Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
formav.co/explorer

Unité U42 - Conception préliminaire

Session 2019 • Code sujet : **CP42CP - 2019** • Durée : **6 heures** • Coefficient : **6**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Vérification de l'absence d'interférence entre l'avion et le bâtiment** (9 questions) — **Page 3**
2. **Choix de l'énergie et des actionneurs pour le déplacement vertical** (5 questions) — **Page 9**
3. **Validation de la chaîne d'énergie pneumatique** (9 questions) — **Page 12**
4. **Validation des choix technologiques du mouvement de tangage** (13 questions) — **Page 17**
5. **Fiabilisation du système de tangage par l'ajout d'un mécanisme** (1 question) — **Page 25**
6. **Vérification de la sécurité du châssis mobile** (3 questions) — **Page 26**
7. **Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 28**

Sujet officiel (PDF) : https://bts-cpi.fr/assets/annales/bts-cpi/E4.2 - Conception préliminaire/2019/BTS CPI - E4.2 - Conception préliminaire - Session 2019 - 1-Sujet.pdf

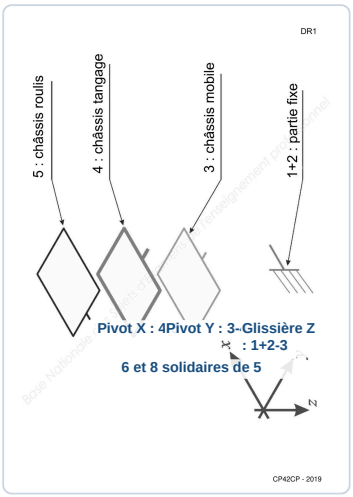
1. Vérification de l'absence d'interférence entre l'avion et le bâtiment

Le sujet étudie un simulateur construit autour d'un avion Douglas C-47, dont les châssis permettent les mouvements de tangage, de roulis et de translation verticale. À partir des schémas cinématiques, des positions et des trajectoires de points de l'avion, il faut vérifier que celui-ci ne rencontre pas le bâtiment.

Question 1. Sur le DR1, compléter le schéma cinématique minimal du mécanisme permettant au simulateur les mouvements de tangage, de roulis et de montée-descente.

La chaîne se lit depuis la partie fixe : la glissière entre (1+2) et le châssis mobile (3) autorise la translation suivant Z. Le châssis de tangage (4) pivote autour de Y par rapport à (3), puis le châssis de roulis (5) pivote autour de X par rapport à (4). Le châssis soutien (6) et l'avion (8) sont solidaires de (5). Ces trois mouvements correspondent bien à la translation verticale, au tangage et au roulis.

DR1 complété : liaisons de la chaîne cinématique



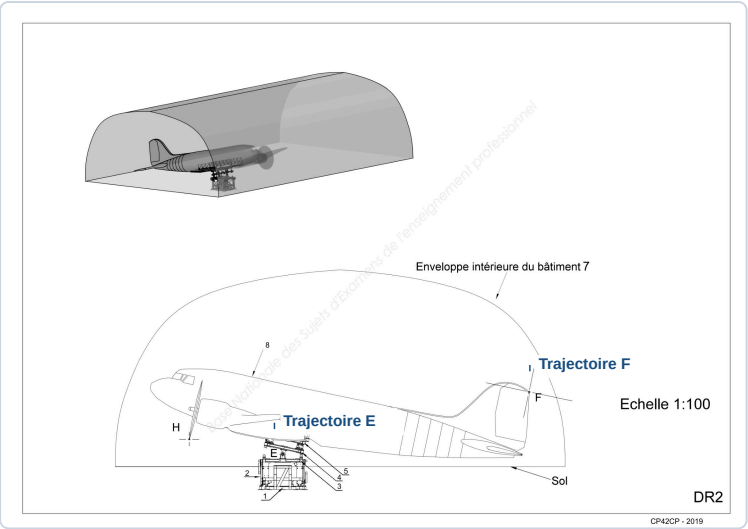
✓ RÉPONSE À RETENIR

(1+2) - glissière Z - (3) - pivot Y - (4) - pivot X - (5), avec (6) et (8) solidaires de (5).

Question 2. Sur le DR2, tracer les trajectoires des points $E_{(3/1)}$, centre de la liaison entre le châssis mobile (3) et le châssis fixe (1+2), et $F_{(8/1)}$ pendant le mouvement vertical.

Le point E, centre de la liaison entre (3) et (1+2), accompagne le châssis mobile en translation verticale. Le point F, fixé à l'avion porté par ce châssis, subit la même translation. Sur le DR2, tracer par chacun des points une droite parallèle à Z. La course complète représente 350 mm, soit 3,5 mm sur le dessin à l'échelle 1:100.

DR2 : trajectoires verticales de E et F



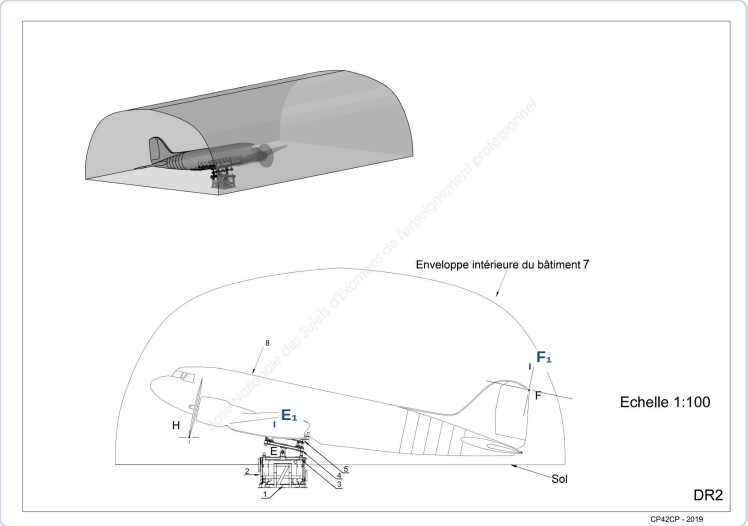
✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Tracer par E et F deux segments verticaux parallèles à Z, chacun long de 3,5 mm sur le DR2.

Question 3. Sur le DR2, tracer la position des points E et F, notés E_1 et F_1, lorsque l'avion est en position haute.

Le passage en position haute correspond à une translation verticale de 350 mm, sans changement de l'orientation de l'avion. À l'échelle 1:100, le déplacement à reporter vaut 3,5 mm. Déplacer E et F de cette même distance vers le haut, parallèlement à Z, sans modifier leur écart horizontal. Nommer les positions obtenues E_1 et F_1.

DR2 : points en position haute



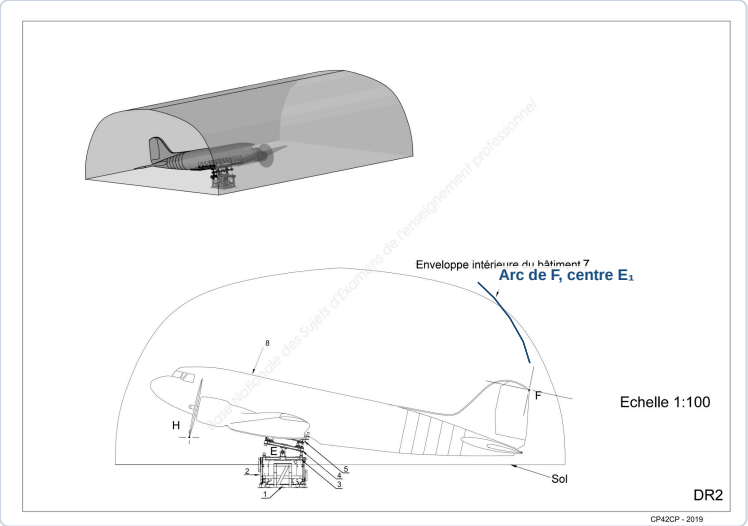
✓ **RÉPONSE À RETENIR**

E_1 et F_1 se placent respectivement 3,5 mm au-dessus de E et de F sur le DR2.

