant pour effet de mettre en court-circuit l'ensemble du générateur !

Ce montage ne s'utilise que rarement , à cause de cet inconvénient

.....

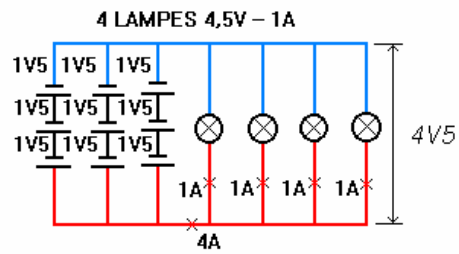


.....



*couplage mixte dit :*

*série parallèle*



**Fg 22**

*3 séries de 3 piles mises en parallèle, elles alimentent 4 lampes,*

*( elles mêmes en parallèle )*

#### MONTAGE SERIE – PARALLELE :

On appelle aussi ce montage " couplage mixte "

Pour allumer 4 lampes de 5 watt sous 4,5V, pendant 4 heures, nous avons besoin d'un générateur .

- Voyons ces caractéristiques :

calculons l'intensité absorbée par chaque lampe :

$$I = P / U$$

$$5W / 4,5V = 1,11A$$

Pour que nos lampes restent allumées 4 heures, nous avons besoin d'une capacité de :

$$Q = I * T , \text{ soit :}$$

$$1,1A * 4H = 4,4 A/H$$

*Afin d'obtenir 4,5V, nous allons mettre en série 3 piles de 1,5V ( neuves).*

Nous choisirons des modèles existants de 1,7A/H ,des R14, et nous mettrons un nombre de piles en parallèle, tel que nous obtenions au minimum 4,4A/H

$$4,4A/H / 1,7A/H = 2,58$$

*que nous arrondissons à 3 évidemment !*

Nous arrivons au circuit de la Fig 22 , comportant une série de 3 piles de 4,5V ,mises en parallèle avec 2 autres séries identiques ; ceci nous fait un générateur de 4,5V ayant une capacité de :

$$3 * 1,7A/H = 5,1A/H$$

*capacité très suffisante pour 4,4A/H demandée .*

#### CHUTE DE TENSION DANS UN GENERATEUR :

Tous les générateurs de tension , quels qu'ils soient , subissent cette loi .

Dans la réalité , en mesurant la tension aux bornes des piles avant de raccorder le circuit d'utilisation, (des lampes , par exemple ,) nous allons constater que la tension avant utilisation , dite " tension à vide " est plus élevée que la tension au tout début de l'utilisation , que l'on nomme " tension en charge »

Ceci s'explique parce que chaque pile a une résistance interne , celle de l'électrolyte , plus celle de chaque électrode.

Cette résistance est traversée par la même intensité que celle qui circule dans les conducteurs extérieurs et la résistance de la charge ; elle détermine donc une tension qui se soustrait de celle présente aux bornes de la pile :

c'est la chute de tension interne

*On peut alors écrire :*

$$U_{charge} = U_{vide} - U_{chute\ interne}$$

En conclusion , on peut dire qu'aujourd'hui , l'utilisation des piles chimiques que nous avons décrites ne sont utilisées que pour réaliser des expériences amusantes .

*La fabrication industrielle des piles modernes nous permet de bénéficier de caractéristiques beaucoup plus intéressantes tant au point de vue tension , capacité et durée de vie ; ceci nous permet de les utiliser dans les postes de radio portatifs , les lecteurs de CD portables , les jouets , les lampes électriques et bien d'autres applications encore .*

Malgré tout , elles présentent l'inconvénient de s'user , leur tension chute progressivement , et elles deviennent inutilisables, elles dégènèrent par polarisation , un phénomène que nous n'étudierons pas ici .

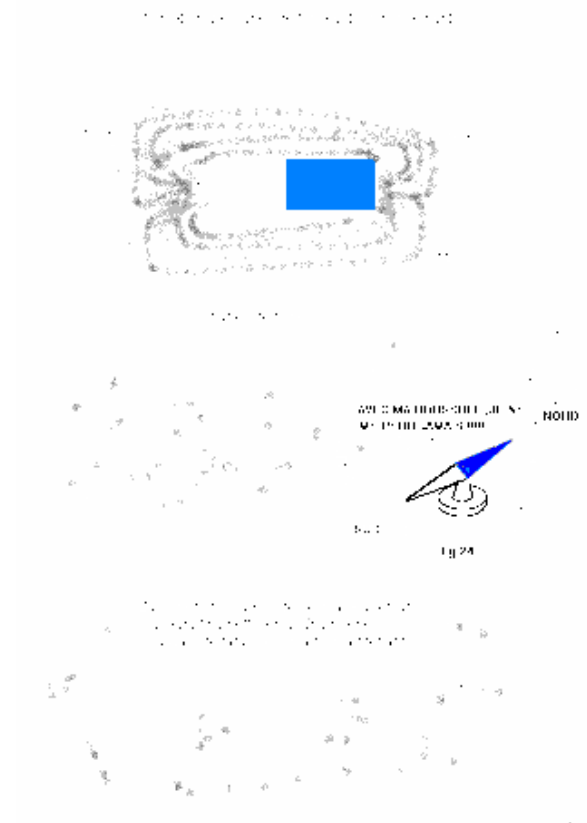
Les piles sont de plus en plus remplacées par des accumulateurs, dont le principe de fonctionnement est différent de celui des piles ; leur utilisation est identique, mais eux ne se polarisent pas de la même façon.

Les accumulateurs existent en plusieurs types, classés en deux grandes familles :

- 1°) les accumulateurs au plomb :
  - a) à électrolyte liquide (ceux de nos voitures)
  - b) à électrolyte gélifié (les batteries de nos antivol)
- 2°) les accumulateurs cadmium-nickel, ou, Ni-Cad  
( que nous montons dans les modèles réduits )
- 3°) les accumulateurs nitrure-métal-hydrogène, ou NiMH, les plus récents à ce jour  
Ces deux derniers sont à électrolyte solide et ont, surtout pour les NiMH, une capacité fortement augmentée.  
Les piles ont aussi beaucoup progressé également, avec l'apparition des piles alcalines, puis au lithium.

Il y aura encore, dans un avenir plus ou moins lointain, d'autres façons de produire de l'énergie électrique, notamment depuis l'hydrogène.

Des piles à hydrogène sont expérimentées en laboratoire, en particulier pour fournir l'énergie aux moteurs électriques des voitures du futur ....





## CHAPITRE V

### LE MAGNETISME :

#### L'aimant :

Dans l'ancienne Turquie , dans une ville nommée MAGNESIA , des hommes ont trouvé des pierres assez lourdes , qui avaient la propriété d'attirer des petites parcelles de fer , de la limaille .

Plus tard , cette pierre fut reconnue comme étant de l'oxyde magnétique de fer et fut appelé AIMANT ; aujourd'hui , on trouve ce minerai également en Norvège

Si l'on frotte sur cette pierre , ou sur un aimant , une aiguille en fer , on communique à l'aiguille la même propriété d'attirer la limaille de fer , sans que la pierre , ou l'aimant , ait perdu de sa force attractive.

L'aiguille est devenue un aimant artificiel

Un aimant est caractérisé par deux pôles , c'est à dire , deux points vers lesquels paraissent converger la limaille de fer (Fg23) .

*Si l'aiguille aimantée , elle même devenue un aimant , est libre de se mouvoir , elle possède une extrémité , toujours la même, qui se dirige dans la direction du nord.*

*On a décidé d'appeler cette partie de l'aiguille « pôle nord » , et l'autre partie*

*« Pôle sud » ; c'est la boussole, dont le pôle nord est généralement teinté en bleu ( Fg24)*

*L'expérience prouve que les pôles de noms contraires s'attirent , et que les pôles de même noms se repoussent.*

*On sait aujourd'hui, que la terre est un énorme aimant présentant un pôle géographique nord , et un pôle géographique sud ; le pôle dit « nord » étant en réalité un sud, puisqu'il attire tous les pôles nord de nos boussoles.*

*( Et si c'était l'inverse, et que le pôle nord de nos boussoles soit en réalité un sud ?*

*C'est un thème de réflexion équivalent à celui qui consiste à débattre de qui a été créer en premier : l'œuf ou la poule ? )*

### LIGNES DE FORCES MAGNETIQUES :

Sur la Fg23 page 42, on voit que la limaille se concentre au voisinage des pôles , plus qu'ailleurs .

