

FEUX

Gr 1984

DE

SIGNALISATION

auteur: Abdourahmane Diop

4<sup>eme</sup> Mécanique

Mm' 80

## REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au professeur André Wolski pour son soutien effectif et sa constante disponibilité qui ont été déterminants dans l'élaboration de ce travail.

J'associe également à ces remerciements, Monsieur Mario Davignon pour ses remarques pratiques et la collection de volumes qu'il m'a fournis pour mener à bien la rédaction du présent texte.

Je n'oublierai pas, pour finir Monsieur Diagne de la bibliothèque qui n'a ménagé aucun effort pour me trouver toute la documentation ayant trait au sujet.

## Sommaire

Nous avons présenté deux solutions préliminaires qui ont permis d'entrevoir la solution finale.

Cette solution finale a été définie au point de vue de la logique séquentielle avant d'être définie mécaniquement ; la définition séquentielle est basée sur la solution n°2 et un regroupement d'équations logiques a permis de mettre en évidence le système, la définition mécanique a exigé le calcul de l'arbre à câmes, des câmes, des coussinets, clavettes.

La puissance à fournir par le moto-réducteur a été évaluée et surdimensionnée pour prévoir les aléas possibles et surtout répondre à l'exigence d'un couple d'action élevé.

On a en outre fait figurer les illustrations nécessaires à la visualisation de la solution.

Le dispositif obtenu est un combinatoire à câmes.

# - Table des matières

I Introduction	page 1
II Les solutions (solution 1)	page 3
figure 1	page 4
fonctionnement (figure 1)	page 5
détermination cône A	page 7
Solution 2	page 9
détermination des états transitoires	page 11
résolution par Karnaugh	page 12
Construction des circuits	page 15
III Elaboration finale	page 18
regroupement des équations	page 20
Combinateur à cônes	page 22
traduction du problème	page 23
définition des cônes	page 24
détermination de cônes	page 25
Choix du matériau de cônes	page 26
détermination de l'arbre à cônes	page 28
dimensionnement de l'arbre	page 30
Calculs des réactions	page 32

calcul des moments	page 33
diagramme des moments	page 34
calcul du diamètre	page 35
fixation arbre et cône	page 37
les coussinets	page 38
les figures cône 1 et cône 2	page 39
les figures cône 3 et cône 4	page 40
évaluation de la puissance du moto-réducteur	page 41
puissance dissipée sur les 4 cônes	page 42
calculs des clavettes	page 43
figures : clavettes et assemblage clavettes	page 45
choix des câbles	page 46
chute de tension	page 47
figure : point de contact entre cône et lame	page 48
séquence obtenue	page 49
Conclusion	page 50
discussions	page 51

# INTRODUCTION

On peut constater qu'après une grande étape de mécanisation nous sommes entrés à l'époque de l'automatisation qui progresse avec une vitesse surprenante.

Pendant que la mécanisation se manifestait par les actes de l'homme remplacés par des systèmes mécaniques l'automatisation c'est commander, contrôler et synchroniser l'évolution de ces mécanismes avec le minimum d'intervention de l'homme.

Or l'un des secteurs les plus ardues de la vie de tous les jours est le trafic et ses nombreux problèmes qui en découlent ; l'automatisation a donc investi ce domaine avec succès pour régler les problèmes d'embouteillage et permettre ainsi une plus grande sécurité, une plus grande organisation et un gain de temps et même d'argent.

Notre étude consiste à trouver un système électromécanique qui doit assurer la régulation du trafic dans deux voies de circulation A et B perpendiculaires.

La circulation est libre dans deux sens pour chaque voie. à chaque angle du carrefour trois feux sont installés.

Un seul feu doit être allumé à la fois sur chaque panneau.

La solution va donc consister à élaborer un système électromécanique pour que les lumières s'allument dans la séquence appropriée tenant compte du fait que le passage dans la voie A doit être prolongé soit de 30 secondes par rapport à 18 secondes dans la voie B

## II LES SOLUTIONS

Avant d'aborder en détails la solution adoptée je vais passer en revue toutes les autres solutions qui ont été entrevues et qui font partie de l'évolution logique vers la solution finale

### Solution 1

- Cette solution consiste en une combinaison astucieuse de relais simples et temporisés et d'une cône  
le sketch de la solution a été réalisé sur  
la page suivante et l'on a :

- 2 feux rouges en parallèle
- 2 feux verts en parallèle
- 2 feux jaunes en parallèle
- 1 bobine B-1
- 1 cône C et son contact
- 1 relais temporisé actionné par la bobine B-1
- 2 relais simples actionné par la bobine B-1



# Fonctionnement

(figure 1)

Quand la càmè  $C_A$  dans sa rotation n'agit pas sur son contact on a la bobine B-1 qui est excitée et le feu rouge allumé; le feu rouge reste allumé jusqu'au moment où la càmè  $C_A$  vient agir sur son contact on a alors le rouge éteint et la bobine n'est plus excitée et de même tous les contacts actionnés par la bobine changent d'état alors le feu vert s'allume et le circuit du jaune est ouvert au niveau du contact  $J_1$  qui a obéi à la bobine B-1; le vert reste allumé jusqu'au moment où la càmè lâche à nouveau son contact alors la bobine B-1 est excitée et les contacts simples  $V_1$  et  $J_1$  obéissent instantanément tandis que le contact  $R_1$  est temporisé pendant 6 secondes ce qui a pour effet d'avoir le jaune allumé pendant 6 secondes et d'avoir le vert et le rouge éteints et le cycle recommence en produisant la séquence Rouge, Vert, Jaune, Rouge, ....

Pour avoir les durées voulues pour les feux on a dimensionné les càmès en conséquence.

Le fonctionnement expliqué pour la càmé  $C_A$  qui commande la voie A est le même pour la càmé  $C_B$  qui commande la voie B car il n'y a que les temps qui changent étant donné que les deux càmés  $C_A$  et  $C_B$  sont fixées sur le même arbre ce qui permet une bonne synchronisation de l'ensemble.

## Détermination (câme A)

durée du cycle complet

$V_A$  = vert voie A a une durée de 30 s

$J_A$  = Jaune voie A a une durée de 6 s

$R_A$  = Rouge voie A a une durée de 18 + 6 s

la durée du cycle est :

$$30 + 6 + 18 + 6 = 60 \text{ secondes}$$

On va disposer d'un moto-réducteur qui va faire tourner l'arbre à la vitesse de 1 tour en 60 secondes

