

CAPACITÉS ET COMPÉTENCES				U11 - JUIN 2019	
				QUESTIONS	%
C1	S'Informer Analyser	C11	Décoder un CdCf		
		C12	Analyser un produit	Q1 à Q10 - Q12	26%
		C13	Analyser une pièce	Q33	4%
		C14	Collecter des données		
C2	Traiter Décider	C21	Organiser son travail	Q1 à Q3 - Q12 - Q14 - Q17 - Q18 - Q25 - Q29	22%
		C22	Étudier et choisir une solution	Q11 - Q13 - Q15 - Q16 - Q19 à Q24 - Q26 à Q28 - Q30 à Q32 - Q34 à Q40	48%
C3	Mettre en œuvre Produire	C31	Définir une solution. un projet en exploitant des outils informatiques		
		C32	Produire les dessins de définition de produit		
		C33	Produire les documents connexes		
C4	Communiquer Informier	C41	Communiquer dans le cadre d'une revue de projet		
		C42	Communiquer en entreprise		

BACCALAURÉAT PROFESSIONNEL

Étude et Définition de Produits Industriels

Épreuve E1 - Unité U 11

Étude du comportement mécanique d'un système technique

SESSION 2019

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

Compétences sur lesquelles porte l'épreuve :

C 12 : Analyser un produit
C 13 : Analyser une pièce
C 21 : Organiser son travail
C 22 : Étudier et choisir une solution

BAC PRO E.D.P.I.	Code : 1906-EDP ST 11	Session 2019	CORRIGÉ
Épreuve E1 U11 : Étude du comportement mécanique d'un système technique	Durée : 3 heures	Coefficient : 3	Page 1/12

DOSSIER DE TRAVAIL

Le candidat répond directement sur ce dossier de travail. Celui-ci sera rendu dans son intégralité aux surveillants à la fin de l'épreuve.

Parties à traiter	Temps conseillé
Lecture du sujet	20 minutes
I. Repérage des éléments : page 7/16	5 minutes
II. Étude cinématique préliminaire : page 7/16	10 minutes
III. Vérification du vérin DGC 50 - 400 d'un point de vue cinématique : page 8/16	60 minutes
IV. Vérification du vérin DGC 50 - 400 d'un point de vue dynamique : page 11/16	45 minutes
V. Vérification du vérin DGC 50 - 400 d'un point de vue statique : page 13/16	10 minutes
VI. Vérification du vérin HMP 20 - 400 d'un point de vue statique : page 14/16	10 minutes
VII. Étude de la fixation du vérin HMP 20 - 400 sur le support vérin : page 15/16	15 minutes
VIII. Vérification de la rigidité du vérin HMP 20-400 : page 16/16	5 minutes

Pour faciliter l'étude, nous allons, dans un 1^{er} temps, nous intéresser aux différents éléments qui composent le système.

I. Repérage des éléments :

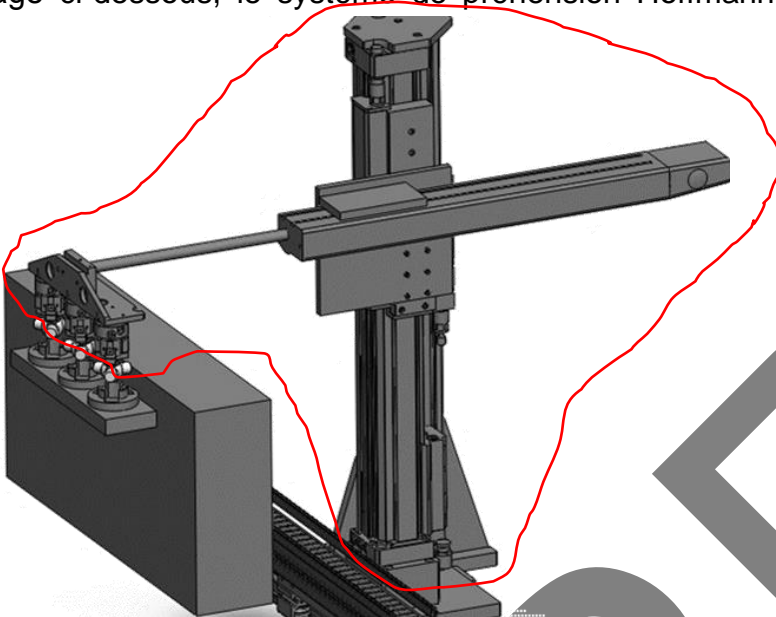
Q1. **Entourer**, précisément sur l'image ci-dessous, le système de préhension Hoffmann support de l'étude.

Q2. **Déterminer** le nombre de vérins composant le système de préhension Hoffmann :

2

Q3. **Déterminer** le nombre de tri-axes étant transportés en même temps :

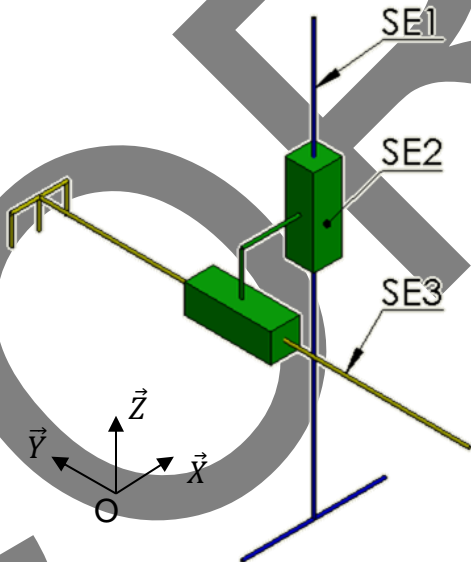
3



II. Étude cinématique préliminaire :

D'après le schéma cinématique du système Hoffmann en situation ci-contre, répondre aux questions suivantes :

Q4. **Colorier** les différentes classes d'équivalences en repassant les traits existants du schéma cinématique ci-contre, selon le code couleurs imposé en page 4/16.



Étude de la liaison SE2 / SE1 :

Q5. **Compléter**, ci-dessous, le tableau des degrés de liberté pour la liaison SE2/SE1 dans le repère (O, X, Y, Z).

