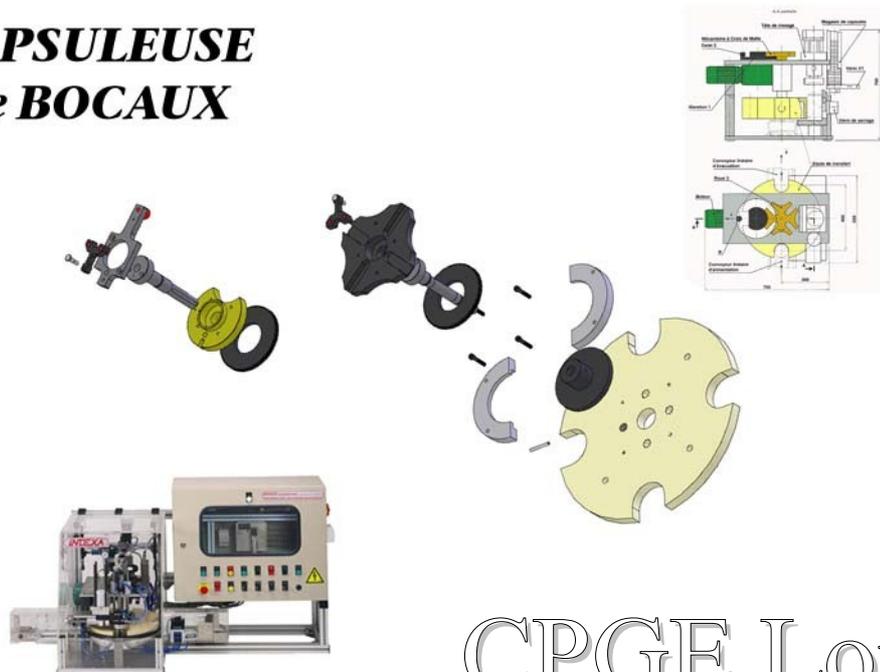


**DOSSIER**

**TECHNIQUE**

***CAPSULEUSE  
de BOCAUX***



**CPGE Loritz**

**Sciences Industrielles pour l'Ingénieur**

## SÉCURITÉ D'UTILISATION

Protecteurs fixes translucides.

Protecteurs mobiles translucides avec capteur de sécurité arrêt d'urgence au poste opérateur.

Les circuits de sécurité sont traités en logique câblée avec redondance et auto contrôle des contacts à ouverture.

Conformité à la réglementation européenne sur la sécurité des machines ( attestation de conformité fournie ).

Le soin particulier apporté à la sécurité du système permet conduire le système en toute sécurité, une excellente vision panoramique et une parfaite accessibilité aux organes.

## FICHE TECHNIQUE

Dimensions : longueur 1,8 m x largeur 0,8 m x hauteur 0,9 m.

Masse : 180 kg.

Tension d'alimentation : 230 V monophasé.

Puissance maximale : 1,2 kW

Puissance moyenne consommée : 800 W / heure en utilisation normale.

Alimentation pneumatique : 6 bars.

Consommation maximale d'air comprimé : 15 litres / minute.

Productivité : environ 600 bocaux / heure.

# MANIPULATION DU SYSTÈME

## INITIALISATION

La mise en marche de la machine nécessite une initialisation.

- ✓ Placez des bocaux vides sur le convoyeur de gauche et des capsules à l'endroit dans le magasin vertical.
- ✓ Vérifiez qu'il n'y a aucun bocal dans l'indexeur à croix de Malte.
- ✓ Déverrouillez éventuellement l'arrêt d'urgence.
- ✓ Fermez le carter mobile de protection.
- ✓ Mettez la manette du sectionneur électrique situé à droite de l'armoire électrique sur la position "ON". Le voyant blanc "sous tension" doit s'allumer.
- ✓ Appuyez sur le bouton poussoir "en service", le voyant "vert" intégré s'allume, le voyant "défaut" clignote lentement.
- ✓ Vérifiez que le commutateur "expérimentation/production" est sur "production".
- ✓ Vérifiez que le potentiomètre réglage vitesse plateau ne soit pas sur "zéro".
- ✓ Appuyez sur le bouton "initialisation" pour mettre la machine en position initiale.
- ✓ La machine est prête, le voyant "machine prête" s'allume.

## FONCTIONNEMENT AUTOMATIQUE

Après la procédure d'initialisation, on peut lancer le fonctionnement automatique :

- ✓ Placez le sélecteur "expérimentation/production" sur "production".
- ✓ Placez le sélecteur "auto/main" sur auto et appuyez sur "marche". Le convoyeur se met en route et les opérations de transfert, vissage s'effectuent automatiquement. Le voyant "marche" s'allume. L'absence de bocaux à l'entrée de l'étoile de transfert interrompt le cycle. Il reprend automatiquement à l'arrivée des bocaux. La saturation du convoyeur d'évacuation interrompt le fonctionnement du système, il repart automatiquement à l'enlèvement des bocaux.
- ✓ L'appui sur le bouton "arrêt" provoque l'arrêt en fin de cycle du système.
- ✓ Le voyant "machine prête" s'allume.

## MODE PAS À PAS

Pour évacuer le dernier bocal resté sous le poste de serrage, on utilise le mode pas à pas :

- ✓ Placez le sélecteur "auto/main" sur "main" et appuyez sur le bouton "marche".
- ✓ Le convoyeur se met en route et accumule les bocaux à l'entrée de l'étoile de transfert. Le voyant "marche" s'allume.
- ✓ Appuyez sur le bouton "main". Chaque impulsion sur ce bouton déclenche successivement une étape du cycle. Le cycle de vissage s'effectue seulement s'il y a présence d'un bocal au vissage.
- ✓ Une impulsion sur "initialisation" ramène le système à l'origine du cycle.
- ✓ L'appui sur le bouton "arrêt" provoque l'arrêt en fin de cycle du système.
- ✓ Le voyant "machine prête" s'allume.

## FONCTIONNEMENT EXPÉRIMENTAL (POUR LE LOGICIEL APPLICATIF USB)

Après la procédure d'initialisation, on peut lancer le fonctionnement expérimental :

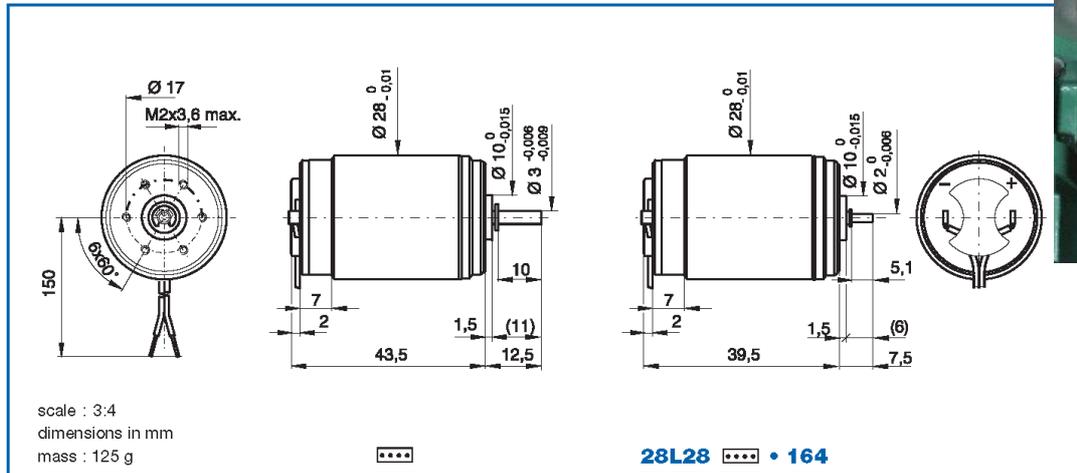
- ✓ Placez le sélecteur "expérimentation/production" sur "expérimentation".
- ✓ Placez le sélecteur "auto/main" sur auto et appuyez sur "marche".
- ✓ Le voyant "machine prête" s'allume.

# DYNAMO TACHYMÉTRIQUE 28L28-413E.49

**escap**

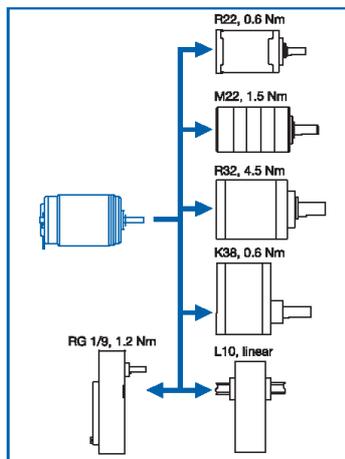
Precious metal commutation system - 9 segments

D.C. Motor

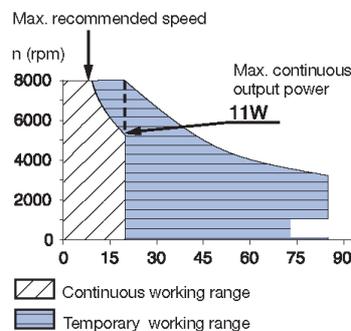


Winding types		<b>-219P</b>	<b>-219</b>	<b>-416E</b>	<b>-413E</b>	<b>-410E</b>
<b>Measured values</b>						
1 Measuring voltage	V	6.0	12.0	24.0	28.0	36.0
2 No-load speed	rpm	5300	5300	5600	5300	5000
3 Stall torque	mNm (oz-in)	43 (6.08)	43 (6.11)	50 (7.08)	42 (5.96)	34 (4.87)
4 Average no-load current	mA	44.0	22.0	11.0	8.8	6.6
5 Typical starting voltage	V	0.05	0.10	0.15	0.20	0.40
<b>Max. recommended values</b>						
6 Max. continuous current	A	1.50	0.95	0.53	0.40	0.28
7 Max. continuous torque	mNm (oz-in)	15.5 (2.20)	19.9 (2.82)	21.0 (2.97)	19.7 (2.78)	18.3 (2.58)
8 Max. angular acceleration	10 <sup>3</sup> rad/s <sup>2</sup>	48	48	30	36	41
<b>Intrinsic parameters</b>						
9 Back-EMF constant	V/1000 rpm	1.12	2.24	4.26	5.20	7.10
10 Torque constant	mNm/A (oz-in/A)	10.7 (1.51)	21.4 (3.03)	40.7 (5.76)	49.7 (7.03)	67.8 (9.60)
11 Terminal resistance	ohm	1.49	5.95	19.5	33.0	71.0
12 Motor regulation R/k <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> Nms	13	13	12	13	15
13 Rotor inductance	mH	0.10	0.50	2.40	3.20	5.20
14 Rotor inertia	kgm <sup>2</sup> · 10 <sup>-7</sup>	10.40	10.40	17.50	13.50	11.00
15 Mechanical time constant	ms	14	14	21	18	17