Question 4. Sur le DR2, tracer la trajectoire du point $F_{(8/1)}$ pendant le mouvement de tangage, l'avion étant en position haute.

En position haute, le tangage est une rotation autour de l'axe Y passant par E_1. Le point F_1, fixé à l'avion, conserve donc sa distance à E_1 et décrit un arc de cercle de centre E_1. Les limites angulaires sont le cabré maximal à −12° et le piqué maximal à +10°. La trajectoire relie les positions extrêmes, sans passer par le centre de rotation.

DR2 : trajectoire de F en tangage, position haute



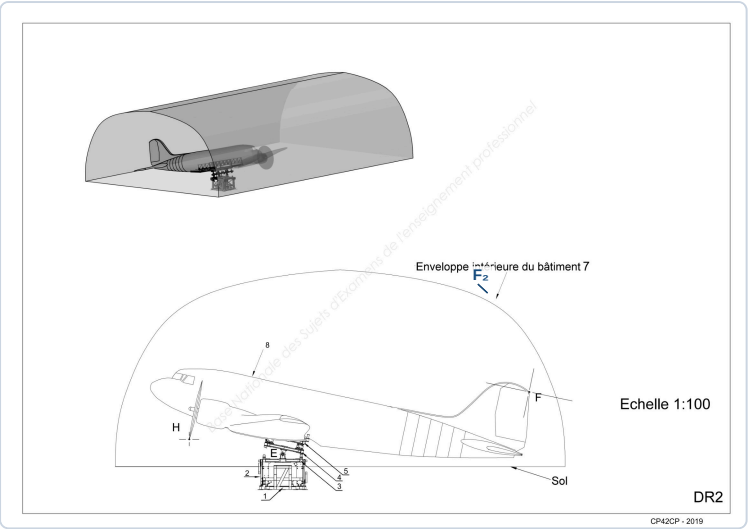
✓ RÉPONSE À RETENIR

Tracer l'arc de cercle de centre E_1 et de rayon E_1F_1, entre −12° en cabré et +10° en piqué.

Question 5. Sur le DR2, tracer la position du point F, notée F_2, lorsque l'avion est en position haute et en piqué maximal.

Le piqué maximal correspond à l'orientation +10° du châssis de tangage. Le point F_2 se trouve alors sur le cercle de centre E_1 et de rayon E_1F_1. Sur la vue de côté, le nez de l'avion s'abaisse et l'arrière se relève : F_2 est donc au-dessus de F_1. Reporter la position extrême sur l'arc tracé à la question précédente.

DR2 : F_2 en piqué maximal



✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Placer F_2 sur l'arc de centre E_1, à l'extrémité correspondant au piqué maximal de +10°.

Question 6. Le constructeur a choisi une orientation différente de l'avion par rapport au bâtiment. Sur une feuille de copie, justifier la nécessité de ce changement d'orientation.

Le C-47 mesure 29,41 m d'envergure pour 19,43 m de longueur. Orienter l'avion perpendiculairement à l'axe longitudinal du bâtiment place ainsi l'envergure dans le sens de la longueur du bâtiment et la longueur du fuselage dans sa largeur. Cette disposition réduit l'encombrement transversal, facilite le passage dans l'enveloppe du bâtiment et laisse davantage de dégagement aux ailes pendant les mouvements.

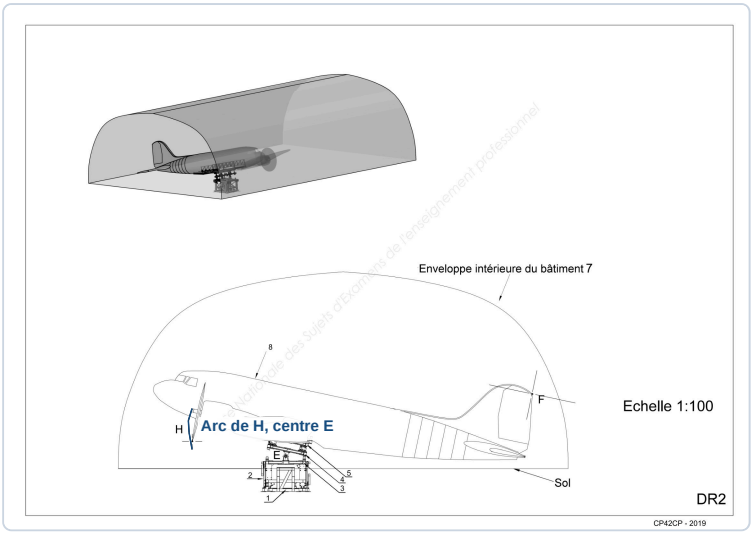
✓ **RÉPONSE À RETENIR**

L'orientation place l'envergure dans la longueur du bâtiment et limite l'encombrement en largeur ainsi que les risques de contact.

Question 7. Sur le DR2, tracer la trajectoire du point $H_{(8/1)}$ pendant le mouvement de tangage, l'avion étant en position basse.

En position basse, le tangage reste une rotation autour de l'axe Y passant par le centre E de la liaison. Le point H, fixé à l'avion, décrit donc un arc de cercle centré sur E, de rayon EH. Tracer l'arc entre les positions extrêmes de tangage, du cabré maximal à −12° au piqué maximal à +10°. La trajectoire n'est pas verticale.

DR2 : trajectoire de H en tangage, position basse



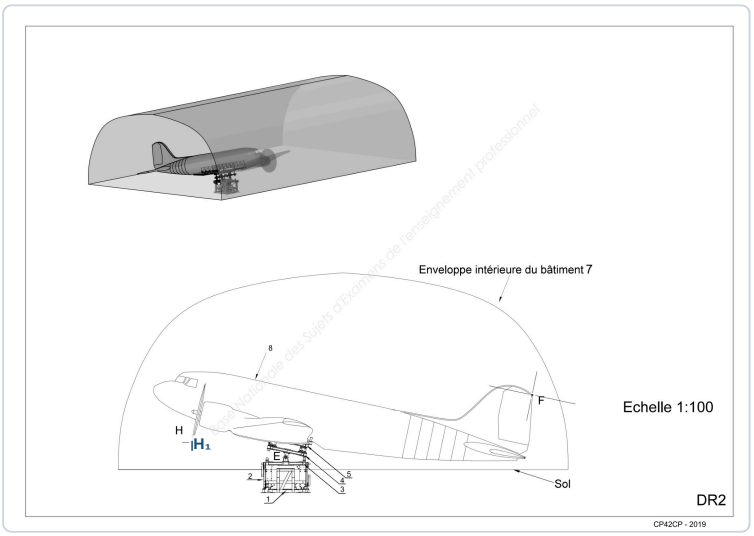
✓ RÉPONSE À RETENIR

Tracer pour H un arc de cercle de centre E et de rayon EH, entre les deux limites angulaires de tangage.

Question 8. Sur le DR2, tracer la position la plus basse du point H, notée H_1, lorsque l'avion est en position basse et en piqué maximal.