0 : mouvement impossible
1 : mouvement possible

T	R
Tx = 0	Rx = 0
Ty = 0	Ry = 0
Tz = 1	Rz = 0

Q6. **Indiquer** le nom de cette liaison en précisant son axe :

Liaison glissière d'axe Z

Étude de la liaison SE3 / SE2 :

Q7. **Compléter**, ci-dessous, le tableau des degrés de liberté pour la liaison SE3/SE2 dans le repère (O, X, Y, Z).

0 : mouvement impossible
1 : mouvement possible

T	R
Tx = 0	Rx = 0
Ty = 1	Ry = 0
Tz = 0	Rz = 0

Q8. **Indiquer** le nom de cette liaison en précisant son axe :

Liaison glissière d'axe Y

On se propose dans un 1^{er} temps de valider le choix du nouveau vérin DGC 50 – 400.

III. Vérification du vérin DGC 50 – 400 d'un point de vue cinématique :

Q9. **Mesurer**, sur le dessin d'ensemble page 5/16, la course utile de ce vérin :

375 mm

Q10. En vous basant sur l'extrait de catalogue fournisseur ci-dessous, **décoder** la référence du vérin choisi :

50 : diamètre de piston

400 : course

Vérin sans tige DGC-KF, avec guidage à recirculation de billes

Références – éléments modulaires

Mentions obligatoires						
Code du système modulaire	Fonction	Ø de piston	Course	Guidage	Amortissement	Détection de position
530 906	DGC	8	1 ... 5 000	KF	P PPV YSR YSRW	A
530 907		12				
532 446		18				
532 447		25				
532 448		32				
532 449		40				
532 450		50				
532 451		63				
Exemple de commande						
530 907	DGC	12	250	KF	YSRW	A

Figure 1 : Extrait de la page 58 du catalogue fournisseur FESTO du vérin sans tige DGC

Q11. La course du vérin choisie est-elle suffisante ? **Justifier.**

Oui, elle est de 400 mm donc suffisante en regard de la course utile relevée de 375 mm.

Afin de déterminer la vitesse en régime établi de ce vérin, il est nécessaire de connaître au préalable la masse à déplacer. Cette dernière se compose des éléments cités dans le tableau ci-dessous.

Q12. **Compléter** le tableau en recherchant les informations sur la page 4/16 ou dans les extraits de catalogues fournisseurs des pages suivantes :

	Désignation	Nombre	Masse (kg)	Masse totale (kg)
Pièces fabriquées	Tri-axe	3	0.3	0.9
	Équerre	1	2.6	2.6
	Plaque HMP1	1	7.3	7.3
	Plaque HMP2	1	1.7	1.7
Composants	Pince 60.03P	3	0.6	1.8
	Module linéaire HMP 20 – 400 – AD	1	12.541*	12.541
	Amortisseur YSRW 16-26	1	0.19	0.19
Total				27.031 Kg

* Voir explications page 9/16
 $4.7 + 40 \times 0.11 + 1.5 + 40 \times 0.037 + 0.27 + 0.191$

MODÈLE	Course par mors Δ (mm)	Force (N) F _{6+R}	Force (N) F _{0+R}	Temps d'ouverture (seconde)	Temps de fermeture (seconde)	Cylindrée (cm³)	Masse (kg)	F	H
60.03.P	5	678	172	0,02	0,02	12	0,60	5,5	8
60.03.P.C	8	422	107					8,5	11
80.03.P	6,5	1888	617	0,02	0,02	35	0,97	6,8	10,8
80.03.P.C	10	1219	398					10,2	14,2
110.03.P	10	2667	941	0,03	0,03	87	2,35	10,5	15
110.03.P.C	15	1979	628					15,5	20

Figure 2 : Extrait de la page D34 du catalogue fournisseur CCMOP de la pince 60.03P

Modules linéaires HMP

Fiche de données techniques

FESTO

Poids (g)		16	20	25	32
Ø de piston					
Poids du produit	pour 0 mm de course	2 100	4 700	6 300	10 900
	par 10 mm de course	88	110	150	200
Masse déplacée	pour 0 mm de course	900	1 500	2 300	4 000
	par 10 mm de course	28	37	55	74
Culasse arrière	HMP...-AD	180	270	300	400
	HMP...-EL	210	300	330	430
Unité de blocage HMP...-KP pour la course utile	50 mm	109	114	~	~
	100 mm	120	125	~	~
	150 mm	131	136	~	~
	200 mm	142	147	~	~
	250 mm	153	158	~	~
	320 mm	168	173	~	~
	400 mm	~	191	~	~

Figure 3 : Extrait de la page 9 du catalogue fournisseur FESTO du module linéaire HMP

Le tableau ci-dessus permettant de calculer la masse du module linéaire HMP est à interpréter de la manière suivante :

Exemple : un module HMP 16-200-EL aurait pour masse :

$m = 2100 + 20 \times 88 + 900 + 20 \times 28 + 210 + 142$

9 Caractéristiques techniques

YSRW	5-8	7-10	8-14	10-17	12-20	16-26	20-34
Longueur d'amortissement (s) [mm]	8	10	14	17	20	26	34
[6] (→ Fig. 3)							
Mode de fonctionnement	à simple effet, par pression						
Amortissement	autoréglable, courbe caractéristique faible						
Position de montage	indifférente						
Filetage	M8	M10	M12	M14	M16	M22	M26
Pas [mm]	1	1	1	1	1	1,5	1,5
Ouverture de clé							
Contre-écrou [mm]	10	13	15	17	19	27	32
Boîtier [mm]	7	9	11	13	15	20	24
Vitesse d'impact [m/s]	0,1 ... 2	0,1 ... 3					
Poids du produit [g]	8	18	34	54	78	190	330
Température ambiante [°C]	-10 ... +80						
Temps de rappel pour temp. amb. [s]	≤ 0,2				≤ 0,3		
Effort de rappel F ₁ [N]	0,9	1,2	2,5	3,5	5	6	10
Force de compression F ₂ [N]	7,5	10	18	25	35	60	100
Force d'impact max. en fin de course [kN]	0,2	0,3	0,5	0,7	1	2	3

Figure 2 : Extrait de la page 3/4 du catalogue fournisseur FESTO de l'amortisseur YSRW 16-26

Afin de tenir compte d'une marge de sécurité, nous considérerons déplacer une charge de 30 kg avec le vérin DGC 50 – 400.