L'expérience suivante le fait bien ressortir :

Plaçons un aimant sous un carton , et saupoudrons de limaille de fer le dessus du carton (Fg25) .

En tapotant doucement le carton , on peut voir la limaille qui représente des lignes courbes , reliant le pôle nord au pôle sud de l'aimant ,et l'on constate une plus grande concentration de limaille vers chaque pôle .

Ces lignes sont appelées lignes de forces magnétiques , ou , tout simplement lignes de forces .

*Elles sont constituées de chaque grain de limaille qui s'aimante avec un pôle nord , et un pôle sud ,et s'attirent en se plaçant " à la queue leu leu" , formant ainsi des lignes plus ou moins serrées selon la force d'attraction qu'elles ont entre elles .*

### CHAMP MAGNETIQUE :

Toutes les lignes de forces qui sortent de l'aimant , et que la limaille met en relief,ne sont pas seulement dans le plan du carton ; elles existent autour de l'aimant , dans tous les sens .

L'espace qu'elles traversent , et dans lequel se manifeste l'action de l'aimant , constitue "le champ magnétique" .

Il se mesure en TESLA et son symbole est : T

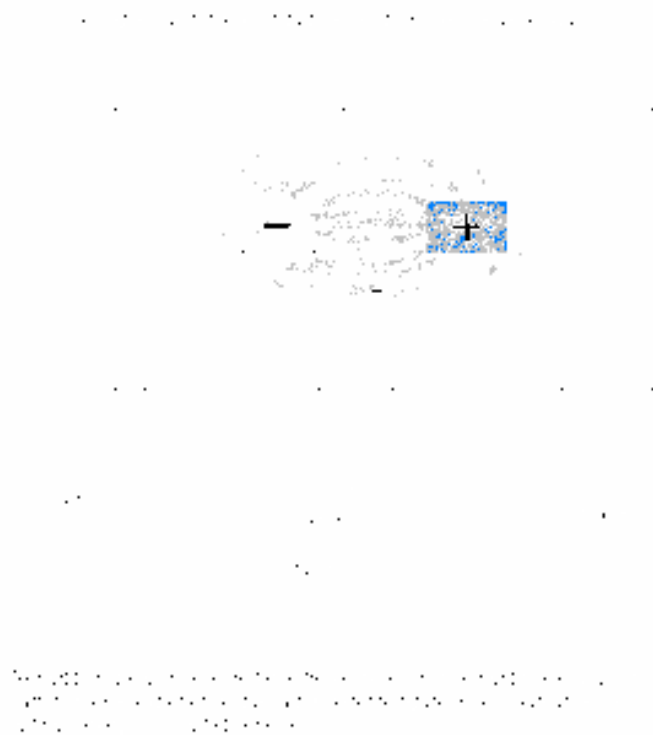
### CIRCUIT MAGNETIQUE :

Les lignes de forces font penser au courant électrique , qui part du pôle positif du générateur pour aller vers le pôle négatif à travers le circuit d'utilisation extérieur .

*Nous avons également vu que le courant circulait à l'intérieur de la pile , du pôle moins au pôle*

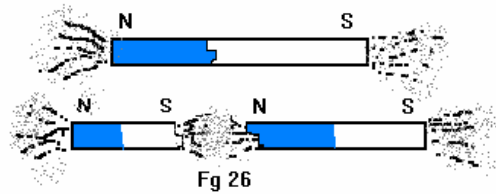
*plus Par convention, ,on a décidé que les lignes de forces partaient du pôle plus , pour se diriger , à l'extérieur de l'aimant , vers le pôle moins , et , pour que le circuit soit complet , elles vont du moins au plus à l'intérieur.*

On a donné le nom de "flux magnétique" à ce courant de lignes de forces. .L'étude de ce flux magnétique a montré qu'il se comportait comme le courant électrique , et répondait à une loi, ressemblant à la loi d'ohm, mais avec des éléments différents .



**MAGIE : LES AIMANTS BRISES**

Une ficelle a 2 bouts , tu la coupes en deux , et tu as  
4 bouts , eh bin , l'aimant , c'est pareil mon yeu !



Fg 26

*Le flux magnétique se mesure en WEBER, et son symbole est la lettre grecque  $\Phi$  ( phi ).*

*La force électromotrice, que nous avons vu lorsqu'il s'agissait du courant d'électrons , a son équivalent en magnétisme :*

#### *LA FORCE MAGNETOMOTRICE*

*C'est elle qui provoque le flux magnétique , elle est l'équivalent du potentiel électrique .*

*Le flux magnétique ne circule pas plus librement que le courant électrique , il rencontre une résistance en traversant un circuit , c'est ce que l'on appellera : la réluctance.*

#### *INDUCTION MAGNETIQUE :*

*Nous avons vu la densité de nains au mètre carré , puis la densité de courant dans un conducteur , il en est de même pour le flux magnétique . Cette densité se nomme :*

#### *L'INDUCTION MAGNETIQUE*

*C'est le nombre de lignes de forces par centimètre carré.*

*SI nous aimantons un morceau de fil de fer de 10 cm de long , nous obtenons un aimant ; si nous le coupons en deux , l'expérience de la limaille nous démontrera que nous nous retrouvons avec deux aimants !!! (Fg 26).*

*On peut encore couper des aimants, et nous obtiendrons 4 aimants et ainsi de suite ...*

*SI nous continuons à couper les aimants , nous en aurons toujours , mais de plus en plus petits , et à force de couper , nous arriverons à la molécule de fer , et au dernier ( morceau , tout petit petit , et même moins que ça ) élément , dit « insécable »*

*Maintenant , juste pour passer le temps , remettons bout à bout tous les morceaux d'aimants , dans le bon sens , et nous aurons la joie extrême de retrouver notre aimant primitif , avec toutes ses propriétés .*

*Cette expérience a permis de démontrer que les aimants résultent de l'assemblage d'une multitude de petites aiguilles , infiniment petites , orientées toutes dans le même sens , et baptisées :*

## MAGNETRONS

### AIMANTATION PAR INFLUENCE :

*SI nous prenons un barreau d'acier non aimanté , et que nous le plaçons en contact avec le pôle d'un aimant , il va à son tour être aimanté ; on le dit « aimanté par influence »*

Nous pouvons supposer que ces magnétrons , à l'état neutre , étaient orientés dans n'importe quel sens ; leur force magnétomotrice est pratiquement nulle .  
Le fait de les placer dans le champ d'un aimant , et donc de les faire traverser par des lignes de forces , a pour effet d'orienter tous les magnétrons dans le même sens, ce qui donne naissance à un aimant ayant 2 pôles ,un nord et un sud .

### PERMEABILITE MAGNETIQUE :

Les aimants utilisés actuellement sont en métal , dit : acier à aimant .  
Ce sont généralement des alliages d'acier et d'un autre métal , souvent du cobalt et du nickel ; ce sont des aimants permanents .  
Le fer pur , appelé fer doux , se laisse aimanter par influence , mais il ne conserve pas son aimantation , et ce , d'autant moins qu'il est pur .

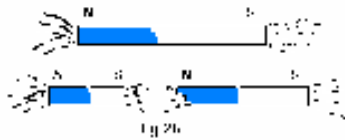
*Si nous reprenons l'expérience de la Fg26 , mais que nous placions un petit morceau de fer doux entre les pôles nord et sud de l'aimant , (Fg27) , nous allons constater une très forte concentration des lignes de forces dans le petit morceau de fer doux ;*

On dit que le fer doux offre une plus grande facilité de passage aux lignes de force que l'air : c'est la " perméabilité magnétique " .

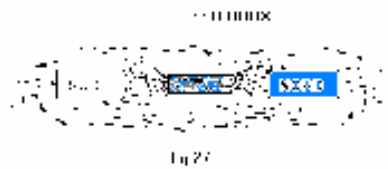
ON DIT QUE LE FER EST UN METAL MAGNETIQUE

### LES LIGNES DE FORCE

Une barre aimantée est coupée en deux, et les bouts, eh bien, l'aimant, c'est ce qu'il nous veut !