La position basse de l'avion est conservée pendant le tangage. Pour obtenir la position la plus basse de H, tourner l'avion jusqu'au piqué maximal, soit +10°, autour du centre E. Le point H_1 se place sur l'arc de rayon EH, du côté inférieur de la position initiale de H. Il ne faut déplacer ni le centre E ni modifier la distance EH.

DR2 : H_1 en position la plus basse



✓ RÉPONSE À RETENIR

H_1 est l'extrémité de l'arc de centre E et de rayon EH correspondant au piqué maximal, à +10°.

Question 9. Le concepteur envisage de supprimer complètement l'aile droite et de désolidariser l'aile gauche de la carlingue. Sur une feuille de copie, indiquer les bénéfices possibles de ces suppressions.

Supprimer l’aile droite et rendre l’aile gauche démontable réduit l’encombrement transversal de l’avion. Cela facilite son installation dans le bâtiment et augmente le dégagement pendant les mouvements, donc réduit les risques d’interférence avec les parois. Le démontage de l’aile gauche peut aussi simplifier l’accès lors du montage, du transport et des opérations de maintenance.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Réduire l’encombrement et les risques de collision, tout en facilitant l’installation, le transport et la maintenance.

2. Choix de l'énergie et des actionneurs pour le déplacement vertical

Cette partie porte sur le choix de l'énergie et des actionneurs nécessaires au déplacement vertical de la partie mobile du simulateur C-47. Les accélérations, les masses et les fiches techniques servent à calculer l'effort requis, à comparer les technologies électrique, hydraulique et pneumatique, puis à choisir une solution à l'aide d'une matrice multicritères.

Question 10. À partir de la figure 13 du DT6, relever les valeurs minimale et maximale des accélérations suivant les axes y et z. En utilisant la figure 12 du DT6, en déduire la catégorie à laquelle appartient le simulateur.

La figure 13 donne les accélérations extrêmes suivantes : sur l'axe y, de −0,15 g à +0,17 g ; sur l'axe z, de 0,83 g à 1,20 g. Reportées sur le diagramme de la figure 12, ces valeurs situent le simulateur en catégorie 1.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> a_y : −0,15 à +0,17 g ; a_z : 0,83 à 1,20 g ; catégorie 1.

Question 11. Calculer le poids total P_r de l'ensemble mobile du simulateur C-47 lorsqu'il accueille 26 passagers.

Élément	Poids
Ensemble mobile à vide (DT5)	7 050 daN
26 passagers (DT5)	2 600 daN
Total	9 650 daN

Le poids total est la somme du poids à vide et du poids maximal des passagers : 7 050 + 2 600 = 9 650 daN, soit 96 500 N.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> P_T = 9 650 daN = 96 500 N.

Question 12. Calculer l'accélération a_y du système lors de la montée, en vous reportant à la question 10. En appliquant le principe fondamental de la dynamique à l'ensemble mobile du simulateur C-47, déterminer l'action mécanique verticale maximale $F_v$max que doit exercer l'actionneur. Les accélérations suivant z indiquées dans le DT6 incluent celle de la pesanteur.

1. La montée correspond à l'accélération verticale maximale : $a_V = (1{,}20 - 1) \times 9{,}81 = 1{,}962$ m·s^{-2}, car a_Z inclut g.
2. Le PFD donne $F_V - P_T = (P_T/g) \times a_V$. Ainsi, $F_{Vmax} = P_T \times 1{,}20 = 96\,500 \times 1{,}20 = 115\,800$ N.

✓ RÉPONSE À RETENIR

a_v = 1,962 m·s^{-2} ; F_{vmax} = 115,8 kN.

Question 13. Calculer, pour chaque type de technologie, le nombre d'actionneurs nécessaires. Indiquer si ce calcul permet de choisir une technologie parmi les trois envisagées.

On divise l'effort estimé de 116 kN par la poussée dynamique d'un vérin, puis on arrondit au nombre entier supérieur. Pour le pneumatique, la force dépend de la hauteur : à 5 bar et H ≈ 350 mm, la figure 16 indique environ 150 kN par vérin.

1. Électrique : 116 / 62 = 1,87, donc 2 vérins.
2. Hydraulique : 116 / 138 = 0,84, donc 1 vérin.
3. Pneumatique : 116 / 150 ≈ 0,77, donc 1 vérin à cette hauteur.

Ce calcul seul ne suffit pas à choisir la technologie : il faut aussi comparer les autres critères.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Électrique : 2 vérins ; hydraulique : 1 vérin ; pneumatique : 1 vérin à H ≈ 350 mm et 5 bar. Le calcul seul ne départage pas les technologies.

Question 14. Compléter sur le DR3 la matrice de pondération multicritères, puis choisir la solution technologique permettant de mettre en mouvement le simulateur C-47.

Les notes (de 1 à 3) sont pondérées par le poids de chaque critère. Les caractéristiques des fiches techniques justifient notamment la note de précision : 3 pour les vérins électrique et hydraulique (1 mm), 1 pour le pneumatique (5 mm). Les autres notes tiennent compte des vitesses, niveaux de maintenance, dangers et risques environnementaux.

Critère	Poids	Électrique	Hydraulique	Pneumatique
Précision de positionnement	1	3	3	1
Rapidité de mouvement	2	3	2	2
Maintenabilité	4	2	1	3
Dangerosité pour l'exploitant	5	3	1	3
Risques pour l'environnement	2	3	1	3
Total pondéré		38	18	38

Les solutions électrique et pneumatique sont à égalité. La meilleure précision de positionnement conduit à retenir la solution électrique.

Matrice DR3 complétée

Matrice de pondération multicritères

Notation : solution technologique peu satisfaisante (note = 1), satisfaisante (note = 2), très satisfaisante (note = 3)

Critères	Poids du critère (de 1 à 5)	Solution électrique	Solution hydraulique	Solution pneumatique	***Exemple de calcul***
Précision de positionnement	**1**	**3**	**3**	**1**	***2***
Rapidité de mouvement	**2**	**3**	**2**	**2**	***1***
Maintenabilité	**4**	**2**	**1**	**3**	***2***
Dangerosité pour l'exploitant	**5**	**3**	**1**	**3**	***1***
Risques pour l'environnement	**2**	**3**	**1**	**3**	***3***
Evaluation des solutions technologiques		**38**	**18**	**38**	*1x2 + 2x1 + 4x2 + 5x1 + 2x3 =* ***23***
Solution technologique choisie :		**ÉLECTRIQUE**			

Centre National des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

✓ RÉPONSE À RETENIR

Solution choisie : électrique. Scores pondérés : électrique 38 ; hydraulique 18 ; pneumatique 38.

3. Validation de la chaîne d'énergie pneumatique

La partie valide la chaîne d'énergie pneumatique retenue pour le simulateur C-47. Les caractéristiques des vérins, du compresseur et des cuves permettent d'estimer les volumes et débits d'air nécessaires, l'énergie consommée pendant la simulation, le stockage de sécurité et le diamètre de la canalisation principale.

Problématique 1 : caractéristiques du compresseur

Question 15. La technologie pneumatique étant retenue pour tous les mouvements du simulateur C-47, indiquer sur le DR4 la course maximale de travail des vérins, puis en déduire le nombre total de vérins nécessaires à la mise en mouvement du simulateur.

