

## Le propulseur à hélice

(JOUET A PILE)

par J.-L. CORBEL, Lanester.

### A) DESCRIPTION.

Il existe dans les magasins spécialisés nombre de jouets fonctionnant avec des moteurs à piles. L'un d'eux se prête à des expérimentations et à des mesures électriques (niveau classe de Première) et de forces (niveau classes de Seconde et Troisième); il s'agit d'un bateau équipé d'un bloc propulseur amovible et simplement fixé à la coque par montage « à force » grâce au système : rainures et languettes (marque : MS TO ; prix : 40 F).

Le bloc comporte un petit moteur électrique (stator à 2 aimants et rotor à 3 bobines) et un compartiment pour une pile R 14 de 1,5 V. L'axe du moteur peut recevoir 2 hélices :

- une hélice bipale pour l'eau,  $\varnothing$  25 mm,
- une hélice bipale pour l'air,  $\varnothing$  60 mm.

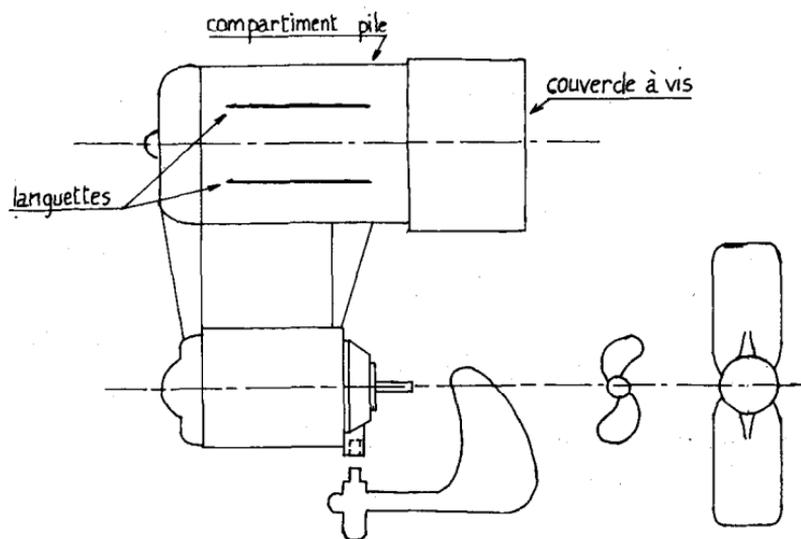


Fig. 1

Un gouvernail amovible peut être fixé au moteur pour la propulsion dans l'eau. Pour la propulsion aérienne, le bloc est tourné de  $180^\circ$  avec le moteur en l'air, ce qui rend inutile le gouvernail ; le bateau étant alors ingouvernable.

## B) ETUDE ELECTRIQUE DU MOTEUR.

Certaines caractéristiques du moteur (résistance  $R$  ; f.c.é.m. :  $E'$  ; puissance :  $P$ ) peuvent être déterminées par mesures de tensions et d'intensités à l'aide d'un multimètre utilisé successivement en voltmètre puis en ampèremètre.

Les mesures sont conduites dans cet ordre :

- 1 : axe nu (le moteur tourne à vide),
- 2 : axe avec la grande hélice brassant l'air,
- 3 : axe avec la petite hélice brassant l'eau,
- 4 : axe bloqué à la main.

### I. Mesures de tensions.

On mesure d'abord la f.é.m. de la pile :  $E \simeq 1,50 \text{ V}$  :

$$U_1 = 1,45 \text{ V},$$

$$U_2 = 1,35 \text{ V},$$

$$U_3 = 1,275 \text{ V},$$

$$U_4 = 1,20 \text{ V}.$$

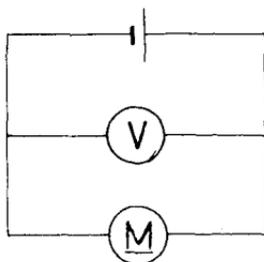


Fig. 2

### II. Mesures d'intensités.

$$I_1 = 0,305 \text{ A},$$

$$I_2 = 0,8 \text{ A},$$

$$I_3 = 0,9 \text{ A},$$

$$I_4 = 1,1 \text{ A}.$$

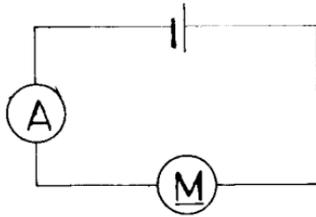


Fig. 3

(Pour  $U_3$  et  $I_3$ , les résultats ne varient pas avec l'orientation du jet d'eau produit par l'hélice).