### PERMEABILITE MAGNETIQUE



Si, dans la même expérience, on remplaçait le morceau de fer doux par un morceau de laiton, les lignes de force ne se concentreraient pas, le laiton est un métal "diamagnétique"

La grandeur de perméabilité magnétique, ou "coefficient de perméabilité", se désigne par la lettre grecque  $\mu$  qui se représente :

Le champ magnétique à l'intérieur du métal influencé, est nommé :

#### INDUCTION

Son symbole est également B, et s'exprime aussi en tesla, symbole T. L'induction dans le métal est :

$$B_T = B_{air} * \mu$$

On dit que l'air présente une perméabilité magnétique de 1

Le fer a un coefficient de perméabilité,  $\mu$ , qui peut dépasser 3500 ; il est donc 3500 fois meilleur

*conducteur magnétique que l'air .*

Ce coefficient dans le métal , n'est pas une constante ; il dépend de l'induction qui l'influence :

*- plus l'induction est élevée, plus la perméabilité est faible ; on dit que le circuit magnétique est "saturé ", au moment où l'induction n'augmente plus*

#### HYSTERESIS :

Lorsqu'un noyau de fer doux est soumis à un champ magnétique , l'aimantation qu'il absorbe ne disparaît pas complètement lors de la disparition du champ inducteur .

.L'aimantation restante se nomme HYSTERESIS

Si ce noyau est à nouveau soumis au même champ inducteur , il ne reprendra pas la même aimantation .

Pour fabriquer des aimants permanents utilisés dans l'industrie , pour les portes de réfrigérateurs , les haut-parleurs , etc.... , on utilise des aciers dont la rémanence est plus importante que celle du fer doux .

*Ce sont des alliages de nickel ,de cobalt et d'aluminium .*

## CHAPITRE VI

#### L'ELECTROMAGNETISME :

C'est la production d'un champ magnétique , à partir d'un courant électrique .

Lorsque nous bobinons du fil sur la vis de 5x30 , et que nous avons mis sous tension , avec une pile , nous avons attiré des trombones ; la vis s'est comportée comme un aimant : NOUS AVONS FABRIQUE UN ELECTRO-AIMANT . (Fg08 page 53)

Pourquoi , et comment ??

Parce que le courant parcourant le fil du bobinage a créé un champ magnétique , et que le métal de la vis, placé au coeur de la bobine , a été soumis au flux magnétique de la bobine.

Son induction a créé un nouveau champ magnétique, qui a attiré les trombones :

**IL S'EST , A SON TOUR , COMPORTE COMME UN AIMANT !**

Les trombones mis dans le flux , se sont aimantés à leur tour ,et sont devenus des aimants .

Seulement , nous savons que pour s'attirer ,il faut des pôles de noms contraires .  
Cherchons donc à savoir où sont les pôles nord et sud de notre électro-aimant .

#### A ) Règle d'Ampère :(Fg28 page 53)

Si un bonhomme est couché sur le fil, de façon à regarder à l'intérieur des spires , et que le courant lui rentre par les pieds ,et lui sorte par la tête , lorsqu'il écartera les bras ,le pôle nord se trouvera à sa gauche ! ( C'est comme ça que l'on électrocute les nains en Amérique . )

*Le sens du champ est donc défini par le sens du courant, d'une part , et le sens de l'enroulement ,d'autre part.*

Autrement dit ,si la bobine reçoit du plus à sa gauche, alors qu'elle est enroulée dans le sens des aiguilles d'une montre, le bras gauche du bonhomme indiquera le nord du côté du moins .

*Par contre ,si l'on inverse le sens du courant , le bras gauche du même bonhomme indiquera que le nord est du côté du plus . N'oublions pas de l'électrocuter des pieds vers la tête , c'est indispensable .*

B ) Règle de Maxwell : toujours Fg 28, ( ou règle du tire-bouchon )

*Si l'on fait tourner un tire-bouchon dans le sens de circulation du courant , du plus vers le moins , les lignes de force que ce courant engendre progressent dans la même direction que la vis du tire-bouchon et celle ci indique le coté nord du solénoïde .*

*(Ce mot barbare, qui doit s'écrire avec un " i tréma " se prononce solénoïde; parce que mon PC me complique trop l'existence avec les accents je me débrouille avec le français !!! Que mes lecteurs en fassent autant !!! )*

Nous savons maintenant déterminer le sens du champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde , et donc déterminer ses pôles, puis, par conséquent, en raisonnant depuis la polarité ,connaître le sens du courant !

Une bobine, enroulée dans le sens des aiguilles d'une montre, mise sous tension, attirant une aiguille de boussole à gauche, est parcourue par un courant dont le plus entre à sa droite.

#### INTENSITE DU CHAMP MAGNETIQUE

Nous avons vu , encore avec notre électro-aimant (Fg8 ), comment attirer quelques trombones ; si nous augmentons le nombre de spires de fil , nous attirerons encore plus de trombones .(Pas à coulisse , ils sont fabriqués avec du laiton ,qui est diamagnétique ,seulement ceux à papier ). Cela signifie que le champ magnétique est plus important :

Plus de spires , plus de champ . ( comme dit le paysan qui a spire à s'agrandir ! )

( jeu de mots ! )

Si avec le même nombre de spires ,nous mettons deux piles en série au lieu d' une seule, ,avec 9V au lieu de 4V,5 , nous aurons davantage encore de trombones . Réfléchissons , la loi d'ohm nous dit que pour une même résistance (même nombre de spires ) , l'intensité est proportionnelle à la tension ! Et dans notre cas l'intensité a doublé !

De tous cela ,nous pouvons déduire que la force électromagnétique de la bobine est fonction directe du nombre de spires , et de l'intensité du courant :

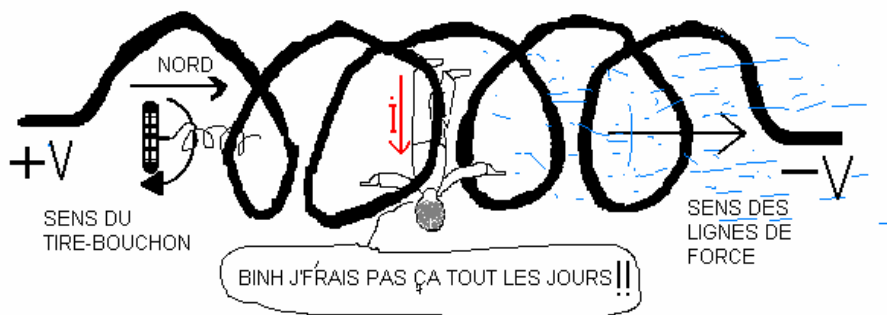
Appelons H, le champ de la bobine, N le nombre de spires, avec l'intensité I, nous écrivons :

$$H = N * I$$

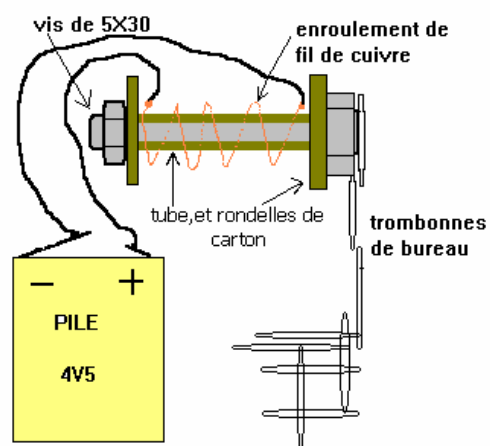
avec N en tours (de fil ) et I en ampères , H sera en ampères / tours, que nous écrivons : A / T



Sens du courant : des pieds , vers la tête ,et ça chatouille !!!!