L'abaque ci-dessous, extrait du catalogue fournisseur, donne la vitesse maximale de déplacement du vérin en fonction de la charge déplacée.

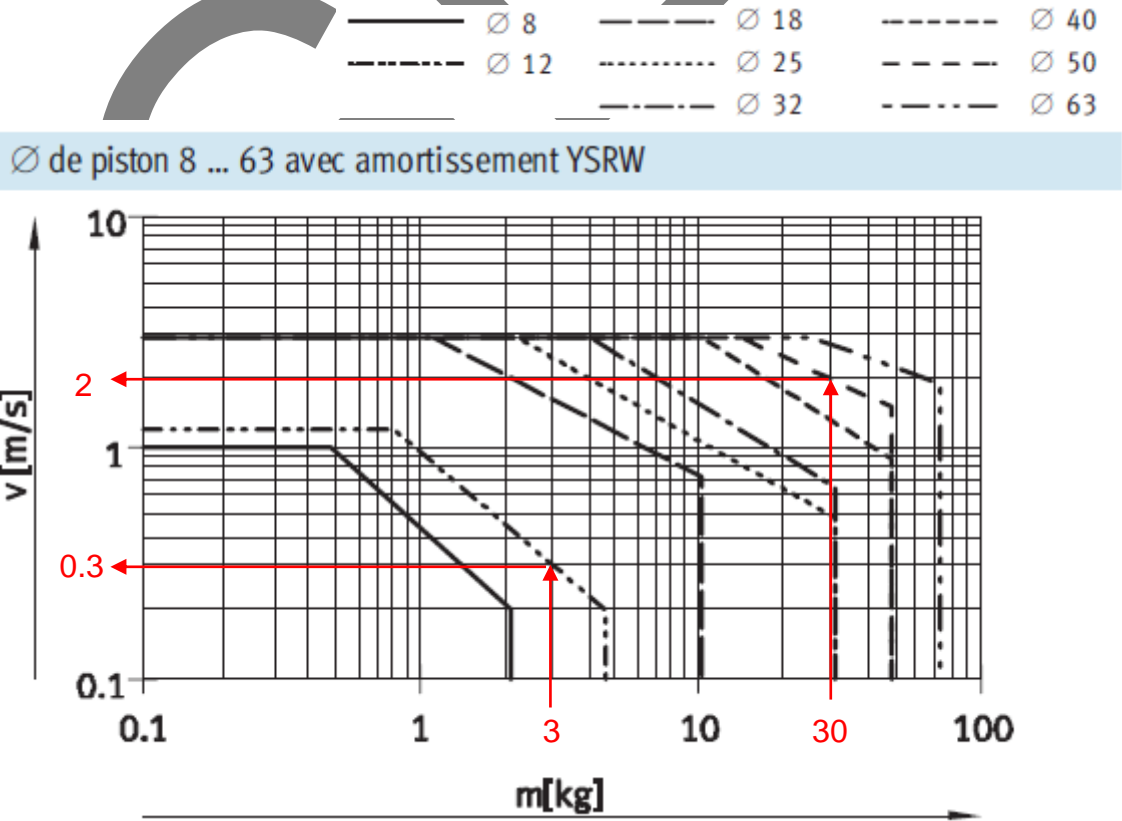


Figure 3 : Extrait de la page 47 du catalogue fournisseur FESTO du vérin sans tigeDGC

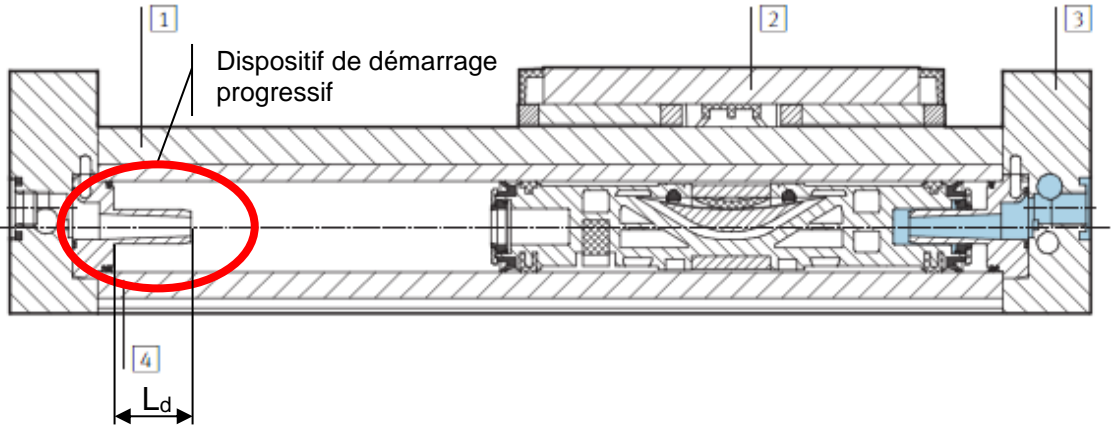
Exemple : pour une charge de 3kg et un vérin DGC 12, le diagramme donne $V=0,3\text{m/s}$.

Q13. Déterminer, d'après cet abaque, la vitesse maxi du vérin DGC 50 – 400 :

$V = 2 \text{ m/s}$

Étudions à présent les différentes phases caractérisant le mouvement du vérin :

Coupe du vérin :



Le vérin est équipé d'un système permettant un démarrage progressif (voir ci-dessus).
Sur le vérin DGC 50 - 400 la longueur de démarrage est de $L_d = 41$ mm.

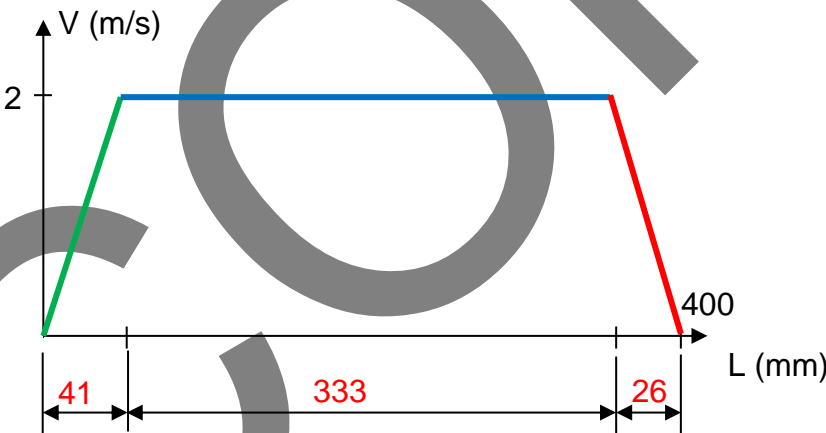
Il est par ailleurs préconisé d'adjoindre un système d'amortissement en fin de course pour protéger le vérin et accroître ainsi sa longévité. Le choix s'est porté ici sur un amortisseur YSRW 16-26.