Cet arbre entraîne les câmes  $C_A$  et  $C_B$

à la même vitesse angulaire 1 tour/minute

la came  $C_A$  lâche son contact pendant

la durée du Jaune et du Rouge

comme indiqué dans la partie fonctionnement

de la figure 1

durée du Rouge =  $18 + 6 = 24$  secondes

durée du Jaune = 6 secondes

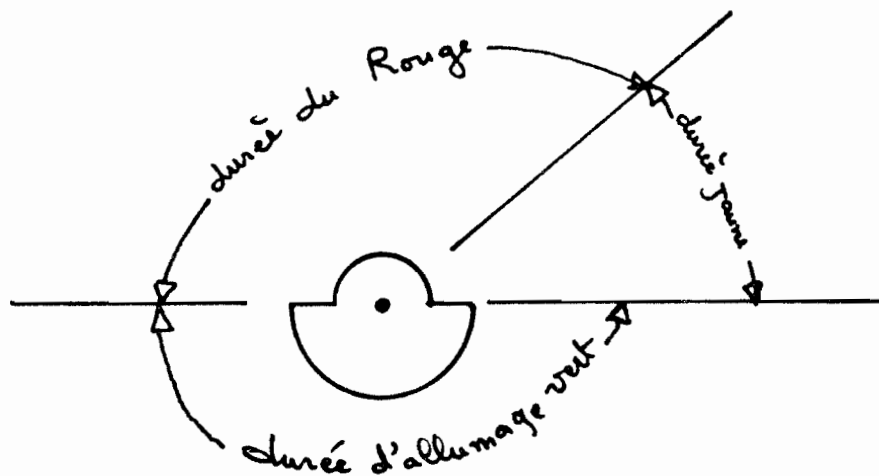
durée totale =  $24 + 6 = 30$  secondes

1 Tour complet =  $360^{\circ}$

60 secondes correspondent à  $360^{\circ}$

donc 30 secondes correspondent à  $180^{\circ}$

ce qui donne l'allure ci-dessous à la came  $C_A$



le Rouge est obtenu sur un angle de  $144^{\circ}$

le Jaune sur un angle de  $36^{\circ}$

le vert sur un angle de  $180^{\circ}$

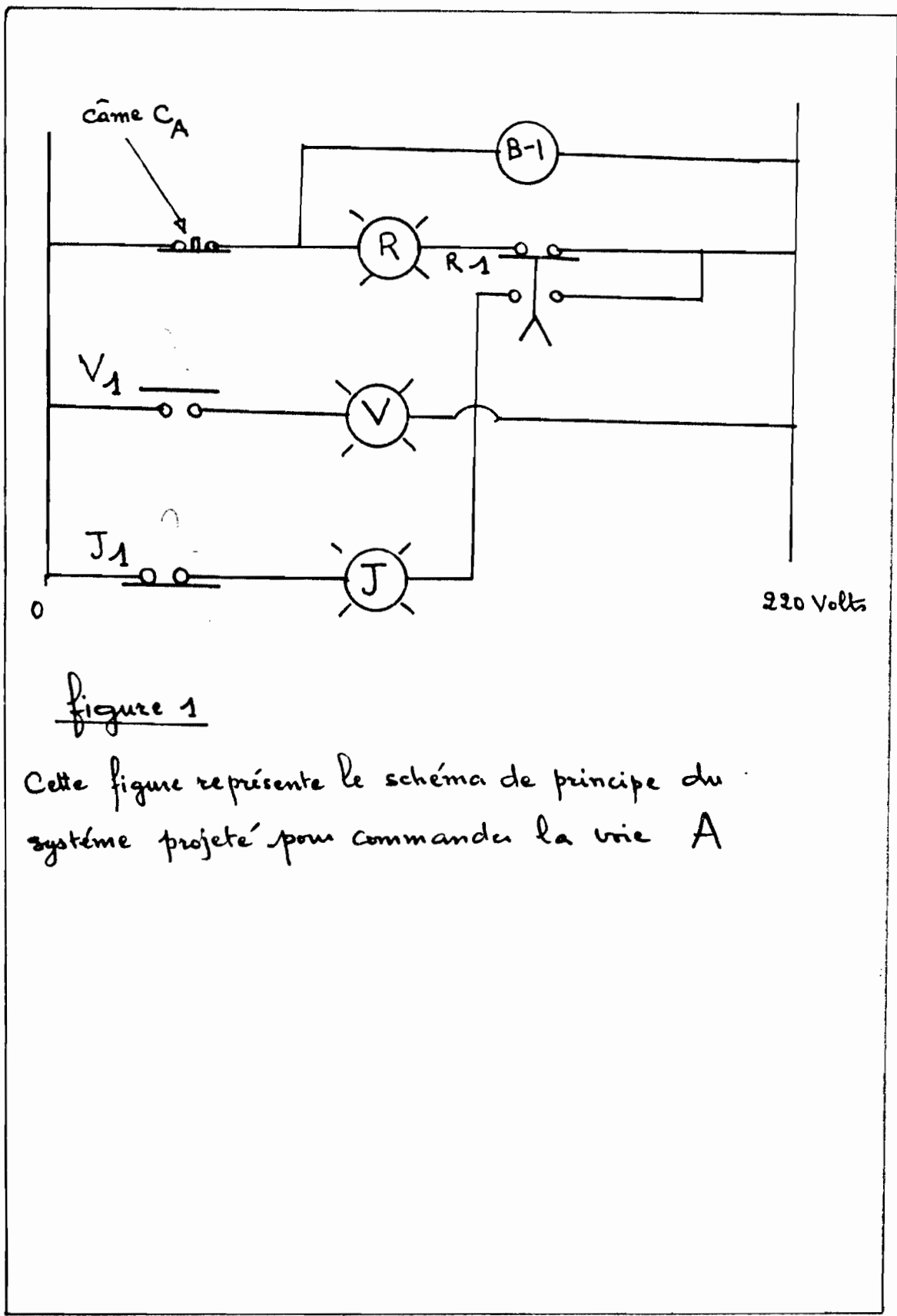


figure 1

Cette figure représente le schéma de principe du système projeté pour commander la voie A

## Solution 2

- Cette solution découle de l'approche logique  
le problème est posé comme suit

Je veux à partir d'une cône commander  
les feux de signalisation de deux voies A et B  
puisque dans chaque voie les deux panneaux  
installés sont coordonnés, je les identifie  
de la même façon ; NS pour la voie A  
EO pour la voie B

soit C la cône ; les états stables sont

- ① si la cône agit donne  $C = 0$
- ② si la cône lâche donne  $C = 1$
- ③ si la cône agit donne  $C = 0$
- ④ si la cône lâche donne  $C = 1$

l'état ① correspond à Rouge NS allumé  
Vert EO allumé

l'état ② correspond à Rouge NS allumé  
Jaune EO allumé

l'état (3) correspond à Vert NS allumé  
Rouge EO allumé

l'état (4) correspond à Jaune NS allumé  
Rouge EO allumé

Ce qui se traduit par les tableaux logiques suivants

<u>Câme</u>		NS			EO		
0	1	V	J	R	V	J	R
(1)		0	0	1	1	0	0
	(2)	0	0	1	0	1	0
(3)		1	0	0	0	0	1
	(4)	0	1	0	0	0	1

Dans la recherche du nombre de bobines auxiliaires  
on a : Soit  $n$  le nombre de bobines auxiliaires  
on doit avoir  $2^n \geq$  nombre de lignes et on tire  
 $n = 2$  car  $2^2 = 4 =$  nombre de lignes du tableau  
on va donc disposer de deux bobines : X et Y

## Détermination des états transitoires

En passant d'un état stable à un autre, on passe par un état transitoire qui prend la même valeur que l'état stable vers lequel il va tendre d'où le Tableau suivant :

<u>Came</u>		NS			EO		
0	1	V	J	R	V	J	R
①	2	0	0	1	1	0	0
3	②	0	0	1	0	1	0
③	4	1	0	0	0	0	1
1	④	0	1	0	0	0	1



## Résolution par Karnaugh

Le tableau précédemment obtenu est à sa forme finale car il n'y a ni cases interdites ni contractions possibles.

La transformation de Karnaugh va donner:

Vert NS

$$V = \bar{A}y$$

x	y	$\bar{C}$	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	1	1	0
1	0	0	0

Jaune NS

$$J = Ax$$

x	y	$\bar{C}$	C
0	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	1
1	0	0	1