### III. Exploitation des mesures.

Pile : f.é.m.  $E = 1,5 \text{ V}$  ; résistance =  $R$ ,  
 Moteur : f.c.é.m. =  $E'$  ; résistance =  $R'$ .

a) moteur bloqué ( $E' = 0$ ) :

$$U_4 = R' I_4 \Rightarrow R' \simeq 1,09 \Omega,$$

$$U_4 = E - R I_4 \Rightarrow R \simeq 0,27 \Omega.$$

Puissance consommée par le moteur par effet Joule :

$$P_4 = R' I_4^2 = 1,32 \text{ W}.$$

b) moteur tournant à vide (axe nu) :

$$U_1 = E' + R' I_1 \Rightarrow E' = 1,12 \text{ V}.$$

La puissance totale  $P_T$  du moteur est la somme de la puissance mécanique  $P_M (= E' I)$  et de la puissance due à l'effet Joule  $P_J (= R' I^2)$  :

$$P_T = U_1 I_1 = 0,435 \text{ W},$$

$$P_M = E' I_1 = 0,337 \text{ W}.$$

Le rendement défini par  $r = \frac{P_M}{P_T} \times 100$  est ici de 77,5 %.

c) moteur et hélice dans l'air :

$$U_2 = E'_2 + R' I_2 \Rightarrow E'_2 = 0,478 \text{ V},$$

$$P_T = U_2 I_2 = 1,08 \text{ W},$$

$$P_M = E'_2 I_2 = 0,382 \text{ W}.$$

Le rendement :  $r_2 = 35,4 \%$ .

d) moteur et hélice dans l'eau :

$$U_3 = E'_3 + R' I_3 \Rightarrow E'_3 = 0,294 \text{ V.}$$

$$P_T = U_3 I_3 = 1,15 \text{ W,}$$

$$P_M = E'_3 I_3 = 0,265 \text{ W.}$$

Le rendement :  $r_3 = 23 \%$ .

e) conclusion :

On remarque que l'intensité croît beaucoup avec l'effort sur l'axe. Quand l'hélice tourne dans l'air et surtout dans l'eau, l'intensité est trop importante pour la pile qui va se polariser rapidement ; aussi est-il préférable d'utiliser une pile alcaline qui supporte mieux des courants intenses.

Le rendement, assez bon pour l'axe nu, décroît rapidement avec l'effort demandé à l'hélice.

### C) ÉTUDE ET MESURE DES FORCES.

#### I. Interaction : hélice et air.

1. Le bloc propulseur est fixé au bateau, moteur en haut et portant la grande hélice. Le bateau étant posé sur l'eau avec le moteur en marche, on le retient à la main par l'intermédiaire d'un fil et d'un dynamomètre de un newton (1 division = 0,05 N). La force de traction de l'hélice (force de réaction de l'air sur l'hélice) est inférieure à une division et peut être estimée à 0,03 N.

2. Pour avoir une mesure plus précise de la force précédente, on peut utiliser la balance et procéder à 2 équilibres.

Le bloc est muni d'une base en pâte à modeler pour que le plan de rotation de l'hélice soit horizontal.

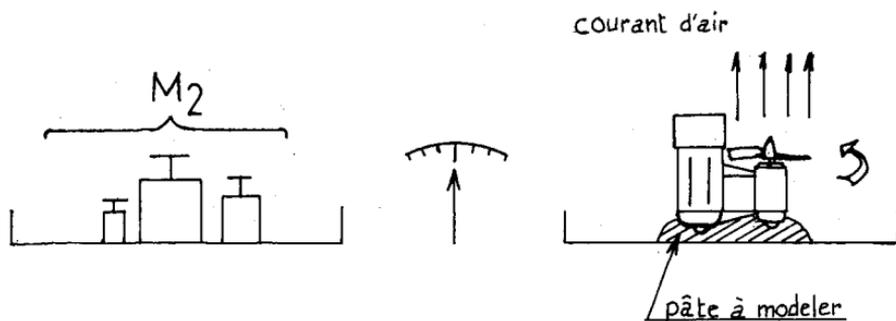


Fig. 4

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| 1 <sup>er</sup> équilibre | $M_1 \rightarrow$ bloc avec hélice immobile,  |
| 2 <sup>e</sup> équilibre  | $M_2 \rightarrow$ bloc et hélice en rotation. |