Availability: see enclosed document at the end of the catalogue



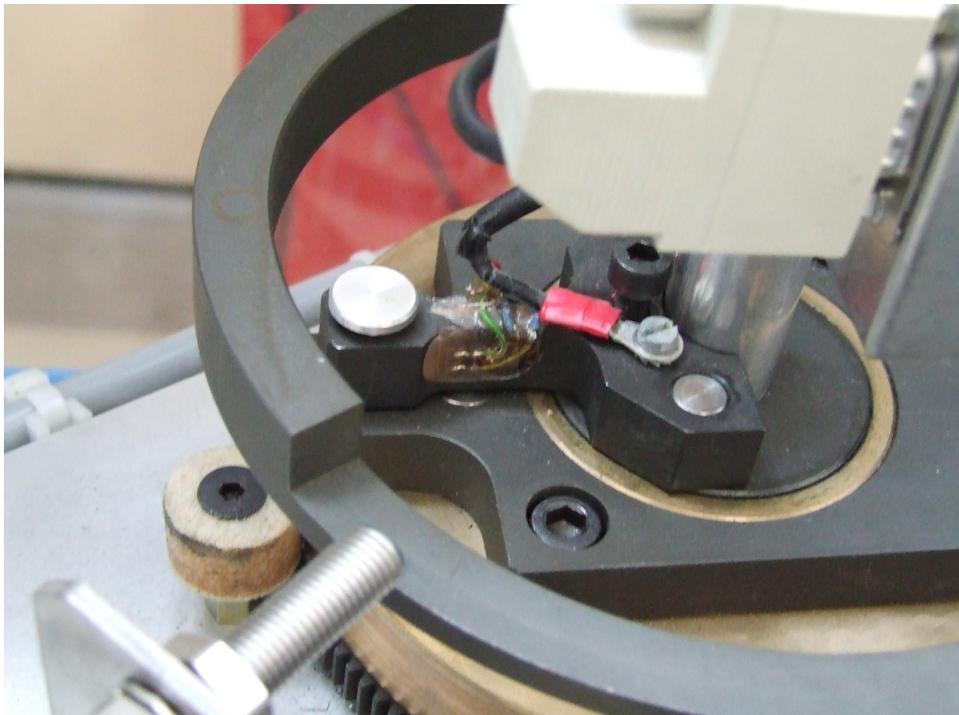
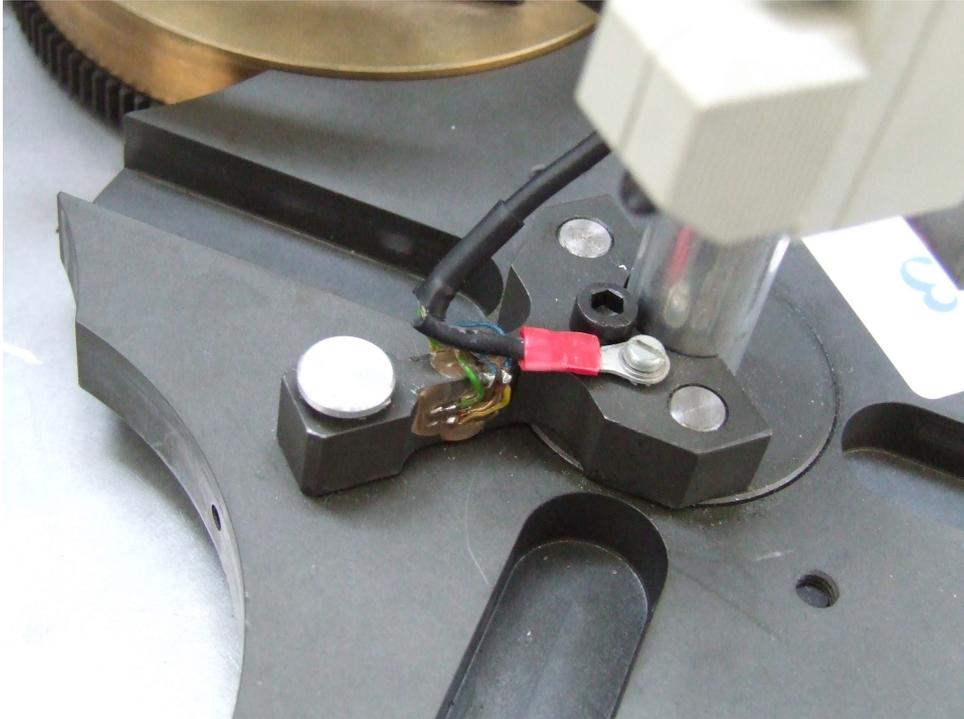
- Thermal resistance :  
rotor-body 5 °C/W  
body-ambient 12 °C/W
- Thermal time constant - rotor / stator :  
20 s / 760 s
- Max. rated coil temperature : 100°C (210°F)
- Recom. ambient temperature range :  
-30 °C to +65 °C (-22 °F to +150 °F)
- Viscous damping constant :  
0.5 x 10<sup>-6</sup> Nms
- Max. axial static force for press-fit : 150 N
- End play : ≤ 150 µm  
Radial play : ≤ 18 µm  
Shaft runout : ≤ 10 µm
- Max. side load at 5 mm from mounting face  
- sleeve bearings 6 N  
- ball bearings 8 N
- Motor fitted with sleeve bearings (ball bearings optional)



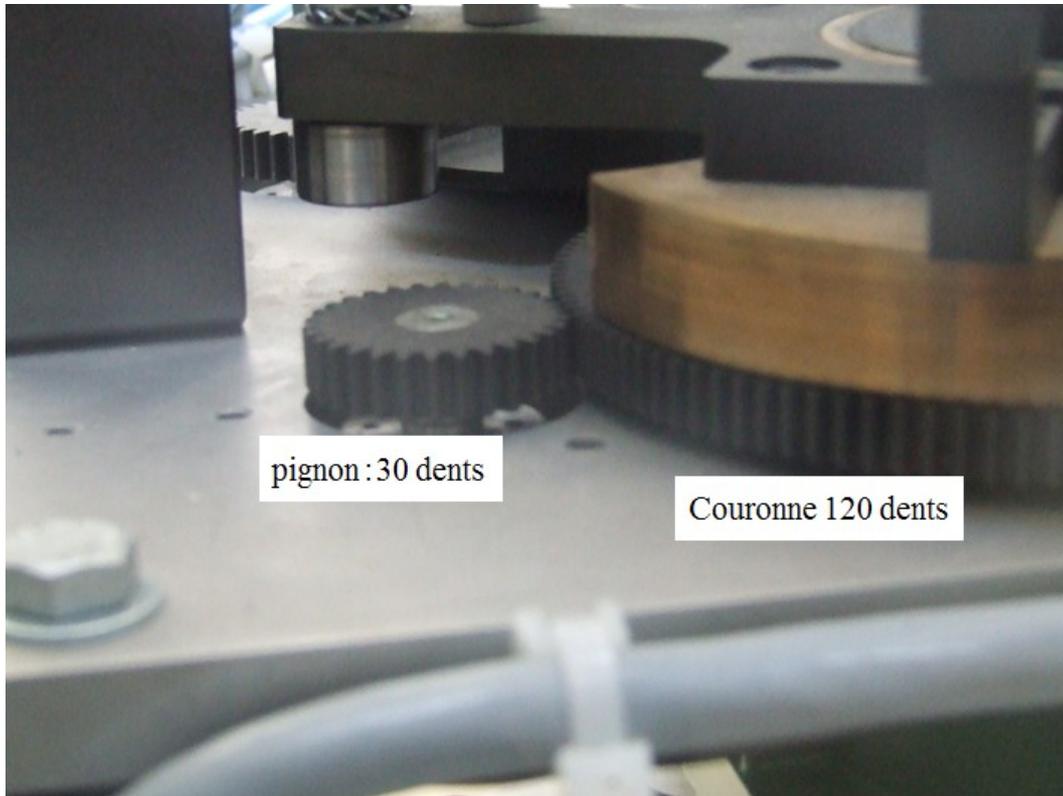
Specifications subject to change without prior notice

© API Portescap

## LES JAUGES DE DÉFORMATION MESURE DU COUPLE



# RÉDUCTEUR AU NIVEAU DES DYNAMOS TACHIMÉTRIQUES



# MOTO RÉDUCTEUR

## CARACTÉRISTIQUES D'UN MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASÉ :

Moteur robuste, fiable, sans entretien et économique.

Alimentation :

- x Soit directement par un réseau triphasé pour les applications à vitesse constante.
- x Soit par l'intermédiaire d'un variateur de vitesse, lui même alimenté :
  - ✓ soit par un réseau monophasé pour les applications de faible puissance.
  - ✓ Soit par un réseau triphasé.

Le rotor de ce moteur "glisse" par rapport au champ tournant (vitesse de rotation du rotor différente de la vitesse du champ tournant) d'où son nom "asynchrone"

Plus le couple à fournir est important plus le moteur ralentit.

La variation de vitesse nominale du moteur s'obtient en faisant varier la fréquence de la tension d'alimentation.