C désigne la cône on a  $\bar{A} = \bar{C}$   
 $A = C$

Rouge NS

$$R = A\bar{X} + \bar{A}Y$$

x	y	$\bar{c}$	c
0	0	1	1
0	1	0	1
1	1	0	0
1	0	1	0

Vert EO

$$V = \bar{A}Y$$

x	y	$\bar{c}$	c
0	0	1	0
0	1	0	0
1	1	0	0
1	0	1	0

Jaune EO

$$J = A\bar{X}$$

x	y	$\bar{c}$	c
0	0	0	1
0	1	0	1
1	1	0	0
1	0	0	0

Rouge EO

$$R = Ax + \bar{A}y$$

x	y	$\bar{c}$	c
0	0	0	0
0	1	1	0
1	1	1	1
1	0	0	1

Bobine X

$$X = Ax + \bar{A}y$$

x	y	$\bar{c}$	c
0	0	0	0
0	1	1	0
1	1	1	1
1	0	0	1

Bobine Y

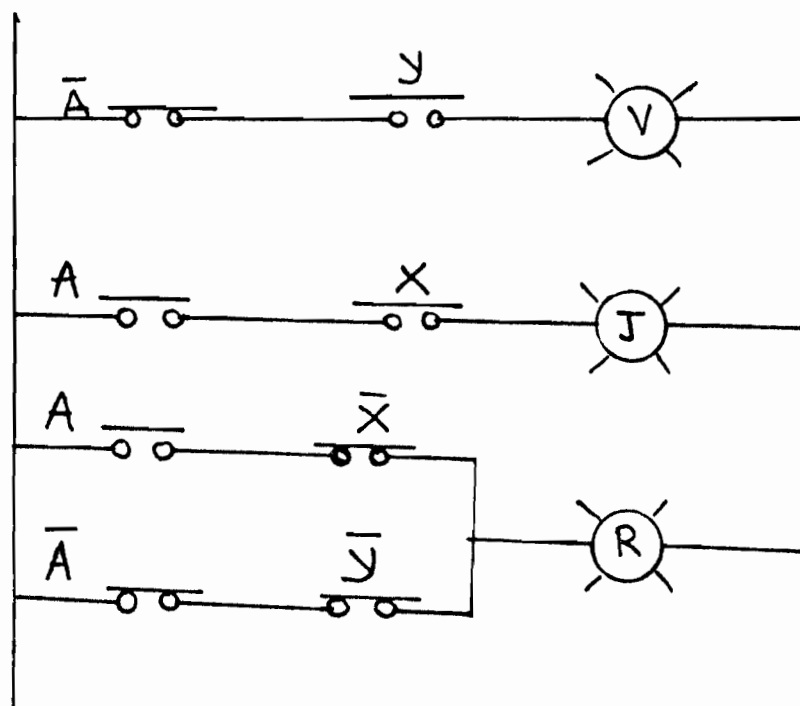
$$y = A\bar{x} + \bar{A}y$$

C désigne la câme  $A = c$   
 $\bar{A} = \bar{c}$

x	y	$\bar{c}$	c
0	0	0	1
0	1	1	1
1	1	1	0
1	0	0	0

# Construction des circuits

circuit NS



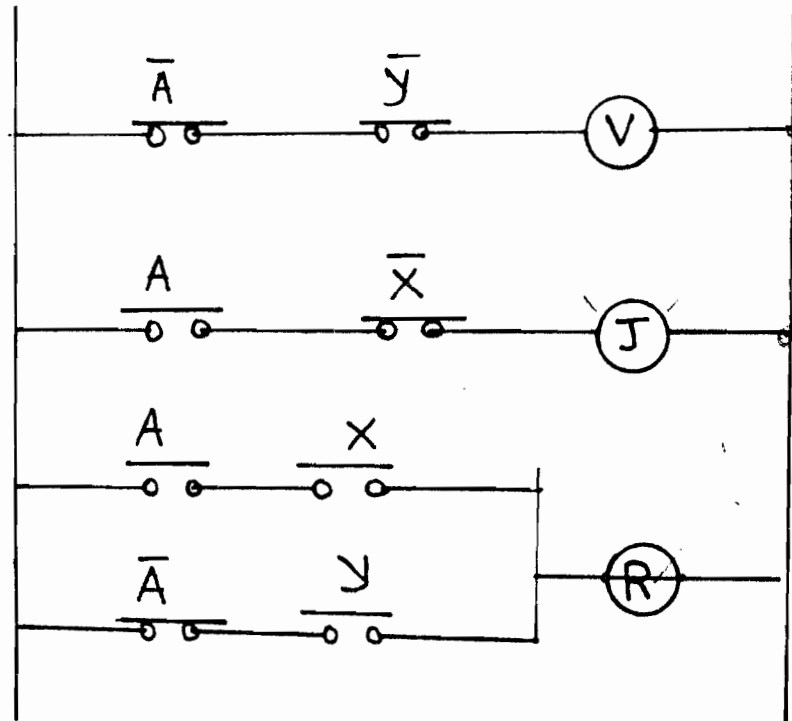
$$V = \bar{A}y$$

$$J = Ax$$

$$R = A\bar{x} + \bar{A}\bar{y}$$

pour NS

Circuit EO



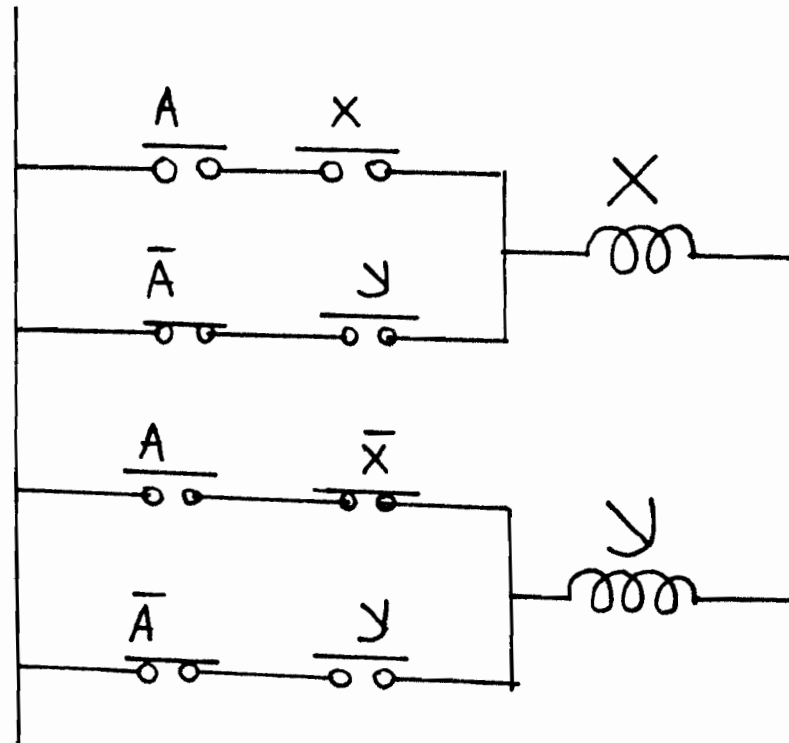
$$V = \bar{A}\bar{Y}$$

$$J = AX$$

power EO

$$R = AX + \bar{A}Y$$

## Circuit d'excitation de X et Y



$$X = AX + \bar{A}Y$$

$$Y = \bar{A}Y + AX$$

### III ELABORATION FINALE

1 Analyse des solutions précédentes  
la solution n°1 est une solution électroméca-  
-mique à notre problème  
à partir de deux cames  $C_A$  et  $C_B$   
de deux contacts simples par came actionnés  
par la bobine correspondante à la came  
et d'un contact temporisé actionné par  
la même bobine on arrive à obtenir  
la séquence désirée  $V ; J ; R$   
en tournant notre arbre à la vitesse de  
1 tour par minute par un moto-réducteur.  
Cette solution est simple et coûte moins  
cher à cause du nombre réduit des éléments  
utilisés mais néanmoins cette solution  
a un grand inconvénient qui est le  
manque de sécurité dû au contact temporisé

La solution n° 2 est aussi électromécanique et ne possède pas d'élément temporisateur d'où une plus grande sécurité ;

à partir d'une càm

de 12 contacts reliés à la càm

de 2 Bobines X et Y

de 6 contacts reliés à la Bobine X

de 6 contacts reliés à la Bobine Y

on obtient la séquence désirée.

Néanmoins cette solution a un inconvénient dû au nombre considérable d'éléments qui entrent en jeu.

Cette solution fait penser aussitôt à un combinateur à càmes en regroupant les équations logiques obtenues dans la solution n° 2



## Regroupement des équations de la solution 2

$$V_1 = \bar{A}Y \quad \text{NS} \quad J_1 = AX \quad R_1 = A\bar{X} + \bar{A}Y$$

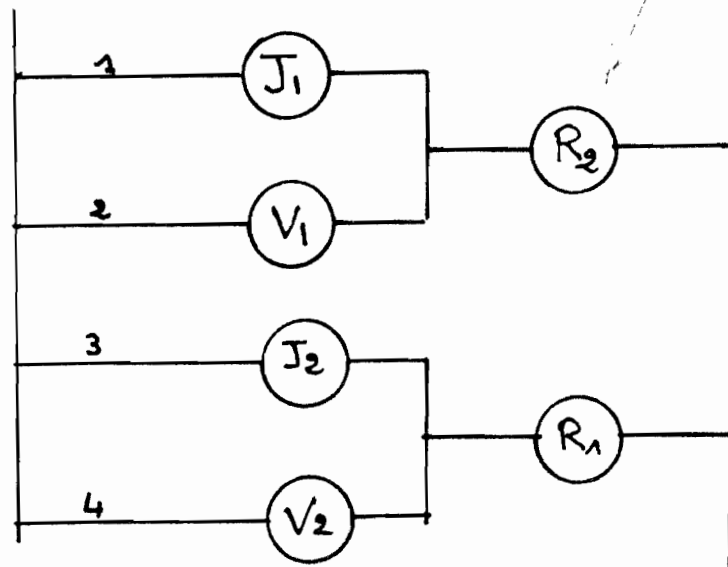
$$V_2 = \bar{A}Y \quad \text{EO} \quad J_2 = A\bar{X} \quad R_2 = AX + \bar{A}Y$$

attachons l'indice 1 aux feux NS  
et l'indice 2 aux feux EO

$$R_1 = A\bar{X} + \bar{A}Y = J_2 + V_2$$

$$R_2 = AX + \bar{A}Y = J_1 + V_1$$

Ce qui donne un schéma de principe  
ci-après



L'idée qui émerge est donc d'avoir tout simplement 4 Cames montés sur un même arbre qui en tournant à la vitesse de 1 Tour/minute entraîne les cames qui vont agir directement sur des contacts électriques -

Ces contacts électriques commandent directement les feux de signalisation -

( Voir le volume technique de l'emploi des Relais de Claude POLGAR page 296 )

on obtient ainsi un combinateur à Cames

# Le combinateur à cames

## 1 Avantages

- solution économique
- reprise du cycle au point où il s'est arrêté après coupure accidentelle de courant
- grande sécurité car ne possédant pas de relais simples ou temporisés
- grande simplicité
- efficacité et fiabilité
- durée de vie acceptable

## 2 Inconvénients

- ne permet pas de réaliser facilement des conditions complexes
- possibilité de clignotements si la synchronisation des cames n'est pas parfaite.

