

Électromagnétisme en classe de 5^e *

BOBINES LONGUES

par le groupe d'animation 1^{er} cycle
de l'académie de Poitiers.

INTRODUCTION.

1) Objectifs :

- 1) Montrer l'analogie complète entre aimants et bobines.
- 2) Notion de sens du courant lié aux faces polaires de la bobine.

2) Connaissances minima nécessaires :

Propriété des aimants :

- attraction du fer : pôles,
- différenciation des pôles par orientation au voisinage de la terre,
- loi des interactions entre pôles.

3) Matériel nécessaire (voir fiches techniques).

- Bobine polyvalente.
- Système flotteur pour une pile et une bobine.

4) Plan de la démarche :

- Reprendre point par point la leçon sur les aimants et refaire avec des bobines des expériences parallèles :
 - attraction du fer : faces polaires,
 - différenciation des faces polaires par orientation au voisinage de la terre,
 - loi des interactions entre pôles d'aimants et faces de bobines.
 - Les difficultés sont dues au fait que les effets sont toujours beaucoup plus faibles avec les bobines qu'avec les aimants. La grandeur caractéristique des bobines

(*) N.D.L.R. : Cet article a été publié dans le bulletin de liaison n° 2 de l'académie de Poitiers ; nous le reproduisons avec l'aimable autorisation de l'auteur et de M. CHATALIC, Président de la Section académique.

(ampère-tours par mètre) est toujours beaucoup plus petite que la grandeur caractéristique équivalente des aimants (intensité d'aimantation).

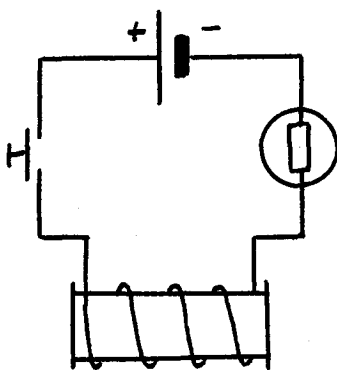
<i>Aimants</i>		<i>Bobines</i>	
intensité d'aimantation J (ordre de grandeur)		ampère-tours par mètre NI/L (ordre de grandeur)	
Ticonal	10^6 A/m	Bobine polyvalente (voir fiche technique) :	
Ferrite de baryum	$3 \cdot 10^5$ A/m	$N = 2000$ $I = 0,2$ A $L = 0,04$ m	
		$NI/L = 10^4$ A/m.	

} Entre les deux grandeurs équivalentes J et NI/L il y a a un rapport de l'ordre de 100.

I. ATTRACTION DU FER.

1) Montage :

pile : 4,5 V,
bobine (voir fiche technique),
ampoule : 3,5 V 0,2 A,
bouton-poussoir.



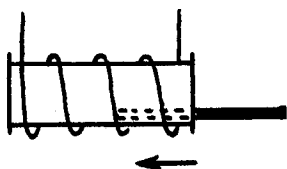
Remarque.

L'ampoule sert à montrer que le courant passe. Etant sous-voltée, elle n'éclaire que très faiblement. On peut l'enlever ensuite.

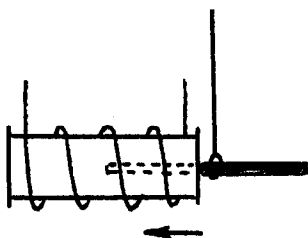
2) Expériences :

a) Utiliser un morceau de fil de fer à fagot de 3 à 4 cm de longueur. On peut l'utiliser de deux façons :

Placer le morceau de fer en équilibre à l'extrémité de la bobine (zone d'attraction maximum).



Suspendre le morceau de fer à un fil et se placer de façon que le morceau de fer soit engagé dans la bobine.



Quand on ferme le circuit, le fil de fer est attiré vers l'intérieur de la bobine.

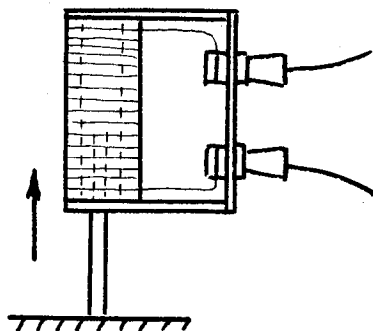
b) Recommencer l'expérience à l'autre extrémité de la bobine.

c) Recommencer l'expérience après avoir permuté les bornes de la pile. Aucune différence.

Conclusion :

Attraction du fer aux extrémités de la bobine (faces polaires).

3) Application (noyau plongeur) :



a) Montage :

— Placer la bobine verticalement et introduire dans la bobine une tige de fer doux (collection 5^e) de façon que la tige soit à peu près à moitié engagée.

— Alimenter avec 2 piles de 4,5 V, éventuellement 3 piles.

b) Expérience :

— La tige est soulevée quand on ferme le circuit. Elle retombe quand on ouvre le circuit.

— La force d'attraction dépend de la longueur du fer engagé dans la bobine. Rechercher la position optimum.

c) Exemples de noyaux plongeurs :

électrovannes,
sonnettes 2 tons,
certaines minuteriers,
etc.

II. DIFFERENCIATION DES FACES POLAIRES.

1) Montage :

— Utiliser un système flotteur (voir fiche technique II) pour faire flotter sur l'eau l'ensemble bobine et pile d'alimentation.

— Utiliser un récipient assez profond plein d'eau *parfaitement immobile*, tout mouvement de rotation de l'eau pouvant entraîner la bobine.