Les courses maximales se lisent sur les fiches techniques DT8 à DT10 : 444 mm pour le vérin vertical et 330 mm pour les vérins de tangage et de roulis. Le DR4 indique un vérin vertical. Comme précisé dans le sujet, les vérins de tangage et de roulis sont doublés pour assurer l'aller et le retour. On complète donc les deux cases de course et les deux cases de nombre de vérins correspondantes.

DR4 complété : courses et nombre de vérins

DR4

Energie consommée par le simulateur C-47				
		Vérin FT 2870 45 RS (mouvement vertical)	Vérin FT 412 32 DS (mouvement de tangage)	Vérin FT 210 32 DS (mouvement de roulis)
Questions	Course de travail pour la mise en mouvement du simulateur C-47 (mm)	350	370	154
Q15	Course maximum de travail (mm)	444	**330 mm**	**330 mm**
	Nombre total de vérin	1	**2**	**2**
Q16	Volume d'un vérin (l)	145		
	Volume d'air comprimé nécessaire pour assurer le mouvement du simulateur C-47 pendant un cycle (l)	145		
Q17	Débit d'air comprimé maximum pendant un cycle ($l \cdot s^{-1}$)	48,3		
	Débit total maximum d'air comprimé ($l \cdot s^{-1}$)			
Q19	Nombre de cycles effectués pendant la simulation.	20		
Q20	Volume d'air comprimé consommé pendant la simulation (l)	2900		
	Énergie consommée pour chaque mouvement (J)	1450000		
	Énergie totale consommée (J)			

CP42CP - 2019

✓ RÉPONSE À RETENIR

Courses maximales : vertical 444 mm, tangage 330 mm, roulis 330 mm. Nombre total : 5 vérins.

Question 16. À partir des diagrammes des DT8 à DT10, indiquer sur le DR4 le volume d'air nécessaire pour garantir la course de travail de chaque vérin. En déduire par calcul le volume d'air comprimé nécessaire pour assurer les mouvements du simulateur C-47 pendant un cycle.

Les courbes en pointillés des DT8 à DT10 donnent le volume d'air associé à la course de travail : 145 L pour le vérin vertical, 18 L par vérin de tangage et 5 L par vérin de roulis. Le tangage et le roulis utilisent chacun deux vérins. Le volume total pour un cycle se calcule donc ainsi : $145 + 2 \times 18 + 2 \times 5 = 191$ L. Les volumes des deux vérins de chaque mouvement sont reportés sur le DR4.

DR4 complété : volumes d'air par cycle

DR4

Energie consommée par le simulateur C-47				
		Vérin FT 2870 45 RS (mouvement vertical)	Vérin FT 412 32 DS (mouvement de tangage)	Vérin FT 210 32 DS (mouvement de roulis)
Questions	Course de travail pour la mise en mouvement du simulateur C-47 (mm)	350	370	154
Q15	Course maximum de travail (mm)	444		
	Nombre total de vérin	1		
Q16	Volume d'un vérin (l)	145	**18 L**	**5 L**
	Volume d'air comprimé nécessaire pour assurer le mouvement du simulateur C-47 pendant un cycle (l)	145	**36 L**	**10 L**
Q17	Débit d'air comprimé maximum pendant un cycle ($l \cdot s^{-1}$)	48,3		
	Débit total maximum d'air comprimé ($l \cdot s^{-1}$)			
Q19	Nombre de cycles effectués pendant la simulation.	20		
Q20	Volume d'air comprimé consommé pendant la simulation (l)	2900		
	Énergie consommée pour chaque mouvement (J)	1450000		
	Énergie totale consommée (J)			

CP42CP - 2019

✓ RÉPONSE À RETENIR

Par cycle : vertical 145 L, tangage 36 L, roulis 10 L. Volume total : 191 L.

Question 17. Déterminer sur le DR4, pour chacun des vérins, le débit maximal d'air comprimé pendant un cycle. En considérant que les mouvements vertical, de tangage et de roulis peuvent être simultanés, calculer le débit total maximal d'air comprimé.

Le débit maximal par vérin correspond au volume d'air divisé par la durée du cycle : le vertical est déjà indiqué sur le DR4, tandis que les durées du tangage et du roulis sont lues sur le DT5. Les mouvements étant simultanés, on additionne le débit vertical et les débits des deux vérins de chaque mouvement angulaire : $48.3 + 2 \times (18/22) + 2 \times (5/8) = 51.19$ L·s⁻¹. On reporte les débits par vérin et le total sur le DR4.

DR4 complété : débits maximaux

DR4

Energie consommée par le simulateur C-47				
		Vérin FT 2870 45 RS (mouvement vertical)	Vérin FT 412 32 DS (mouvement de tangage)	Vérin FT 210 32 DS (mouvement de roulis)
Questions	Course de travail pour la mise en mouvement du simulateur C-47 (mm)	350	370	154
Q15	Course maximum de travail (mm)	444		
	Nombre total de vérin	1		
Q16	Volume d'un vérin (l)	145		
	Volume d'air comprimé nécessaire pour assurer le mouvement du simulateur C-47 pendant un cycle (l)	145		
Q17	Débit d'air comprimé maximum pendant un cycle ($l \cdot s^{-1}$)	48,3	**0,82 L·s⁻¹**	**0,63 L·s⁻¹**
	Débit total maximum d'air comprimé ($l \cdot s^{-1}$)		**51,2 L·s⁻¹**	
Q19	Nombre de cycles effectués pendant la simulation.	20		
Q20	Volume d'air comprimé consommé pendant la simulation (l)	2900		
	Énergie consommée pour chaque mouvement (J)	1450000		
	Énergie totale consommée (J)			

CP42CP - 2019

✓ RÉPONSE À RETENIR

Débits par vérin : vertical 48,3 L·s⁻¹, tangage 0,82 L·s⁻¹, roulis 0,63 L·s⁻¹. Débit total maximal : 51,2 L·s⁻¹.

Question 18. Sachant que la pression de service du compresseur est de 7 bars, choisir le type de compresseur pouvant convenir.

Le débit total requis est de 51,2 L·s⁻¹, soit $51.2 \times 3.6 = 184.32$ m³·h⁻¹. Le tableau DT11 donne, à 7,5 bar, 164,2 m³·h⁻¹ pour le GA15.7 et 209 m³·h⁻¹ pour le GA18.7. Le premier débit insuffisant est écarté ; le GA18.7 satisfait le besoin tout en fournissant une pression de sortie supérieure aux 7 bars de service.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Compresseur retenu : ATLAS COPCO GA18.7, pression de sortie 7,5 bar, débit 209 m³·h⁻¹.

Problématique 2 : capacité de stockage en air comprimé

Question 19. Indiquer sur le DR4 le nombre de cycles effectués par chaque vérin pendant la simulation.

Le DT5 indique les fréquences moyennes pendant la durée totale de la simulation : 20 montées/descentes verticales, 1 cycle de tangage et 12 cycles de roulis. Ces valeurs correspondent au nombre de cycles à inscrire dans la ligne Q19 du DR4, dans la colonne de chaque mouvement. La valeur verticale de 20 est déjà imprimée sur le document ; les deux autres valeurs complètent la ligne.