## Traduction du Problème

NS

$$V_A - t_1 = 30 \text{ s}$$

$$J_A - t_2 = 6 \text{ s}$$

$$R_{A_1} - t_3 = 18 \text{ s}$$

$$R_{A_2} - t_4 = 6 \text{ s}$$

EO

$$R_{B_1} - t'_1 = 30 \text{ s}$$

$$R_{B_2} - t'_2 = 6 \text{ s}$$

$$V_B - t'_3 = 18 \text{ s}$$

$$J_B - t'_4 = 6 \text{ s}$$

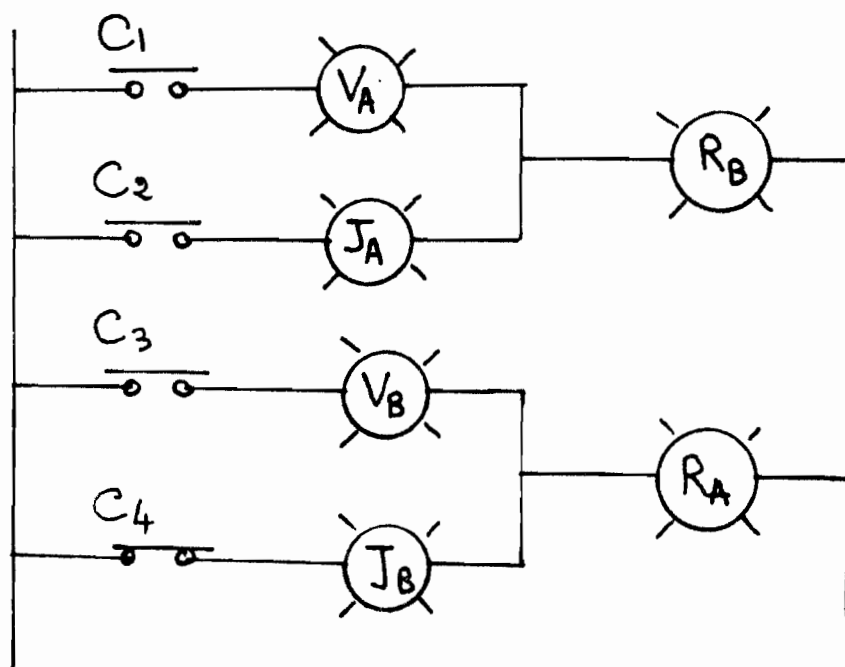
la période est de  $T$

$$\begin{aligned} T &= t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \\ &= t'_1 + t'_2 + t'_3 + t'_4 \\ &= 30 + 6 + 18 + 6 \\ &= 60 \text{ secondes} \end{aligned}$$

# Définition des câmes

à partir de la traduction du problème  
on a :

- Câme 1 allume  $V_A$  et  $R_B$ , durée 30 s  
 Câme 2 allume  $J_A$  et  $R_B$ , durée 6 s  
 Câme 3 allume  $R_A$  et  $V_B$ , durée 18 s  
 Câme 4 allume  $R_A$  et  $J_B$ , durée 6 s



# Détermination des cames

1 - l'angle de contact des cames avec les contacts électriques

Came 1

soit  $\alpha$  l'angle de contact

$$\alpha = 360 \frac{t_1}{T} = 360 \frac{30}{60} = 180''$$

$T = \text{periode} = 60 \text{ secondes}$

vitesse de rotation = 1 Tour / 60 secondes

Came 2

$$\alpha = 360 \frac{t_2}{T} = 360 \frac{6}{60} = 36''$$

Came 3

$$\alpha = 360 \frac{t'_3}{T} = 360 \frac{18}{60} = 108''$$

Came 4

$$\alpha = 360 \frac{t'_4}{T} = 360 \frac{6}{60} = 36''$$

voir figure

## 2 choix du matériau des câmes

les problèmes suscités par le choix sont :

- les câmes doivent être

- de bons isolants pour minimiser les risques d'accident
- résistantes à la corrosion
- résistantes à la flexion
- résistantes à la compression
- résistantes au cisaillement
- d'un bon module d'élasticité
- d'usinage facile
- de fixation facile sur arbre
- d'une bonne stabilité dimensionnelle

le matériau qui se prête mieux à ces exigences précitées est le PLEXIGLAS

Le PLEXIGLAS a pour nom scientifique :  
 le polyméthacrylate de méthyle  
 Ses caractéristiques sont :

Résistance au cisaillement	80 MPa
Module d'élasticité	2850 MPa
Masse volumique	1180 kg/m <sup>3</sup>
résistance à la rupture	75 MPa
résistance à la flexion	140 MPa
résistance à la compression	130 MPa

bon isolant électrique

bonne stabilité dimensionnelle

facilité de mise en forme

peut - être travaillé au tour ordinaire

(voir le volume Matières plastiques)

J- Gossot

Fabrication - Technologie

Dunod Technique

668-4 G 681 m

page 317



## Détermination de l'arbre à câmes

1 Choix du matériau de l'arbre à câmes  
Les problèmes suscités par le choix sont :

l'arbre doit être

- résistant à la flexion à cause de la flexion alternée due à la rotation
- résistant au choc
- résistant à la rupture
- résistant à la compression
- d'une flèche minimale
- résistant à la corrosion et aux intempéries
- d'une bonne stabilité dimensionnelle
- inoxydable

le matériau qui se prête mieux à ces exigences est l'alliage d'aluminium

UNSA 92024 - T3

Cet alliage d'aluminium a les caractéristiques mécaniques suivantes

$$S_y = \text{limite élastique} = 344,5 \text{ MPa}$$

$$S_u = \text{limite de rupture} = 482,3 \text{ MPa}$$

$$S_f = \text{limite de fatigue} = 137,8 \text{ MPa}$$

$$H_B = \text{dureté Brinell} = 120$$

bonne résistance à la corrosion  
inoxydable

(voir Shigley - Mechanical Engineering Design)  
page 657

## 2 Dimensionnement de l'arbre

### a. Inventaire des sollicitations

- les efforts seront les poids respectifs des câmes ajoutés à une valeur due aux contacts électriques

- l'espacement des efforts concentriques des 4 câmes sera de 3 cm

- la masse volumique d'une câme en plexiglas est  $1180 \text{ kg/m}^3 = \rho$

- l'épaisseur d'une câme  $\frac{1}{2} \text{ cm} = e$

- le plus grand diamètre de la câme  $3 \text{ cm} = d$

Donc le poids d'une câme sera au maximum

$$\text{Volume de la câme } \pi \frac{d^2}{4} e = V_c$$

$$V_c = 3,14 \times \left( \frac{3 \times 10^{-2}}{4} \right)^2 \times 0,5 \times 10^{-2}$$

$$= 8,83 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

Donc la masse est de  $V_c \times \rho = M_c$

$$= 8,83 \times 10^{-7} \times 1180 = 0,0010 \text{ kg d'où}$$

Un poids au maximum de

$$P_c = M_c g = 0,001 \times 9,81 = 0,0098 \text{ N}$$

$g$  = accélération de la pesanteur

Contribution due aux contacts électriques

L'évaluation des sollicitations dues aux contacts est complexe

Cette évaluation a été réalisée sur un

montage existant et l'on a au maximum

une sollicitation de 60 Newton =  $F_c$

sollicitation totale sur une càm

$$F_T = F_c + P_c = 60 + 0,0098 = 60,0098$$

ce qui donne = 60 Newton

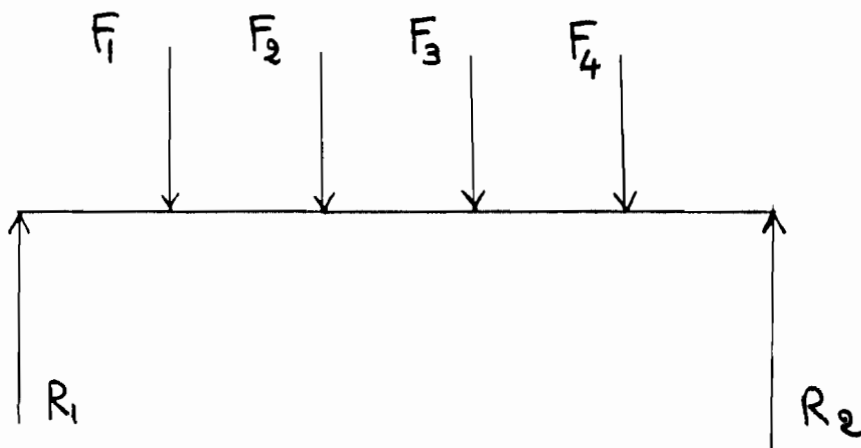
longueur de l'arbre  $L$

$L$  = somme des distances entre les càmes et entre les pàliens et les càmes adjacentes

$$L = 3 + 3 + 3 + 3 + 3 = 15 \text{ cm}$$

## Calcul des réactions

À cause de la vitesse de rotation lente de 1 Tour/minute nous disposerons de paliers qui seront des coussinets.