## CARACTÉRISTIQUE EXTERNE (COUPLE/FRÉQUENCE)

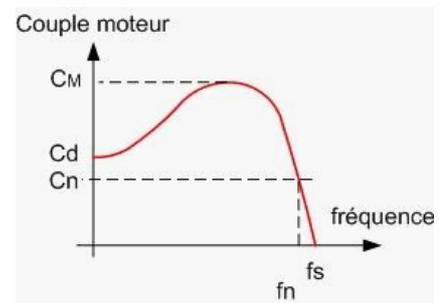
$C_n$  : couple nominal

$C_d$  : couple de démarrage

$C_M$  : couple maximal

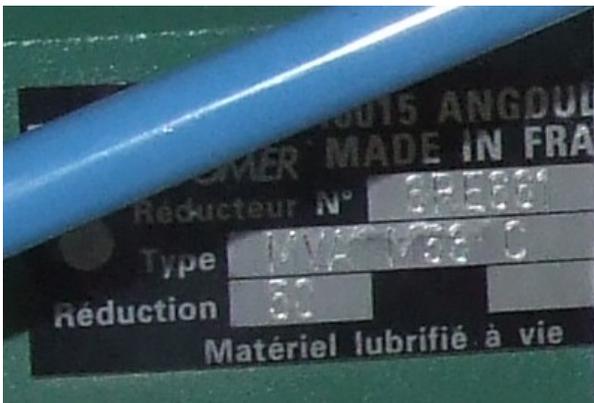
$f_s$  : fréquence de synchronisme

$f_n$  : fréquence nominale



$C_n$ ,  $f_n$  et  $f_s$  sont disponibles sur la plaque signalétique du moteur

Dans la zone utile ( $C_m$  inférieur ou égal à la valeur maximum), la caractéristique est linéaire, ce qui permet en connaissant la vitesse du moteur de déterminer le couple moteur.



Copie Plaque Moteur  
 LEROY SOMMER N°770148  
 Mot 3 ~ LS63 FMC  
 IP 22 I C I F 40°C

V	Hz	tr/min	kW	cosφ	A
Δ 230	50	1395	0.18	0.67	1.15
Y 380-400	50	1375	0.18	0.62	0.62
Y 415	50	1400	0.18	0.60	0.7
Y 440-460	50	1675	0.22	0.65	0.65

Rapport de réduction du réducteur roue/vis sans fin : 1/50

# MOTEUR ASYNCHROME

## CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

**4**  
Pôles  
1500 min<sup>-1</sup>

**IP 55**  
**Cl. F - ΔT 80 K**  
**MULTI-TENSION**

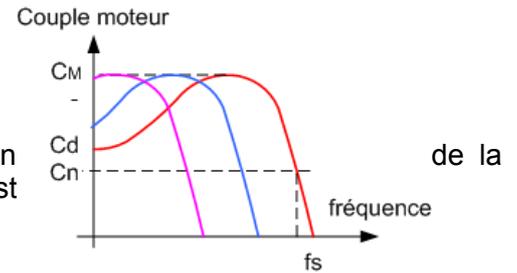
RESEAU Δ 230 / Y 400 V ou Δ 400 V 50 Hz

Type	Puissance nominale à 50 Hz	Vitesse nominale	Intensité nominale	*Facteur de puissance	* Rendement	Courant démarrage / Courant nominal	Couple démarrage / Couple nominal	Couple maximal / Couple nominal	** Courbe de couple	Moment d'inertie	Masse
	$P_N$ kW	$N_N$ min <sup>-1</sup>	$I_N(400V)$ A	$\cos \varphi$	$\eta$	$I_D / I_N$	$M_D / M_N$	$M_M / M_N$	$N^\circ$	$J$ kg.m <sup>2</sup>	IM B3 kg
LS 56 L	0.09	1370	0.36	0.7	55	2.9	2	2.2	2	0.00025	4
LS 63 E	0.12	1375	0.44	0.77	56	3	2.2	2.2	2	0.00035	4.8
LS 63 E	0.18	1410	0.62	0.75	63	3.7	2.3	2.3	2	0.000475	5
LS 71 L	0.25	1435	0.7	0.74	70	4.6	2.3	2.7	2	0.000675	6.4
LS 71 L	0.37	1425	1.12	0.7	70	4.4	2.3	2.6	2	0.00085	7.3
LS 71 L	0.55	1390	1.65	0.75	66	3.7	1.9	2.2	2	0.0011	8.3
LS 80 L	0.55	1400	1.6	0.74	68	4.4	2.1	2.2	3	0.0013	9
LS 80 L	0.75	1400	2	0.77	69	4.5	2.4	2.5	3	0.0018	10.5
LS 80 L	0.9	1425	2.3	0.73	73	5.7	2.6	3.8	2	0.0024	11.5
LS 90 S	1.1	1415	2.7	0.79	75	5.2	2.1	2.6	3	0.0032	14
LS 90 L	1.5	1420	3.5	0.79	78	5.9	2.8	3	2	0.0039	15
LS 90 L	1.8	1410	4.1	0.82	79	5.7	2.5	2.6	2	0.0049	17
LS 100 L	2.2	1430	5.1	0.81	75	5.3	1.9	2.4	3	0.0039	19.5
LS 100 L	3	1420	7.2	0.78	77	5.1	2.3	2.5	3	0.0051	22
LS 112 M	4	1425	9.1	0.79	80	5.7	2.4	2.6	2	0.0071	26
LS 132 S	5.5	1430	11.9	0.82	82	6.3	2.4	2.5	3	0.0177	39
LS 132 M	7.5	1450	15.2	0.84	84	7.7	2.7	3.1	2	0.0334	56
LS 132 M	9	1450	18.4	0.83	85	7.8	3	3.4	1	0.0385	62
LS 160 M	11	1450	21.3	0.85	87.8	5.6	2.1	2.5	8	0.054	80
LS 160 L	15	1455	28.6	0.85	89.1	6.5	2.7	2.8	8	0.073	97
LS 180 MT	18.5	1455	35.1	0.85	89.6	6.7	2.8	2.9	8	0.089	113
LS 180 L	22	1460	41.7	0.85	89.7	6.3	2.6	2.7	8	0.122	135
LS 200 LT	30	1460	55	0.87	90.5	6.6	2.7	2.6	8	0.151	170
LS 225 ST	37	1475	67	0.86	92.7	6.8	2.4	2.6	8	0.23	205
LS 225 MR	45	1470	81	0.86	92.8	6.5	2.8	2.6	8	0.28	235
LS 250 MP	55	1480	99	0.85	94.1	6.7	2.6	2.5	8	0.75	340
LS 280 SP	75	1480	135	0.85	94.1	6.9	2.6	2.7	8	1.28	445
LS 280 MP	90	1480	162	0.85	94.6	7.6	2.9	2.9	8	1.45	490
LS 315 ST	110	1490	193	0.86	95.5	7.8	2.9	2.8	8	2.74	720
LS 315 MR	132	1485	234	0.85	95.6	7.3	2.8	2.5	8	2.95	785
LS 315 MR	160	1485	276	0.87	96.1	8.4	3.0	3.3	8	3.37	855

# CARACTÉRISTIQUE DU VARIATEUR

## INFLUENCE DU VARIATEUR DE VITESSE

Si le variateur fonctionne à  $v/f$  constant, il n'y a pas de modification caractéristique de couple, seule la fréquence de synchronisme est déplacée, la pente de la caractéristique reste la même.



pour notre moteur, à  $n=1500$  tr/min,  $C=0$  N.m, à  $1410$  tr/min,  $C=1,22$  N.m

$$C = 20.53 - 0,013556 n$$

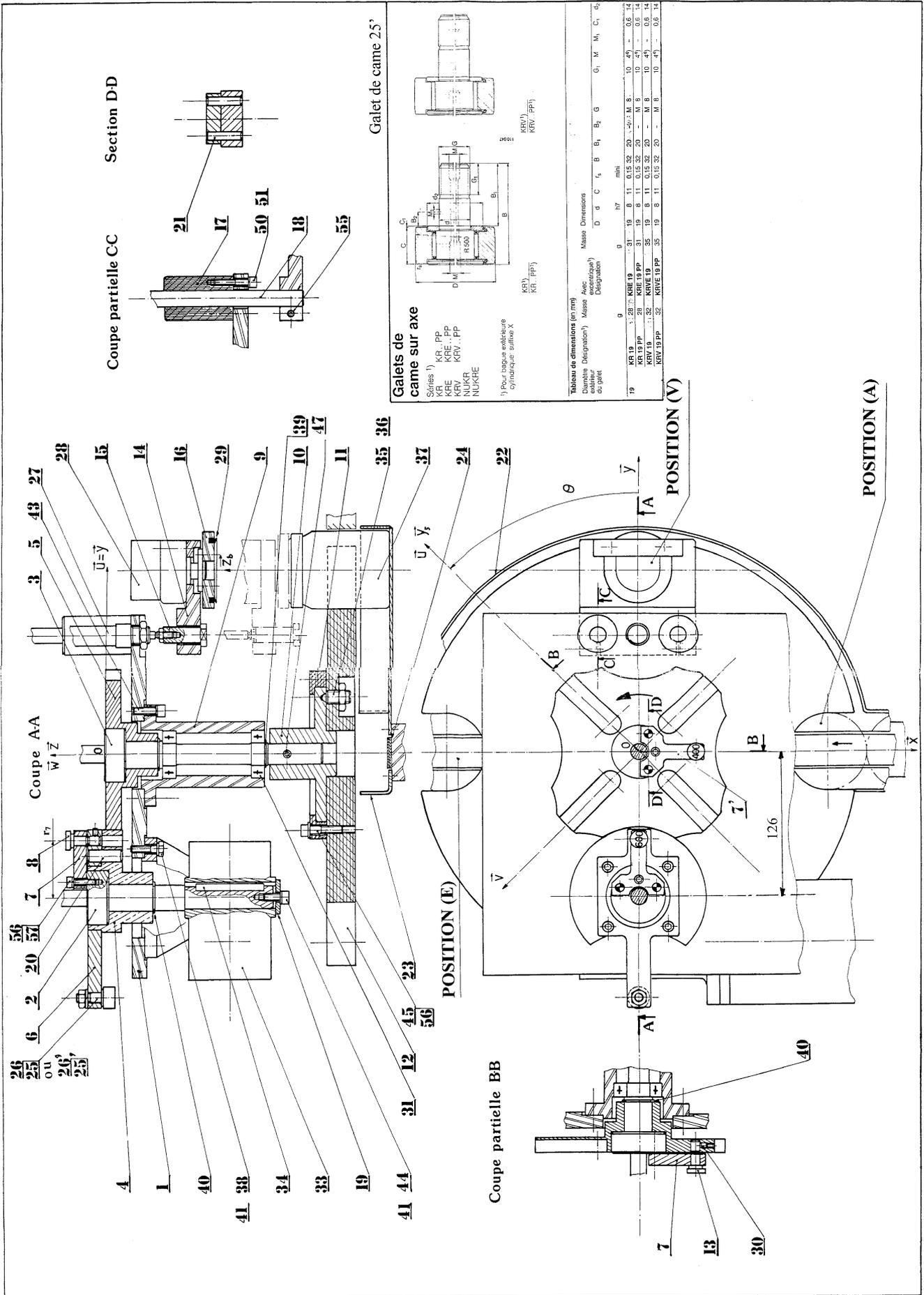
### Exemple

Consigne	5V
Fréquence de sortie du variateur (à lire sur la face avant du variateur)	25,2 Hz (756 t/min)
Vitesse moteur : déterminée à l'aide d'un tachymètre placé devant l'orifice de ventilation du moteur	734 t/min
Période de rotation du plateau (mesurée au chronomètre)	4,07s
Le glissement du moteur	0,029 2,9%