Q14. À partir de la désignation de l'amortisseur de vérin YSRW 16-26, relever la longueur d'amortissement L_a de cet amortisseur (voir extrait page 9/16) :

$L_a = 26$ mm

Q15. Maintenant que vous avez pris conscience que le vérin utilisé connaissait une phase de démarrage progressif et une phase d'amortissement, repasser en couleur les phases du graphe donné ci-dessous en respectant les indications suivantes :

- en vert la phase d'accélération
- en bleu la phase de régime établi
- en rouge la phase de décélération



Q16. Compléter le graphe des vitesses précédent, en indiquant les différentes longueurs parcourues respectivement pendant chacune des phases (cf Q14).

Hypothèse : on considère que la longueur d'accélération correspond à la longueur de démarrage uniquement et que la longueur de décélération correspond à celle d'amortissement uniquement.

Q17. À la lecture du graphe ci-dessous et du tableau page 11/16, relever la valeur (en mm/s^2) de l'accélération a_1 puis la convertir en m/s^2 :

$a_1 = 48.78$ m/s^2

Q18. À la lecture du graphe ci-dessous et du tableau page 11/16, relever la valeur (en mm/s^2) de la décélération a_3 puis la convertir en m/s^2 :

$a_3 = -76.92$ m/s^2

Vous trouverez respectivement ci-dessous le graphe de l'accélération linéaire du vérin DGC 50 - 400 et page 11/16 un échantillon des valeurs (10 premières, 10 intermédiaires et 10 dernières) qui ont permis son tracé :

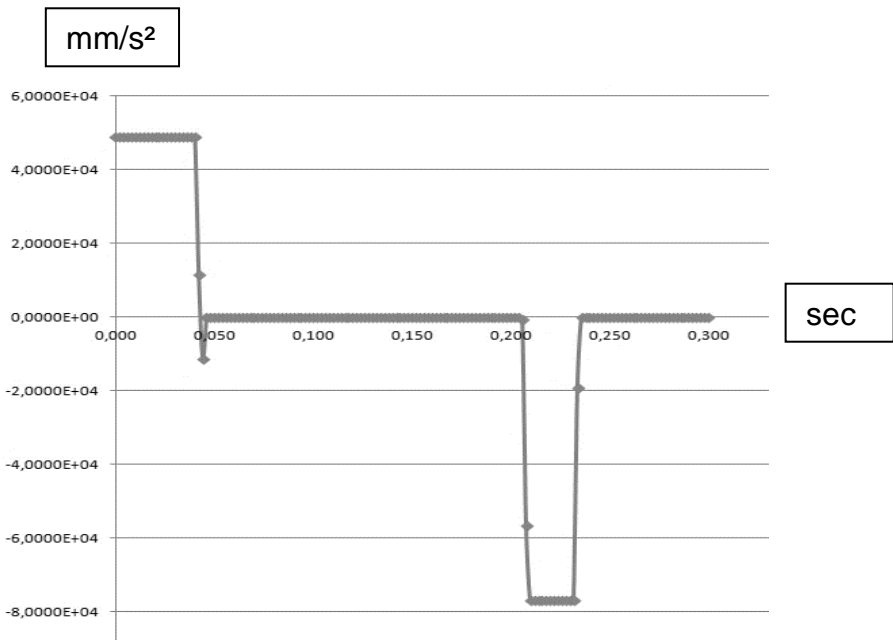


Image	Durée	Accélération linéaire1 (mm/s²) : Corps vérin + partie mobile-1
1	0,000	4,8780E+04
2	0,002	4,8780E+04
3	0,004	4,8780E+04
4	0,006	4,8780E+04
5	0,008	4,8780E+04
6	0,010	4,8780E+04
7	0,012	4,8780E+04
8	0,014	4,8780E+04
9	0,016	4,8780E+04
10	0,018	4,8780E+04
30	0,058	-1,1487E-10
31	0,060	-1,2588E-10
32	0,062	-1,3688E-10
33	0,064	-1,4789E-10
34	0,066	-1,5889E-10
35	0,068	-1,6989E-10
36	0,070	-1,8090E-10
37	0,072	-1,9190E-10
38	0,074	-2,0291E-10
39	0,076	-2,1391E-10
108	0,214	-7,6923E+04
109	0,216	-7,6923E+04
110	0,218	-7,6923E+04
111	0,220	-7,6923E+04
112	0,222	-7,6923E+04
113	0,224	-7,6923E+04
114	0,226	-7,6923E+04
115	0,228	-7,6923E+04
116	0,230	-7,6923E+04
117	0,232	-7,6923E+04

IV. Vérification du vérin DGC 50 – 400 d'un point de vue dynamique :

L'étude s'effectuera dans le cas le plus défavorable pour le vérin, à savoir en phase d'accélération lors de la montée des sous-ensembles (SE2+SE3).

La charge à monter est de 30 kg et l'accélération de 48,7 m/s² (on prendra $g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Un calcul de dynamique prenant en compte l'accélération à la montée du vérin avec les caractéristiques définies ci-dessus, nous donne le résultat suivant :

Effort dynamique à fournir par le vérin : $F = m.g + m.a = 30 \times 9,81 + 30 \times 48,7 = 1755,3 \text{ N}$

- Q19. En émettant l'hypothèse que toute la surface du piston du vérin est exposée à la pression durant cette phase d'accélération, **déterminer** la surface minimale de ce piston puis son diamètre minimal pour développer un effort de 1755,3 N (voir page 4/16).

$$P = \frac{F}{S} \Rightarrow S = \frac{F}{P} = \frac{1755}{0,6} = 2925 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi.D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4.S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.2925}{\pi}} = 61 \text{ mm}$$

- Q20. **Conclure** quant au diamètre du piston choisi et **proposer** une solution afin de baisser l'effort dynamique.