$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = R_1 + R_2$$

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 60 \text{ Newton}$$

La symétrie du problème donne

$$R_1 = R_2 = 60 + 60 = 120 \text{ Newton}$$

## Calcul des moments

$$\text{point 1 : } M_1 = 0$$

$$\begin{aligned} \text{point 2 : } M_2 &= R_1 \times 30 \\ &= 120 \times 30 = 3600 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{point 3 : } M_3 &= 2 \times M_2 - F_2 \times 30 \\ &= 2 \times 3600 - 60 \times 30 = 5400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{point 4 : } M_4 = 3 \times M_2 - 3 \times 60 \times 30 = 5400 \text{ Nmm}$$

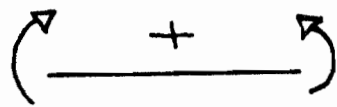
$$\text{point 5 : } M_5 = 4 \times M_2 - 6 \times 60 \times 30 = 3600 \text{ Nmm}$$

$$\text{point 6 : } M_6 = 0$$

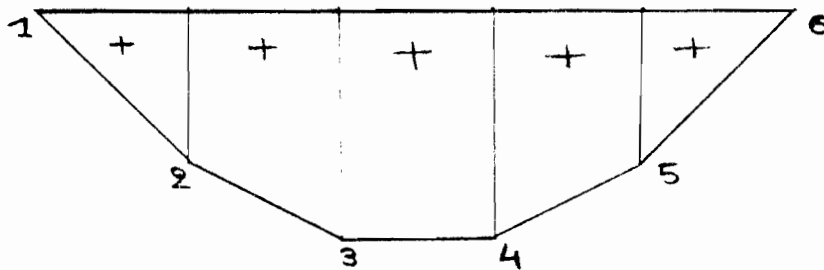
# Diagramme des moments

Convention adoptée

On a un moment positif quand les sollicitations tendent à déformer l'arête comme suit



un moment positif est tracé au bas ; on a :



moment maximum  $M_3 = M_4 = 5400 \text{ Nmm}$

## Calcul du diamètre

$S_e = 0,4 S_u$  pour alliage d'aluminium

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e'$$

$S_e$  = limite d'endurance

$S_e'$  = limite d'endurance (poutre en rotation)

$k_a$  = facteur de surface

$k_b$  = facteur de forme

$k_c$  = facteur de fiabilité

$k_d$  = facteur de température

$k_e$  = facteur de concentration de contraintes

$k_f$  = facteur divers

dans ce cas :

$$k_a = k_b = k_c = k_d = k_e = k_f = 1$$

pour surface polie, forme standard, température moyenne (voir Shigley p.182)



$$\text{dme } S_e = S'_e = 0,4 S_u = 0,4 \times 482,3 \\ = 192,9 \text{ MPa}$$

l'arbre est soumis à :

- des flexions alternées dues à la rotation
- une tension constante

$$\text{d'où } d = \left( \frac{32 M n}{\pi S_e} \right)^{1/3}$$

formule 13-3 de Stigley p. 506

$d$  = diamètre de l'arbre

$M$  = moment de flexion maximum

$S_e$  = limite d'endurance

$n$  = facteur de sécurité

$$M = M_3 = M_4 = 5400 \text{ Nmm}$$

$$S_e = 192,9 \text{ MPa}$$

$n = 4$  en raison des exigences de sécurité

$$d = \left( \frac{32 \times 5400 \times 4}{3,14 \times 192,9} \right)^{1/3} = 10,449 \text{ mm}$$

donc  $d = 10,5 \text{ mm}$

Majoration due à la flèche :

pour avoir une bonne fiabilité nous devons avoir en plus une flèche au centre très faible pour cela on va majorer notre diamètre

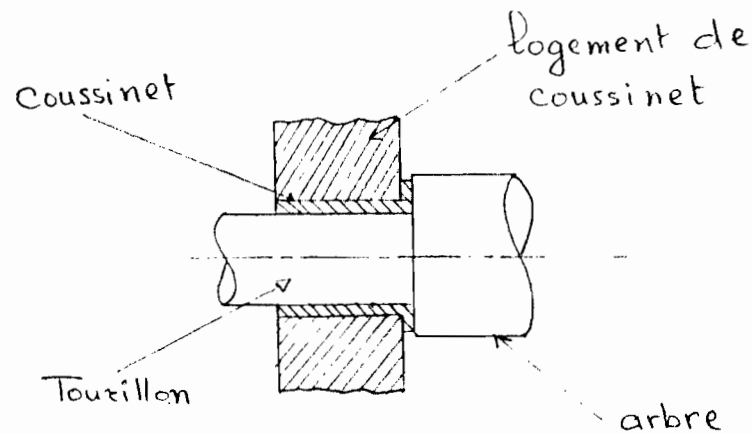
diamètre adopté  $d = 15 \text{ mm}$

fixation :

la fixation du plexiglas sur l'alliage d'aluminium A 92024 - T3 ne pose pas de problèmes particuliers.

nous adopterons une fixation qui consiste à ajuster à chaud à la température de  $75^{\circ}\text{C}$  inférieure à la température de ramollissement du plexiglas qui est de  $80^{\circ}\text{C}$  les câmes en plexiglas sur les rainures installés sur l'arbre, ou mieux à l'aide de deux clavettes

## Les coussinets



- les coussinets seront en métal anti-friction : Le babbit

Le babbit a une excellente résistance à la corrosion et est d'un type autolubrifiant. Les coussinets représentent le moyen le plus simple et le plus économique de supporter des pièces en rotation.

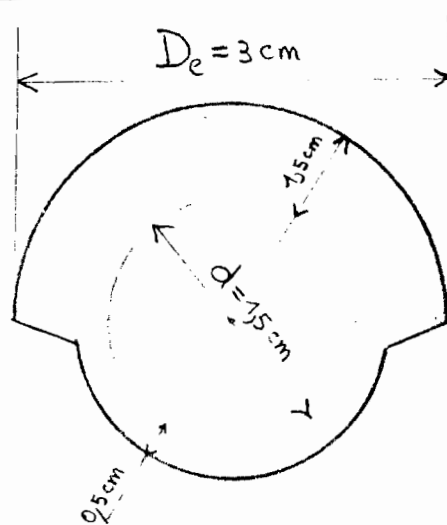
Le choix d'un coussinet à la place d'un roulement se justifie en plus par la faible vitesse de rotation de l'arbre : 1 Tour / 60 secondes