A partir des caractéristiques du moteur et des mesures précédentes, on peut évaluer l'état de charge du moteur

$$C = 10.29 - 0,013556 n$$

# DESSIN D'ENSEMBLE



# NOMENCLATURE

57	2	Vis Chc M5*25		
56	6	Rondelle M 5 U		
51	8	Rondelle W 5		
50	8	Vis Chc M5*30		
45	4	Vis Chc M6*40		
44	1	Vis Chc M6*25		
43	4	Vis Chc M6 40		
41	5	Rondelle W6		
40	2	Circlips ext diam. 24		
39	1	Circlips ext diam. 20		
38	4	Vis H M6*20		
37		Bocal		
36	4	Ecrou Hm M12		
35	4	Poussoir à billes 32.011.12		Maurin
34	1	Clavette		
33	1	Motoréducteur 0.18 kW 50 tr/min Ref MVA.M53C.50.2S;63FMC		Leroy Somer
30	2	Vis Hc bout plat M4*6		
29	1	Joint d'aspiration V Ring V50		SKF Equ.
28	1	Vérin rotatif DSRL 16.180 P.FW		Festo
27	4	Vis Chc M8*20		
26	5	Rondelle W8		
25'	1	Galet de came (Solution 2)		INA
25	1	Doigt (Solution 1)		
24	1	Courroie		SIEGLING
23	1	Guide Intérieur	X8Cr17	
22	1	Guide extérieur	X8Cr17	
21	2	Pion d'entraînement	Stub	
20	1	Doigt d'entraînement	Stub	
19	1	Rondelle	C 48	
18	2	Colonne	100 Cr 6	
17	2	Bague de guidage	Delrin	
16	1	Embout de vissage	AU4G	
15	1	Embout de vérin	E 400	
14	1	Plaque porte vérin	AU4G	
13	1	Axe de cisaillement 400 N	AU4G	
12	1	Plateau	PVC	
11	1	Bride		
10	1	Moyeu	C 48	
9	1	Palier		
8	1	Axe de cisaillement 600 N	AU4G	
7'	1	Bras de couple sortie		
7	1	Bras de couple entrée	C 48	
6	1	Maneton	E 400	
5	1	Croix de Malte	C 70	
4	4	Came d'indexage	CuSn16Pb9	
3	1	Arbre de sortie	C 48	
2	1	Arbre d'entrée	C 48	
1	1	Plaque support	AU4G	
Rep	Nbre	Désignation	Matière	Observation

# ENTRÉES ET SORTIES D'AUTOMATE

## ENTRÉES

n°	fil	états	éléments de détection ou de dialogue
I0,0	13	Sous tension	contact du sectionneur
I0,1	20	En service	contact auxiliaire du relais général
I0,2	102	Tiroir sorti	détecteur de fin de course du vérin de tiroir (S1)
I0,3	103	Tiroir rentré	détecteur de fin de course du vérin de tiroir (S2)
I0,4	104	Tête en haut	détecteur fin de course vérin de tête de vissage (S3)
I0,5	105	Tête en bas	détecteur fin de course vérin de tête de vissage (S4)
I0,6	106	Tête dévissée	
I0,7	107	Défaut vissage	
I0,8	108	Marche PC	
I0,9	109		détecteur fin de course du vérin de blocage (S7)
I0,10	110	Fronts came	détecteur inductif du bras croix de malte (S8)
I0,11	111	Bocal en entrée	
I0,12	112	Bourrage sortie	
I0,13	113	Présence vide	contact (S12)
I0,14	114	Marche	
I0,15	115	Arrêt	
I0,16	116	Main	
I0,17	117	Initialisation	
I0,18	118	Mode manuel	
I0,19	119	Mode Expérimental	
I0,20	120	Tapis en marche	contact auxiliaire relais moteur tapis
I0,21	121		bouton poussoir pupitre (BP5)
I0,22	122		contact bouton rotatif pupitre (BT3)
I0,23	123	Thermique moteur	contact relais thermique moteur de transfert (F1)

## SORTIES

n°	fil	actions	éléments d'action (préactionneurs, actionneurs)
O0,0	200	Rentrer tiroir	
O0,1	201	Sortir tiroir	
O0,2	202	Visser	
O0,3	203	Dévisser	
O0,4	204	Descendre tête	
O0,5	205	Monter tête	
O0,6	206	Bloquer bocal	
O0,7	207	Débloquer bocal	non utilisé
O0,8	208	Aspiration	électro distributeur pour ventouse (EV9)
O0,9	209	Arrêter aspiration	non utilisé
O0,10	210		relais de commande du moteur (KAMV)
O0,11	211		relais de commande du moteur (KAMT)
O0,12	212	Voyant défaut	voyant pupitre (V1)
O0,13	213	Voyant Machine prête	voyant pupitre (V2)
O0,14	214	Voyant Marche	voyant pupitre (V3)
O0,15	215	Voyant Simul A	voyant pupitre (V4)

# LES INDEXEURS

## 2,1 Définitions.

Les indexeurs sont des mécanismes qui transforment un mouvement de rotation continu en une suite de mouvements réguliers alternés avec des périodes de repos, ces mouvements pouvant être de rotation ou de translation [8].

Généralement, à un tour complet du mouvement d'entrée correspond une fraction de tour du mouvement de sortie et un temps d'arrêt élémentaire. Pendant ce temps d'arrêt, l'arbre de sortie doit être immobilisé quelles que soient les sollicitations auxquelles il est soumis : c'est la fonction *verrouillage*. Un cycle d'un indexeur est représenté sur la figure 44.

Les indexeurs ont de nombreuses applications, en particulier dans les chaînes automatiques de montage, d'embouteillage, d'emballage (où un objet doit stationner en un endroit et pendant un temps précis entre deux déplacements), dans les présentations successives d'outils sur les machines de transfert, les mécanismes d'avance de films photographiques, etc.

Les indexeurs sont caractérisés par :

- le **nombre d'indexage**  $N$ , nombre de mouvements et d'arrêts sur l'arbre de sortie pour un tour de cet arbre ; ce nombre est généralement un entier qui peut varier de 1 à une centaine au maximum ;
- la **vitesse d'indexage**, nombre de mouvements élémentaires par unité de temps, qui dépend beaucoup du dispositif entraîné et essentiellement de son inertie ; ces vitesses vont d'un mouvement en quelques secondes à plusieurs milliers par seconde (cas d'une caméra ultrarapide à très faible inertie).

## 2,2 Différents types d'indexeurs.

Les indexeurs sont réalisés à partir :

- de *roues à rochets* ou à *échappement*, dans le cas d'un mouvement lent, d'une inertie faible et d'un nombre d'indexage important ;
- d'*engrenages incomplets*, également lorsque l'inertie est très faible ; l'utilisation principale est dans les compteurs mécaniques ;
- de *mécanismes à coulisses*, essentiellement avec les Croix de Malte (§ 3,3) ;
- de *mécanismes à cames* ; ce sont les seuls qui sont réalisés en série commercialement, c'est pourquoi on leur consacrera le développement ci-après (§ 2,3) ;
- de *mécanismes divers* généralement conjuguant plusieurs des mécanismes précédents et ayant des applications spécifiques ; dans cette catégorie se rencontrent des *systèmes à arrêt bref* qui ne présentent un arrêt de l'arbre entraîné qu'en un point mais qui, autour de cette position, donnent un déplacement de cet arbre négligeable pour une rotation de quelques degrés de l'arbre moteur.

Le tableau IV donne une synthèse des principales caractéristiques des différents types d'indexeurs.

Les indexeurs à rochets et à Croix de Malte peuvent fournir facilement des mouvements de rotation ou de translation.

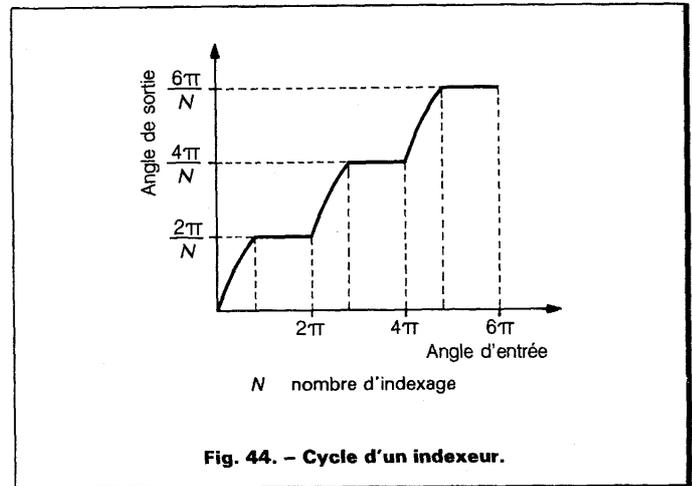


Fig. 44. - Cycle d'un indexeur.