Le diamètre du vérin est inférieur au diamètre minimal calculé. Pour baisser l'effort dynamique et donc l'accélération, la vitesse constante doit être diminuée.

Prenons à présent le problème sous l'angle opposé : on décide de conserver le vérin choisi et on cherche à estimer la valeur de l'accélération résultante.

- Q21. **Calculer** la force maximale développable par le vérin, sachant que le piston du vérin a un diamètre de 50 mm et que la pression d'alimentation est de 6 bars (voir page 4/16) :

$$S = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1963 \text{ mm}^2 \Rightarrow F_{\text{maxi}} = P \times S = 0.6 \times 1963 = 1177,8 \text{ N}$$

- Q22. En appliquant la formule du calcul de l'effort dynamique, **calculer** l'accélération maximale a_{maxi} .

$$a_{\text{maxi}} = \frac{F_{\text{maxi}} - m \cdot g}{m} = \frac{1177,8 - 30 \times 9.80}{30} = 29.4 \text{ m/s}^2$$

Calcul du temps réel de montée :

On cherche à présent à vérifier que le temps réel de montée du vérin est bien conforme aux attentes du cahier des charges.

Les durées respectives des phases d'accélération et de décélération ont été prédéterminées et vous sont données ci-dessous :

- $\Delta t_1 = 0.052 \text{ s}$
- $\Delta t_3 = 0.034 \text{ s}$

- Q23. En estimant que le régime est établi sur une distance de 333 mm à une vitesse réelle $V_2 = 1,5 \text{ m/s}$, **calculer** la durée Δt_2 de cette phase intermédiaire :

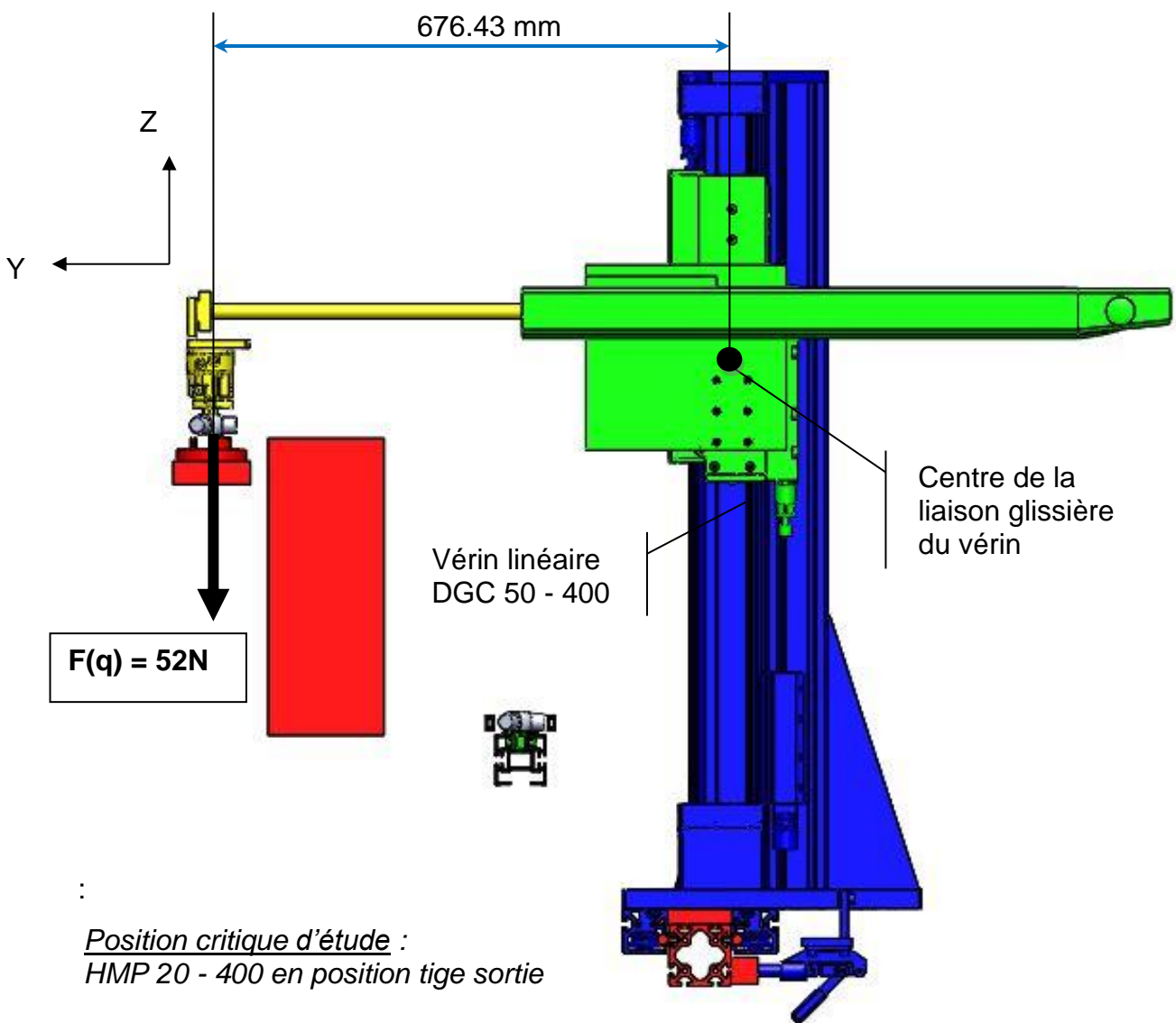
$$Z_{f2} - Z_{02} = V_2 \times (t_{f2} - t_{02}) \Rightarrow \Delta t_2 = (t_{f2} - t_{02}) = \frac{Z_{f2} - Z_{02}}{V_2} = \frac{0.333}{1.5} = 0.222 \text{ s}$$

- Q24. **Calculer** la durée totale correspondante à la montée du vérin et **conclure** quant aux attentes du cahier des charges.

$$\Delta T = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = 0.0522 + 0.222 + 0.034 = 0.308 \text{ s}$$