2) Expériences :

a) Placer délicatement le flotteur sur l'eau, la bobine étant dirigée Est-Ouest. Observer le mouvement de rotation de la bobine et la position d'équilibre obtenue après quelques oscillations (mouvement oscillant amorti par le frottement visqueux).

— Recommencer l'expérience en plaçant la bobine Ouest-Est. Vérifier qu'elle tourne dans l'autre sens et que la position d'équilibre est la même.

— Repérer la face Nord de la bobine.

b) Recommencer l'expérience après avoir permuté les bornes de la pile.

— Vérifier que les faces sont permutées.

Conclusion :

- 1) Existence d'une face Nord et d'une face Sud.
- 2) Les faces qui apparaissent sont liées au sens de branchement de la pile.

3) Sens du courant :

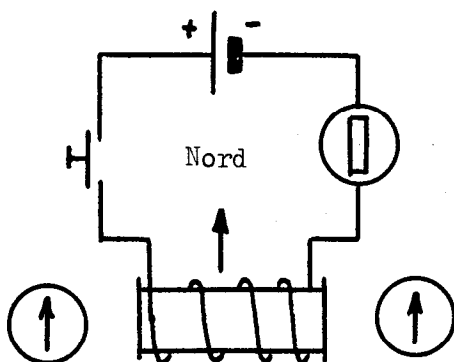
— Les faces qui apparaissent sont liées au sens de branchement de la pile. En déduire la notion de sens du courant.

— Donner le sens conventionnel du courant.

III. LOI DES INTERACTIONS ENTRE FACES POLAIRES ET POLES.

1) Action d'une bobine sur un aimant :

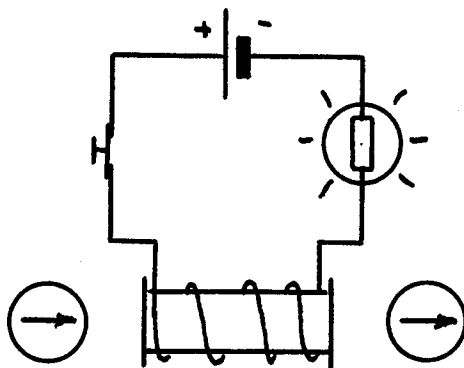
a) Montage :



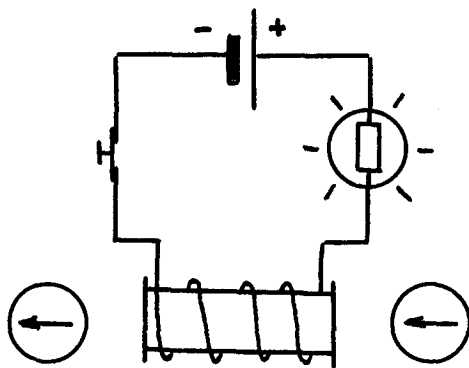
— Même montage qu'au paragraphe I avec la bobine orientée Est-Ouest et 2 boussoles placées aux extrémités de la bobine.

b) Expériences :

— Quand on ferme le circuit, les aiguilles des deux boussoles tournent. Une extrémité de la bobine attire le pôle Nord d'une aiguille, l'autre extrémité de la bobine attire le pôle Sud de l'autre aiguille.



— Refaire l'expérience après avoir permuté les bornes de la pile.



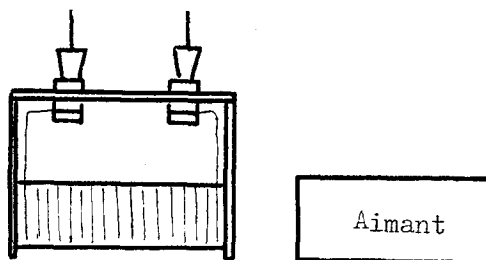
2) Action d'un aimant sur une bobine :

On peut proposer deux manipulations :

a) Avec une bobine flottante (voir paragraphe II).

— Approcher un pôle d'aimant d'une des extrémités de la bobine flottante puis de l'autre extrémité. Comparer les mouvements de la bobine.

b) Avec une bobine suspendue :



— Suspendre la bobine polyvalente par les deux fils de connexion (fils souples d'au moins 0,5 m de long).

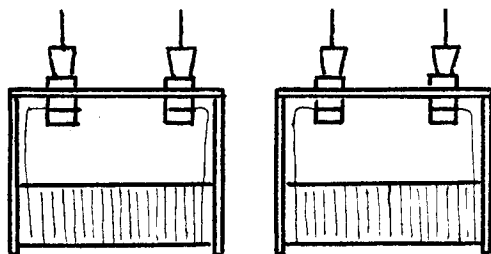
— Placer en face de l'une des extrémités de la bobine un *gros aimant*.

— Mettre en évidence l'attraction ou la répulsion en fonction du sens du courant dans la bobine et du pôle d'aimant utilisé.

3) Action d'une bobine sur une bobine :

a) Montage :

— Utiliser deux bobines suspendues par les fils de connexion (fils souples d'au moins 0,5 m) et placer vis-à-vis deux faces polaires le plus près possible.



— Alimenter au besoin chaque bobine par deux piles.

b) Expériences :

— Mettre en évidence l'attraction ou la répulsion des deux bobines en fonction du sens du courant dans les deux bobines.

— L'effet est très faible. Les bobines se déplacent de quelques millimètres.

Conclusion :

Loi des interactions identiques entre pôles d'aimants et faces des bobines.

Fiche technique I :

FABRICATION D'UNE BOBINE POLYVALENTE

Objectif de fabrication :

Notre but est de fabriquer du matériel simple qui puisse — si possible — être utilisé par les élèves dans tous les thèmes du programme (matériel polyvalent).

