

Une came qui cartonne

FABIEN MELAN^[1]

En baccalauréat EDPI (Étude et Définition de Produits Industriels), les systèmes mécaniques de transformation de mouvement par cames sont rarement étudiés. C'est dommage, compte tenu du nombre de machines industrielles qui les intègrent... En voici donc un exemple d'exploitation pédagogique, extrait d'un sujet de mécanique du bac pro EDPI (session de juin 2007). Le support d'étude est une machine qui forme et empile des barquettes de fruits et légumes.

Le système support de l'étude

Suclo - X Face est une entreprise spécialisée dans la production de cartonnages pour le conditionnement de fruits et légumes. Elle met en forme les cartons de ses clients (coopératives agricoles), conçoit et fabrique ses propres machines de production et de mise en forme des cartons **1 2**.

Le système servant de support à cette étude est la BMV 15, une barquetteuse pouvant former jusqu'à 2 000 cartons à l'heure selon le format et la qualité du carton. Un opérateur alimente la machine en cartons à plat prédécoupés. Après mise en forme, les barquettes sont empilées.

La fonction globale du système est donc de former et d'empiler des barquettes **3**.

Description des postes **4**

- 1** Magasin : stock de cartons à plat prédécoupés
- 2** Margeur : alimentation du système en cartons et préformage
- 3** Table : encollage et collage des renforts
- 4** Cavité : formage final du carton pour obtenir la barquette
- 5** Empileur : évacuation des barquettes formées et empilage

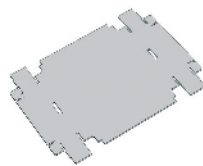
Mots-clés

cinématique, mécanique, modélisation, pédagogie, prébac

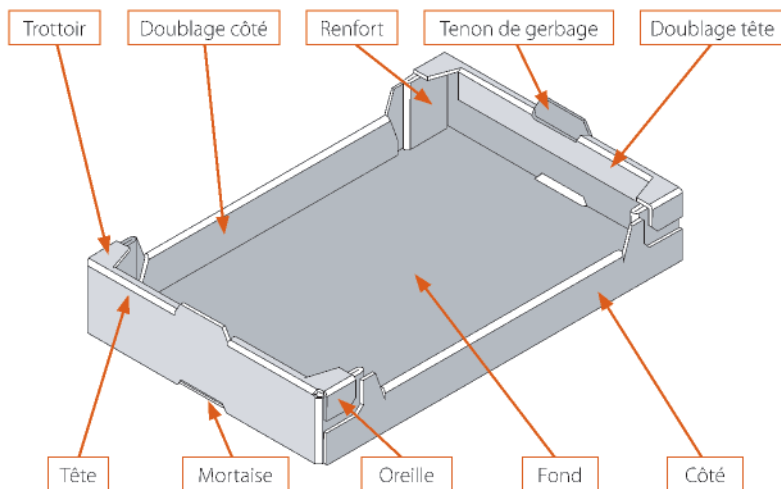
1 Les barquettes produites



Découpe à plat



2 Le vocabulaire utilisé



● Caractéristiques techniques de la barquetteuse

- Cadence : de 1 000 à 2 000 caisses/heure (selon le format et la qualité du carton)
- Tension : 380 V TRI + neutre
- Puissance installée : 10 kW
- Air comprimé : de 25 à 55 m³/h asséché et comprimé à 6 bars
- Poids total : 3,3 t

● Périmètre d'étude

L'étude porte sur le système d'alimentation en cartons à plat, le poste « margeur », où « marger » est l'action d'alimenter le système en cartons à plat tout en rabattant les renforts **3**.

Le fonctionnement du poste margeur

La particularité des machines fabriquées par Suclo - X Face tient au fait qu'un seul motovariateur est utilisé pour fournir l'énergie mécanique dont le système a besoin.

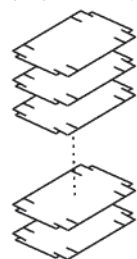
La synchronisation des différents postes est obtenue par plusieurs chaînes cinématiques constituées de renvois d'angles, chaînes à rouleaux et cames.

Le poste margeur est constitué essentiellement d'un « bras margeur » qui, muni de ventouses et animé d'un mouvement de rotation, prend un carton et vient le déposer sur le convoyeur **6**. Le mouvement de rotation du bras est obtenu par un système de transformation de mouvement à came associé à deux biellettes de commande des bras **7 8**.

Remarque : Pour la bonne compréhension du mécanisme et de son fonctionnement, tous les éléments ne sont pas représentés sur les figures, notamment la commande de rotation de la came (transmission par chaîne).

[1] Professeur de construction au lycée Jules-Raimu de Nîmes (30).