DR4 complété : nombre de cycles

DR4

Energie consommée par le simulateur C-47				
		Vérin FT 2870 45 RS (mouvement vertical)	Vérin FT 412 32 DS (mouvement de tangage)	Vérin FT 210 32 DS (mouvement de roulis)
Questions	Course de travail pour la mise en mouvement du simulateur C-47 (mm)	350	370	154
Q15	Course maximum de travail (mm)	444		
	Nombre total de vérin	1		
Q16	Volume d'un vérin (l)	145		
	Volume d'air comprimé nécessaire pour assurer le mouvement du simulateur C-47 pendant un cycle (l)	145		
Q17	Débit d'air comprimé maximum pendant un cycle (l·s⁻¹)	48,3		
	Débit total maximum d'air comprimé (l·s⁻¹)			
Q19	Nombre de cycles effectués pendant la simulation.	20	**1**	**12**
Q20	Volume d'air comprimé consommé pendant la simulation (l)	2900		
	Énergie consommée pour chaque mouvement (J)	1450000		
	Énergie totale consommée (J)			

CP42CP - 2019

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Nombre de cycles : vertical 20, tangage 1, roulis 12.

Question 20. Calculer sur le DR4 le volume d'air consommé par les vérins de tangage et de roulis pendant la simulation. Calculer l'énergie consommée par ces vérins pendant la simulation, puis en déduire l'énergie totale consommée.

Le tangage consomme $2 \times 18 \times 1 = 36$ L pendant la simulation ; le roulis consomme $2 \times 5 \times 12 = 120$ L. À 5 bar, l'énergie s'obtient par $E = PV$, avec les volumes convertis en m³ : 18 000 J pour le tangage et 60 000 J pour le roulis. On ajoute ces deux valeurs aux 1 450 000 J du mouvement vertical déjà indiqués sur le DR4, puis on complète les lignes Q20.

DR4 complété : consommation pendant la simulation

DR4

Energie consommée par le simulateur C-47

		Vérin FT 2870 45 RS (mouvement vertical)	Vérin FT 412 32 DS (mouvement de tangage)	Vérin FT 210 32 DS (mouvement de roulis)
Questions	Course de travail pour la mise en mouvement du simulateur C-47 (mm)	350	370	154
Q15	Course maximum de travail (mm)	444		
	Nombre total de vérin	1		
Q16	Volume d'un vérin (l)	145		
	Volume d'air comprimé nécessaire pour assurer le mouvement du simulateur C-47 pendant un cycle (l)	145		
Q17	Débit d'air comprimé maximum pendant un cycle ($l \cdot s^{-1}$)	48,3		
	Débit total maximum d'air comprimé ($l \cdot s^{-1}$)			
Q19	Nombre de cycles effectués pendant la simulation.	20		
Q20	Volume d'air comprimé consommé pendant la simulation (l)	2900	**36 L**	**120 L**
	Énergie consommée pour chaque mouvement (J)	1450000	**18 000 J**	**60 000 J**
	Énergie totale consommée (J)	**1 528 000 J**		

CP42CP - 2019

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Tangage : 36 L et 18 000 J. Roulis : 120 L et 60 000 J. Énergie totale : 1 528 000 J.

Question 21. Exprimer littéralement l'énergie totale maximale E_r emmagasinée dans les cuves à la pression Pmax = 7 bars, puis l'énergie minimale E_m qui doit rester disponible à Pmin = 5 bars. En considérant que la différence entre E_r et E_m représente l'énergie consommée par le simulateur, calculer le volume minimal nécessaire des cuves. Pour cette énergie consommée, retenir la valeur de $1{,}6 \times 10^6$ J.

Pour le volume total de cuves V, les énergies sont $E_r = P_{max}V$ et $E_m = P_{min}V$. L'énergie utilisable vaut donc $E_r - E_m = (P_{max} - P_{min})V$. Avec les pressions exprimées en pascals, l'écart est $(7 - 5) \times 100000 = 200000$ Pa. En imposant une énergie consommée de 1.6×10^6 J, on obtient $V = 1.6 \times 10^6 / 200000 = 8$ m³.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> $E_r = P_{max}V$ et $E_m = P_{min}V$. Volume minimal des cuves : 8 m³, soit 8 000 L.

Question 22. Calculer le nombre minimum de cuves nécessaires, sachant que le volume de chaque cuve est de 900 litres.

Le volume minimal calculé à la question précédente est de 8 m³, soit 8 000 L. Chaque cuve a un volume de 900 L. Le quotient $8000/900$ est d'environ 8,89 cuves. Comme le stockage doit atteindre au moins le volume minimal et qu'une fraction de cuve n'est pas possible, on arrondit le résultat à l'entier supérieur.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Nombre minimum : 9 cuves de 900 L.

Question 23. En supposant que le compresseur fournit son débit maximal pendant la simulation et que les pertes de charge ne dépassent pas 0,1 bar, calculer le diamètre intérieur minimal d, en millimètres, du tuyau de la canalisation principale.

Le débit maximal du GA18.7 est 209 m³·h⁻¹, soit $209 \times 1000/3600 = 58.06$ L·s⁻¹. D'après le DT11, $\Delta P = \frac{L \times 450 \times Q_c^{1.85}}{d^5 \times P}$. En isolant le diamètre et en utilisant $L = 12$ m, $\Delta P = 0.1$ bar et $P = 7.5$ bar, on obtient $d = \left(\frac{12 \times 450 \times 58.06^{1.85}}{0.1 \times 7.5}\right)^{1/5} \approx 26.6$ mm.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Diamètre intérieur minimal : $d \approx 26.6$ mm.

4. Validation des choix technologiques du mouvement de tangage

Cette partie vérifie le fonctionnement de la liaison pivot entre le châssis de tangage et le châssis mobile, équipée de rotules. Les tâches portent sur les charges, la compatibilité des conditions de glissement et la durée de vie, puis sur la représentation de la liaison, son hyperstatisme et les limites de fabrication mécano-soudée.

Question 24. Sur le DR5, déterminer par le calcul la charge statique F_r subie par la liaison pivot entre le châssis de tangage (4) et le châssis mobile (3).

Le DT13 indique une masse de 7 800 kg pour la charge 3, appliquée au châssis mobile. Les hypothèses de la partie 4 permettent de négliger l'inertie et donnent g = 9,81 m·s⁻². La charge statique transmise à la liaison pivot est donc le poids de cette charge : $F_T = m \times g = 7\,800 \times 9{,}81$. Elle agit dans le plan (x,z), perpendiculairement à l'axe Y de la liaison.

Charge statique sur le DR5


DR5

Question 24 :
Charge statique F_T : **FT = 76 518 N**

Question 25 :
Charge radiale F_r

Question 26 :
Facteur de charge axiale y

Charge dynamique équivalente P

Question 27 :
Charge dynamique de base C

Charge dynamique spécifique p

Question 28 :
Diamètre de la sphère de la bague intérieure d_s

Question 29 :
½ angle d'oscillation du mouvement de tangage β

Question 30 :
Fréquence d'oscillation du mouvement de tangage f :

Temps nécessaire pour une oscillation complète :

Question 31 :
Vitesse de glissement moyenne v

Conformité rotule avec p et v

Question 32 :
Durée de vie prévisible G_h

✓ RÉPONSE À RETENIR

F_T = 76 518 N, soit 76,5 kN.

Question 25. Sachant que quatre rotules réalisent cette liaison, calculer sur le DR5 la charge radiale F_r supportée par une rotule.

La partie 4 précise que la charge est équitablement répartie entre les composants participant au mouvement. La liaison comprend quatre rotules, donc chacune supporte un quart de la charge totale calculée à la question précédente : $F_r = 76\,518 / 4 = 19\,129{,}5$ N. Comme la force est dans le plan (x,z) et perpendiculaire à l'axe Y, elle constitue une charge radiale pour les rotules.

