

**BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR
CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS
SESSION 2007**

ETUDE DE PRODUITS INDUSTRIELS

SOUS EPREUVE E51

**MODELISATION ET COMPORTEMENT DES
PRODUITS INDUSTRIELS**



Durée : 4 heures

Aucun document n'est autorisé

Calculatrice autorisée (conformément à la circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999)

Le sujet comporte trois dossiers :

- un dossier technique
- un dossier travail
- un dossier réponse
- un dossier ressources

Le dossier réponse est à joindre aux feuilles de copie.

THÈME :

ELEVATEUR DE SUJET DE MANEGE

**BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR
CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS
SESSION 2007**

ETUDE DE PRODUITS INDUSTRIELS

SOUS EPREUVE E51

**MODELISATION ET COMPORTEMENT DES PRODUITS
INDUSTRIELS**

DOSSIER TECHNIQUE

ELEVATEUR DE SUJET DE MANEGE

Ce dossier comporte 8 pages.

MISE EN SITUATION

Pour célébrer l'année Jules VERNE, la société CONCEPT 1900 INTERNATIONAL a créé des sujets de manège inspirés des romans de l'auteur (montgolfière, sous-marin, biplan, fusée).

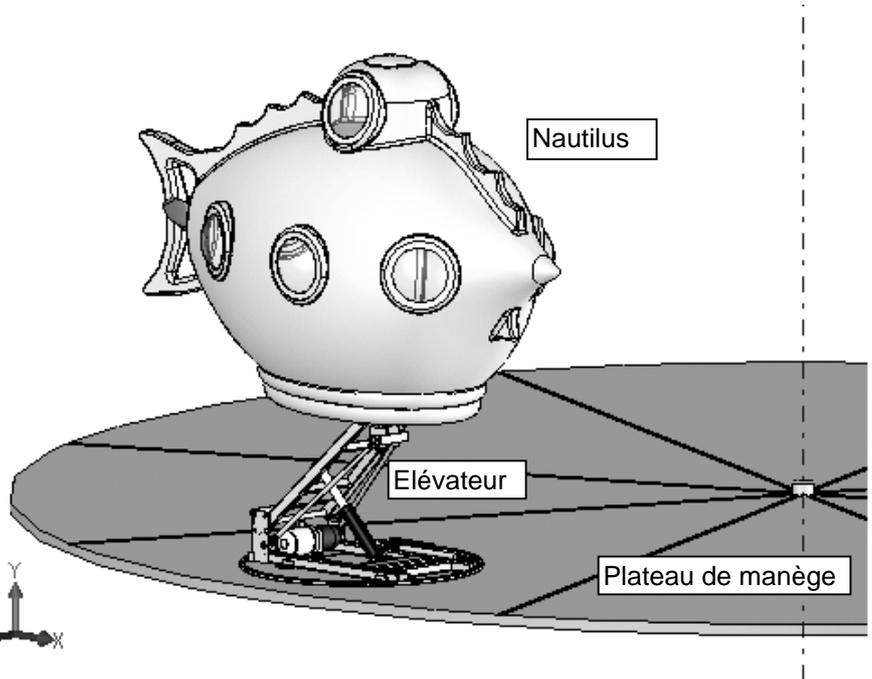
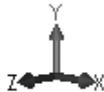
Pour rendre les manèges plus attractifs, certains sujets sont posés sur un élévateur permettant de soulever des sujets plus lourds. Un vérin hydraulique exerce une action mécanique sur le bras 2 (voir DT3). L'horizontalité du sujet de manège est obtenue par un parallélogramme déformable composé des éléments (embase élévateur 1, bras élévateur 2, support sujet 4, bielles 3).

Le sujet le plus lourd est celui représentant le vaisseau du capitaine NEMO, le NAUTILUS. Il a une masse propre de 116 Kg et peut accueillir 6 enfants.

L'élévateur révèle, à l'usage, quelques faiblesses :

- Instabilité des sujets chargés d'enfants,
- Difficultés pour soulever le sujet NAUTILUS avec 6 enfants à bord soit une masse totale de 422 Kg.

Une étude dont l'objectif est d'éliminer ces deux défauts a été menée à partir de l'extrait de cahier des charges ci-dessous.



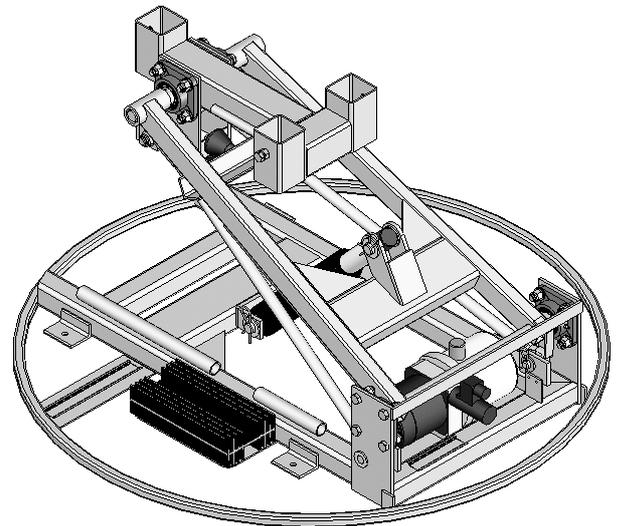
Extrait du cahier des charges :

- * minimiser les coûts des modifications,
- * conserver tous les composants hydrauliques du modèle existant,
- * conserver la même hauteur de levée : 780 ± 10 mm.
- * ne pas dépasser la vitesse de levée de 0,5 m/s en position haute pour les enfants transportés.

Cette étude a conduit au modèle présenté ci-contre.

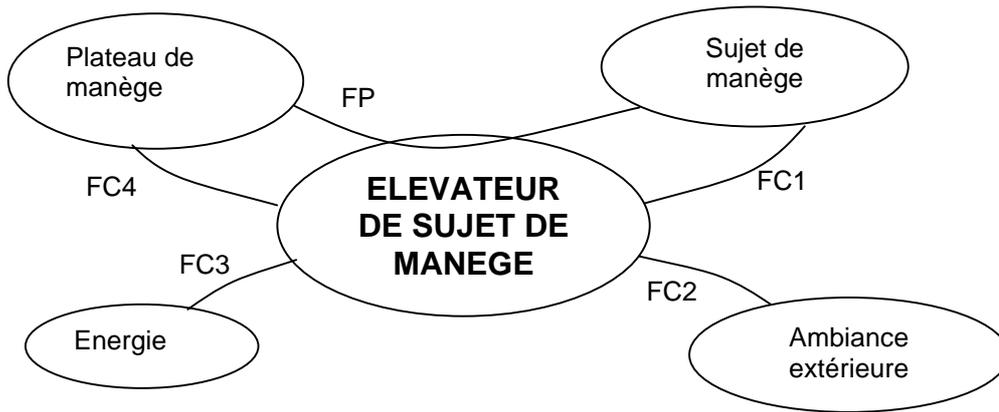
Caractéristiques techniques de la centrale hydraulique HPI

Pompe à engrenage :
 Cylindrée : $0,75 \text{ cm}^3$.
 Débit : 3,74 litres/min.
 Pression de tarage (ouverture clapet retour bâche): 150 bars.