Cartons découpés à plat, prépliés et imprimés



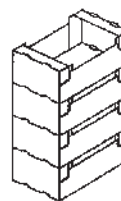
Colle en granules

Énergies électrique et pneumatique

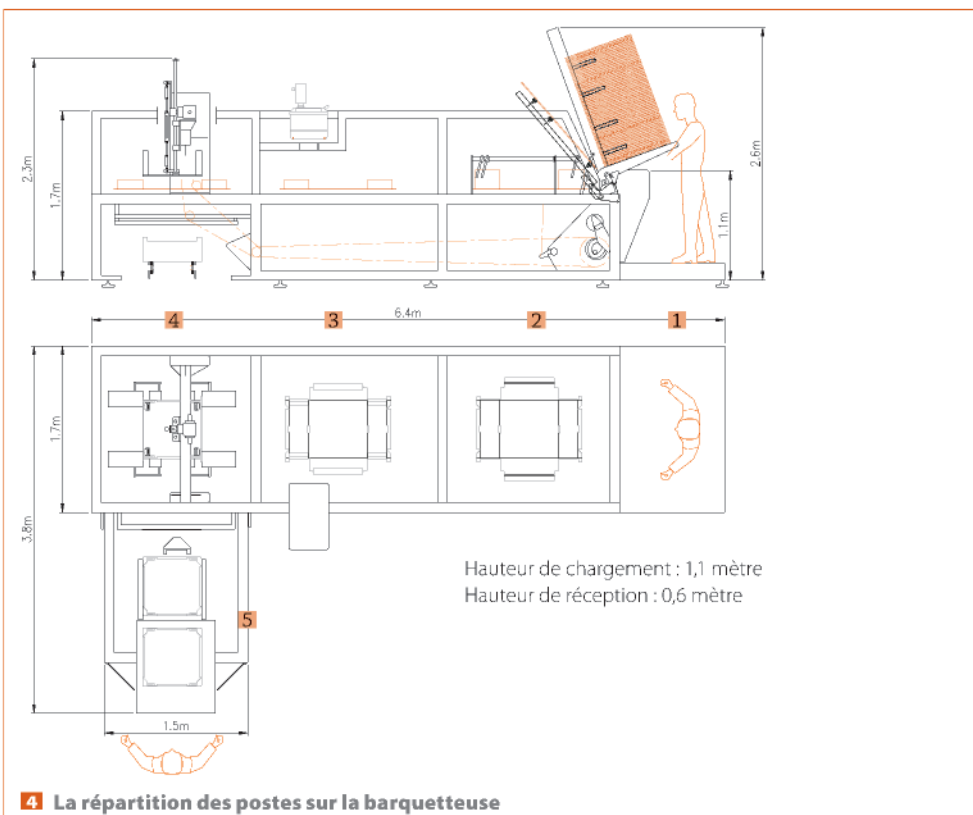
Former et empiler des barquettes

BMV 15

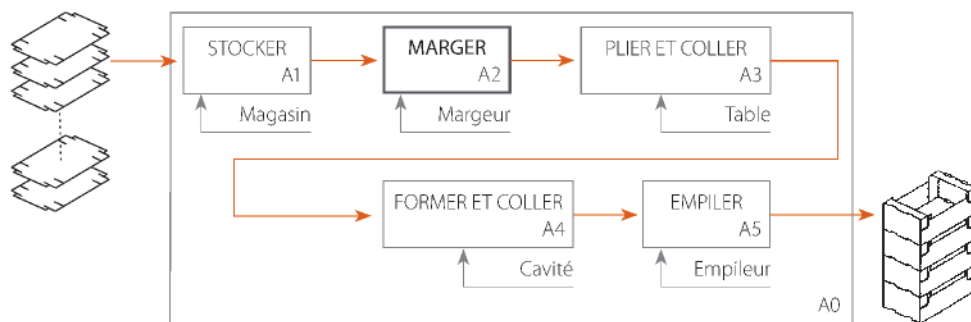
Barquettes mises en forme et empilées



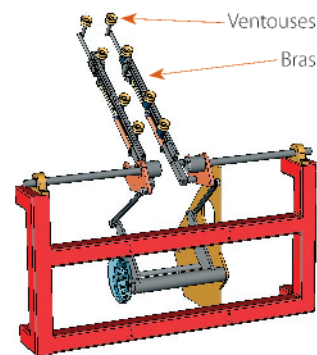
3 La fonction globale du système



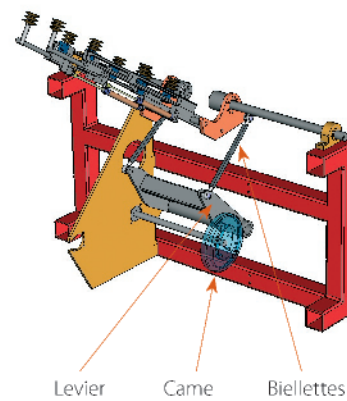
4 La répartition des postes sur la barquetteuse



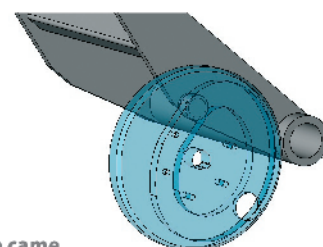
5 Le périmètre d'étude



6 Le bras margeur



7 La transformation de mouvement

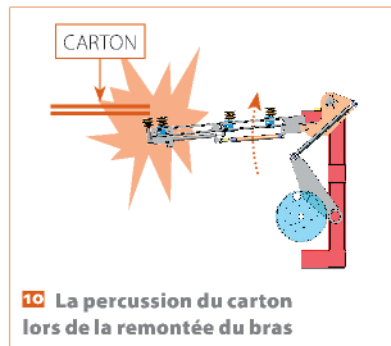


8 La came

La problématique

Pour plus de flexibilité, une modification a été faite sur le bras margeur afin de permettre l'utilisation de cartons de plus grand format : un bras télescopique associé à un vérin a été monté sur le bras ; d'abord rétracté en position basse, il se déploie en phase de remontée, permettant ainsi la saisie de cartons de plus grand format ; il se rétracte une fois le carton posé sur le convoyeur **9**.