## Câme 1

$D_e$  = diamètre extérieur  
de la câme

$d$  = diamètre de l'arbre

angle contact =  $180^\circ$



$180^\circ$

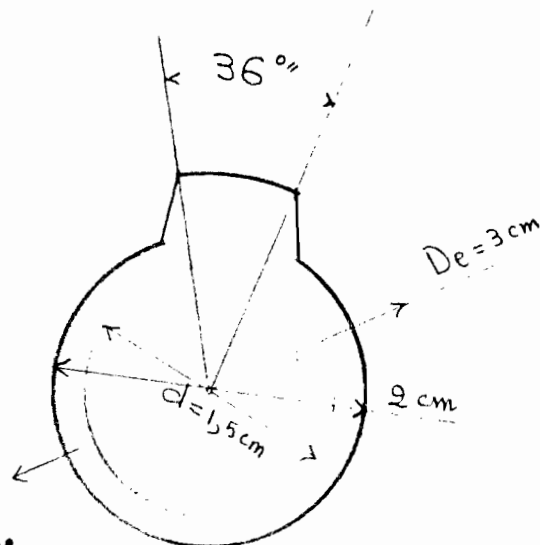
Câme 1

## Câme 2

angle contact =  $\frac{180^\circ}{5} = 36^\circ$

Une maintient le  
contact durant le cinquième

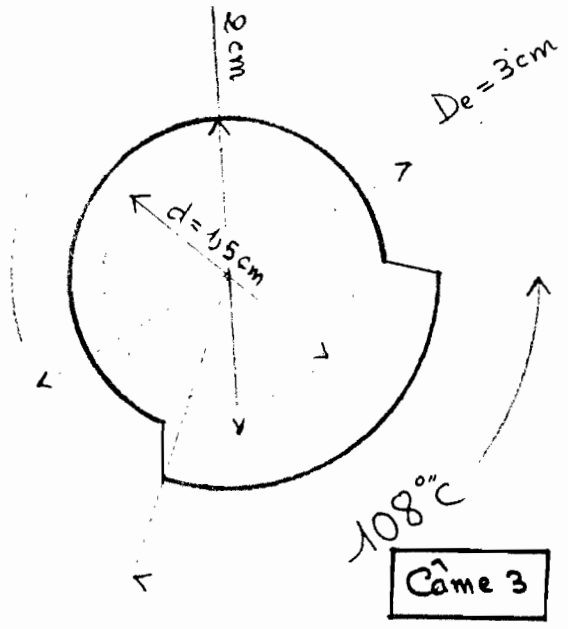
du temps de maintien de la câme 1



Câme 2

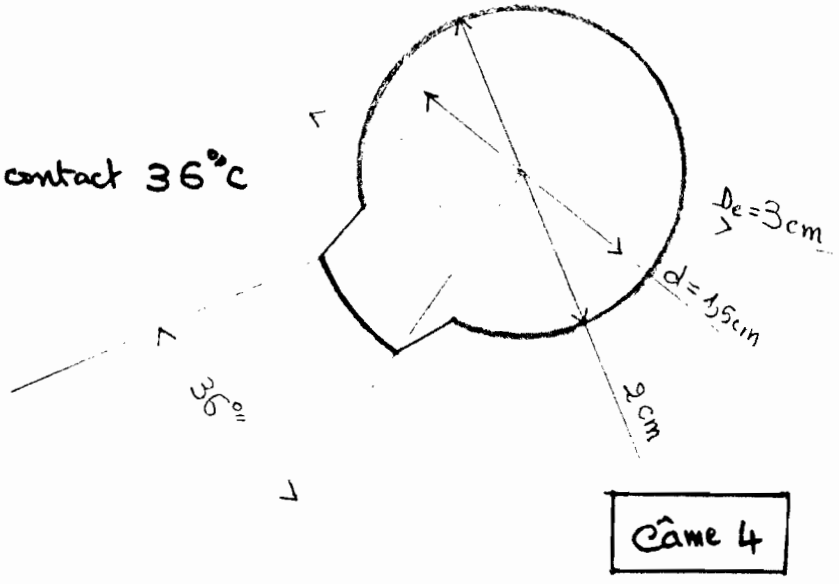
Câme 3

angle de contact  $108^{\circ}$



Câme 4

angle de contact  $36^{\circ}$



## Evaluation de la puissance du moto-réducteur

1) puissance dissipée aux coussinets

$f = 0,02$  facteur de frottement arbre coussinets

$R_1 = 120 \text{ N}$  = force normale = réaction

et donc la force de frottement est de :

$$F_f = 120 \times 0,02 = 2,4 \text{ N}$$

travail fait par cette force

$$W_{F_f} = F_f \pi d = 2,4 \times 3,14 \times 0,015 = 0,113 \text{ Joule}$$

$d$  = diamètre de l'arbre =  $0,015 \text{ m}$

pour les 2 coussinets on a :

$$2 W_{F_f} = 0,226 \text{ J}$$

d'où une puissance de  $\frac{2 W_{F_f}}{60}$  car l'arbre

tourne en un tour / par 60 secondes

$$\text{donc } P_c = \text{puissance coussinets} = \frac{0,226}{60} = 3,76 \times 10^{-3} \text{ W}$$

2) puissance dissipée sur les 4 câmes

$F_1$  = force normale agissant sur chaque cône  
 à un moment donné de la rotation de l'arbre  
 donc tout se passe comme si il y'avait une  
 seule cône qui garde un contact permanent avec  
 $F_1$  la force commune pour chaque cône

$$\bar{F}_1 = 60 \text{ N}$$

$$f = 0,4$$

donc la force de frottement sera :

$$F_{f \text{ c\^o}mes} = F_1 \times f = 60 \times 0,4 = 24 \text{ N}$$

travail de  $F_{f \text{ c\^o}mes}$  autour du diamètre extérieur  
 de la cône  $D_e = 3 \text{ cm} = 30 \text{ mm}$

$$W_{F_{f \text{ c\^o}mes}} = F_{f \text{ c\^o}mes} \times \pi \times D_e = 24 \times 3,14 \times 0,03 = 2,26 \text{ J}$$

le tour s'effectue en 60 seconds donc la puissance

$$\text{est de : } \text{puissance} = P_{ca} = \frac{2,26}{60} = 0,038 \text{ Watts}$$

$$\begin{aligned} \text{puissance totale dissipée} &= P_T = 0,038 + 3,76 \times 10^{-3} \\ &= 0,042 \text{ Watts} \end{aligned}$$

le moto-réducteur doit vaincre ces pertes et en  
 plus vaincre certains aléas perturbateurs inconnus

il doit en outre satisfaire les pertes de puissance qui seront causées par les surdimensionnements des angles de contact des câmes causés par la nécessité d'engrayer les cliquetements qui interviennent quand il y'a passage de contact d'une càmme à une autre.

avec l'ordre de grandeur de la puissance du moto-réducteur soit  $P_M = 5 \text{ Watts}$

## Calculs des clavettes

Nous avons adopté une fixation des câmes sur l'arbre à l'aide de clavettes

2 clavettes pour fixer chaque càmme et éviter le glissement

les clavettes seront en acier UNS G10200 laminé à froid.

$$S_y = 516,75 \text{ MPa} = \text{limite élastique}$$

$$S_{sy} = 0,577 \times 516,75 = 298,16 \text{ MPa} = \text{limite en cisaillement}$$

Nous baserons notre calcul sur  $S_y = 447,85 \text{ MPa}$  qui est la limite élastique admissible



$$\text{donc : } S_{sy} = 0,577 S_{y \text{ adm}}$$

$$S_{sy} = 0,577 \times 447,85 = 258,4 \text{ MPa}$$

$$\omega = \text{vitesse de rotation} = 1 \text{ Tour/min} = 0,105 \text{ rad/s}$$

$$P_M = 5 \text{ watts}$$

$$\text{donc le moment de Torsion } T = \frac{P_M}{\omega} = \frac{5}{0,105} = 47,6 \text{ Nm}$$

la résultante des forces qui tendent à cisailier

les 8 clavettes est  $F = \frac{T}{r}$  ;  $r = \text{rayon de l'arbre}$

$$F = \frac{47,6}{7,5 \times 10^{-3}} = 6346,7 \text{ Newton}$$

la force de cisaillement sur une clavette est  $F_{cl}$

$$F_{cl} = \frac{F}{8} = \frac{6346,7}{8} = 793,3 \text{ N}$$

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F_{cl}}{t l} \quad (\text{shigley page 266})$$