Fg 28



Fg 08

L'intensité du champ magnétique de la bobine est proportionnelle au champ  $H$ , mais l'expérience démontre qu'elle est inversement proportionnelle à la longueur de la bobine. L'unité qui définit l'intensité de champ magnétique est, du nom du savant danois, (comme son chien!) l'Oersted, qui vaut  $1000 \text{ A/T}$ , dont le symbole est  $\text{Oe}$ , et l'on écrit

$$H^{\text{Oe}} = N * i / L, \quad \text{avec } H \text{ en Oe, } N \text{ en spires, } i \text{ en ampères et } L \text{ en mètres.}$$

#### LE FLUX MAGNETIQUE :

C'est le nombre de lignes de forces contenues dans un mètre carré de section de la bobine, autrement dit la densité de lignes de forces à l'intérieur de la dite bobine; ce flux s'exprime en Weber, l'allemand bien connu, et son symbole est la lettre grecque  $\Phi$ , qui se prononce phi (comme pharmacie).

$$\text{On calculera le flux : } \Phi^{\text{Wb}} = H^{\text{Oe}} * S^{\text{m}^2}$$

Lorsque l'on introduit dans la bobine un barreau de fer doux, la quantité de lignes de forces se concentre dans le fer, qui prend alors le nom de noyau, en fonction du coefficient de perméabilité,  $\mu$ , que nous avons vu précédemment; le champ magnétique dans le fer devient alors :

$$B_{\text{metal}} = (N * I / L) * \mu \quad \text{avec } B \text{ en tesla}$$

$$\text{et le flux, lui, devient } \Phi^{\text{Wb}} = (N * I / L) * \mu * S^{\text{m}^2}$$

#### FORCE PORTANTE D'UN ELECTRO-AIMANT :

C'est le poids de trombones que notre électro expérimental est capable de soulever.

On l'appelle force portante, on l'exprime aujourd'hui en Newton, symbole  $N$ .

Il équivaut à très peu près à  $0,1 \text{ Kg}$ , (en tous cas, nous l'admettrons). Pour calculer cette force portante, il faut appliquer la formule :

$$F = B^2 * S / 2 * \mu, \quad \text{avec } F \text{ en Newton, } B \text{ en tesla}$$

(attention,  $B$  est le champ de la bobine sans noyau)

$S$  en mètres carré,  $\mu$  étant le coefficient de perméabilité du noyau placé au centre de la bobine, et fonction de l'induction de cette dernière.

#### NAISSANCE DU COURANT ELECTRIQUE, DANS UN CHAMP MAGNETIQUE :

Si, comme nous l'avons vu, le courant électrique est capable de créer un champ magnétique, l'inverse est vrai, dans certaines conditions :

**. Pour créer un courant dans un conducteur, il faut qu'il soit fermé, et il faut également qu'il soit placé dans un champ magnétique variable .**

Ce phénomène se nomme : induction (Hé oui !!, encore une fois)

Un physicien allemand, Mr Lenz, a étudié ce phénomène et en a tiré trois lois, qui sont vérifiables à tous moments, dans une grande quantité d'appareils électriques; voyons ces lois de Lenz :

- 1° si une boucle conductrice se trouve dans un champ magnétique variable, elle est la source de courants induits.

- 2° le courant induit dure le même temps que la variation de flux magnétique qui lui a donné naissance

- 3° le courant induit s'oppose par son sens, ou, par son action, à la cause qui lui a donné naissance.

Nous pouvons réaliser une expérience simple pour démontrer la réalité des lois de Lenz :

- Sur un tube isolant, d'un diamètre suffisant pour pouvoir y introduire un barreau aimanté, enroulons une trentaine de spires de fil de cuivre, et plaçons un appareil de mesure, un galvanomètre, qui de nos jours se nomme multimètre, recevant les 2

extrémités de notre enroulement ,selon la Fg 29 .

Lorsque nous faisons pénétrer notre aimant au centre de la bobine , nous faisons varier le flux au sein de celle-ci :

il augmente si on l'approche de la bobine , et diminue lorsqu'on l'éloigne .Faisons ces manoeuvres d'un geste assez rapide :

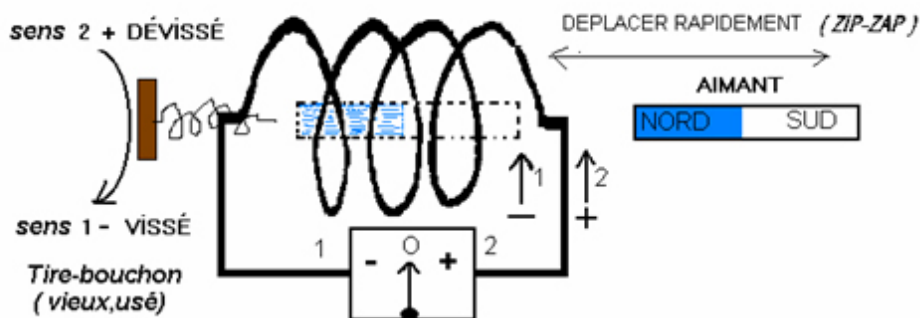
*Durant la période ou l'aimant entre dans la bobine , l'appareil de mesure dévie, indiquant ainsi la présence d'un courant induit ,dans le sens 1 par exemple .*

*Lorsque que nous arrêterons notre mouvement d'avance, la déviation du galvanomètre cessera ; elle reprendra dans le sens 2 , aussitôt que nous reprendrons le mouvement inverse, afin de sortir l'aimant de la bobine .*

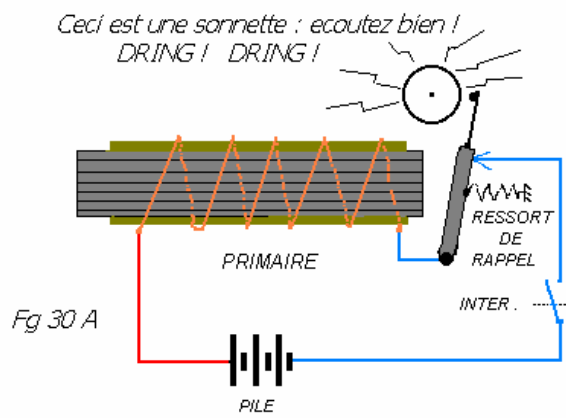
*La règle du tire bouchon de Maxwell ( Maxou pour les intimes) est toujours applicable :*

*Plaçons le tire-bouchon parallèlement à l'axe de la bobine , et dirigeons sa pointe dans le sens du champ magnétique :*

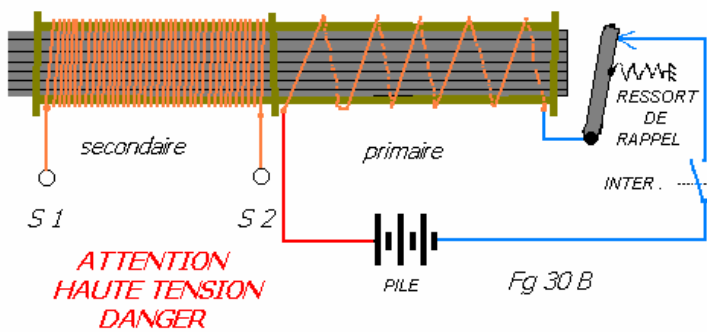
- Nous appellerons sens positif , le sens dans lequel il faut le tourner pour avancer dans le même sens que les lignes de forces , et sens négatif le sens inverse .
- Pendant la variation de flux due à l'avance de l'aimant vers le centre de la bobine , le flux augmentant , le tire-bouchon se dévissera , le courant aura le sens 1 , négatif .



Fg 29



Ceci est une bobine de RHUMKORFF et au secondaire nous trouvons une forte tension .



Durant la période du recul de l'aimant vers l'extérieur de la bobine , le tire-bouchon se vissera et le courant aura le sens positif 2 .

Nous avons démontré que le courant ne se produit que pendant la période de variation du flux , et que son sens est bien l'inverse de la cause qui lui a donné naissance .

*Selon le même principe , pourquoi ne pas aller plus loin , et réaliser une bobine de Rhumkorff , (Non , je n'ai pas voulu parler du rhum corse ! Pas de politique explosive SVP !! ) .*

*Dans un premier temps , réalisons simplement une sonnette : Fg 30 A*

- Sur un noyau de fer doux , isolé par un tube de carton , enroulons 100 spires de fil de cuivre de 0,22mm de diamètre environ ; appelons cet enroulement " primaire" ; plaçons devant une extrémité , une palette mobile articulée en un point , et réalisée en fer doux .
- Installons un ressort de rappel de façon à éloigner la palette du noyau , et à l'amener en contact avec une vis , nous avons ainsi réalisé une sonnette que nous câblerons selon le dessin , avec une pile de 4,5V , et un interrupteur .