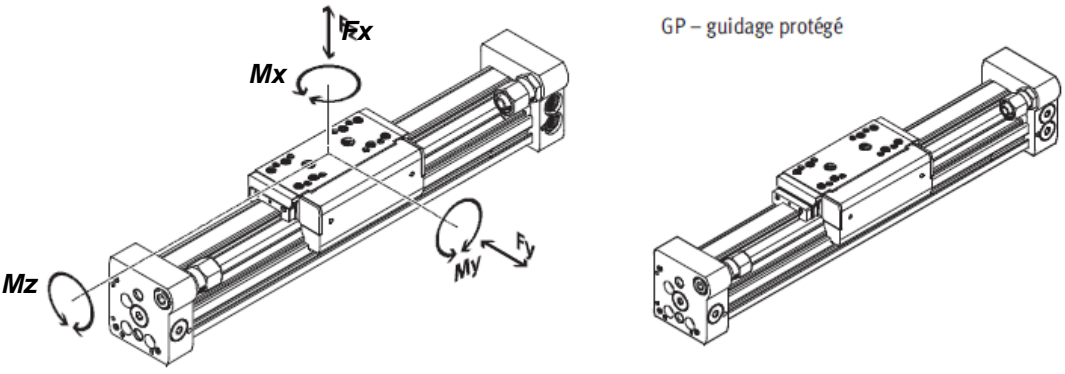
Cinématiquement ce vérin convient car le temps maximal exigé est de 3.49 s.

V. Vérification du vérin DGC 50-400 d'un point de vue statique :



Caractéristiques de charge pour un vérin linéaire avec guidage à recirculation de billes et guidage

Les forces et couples indiqués se rapportent au centre de la surface du chariot.
Ces valeurs ne doivent pas être dépassées en fonctionnement dynamique. Surveiller pour cela le processus d'amortissement.



Si plusieurs des forces et couples mentionnés ci-dessous agissent simultanément sur l'actionneur, respectez les charges maximales indiquées et appliquez l'équation suivante :

$$\frac{F_y}{F_{y_{max}}} + \frac{F_z}{F_{z_{max}}} + \frac{M_x}{M_{x_{max}}} + \frac{M_y}{M_{y_{max}}} + \frac{M_z}{M_{z_{max}}} \leq 1$$

Forces et couples admissibles									
Ø de piston		8	12	18	25	32	40	50	63
F _y max.	[N]	300	650	1 850	3 050	3 310	6 890	6 890	15 200
F _z max.	[N]	300	650	1 850	3 050	3 310	6 890	6 890	15 200
M _z max	[Nm]	1,7	3,5	16	36	54	144	144	529
M _y max.	[Nm]	4,5	10	51	97	150	380	634	1 157
M _x max	[Nm]	4,5	10	51	97	150	380	634	1 157

Figure 4 : Extrait de la page 46 du catalogue fournisseur FESTO du vérin sans tige DGC

Q25. **Relever**, d'après le tableau ci-dessus, le Moment admissible M_{x_{max}} :

M_{x_{max}} adm = 634 Nm

Q26. **Calculer** le Moment réel M_{x_{max}} auquel est soumis le guidage dans cette position :

M_{x_{max}} réel = F × d = 52 × 0.67643 = 35.17 Nm

Q27. **Conclure** sur la capacité guidage du vérin à encaisser les efforts :

634 > 35.17 Nm donc le guidage fonctionne correctement.

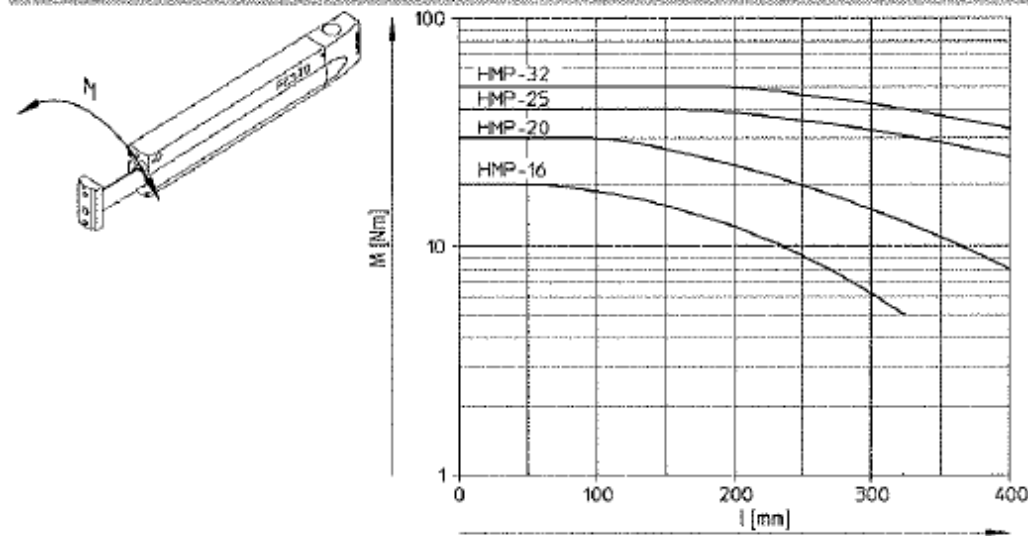
VI. Vérification du vérin HMP20 – 400 d'un point de vue statique :

Modules linéaires HMP

Fiche de données techniques

FESTO

Couple admissible M en fonction de la course l (sur la plaque avant)



Charge utile admissible Fq en fonction de la course l (sur la plaque avant)

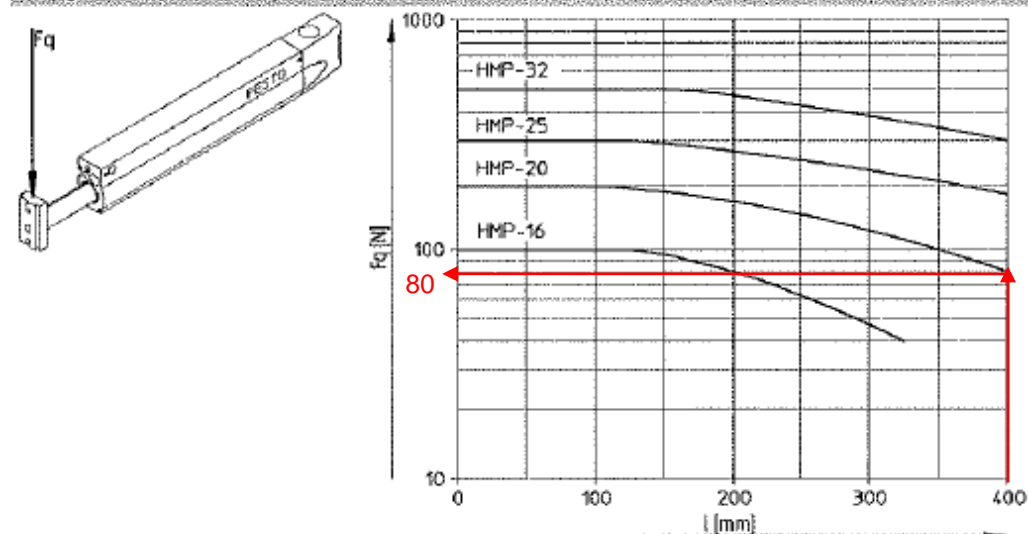


Figure 5 : Extrait de la page 10 du catalogue fournisseur FESTO du module linéaire HMP

Voici les masses déplacées par le vérin :

- 3 tri-axes (3x0.300 kg)
- 3 pinces (3x0.600 kg)
- 1 équerre (2.6 kg)

Q28. Calculer le poids à déplacer en Newton :

$$m = (3 \times 0.300) + (3 \times 0.600) + 2.6 = 5.3 \text{ kg}$$

$$P = m \cdot g = 5.3 \times 9.8 = 51.94 \text{ N}$$

Q29. D'après l'abaque ci-contre, relever la force maximale Fq déplaçable en fin de course par le vérin HMP 20 – 400 ?

$$F_q = 80 \text{ N}$$

Q30. En observant la répartition du poids du sous-ensemble SE3 page 4/16, justifier s'il y a lieu d'exploiter ou non l'abaque ci-contre du couple admissible par le vérin :

Étant donné que le sous ensemble SE3 supporte 3 tri-axes de manière symétrique à son extrémité, celui-ci n'est pas soumis à de la torsion et il n'y a pas lieu de consulter l'abaque.

Q31. Conclure sur la capacité du vérin à effectuer le travail :

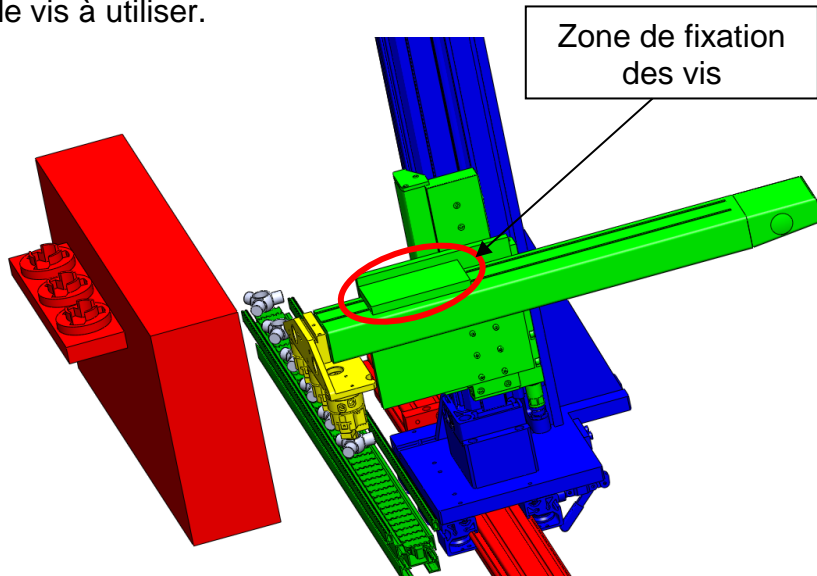
La force déplaçable étant supérieure à celle déplacée, le vérin est donc capable d'effectuer le travail.

VII. Étude de la fixation du vérin HMP 20 – 400 sur le support vérin :

Le vérin HMP 20 - 400 est fixé sur le support vérin par l'intermédiaire d'une plaque HMP traversée de vis implantées verticalement.
Nous allons déterminer le nombre minimal de vis à utiliser.

Voici les données :

- Les vis doivent résister à un effort de **1178N**
- Vis à tête cylindrique à six pans creux iso 4762 - **M5x30-6.8** avec un pas de **0.8**
- Nous prendrons un coefficient de sécurité de **10**



Classes de qualité pour vis et goujons***					
3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6
6.8	6.9	8.8	10.9	12.9	14.9
Classes de qualité pour les écrous***					
4	5	6	8	10	12 14

Un écrou assemblé avec une vis de qualité identique (par exemple 6 pour une vis 6.8) résiste jusqu'à rupture de la vis.

Les classes de qualité définissent les matériaux pour la visserie après leurs caractéristiques mécaniques (le choix du matériau et les traitements thermiques éventuels sont laissés à l'initiative du fabricant à condition que les caractéristiques mécaniques soient respectées).
La classe de qualité est indiquée par deux nombres :
■ le premier correspond au centième de la résistance minimale à la traction exprimée en mégapascals ;
■ le second multiplié par le premier donne le dixième de la limite nominale d'élasticité en mégapascals.

EXEMPLE

Classe de qualité 5.8
► Résistance minimale à la traction :
 $5 \times 100 = 500 \text{ MPa}$.
► Limite minimale d'élasticité :
 $5 \times 8 \times 10 = 400 \text{ MPa}$.

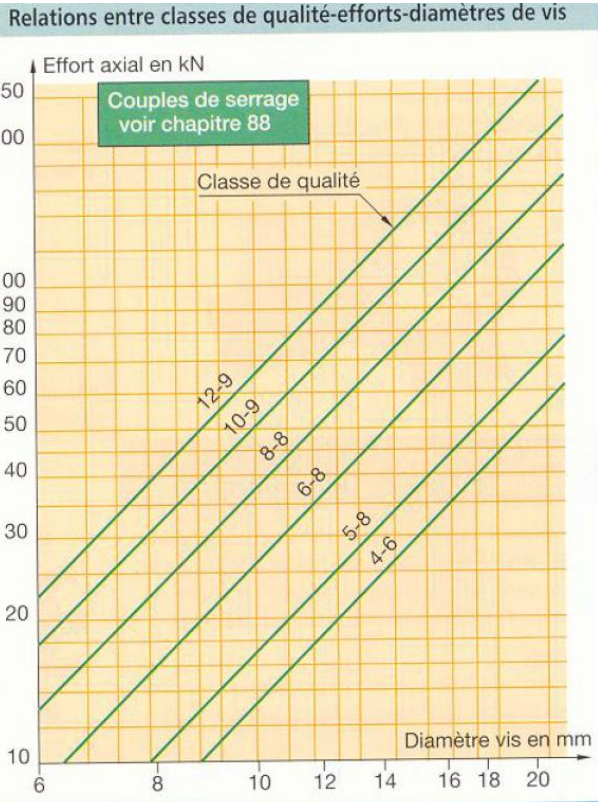


Figure 8 : Extrait de la page 228 du Guide du Dessinateur Industriel

Q32. À quel type de sollicitation sont soumises les vis ? (**cocher** la bonne réponse)

☐ cisaillement ☐ flexion ☒ traction/compression ☐ torsion ☐ flambage

Q33. **Calculer** le diamètre de l'âme d puis la section S d'une vis M5. Nous considérons que le diamètre de l'âme de la vis est égal à $d = M - \text{pas}$:

$$d = 5 - 0.8 = 4.2 \text{ mm}$$
$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4.2^2}{4} = 13.85 \text{ mm}^2$$

Q34. **Déterminer** la résistance élastique Re de l'acier utilisé par les vis d'après l'exemple donné dans l'extrait du GDI :

$$Re = 6 \times 8 \times 10 = 480 \text{ MPa}$$

Q35. **Calculer** la résistance pratique élastique Rpe :

$$Rpe = Rpe = \frac{Re}{s} = \frac{480}{10} = 48 \text{ MPa}$$

Q36. D'après la condition de résistance $\sigma_{\max} \leq Rpe$, **calculer** alors la surface minimale nécessaire Stotalmin des vis :

$$S > \frac{1178}{48} = 24.54 \text{ mm}^2$$

Q37. **En déduire** le nombre minimal de vis nécessaire nmin au maintien en position du vérin HMP 20 – 400 sur le support de vérin :

$$\frac{24.54}{13.85} = 1.77 \text{ soit au minimum 2 vis}$$

VIII. Vérification de la rigidité du vérin HMP 20 – 400 :

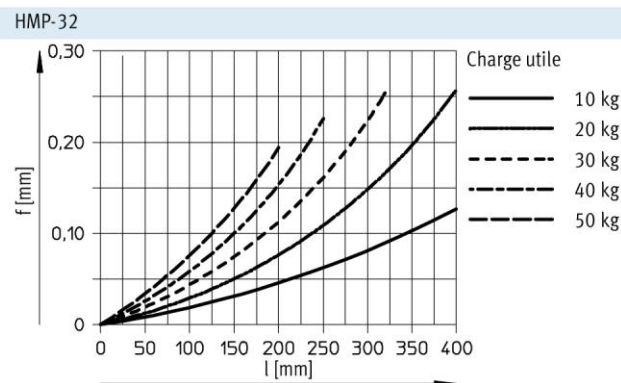
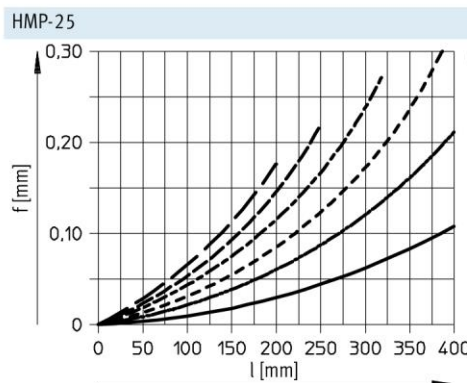
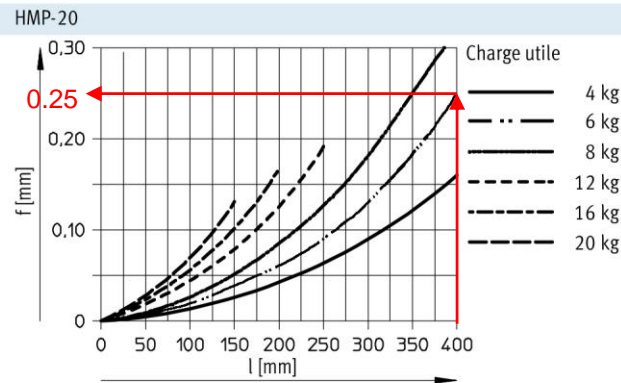
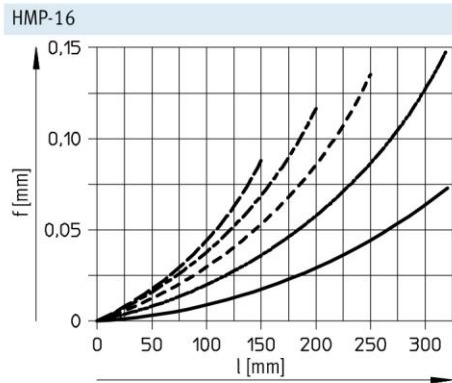
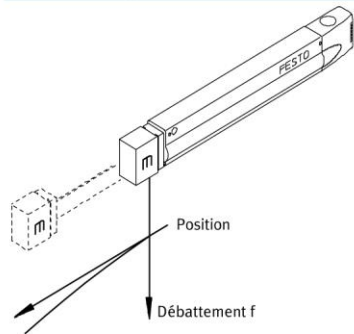
Afin de s'assurer du bon positionnement des pièces dans le montage d'usinage, nous allons vérifier la rigidité du vérin HMP.

Modules linéaires HMP

Fiche de données techniques

FESTO

Débattement/fléchissement f en fonction de la charge utile m et de la position l (course)



La charge en bout de vérin est de 5,3 kg.

Q38. À quel(s) type(s) de sollicitation(s) est soumis la tige du vérin ? (**cocher** la (les) bonne(s) réponse(s))

☒ cisaillement ☒ flexion ☐ traction/compression ☐ torsion ☐ flambage

Q39. D'après l'abaque ci-contre, **déterminer** le fléchissement maxi de la tige du vérin HMP 20-400.

$f_{\text{maxi}} = 0.25 \text{ mm}$

Q40. **Conclure** quant au respect du critère de rigidité défini dans le cahier des charges :

La flèche étant inférieure à 0.5 mm, la rigidité du système est validée.