$l = \text{longueur de la clavette}$

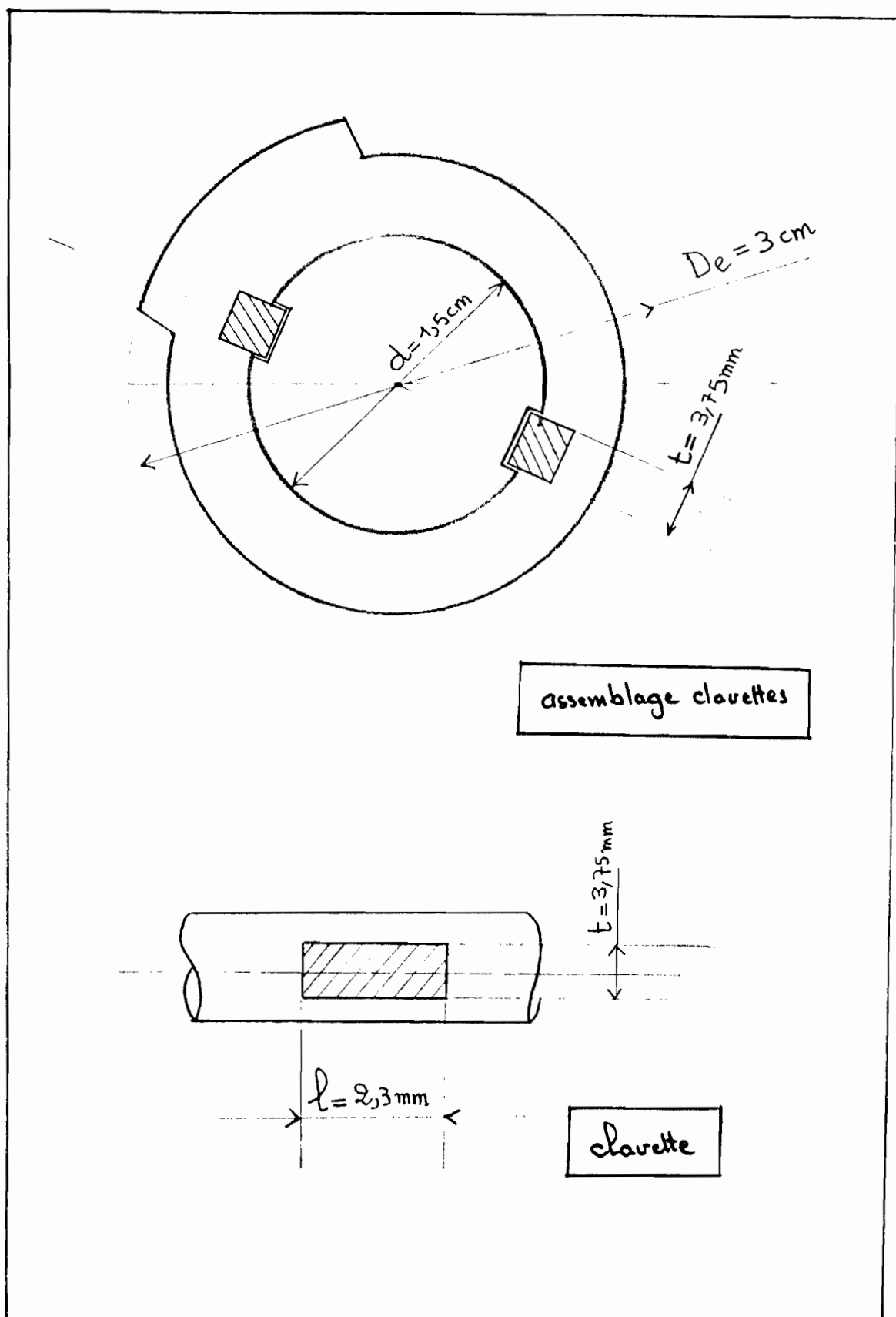
$n = \text{facteur de sécurité } 2,8$

$t = \text{largeur de la clavette} \approx \frac{1}{4} \text{ du diamètre arbre}$

$$\text{donc l'on tire } t = \frac{15}{4} = 3,75 \text{ mm}$$

$$\frac{258,4}{2,8} = \frac{793,3}{3,75 l} \quad \text{donc } l = 2,29 \text{ mm}$$

$$= 2,3 \text{ mm}$$



# Choix des câbles

Câbles allant aux feux

longueur = 500 m

Mode pose = câble enterré

puissance consommée par les lampes des feux si tous les feux sont allumés 1 kWatt = 1000 Watts

l'intensité nominale  $I_N = \frac{\text{puissance}}{\text{voltage}} = \frac{1000}{220} = 4,6 \text{ A}$

câble enterré  
isolation PVC } → colonne 2 Tab 52 D  
2 âmes

Tab 52 - c

les Tables ne prévoient pas les câbles enterrés mais le choix se justifie par la faible  $I_{adm} = 4,6 + \frac{25}{100} \times 4,6$   
 $= I_{adm} = 5,75 \text{ Ampères}$

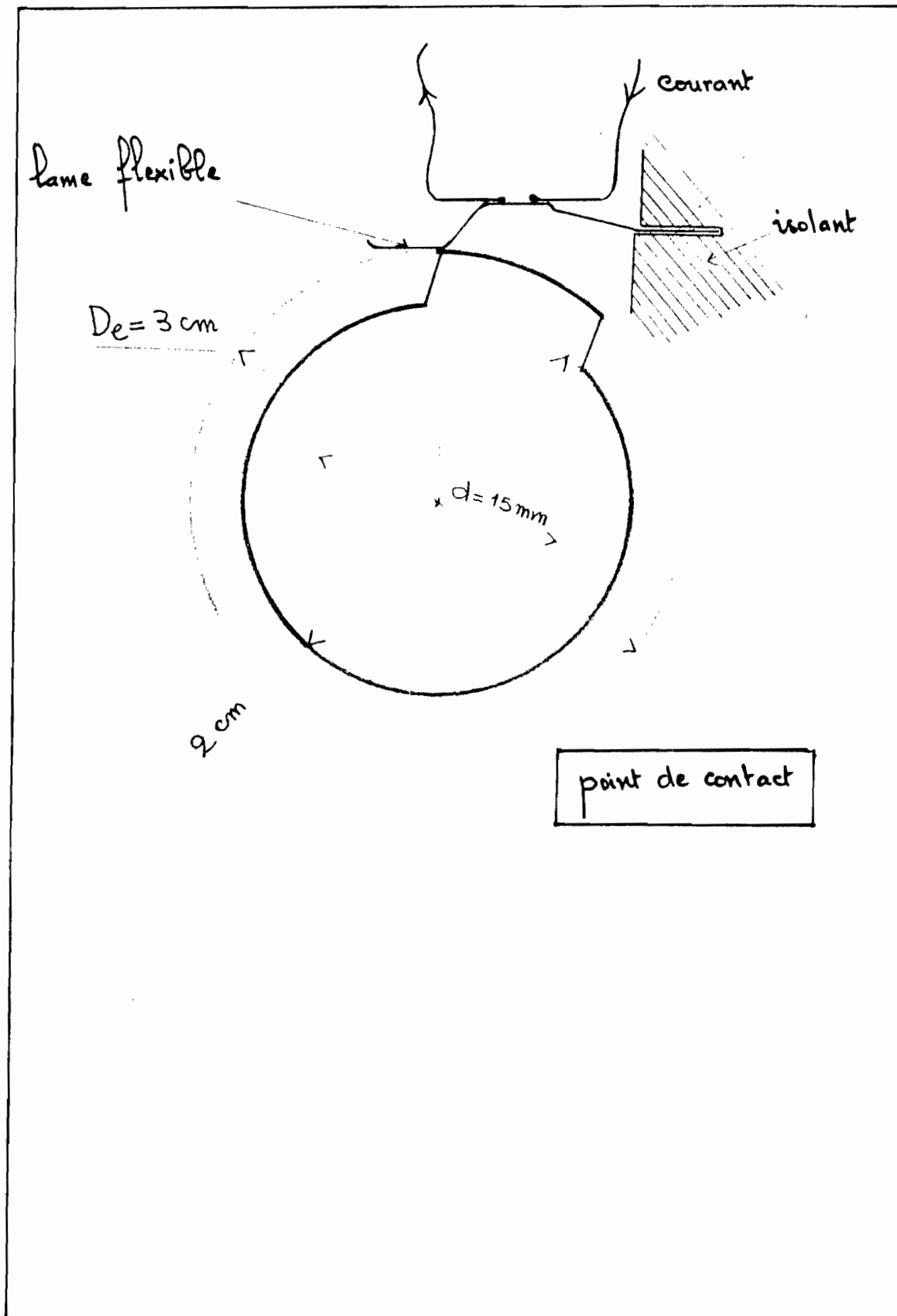
âme en cuivre } →  $I_{adm2} = 9 \text{ A}$   
colonne 2

$F_{chaud} = \text{correction de la température} = 0,71$   $\left\{ \begin{array}{l} T^{\circ} = 50^{\circ}\text{C} \\ \text{PVC} \end{array} \right.$