L'interrupteur étant fermé ,la bobine est parcourue par un courant qui va aimanter le noyau ; ce dernier va à son tour attirer la palette, et ce faisant, couper le contact avec la vis .

La bobine n'étant plus alimentée son flux disparaît , le noyau perd son aimantation et relâche la palette ; nous sommes revenus à l'état premier , la bobine se réalimentant a travers la vis, recrée à nouveau son flux qui aimante le noyau , et le cycle continue tant que l'inter est fermé ( ou que la pile soit usée ! ) .

On entend : RRRRRRRRR !!

*Nous avons réalisé une sonnette , il ne manque plus qu'a fixer un petit marteau à la palette , et placer devant le marteau , une cloche ( pour réveiller son copain lors de sa sieste ,HI HI HI !!! ) DRELIN DRELIN DRELIN !!!!*

*(Il faut lui pardonner,il n'est pas méchant,vous verrez ! NDLR )* .

Pour passer de la sonnette à la bobine de Rhumkorff , nous pouvons supprimer le marteau et la cloche , mais il faut enrouler du scotch isolant , 5 ou 6 tours par dessus notre premier enroulement; nous reprendrons du fil de cuivre identique au précédent , et nous en enroulerons cette fois 500 ou 600 spires ,que nous baptiserons « secondaire » Fg 30 B  
*Isolons les deux extrémités de notre secondaire.*

Refermons notre interrupteur et voyons ce qui se passe :

- 1°) la sonnette fonctionne à nouveau normalement , chaque fois que nous fermons l'interrupteur ;
- 2°) laissons le ouvert .
- 3°) enlevons l'isolation des extrémités du secondaire , et rapprochons les , pour qu'elles ne soient plus espacées que de 2mm ;

**ELOIGNONS NOS DOIGTS DE CES EXTREMITES.**

4°) fermons maintenant l'inter , la sonnette va fonctionner à nouveau , mais nous allons avoir la surprise de voir surgir de belles étincelles entre les extrémités de notre secondaire ! N'y mettons pas les doigts car " ça pique " .

La bobine secondaire est le siège de variations de flux, dues, par induction ,aux variations de flux du primaire , et est donc le siège d'un courant induit proportionnel à son nombre de spires , qui provoque une tension beaucoup plus élevée que la tension de la pile de 4V5 , alimentant le primaire de la sonnette .

Cette bobine de Rhumkorff que nous venons de "bricoler" est le dispositif qui fournit la haute tension nécessaire aux bougies d'allumage , pour allumer le mélange détonant du moteur de nos anciennes voitures à essence ,( connu sous le nom de DELCO), et alimenté par la batterie de 12V lors du démarrage , puis par l'alternateur , une fois le moteur tournant .

C'est aussi le principe de fonctionnement des transformateurs qui alimentent nos réseaux de distribution électrique, nous verrons cela plus tard.

**SELF INDUCTION :**

Examinons le rupteur de notre bobine de Rhumkorff :

- à chaque ouverture du circuit primaire , il se produit une étincelle au rupteur ,
- à chaque fermeture également , mais plus faible , elle est moins visible

La cause en est la self induction .

A la fermeture du circuit , le courant s'établit en passant de zéro à sa valeur maximum (pour nous 4V5 ) .Pendant ce cours instant , il est donc variable , et il en résulte un champ magnétique variable , donc un courant induit qui se superpose au premier .

On l'appelle courant de self induction , c'est à dire "induit sur lui même ";

Comme tout courant induit , il est soumis à la loi de Lenz , et tente donc de s'opposer à la

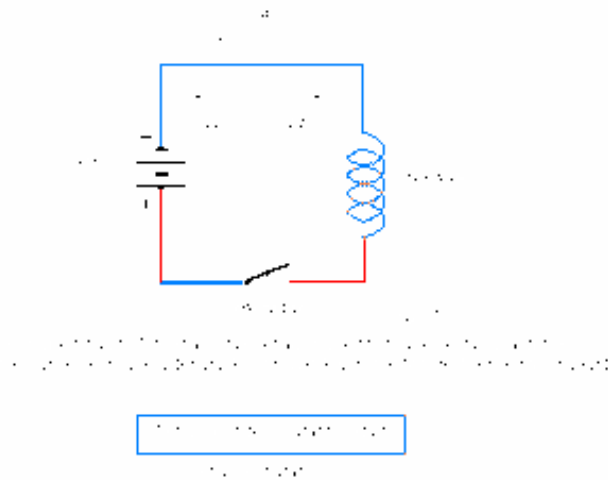
cause qui lui donne naissance .

*Le montage de la Fg31 illustre ce phénomène*

-A la fermeture de l'inter , le courant  $I$  prend naissance , et augmente ; le courant de self induction se crée , et circule dans le sens 1 ,en cherchant à s'opposer à sa montée ..

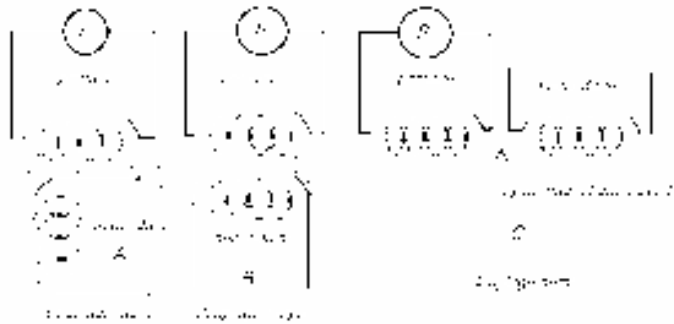
-A l'ouverture de l'inter , le courant  $I$  diminue rapidement , et le courant de self induction tend à le prolonger en prenant, cette fois, le sens 2.

Le courant de self induction extrêmement élevé , provoque des tensions très importantes , formant aux contacts des interrupteurs de fortes étincelles , qui finissent par les détruire .Elles sont souvent visibles dans nos inters d'allumage des éclairages domestiques .



## COEFFICIENT DE SELF INDUCTION :

1.1.1.1



### COEFFICIENT DE SELF INDUCTION :



...

## COEFFICIENT DE SELF INDUCTION :

Les physiciens ont établi que le rapport de la valeur du flux magnétique , a la valeur du courant induit , était une constante qui ne dépendait que des caractéristiques physiques du solénoïde et de son noyau éventuel.

L'unité de self induction définissant une self , c'est à dire une bobine , est le Henry ( du nom d'un physicien qui se nommait .....RIRI pour ses intimes ) .

De symbole  $H$  , aussi , la formule qui le calcule s'écrit , selon qu'il s'agit d'une bobine avec , ou , sans noyau :

avec noyau  $H = N^2 * S * \mu / L$  , sans noyau :  $H = N^2 * S / L$  en prenant comme unités :

*H en Henry , N nombre de spires , S, section de la bobine, L, longueur de la self, et  $\mu$ , coefficient du noyau .*

#### INDUCTION MUTUELLE :

Notre bobine de Rhumkorff , prouve que les variations du courant de zéro au maxi et inversement au primaire , engendrent des variations de flux au secondaire , créant des variations de courant qui provoquent des tensions variables elles aussi .

C'est ce que l'on appelle une induction mutuelle entre deux bobines.

Selon qu'il y ait un noyau magnétique ou pas , qu'elles fassent entre elles un angle ou pas, qu'elles soient proches ou non , cette induction mutuelle varie dans de grandes proportions

Les Fg32 a , b , c , et d , sont des exemples de bobines couplées entre elles donnant différentes inductions mutuelles :

- La Fg32a donne un couplage faible , le champ primaire n'ayant que peu d'influence sur le secondaire ,
- la Fg32b , représente un couplage moyen .
- Les Fg32 , c , et d , sont des exemples de couplage serrés , la figure c est du type a noyau ouvert , alors que la figure d est à noyau magnétique fermé , c'est un transformateur de tension .