Charge radiale sur le DR5



✓ RÉPONSE À RETENIR

F_r = 19 129,5 N, soit 19,13 kN par rotule.

Question 26. Déterminer sur le DR5 le facteur de charge axiale y, puis calculer la charge dynamique équivalente P.

La charge agit uniquement dans le plan (x,z), tandis que l'axe de la liaison pivot est Y. Sa composante axiale est donc nulle : $F_a/F_r = 0$. La lecture du diagramme 6 du DT14 pour ce rapport donne le facteur y = 1. La charge dynamique équivalente d'une rotule se calcule par $P = y \times F_r$. On utilise F_r = 19,1295 kN, valeur exprimée dans l'unité requise par le DT14.

Facteur axial et charge équivalente sur le DR5



✓ RÉPONSE À RETENIR

y = 1 ; P = 19,13 kN.

Question 27. Indiquer sur le DR5 la charge dynamique de base admissible C de la rotule choisie, puis calculer la charge dynamique spécifique p.

Le DT15 donne, pour la rotule GE 100 TXA-2LS, une charge dynamique de base C = 1 730 kN. Le DT14 définit la charge dynamique spécifique par p = 300 × P/C, avec P et C en kN. En remplaçant par la charge équivalente calculée précédemment, on obtient p = 300 × 19,1295 / 1 730. Cette valeur caractérise la charge spécifique appliquée au palier.

Charge de base et charge spécifique sur le DR5



✓ RÉPONSE À RETENIR

C = 1 730 kN ; p ≈ 3,32 N·mm⁻².

Question 28. Indiquer sur le DR5 le diamètre d_k de la sphère de la bague intérieure de la rotule.

La référence retenue pour la liaison est la rotule GE 100 TXA-2LS, indiquée dans les données de la partie 4 et au DT12. Dans le tableau de dimensions du DT15, il faut lire la ligne correspondant à cette référence. Le diamètre de sphère d_k est une cote distincte du diamètre intérieur d et du diamètre extérieur D : il ne faut donc pas reprendre les valeurs 100 mm ou 150 mm.

Diamètre de sphère sur le DR5



✓ **RÉPONSE À RETENIR**

d_k = 130 mm.

Question 29. Déterminer sur le DR5 le demi-angle d'oscillation β du mouvement de tangage.

Le DT5 précise les deux positions extrêmes du mouvement de tangage : +10° en position piquée et −12° en position cabrée. L'angle total balayé entre ces positions vaut donc 10 − (−12), soit 22°. Le DT14 demande le demi-angle d'oscillation, c'est-à-dire la moitié de l'angle total parcouru. On obtient ainsi β = 22 / 2 = 11°.

Demi-angle d'oscillation sur le DR5



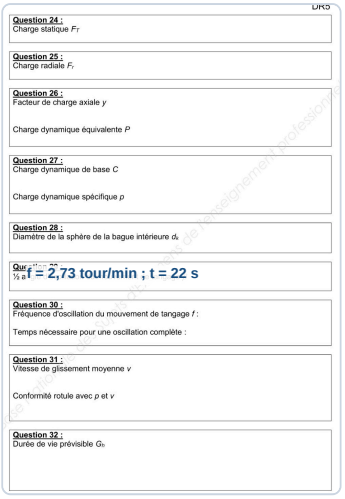
✓ **RÉPONSE À RETENIR**

β = 11°.

Question 30. Calculer sur le DR5 la fréquence d'oscillation f du mouvement de tangage, exprimée en tour·min⁻¹. À l'aide de la figure 5 du DT14, en déduire le temps t nécessaire pour une oscillation complète.

Le DT5 donne un temps de cycle de tangage de 22 s. Une oscillation complète correspond à un cycle complet entre les deux positions extrêmes et retour. La fréquence exprimée en tours par minute est donc f = 60/22 = 2,73 tour·min⁻¹. La figure 5 du DT14 relie cette fréquence au temps nécessaire pour une oscillation complète : celui-ci est le temps de cycle, soit 22 s.

Fréquence et période sur le DR5


DR5

Question 24 : Charge statique F_r

Question 25 : Charge radiale F_r

Question 26 : Facteur de charge axiale y

Charge dynamique équivalente P

Question 27 : Charge dynamique de base C

Charge dynamique spécifique p

Question 28 : Diamètre de la sphère de la bague intérieure d_k

Question 29 : ½ angle d'oscillation du mouvement de tangage β

f = 2,73 tour/min ; t = 22 s

Question 30 : Fréquence d'oscillation du mouvement de tangage f :

Temps nécessaire pour une oscillation complète :

Question 31 : Vitesse de glissement moyenne v

Conformité rotule avec p et v

Question 32 : Durée de vie prévisible G_h

✓ RÉPONSE À RETENIR

f ≈ 2,73 tour·min^{-1} ; t = 22 s.

Question 31. Calculer sur le DR5 la vitesse moyenne de glissement v. Vérifier, à l'aide du diagramme 3 du DT14, que la charge spécifique p et la vitesse de glissement v sont compatibles avec la référence choisie pour les rotules.

Le mouvement étant intermittent, le DT14 donne v = 8,73 × 10^{-6} × d_k × (4β/t). Avec d_k = 130 mm, β = 11° et t = 22 s, on obtient v = 8,73 × 10^{-6} × 130 × (4 × 11/22) = 0,00227 m·s^{-1}. Sur le diagramme 3, le point correspondant à p ≈ 3,32 N·mm^{-2} et cette vitesse appartient à la plage admissible des rotules TX.

Vitesse et conformité sur le DR5


DR5

Question 24 : Charge statique F_r

Question 25 : Charge radiale F_r

Question 26 : Facteur de charge axiale y

Charge dynamique équivalente P

Question 27 : Charge dynamique de base C

Charge dynamique spécifique p

Question 28 : Diamètre de la sphère de la bague intérieure d_k

Question 29 : ½ angle d'oscillation du mouvement de tangage β

Question 30 : Fréquence d'oscillation du mouvement de tangage f :

Temps nécessaire pour une oscillation complète :

v = 0,00227 m/s ; compatible

Question 31 : Vitesse de glissement moyenne v

Conformité rotule avec p et v

Question 32 : Durée de vie prévisible G_h

✓ RÉPONSE À RETENIR

v ≈ 0,00227 m·s^{-1} ; les valeurs de p et v sont compatibles avec la rotule choisie.

Question 32. Avec les valeurs fournies de charge dynamique spécifique, de vitesse moyenne de glissement et de température d'utilisation, calculer sur le DR5 la durée de vie prévisible G_h en heures. La convertir en jours d'utilisation en tenant compte des exigences du cahier des charges, puis conclure par rapport aux intervalles prévus pour la maintenance.

Le sujet impose p = 5 N·mm⁻² et v = 0,003 m·s⁻¹. Pour 0 à 35 °C, le diagramme 4 donne $b_2 = 1$; le tableau 1 donne $b_1 = 0{,}55$ pour une charge variable à moins de 0,5 Hz. Le diagramme 5 donne $b_4 \approx 0{,}97$. Avec $K_p = 770$ et n = 0,2, la formule du DT14 donne $G_h \approx 99\,245$ h. À 16 séances de 5 min par jour, cela représente environ 74 434 jours, au-delà de l'intervalle de maintenance annuel de 354 jours.