## 2,3 Indexeurs à cames.

Ils comprennent deux parties :

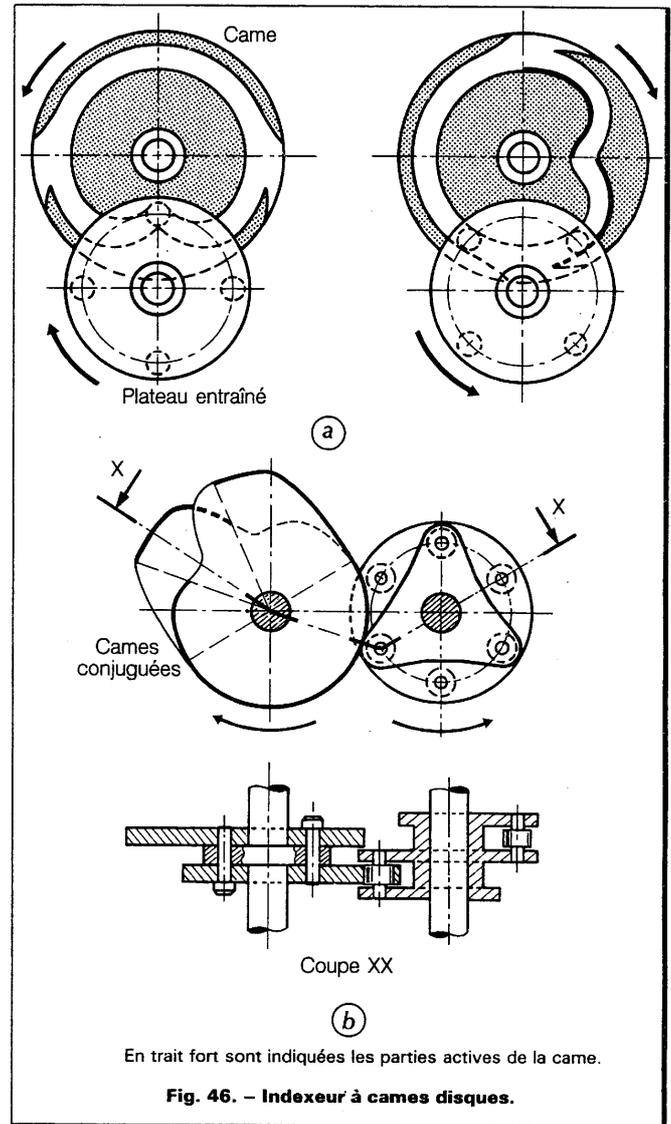
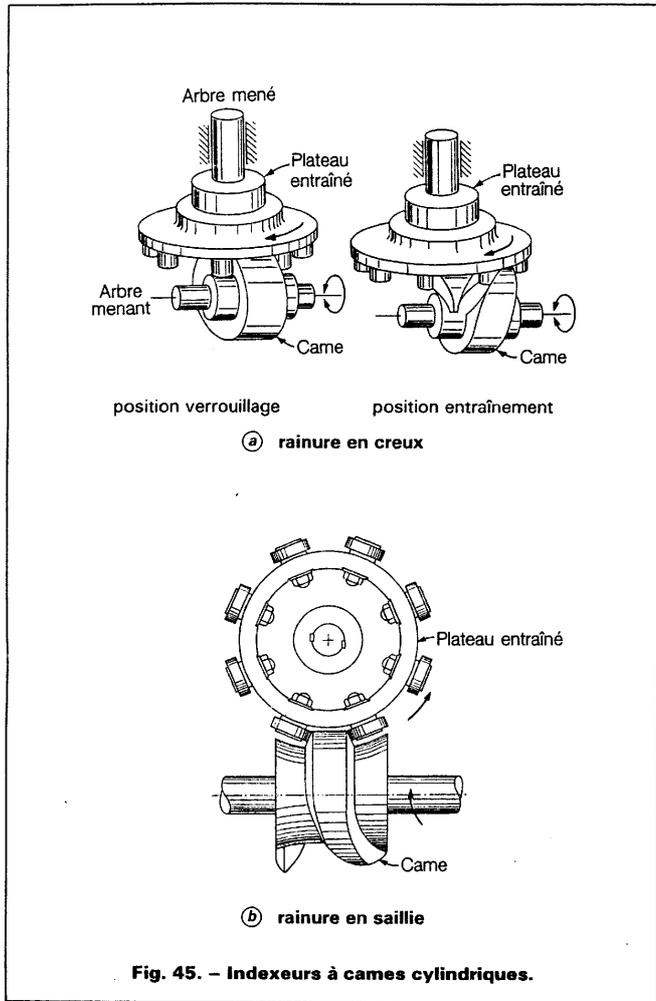
- un plateau entraîné sur lequel sont fixés plusieurs galets régulièrement répartis,
- une ou plusieurs cames d'entraînement.

Les indexeurs à cames utilisent des cames cylindriques (fig. 45) ou des cames disques (fig. 46).

Dans le *premier cas*, les arbres menant et mené sont d'axes orthogonaux. La came comporte soit une rainure en creux (fig. 45 a), soit en saillie (fig. 45 b). La rainure en saillie permet d'assurer un double contact avec deux galets consécutifs qui sont souvent montés légèrement précontraints, ce qui élimine tout jeu de fonctionnement. Cette configuration est particulièrement intéressante dans le cas de gros efforts, d'une forte inertie entraînée et d'une vitesse rapide.

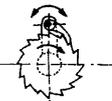
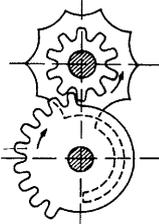
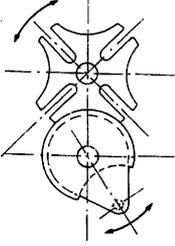
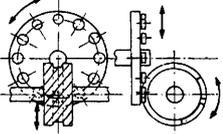
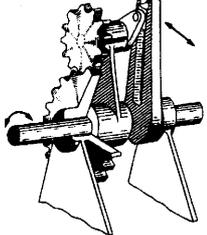
Dans le *second cas*, on utilise souvent deux cames conjuguées, ce qui permet également un double contact des galets et une élimination du jeu (fig. 46 b).

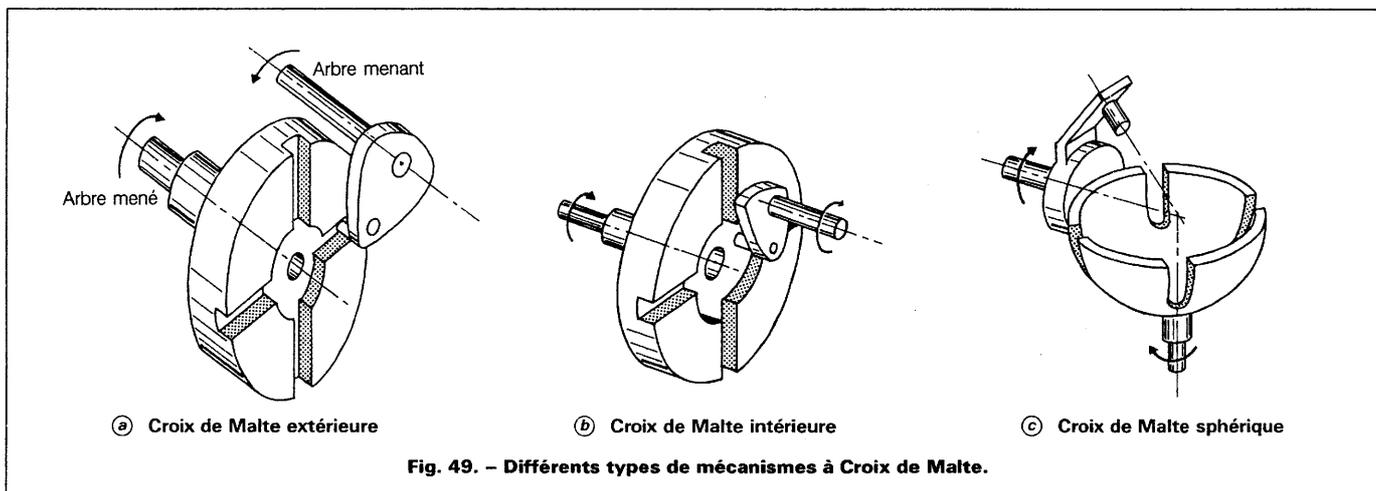
Avec les indexeurs à cames, le verrouillage est fait directement avec la partie de la came qui correspond à l'arrêt.



Les indexeurs à cames sont réalisés industriellement, avec des caractéristiques variées allant jusqu'à des vitesses d'indexage de 300 par seconde, des couples de sortie de 10000 daN.m, par différents constructeurs sous forme standard (cf. Documentation, en fin d'article). Ils permettent de résoudre de nombreux problèmes dans les meilleures conditions techniques. Seuls leurs prix sont assez élevés.

Tableau IV. – Synthèse des principaux types d'indexeurs avec leurs caractéristiques.

Type de mécanisme		Choix de la loi de mouvement	Nombre d'indexage	Vitesse d'indexage maximale	Inertie entraînée possible	Couple entraîné possible	Sens du mouvement de sortie	Verrouillage	Coût
Rochet ou Échappement	Rochet extérieur 	nul ou très faible	6 à 100	5 indexages par seconde	faible (d'autant que la vitesse d'indexage est importante)	assez élevé	uni-directionnel	nécessaire à ajouter	moyen
	Rochet intérieur 								
Engrenages		nul	1/3 à 10	10 à 20 indexages par seconde	très faible	assez faible	bi-directionnel	nécessaire à ajouter	assez élevé
Croix de Malte		nul	3 à 20	30 à 40 indexages par seconde	assez importante (si la vitesse d'indexage est faible)	élevé	bi-directionnel	nécessaire à ajouter	faible à assez faible
Came		très grand	1 à 20	jusqu'à 1000 indexages par seconde	élevée	élevé	bi-directionnel	auto-verrouillable	élevé
Divers		nul ou assez faible	1 à 20	100 indexages par seconde	moyenne	assez élevé à élevé	bi-directionnel	généralement auto-verrouillable	très variable (suivant le type)



### 3,3 MÉCANISMES À CROIX DE MALTE

Les mécanismes à Croix de Malte [8 et 9] sont des mécanismes à coulisses du type  $O_1O_2 > O_2M$  (§ 3,1).

La partie menée est constituée par un **plateau** muni de rainures radiales et la partie menante est un **maneton** qui s'engage ou se dégage suivant une normale de chacune de ces rainures. Il s'ensuit que la vitesse de la partie menée varie progressivement sans aucune discontinuité. Généralement, le plateau possède un nombre entier de rainures également espacées et le maneton ne possède qu'un galet entraîneur.