Si l'on bobine les selfs sur un noyau magnétique , comme sur les figures c et d , le couplage est bien meilleur , surtout si le noyau est fermé sur lui même , comme l'indique la figure d . c'est le couplage serré par excellence .

#### Transformateur :

La figure 32 d, page 62, nous montre le schéma d'un transformateur (que nous appellerons " transfo" par fainéantise ) , constitué d'une bobine primaire , et d'une bobine secondaire , enroulées sur un noyau fermé

En alimentant le primaire par une tension constamment variable , que nous désignerons  $U_p$  , nous recueillerons au secondaire une tension que nous appellerons  $U_s$  .

Cette tension induite au secondaire est proportionnelle :

- 1°) à la distance entre les deux enroulements ,
- 2°) à la forme , et au coefficient de perméabilité du noyau ,
- 3°) au rapport du nombre de spires entre les deux enroulements ,
- 4°) à la tension appliquée au primaire .

Les trois premiers critères étant établis à la construction du transfo, le calcul de la tension disponible au secondaire s'écrit :

$$U_s = U_p * ( N_p : N_s )$$

avec  $N_p$  , et  $N_s$  , nombre de spires au primaire , et au secondaire , les tensions  $U_p$  et  $U_s$  , sont en volts .

On appelle  $N_p / N_s$ , rapport de transformation du transfo.

#### ACTIONS RECIPROQUES DES COURANTS, ET DES CHAMPS MAGNETIQUES :

Puisqu'un courant est capable de développer un champ magnétique lorsqu'il circule dans une zone où se trouve déjà un champ magnétique , ils vont se conduire , vis à vis l'un de l'autre , comme deux aimants en présence :

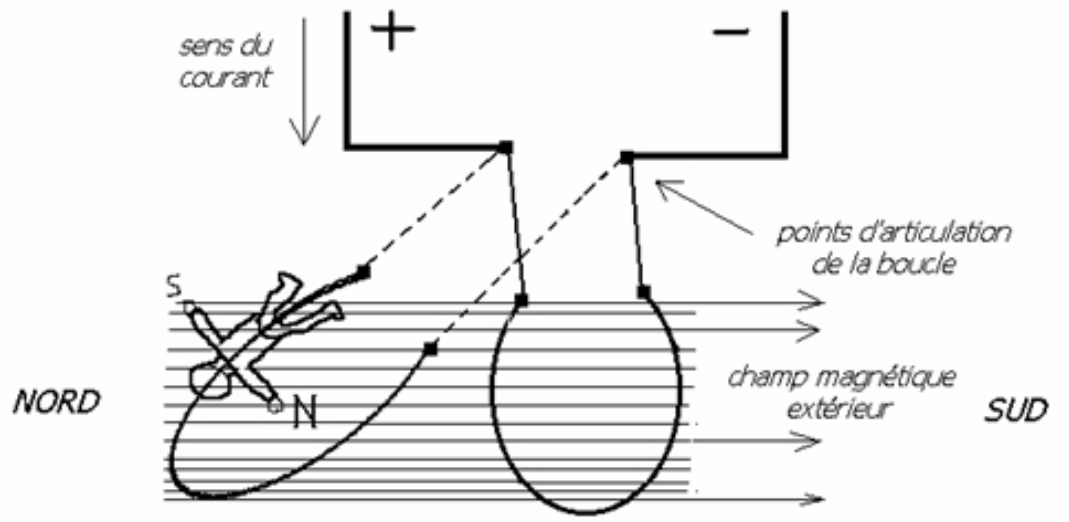
1°) cas d'une boucle se trouvant dans un champ magnétique : Fg33

Elle va se conduire comme un aimant , et va être attirée ou repoussée par le champ magnétique qui l'entoure :

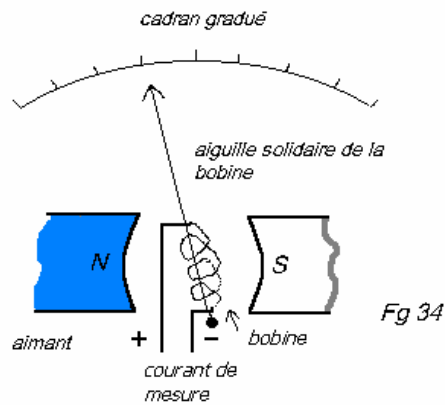
la règle de Maxwell nous dit qu'une boucle parcourue par un courant , et placée dans un champ magnétique , se déplace pour tenter d'augmenter le flux entrant par sa face sud . ( Le bonhomme d'Ampère de la Fg33 nous indique quelle est la face sud ! ) . L'équilibre est obtenu lorsque le flux entrant à atteint le maximum .

Tout reste logique , car on voit que la face nord de la boucle se dirige vers le pôle sud du champ magnétique , comme le ferait deux aimants en présence l'un de l'autre.

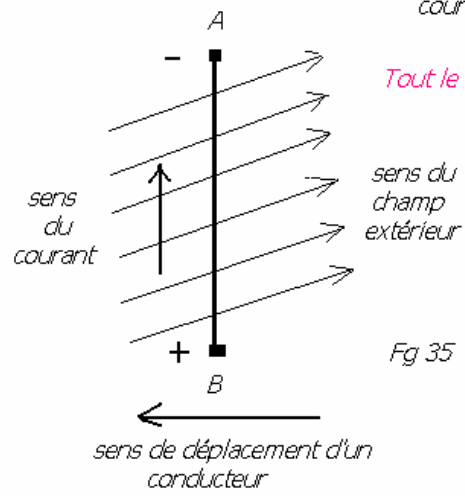
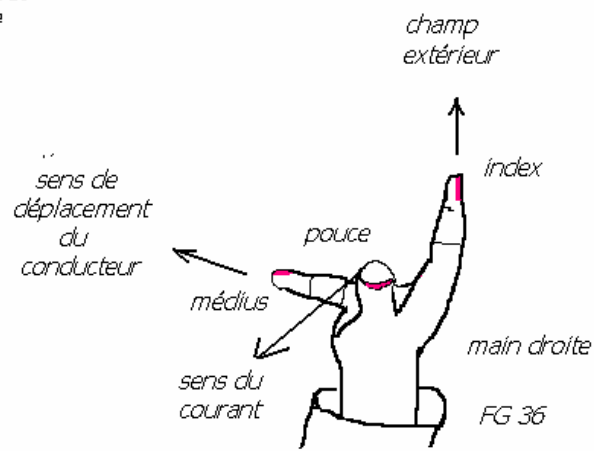




Fg 33



principe du galvanomètre à cadre mobile



Tout le monde a le droit de se faire les angles !

Les applications de ce phénomène sont très nombreuses ; pour ne parler que des

principales , citons les moteurs électriques , et les appareils de mesures nommés "galvanomètres à cadre mobile " qui sont des mesureurs de grande précision, ne prenant en compte que le courant ou la tension continue exclusivement ; ( Fg34 )

2°) cas du conducteur rectiligne parcouru par un courant , et se trouvant dans un champ magnétique :

Les mêmes causes produisant les mêmes effets , le champ magnétique développé par le courant dans le conducteur , va s'opposer au champ magnétique extérieur , d'où une force de déplacement du conducteur , comme le montre la Fg35

La direction de la force appliquée au conducteur , est donnée par la règle des trois doigts de la main droite :

-1°) le pouce dans le sens du courant ,

- 2°) l'index dans le sens du champ extérieur .