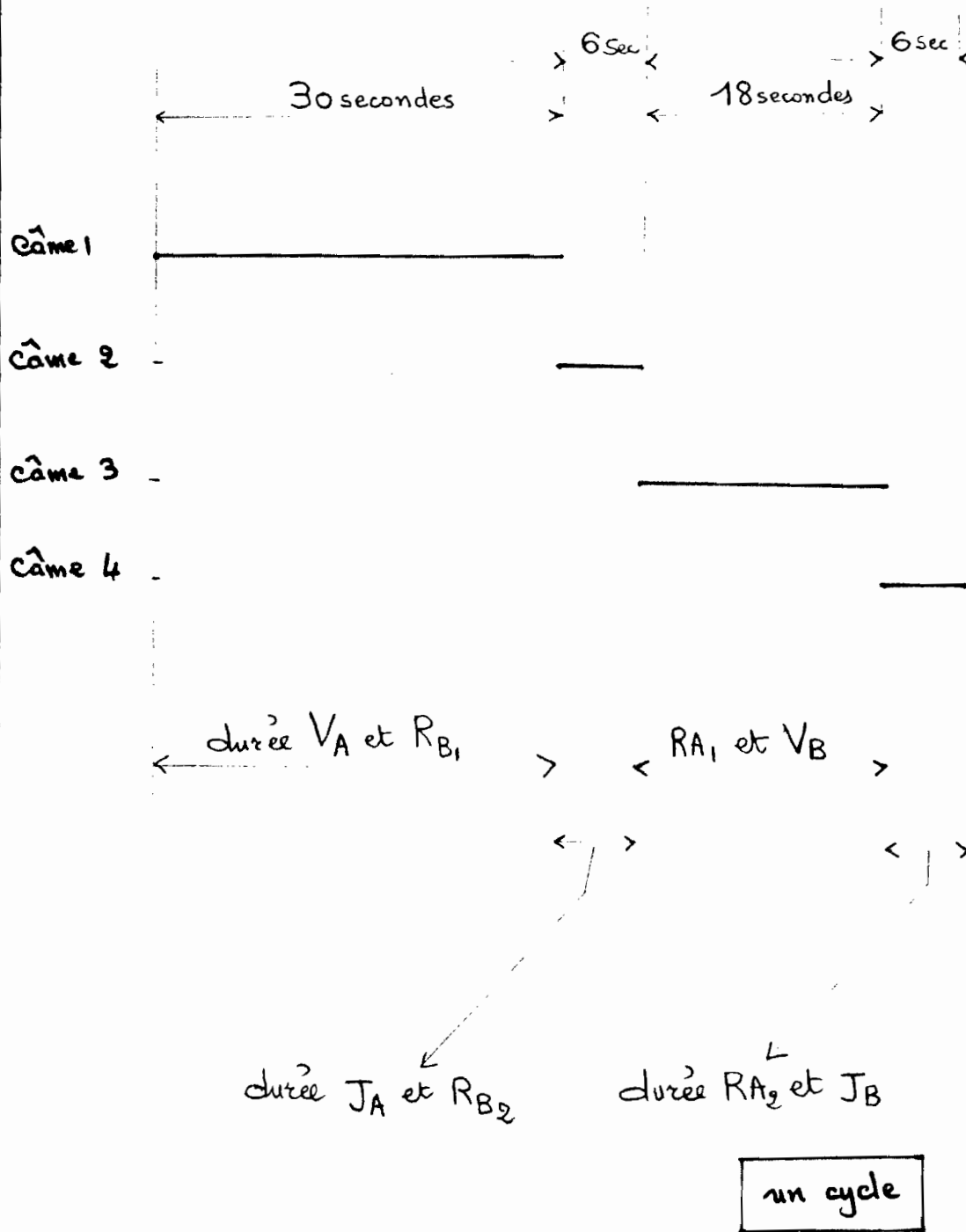
$F_{jointive} = \text{correction pose jointive} = 1$

verification  $I_{adm2} \times F_{ch} \times F_j = 9 \times 0,71 = 6,39 > I_N$

Tab 52 D → section  $0,65 \text{ mm}^2$



# Séquence obtenue



Tab page 84  
section  $0,65 \text{ mm}^2$  }  $\rightarrow$  19 AWG (Tab 9A)

le choix sera donc de :

1C - 2C - 19 AWG - PVC

qui signifie 1 câble - 2 conducteurs - d'une section correspondant à 19 de la norme AWG et d'une isolation au PVC (polychlorure de vinyle) .

Chute de tension

Impédance du câble choisi .

$$\left. \begin{array}{l} Z = 0,813 \Omega \\ R = 0,811 \Omega \\ X = 0,0577 \Omega \end{array} \right\} \text{ pour } 300 \text{ mètres}$$

$$\text{chute de tension} = \Delta U = I_N (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$$\left. \begin{array}{l} \cos \theta = 1 \\ \sin \theta = 0 \end{array} \right\} \text{ pour charge d'éclairage}$$

$$\text{donc } \Delta U = I_N (R \times 1 + 0) = R I_N$$

$$R = \frac{0,811}{300} \times 500 = 1,35 \Omega \text{ pour } 500 \text{ mètres}$$

$$\text{donc : } \Delta U = 1,35 \times 4,6 = 6,2 \text{ Volts}$$

$$\text{donc } \frac{\Delta U}{U} = \frac{6,2}{220} = 2,8\% \text{ chute tolérable}$$

## Conclusion

Nous avons réalisé notre design d'un système électro-mécanique capable de contrôler la séquence des feux Vert, Jaune, Rouge d'un carrefour.

Deux premières solutions électromécaniques ont permis de mettre en évidence la simplicité et l'économie réalisées dans la solution électromécanique utilisant les combinatoires à cames.

Nous avons obtenu 4 cames qui agissent sur des contacts électriques et ces contacts allument directement les feux Vert, Jaune, Rouge suivant la séquence et la durée imposées.

Ces cames sont fixées sur un arbre à l'aide de deux clavettes par came et l'arbre tourne à la vitesse de 1 Tour/60 seconds entraîné par un moto-réducteur de 5 Watts ce qui a pour effet d'obtenir un bon couple d'action.

Nous avons utilisé des coussinets à la place de roulements pour des raisons économiques et la faible vitesse de rotation. En somme le but est atteint mais néanmoins la partie discussions fera sortir le vrai visage de la solution.

## Discussion

Note Design est dans la réalité la brigue d'un problème plus complexe car c'est quelques fois nécessaire de varier la durée des séquences au cours de la journée pour répondre aux exigences des heures de pointe, de déviations de voies et de circonstances où il faut laisser clignoter le jaune sur les deux voies aux heures de circulation rare ; il arrive parfois que l'on munisse le dispositif d'une sonde qui permet de détecter l'arrivée de voitures et commander ainsi les séquences -

La collecte de données a été le plus fastidieux car il faut savoir apprécier les sollicitations qui entrent en jeu sans trop les minimiser ni trop les maximiser pour avoir un design fiable, sécuritaire et économique ; ce qui explique le choix d'un facteur de frottement de  $f=0,4$  entre cône et lames de contacts électriques en aluminium ; le choix de clavettes en acier UNS G10200 laminé à froid qui sont résistantes.

Un autre problème soulevé est celui de clignotements possibles



quand les cames lâchent ou attaquent les contacts électriques mais ce problème est facilement résolu par le chevauchement des angles de contacts des cames ce qui a pour effets d'allonger un peu les temps de contact des cames sur les lames flexibles d'aluminium.

L'alliage utilisé pour faire l'arbre présente une bonne limite élastique et une bonne dureté Brinell :

$S_y = 344,5 \text{ MPa}$  et  $H_B = 120$  ce qui contribue à minimiser la flèche au centre de l'arbre permettant ainsi d'augmenter la fiabilité.

Je souligne que le sujet peut-être traité électroniquement avec l'utilisation de techniques digitales ce qui paraît faisable si les séquences étaient plus complexes ; toutefois pour notre sujet l'utilisation d'une solution électronique serait plus coûteuse.

L'utilisation de deux clavets par came relève de la nécessité d'avoir les cames bien fixées au moment où elles attaquent les lames flexibles et c'est pour faciliter le contact que l'on a aménagé l'angle  $\alpha$  sur l'aile gauche et droite d'attaque de la came et les problèmes d'accrochage sont résolus du coup.

# Bibliographie

J. E. SHIGLEY Mechanical Engineering Design  
third edition  
page 265, 266, 506, 393, 657

C. H. JENSEN Dessin industriel  
3<sup>ème</sup> trimestre 72  
page 427

claude POLGAR

Technique de l'emploi des relais  
3<sup>ème</sup> édition 1968  
page 296

J. GOSSOT Fabrication - technologie  
Dunod technique  
page 317