Le nombre successif de mouvements et d'arrêts dans le même sens peut être indéfini. Les angles entre deux arrêts tant sur l'organe mené que sur le menant sont respectivement constants.

#### 3,31 Différents types de mécanismes.

Il existe trois types de Croix de Malte :

– le **mécanisme à Croix de Malte extérieure** (fig. 49 a), dans lequel l'axe de rotation de l'arbre menant est extérieur au plateau. Le sens de rotation de l'arbre mené est inverse de celui du manent. L'angle de rotation du maneton correspondant au mouvement total de l'arbre mené est toujours inférieur à  $180^\circ$ ;

– le **mécanisme à Croix de Malte intérieure** (fig. 49 b), dans lequel l'axe de rotation de l'arbre menant est intérieur au plateau. Le sens de rotation de l'arbre mené est le même que celui du manent. L'angle de rotation du maneton correspondant au mouvement total de l'arbre mené est toujours supérieur à  $180^\circ$ ;

– le **mécanisme à Croix de Malte sphérique** (fig. 49 c), dans lequel les arbres sont perpendiculaires. Le système est voisin d'un système formé par deux pignons coniques ; il est très peu utilisé. L'angle de rotation du maneton correspondant au mouvement total de l'arbre mené est égal à  $180^\circ$ , ce qui conduit donc à des durées toujours égales pour le mouvement et le repos.

Les deux premiers mécanismes vont être étudiés en détail successivement ; un cas limite de ces deux types est le type *linéaire* (§ 3,36).

#### 3,32 Aspects géométrique et cinématique.

##### 3,321 Mécanisme à Croix de Malte extérieure.

On a les différentes relations suivantes (fig. 50 a) :

$$\Phi = \frac{\pi}{N}$$

$$\Theta = \pi \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{N} \right)$$

$$R_2 = R_1 \tan \frac{\pi}{N}$$

avec  $R_1$  rayon théorique du plateau,

$R_2$  rayon du maneton,

$N$  nombre d'indexage par tour du plateau ou nombre de rainures du plateau,

$\Phi$  demi-angle de rotation entre deux indexages du plateau,

$\Theta$  demi-angle de rotation moteur du maneton ;

ainsi que :

– l'entre-axe  $L$  :

$$L = \frac{R_1}{\cos \frac{\pi}{N}} = \frac{R_2}{\sin \frac{\pi}{N}}$$

– la profondeur minimale  $l$  d'une rainure :

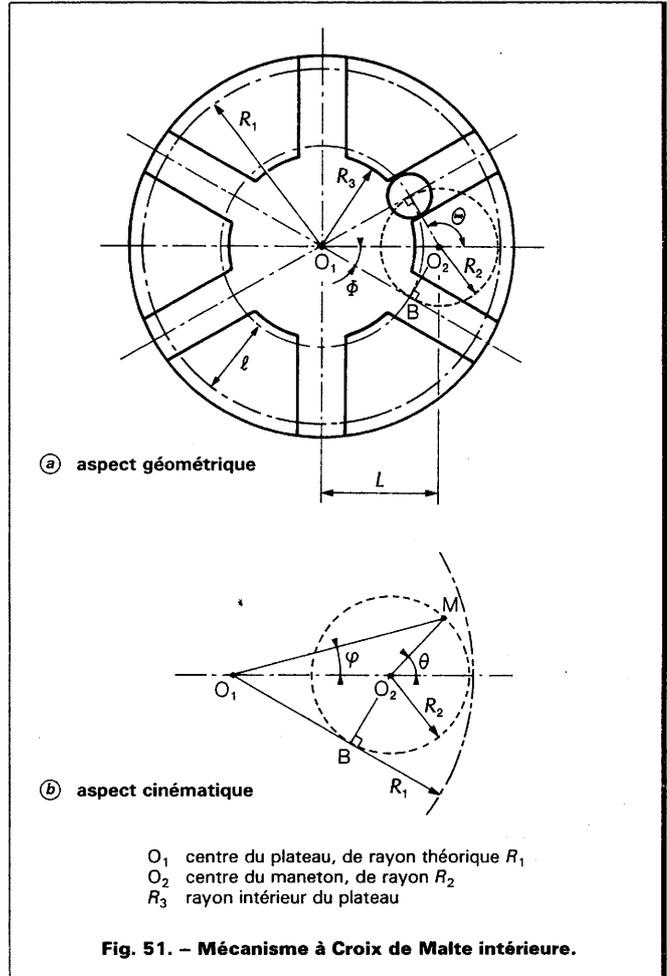
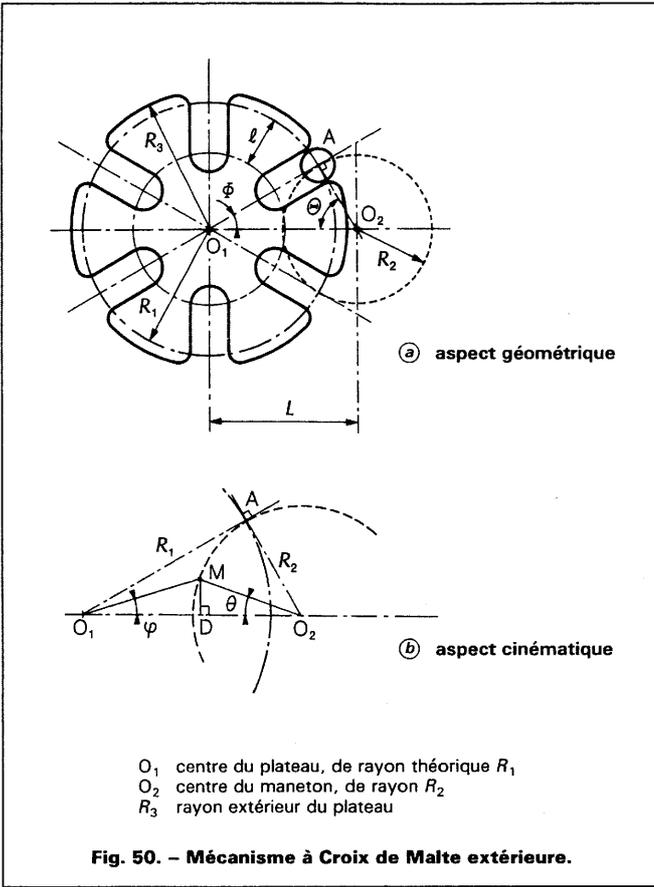
$$l = R_1 \left( 1 + \frac{\sin \frac{\pi}{N} - 1}{\cos \frac{\pi}{N}} \right)$$

– le rapport de mouvement  $q$  :

$$q = \frac{\Theta}{\Phi} = \frac{N-2}{2}$$

– la durée du mouvement  $\tau$  rapportée à la durée d'un tour de l'arbre menant :

$$\tau = \frac{2\Theta}{2\pi} = \frac{N-2}{2N} = \frac{1}{qN}$$



L'équation du mouvement (fig. 50 b) est :

$$\varphi = \arctan \frac{\sin \omega t}{a - \cos \omega t}$$

avec  $a = \frac{1}{\sin \frac{\pi}{N}}$

$\omega$  étant la vitesse angulaire de l'arbre menant (vitesse constante).

L'équation de la vitesse angulaire est donnée par :

$$\dot{\varphi} = \frac{(a \cos \omega t - 1) \omega}{a^2 - 2 a \cos \omega t + 1}$$

La vitesse maximale est obtenue pour  $\theta = \omega t = 0$ , position médiane dans la phase de mouvement. Sa valeur est :

$$\dot{\varphi}_{\max} = \frac{\omega}{a - 1}$$

L'accélération est :

$$\ddot{\varphi} = \frac{a \sin \omega t (1 - a^2) \omega^2}{(a^2 - 2 a \cos \omega t + 1)^2}$$

L'accélération au démarrage sera égale à :

$$\ddot{\varphi}_d = \tan \frac{\pi}{N} \omega^2$$

L'angle pour lequel l'accélération est maximale est :

$$\theta_{\dot{\varphi}_{\max}} = \arccos \left\{ -\frac{a^2 + 1}{4 a} + \left[ \left( \frac{a^2 + 1}{4 a} \right)^2 + 2 \right]^{1/2} \right\}$$

et l'accélération maximale vaut :

$$\ddot{\varphi}_{\max} = \frac{a \sin \theta_{\dot{\varphi}_{\max}} (1 - a^2) \omega^2}{(a^2 - 2 a \cos \theta_{\dot{\varphi}_{\max}} + 1)^2}$$

Le minimum d'accélération, qui est d'ailleurs égal à zéro, correspond à la position médiane du mouvement.

**3,322 Mécanisme à Croix de Malte intérieure.**

On a les différentes relations suivantes (fig. 51 a) :

$$\Phi = \frac{\pi}{N} \quad \Theta = \pi \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{N} \right) \quad R_2 = R_1 \frac{\sin \frac{\pi}{N}}{1 + \sin \frac{\pi}{N}}$$

ainsi que :

- l'entre-axe :

$$L = \frac{R_1}{1 + \sin \frac{\pi}{N}}$$

- la profondeur minimale d'une rainure :

$$\ell = R_2 \left( 1 - \frac{\cos \frac{\pi}{N}}{1 + \sin \frac{\pi}{N}} \right)$$

- le rapport de mouvement :

$$q = \frac{\Theta}{\Phi} = \frac{N + 2}{2}$$

- la durée du mouvement :

$$\tau = \frac{N + 2}{2 N} = \frac{1}{qN}$$

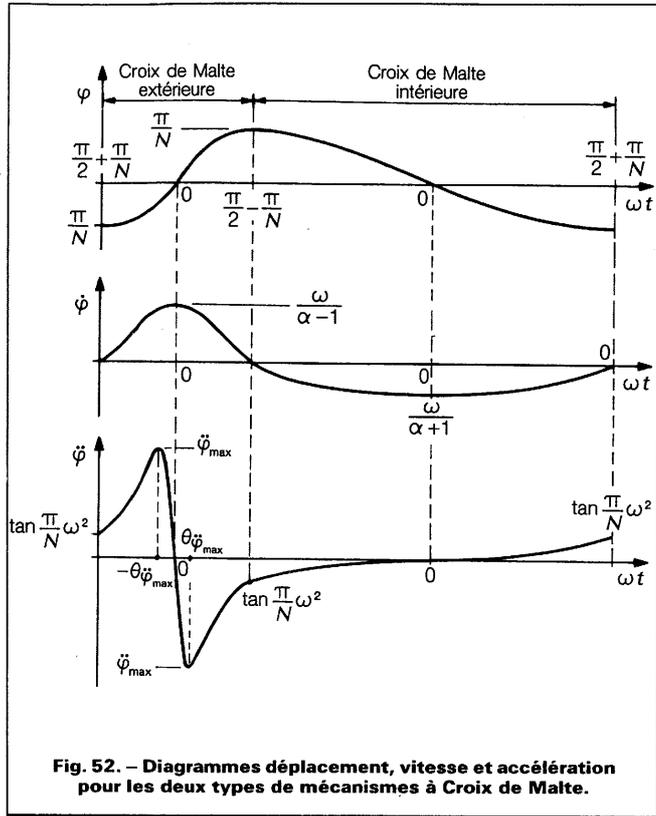


Fig. 52. – Diagrammes déplacement, vitesse et accélération pour les deux types de mécanismes à Croix de Malte.