-3°) le médius indique le sens du déplacement du conducteur ( Fg 36)

*LES COURANTS DE FOUCAULT : ( dont le Père n'était même pas le fils ! Pas plus du reste, que celui de la TELE, c'était bien avant, 1819 – 1868, alors... )*

*En conséquence des lois de l'induction, il se produit, à l'intérieur des noyaux métalliques placés dans des champs magnétiques variables, de petits courants induits qui circulent fermés sur eux mêmes, sans pouvoir sortir ,(ce sont en quelques sortes des prisonniers ! ).*

*Ils sont donc une perte d'énergie, on les appelle des courants parasites .*

*Ces courants se produisent perpendiculairement à l'axe du champ magnétique, donc aux lignes de forces N-S (voir la Fg 28).*

*Leur présence se manifeste par un échauffement du noyau magnétique, qui peut atteindre des valeurs assez élevées, pouvant apporter des perturbations dans le matériel électrique, ce sont des pertes par effets joules.*

*Afin de gêner leur développement, on n'utilise pas de noyaux pleins mais on les réalise en assemblant de fines tôles d'acier, isolées par du vernis ou par du papier ;*

*On parle de noyaux feuilletés.*

*Les courants de Foucault prenant naissance surtout dans l'épaisseur du métal, ils sont alors beaucoup plus petits, puisque l'épaisseur du métal est faible, et leur effet se réduit considérablement*

*Bien qu'ils aient été pendant bien longtemps considérés par tous les électriciens comme des gêneurs , on les utilise aujourd'hui pour la chaleur qu'ils apportent :*

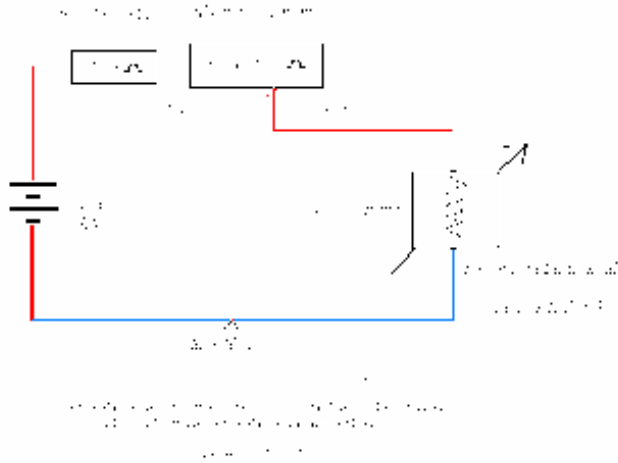
*- les cuisinières les utilisent pour faire cuire les aliments dans des casseroles en acier , posées sur des plaques à inductions .*

*- Une autre application est le chauffage à 450° C de cuves de plusieurs mètres cubes destinées à la fusion du zinc pour galvaniser toutes sortes de pièces métalliques , et ainsi les protéger de la corrosion ( réservoirs à eau sous pression , poteaux des lignes électriques HT , tubes métalliques d'échafaudages etc ... ) .*

*Dans les installations de galvanisation à chauffage par induction , les bobines qui produisent le champ magnétique sont parcourues par des courants allant jusqu'à 1500A , voire même plus.*

*Elles sont réalisées avec de la barre de cuivre de 100mm de large et 10mm d'épaisseur .ce sont*

*les inducteurs .*



## Chapitre VII

### LES APPAREILS DE MESURES :

En électricité , comme en électronique , toutes les mesures se basent se la loi d'Ohm :

- la tension  $U$  ou  $V$  , en volts ,
- l'intensité  $I$  en ampères  $A$  , ou en milliampères  $mA$  ,
- la résistance , en ohms ,  $\Omega$  , ou en kilo-ohms ,  $K\Omega$  .

Rappelons-nous :  $U = R * i$        $R = U / I$     et  $I = U / R$

### MESURE D'UNE TENSION :

Prenons le galvanomètre dont nous venons de voir le principe dans le chapitre précédent , au paragraphe « actions réciproques des courants , et des champs magnétiques . »

*Un galvanomètre est constitué d'une bobine qui tourne sur un axe , d'un aimant permanent entourant la bobine de ses pôles nord et sud , d'une aiguille solidaire de la bobine , et qui se déplace devant un cadran gradué en unités de mesures d'intensité ou de tension,( et même d'ohms. nous le verrons plus loin )*

La bobine comporte un certain nombre de spires de fil de cuivre très fin , et présente donc une résistance au passage du courant .

D'après la loi du fameux Max (WELL) , sa déviation sera proportionnelle au courant qui va la traverser

Le fil étant très fin , par exemple 0,05mm soit 5/100 de mm , la résistance de la bobine appelée "cadre mobile " ,sera par exemple de 2 ohms.

En le faisant parcourir par un courant réglable , de zéro à " x " mA , nous amènerons l'aiguille de la graduation zéro , à la graduation 100 du cadran , grâce au montage de la Fg37 .( c'est à dire à la graduation maximum du cadran )

Si pour cela , nous avons dû faire passer 1mA , notre galvanomètre sera devenu un "milliampèremètre " de 1mA de déviation totale .

Augmentons la valeur de la résistance réglable et amenons notre aiguille sur la graduation 40 du cadran ; nous saurons que l'intensité ne sera plus que 0,40mA !

Calculons la résistance qui nous à permis d'obtenir 1mA , en utilisant comme source de tension ,une pile de 4V5 , sachant que la résistance du cadre est de 2 ohms :  
*la loi d'Ohm nous dit toujours  $R = U / I$ , et nous voyons deux résistances sur notre montage , la variable , et celle du cadre ; comme elles sont en série , nous les additionnons , et leur valeur totale s'exprime :*

$$R \text{ totale} = 4,5V / 0,001A = 4500 \text{ ohms}$$

Connaissant la valeur de la résistance du cadre , nous déduirons celle de la valeur de réglage de la résistance variable :

$$4500 \text{ ohms} - 2 \text{ ohms} = 4498 \text{ ohms}$$

Lorsque l'aiguille indique 1mA , sur la graduation 100 , calculons quelle est la tension aux bornes de la résistance variable U1 , puis aux bornes du cadre du galvano , U2 : ( toujours  $U = R * I$  )

$$U1 = 4498 * 0,001 = 4V,498 \quad U2 = 2 * 0,001 = 0V,002 = 2mV$$

Nous sommes en présence d'un galvanomètre dont les caractéristiques sont :

*- Déviation totale sous 2mV , cadre de 2 ohms , ce qui nous permettra de l'utiliser pour d'autres mesures , comme nous l'allons voir dans les lignes qui vont suivre . ( C'est-y pas bien causé de la sorte , mon pote ! )*

Mine de rien , et sans en avoir l'air ,nous sommes devenus "constructeurs de voltmètres " ; seulement , nous aurons du mal à les vendre , car ils ne mesureront au maximum que 4,5V : c'est trop peu pour couvrir une gamme de tension allant par exemple de 0,03V à 300V ;

Ne nous décourageons pas , prenons la loi d'Ohm à deux mains , et calculons notre nouveau voltmètre multigammes .

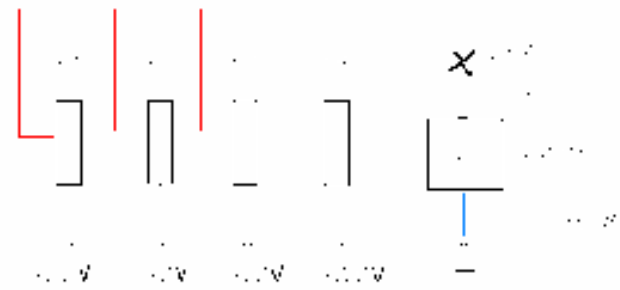
*En reprenant quatre fois le schéma de la Fg37, nous avons la Fg38 , toujours avec notre même galva de 1mA et 2 ohms ;*

Vous pouvez calculer vous mêmes , mais zoui, les valeurs des résistances additionnelles réglables qui vous permettront d'obtenir les quatre gammes imposées par nos clients :

- 0,3V ..... $R=0,3 / 1mA = 300 \text{ ohms}$  moins 2ohms de cadre soit 298 ohms ; pour avoir un réglage facile , nous prendrons une résistance réglable de 500  $\Omega$ , qui est normalisée .

- 3V..  $R = 3 \dots OH$  ! ne vous figurez pas que je vais faire tout le travail !! NIET !

Quand vous aurez fini , je vous dirai quelque chose ! ça y est ? C'est bon ?

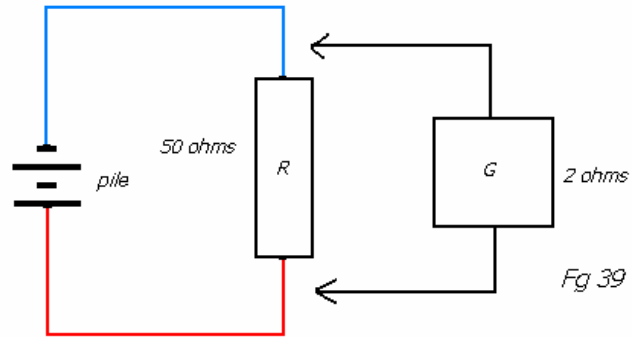


... ..