BOBINE POLYVALENTE.

1) Cette bobine servira dans les thèmes suivants :

- analogie aimant - bobine,
- aimantation du fer - électro-aimant,

- aimantation de l'acier,
- courant induit-générateur.

2) Cette bobine doit pouvoir être alimentée par une pile de 4,5 V ne débitant pas plus de 0,3 A.

Elle peut être alimentée sans inconvénient par une source de 6 ou 12 V.

MATERIAUX.

- bobine de pellicule photo 24×36 ,
- chutes de contreplaqué mince (4 mm),
- 50 grammes de fil de cuivre de faible section (25/100 à 35/100).

On peut en récupérer sur :

régulateur d'alternateur de voiture,
bobine déflectrice de télévision,

- 2 bornes de 6 mm (borne MFOM 4180 SR) ou 2 valves de bicyclette,
- 2 cosses radio de 6 mm (cosse MFOM 5 B),
- colle (araldite).

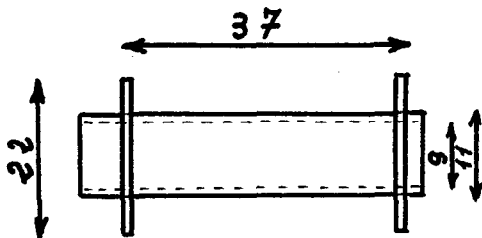
Remarque.

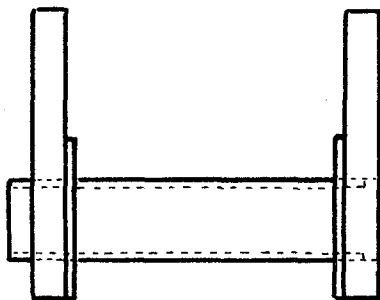
Tous les matériaux métalliques (cosses, bornes) *sont en laiton*.

CONSTRUCTION DE LA BOBINE.

1) Bobine :

- Evider la bobine (c'est le plus délicat),
soit avec une perceuse :
- bloquer verticalement la bobine en encastrant son extrémité dans un morceau de bois percé à 11 mm,
- percer avec une mèche de 9 mm. Un certain coup de main est nécessaire ;





- Placer les deux bornes sur la plaque à bornes :
 - mettre un écrou et bien serrer sur le bois,
 - placer la cosse radio,
 - mettre un second écrou,
 - tordre la cosse pour que la partie tordue soit à quelques millimètres de la flasque.

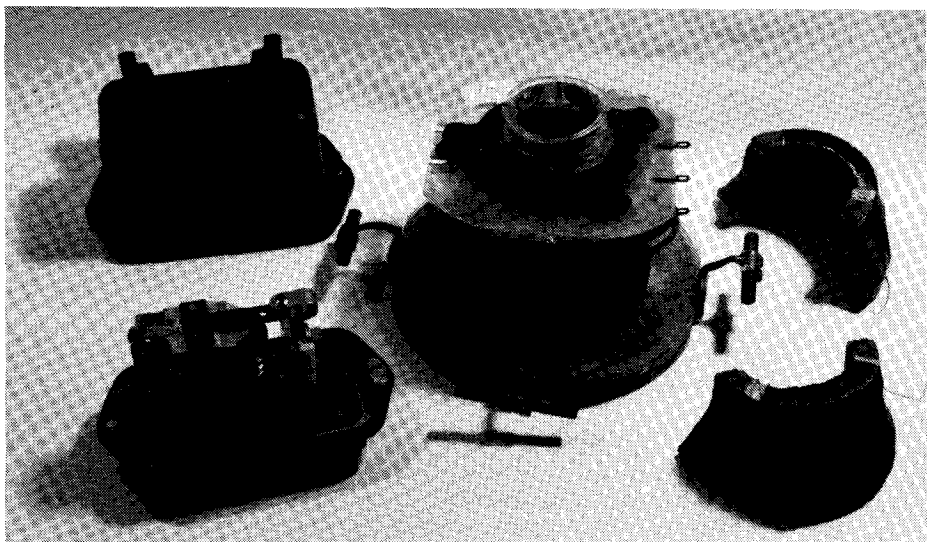
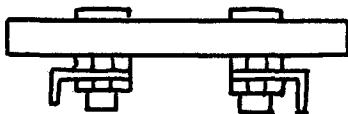


Fig. 1. — Récupération de fil de cuivre.

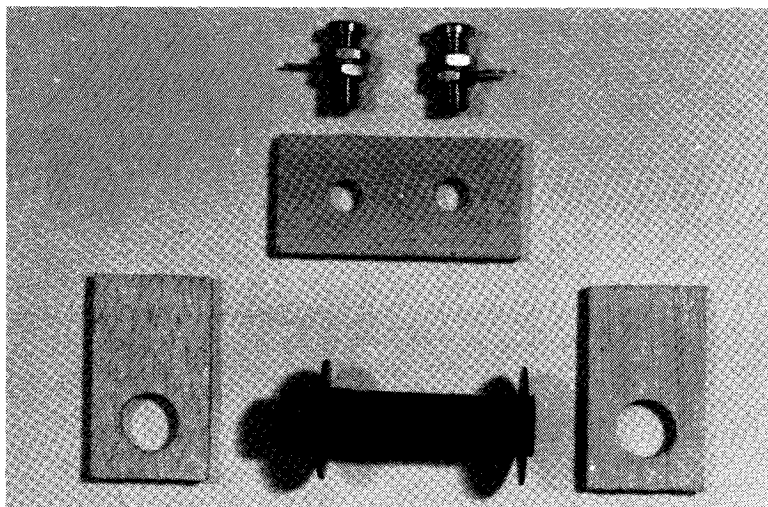


Fig. 2. — Ensemble des pièces.