La loi de déplacement (fig. 51 b) est donnée par :

$$\varphi = \arctan \frac{\sin \omega t}{a + \cos \omega t}$$

la loi de vitesse :

$$\dot{\varphi} = \frac{(a \cos \omega t + 1) \omega}{a^2 + 2 a \cos \omega t + 1}$$

La vitesse maximale a lieu pour la position symétrique, c'est-à-dire  $\theta = 0$ , ce maximum ayant pour valeur :

$$\dot{\varphi}_{\max} = \frac{\omega}{a + 1}$$

La loi d'accélération est :

$$\ddot{\varphi} = \frac{a \sin \omega t (1 - a^2) \omega^2}{a^2 + 2 a \cos \omega t + 1}$$

### 3,33 Aspect dynamique.

Le couple total qui peut s'exercer sur l'arbre mené d'un mécanisme à Croix de Malte résulte de la somme des deux couples suivants :

- couple  $C_i$  dû à l'inertie de toutes les parties en mouvement,
- couple dû au frottement (des arbres dans les paliers, etc.) et couple du travail fourni, soit le couple  $C_F$ .

Le couple total  $C_r$  sera alors la somme du couple variable  $C_i$  et du couple constant  $C_F$ .

Le couple résistant  $C_r$  est équilibré par le moment de la force de réaction  $F$  rainure-plateau par rapport à l'axe du plateau (fig. 53). Cette réaction est donc égale à :

$$F = \frac{C_i + C_F}{d}$$

$d$  représentant la distance du point de contact  $M$  au centre du plateau  $O$  (soit  $OM$ ).

Cette force peut elle-même être décomposée en une force normale au maneton  $F_n$  et en une force tangentielle à ce maneton  $F_t$ .

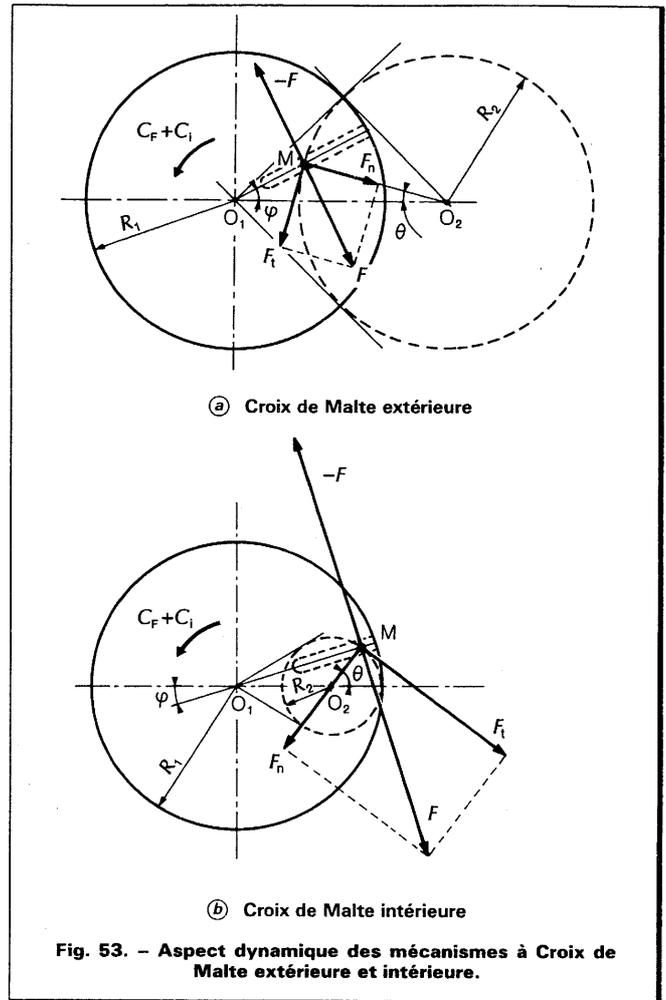


Fig. 53. – Aspect dynamique des mécanismes à Croix de Malte extérieure et intérieure.

### 3,34 Influence des jeux et des tolérances de constructions.

Deux groupes de jeux ou d'erreurs dus aux tolérances sont à considérer :

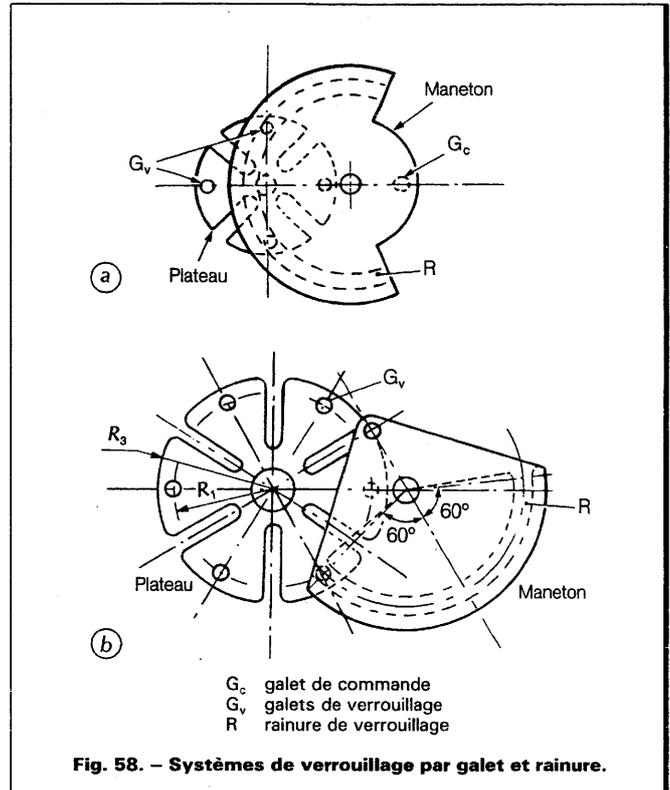
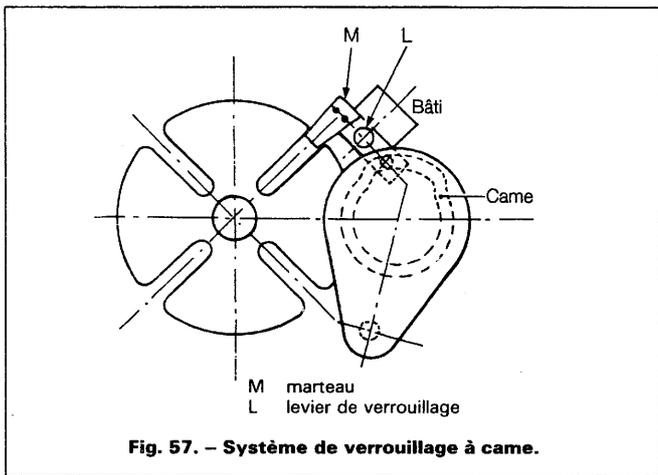
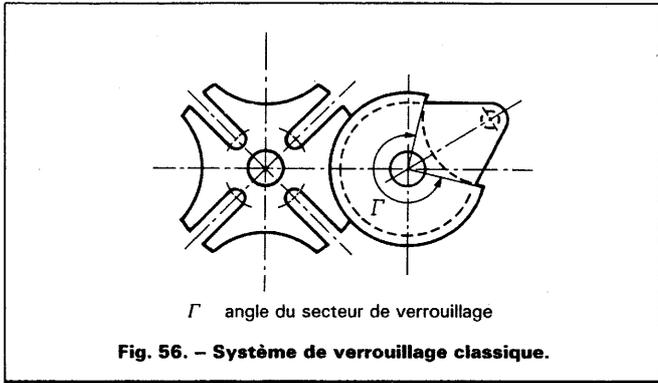
1) au niveau du galet et de la rainure se produit un déplacement de la position théorique de la rainure, par suite :

- du jeu  $j$  galet-rainure,
- de l'erreur sur la longueur du rayon du maneton  $R_2$  et sur le jeu dans le roulement, dont la somme est  $\Delta R$ ;
- 2) erreur d'entre-axe et jeu possible dans les axes plateau-maneton, soit  $\Delta L$ .

L'erreur angulaire  $\Delta\varphi$  en fin de mouvement est la plus intéressante car elle donne, en fait, la précision du mécanisme.

Les expressions de l'erreur angulaire, ainsi que de l'équation de la vitesse réelle, sont données dans le tableau V pour les deux types de mécanisme.

Si l'on remplace  $\theta$  par  $\Theta$ , valeur en fin de mouvement, les expressions qui suivent le terme  $\dot{\varphi}$  ne sont pas nulles. La vitesse du plateau, lorsque le maneton quitte la rainure, n'est donc pas tout à fait nulle ; elle est généralement faible mais cela peut conduire à des vibrations, voire des chocs, si la vitesse d'indexage dépasse quelques dizaines d'indexages par minute.



plateau: ce levier est actionné par une came solidaire du maneton. La liaison came-levier doit être biunivoque; le rappel a lieu par un ressort ou par la came elle-même.

Cette came est construite de telle manière que le marteau soit dégagé de la rainure pendant le temps du travail et engagé pendant toute la période de repos.