On obtient  $M_2 > M_1$  et la différence  $M_2 - M_1$ , de l'ordre de 3 g à 1 dg près, permet de mesurer la force de réaction de l'air. La comparaison de cette force avec le poids du bloc (masse du bloc avec la pile  $\approx 110$  g) montre qu'il n'est pas possible de l'utiliser, par renversement de manière à avoir le courant d'air dirigé vers le bas, comme dispositif de sustentation à la manière d'un hélicoptère en vol fixe. En inversant les pôles de la pile, on inverse la rotation de l'hélice (le profil des pales de l'hélice n'est pas conçu pour obtenir une bonne efficacité du brassage de l'air par cette inversion) et on peut espérer mesurer la nouvelle force :  $\vec{F}'$  de l'interaction air/hélice dirigée cette fois vers le bas (donc  $M'_2 < M_1$ ). En fait, le courant d'air vient frapper le plateau de la balance créant ainsi une force supplémentaire  $\vec{F}''$  qui contrarie l'effet de  $F'$  d'où l'impossibilité de mesurer  $\vec{F}'$ .

3. Le mouvement que l'hélice impose à l'air est un mouvement hélicoïdal dont seule la composante de translation est utile pour le déplacement. La composante de rotation peut être mise en évidence ainsi : on place le bloc avec une base en pâte à modeler sur un flotteur posé sur l'eau (comme flotteur, on peut utiliser une barquette alimentaire en polystyrène). La rotation rapide de l'hélice dans le plan horizontal provoque la rotation du flotteur dans le sens inverse avec une vitesse appréciable : 1 tour en 12 s.

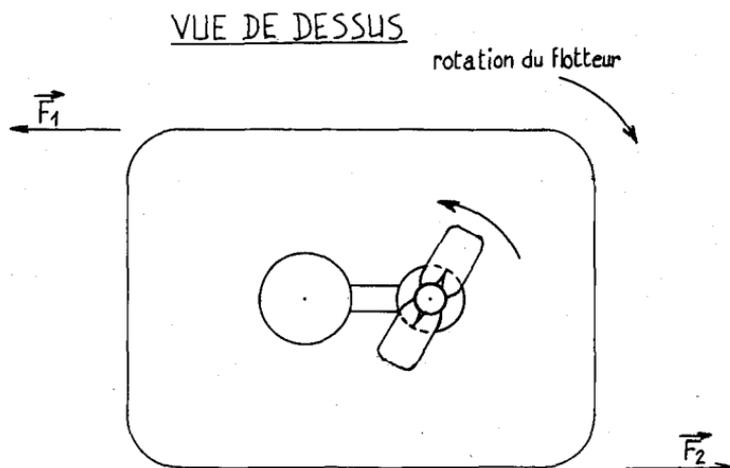


Fig. 5

La rotation du flotteur s'explique par la réaction de l'air, de sens opposé au sens de rotation de l'hélice. On comprend ainsi

qu'un hélicoptère à un seul rotor aurait tendance à être entraîné dans une rotation incontrôlable s'il n'y avait pas à l'arrière un petit rotor destiné à empêcher ce mouvement nuisible.

Il est possible de mesurer le couple exercé par l'air en lui opposant un couple de forces :  $(\vec{F}_1, \vec{F}_2)$  de manière à immobiliser le flotteur. Pour cela, on retient le flotteur avec les 2 mains qui agissent sur 2 bords opposés par l'intermédiaire de fils dont l'un est prolongé par un dynamomètre. Il faudrait pour cela disposer d'un appareil très sensible (capacité : 0,1 N ou mieux 0,01 N).