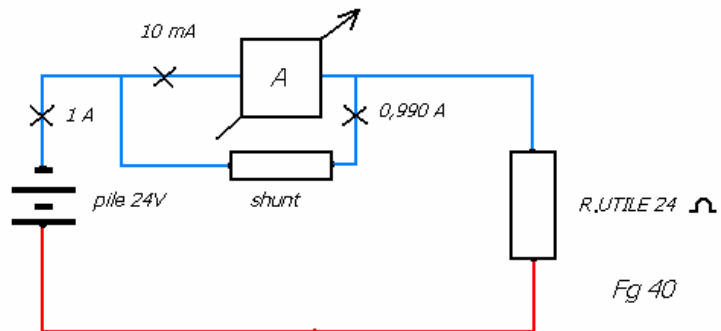
...

... ..

Comment faire une mesure fausse !



MESURE DE L'INTENSITE DANS UN CIRCUIT DE CONSOMMATION



Malgré tout le soin mis à calculer votre montage , il ne sera toujours qu'un voltmètre à



peu près exact pour des mesures avec les gammes de 30 et 300V, mais ne fournissant que de mauvaises mesures dans les gammes de 0,3 et 3V.

En effet , pour mesurer une tension , un voltmètre se place en parallèle sur une source de tension, qui est l'alimentation du circuit sur lequel il prendra des mesures. .

Comme il présente une résistance totale interne faible , et que cette dernière vient en parallèle sur la résistance d'un circuit qui, elle, peut être élevée , donc consommant peu de courant, (toujours Mr. Ohm qui nous rappelle sa loi, le tyran), nous aurons une résistance plus faible que la résistance d'utilisation .

La tension de l'alimentation chutera, et c'est cette dernière que nous mesurerons ! Autrement dit , une tension fautive . (Vous avez le droit de revoir le chapitre III , paragraphe : couplage des résistances en parallèles, page 31 ) .

*Le schéma de la Fg39 explique parfaitement cette situation, qui perturbe l'ensemble du circuit, et peut amener le technicien à tirer de fausses conclusions .On dit qu'il est INDUIT en erreur par une fautive mesure . (vous pensiez peut être qu'il était enduit d'erreur ,hé non , pas cette fois ! )*

#### Mesure d'une intensité : (Fg40)

Nous utiliserons un galvanomètre comme précédemment , avec un cadran gradué cette fois en ampères , ou en milliampères selon les besoins .

Pour mesurer une intensité , il faut placer le mesureur en série avec le circuit consommateur , et , bien entendu , le perturber le moins possible (souvenons-nous de nos déboires , avec nos mesures de tension qui étaient faussées ) ;

La résistance du galva devra être la plus faible possible , puisque cette dernière s'ajoutera a celle du circuit à mesurer .(montage série de 2 résistances ) .

*Supposons un circuit alimenté par une source de tension de 24V , comportant une résistance d'utilisation de 24 Ω, par hasard :*

*l'intensité qui y circule est de :*

$$: \quad I = U / R \text{ soit } 24V / 24 \Omega = 1 \text{ ampère}$$

Nous disposons d'un galva qui dévie totalement pour 1mA , et dont la résistance de cadre est de 2 ohms .

Pour que le galva ne voit que 1mA , il faut qu'une résistance dévie la différence , c'est à dire :

$$1A - 0,001A = 0,999 \text{ ampère}$$

Pour cela ,il est nécessaire que cette résistance de déviation , appelée "shunt" , (mot anglais qui signifie dériver ) , soit beaucoup plus faible , et ce , dans le même rapport que celui des intensités , soit :

$$999mA / 1 mA = 999 \text{ d'ou } R_{\text{shunt}} = 2 \Omega / 999 = 0,002002 \# 0,002 \Omega$$

Ainsi , notre galva déviera au maximum avec 1mA , alors que circulera dans le shunt 999mA et que nous aurons exactement 1A dans la résistance d'utilisation Nous pourrions graduer le cadran de 0 à 1 ampère .

Puisque nous savons calculer la résistance équivalente de deux résistances groupées en parallèle , calculons la résistance de l'ensemble shunt + cadre :

$$\text{Requiv.} = (R1 * R2) / (R1 + R2) \text{ ce qui donne :}$$

$$(2 * 0,002) / (2 + 0,002) = 0,001998 \Omega \text{ soit } \# 2 \text{ m}\Omega$$

Cette résistance vue par la source de 24V , est suffisamment petite , en série avec les 24 ohms de l'utilisation (au total 24,002 ohms) , pour ne pas gêner le circuit .

On peut maintenant réaliser un appareil de mesures capable de mesurer les tensions et les intensités, selon la Fig41 : c'est un multimètre, multigammes .  
Du fait que l'indicateur de déviation est à aiguille, il prend le nom de "multi-contrôleur analogique"

Aujourd'hui, ils sont abandonnés au profit des multi-contrôleurs numériques, à afficheurs électroniques, beaucoup plus performants .  
Ces voltmètres présentent des résistances d'entrées de plusieurs mégohms, et leurs ampèremètres ont des résistances de quelques dixièmes d'ohm .

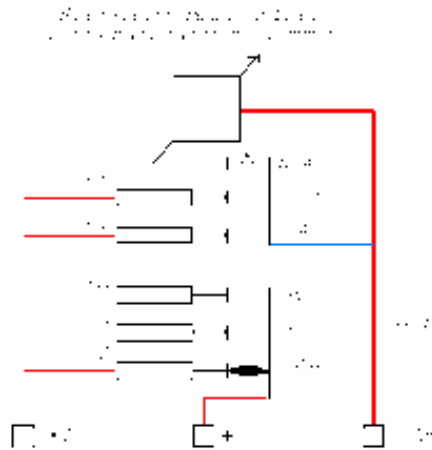


Figure 41 : Schéma d'un multimètre analogique multigamme.

### Mesures des résistances :

Réalisons le montage de la fg42 , avec une pile de 9V ,un contrôleur ,utilisé en milliampèremètre , une résistance réglable de 15Kohms , et deux bornes , A et B .  
Maintenant , nous allons l'ohmiser (ce qui pour moi , signifie utiliser la loi d'Ohm) ;  
En tenant pour négligeable la résistance de notre galva , calculons la résistance totale du circuit , lorsque nous avons par exemple une intensité de 1mA :

$R = U / I$  soit  $9 / 0,001 = 9000$  ohms , (si les bornes sont court-circuitées , et que la résistance de tarage est au maxi .)

A la place du court-circuit , plaçons une résistance connue , de 10.000ohms par exemple .  
la résistance totale devient alors : 19000ohms , et l'intensité chute à :

$$9 / 19000 = 0,4mA(\text{c'est facile de jouer maintenant avec les unités !!!})$$

*Notre galva va dévier pour indiquer 0,4mA , autrement dit , il nous indique , à sa façon que la résistance placée entre ses bornes est de10.000ohms ; en faisant ainsi plusieurs mesures avec différentes valeurs de résistances , nous pourrons graduer le cadran en ohms et en kilohms .Nous avons construit un ohmmètre .Y a pas à dire , mais on est des BONS , HEIN??*

·  
Nous venons , avec ces quelques pages sans prétension ( préintensité n'existant pas , alors on fait avec ). enfin nous dirons sans prétention pour bien parler, de voir qu'avec des mots simples et quelques calculs dignes de l'école primaire , il était facile de démystifier l'électricité que nous utilisons quotidiennement

.Encore un petit détail , mais qui a son importance , nous n' avons parlé que du courant continu !

Avec ces bases , si vous les avez bien assimilées , nous pourrons "étudier" le courant alternatif , puis de là , passer à de l'électronique simple, qui est une source de possibilités énormes . ( et même je dirais HENORMME au minimum ).

A bientôt le plaisir de .divaguer encore un peu en s'instruisant !!!

: