

CONCEPTION
D'UN
TAPIS ROULANT
AVEC
SELECTION AUTOMATIQUE

Par

Tafsir El Hadji Amadou Barro GNING
étudiant en 4^e année de Génie
mécanique

sous la direction
de

Mr André WOLSKI professeur
à l'E.P.T.

— Juin 1980 —

REMERCIEMENTS

Ce projet n'a pu être mené à terme que grâce à l'association de certains faits dont principalement :

- la mise en pratique des connaissances théoriques acquises sur les bancs
- la présence sur place de toute la documentation requise
- Et l'entière disponibilité de toutes les personnes sollicitées.

Je tiens donc à remercier Mr DAVIGNON qui a bien voulu me donner les renseignements dont j'avais besoin malgré ses charges, ainsi que mes camarades pour leurs avis.

Je remercie particulièrement Mr WOLSKI mon directeur de projet pour son soutien qui s'est manifesté tout au long de ma tâche

SOMMAIRE

L'objet du présent projet est la conception d'un système capable de faire la sélection de deux types de briques de longueurs différentes transportées dans un ordre quelconque sur un même tapis roulant.

Pour ce faire, on distinguera dans l'analyse de la solution retenue deux parties ; Mécanique et Electromécanique.

La partie mécanique est conçue en tenant compte des restrictions imposées par le choix de l'élément moteur qui dans notre cas sera un électro aimant. Un mécanisme à quatre membrures est ici le plus approprié. Les vitesses et les accélérations sont déterminées par la méthode graphique vu la non impérativité de la précision tandis que les forces le sont par la méthode analytique vu la configuration du mécanisme.

La partie électro mécanique englobe le calcul de l'électro-aimant, le choix de ses matériaux et la résolution du circuit d'automatisation. Le choix d'un électro aimant trouve sa justification par le fait que c'est un élément de transmission de puissance qui s'intègre facilement dans un milieu industriel car nécessitant peu d'installations additionnelles.

Le montage des capteurs électroniques est inclus dans cette partie.

TABLE DES MATIERES

Titres	Pages
Introduction	1
Définition du problème	3
Analyse de la solution	4
A - Partie mécanique	4
- solutions envisagées	4
- solution retenue	8
B - Partie électromécanique	36
- Calcul de l'électro-aimant	36
- Automatisation	44
C - Discussions et conclusions	55
Références	57
Bibliographie	58
Annexes	59
- Nomogramme pour le calcul des ressorts hélicoïdaux	A1
- Courbes de magnétisation	A2
- Vue d'ensemble du système	A3
- Dessins de détail	A4 - A7

INTRODUCTION

Automatiser c'est commander, contrôler et synchroniser l'évolution d'un mécanisme destiné à accomplir certaines fonctions avec la minimum d'intervention de l'homme.

Ces objectifs visés sont guidés par les phénomènes suivants :

1 - Les cas se font de plus en plus nombreux où l'organisme humain s'accommoderait mal à certaines conditions de travail imposées par l'industrie moderne (atmosphère polluée, température ambiante non favorable, milieux non accessibles à l'homme, etc...)

2 - Certaines unités de fabrication, de transformation ou de montage demandent des sollicitations particulières, tant physiques que morales de la part des ouvriers. En effet, comme conséquence de l'accroissement de la demande en produits manufacturés et des exigences des consommateurs la précision et la rapidité dans l'exécution des mouvements gagnent de plus en plus du terrain dans des cycles de travail répétitifs, abrutissants et ennuyeux. Dans de telles situations, l'automatisation a soulagé l'homme. Elle tient bien son rôle d'automatiser pour ne pas faire des "automates".

De par ces deux cas l'automatisation trouve sa justification humaine.

Elle trouve sa justification économique par la possibi.

-lité qu'on a désormais d'obtenir une production de type massive avec relativement peu de main d'œuvre.

Des lors, le rôle de l'homme prend une autre orientation. Il trouvera son action dans des tâches de maintenance, de perfectionnement et d'autres encore générées par les automatismes.

* *
*

Distinguer une brique de vingt deux centimètres d'une brique de vingt centimètres amenées indifféremment par un tapis roulant, par simple observation, est une tâche bien difficile pour un homme. Et s'il faudrait les mesurer une par une, on s'imagine le temps qu'il faudrait pour un seul ouvrier ou le nombre d'ouvriers qu'il faudrait dans le cas d'une fabrication en grande série. Dès lors, on voit toute l'opportunité d'un système automatisé pouvant faire la sélection.

DEFINITION DU PROBLEME

Une briqueterie doit trier des briques dont les longueurs sont 22 cm et 20 cm. Les briques amenées indifféremment sur un tapis roulant sont distantes de 2 cm.

A. les données

- longueurs respectives de 22 cm et 20 cm.
- la distance entre deux briques est 2 cm
- la masse d'une brique est supposée être 4 kg
- la vitesse du tapis 10 cm/sec

B. les objectifs.

- le système doit pouvoir sélectionner les briques.
- autres objectifs:

Le système doit être:

- assez rapide pour pouvoir agir sur deux briques successives.
- sécuritaire.
- le plus simple possible.
- facilement intégrable dans le milieu auquel il est destiné.
- fiable
- Il doit faire le moins de bruit possible.

ANALYSE DE LA SOLUTION

— A —

Partie mécanique

I Solutions envisagées

Avant de passer à la solution qui a été finalement retenue, je pense qu'il est opportun de citer ici quelques cas qui pourraient être des solutions.

1. Système tournant

Il s'agit d'un arbre muni de pales disposés à 120° et qui sera accouplé à un moteur électrique qui va commander sa rotation. L'arbre du moteur et l'arbre à pales ont tous les deux de faibles moments d'inertie. L'ensemble est fixé au dessus du tapis comme indiqué sur la figure 1.1. Un clapet de retenue maintient le système à la position voulue. Au moment opportun, un signal de type impulsion est envoyé au moteur. Le moteur, qui sera un moteur à démarrage brusque affectue alors une fraction de tour entraînant l'arbre à pales qui chasse la brique désirée du tapis. Le clapet de retenue réglera la rotation à $1/3$ de tour grâce à des

loges disposées à 120° .

La solution est intéressante, mais vu l'appel de courant au démarrage et le fonctionnement intermittent, le moteur s'échaufferait très vite.

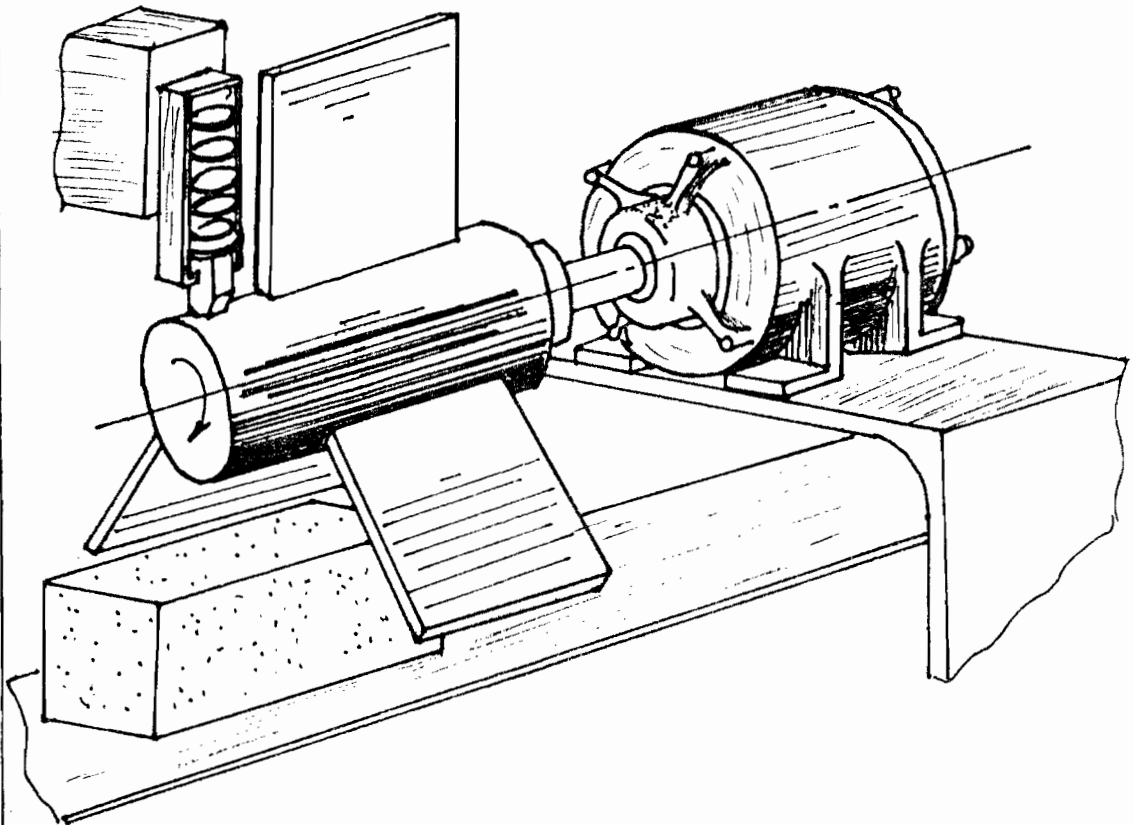


Fig 1-1

Systeme tournant

2. Varin a double effet.

La tige du varin est guidée en translation. Une butée termine la tige. Lorsque l'on envoie le fluide dans le varin, la tige se détend et pousse sur la brique qu'on veut chasser hors du tapis. Le système reprend sa position initiale quand on envoie le fluide dans l'autre ouverture du varin. Cette solution pourrait être adoptée dans la mesure où l'usine disposerait de toutes les installations hydrauliques nécessaires. En plus, s'agissant d'une usine de fabrication de briques, on se trouve dans un environnement poussiéreux et les problèmes d'étanchéité revêtiraient une grande importance.

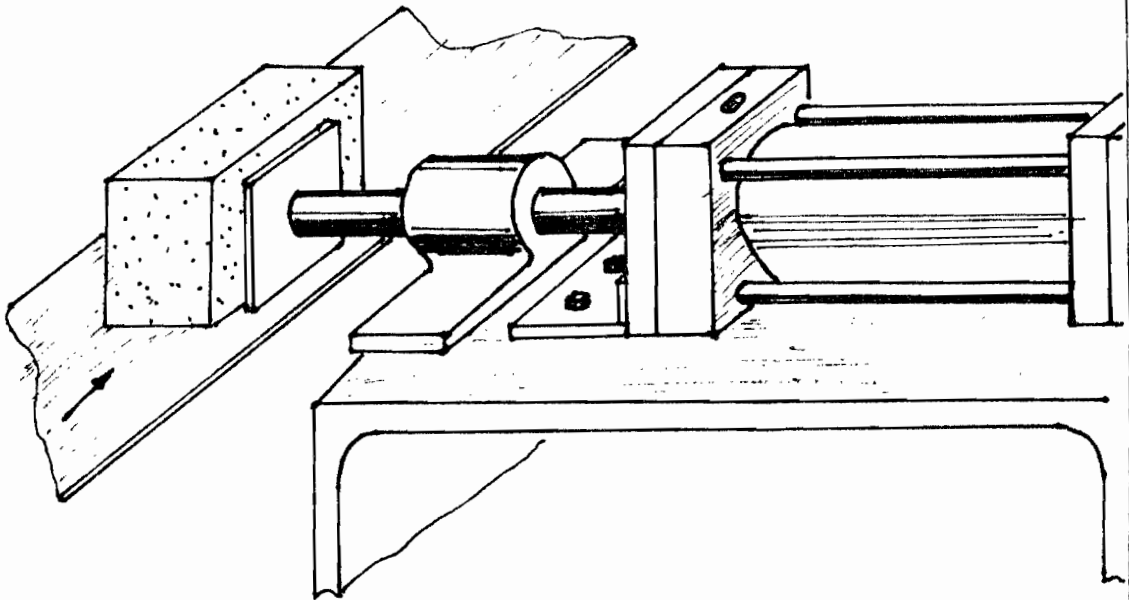


Figure 1-2

Varin a double effet

3. système à levier

Figure 1.3.

Le varin du système est à double effet. Lorsque sa tige se détend, elle provoque la rotation de deux petits cylindres placés sur un plateau. L'un de ces cylindres est solidaire d'un levier qui va chasser la brique désirée au moment voulu. L'ensemble du système doit être placé parallèlement au tapis roulant. Cette disposition est avantageuse dans le cas où l'espace disponible sur les cotés du tapis ne serait pas suffisant pour installer un appareillage. Cependant les mêmes problèmes soulevés précédemment restent valables.

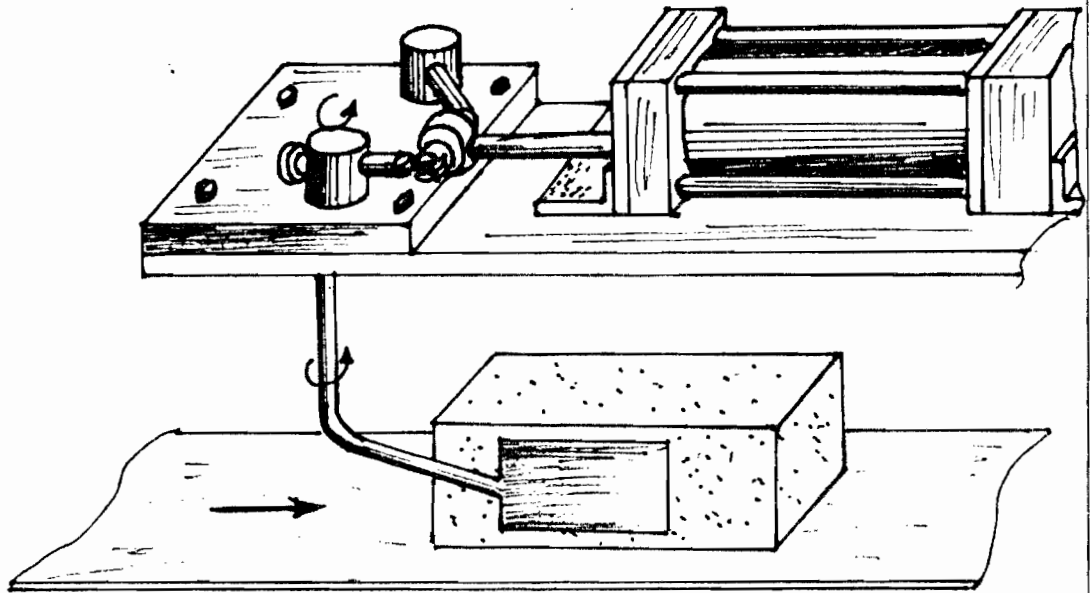


Figure 1.3

système à levier

II Solution retenue

Etant donné que je n'ai pas eu un large éventail de solutions, je ne me suis pas apesanti sur les critères d'évaluation et l'étude de praticabilité.

Cependant, de par sa simplicité; donc sa fiabilité, son adaptabilité à la fonction que je veux et la facilité de prévoir son comportement, un mécanisme à quatre membrures est ici le plus approprié. Le mécanisme sera actionné par un électro aimant.

1. principe de fonctionnement

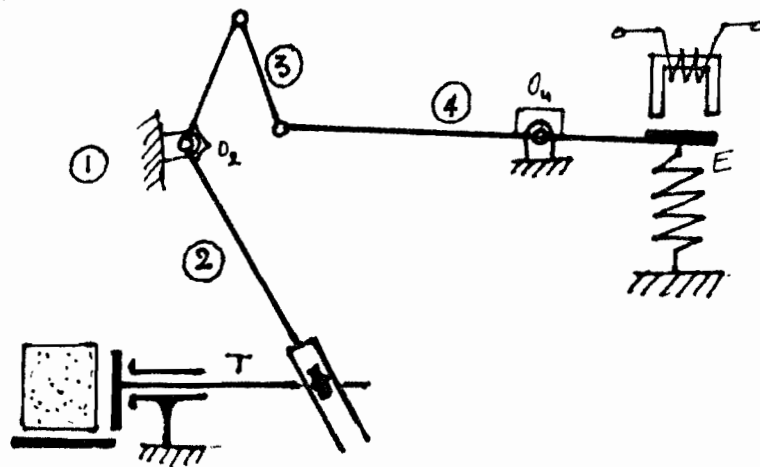


Figure 2-1

Mécanisme à 4 membrures

Le mécanisme est constitué de quatre membrures articulées suivant la configuration indiquée sur la figure 2.1.

Les membrures ② et ④ peuvent tourner autour de leurs pivots fixes O_2 et O_4 . La membrure ③ sert de liaison. La tige T transforme la rotation de ② en translation par un système à glissière.

Une fois la brique détectée, un signal est transmis à l'électro-aimant qui en attirant son armature solidaire de ③ provoque la translation de la tige T qu'il fait bouger vers la gauche, entraînant ainsi la brique. Les bras de leviers de ② et ④ seront tels que la variation de l'entrefer de l'électro-aimant est amplifiée à la sortie (tige T). Le ressort ramène l'ensemble à sa position initiale. Pour faciliter le mouvement, les centres de gravités des éléments ② et ④ seront placés à leurs pivots.

2 - Etude dynamique du mécanisme.

L'étude dynamique se justifie par le fait que le temps d'opération (temps correspondant à un aller-retour de la tige) est limité à cause de la restriction suivante :

- Le tapis ne s'arrête pas lorsque le mécanisme de sélection agit, et puisque les briques se suivent à une distance de deux centimètres, l'action doit être assez rapide pour qu'il n'y ait pas d'interaction entre deux briques.

On prendra donc comme temps maximum d'opération du mécanisme le temps nécessaire au tapis pour se déplacer

de 2 cm. Ce temps sera décomposé en un aller et un retour de la tige.

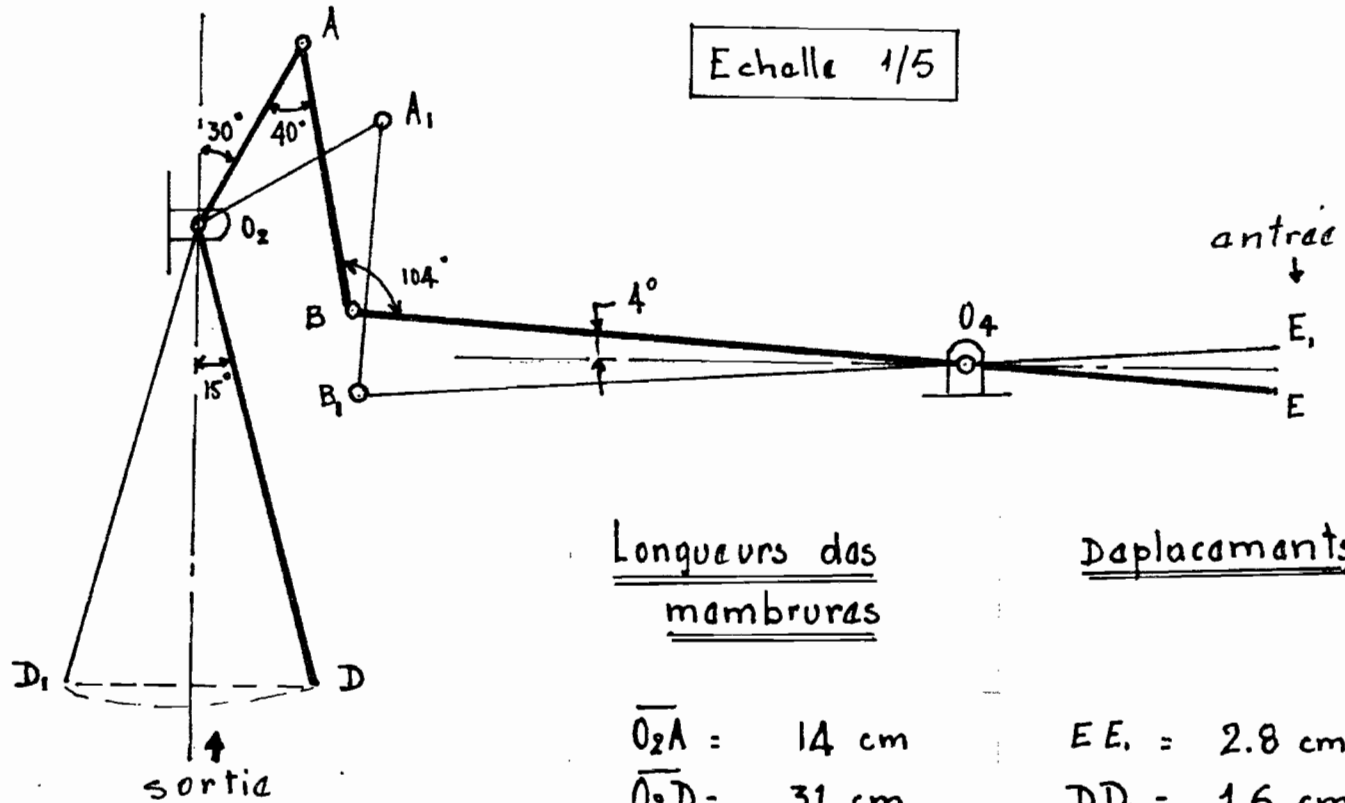
Dans cette étude dynamique on déterminera dans un premier temps la multiplication du déplacement qu'on veut entre entrée et sortie du mécanisme en donnant aux membrures les longueurs requises. Un grand déplacement à la sortie assurera que les briques seront entraînées bien en dehors du tapis.

Ensuite on calculera les vitesses et les accélérations de chaque membrure pour un certain nombre de positions afin de respecter la condition du temps minimum d'opération.

Puis finalement la force requise par l'électro-aimant à chacune de ces positions. Cette force requise dépendra des masses des éléments ; donc de leurs dimensions et de la position de leurs centres de gravités. Pour cela, on fixera des dimensions arbitraires dont nous vérifierons par la suite leur validité et nous ramènerons les centres de gravités aux pivots pour les éléments ② et ④ (voir figure 2.1)

2.1 - déplacements .

(voir figure 2.2)



Echelle 1/5

Longueurs des membrures

Déplacements

- $\overline{O_2A} = 14 \text{ cm}$
- $\overline{O_2D} = 31 \text{ cm}$
- $\overline{AB} = 18 \text{ cm}$
- $\overline{BO_4} = 40 \text{ cm}$
- $\overline{O_4E} = 20 \text{ cm}$

- $EE_1 = 2.8 \text{ cm}$
- $DD_1 = 16 \text{ cm}$
- amplification du déplacement:

$$\frac{2.8}{16} \times 100 = 17.5 \%$$

Figure 2.2

2.2 Vitesses et accélérations

Vitesse de défilement du tapis = 10 cm/sec

Un déplacement du tapis de 2 cm correspond à un temps de 2/10 secondes.

- nous prendrons comme temps minimum pour l'aller de la tige T 1/10 seconde

- et come temps minimum retour 1/10 seconde

La vitesse de la tige devra donc être :

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\text{déplacement}}{\text{temps}} = \frac{16 \text{ cm}}{1/10 \text{ s}} = 160 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

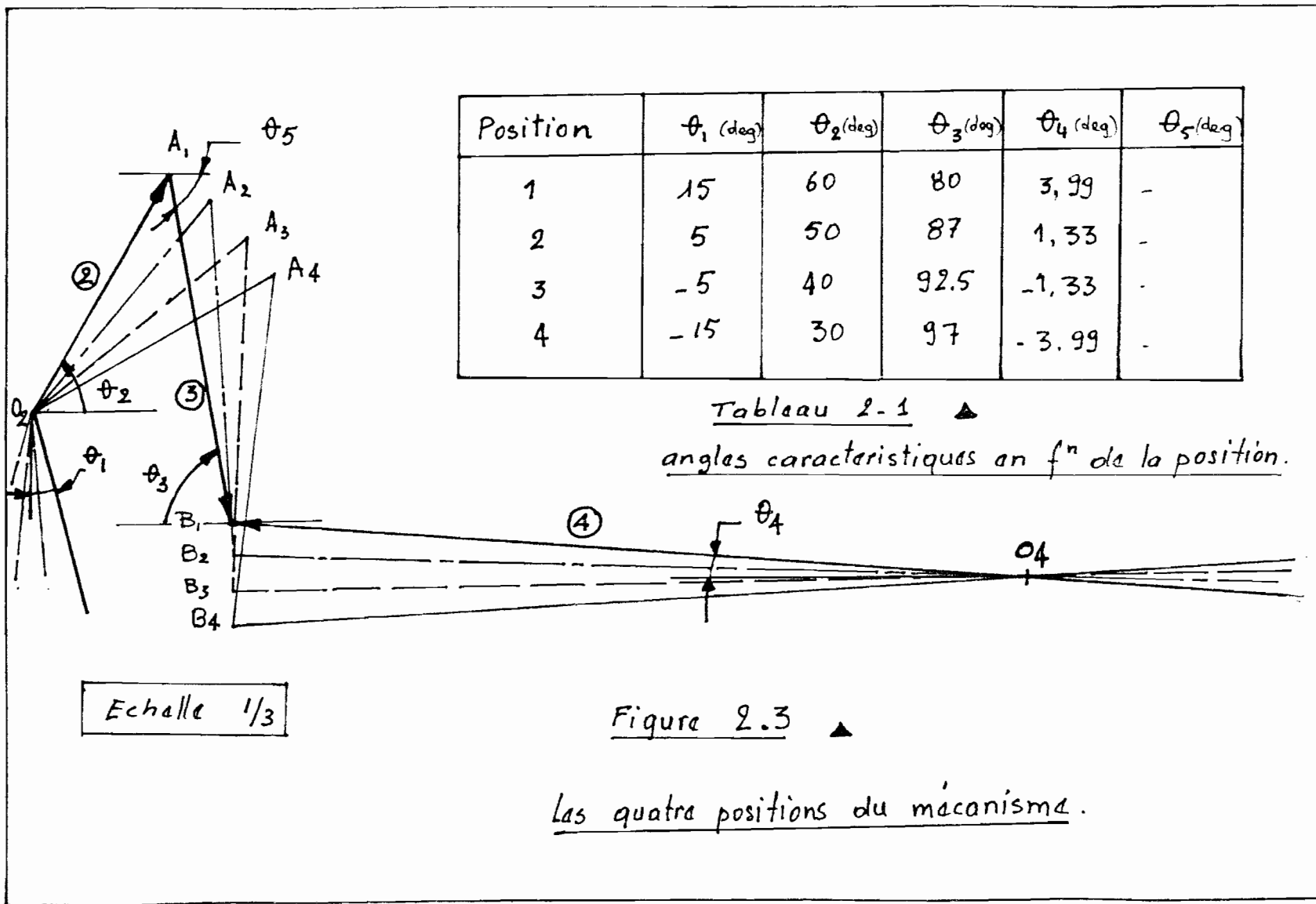
ce qui nécessite une vitesse angulaire de la membrure ②

$$\omega_2 = \frac{V}{O_2D} = \frac{160}{31} = 5,2 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

La membrure ② tournant à cette vitesse angulaire constante, provoquera sur les autres membrures des accélérations. (voir figures 2.4 à 2.7)

Les vitesses et accélérations des membrures du mécanisme sont celles que l'élément qui va faire mouvoir le mécanisme doit provoquer pour que les contraintes de temps soient respectées.

nous étudierons le mouvement du mécanisme à quatre positions



- position 1.

$$\omega_2 = 5,2 \text{ rad/sec}$$

$$V_A = \omega_2 \cdot OA =$$

$$5,2 \times 14 = 72,8 \text{ cm/sec}$$

$$V_B = V_A + V_{B/A} \quad (\varphi \text{ ref } 1)$$

on trouve :

$$V_B = 49 \text{ cm/sec}$$

$$V_{B/A} = 67 \text{ cm/sec}$$

$$\omega_2 = 5,2 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_3 = \frac{V_{B/A}}{BA} = 3,72 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_4 = \frac{V_B}{BC} = 1,22 \text{ ''}$$

on applique :

$$A_B = A_A + A_{B/A} \quad (\varphi \text{ ref } 1)$$

$$\rightarrow A_B = A_B^r + A_B^t$$

$$A_B^r = \omega_4^2 (BC) = 60 \text{ cm/sec}^2$$

$$A_B^t = \text{inconnu.}$$

$$\rightarrow A_A = A_A^r = \omega_2^2 OA = 378,5 \text{ cm/sec}^2$$

$$\rightarrow A_{B/A} = A_{B/A}^r + A_{B/A}^t$$

$$A_{B/A}^r = \omega_3^2 (BA) = 249 \text{ cm/sec}^2$$

$$A_{B/A}^t = \text{inconnu.}$$

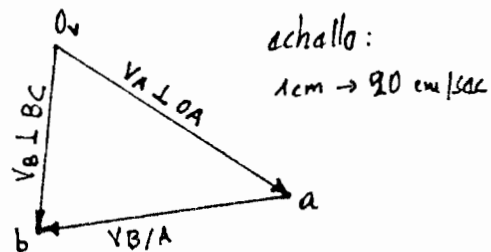


Figure 2.4 - a

Polygone des vitesses

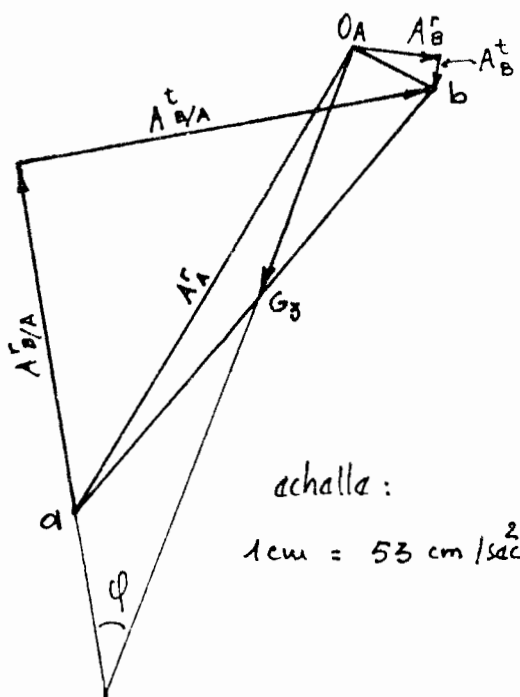


Figure 2.4 - b

Polygone des accélérations

on trouve :

$$A_{G_3} = 181,22 \text{ cm/sec}^2 : \text{accélération du centre de gravité de } \textcircled{3}$$

$$\alpha_3 = \frac{A_{B/A}^t}{BA} = 16,43 \text{ rad/sec}^2 : \text{accélération angulaire de la membrure } \textcircled{3}$$

$$\alpha_4 = \frac{A_B^t}{BC} = 0,53 \text{ rad/sec}^2 : \text{accélération angulaire de la membrure } \textcircled{4}$$

Position 2

$$\omega_2 = 5,2 \text{ rad/sec}$$

$$V_A = 72,8 \text{ cm/sec}$$

on trouve :

$$V_B = 50 \text{ cm/sec}$$

$$V_{B/A} = 57 \text{ cm/sec}$$

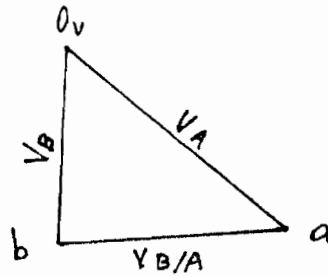


Figure 2.5.a

$$\omega_2 = 5,2 \text{ rad/sec}^2$$

$$\omega_3 = 3,16 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_4 = 1,25 \text{ rad/sec}$$

$$A_B^r = 62,3 \text{ cm/sec}^2$$

$$A_B^t = \text{inconnu}$$

$$A_A = A_A^r = 378,56 \text{ cm/sec}^2$$

$$A_{B/A}^r = 180 \text{ cm/sec}^2$$

$$A_{B/A}^t = \text{inconnu}$$

on trouve :

$$A_{G_3} = 208 \text{ cm/sec}^2$$

$$\alpha_3 = 17,17 \text{ rad/sec}^2$$

$$\alpha_4 = 2,06 \text{ rad/sec}^2$$

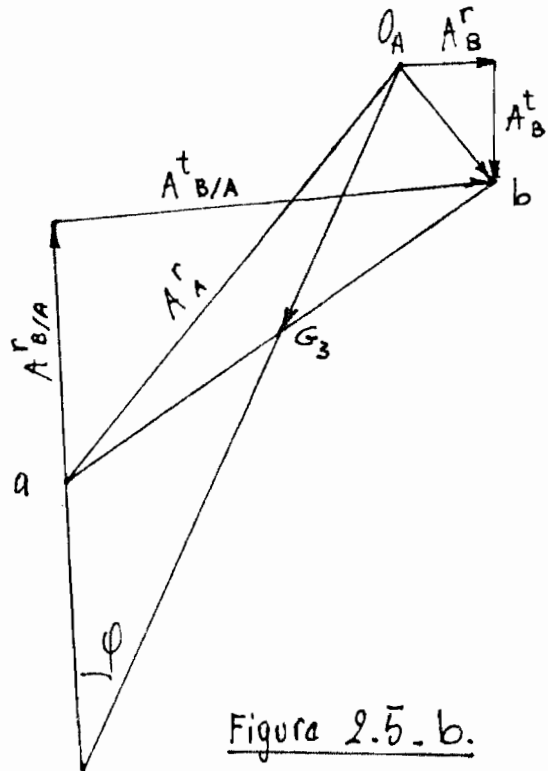


Figure 2.5.b.

position 3

$$\omega_2 = 5,2 \text{ rad/sec}$$

$$V_A = 72,8 \text{ cm/sec}$$

on trouve :

$$V_B = 54 \text{ cm/sec}$$

$$V_{B/A} = 46 \text{ cm/sec}$$

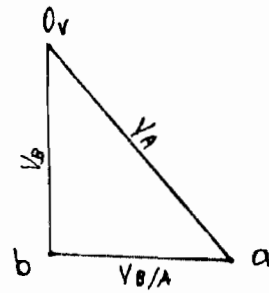


Figure 2.6 - a.

$$\omega_2 = 5,2 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_3 = 2,55 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_4 = 1,35 \text{ rad/sec}$$

$$A_B^r = 72,68 \text{ cm/sec}^2$$

$$A_B^t = \text{inconnu}$$

$$A_A = A_A^r = 378,56 \text{ cm/sec}^2$$

$$A_{B/A}^r = 118 \text{ cm/sec}^2$$

$$A_{B/A}^t = \text{inconnu}$$

on trouve :

$$A_{G_3} = 213,2 \text{ cm/sec}^2$$

$$\alpha_3 = 19,83 \text{ rad/sec}^2$$

$$\alpha_4 = 3,33 \text{ rad/sec}^2$$

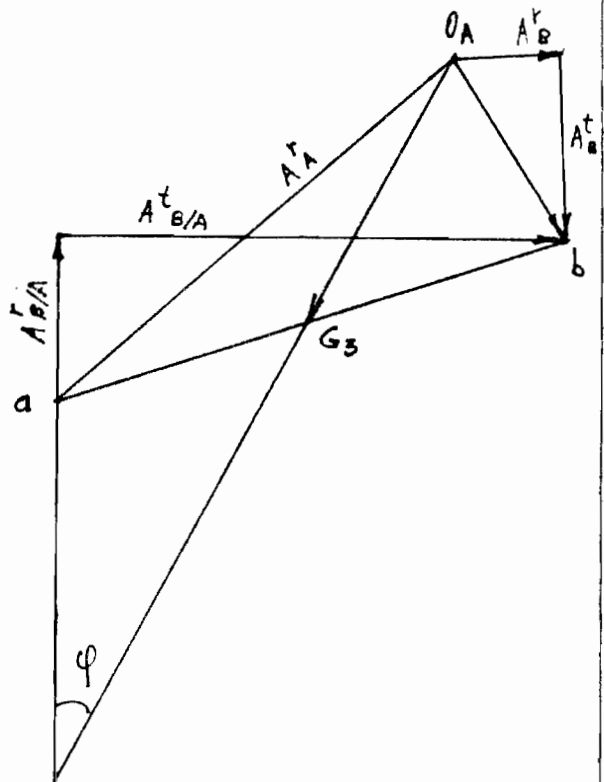


Figure 2.6 - b.

position 4

$$\omega_2 = 5,2 \text{ rad/sec}$$

$$V_A = 72,8 \text{ cm/sec}$$

on trouve :

$$V_B = 58 \text{ cm/sec}$$

$$V_{B/A} = 33 \text{ cm/sec}$$

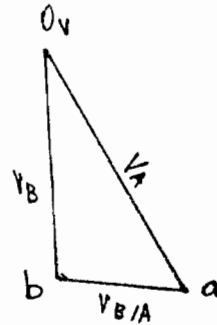


Figure 2.7-a.

$$\omega_2 = 5,2 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_3 = 1,83 \text{ rad/sec}$$

$$\omega_4 = 1,45 \text{ rad/sec}$$

$$A_B^r = 83,86 \text{ cm/sec}^2$$

$$A_B^t = \text{inconnu}$$

$$A_A^r = A_A = 378,56 \text{ cm/sec}^2$$

$$A_{B/A}^r = 60,4 \text{ cm/sec}^2$$

$$A_{B/A}^t = \text{inconnu}$$

on trouve :

$$A_{G_3} = 213,2 \text{ cm/sec}^2$$

$$\alpha_3 = 22,8 \text{ rad/sec}^2$$

$$\alpha_4 = 4,4 \text{ rad/sec}^2$$

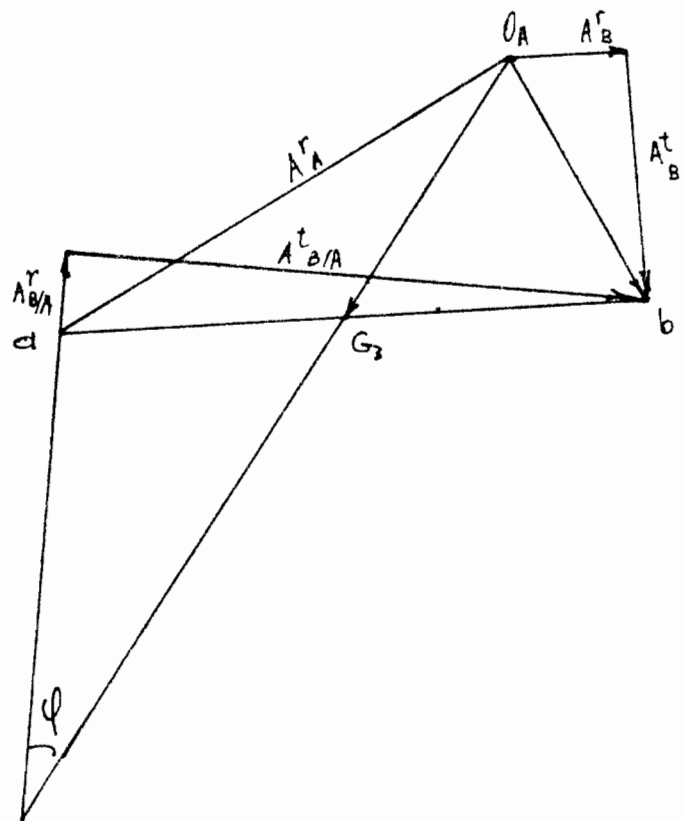


Figure 2.7-b.

2.3. Centres de gravités et moments d'inertie

2.3.1. Centres de gravités.

On donne aux membrures (2) et (4) des configurations telles que leurs centres de gravités seront placés sur leurs axes de rotation.

- Membrure (2)

La pièce sera divisée en plusieurs composantes de formes usuelles. De plus, si l'on considère que le matériau de fabrication est homogène, le centre de gravité de chaque composante sera placé à son centroïde.

Il s'agit ici de déterminer quelle position doit avoir la masselotte d'équilibrage A pour que le centre de gravité de l'ensemble de la pièce (2) soit situé au pivot O_2 (voir figure 2.8)

On appliquera les formules suivantes :

$$\bar{x} \Sigma V = \Sigma \bar{x} V \quad (1)$$

$$\bar{y} \Sigma V = \Sigma \bar{y} V \quad (2) \quad (\text{cf ref 2})$$

$$\bar{z} \Sigma V = \Sigma \bar{z} V \quad (3)$$

\bar{x} ; \bar{y} ; \bar{z} déterminant la position du centroïde de l'ensemble de la pièce (2) elles doivent être toutes égales à zéro.

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ déterminant les positions des centroïdes des éléments qui composent la pièce (2)

V = volume des éléments

les volumes des éléments et leurs positions, ainsi que leurs moments par rapport aux axes respectifs est résumé au tableau 2-1.

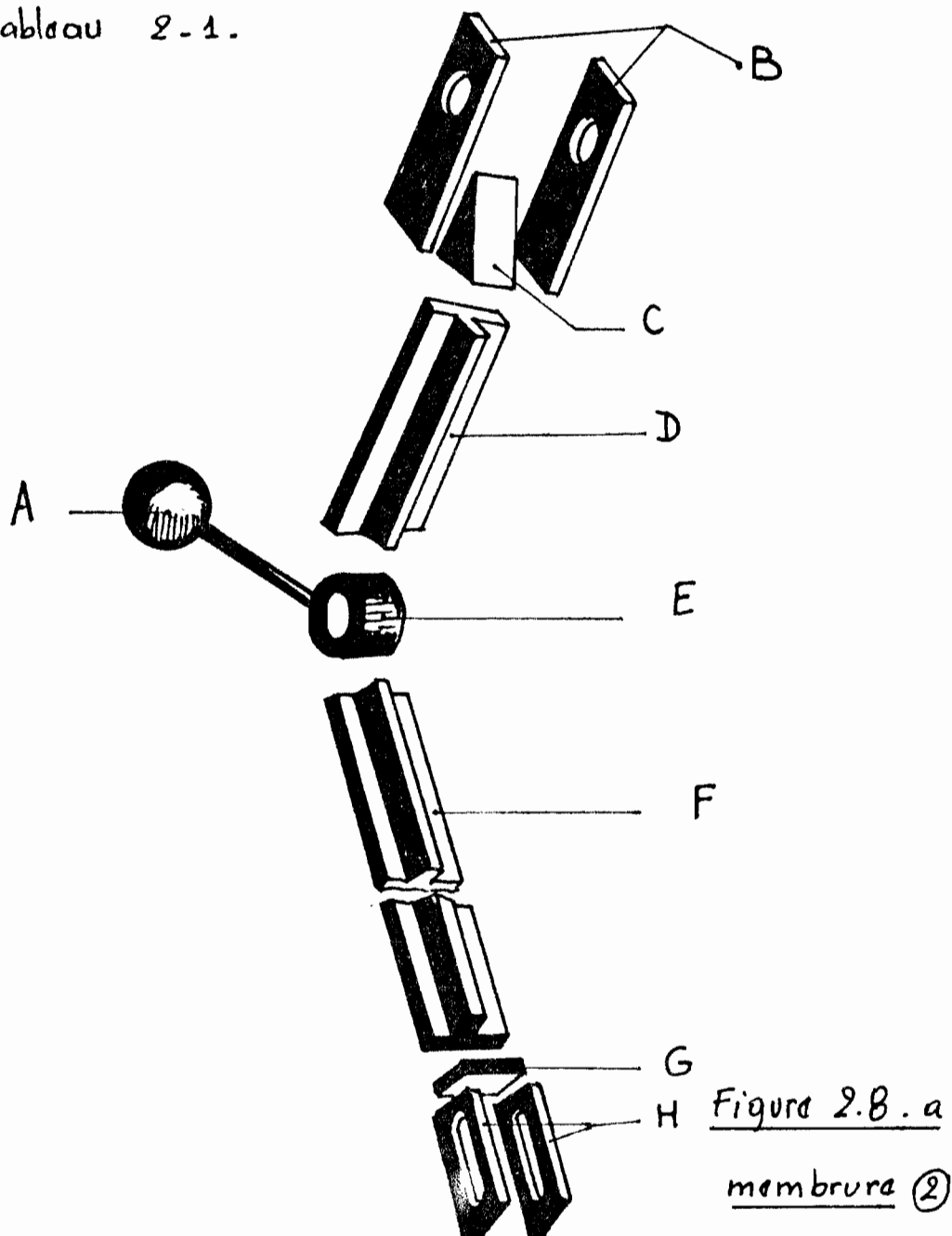


Figure 2.B.a

membrure (2)

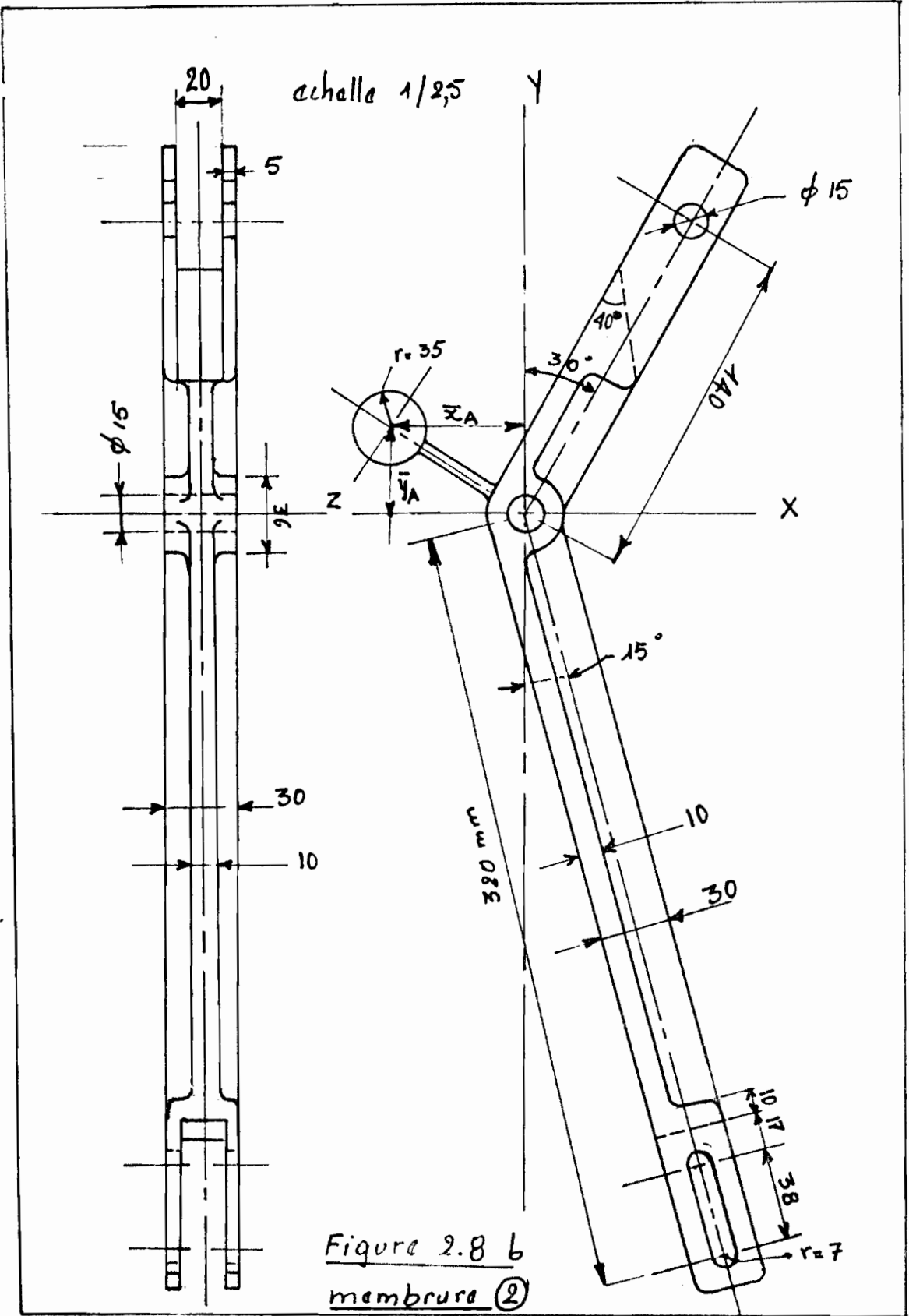


Tableau 2.1

A	179594,4	\bar{x}_A	\bar{y}_A	179594 \bar{x}_A	179594 \bar{y}_A	
B	pleines	62760	58,8	101,9	3690288	6395244
	trous	- 3534,3	70	121,2	- 247400	-428357
C	10725	38,6	66,9	413985	717502	
D	23700	20,8	36,11	492960	855807	
E	25234,8	0	0	0	0	
F	110 000	33,1	- 123,6	3643200	-13596 000	
G	9 000	62,9	- 234,7	5661 00	- 211 2300	
H	pleines	30240	73,5	- 274,3	2222640	- 8294832
	trous	- 5879	73,5	- 274,3	- 432106	9907442
	$\Sigma v =$ 441841	-	-	$\Sigma \bar{x} v =$ 179594 \bar{x}_A + 10349667	$\Sigma \bar{y} v$ 179594 \bar{y}_A - 6555494	

puisque nous voulons $\bar{x} = \bar{y} = 0$ nous aurons donc :

$$179594 \bar{x}_A + 10349667 = 0$$

$$\text{et } 179594 \bar{y}_A - 6555494 = 0$$

d'où nous tirons

$$\bar{x}_A = -57,6 \text{ mm}$$

$$\bar{y}_A = 36,5 \text{ mm}$$

$$\bar{z}_A = 0 \text{ car la pièce est symétrique par rapport à l'axe } Y.$$

membreure ④

La figure 2.9 représente une vue en perspective de la membreure ④. Les principes annoncés précédemment restant toujours valables, on aboutit aux résultats qui suivent au tableau 2-2

échelle: 2/10

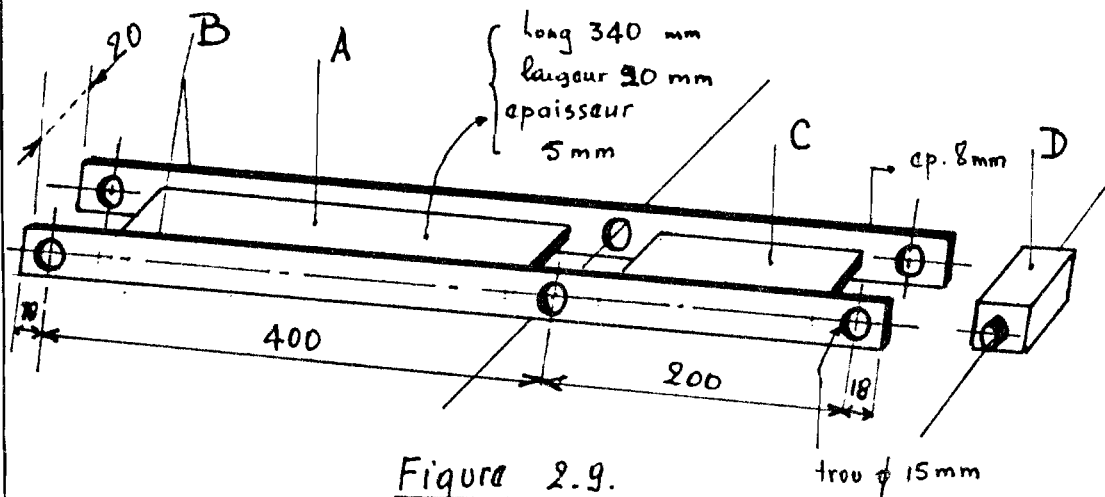


Figure 2.9.
membreure 4

Tableau 2.2

Compo- -sants	V (mm ³)	\bar{x} (mm)	\bar{y} (mm)	$\bar{x} V$	$\bar{y} V$	
A	51000	-198,7	22,64	-10134434	1154670,6	
B	{ plaines trous 1 trous 2	305280	-99,36	11,32	30332620	3455769,6
		-2827,4	-397,43	45,28	1125690,2	-128028
		-2827,4	198,74	-22,64	-561845	64014
C	21000	99,36	-11,32	2086501,2	-237726,3	
D	V_D	198,74	-22,64	$198,7 V_D$	$-22,64 V_D$	
$\sum V =$ $V_D +$ 3	$V_D + 371625$	-	-	$\sum \bar{x} V =$ $198,7 V_D +$ (-37818708)	$\sum \bar{y} V =$ $-22,64 V_D +$ 4308699	

Puisqu'il s'agit de trouver le volume que doit avoir le corps D pour que $\bar{X} = \bar{Y} = 0$ on aura donc à résoudre l'une des deux équations suivantes :

$$(1) \quad 198,7 V_D + (-37818708) = 0$$

$$(2) \quad -22,64 V_D + 4308699 = 0$$

ce qui donne :

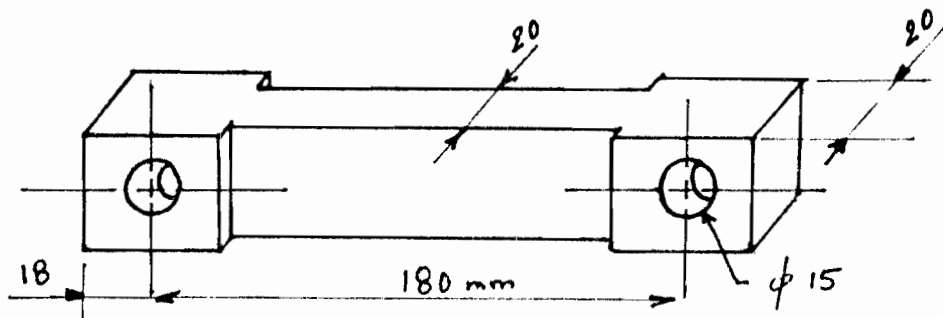
$$V_D = 190320 \text{ mm}^3$$

Vo que notre électro aimant va agir en cette partie du mécanisme, et que son armature doit être solidaire de la membrure ④, nous fixerons l'armature à la place de la pièce D. Elle aura donc les dimensions suivantes en considérant qu'elle sera faite d'un matériau de même densité que celui avec lequel les autres éléments du mécanisme sont faits.

longueur : 190 mm
 largeur : 40 mm
 hauteur : 25 mm

- membrure ②

Cette membrure n'a pas d'axe de rotation fixe. Son centre de gravité peut être placé n'importe où. Cependant, elle a un volume de $52\,500\text{ mm}^3$



échelle 1/2

Figure 2.10

membrure 2

2-3-2. Moments d'inertie.

Le moment d'inertie de chaque membrure par rapport à son axe de rotation sera égal à la somme des moments d'inertie de chacune de ses composantes par rapport à ce même axe.

Le moment d'inertie de chacune de ces composantes par rapport à l'axe de rotation sera déterminé par la formule

$$I_z = I_y + md^2 \quad (\text{cf ref 2})$$

avec : I_z = moment d'inertie par rapport à l'axe de rotation

I_y = moment d'inertie par rapport au centre de gravité de la composante.

m = la masse de la composante

d = distance du centre de gravité de la composante à l'axe de rotation z .

Les moments d'inertie de quelques corps de formes usuelles est donné en Appendice.

nous supposons que toutes les membrures sont faites d'un acier de densité $7,85 \text{ gf/cm}^3$ dans le calcul des masses.

- membrure (2)

(voir figure 2.8 et tableau 2.3.)

Tableau 2-3.

Composante	Massa (Kg)	$I_y + md^2$ (Kg m ²)
A	2,10	0,045
B	0,49	0,015
C	0,08	0,0005
D	0,19	0,0005
E	0,20	0,0004
F	1,60	0,217
G	0,07	0,0112
H	0,24	0,1062

$$I_z = 0,277 \text{ Kg m}^2$$

- membre ④

Figure 2-9 et tableau 2-4.

Tableau 2-4.

Composante	Massa (Kg)	$I_y + md^2$
A	2,39	0,1936
B	0,4	0,0198
C	0,16	0,0018
D	1,5	0,0616
$I_z =$		0,1799

- membre ③

à un axe passant
On calcule la moment d'inertie par rapport à son centre
de gravité qui est situé à son centre.

on trouve :

$$I_z = 0,001 \text{ Kg m}^2$$

2.4. Forces mises en jeu.

IL s'agit d'une part de la force nécessaire à l'entrée du mécanisme pour déplacer une brique et d'autre part de la force développée par le ressort pour faire revenir le mécanisme à sa position initiale. Ces forces doivent opérer dans les délais de temps qu'on s'est fixé. Pour cela, elles doivent donner aux membrures les vitesses et accélérations déterminées au paragraphe 2.2. Afin de savoir comment elle varie, la force à l'entrée sera calculée pour quatre positions.

2.4.1. Force nécessaire à l'entrée.

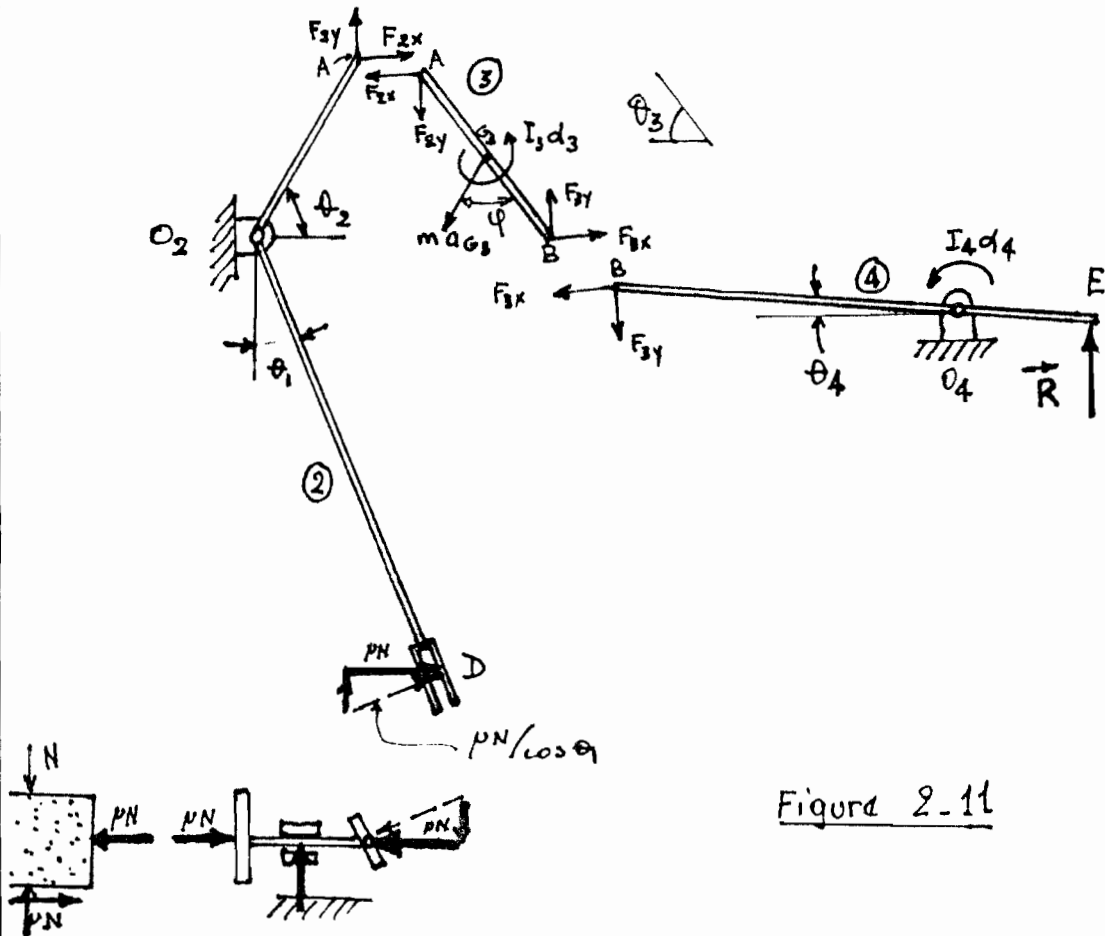


Figure 2-11

La valeur cherchée est celle de R .

La force qui s'oppose au déplacement de la brique est la force de frottement qui est proportionnelle au poids N de la brique. Cette force induit une force $NN/\cos\theta_1$ sur la membrure (2).

On appliquera les lois fondamentales de la cinétique des corps rigides pour chaque membrure.

- pour les corps en translation $\sum F = ma$
- pour les corps en rotation $\sum M = I\alpha$ (cf ref 3)

* membrure (2)

$$w = cta$$

$$a = 0$$

et le centre de gravité est confondu avec O_2

en appliquant $\sum M_{O_2} = 0$:

$$(1) \quad \frac{NN(\overline{O_2D})}{\cos\theta_1} + F_{2y} \cdot \overline{OA} \cdot \cos\theta_2 - F_{2x} \cdot \overline{OA} \cdot \sin\theta_2 = 0$$

* membrure (3)

$$\text{en appliquant: } \sum M_B = I_3 \alpha_3 + ma_{G_3} d$$

avec :

d = distance de la résultante des forces (ma_{G_3}), c'est à dire son point d'application, au point B de la membrure (3)

$$(2) F_{2x} \cdot \overline{AB} \cdot \sin \theta_3 + F_{2y} \cdot \overline{AB} \cdot \cos \theta_3 = I_3 \alpha_3 + m a_{G_3} \cdot \sin \varphi \cdot \overline{G_3 B}$$

$$\sum F_x = m a_{G_3 x} \rightarrow \oplus$$

$$(3) -F_{2x} + F_{3x} = -m a_{G_3} \cdot \cos [\pi - (\varphi + \theta_3)]$$

$$\sum F_y = m a_{G_3 y} \uparrow \oplus$$

$$(4) -F_{2y} + F_{3y} = -m a_{G_3} \cdot \sin [\pi - (\varphi + \theta_3)]$$

* membrure 4.

$$\sum M_{O_4} = I_4 \alpha_4 \curvearrowright$$

$$(5) R \cdot \cos \theta_2 \cdot \overline{O_4 E} + F_{3y} \cdot \overline{O_4 B} \cdot \cos \theta_4 + F_{3x} \cdot \overline{O_4 B} \sin \theta_4 = I_4 \alpha_4$$

les équations (1) ; (2) ; (3) ; (4) ; (5) combinés donnent :

$$F_{3y} = \frac{1}{\overline{AB} [\cos \theta_3 + \cot \theta_2 \sin \theta_3]} \left[I_3 \alpha_3 + m a_{G_3} \cdot \sin \varphi \cdot \overline{G_3 B} - \frac{MN \cdot \overline{O_2 D} \cdot \overline{AB} \cdot \sin \theta_3}{\overline{OA} \cdot \cos \theta_1 \cdot \sin \theta_2} \right]$$

$$F_{2x} = \left[\frac{MN \cdot \overline{O_2 D}}{\cos \theta_1} + F_{2y} \cdot \overline{O_2 A} \cdot \cos \theta_2 \right] \frac{1}{\overline{O_2 A} \cdot \sin \theta_2}$$

$$F_{3x} = F_{2x} - m a_{G_3} \cdot \cos [\pi - (\varphi + \theta_3)]$$

$$F_{3y} = F_{2y} - m a_{G_3} \cdot \sin [\pi - (\varphi + \theta_3)]$$

$$R = [I_4 \alpha_4 - F_{3y} \cdot \overline{O_4 B} \cdot \cos \theta_4 - F_{3x} \cdot \overline{O_4 B} \cdot \sin \theta_4] \frac{1}{\cos \theta_2 \cdot \overline{O_4 E}}$$

en prenant: μ : coefficient de frottement ciment-acier
coefficient dynamique \approx coefficient statique

$$\mu = 0,7$$

N: La force normale au déplacement de la brique = $Wg = 9,81 \times 4 = 39,2$ Newtons
avec W : poids d'une brique = 4 Kg

φ : angle que fait la résultante des forces sur la membrure ③ avec l'axe de cette membrure. Il est mesuré sur la polygone des accélérations.

Les angles θ_1 ; θ_2 ; θ_3 ; θ_4 étant déterminés sur la figure 2-3 pour chaque position du mécanisme, on aboutit aux résultats suivants:

posi- -tion	F_{2x} (N)	F_{3x} (N)	F_{2y} (N)	F_{3y} (N)	$F_2 = \sqrt{F_{2y}^2 + F_{2x}^2}$	$F_3 = \sqrt{F_{3x}^2 + F_{3y}^2}$	R (N)
1	1,7	1,45	-96,4	-97	96,4	97	386
2	-11,8	-18,4	-89	-89,7	89,8	91,6	280
3	-23,6	-23,9	-87,2	-83,5	86	86,9	219
4	-36,2	-36,6	-78,3	-79	86,3	87	188

2-4-2 - Dimensions du ressort.

Yu que le temps aller du mecanisme est égal au temps retour les vitesses des membrures gardent la même intensité mais changent de sens au retour par rapport à l'aller, tandis que les accélérations gardent les mêmes sens et intensités dans les deux cas. Nous pouvons donc calculer la force requise, au retour, à chaque position du mecanisme par les équations précédemment trouvées, du fait que seules les accélérations interviennent dans ces relations. Les termes contenant μ seront égaux à zéro (le retour est libre).

Cette force sera maximum à la position 1 qui correspond à la figure 2-12-b ci-dessous (cette déduction est faite à partir du tableau 2.5) alors que la force fournie par le ressort sera minimum à cette position. Nous pouvons donc calculer la constante du ressort de sorte que dans ce cas les deux forces soient égales -

on trouve :

$$F_{2y} = 0,37 \text{ N}$$

$$F_{2x} = -0,21 \text{ N}$$

$$F_{3x} = -0,04 \text{ N}$$

$$F_{3y} = -0,30 \text{ N}$$

$$R' = C x_0 = 0,92 \text{ N}$$

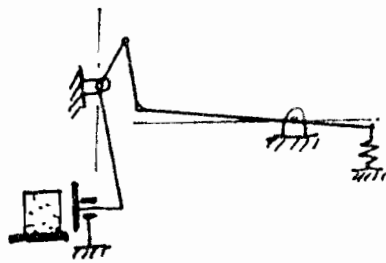
avec :

C = constante elastique du ressort

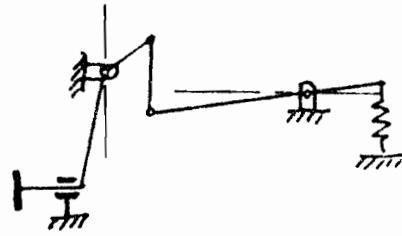
x_0 = la traction initiale.

position initiale

position finale.



(b)



(a)

Figure 3.12

La force trouvée est très faible. Ce qui signifie que théoriquement, le mécanisme reviendrait de lui-même à sa position initiale.

Cependant, bien que négligées, des forces de frottements interviennent dans la pratique, aux pivots et dans les divers systèmes de guidage. Ce qui nous fait augmenter notre force jusqu'à 15 N. Ceci aura pour conséquence de donner au mécanisme un retour plus rapide.

$$C(x_0) = 15 \text{ N}$$

en plus, si nous voulons une traction initiale de 10 mm dans le ressort, la constante sera :

$$C = 15/10 = 1,5 \text{ N/mm}$$

Vu que le déplacement de l'extrémité E de la membrure (4) à laquelle est montée le ressort est 28 mm (voir fig 2.12) la flèche totale du ressort devra être $28 \text{ mm} + x_0$

$$f = 28 + 10 = 38 \text{ mm}$$

la force à cette flèche maximum sera:

$$F = 38 \times 1,5 = 57 \text{ N}$$

nous allons, sur le nomogramme pour le calcul des ressorts hélicoïdaux déterminer les autres données sur le ressort. (Voir Annexe A₁).

Si nous nous fixons une flèche par spire de 6,5 mm et que relierons ce point avec celui correspondant à la flèche totale de 38 mm nous trouvons sur le nomogramme un nombre de spires $n = 6$ spires.

En reliant également la force $F = 57 \text{ N}$ avec la flèche par spire $f = 6,5 \text{ mm}$ nous trouvons sur le nomogramme le rapport D/d ainsi que les dimensions suivantes:

$$\begin{aligned} D &= \text{diamètre moyen de l'enroulement} : 28 \text{ mm} \\ d &= \text{diamètre du fil} : 2 \text{ mm} \end{aligned}$$

D'où le choix suivant:

- ressort de traction.
- spires jointives
- longueur 32 mm
- Diamètre moyen
d'enroulement 28 mm
- Diamètre du fil 2 mm
- nombre de spires 6
- constante élastique $c = 1,5 \text{ N/mm}$

— B —

Partie électromécanique

I Calcul de l'électro-aimant

Il s'agit dans cette partie de dimensionner l'électro-aimant, de choisir ses matériaux de construction, et de trouver le courant et la tension nécessaires à son excitation.

1. Détermination de la force requise pour l'électro-aimant.

La force développée par l'électro-aimant doit pouvoir vaincre d'une part la force de rappel du ressort et d'autre part fournir la force nécessaire à l'entrée du mécanisme pour déplacer la brique. (voir fig 1-1) Et ceci quelle que soit la position du mécanisme.

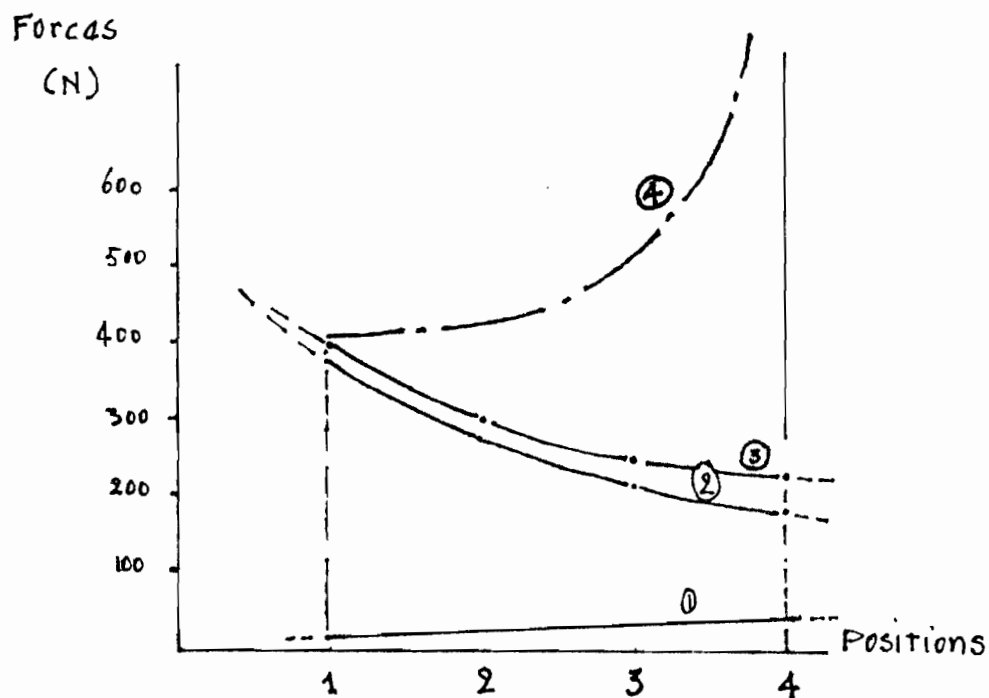


Figure 1.1.

Forces mises en jeu en fonction de la position.

- ① : force de rappel du ressort
- ② : force nécessaire à l'entrée du mécanisme pour déplacer la brique.
- ③ : La force résultante $③ = ② + ①$
- ④ : caractéristique typique d'un électro aimant en U

2- Electro aimant

le choix est porté sur un électro aimant en U dont les dimensions du noyau et de l'armature sont celles de la figure ci dessous. La caractéristique typique d'un tel électro-aimant est très prononcée ; ce qui veut dire que si la force de l'électro-aimant est supérieure à la force requise à la position λ (entrefer maximum), elle le sera pour toutes les autres positions ; la pente de la caractéristique étant plus grande que celle de la courbe de la force requise. (voir fig 1.1)

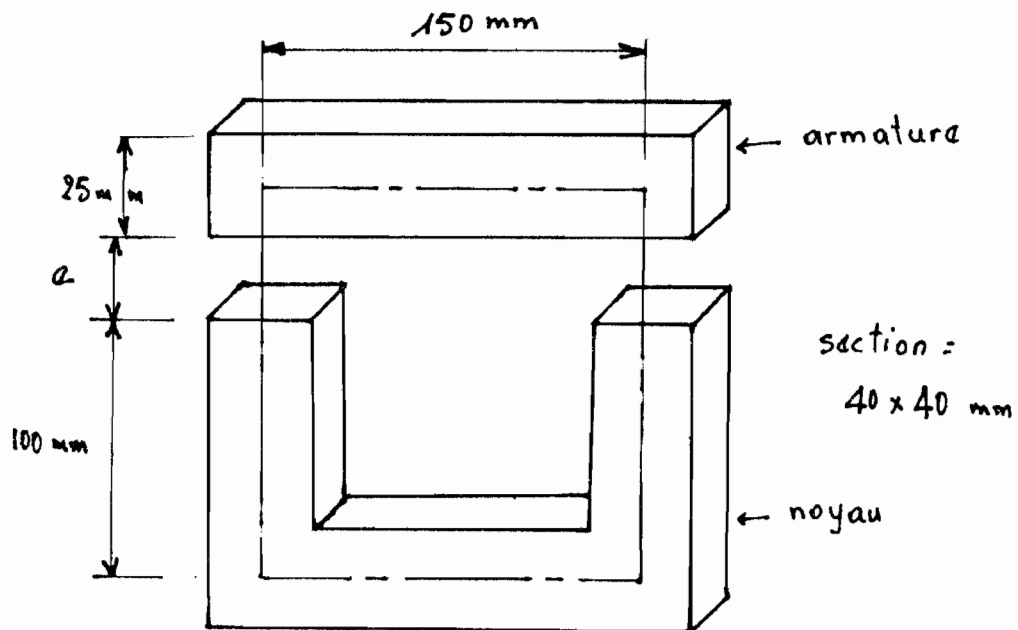


Fig 1-2.

Noyau et armature de l'électro-aimant.

Toutes les conduites de l'électro aimant seront feuillatées pour réduire les pertes dues aux courants de Foucault.

A cette fin, le noyau et l'armature seront en tôle d'acier^{au silicium} de 0,5 mm d'épaisseur

- Force magneto-motrice.

Le problème est le suivant :

Pour obtenir une force d'attraction de 443 N exercée sur l'armature de l'électro aimant, combien de spires par-courues par quel courant faut-il placer autour du noyau? lorsque l'entrefer est égal à 28 mm (position 4 figure 1-1)

La formule de Picou donne pour la force d'attraction:

$$F_a = \frac{1}{2} (nI)^2 \frac{\partial \mathcal{P}}{\partial a} \quad (\text{Fouille}) (\text{cf ref 4})$$

n : nombre de spires de l'enroulement

I : intensité du courant qui parcourt l'enroulement

a : distance de l'entrefer.

\mathcal{P} : La permeance du circuit de l'électro-aimant.

$\mathcal{P} = \frac{1}{\mathcal{R}}$ avec \mathcal{R} : la Reluctance du circuit

La Reluctance d'un circuit magnétique est donnée par la relation suivante :

$$\mathcal{R} = \oint \frac{l}{\mu s} \quad (\text{Fouillé})$$

l : longueur de chaque portion de circuit magnétique

μ : perméabilité de la portion

s : section de la portion.

Pour notre électro aimant on a:

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu s} + \frac{2a}{\mu_0 s} \quad \text{on a deux entrefer}$$

l : longueur totale du fer = $2 \times 150 + 2 \times 100 = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$

μ_0 : perméabilité de l'entrefer; on la suppose égale à celle du vide soit: $1,25 \times 10^{-6} \text{ H/m}$

s : section du fer = section de l'entrefer = $40 \times 40 \text{ mm}^2 = 0,0016 \text{ m}^2$

μ : perméabilité du fer; variable.

a : distance de l'entrefer: 28 mm

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu s} + \frac{2a}{\mu_0 s} \Rightarrow \mathcal{P} = \frac{s}{\frac{l}{\mu} + \frac{2a}{\mu_0}}$$

De l'analyse des courbes d'aimantation des matériaux magnétiques; il s'ensuit que dans une large gamme d'inductions, la perméabilité spécifique des aciers au silicium change peu; et puisque le calcul est approximatif, on peut la considérer comme constante

le grapha B-H en Appendice A2 donne comme valeur approximative de μ la valeur suivante qui n'est que le rapport B/H sur la portion rectiligne.

$$\mu = B/H = 0,006 \text{ H/m}$$

en dérivant la relation précédemment trouvée on obtient:

$$\frac{\partial \mathcal{P}}{\partial e} = \frac{-2S/\mu_0}{\left(\frac{l}{\mu} + \frac{2e}{\mu_0}\right)^2}$$

en mettant cette relation dans celle de la force d'attraction

$$F_a = -\frac{1}{2} (nI)^2 \frac{2S/\mu_0}{\left(\frac{l}{\mu} + \frac{2e}{\mu_0}\right)^2}$$

en remplaçant les valeurs précédemment définies de F_a ; l ; μ ; μ_0 et e on obtient:

$$nI = 26375$$

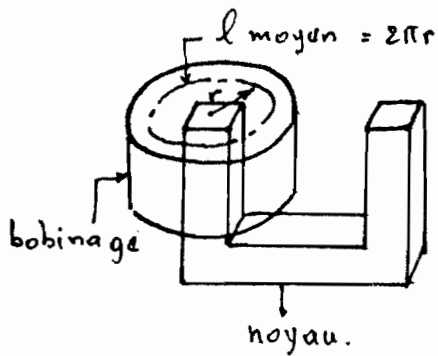
- Calcul de la bobine inductrice.

nous allons déterminer les paramètres suivants:

- nombre de spires.
- Courant inducteur
- section du fil
- longueur totale du fil.

en vue de calculer ces paramètres, l'on se fixera les conditions de fonctionnement suivantes:

- 1- La chute de tension aux bornes de l'électro aimant sera de 15 v.
- 2- La résistivité du cuivre est de $2,1 \mu\Omega \cdot \text{cm}^2/\text{cm}$
- 3- La densité du courant dans le cuivre ne doit pas dépasser $1,2 \text{ à } 2 \text{ A}/\text{mm}^2$



m : nombre de spires
 ρ : résistivité du cuivre
 l : longueur moyenne des spires
 s : section du fil.
 I : courant inducteur.

La longueur moyenne de spire est $l = 2\pi r$
 pour $2r = d = 55 \text{ mm}$ $l = 2\pi \times 27,5 = 0,173 \text{ m}$

la résistance totale de la bobine sera:

$$R = m\rho l/s$$

Si nous voulons que l'électro aimant soit branché aux bornes de 220 v et qu'un courant de 10 Ampères le parcourt, le nombre de spires sera: $n = 2638$ spires
 la section que devra avoir notre fil sera donnée par:

$$RI = (m\rho l/s) I$$

$$\Rightarrow s = \frac{(m\rho l) I}{RI}$$

$$S = \frac{(2638 \times 2,1 \times 10^{-6} \times 17,3) 10}{15} = 0,0638 \text{ cm}^2$$

$$= 6,4 \text{ mm}^2$$

la densité de courant sera $J = \frac{I}{S}$

$$J = \frac{10}{6,4} = 1,6 \text{ A/mm}^2$$

ce qui est dans les limites qu'on s'était fixés.

D'où le choix suivant concernant la bobine inductrice :

- fil en cuivre de section 6 à 6,4 mm²
- longueur totale: $m \times l = 2638 \times 0,173 = 456 \text{ m}$
- nombre de spires: 2638
- courant inducteur 10 Ampères.

Resistance =)

II Automatisation

Dans cette partie, on se propose de rendre la sélection automatique. Il s'agit donc de concevoir un système de capteurs électroniques (cellules photoélectriques) pouvant détecter la différence de longueur des briques et agir sur le mécanisme de telle façon que les briques de 22 cm soient chassées du tapis et les briques de 20 cm roulent jusqu'au bout.

1 - Disposition générale.

(voir figure 2-1)

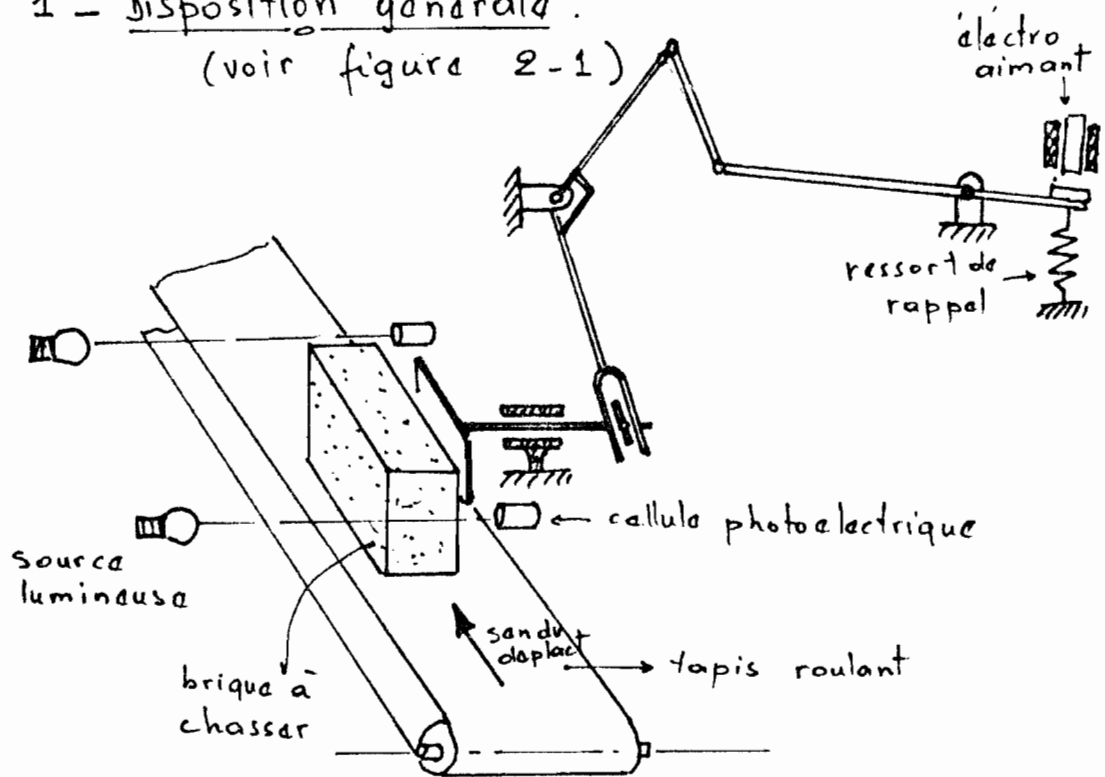


Fig 2-1

2. Fonctionnement.

les deux cellules C_1 et C_2 détectent la brique à chasser par l'état qu'ils auront (excitées ou non) par les lumières L_1 et L_2

Une fois la brique détectée, l'électro aimant est mis sous excitation et attire la membrane (4). celle-ci, par un système de leviers transmet son mouvement à la tige T qu'elle fait bouger, entraînant la brique hors du tapis. La brique chassée; le système revient à sa position initiale grâce à un ressort.

3. Analyse de la solution.

3-1. Etude de l'état des cellules.

Afin de déterminer les différents états stables que pourront prendre les cellules disposées à une distance de 21 cm l'une de l'autre (distance intermédiaire entre une brique de 22 cm et une de 20 cm) et soumises au passage des briques; nous ferons une analyse graphique de la progression des briques dans cette zone.

Nous avons quatre successions possibles de briques

- a- 2 briques de 20 cm
- b- 2 briques de 22 cm
- c- 1 brique de 20 cm suivie d'une brique de 22
- d- 1 brique de 22 cm suivie d'une brique de 20

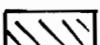
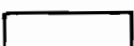



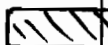
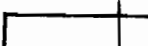
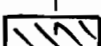
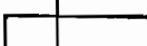


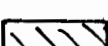
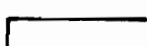
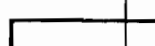

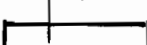
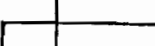
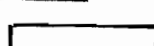
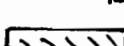
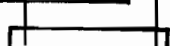
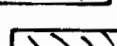
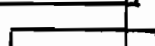
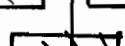
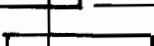
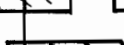
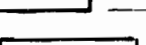

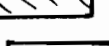
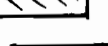
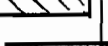

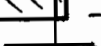

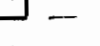

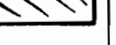
 brique de 20 cm
 brique de 22 cm

Tableau de vérité

		Cellules		Sortie	
C_1	C_2				
		1	1	1	0
		4	1	0	0
		5	0	0	0
		2	0	1	0
		3	0	0	1
		4	1	0	0
		5	0	0	0
		2	0	1	0
		3	0	0	1
		4	1	0	0
		5	0	0	0
		2	0	1	0
		1	1	1	0
		4	1	0	0
		5	0	0	0
		1	1	1	0
		4	1	0	0

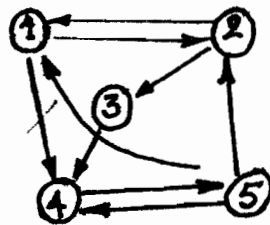
Dans l'analyse graphique de la page précédente; C_1 et C_2 représentent les cellules photoélectriques. L'état 1 d'une cellule indique que le rayon lumineux excitateur n'est pas caché par une brique et atteint donc la cellule. L'état 0 indique le contraire.

Pour la sortie V ; l'état 1 indique que le mécanisme doit agir et l'état 0 indique le contraire.

les différents états stables pouvant être pris par les cellules sont résumés ci-dessous.

Etat.	C_1	C_2	V
①	1	1	0
②	0	1	0
③	0	0	1
④	1	0	0
⑤	0	0	1

Puisqu'on ne peut pas prédire de manière exacte dans quel ordre les briques vont arriver nous aurons une séquence assez aléatoire. Elle se résume au diagramme suivant qui exprime les cas possibles de passage d'un état stable à l'autre.



3-2 - Analyse du circuit logique

le système comprend

- des variables d'entrée : $C_1 ; C_2$

- une variable de sortie : V qui est l'électro aimant

- matrice primitive des états.

		$C_1 C_2$				
		00	01	11	10	V
1			2	①	4	0
2		3	②	1		0
3		③	2		4	1
4		5		1	④	0
5		⑤	2		4	0

nous voyons déjà qu'il nous faut une variable de transfert car deux états stables ③ et ⑤ donnant pour $f(00)$ deux sorties différentes $V=0$ et $V=1$

- Recherche de superposition des lignes.

en observant la matrice primitive des états on voit que:

→ lignes 1 et 2 : superposables

→ lignes 1 et 3 : superposables

→ lignes 1 et 4 : non superposables

→ lignes 1 et 5 : non superposables

→ lignes 2 et 3 : superposables

→ lignes 2 et 4 : non superposables

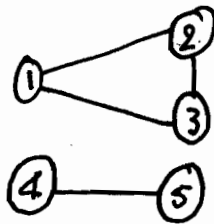
→ lignes 2 et 5 : non superposables

→ lignes 3 et 4 : non superposables

→ lignes ③ et 5 : non superposables

→ lignes 4 et 5 : superposables

ces considérations donnent le polygone de fusion suivant



- matrice contractée.

En regroupant les lignes 1 ; 2 ; 3 puis 5 ; 4 ; on obtient la matrice contractée suivante :

		$c_1 c_2$			
		00	01	11	10
X	0	③	②	①	4
	1	⑤	2	1	④

- Recherche du circuit d'excitation du relais X

La matrice contractée précédemment trouvée comprend des états stables et transitoires définis par une valeur binaire 0 ou 1

En fonctionnement, les relations qui existent entre l'organe d'excitation (bobine du relais X) et les éléments de transfert sont déterminées par les règles suivantes :

- Pour un état stable, la bobine du relais X et son élément de transfert sont dans le même état binaire ; conséquemment :

- à la ligne 1 de la matrice contractée ; le contact de transfert X étant égal à 0, la bobine X sera donc à l'état 0

- à la ligne 2 ; le contact de transfert $x=1$; la bobine X est à l'état 1.
- Pour un état transitoire, la bobine du relais prend la valeur binaire de l'état stable vers lequel l'état transitoire évolue ; conséquemment :
 - les états transitoires 1 et 2 de la deuxième ligne de la matrice contractée prendront les valeurs 0
 - l'état transitoire 4 de première ligne de la matrice contractée prend la valeur 0

		$C_1 C_2$			
		00	01	11	10
X	0	0	0	0	1 } S_2
	1	1 { S_1	0	0	1 } S_2

$$S_1 = \bar{C}_2 X$$

$$S_2 = C_1 \bar{C}_2$$

$$X = S_1 + S_2$$

$$X = C_1 \bar{C}_2 + C_2 X$$

$$X = \bar{C}_2 (C_1 + X)$$

Equation du circuit
d'excitation du relais
 X

- Recherche du circuit de sortie V

A l'aide de la matrice primitive des états et de la matrice contractée on aboutit à la matrice de sortie de l'électro aimant V ci dessous. Elle est établie en appliquant la règle suivante:

A chaque état stable, donc à chaque ligne de la matrice primitive des états, correspond une seule valeur binaire de l'état de sortie de l'électro aimant V. IL suffit donc de remplacer dans la matrice contractée chaque état stable par la valeur binaire de sortie de l'électro aimant V

Pour les états transitoires; à chaque état transitoire, on fait correspondre la valeur binaire de sortie si elle est unique; dans le cas contraire, on applique la lettre ϕ (0 ou 1)

		$C_1 C_2$				
		00	01	11	10	V
x	0	1	0	0	ϕ	$V = \overline{x} \cdot \overline{c_2}$
	1	0	0	0	0	

- Réalisation du schéma

Remarque: Au début de l'automatisation, nous avons considéré C_1 et C_2 comme des cellules photoélectriques. Cependant dans la réalisation

du schéma, C_1 et C_2 seront des contacts commandés par les deux cellules de détection.

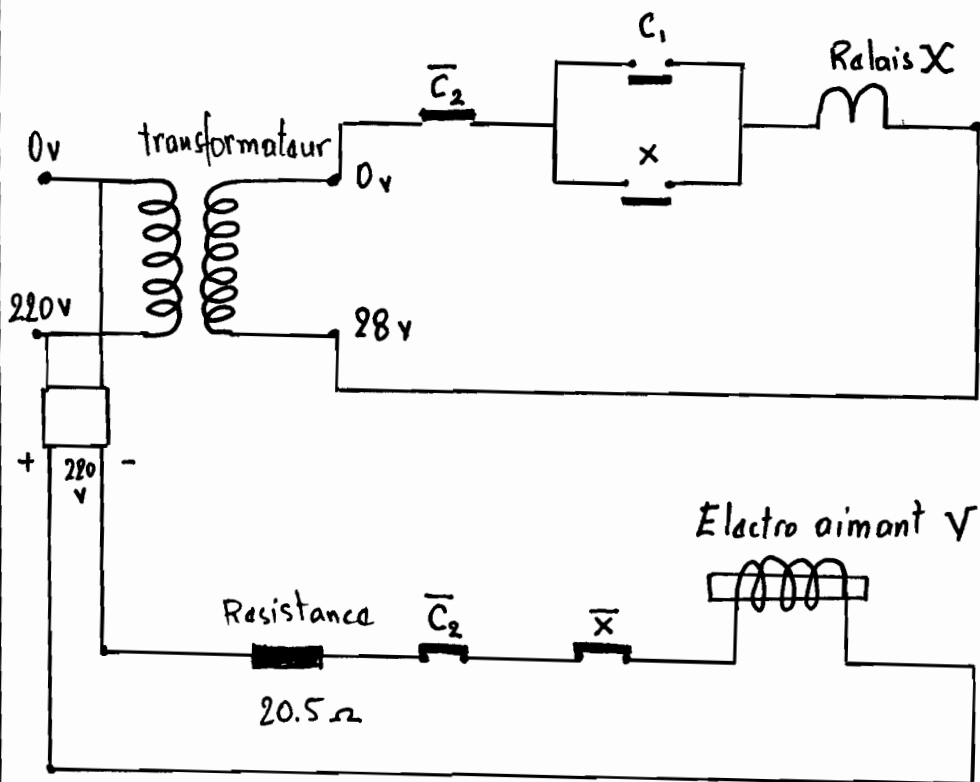
- circuit mémoire (commande)

$$X = \bar{C}_2 (C_1 + X)$$

- circuit de sortie (puissance)

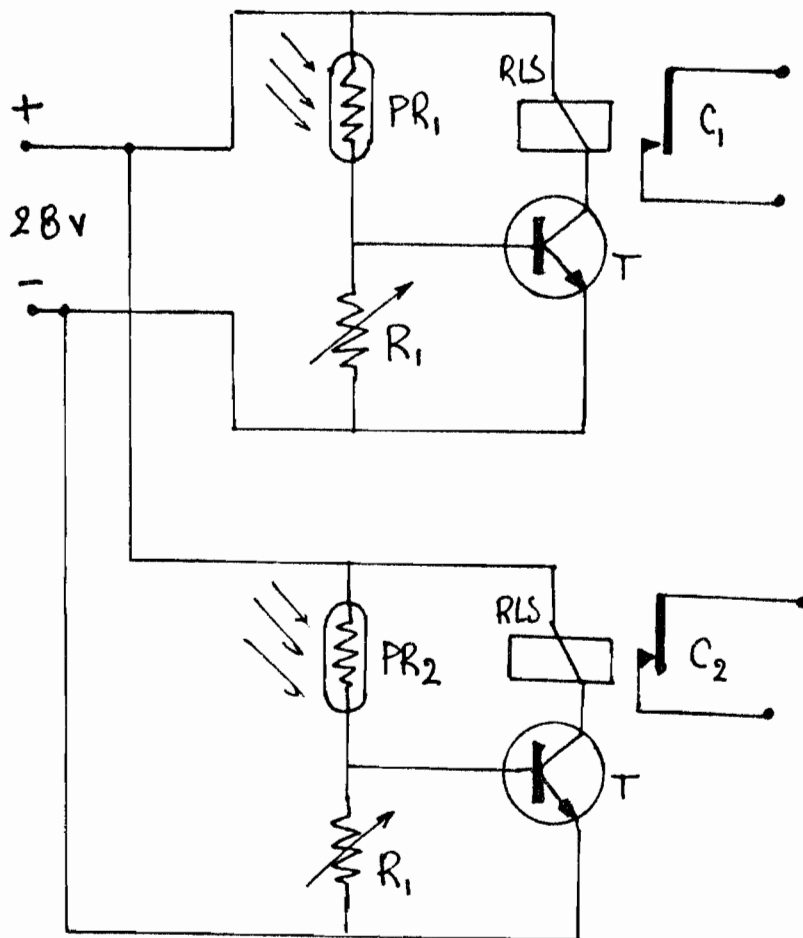
$$Y = \bar{X} \cdot \bar{C}_2$$

Schema électrique :



Montage des cellules

On utilisera comme cellules photoélectriques des photorésistances. En vue d'obtenir une sensibilité plus grande, on utilisera le courant de chaque photorésistance pour commander un transistor par la base. le courant collecteur commande le relais, qui va agir sur un contact.



C. DISCUSSIONS et CONCLUSIONS

Ce projet a été mené avec d'autant plus de facilité qu'il s'agissait d'une application pratique de connaissances théoriques. Des lors, il serait beaucoup plus complet s'il avait abouti à une phase de réalisation pratique; si toutefois les conditions matérielles et les contraintes de temps l'avaient permis. Néanmoins, les schémas et figures situés dans le développement et en annexe sont assez explicites pour donner une bonne compréhension du système.

Il s'agit de voir à présent si le système conçu satisfait aux exigences qu'on s'était fixées au départ. Deux questions surgissent:

1- Nos objectifs sont-ils atteints?

En effet;

- le système peut sélectionner les briques

- Il s'intègre facilement dans un milieu industriel; car ne nécessitant pas d'installations annexes.

- Il est sécuritaire; car bien que présentant des lancers susceptibles d'accrocher sur quelque chose, les déplacements sont très faibles.

- Il est flexible du fait que la distance entre les deux cellules photoélectriques est réglable; ce qui lui permettra de

pouvoir sélectionner non seulement des briques, mais également d'autres objets tels que des cartons de lait, de savon, etc... pourvu qu'ils soient compacts et de forme régulière.

Les composants mécaniques du système (membrures, axes de rotation, etc...) se sont vues attribuer des dimensions arbitraires qui par la suite n'ont pas été vérifiées par un calcul de résistance des matériaux. Ceci est dû au fait que les efforts mis en jeu (forces internes et externes) sont très faibles par rapport aux résistances des aciers.

2. Quelles sont les restrictions ?

Le système à lui seul a une longueur de 1m à laquelle s'ajoutera la largeur du tapis et un espace libre pour la chute des briques. Ce fait est susceptible de soulever un problème d'encombrement.

Les cellules choisies (photoresistances) ont une sensibilité limitée ; par conséquent, il est une vitesse limite que le tapis ne doit pas dépasser

* *
*

REFERENCES

- Référence 1: J. L. Mariam, DYNAMICS second edition (pages 227 et suivantes)
- Référence 2: Ferdinand P Beer, E. Russel Johnston, JR
MECHANICS FOR ENGINEERS STATICS 2nd Edition
(pages 169 - 173 pages 309 - 352)
- Référence 3: J. L. Mariam, DYNAMICS second edition
(pages 239 - 249, Force, Mass, acceleration)
- Référence 4: A. Fouille, Cours - problèmes d'électricité
fondamentale (page 166 et suivantes
Aimants)

BIBLIOGRAPHIE

- J. L. Meriam, DYNAMICS second edition S.I. version
(John Wiley & Sons, Inc)
- Ferdinand P. BEER, E. Russell Johnston, JR
Mechanics for Engineers statics second Edition.
(Mc Graw-Hill Book company)
- G. Nicolat et E. Trottat, Eléments de machines
(SPES LAUSANNE)
- A. Fouillé, Cours, Problèmes d'électricité fondamentale
(DUNOD)
- I. TAEV, Appareils électriques d'automatisme et de
commande (Editions de Moscou)
- A. Wolski, Cours d'automatismes - ELEC 421
(Ecole Polytechnique de Thiès)
- A. Wolski, Electronique ELEC 411
(Ecole Polytechnique de Thiès)

ANNEXES

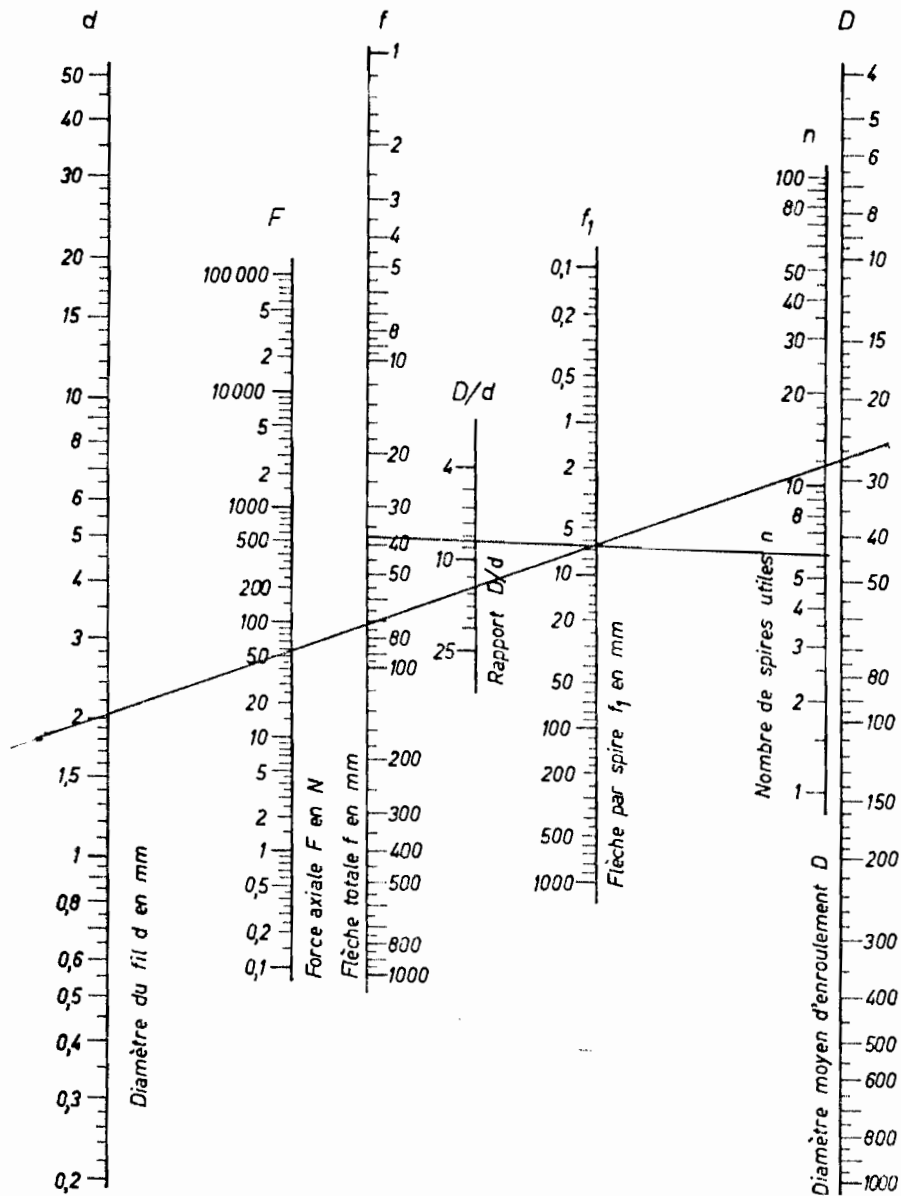
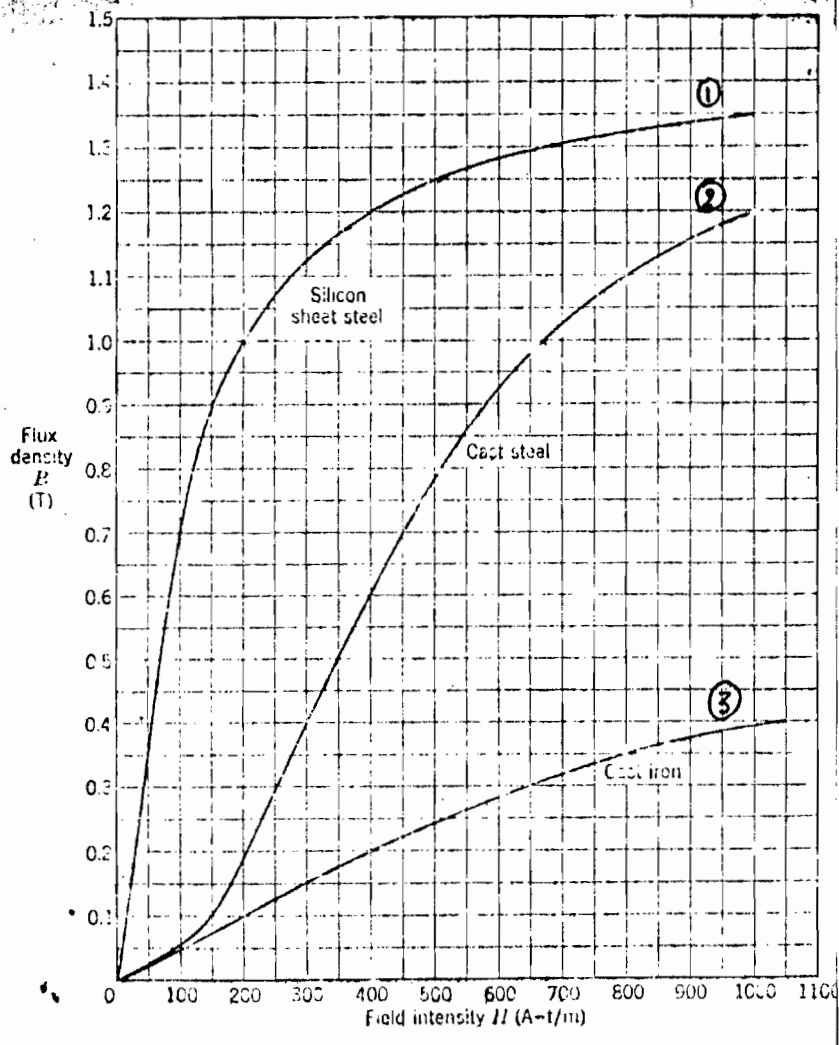


Fig. 3.46. Nomogramme pour le calcul des ressorts hélicoïdaux

Cet abaque donne la flèche f_1 que subit chaque spire utile sous l'action de la force axiale F . Valeurs de construction : contrainte moyenne de torsion 45 daN/mm^2 , module de glissement $G = 8 \cdot 10^3 \text{ daN/mm}^2$. La construction du nomogramme relie les échelles suivantes entre elles :

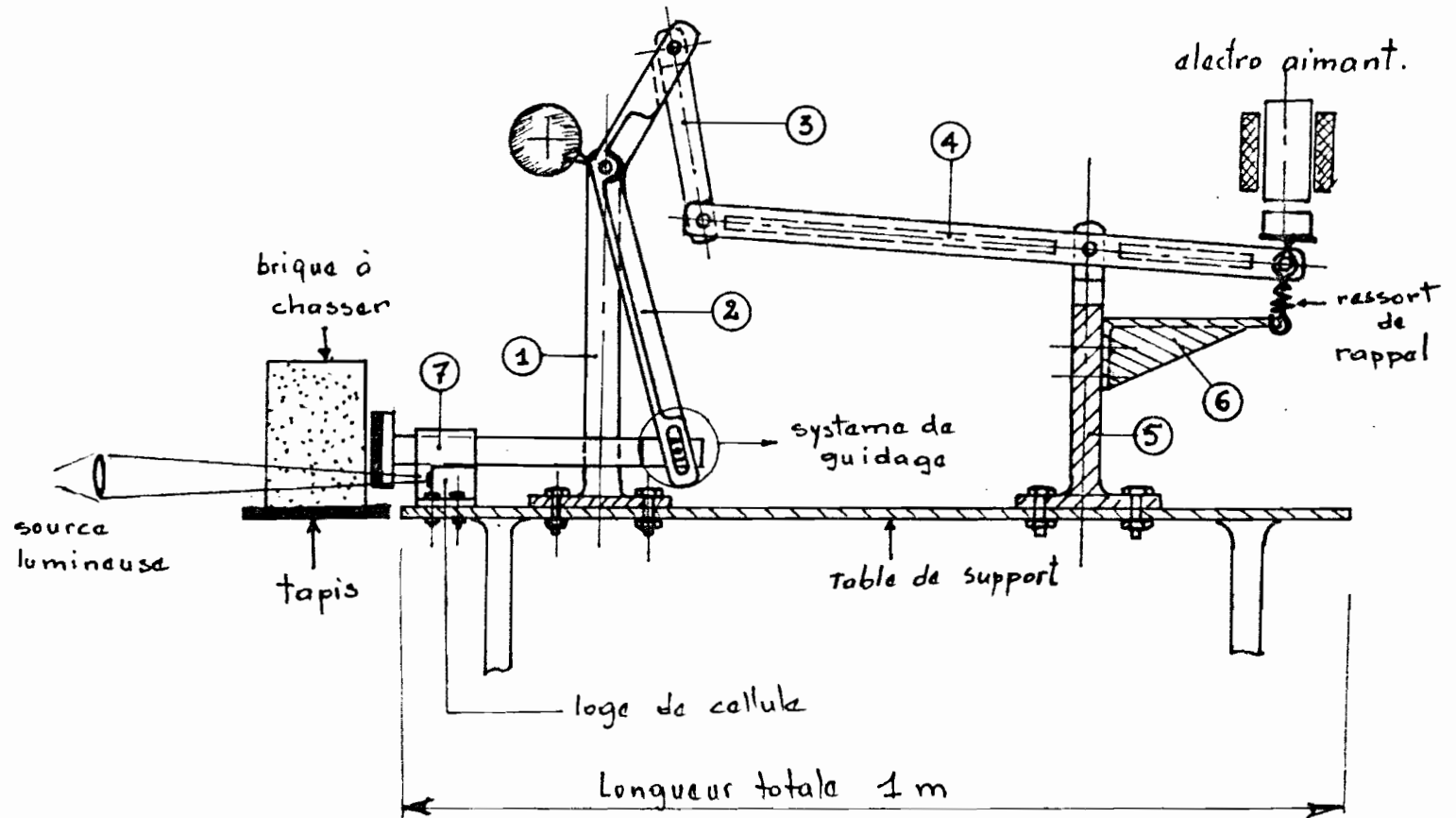
- diamètre du fil d , diamètre moyen d'enroulement D , force axiale F et flèche par spire f_1 ;
- flèche par spire f_1 , flèche totale f et nombre de spires utiles;
- l'échelle D/d sert de contrôle.



Typical magnetization curves

Vue d'ensemble du système

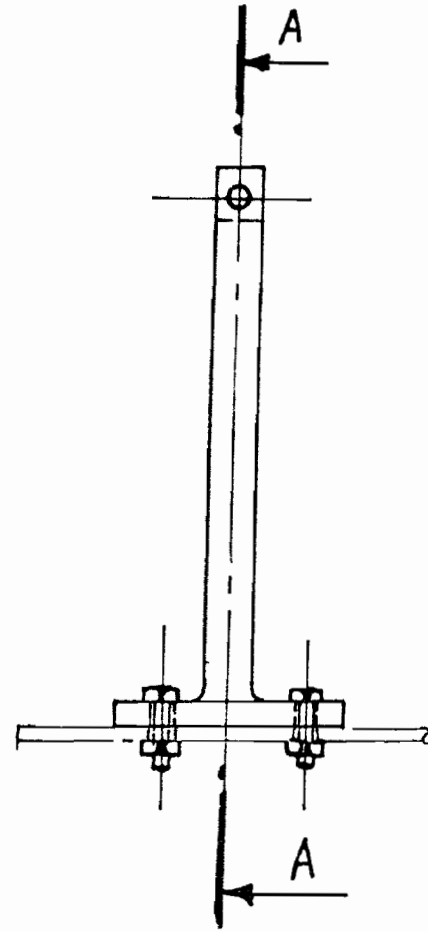
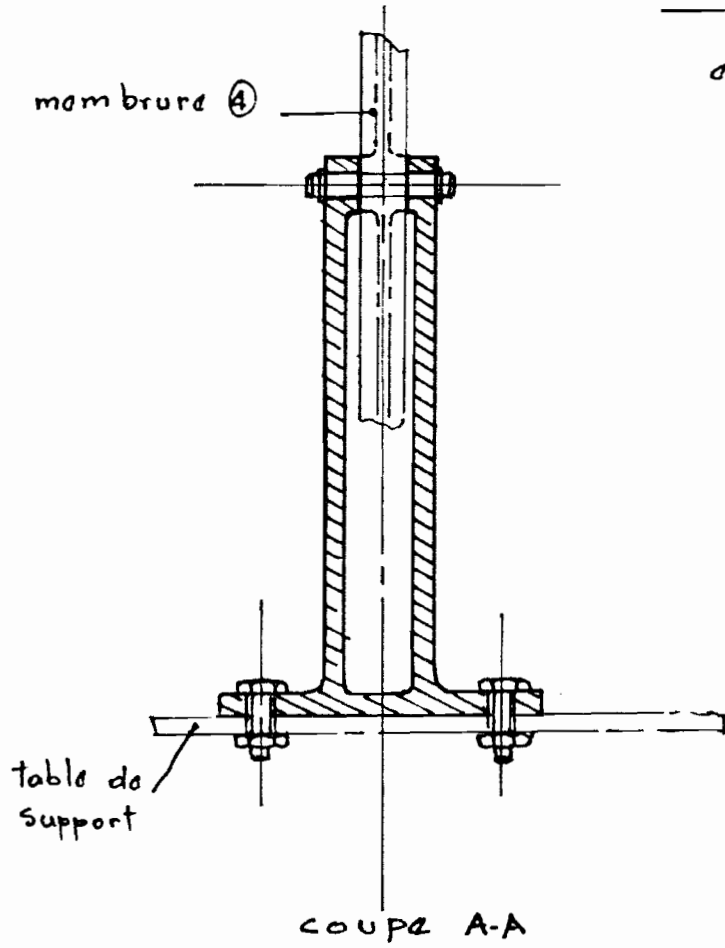
échelle 1/1,5



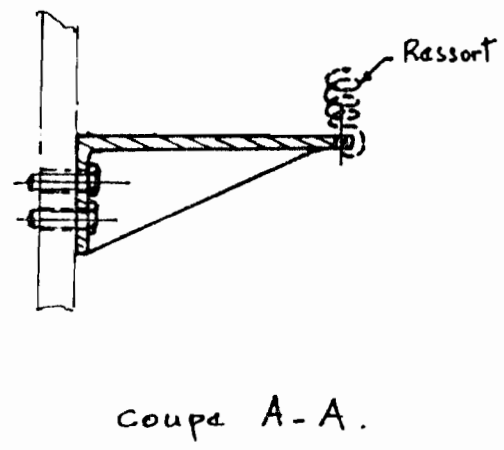
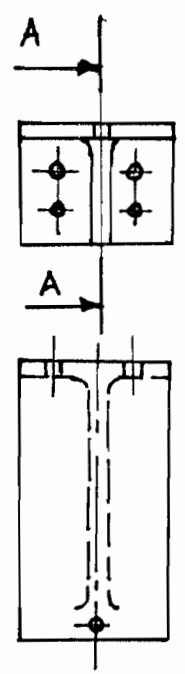
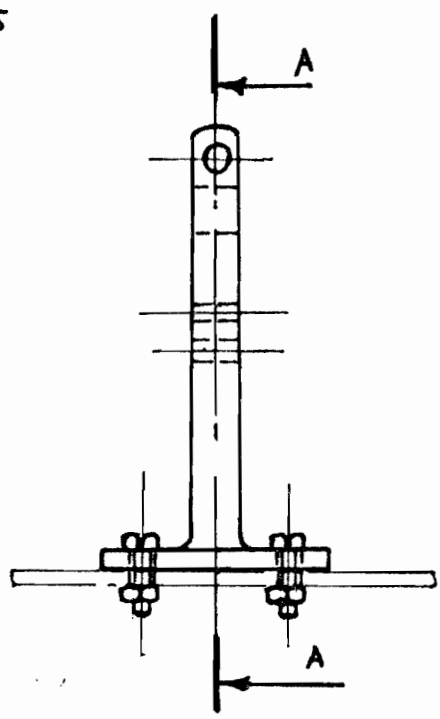
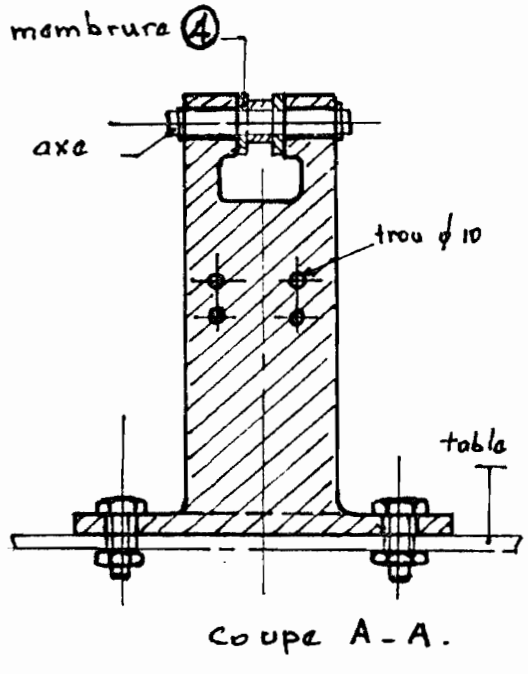
A4

PIECE ①

ochello 1/5

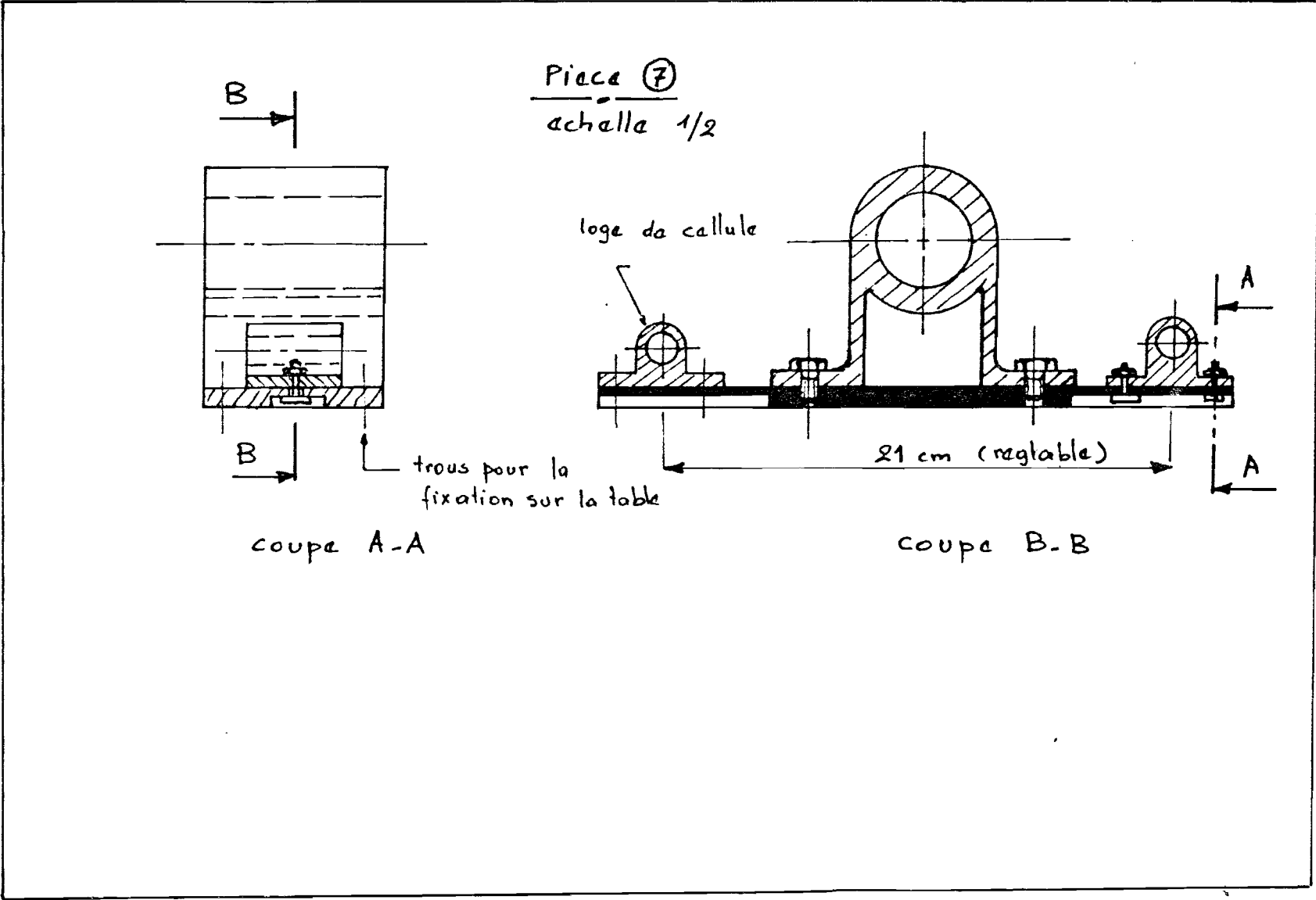


Pièce ⑤
échelle 1/5

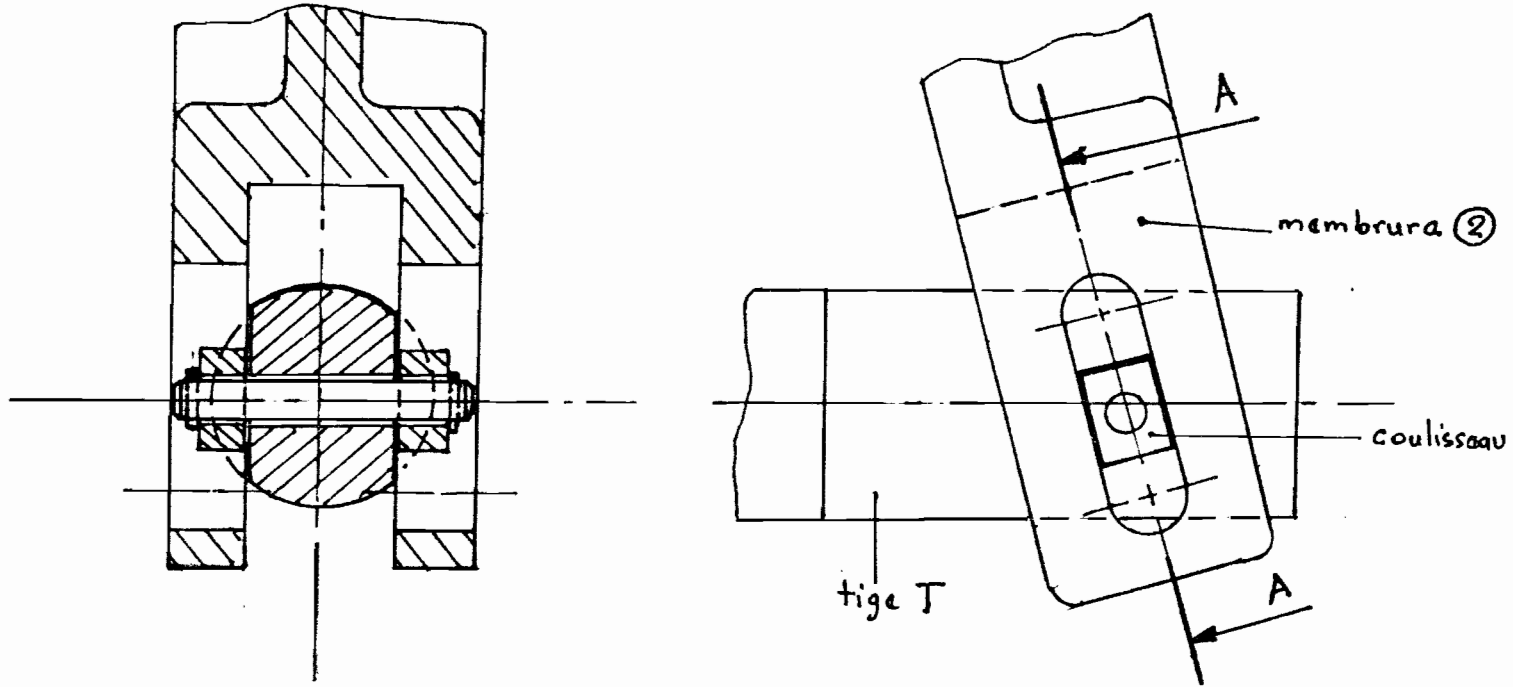


Pièce ⑥
échelle 1/5

74



A6



systeme de guidage entre
la membrure (2) et la tige (butée)

(voir repère sur le dessin
 d'ensemble)