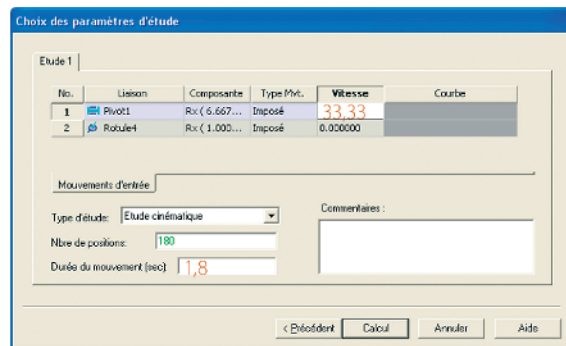
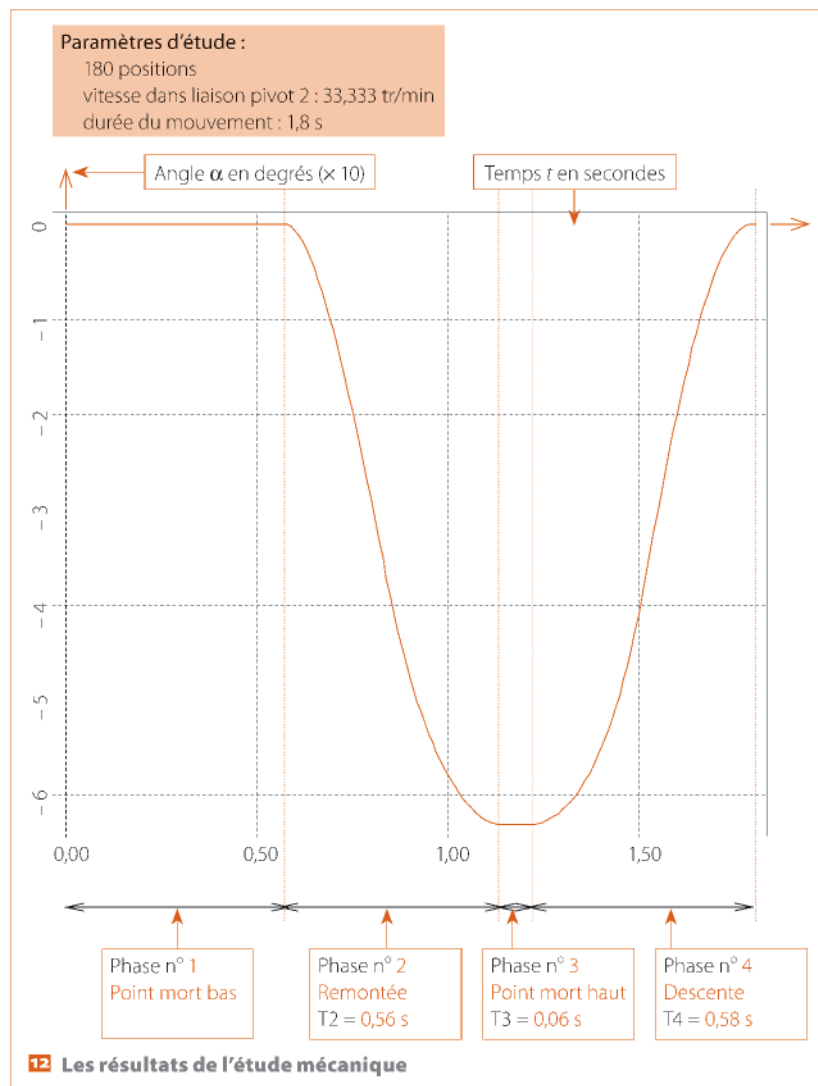
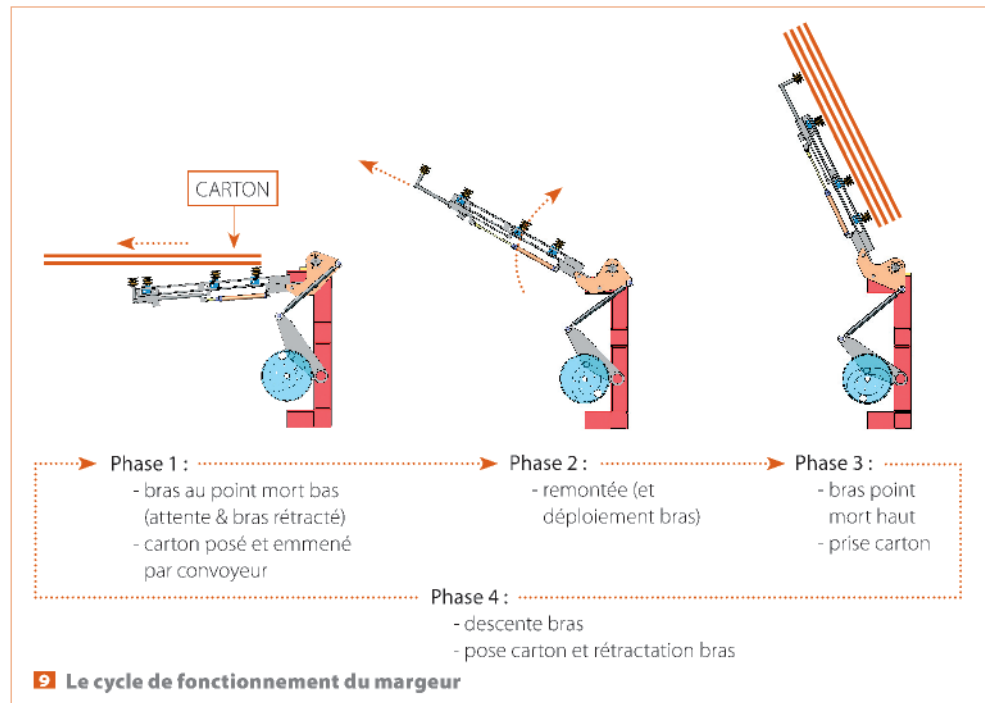
Lors de la remontée du bras, ce dernier vient parfois percuter un carton, le mettant en travers du convoyeur, bloquant la machine et donc la production **10**. Afin de remédier à ce problème, la solution envisagée consiste à modifier la came commandant le mouvement du bras. Il s'agit d'augmenter le temps d'attente du bras en position basse (point mort bas).



10 La percussion du carton lors de la remontée du bras

Il s'agit donc d'étudier la possible modification de cette came et de vérifier les effets que cette modification pourrait engendrer sur le fonctionnement et la fiabilité du système.