• **Verrouillage par galet et rainure:** il assure une continuité de liaison entre le plateau et le maneton; il constitue en fait un véritable *auto-verrouillage*. En effet, lors du mouvement, c'est le galet du maneton qui est en contact dans une rainure rectiligne du plateau; pendant le repos, c'est un galet du plateau situé entre deux rainures qui vient dans une rainure circulaire du maneton (fig. 58).

Plusieurs dispositions des galets de verrouillage peuvent être retenues:

– les galets peuvent être situés de part et d'autre de chacune des rainures, comme le montre la figure 58 a; leur nombre est alors égal à  $2N$ ;

– les galets peuvent être situés à l'intersection d'un cercle de rayon pratiquement égal au rayon  $R_1$  du plateau et des bissectrices des angles inter-rainures; il y en a alors seulement  $N$  (fig. 58 b). Pour éviter les phénomènes de matage sur les extrémités, la rainure sera prolongée un peu au-delà du secteur utile par un léger évasement,  $R_3$  étant alors le rayon de ce plateau. La figure 59 montre un verrouillage de ce type sur un mécanisme intérieur.

### 3,36 Croix de Malte linéaire.

Ce type constitue la limite commune ( $N = \infty$ ) aux Croix de Malte extérieures et intérieures.

Un tel mécanisme est constitué par une bande rectiligne munie de rainures également espacées et d'un maneton dont le centre se trouve à égale distance de deux rainures et sur la ligne joignant leurs extrémités débouchantes (fig. 60 a).

### 3,35 Verrouillage.

Le verrouillage est extrêmement important et indispensable pour les raisons suivantes:

- pendant tout le temps d'arrêt, le maneton se trouve dégagé de la rainure et le plateau est donc abandonné à lui-même, absolument libre de tourner sous l'action de sollicitations quelconques;
- lorsque le maneton se dégage, la vitesse du plateau par suite des jeux et des tolérances n'est pas rigoureusement nulle; quant à l'accélération, elle n'est pas nulle non plus.

Il est possible de concevoir une assez grande variété de verrouillages. Le plus classique contribue à donner au plateau cette ressemblance avec l'insigne des Chevaliers de Malte.

Bien qu'il soit très connu et employé, c'est un verrouillage médiocre qu'il ne faut utiliser qu'avec des vitesses, des inerties et des couples très faibles.

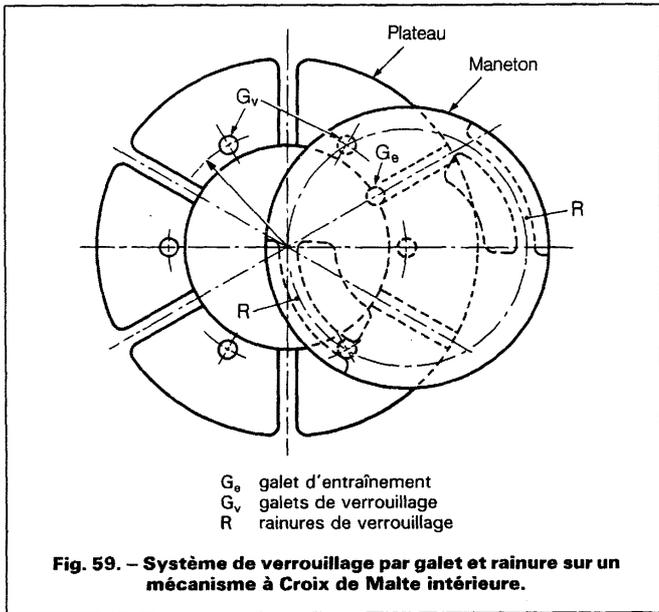
• **Verrouillage classique:** il est constitué par un secteur convexe solidaire du maneton, qui vient s'engager pendant les périodes de repos dans des encoches périphériques concaves pratiquées dans le plateau entre les différentes rainures (fig. 56).

L'angle actif du secteur de verrouillage est égal à:

$$\Gamma = 2(\pi - \theta) = \frac{\pi}{N}(N + 2)$$

En début et fin de verrouillage, le secteur n'est qu'imparfaitement engagé et le plateau est très mal maintenu en position. De plus, il y a frottement entre les deux secteurs de verrouillage.

• **Verrouillage à came:** il est constitué par un levier dont l'axe de pivotement central est fixe, solidaire du bâti (fig. 57). L'extrémité de ce levier porte un marteau pouvant venir s'engager dans une rainure du



Si  $p$  est la distance entre deux rainures et  $R_2$  le rayon du maneton :

$$p = 2 R_2$$

L'équation du mouvement est :

$$x = R_2 (1 - \cos \theta) = R_2 (1 - \cos \omega t)$$

et la vitesse est :

$$\dot{x} = R_2 \omega \sin \omega t$$

avec une vitesse maximale de  $\dot{x}_{\max} = R_2 \omega$ .

L'équation de l'accélération est :

$$\ddot{x} = R_2 \omega^2 \cos \omega t$$

avec un maximum de  $\ddot{x}_{\max} = R_2 \omega^2$ .

Les efforts sur le maneton sont :

- efforts normaux : maximaux pour l'inertie et le couple constant au démarrage ;

- efforts tangentiels : maximaux pour l'inertie à  $45^\circ$  et à  $90^\circ$  de l'origine pour le couple constant, ce qui permet d'écrire :

$$\text{au démarrage} \quad \begin{cases} F_{n \max} = F_f + M R_2 \omega^2 \\ F_{b \max} = \frac{1}{2} (\sqrt{2} F_f + M R_2 \omega^2) \end{cases}$$

$$\text{à l'arrêt} \quad \begin{cases} F_{n \max} = F_f - M R_2 \omega^2 \\ F_{t \max} = \frac{1}{2} (\sqrt{2} F_f - M R_2 \omega^2) \end{cases}$$

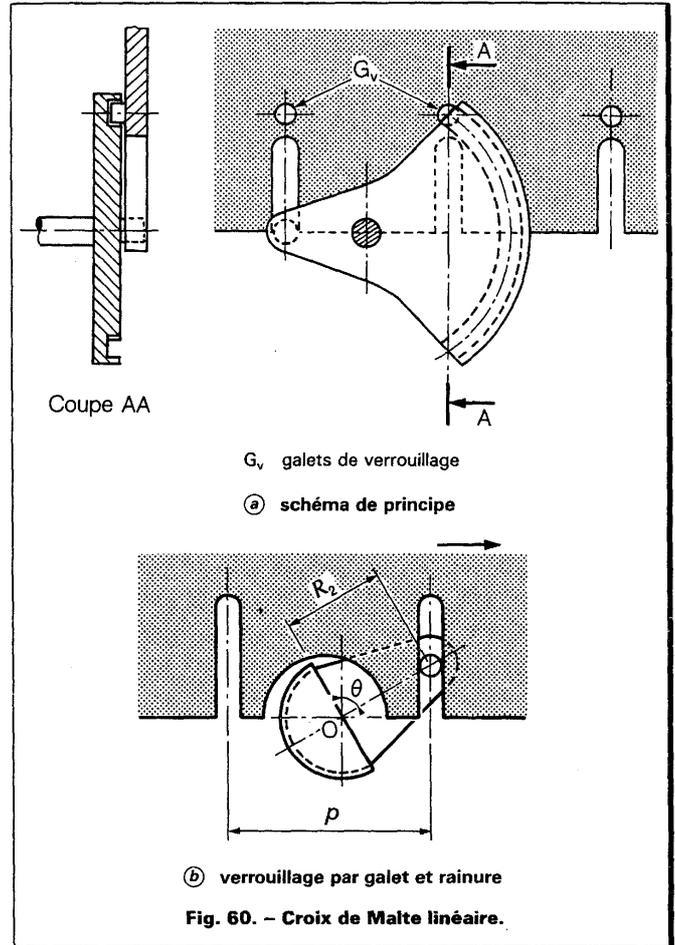
avec  $F_f$  forces constantes (frottement et travail fourni),  
 $M$  masse à déplacer.

Le verrouillage le mieux adapté est celui par galet et rainure (fig. 60 b).

### 3,37 Construction.

Les mécanismes à Croix de Malte sont simples à construire et ne font appel qu'aux tours et fraiseuses. Cependant, pour avoir un fonctionnement correct et une durée de vie importante, ils doivent être réalisés avec soin.

En particulier, si les vitesses sont assez grandes (à partir de quelques dizaines de tours par minute au maneton) et si, en plus, les inerties sont importantes, les jeux doivent être réduits le plus possible pour éviter des chocs et des vibrations par suite des alternances d'efforts. Le jeu



est le principal responsable de mauvais fonctionnement des mécanismes à Croix de Malte, avec aussi certaines tolérances de construction qui ont une importance particulière (en particulier, entraxe maneton-plateau).

Le plus souvent, le maneton est muni d'un galet à roulement qui assure l'entraînement dans la rainure du plateau. De même, les galets de verrouillage, quand cette solution est adoptée, sont montés sur roulement.

Les roulements du plateau et du maneton doivent présenter le jeu le plus faible possible. Il en est de même pour ceux du galet d'entraînement. Il est donc conseillé d'utiliser des roulements à contact oblique dont le jeu interne peut être rendu pratiquement nul.

Le jeu du galet d'entraînement dans les rainures n'excédera pas 0,05 mm et même, si possible, il sera réduit à 0,02 mm, voire 0,01 mm. On utilisera un *galet légèrement bombé* qui permet d'absorber les différents défauts et son diamètre sera suffisant pour réduire le plus possible les déformations élastiques dues au contact avec les rainures. Parfois, pour des efforts importants, il est possible de monter un *galet conique*. Les rainures auront donc une section trapézoïdale : cette solution permet de rendre le jeu galet-rainure nul en assurant une pénétration avec une légère précontrainte. Toutefois, cette solution n'est utilisée que si de grandes précisions sont nécessaires.

Les rainures doivent être parfaitement équidistantes (une tolérance de  $\pm 30'$  d'angle est courante).

La concentricité de leur point de convergence par rapport à l'axe de rotation du plateau est aussi très importante. Les extrémités de rainures recevront des prolongements pour éviter les matages et donc les jeux aux entrées et sorties, sources de vibrations et de chocs.

Les matériaux utilisés, en particulier pour le plateau, sont semblables à ceux employés pour réaliser les cames (§ 1,072).