#### Remarque.

On peut comparer la vitesse de rotation du flotteur dans les deux cas :

- hélice tournant dans le sens normal,
- hélice tournant en sens contraire.

On obtient des vitesses sensiblement égales ( $\approx 5$  tr/min).

Avec deux moteurs placés sur le même flotteur et tournant en sens inverse l'un de l'autre, il y a compensation sur la rotation du flotteur qui reste immobile dans le cas idéal. Certains hélicoptères ont deux rotors mais tournant en sens inverse, ce qui annule l'effet « d'autorotation » et dispense de l'utilisation du petit rotor vertical de queue.

## II. Interaction : hélice et eau.

1. En opérant comme en I.1., on peut mesurer la force de traction de l'hélice (réaction de l'eau sur l'hélice). Cette force est voisine de 0,1 (2 divisions).

2. La balance permet encore d'avoir une mesure plus précise mais au prix d'un montage un peu délicat. On munit le bloc d'un cerclage en fil de fer avec anneau pour l'accrocher à un fil double (suspension bifilaire) qui le supportera et transmettra les forces au plateau de la balance ; ce fil doublé est du fil électrique qui est à la fois assez souple pour être plié et assez rigide pour transmettre les poussées et aussi assurer un positionnement correct avec l'hélice tournant dans un plan horizontal.

La mesure de la force nécessite 2 équilibres :

- hélice fixe : le bloc immergé dans l'eau équilibre  $M_1$
- hélice en rotation : le bloc immergé dans l'eau équilibre  $M_2$  (figure).

On a  $M_2 < M_1$  car la force de réaction de l'eau est dirigée vers le haut. La différence  $M_1 - M_2$  de l'ordre de 10 g (peut atteindre 18 g ou descendre à 8 g selon l'état de la pile) donne l'intensité de la force.

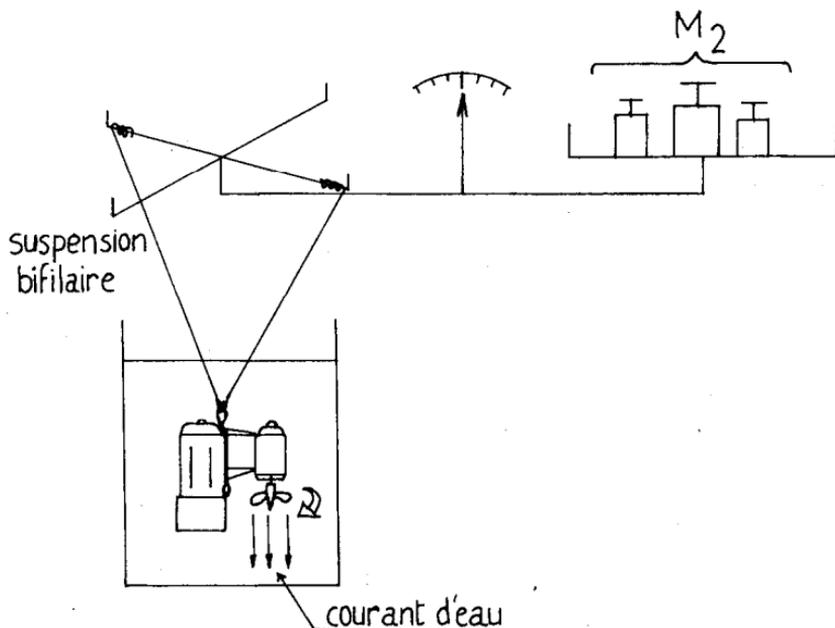


Fig. 6

On peut faire l'expérience avec le bloc : hélice en haut et pul-sant l'eau vers la surface ; dans ce cas  $M_2 > M_1$ .

La mesure de  $M_2$  doit être effectuée assez rapidement car la pile se polarise vu l'intensité du courant électrique ( $I_3 = 0,9$  A), ce qui diminue la force et donc modifie  $M_2$  en cours d'expérience.

L'étanchéité imparfaite du compartiment de la pile au niveau du couvercle à vis n'a pas d'influence sur le courant débité dans le moteur. Un test effectué en reliant les 2 pôles de la pile par un tampon d'ouate mouillée d'eau n'a pas permis de déceler une variation des mesures de  $U$  et  $I$ .