Sachant que la cadence maximale de production de la machine est de 2 000 barquettes à l'heure, l'élève doit déterminer quelle doit être la



vitesse de rotation maximale de la came (en tr/min) ainsi que la durée du mouvement (en secondes) pour un cycle (un cycle est effectué en un tour de came).

Une barquette est mise en forme en un cycle, donc 2 000 barquettes en 2 000 cycles, d'où

$$N_{\text{came}} = 2\,000 \text{ tr/h}$$

$$\text{soit } N_{\text{came}} = 33,33 \text{ tr/min}$$

Il y a 2 000 cycles en 1 heure (3 600 s), un cycle dure donc 1,8 s.

Ces données permettent de compléter les paramètres du logiciel de simulation mécanique (qui étaient imprimés pour l'épreuve de bac pro, voir l'encadré « En ligne ») **11**.

L'étude mécanique permet d'éditer la courbe **12** donnant la variation angulaire du bras par rapport au bâti dans la liaison pivot 3 pour un cycle (voir annexes 1 et 2). Le départ du cycle correspond à la position point mort bas du bras. Sur cette courbe sont repérées les quatre phases du mouvement du bras. L'élève complète alors les numéros des différentes phases, leur nom et leur durée.

Le tableau **13** reprend les points de la courbe précédente. L'élève doit légendier par un coloriage les différentes phases.

Sachant qu'un cycle est effectué en une rotation complète de la came (360°) et en s'aidant du tableau **13**, l'élève doit identifier et donner pour toutes les phases du mouvement du bras les positions initiale et finale ainsi que la durée **14**. Pour la phase 1, il faut indiquer la variation angulaire correspondante de la came.

Sur le dessin de la came simplifiée **15** représentée en position initiale (début de cycle : $\alpha = 0^\circ$), il faut reporter la valeur de l'angle de la phase 1 et préciser à quelle phase correspond chaque zone du profil.

La proposition de modification

Pour modifier le comportement cinématique du bras, il faut agir sur le profil de la came. Quelle zone de ce profil modifier, et comment ?

L'élève doit identifier la zone correspondant à la phase 1, dire de quel

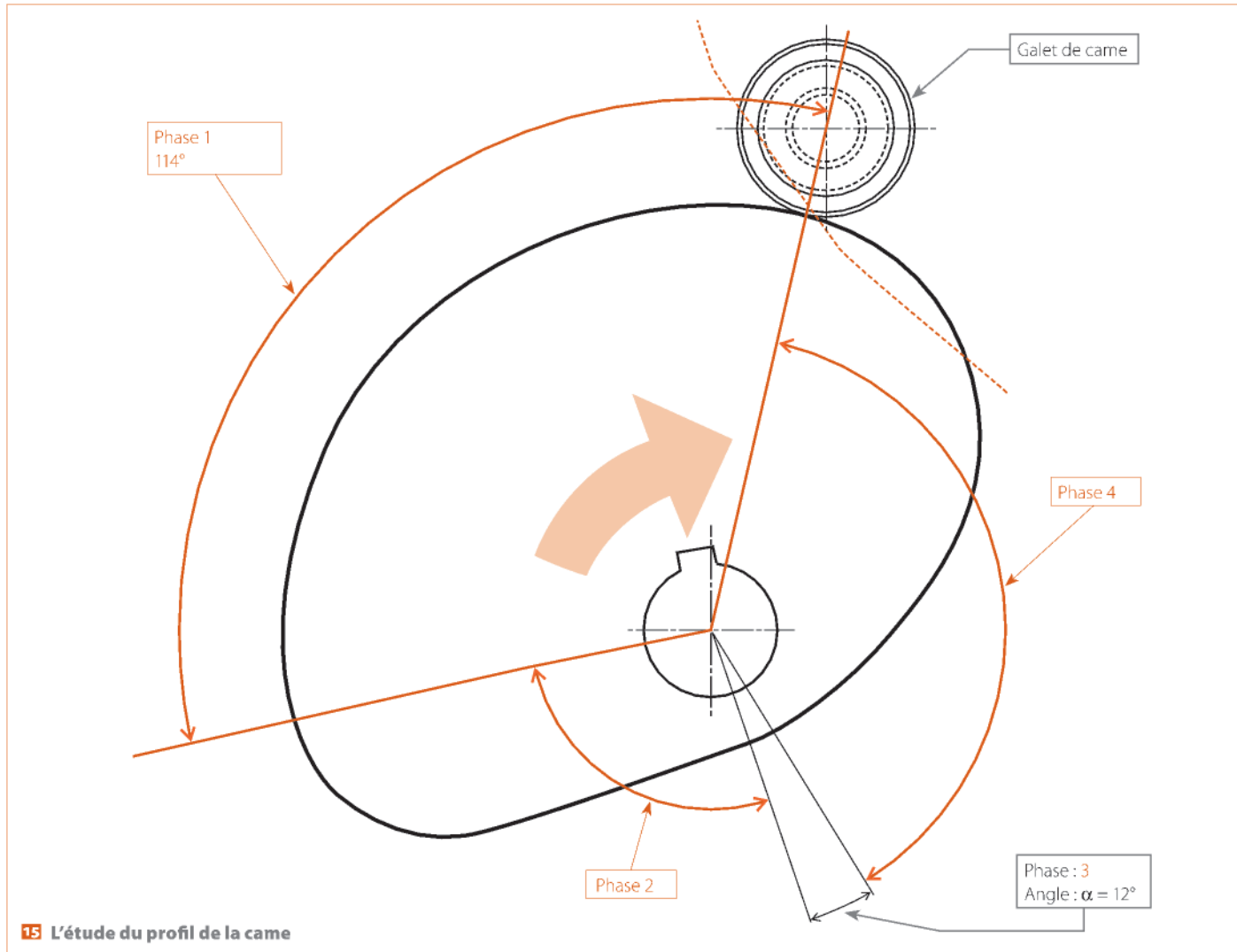
Phase n° 1 Phase n° 2 Phase n° 3 Phase n° 4