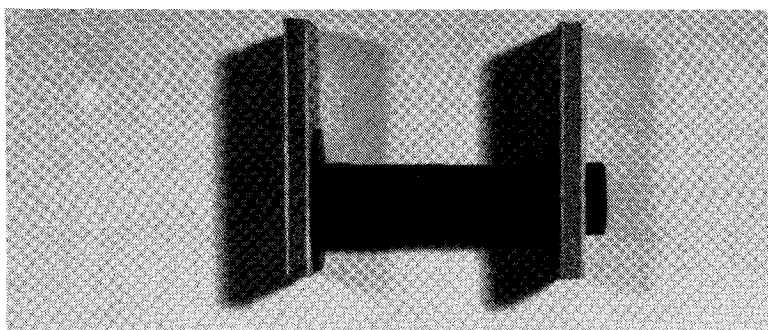


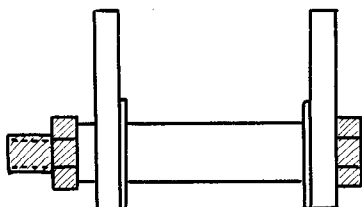
Fig. 3. — Bobines avec flasques collés.



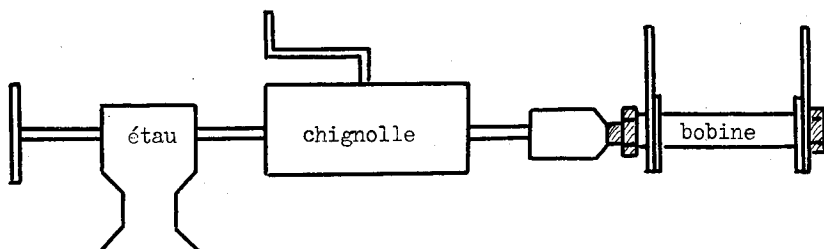
Fig. 4. — Plaque porte-bornes.

3) Bobinage :

— Enfiler dans la bobine un gros boulon (boulon 8×70) et serrer la bobine avec l'écrou.



— Fixer l'extrémité du boulon qui dépasse dans le mandrin d'une chignolle maintenue horizontalement dans un étau.



— Remplir la gorge de la bobine de spires de cuivre. On bobine le fil de cuivre en tournant la chignolle d'une main et guidant le fil de cuivre de l'autre.

— Dénuder les extrémités du fil de cuivre avec du papier abrasif fin.

4) Fixation de la plaque porte-bornes :

— Coller la plaque porte-bornes. Surtout, *ne pas clouer avec des pointes de fer.*

5) Soudure des fils :

— Enfiler les fils dans les cosses avec de petites pinces et souder aux cosses.

UTILISATION DE LA BOBINE.**1) Résistance de la bobine :**

A volume de cuivre constant, la résistance varie très rapidement avec le diamètre du fil. Un calcul élémentaire montre que la résistance varie en raison inverse de la 4^e puissance du diamètre du fil.

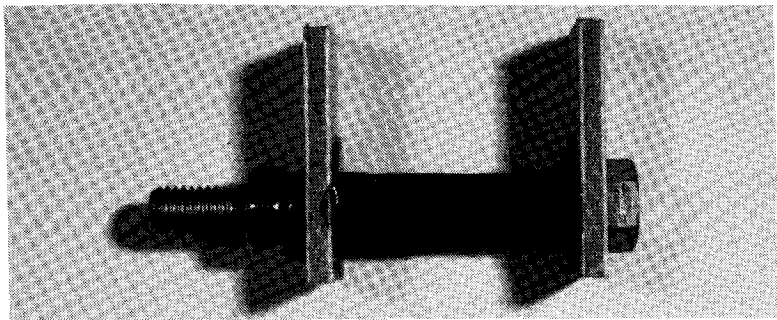


Fig. 5. — Bobine montée sur boulon de fixation au mandrin.

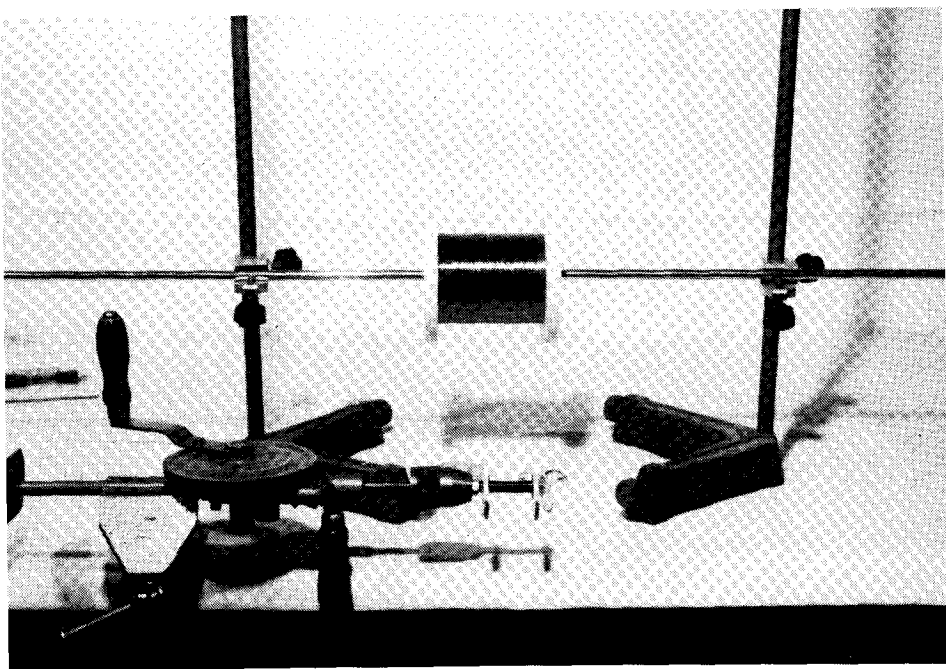


Fig. 6. — Bobinage (sans opérateur).

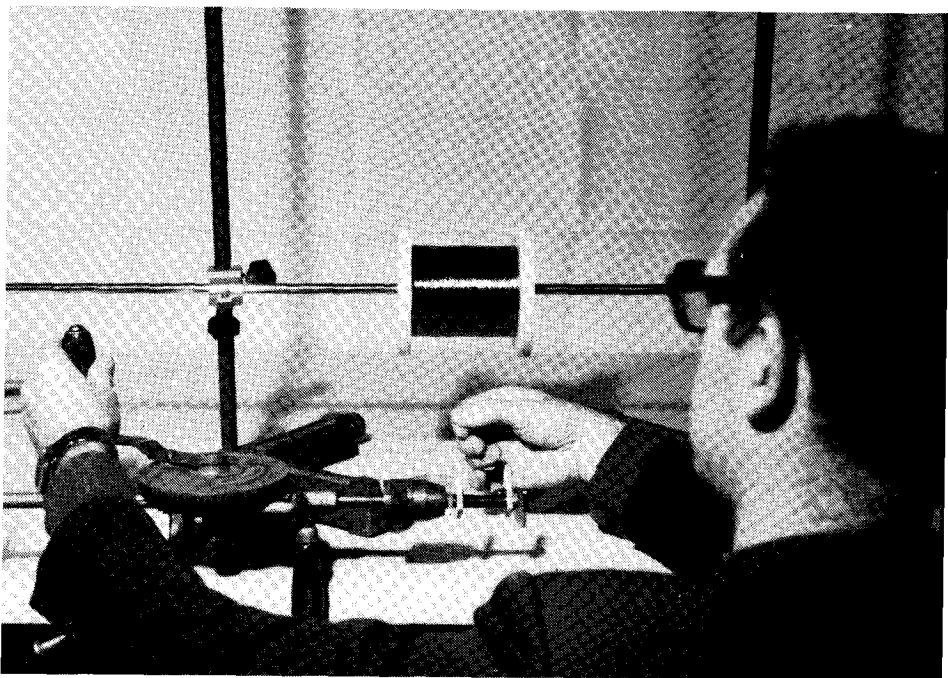


Fig. 7. — Bobinage (avec opérateur).

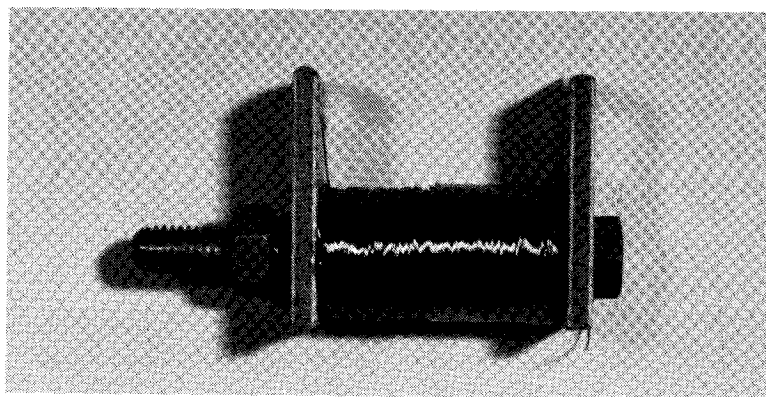


Fig. 8. — Bobine entièrement bobinée.

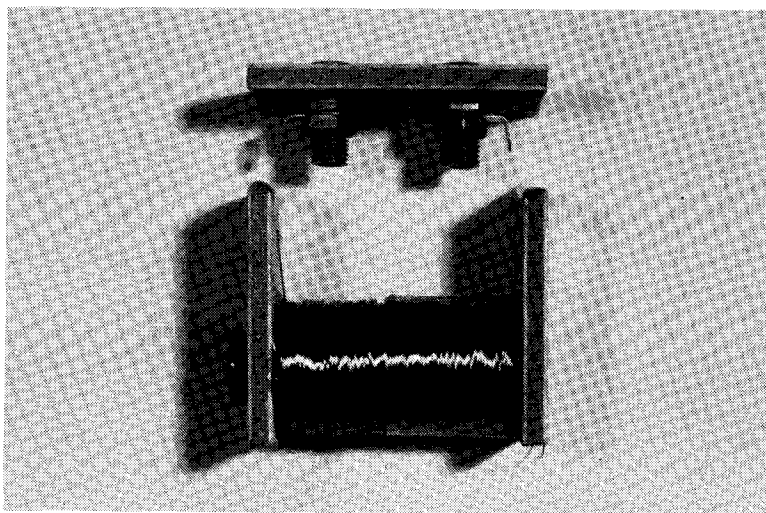


Fig. 9. — Assemblage final.