Durée de vie sur le DR5



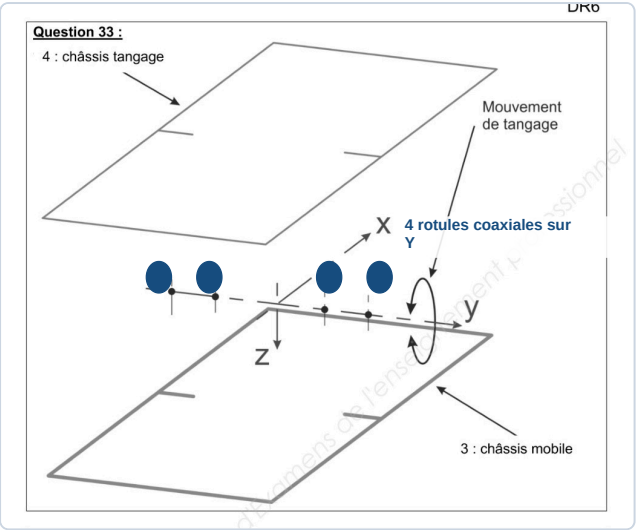
✓ RÉPONSE À RETENIR

$G_h \approx 99\,245$ h, soit environ 74 434 jours d'utilisation : durée supérieure à l'intervalle annuel de maintenance.

Question 33. Compléter sur le DR6 le schéma cinématique architectural de la liaison pivot entre le châssis de tangage (4) et le châssis mobile (3).

Le DR12 montre deux rotules de chaque côté, soit quatre rotules entre les châssis 4 et 3. Sur le DR6, les quatre points alignés matérialisent leurs positions sur l'axe Y. Le schéma architectural doit donc identifier une rotule à chacun de ces points, sans modifier l'axe de rotation représenté. Les quatre centres doivent être coaxiaux avec Y pour que l'articulation autorise le mouvement de tangage autour de cet axe.

Liaison pivot complétée sur le DR6



✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Représenter quatre rotules coaxiales sur l'axe Y, entre les châssis 4 et 3.

Question 34. Déterminer sur le DR6 le degré d'hyperstatisme h de l'articulation entre le châssis de tangage (4) et le châssis mobile (3).

Une rotule impose trois contraintes en modélisation spatiale. Les quatre rotules apportent donc r = 4 × 3 = 12 contraintes. La liaison conserve une mobilité, la rotation autour de Y, soit m = 1. Avec deux solides, la relation h = r − 6 + m donne h = 12 − 6 + 1 = 7. Le système est donc hyperstatique de degré 7 dans le modèle cinématique retenu.

Degré d'hyperstatisme sur le DR6



✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Degré d'hyperstatisme : h = 7.

Question 35. Préciser le positionnement relatif que devraient avoir les rotules entre elles pour assurer la rotation autour de l'axe Y. Indiquer si la réalisation mécano-soudée sans usinage après soudage permet de garantir un positionnement relatif précis des pièces constitutives de la liaison pivot.

Les centres des quatre rotules doivent être alignés sur une même droite, confondue avec l'axe Y, afin que les quatre articulations autorisent la même rotation de tangage. Une réalisation mécano-soudée sans usinage après soudage ne garantit pas cette coaxialité précise : les tolérances de fabrication et les déformations dues au soudage peuvent déplacer ou incliner les supports. Le défaut d'alignement risque alors de créer des efforts parasites ou de bloquer la rotation.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Les rotules doivent être coaxiales sur Y ; le mécano-soudage sans usinage après soudage ne garantit pas cette précision.

Question 36. Décrire sur une feuille de copie la manière dont le constructeur pourrait résoudre le problème de positionnement relatif des pièces constitutives de la liaison pivot.

Le constructeur peut prévoir une surépaisseur sur les supports, puis réaliser l'usinage après soudage et refroidissement. Les logements des rotules sont alors alésés en ligne dans un même montage, ce qui assure leur coaxialité. Un gabarit rigide peut aussi maintenir les supports pendant le soudage, mais il ne remplace pas l'usinage de finition. Il faut enfin contrôler l'alignement des logements et vérifier que l'articulation pivote librement.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Usiner les logements après soudage par alésage en ligne dans un même montage, puis contrôler leur coaxialité.

5. Fiabilisation du système de tangage par l'ajout d'un mécanisme

Dans la version initiale, les vérins de tangage montés en série se détériorent et rendent l'exploitation impossible. La solution étudiée ajoute un bras articulé entre chaque couple de vérins, avec une liaison pivot à concevoir à partir des rotules et des contraintes de montage indiquées.

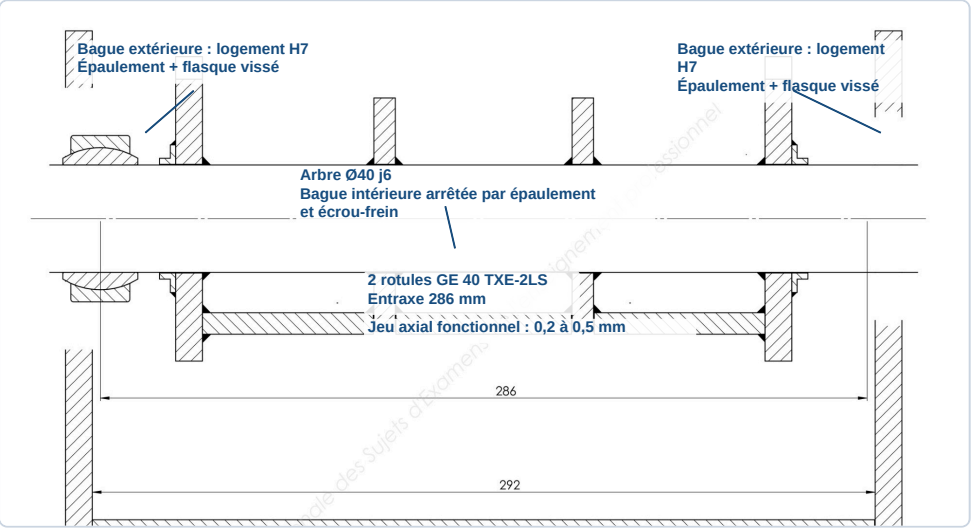
Question 37. Sur le DR7, représenter à main levée la liaison pivot entre le bras articulé et le châssis de tangage. Arrêter axialement les rotules conformément aux préconisations du fournisseur, préciser les ajustements sur leurs bagues et les jeux fonctionnels, et utiliser des éléments standards de la construction mécanique.

La coupe du DR7 montre deux rotules espacées de 286 mm. Monter leurs bagues intérieures sur l'arbre solidaire du bras articulé et leurs bagues extérieures dans les supports du châssis de tangage. Le fournisseur demande l'arrêt axial des deux bagues de chaque rotule.

Élément	Solution proposée
Bague intérieure	Arbre Ø40, ajustement j6, arrêt par épaulement et écrou-frein
Bague extérieure	Logement H7, arrêt par épaulement et flasque vissé
Jeu fonctionnel	Jeu axial de 0,2 à 0,5 mm, sans précharge ni pincement

Les rotules GE 40 TXE-2LS mesurent 40 × 62 × 28 mm. Prévoir des éléments standards et conserver l'articulation libre.

DR7 complété : liaison pivot du bras articulé



✓ RÉPONSE À RETENIR

Deux rotules GE 40 TXE-2LS, entraxe 286 mm ; arbre Ø40 j6, logements H7 ; arrêt axial des deux bagues et jeu fonctionnel de 0,2 à 0,5 mm.