Pos.	t (s)	α (°)	Pos.	t (s)	α (°)	Pos.	t (s)	α (°)	Pos.	t (s)	α (°)
0	0	0	45	0,45	0	90	0,90	-47,474 30	135	1,35	-59,133 30
1	0,01	0	46	0,46	0	91	0,91	-48,836 10	136	1,36	-58,486 10
2	0,02	0	47	0,47	0	92	0,92	-50,114 20	137	1,37	-57,778 00
3	0,03	0	48	0,48	0	93	0,93	-51,313 80	138	1,38	-57,005 50
4	0,04	0	49	0,49	0	94	0,94	-52,439 50	139	1,39	-56,165 10
5	0,05	0	50	0,50	0	95	0,95	-53,495 20	140	1,40	-55,252 50
6	0,06	0	51	0,51	0	96	0,96	-54,484 70	141	1,41	-54,263 30
7	0,07	0	52	0,52	0	97	0,97	-55,411 00	142	1,42	-53,192 50
8	0,08	0	53	0,53	0	98	0,98	-56,277 10	143	1,43	-52,034 60
9	0,09	0	54	0,54	0	99	0,99	-57,085 20	144	1,44	-50,783 70
10	0,10	0	55	0,55	0	100	1,00	-57,837 70	145	1,45	-49,432 90
11	0,11	0	56	0,56	0	101	1,01	-58,536 30	146	1,46	-47,975 00
12	0,12	0	57	0,57	0	102	1,02	-59,182 70	147	1,47	-46,402 00
13	0,13	0	58	0,58	-0,075 44	103	1,03	-59,778 00	148	1,48	-44,704 80
14	0,14	0	59	0,59	-0,311 62	104	1,04	-60,323 50	149	1,49	-42,873 70
15	0,15	0	60	0,60	-0,700 61	105	1,05	-60,819 90	150	1,50	-40,898 00
16	0,16	0	61	0,61	-1,234 19	106	1,06	-61,267 90	151	1,51	-38,771 00
17	0,17	0	62	0,62	-1,904 07	107	1,07	-61,668 00	152	1,52	-36,600 60
18	0,18	0	63	0,63	-2,701 99	108	1,08	-62,020 10	153	1,53	-34,438 50
19	0,19	0	64	0,64	-3,619 78	109	1,09	-62,324 40	154	1,54	-32,291 80
20	0,20	0	65	0,65	-4,649 42	110	1,10	-62,580 70	155	1,55	-30,167 20
21	0,21	0	66	0,66	-5,783 11	111	1,11	-62,788 30	156	1,56	-28,071 50
22	0,22	0	67	0,67	-7,013 32	112	1,12	-62,946 60	157	1,57	-26,011 50
23	0,23	0	68	0,68	-8,332 84	113	1,13	-63,054 60	158	1,58	-23,993 60
24	0,24	0	69	0,69	-9,734 77	114	1,14	-63,111 10	159	1,59	-22,024 20
25	0,25	0	70	0,70	-11,212 60	115	1,15	-63,119 60	160	1,60	-20,109 60
26	0,26	0	71	0,71	-12,760 20	116	1,16	-63,119 60	161	1,61	-18,255 80
27	0,27	0	72	0,72	-14,371 90	117	1,17	-63,119 60	162	1,62	-16,468 40
28	0,28	0	73	0,73	-16,042 30	118	1,18	-63,119 60	163	1,63	-14,753 10
29	0,29	0	74	0,74	-17,766 40	119	1,19	-63,119 60	164	1,64	-13,114 80
30	0,30	0	75	0,75	-19,539 90	120	1,20	-63,119 60	165	1,65	-11,558 50
31	0,31	0	76	0,76	-21,358 60	121	1,21	-63,119 40	166	1,66	-10,088 50
32	0,32	0	77	0,77	-23,218 70	122	1,22	-63,097 70	167	1,67	-8,709 01
33	0,33	0	78	0,78	-25,116 90	123	1,23	-63,040 50	168	1,68	-7,423 54
34	0,34	0	79	0,79	-27,050 40	124	1,24	-62,946 90	169	1,69	-6,235 29
35	0,35	0	80	0,80	-29,016 50	125	1,25	-62,815 70	170	1,70	-5,146 96
36	0,36	0	81	0,81	-31,013 00	126	1,26	-62,645 90	171	1,71	-4,160 78
37	0,37	0	82	0,82	-33,038 00	127	1,27	-62,436 30	172	1,72	-3,278 46
38	0,38	0	83	0,83	-35,090 20	128	1,28	-62,185 60	173	1,73	-2,501 21
39	0,39	0	84	0,84	-37,168 10	129	1,29	-61,892 10	174	1,74	-1,829 74
40	0,40	0	85	0,85	-39,181 70	130	1,30	-61,554 40	175	1,75	-1,264 25
41	0,41	0	86	0,86	-41,064 10	131	1,31	-61,170 70	176	1,76	-0,804 44
42	0,42	0	87	0,87	-42,825 80	132	1,32	-60,738 90	177	1,77	-0,449 56
43	0,43	0	88	0,88	-44,476 10	133	1,33	-60,257 00	178	1,78	-0,198 37
44	0,44	0	89	0,89	-46,023 20	134	1,34	-59,722 70	179	1,79	-0,049 20

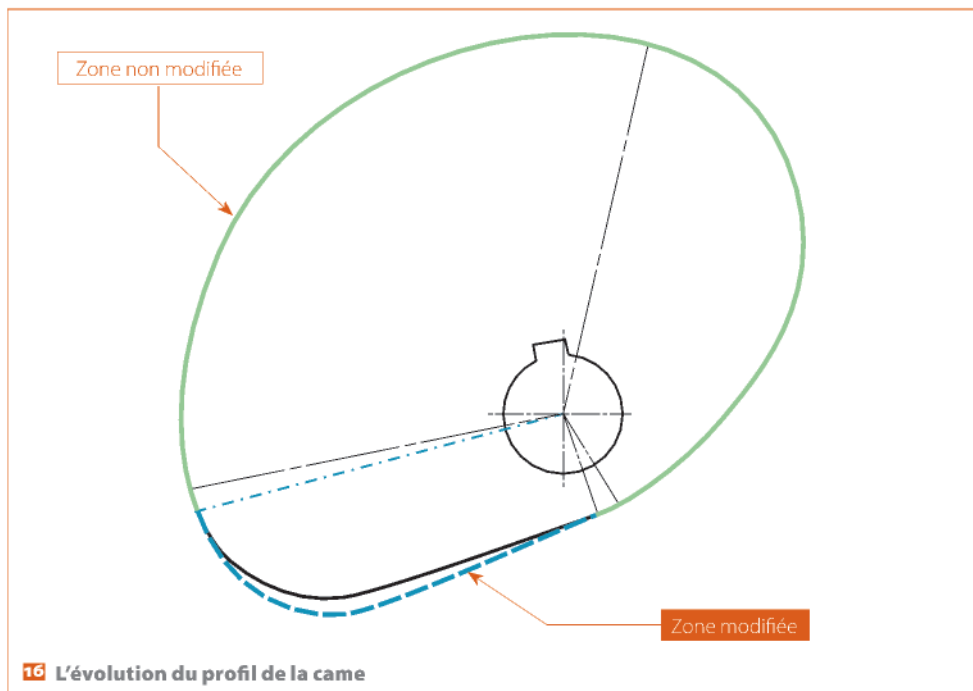
13 La position angulaire du bras en fonction du temps

	N° position initiale	N° position finale	Angle came (degrés)	Durée (s)
Phase 1	0	57	114	0,57
Phase 2	57	114		0,56
Phase 3	114	121		0,06
Phase 4	121	179		0,58

14 Le tableau complété



15 L'étude du profil de la came



16 L'évolution du profil de la came

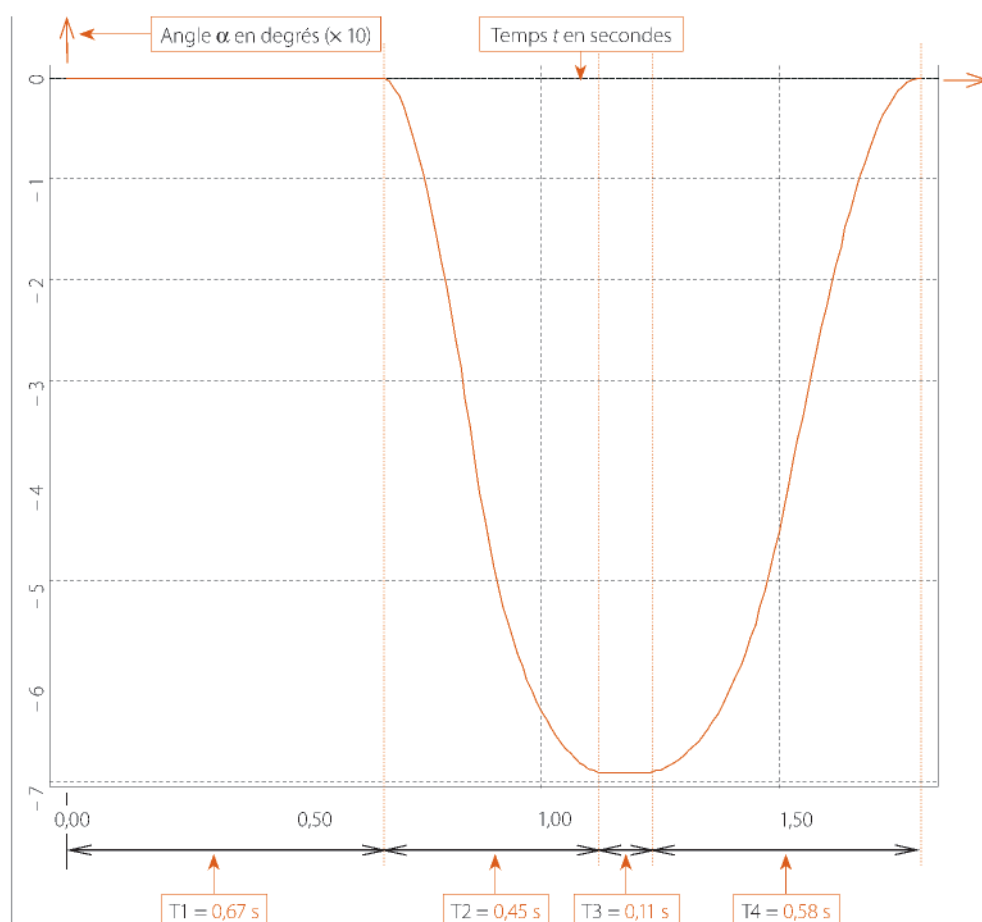
type de courbe remarquable il s'agit, et préciser son rayon et sa longueur.

Courbe : arc de cercle
Rayon : 73 mm
Longueur : 145,2 mm

On souhaite augmenter la durée de la phase 1 ; sur quel paramètre de cette courbe doit-on agir et de quelle manière (l'augmenter ou le diminuer) ?

Il faut modifier la longueur de l'arc de cercle en augmentant l'angle de la phase 1. Sur le profil de la came 15, l'élève doit repasser en vert les zones du profil qui ne changeront pas, et tracer approximativement en bleu le profil de la ou des zones à modifier.

Cela donne une augmentation de la géométrie du profil de la came dans la zone correspondant à la phase 2, correspondant à une augmentation du temps de montée du bras.



17 La validation de la nouvelle solution

La nouvelle came ayant été définie, on souhaite vérifier le comportement mécanique du galet.

Une étude dynamique, tenant compte des masses des différentes pièces, permet de trouver les résultats qui suivent.

On donne la nouvelle courbe 17 de position du bras ; il faut rechercher et indiquer les nouvelles valeurs des durées des différentes phases, pour quantifier ensuite, en secondes puis en pourcentage, la variation obtenue sur T1 :

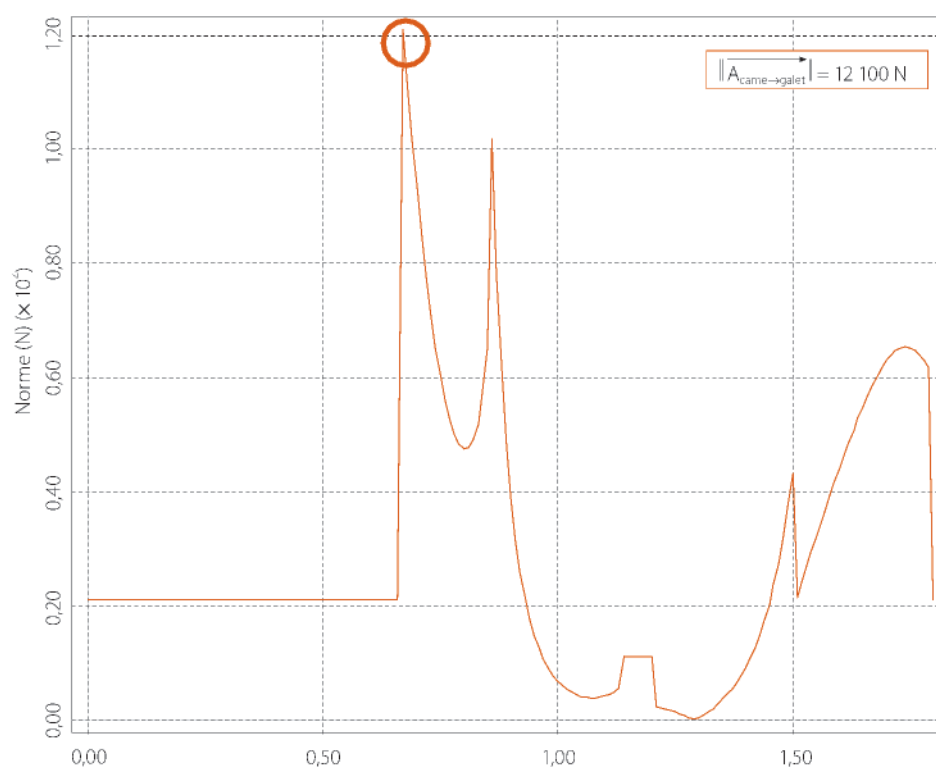
$$\Delta T1 = + 0,098 \text{ s}$$

soit $\Delta T1 = + 17,54 \%$

La courbe 18 représente la variation de l'effort de la came sur le galet. Il faut rechercher et donner la valeur maximale de cet effort :

$$A_{\text{came} \rightarrow \text{galet}} = 12\,100 \text{ N}$$

On donne les dimensions du galet : galet à aiguilles jointives sans joint, bande de roulement cylindrique $\varnothing 40$, largeur 20 mm.



18 La variation de l'effort de la came sur le galet

Il faut rechercher dans l'annexe 3 la désignation du galet ainsi que la valeur de la charge maximale admissible par ce dernier.

Référence galet : CF 18 V

Charge maximale (C) : 2 580 kgf, soit 25 301 N

Conclusion sur la résistance du galet :

$$|A_{\text{came} \rightarrow \text{galet}}| < C$$

Le galet supporte donc l'effort.

Conclusion

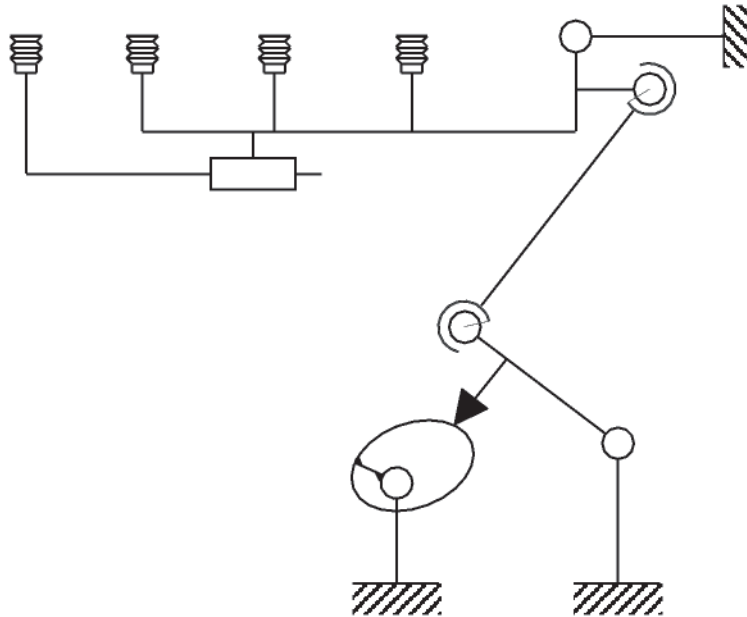
Les systèmes par came sont très efficaces : ils permettent un comportement en sortie fiable pour une vitesse de rotation de la came constante, la synchronisation de plusieurs éléments d'une machine, des cadences élevées et la minimalisation de l'usure des machines en changeant de fréquences de rotation.

C'est pourquoi ce type de support technique pourrait convenir à des BTS CPI, à qui l'on demanderait par exemple la mise en équation de la vitesse du bras, ce qui permettrait de définir le profil de la came précisément, et non de manière empirique comme ici. ■

ANNEXE 1

Le schéma cinématique du poste margeur

Remarque : La liaison glissière n'intervient en rien dans l'étude qui suit, elle ne figure donc pas dans le graphe des liaisons, et toutes les simulations mécaniques ont été réalisées bras déployé.



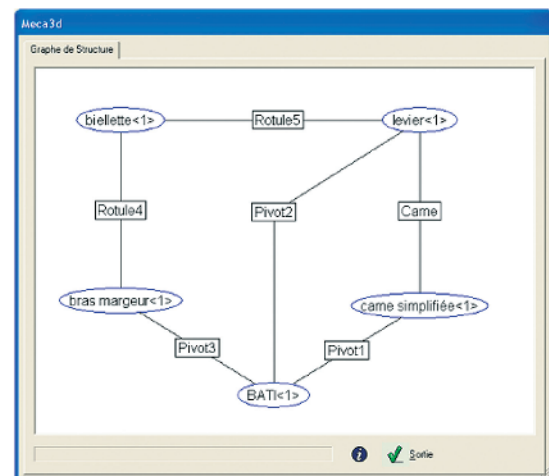
En ligne

Les sujet et corrigé originaux de cette épreuve de bac pro EDPI sont téléchargeables aux formats Word et PDF, la maquette numérique de la barquetteuse aux formats SolidWorks et eDrawing sur le site du CNR CMAO à l'adresse suivante :

http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr/fiches_dossiers/barquetteuse_SU.php?t=13

ANNEXE 2

La définition des liaisons



ANNEXE 3

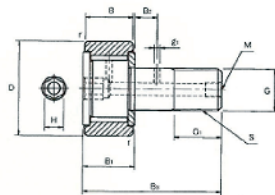
Extrait d'un catalogue constructeur

GALET DE CAME SUR AXE A AIGUILLES JOINTIVES

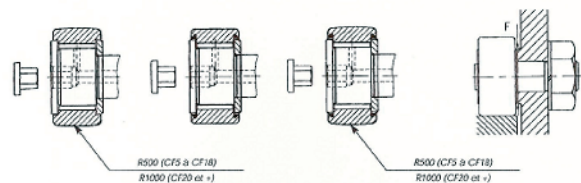
1 kgf (kilogramme-force) = 9,806 65 N



CF..V



CF..V



CF..VR

CF..VUU

CF..VUUR

Ø de l'axe C mm	Références				Poids g	Dimensions (mm)				Couple de serrage de l'écrou Nm
	Sans joint		Avec joint			H	D	S	Ø minimum d'appui F	
	Ø extérieur cylindrique	Ø extérieur bombé	Ø extérieur cylindrique	Ø extérieur bombé						
5	CF 5 V	CF 5 VR	CF 5 VUU	CF 5 VUUR	11	3	13	M5 x 0,8	2	
6	CF 6 V	CF 6 VR	CF 6 VUU	CF 6 VUUR	19	3	16	M6 x 1	3	
8	CF 8 V	CF 8 VR	CF 8 VUU	CF 8 VUUR	29	4	19	M8 x 1,25	8	
10	CFA 10 V	CFA 10 VR	CFA 10 VUU	CFA 10 VUUR	46	4	22	M10 x 1,0	15	
12	CF 12 V	CF 12 VR	CF 12 VUU	CF 12 VUUR	97	6	30	M12 x 1,5	22	
16	CF 16 V	CF 16 VR	CF 16 VUU	CF 16 VUUR	173	6	35	M16 x 1,5	58	
18	CF 18 V	CF 18 VR	CF 18 VUU	CF 18 VUUR	255	8	40	M18 x 1,5	87	
20	CF 20 V	CF 20 VR	CF 20 VUU	CF 20 VUUR	465	8	52	M20 x 1,5	120	
24	CF 24 V	CF 24 VR	CF 24 VUU	CF 24 VUUR	820	8	62	M24 x 1,5	220	
30	CF 30 V	CF 30 VR	CF 30 VUU	CF 30 VUUR	1 870	8	80			
30	CF 30-1 V	CF 30-1 VR	CF 30-1 VUU	CF 30-1 VUUR	2 030	8	85	M30 x 1,5	450	
	CF 30-2 V	CF 30-2 VR	CF 30-2 VUU	CF 30-2 VUUR	2 220		90			

Tous les galets peuvent être graissés des 2 côtés

Dimensions (mm)								Charges		Vitesse maximum	
B	B1	B2	M	g1	G1	Bz	r	Dyn. C	Dyn. Co	t/mm	
9	10	23			7,5		0,5	9,7	400	280	15 000
11	12	28			9		0,5	11	710	870	12 000
11	12	32			11		0,5	13	830	1 410	9 000
12	13	36			13		1	15	970	1 480	7 000
14	15	40	M6 x 1	3	14	6	1,5	20	1 370	2 010	6 000
18	19,5	52	M6 x 1	3	18	8	1,5	24	2 110	3 840	4 500
20	21,5	58	M6 x 1	3	20	10	1,5	26	2 580	5 240	3 500
24	25,5	66	M6 x 1	4	22	12	1,5	36	3 380	6 580	3 500
29	30,5	80	M6 x 1	4	25	12	1,5	40	4 750	9 390	3 000
35	37	100	M6 x 1	4	32	15	2	46	6 900	14 700	2 000

Vitesse limite : Lubrification à l'huile + 30 %. Si les galets comportent des joints, - 40 % par rapport au tableau