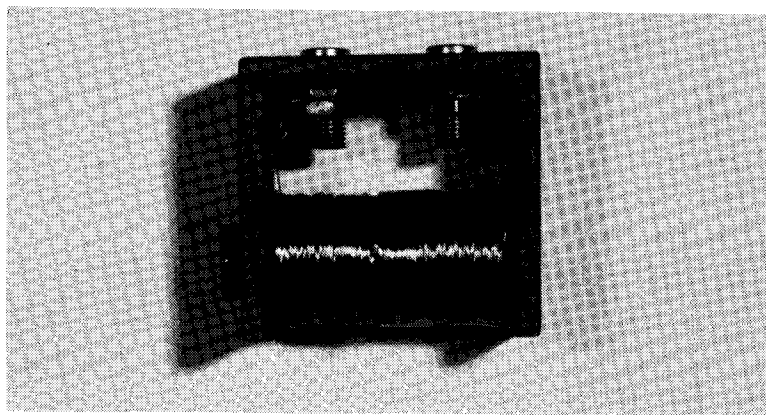


Fig. 10. — Bobine polyvalente terminée.

a) Comparaison des résistances :

$$R_0 = \varrho \frac{l_0}{s_0} \quad R = \varrho \frac{l}{s}$$

à volume de cuivre égal :

$$v = l_0 s_0 = l s$$

d'où :

$$\frac{R}{R_0} = \frac{l}{s} \frac{s_0}{l_0} = \left(\frac{s_0}{s} \right)^2 = \left(\frac{d_0}{d} \right)^4.$$

b) Valeurs numériques :

— Avec du fil de 25/100 et selon le remplissage, on obtient des résistances de 35 à 40 Ω .

— On en déduit l'ordre de grandeur des résistances pour les autres diamètres de fil (fils de diamètres normalisés vendus dans le commerce) :

25/100 R_0 35 à 40 Ω

28/100 $\left(\frac{d_0}{d} \right)^4 = 0,635$ R 21 à 24 Ω

31,5/100 $\left(\frac{d_0}{d} \right)^4 = 0,396$ R 14 à 16 Ω

35,5/100 $\left(\frac{d_0}{d} \right)^4 = 0,245$ R 9 à 10 Ω

Pour des diamètres de fil supérieurs, la résistance devient trop faible pour que l'on puisse alimenter la bobine par une pile.

2) Intensité du courant :

a) Caractéristiques d'une pile.

— Les ampoules les plus courantes 3,5 V 0,2 A sont prévues pour fonctionner avec des piles moyennement usées ayant une résistance interne de l'ordre de 5 Ω . Les piles neuves ont une résistance interne bien inférieure (environ 1 Ω).

— Les piles de 4,5 V ne doivent pas débiter un courant d'intensité supérieure à 0,3 A exceptionnellement 0,5 A.

b) Intensité du courant dans une bobine.

A partir des données précédentes, on peut calculer l'ordre de grandeur de l'intensité du courant qui traverse une bobine alimentée par une ou plusieurs piles *moyennement usées*.

Diamètre du fil	1 pile	2 piles	3 piles
25/100	0,11 A	0,20 A	0,27 A
28/100	0,17 A	0,29 A	0,37 A
31,5/100	0,23 A	0,37 A	
35,5/100	0,32 A	0,47 A	

Remarque.

Avec des piles neuves, on obtiendra des intensités plus grandes.

3) Nombre de spires :

a) Comparaison du nombre de spires.

Le nombre de spires est proportionnel à la longueur l du fil.
A volume de cuivre égal : $l s = l_0 s_0$:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{l}{l_0} = \frac{s_0}{s} = \left(\frac{d_0}{d} \right)^2.$$

b) Valeurs numériques.

Avec du fil de 25/100, la bobine comporte environ 2 000 spires :

$$25/100 \quad N_0 = 2000$$

$$28/100 \quad \left(\frac{d_0}{d} \right)^2 = 0,79 \quad N = 1600$$

$$31,5/100 \quad \left(\frac{d_0}{d} \right)^2 = 0,63 \quad N = 1250$$

$$35,5/100 \quad \left(\frac{d_0}{d} \right)^2 = 0,49 \quad N = 1000$$

4) Champ magnétique :

— Le champ magnétique au centre de la bobine est voisin de $\mu_0 NI/L$.

— On peut donc comparer l'efficacité des bobines à partir des tableaux précédents en calculant les grandeurs NI

Diamètre du fil	1 pile	2 piles	3 piles
25/100	220	400	540
28/100	270	460	
31,5/100	290		
35,5/100	320		

Fiche technique II :

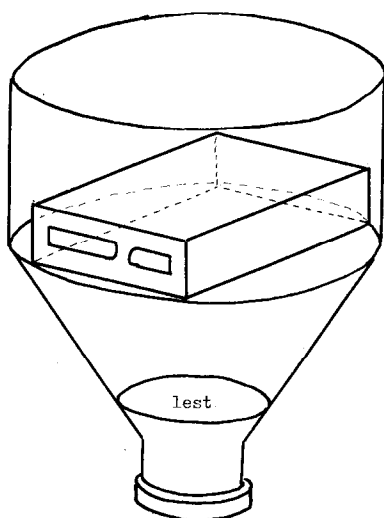
BOBINE FLOTTANTE

FLOTTEUR.

Un flotteur rudimentaire peut être réalisé avec une bouteille en plastique coupée à mi-hauteur (eau d'Evian) et lestée par du plomb (environ 150 g).

PILE.

Une pile plate de 4,5 V peut tenir coincée horizontalement à la limite des parties cylindriques et coniques de la bouteille.



BOBINE.**1) Premier montage :**

La bobine polyvalente est posée sur la pile. La liaison électrique est assurée par 2 fils souples que l'on soude aux bornes de la pile.

2) Deuxième montage :

Un autre montage consiste à utiliser un support en plexiglas moulé qui épouse la forme de la pile. On y adapte 2 fiches (MFOM 3211) sur lesquelles on peut embrocher la bobine polyvalente.