6. Vérification de la sécurité du châssis mobile

La sécurité du châssis mobile en acier S235 est évaluée à partir des contraintes issues d'une simulation par éléments finis pendant le mouvement de tangage. Il faut comparer la contrainte maximale à la résistance élastique, vérifier le coefficient de sécurité exigé et proposer une évolution de structure si nécessaire.

Question 38. Relever dans le DT17 la valeur de la contrainte maximale qui s'exerce dans le châssis mobile (3), puis la comparer à la résistance élastique du matériau.

Le DT17 donne une contrainte maximale de 1,414 × 10^2 MPa, soit 141,4 MPa, au point le plus sollicité du châssis mobile. Les pièces étant en acier S235, la résistance élastique à comparer est de 235 MPa. Ainsi, 141,4 MPa est inférieur à 235 MPa : la contrainte calculée ne dépasse pas la limite élastique. Cette comparaison ne permet toutefois pas, à elle seule, de satisfaire l'exigence de coefficient de sécurité indiquée dans le cahier des charges.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La contrainte maximale vaut 141,4 MPa, inférieure à la résistance élastique de l'acier S235, égale à 235 MPa.

Question 39. Calculer le coefficient de sécurité Cs minimal, le comparer à la valeur exigée par le cahier des charges et conclure.

Grandeur	Valeur
Résistance élastique de l'acier S235	235 MPa
Contrainte maximale	141,4 MPa
Coefficient minimal calculé	1,66
Exigence du cahier des charges	Cs > 2

Le coefficient de sécurité minimal est le rapport entre la résistance élastique et la contrainte maximale : Cs = 235 / 141,4 = 1,66. L'exigence du DT5 est strictement supérieure à 2. Le coefficient obtenu ne l'atteint pas : malgré une contrainte inférieure à la limite élastique, le châssis mobile n'est donc pas conforme au critère de sécurité.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Cs minimal = 1,66, inférieur à l'exigence Cs > 2 : le châssis mobile n'est pas conforme.

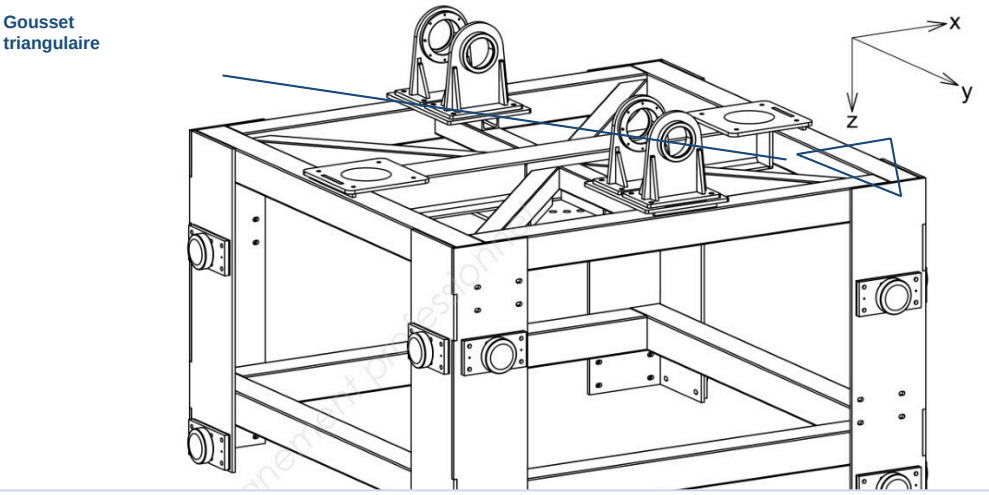
Question 40. Sur le DR8, proposer une évolution constructive permettant au châssis mobile (3) de respecter le cahier des charges.

1. Renforcer le raccordement de la traverse supérieure au montant, au voisinage de la zone de contrainte maximale repérée sur le DT17.
2. Ajouter un gousset triangulaire en acier S235 à ce raccordement, soudé sur une face accessible. Cette pièce augmente la rigidité locale et répartit mieux les efforts.

3. Contrôler la géométrie et la qualité des soudures, puis relancer la simulation. Le renfort doit être ajusté jusqu'à obtenir un coefficient de sécurité supérieur à 2.

Le gousset est représenté sur le raccordement supérieur concerné du DR8.

DR8 complété : renfort au raccordement supérieur



✓ RÉPONSE À RETENIR

Ajouter un gousset triangulaire au raccordement supérieur sollicité, puis vérifier par simulation que Cs est supérieur à 2.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2019)

Bilan de l'épreuve : L'épreuve E4, unité U42 Conception préliminaire du BTS Conception de produits industriels, se déroule lors de la session 2019 sous le code CP42CP - 2019. D'une durée de 6 heures et affectée du coefficient 6, elle étudie un simulateur de vol construit autour d'un Douglas C-47. Elle évalue la cinématique, le choix et le dimensionnement des actionneurs, l'énergie pneumatique, les rotules, la conception mécanique et la sécurité structurale.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Appliquer le principe fondamental de la dynamique à l'ensemble mobile en intégrant le poids et l'accélération verticale selon les conventions du sujet.
- Pour le stockage pneumatique, le sujet donne la relation E = P × V, avec P en pascals et V en mètres cubes.
- Pour les rotules, la charge dynamique équivalente dépend des composantes radiale et axiale et du facteur de charge axiale.
- Le coefficient de sécurité met en rapport la résistance élastique du matériau et la contrainte maximale calculée.

Points de vigilance & attentes du jury

- Distinguer les accélérations suivant y et z et tenir compte du fait que les valeurs suivant z incluent la pesanteur.
- Vérifier les unités et convertir les pressions, volumes, débits, forces, masses et durées avant les calculs.
- Justifier le choix technologique à l'aide des critères pondérés et des données des fiches techniques.
- Sur les dessins de liaison, représenter les arrêts axiaux, les ajustements et les jeux fonctionnels demandés.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment calculer l'action verticale maximale nécessaire au déplacement du simulateur ?

Déterminez le poids de l'ensemble mobile, puis l'accélération verticale correspondant à la montée. Appliquez le principe fondamental de la dynamique en respectant la convention du sujet, qui précise que les valeurs d'accélération suivant z incluent la pesanteur.

Q : Comment estimer l'air consommé par les vérins pendant la simulation ?

Lisez dans les diagrammes le volume d'air correspondant à la course de travail de chaque vérin. Tenez compte du nombre de vérins, des mouvements aller-retour et du nombre de cycles, puis utilisez les données de pression pour établir l'énergie consommée.

Q : Comment répartir le temps pendant les six heures de l'épreuve ?

Le dossier conseille 30 minutes pour lire les documents techniques, puis 1 heure pour chacune des parties 1 et 2, 1 h 15 pour chacune des parties 3 et 4, 45 minutes pour la partie 5 et 15 minutes pour la partie 6.

Q : Le sujet donne-t-il un barème détaillé par question ?

Le sujet indique un coefficient 6 pour l'épreuve, mais aucun point par question n'est imprimé dans les pages fournies. Les réponses sont produites sur les feuilles de copie et les documents réponses, selon les calculs et représentations demandés.

Sujet officiel associé (PDF) : https://bts-cpi.fr/assets/annales/bts-cpi/E4.2 - Conception préliminaire/2019/BTS CPI - E4.2 - Conception préliminaire - Session 2019 - 1-Sujet.pdf
Ressources BTS Conception des Produits Industriels : Toutes les annales & corrigés • Fiches de révision complètes • Simulateur de notes d'examen

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.