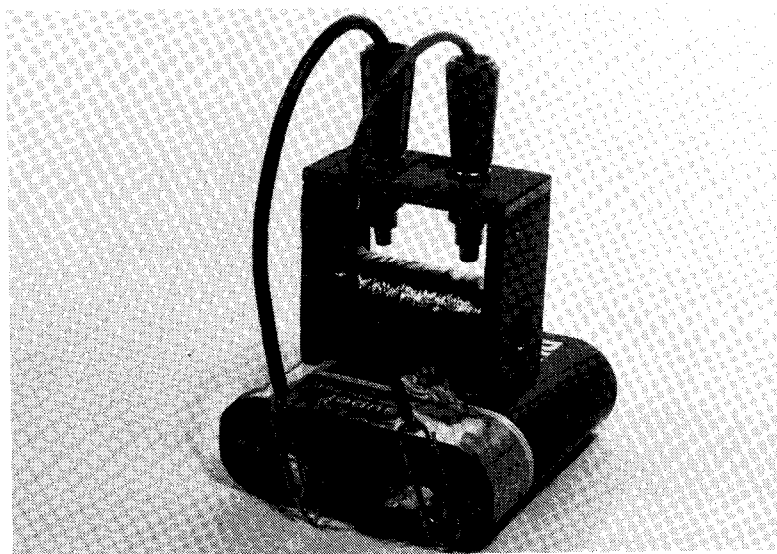
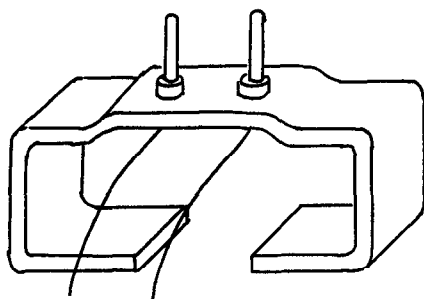


Fig. 1. — Pile et bobine (premier montage).

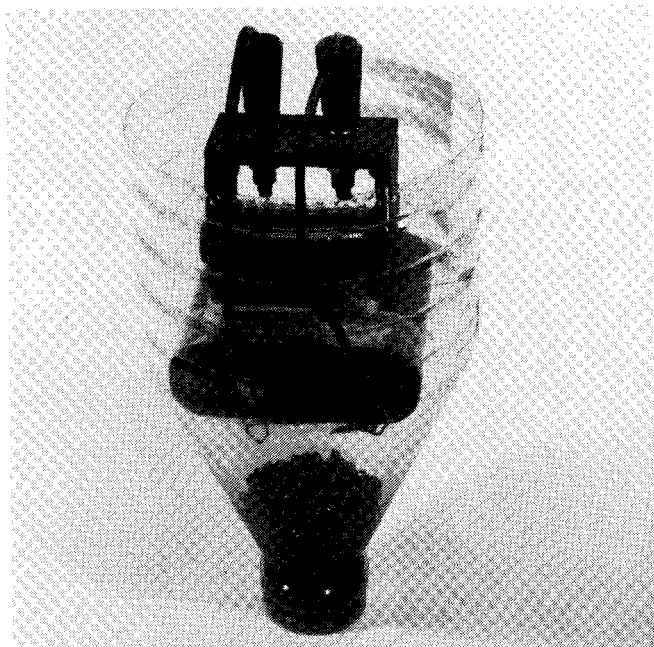


Fig. 2. — Pile et bobine sur flotteur (premier montage).

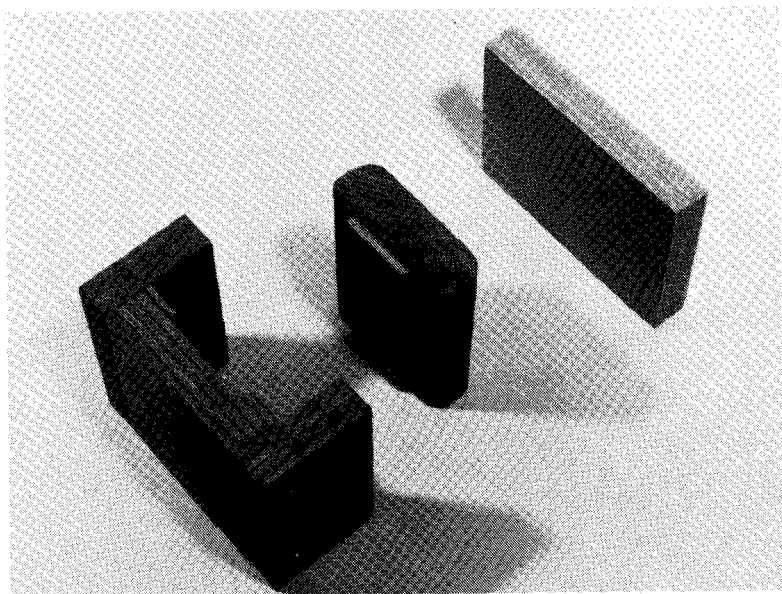


Fig. 3. — Moule à support.

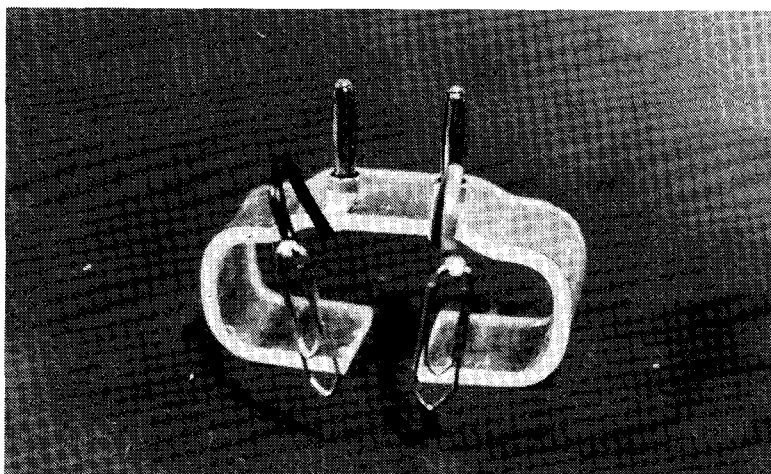


Fig. 4. — Support plexiglas.

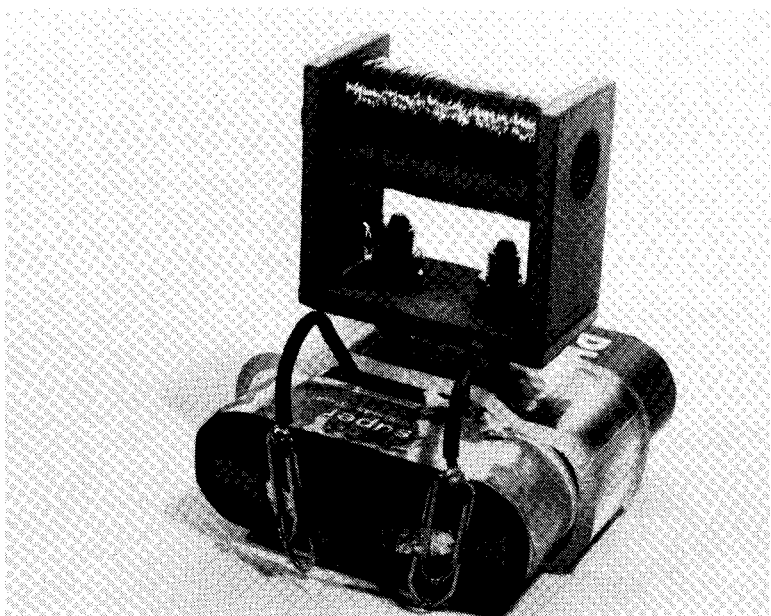


Fig. 5. — Pile et bobine (deuxième montage).

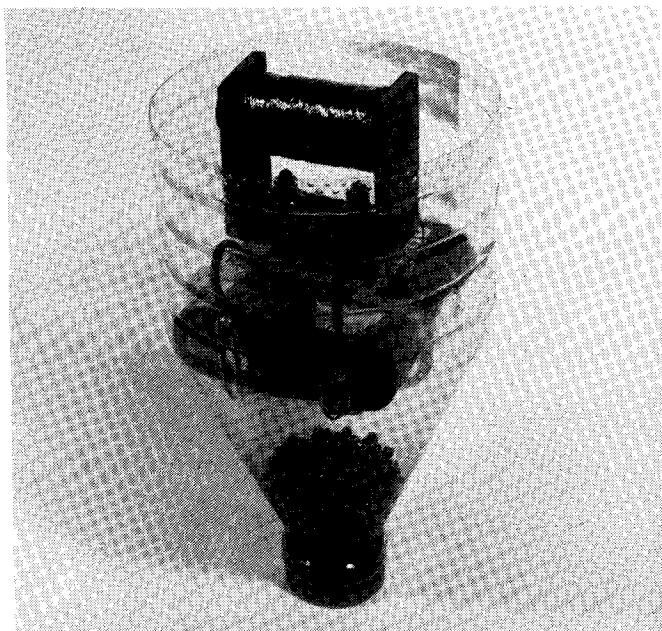
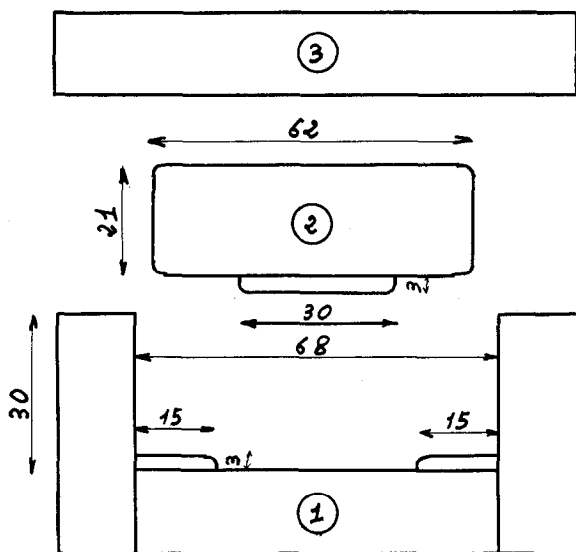


Fig. 6. — Pile et bobine sur flotteur (deuxième montage).

Fabrication du support :

— Fabriquer un moule en bois aux cotes suivantes :



— Découper une lame de plexiglas de 150 mm $\times$ 25 mm en plexiglas de 3 mm.

— La chauffer au-dessus de la flamme d'une gazinière recouverte d'une grille fine jusqu'à ramollissement.

— La placer sur le moule (1) de façon bien symétrique et appliquer la pièce (2). Replier les extrémités de la lame et appliquer la plaque (3).

— Laisser refroidir et démouler.

— Percer 2 trous à l'écartement des bornes de la bobine et fixer les fiches (la partie bombée du support correspond à l'épaisseur des écrous). Fixer avec des cosse des fils souples.



Fig. 7. — Expérience de bobine flottante.