Analyse fonctionnelle de l'élévateur de sujet de manège

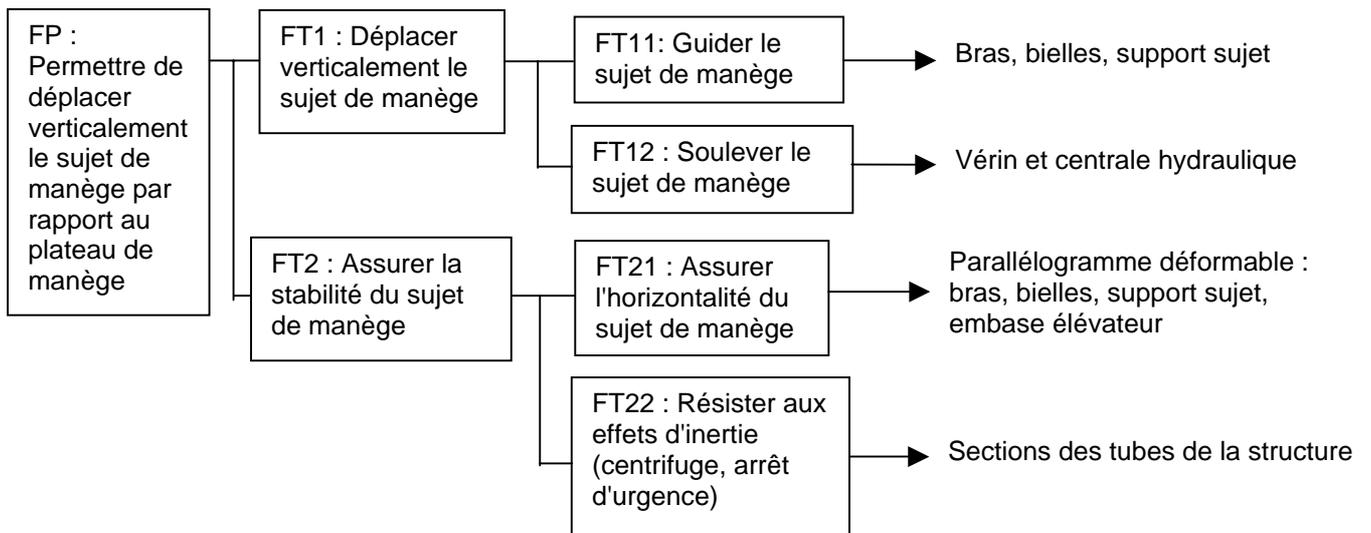
Milieu environnant, diagramme pieuvre

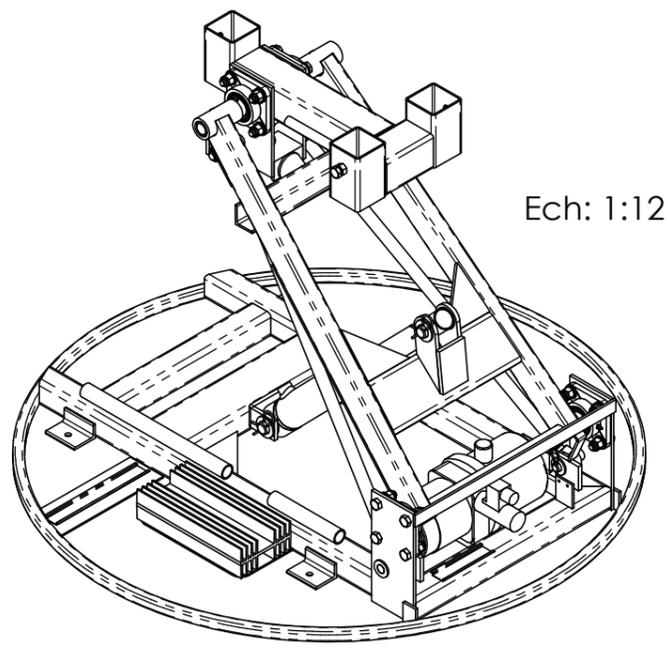
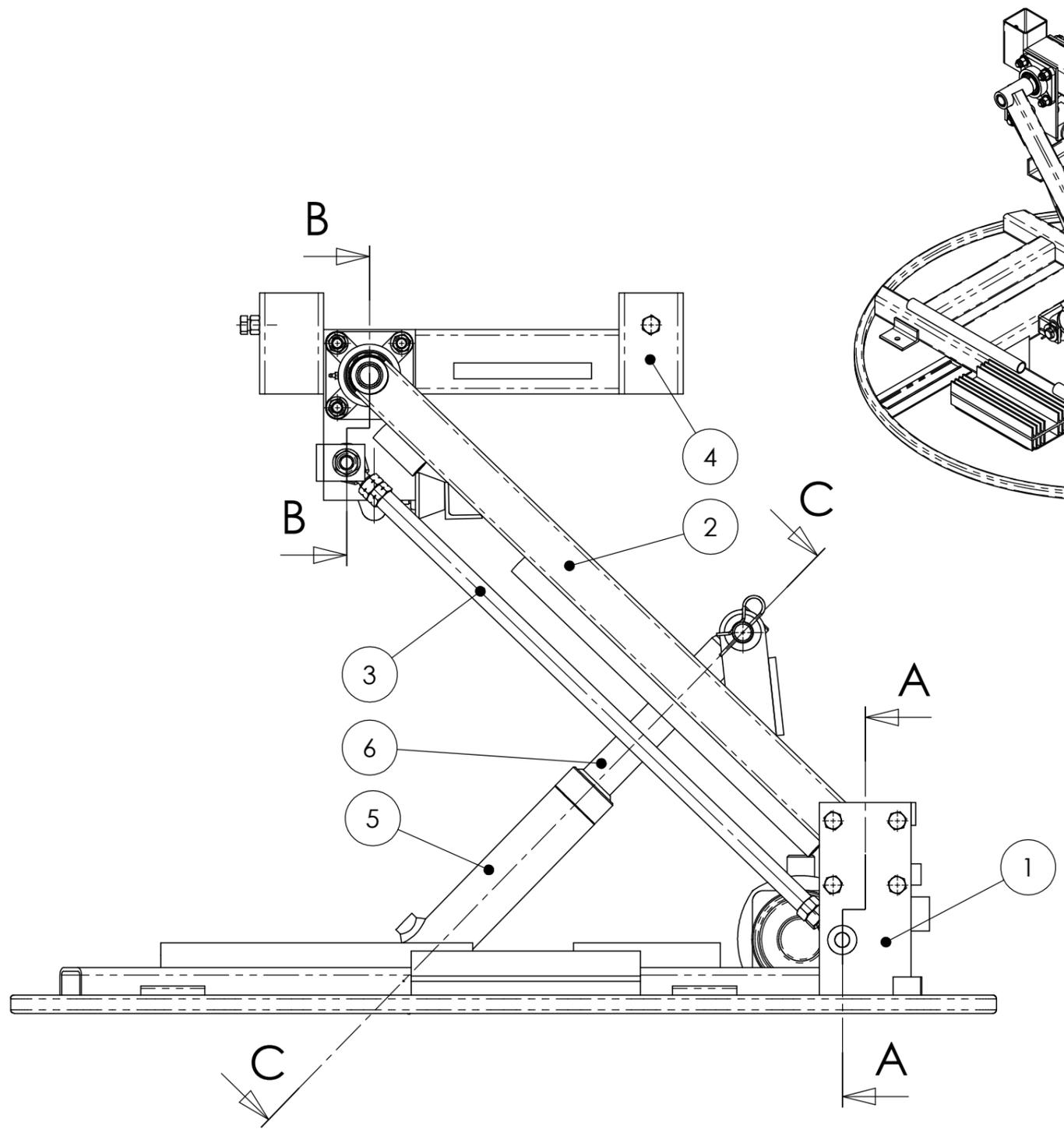


Recensement des fonctions

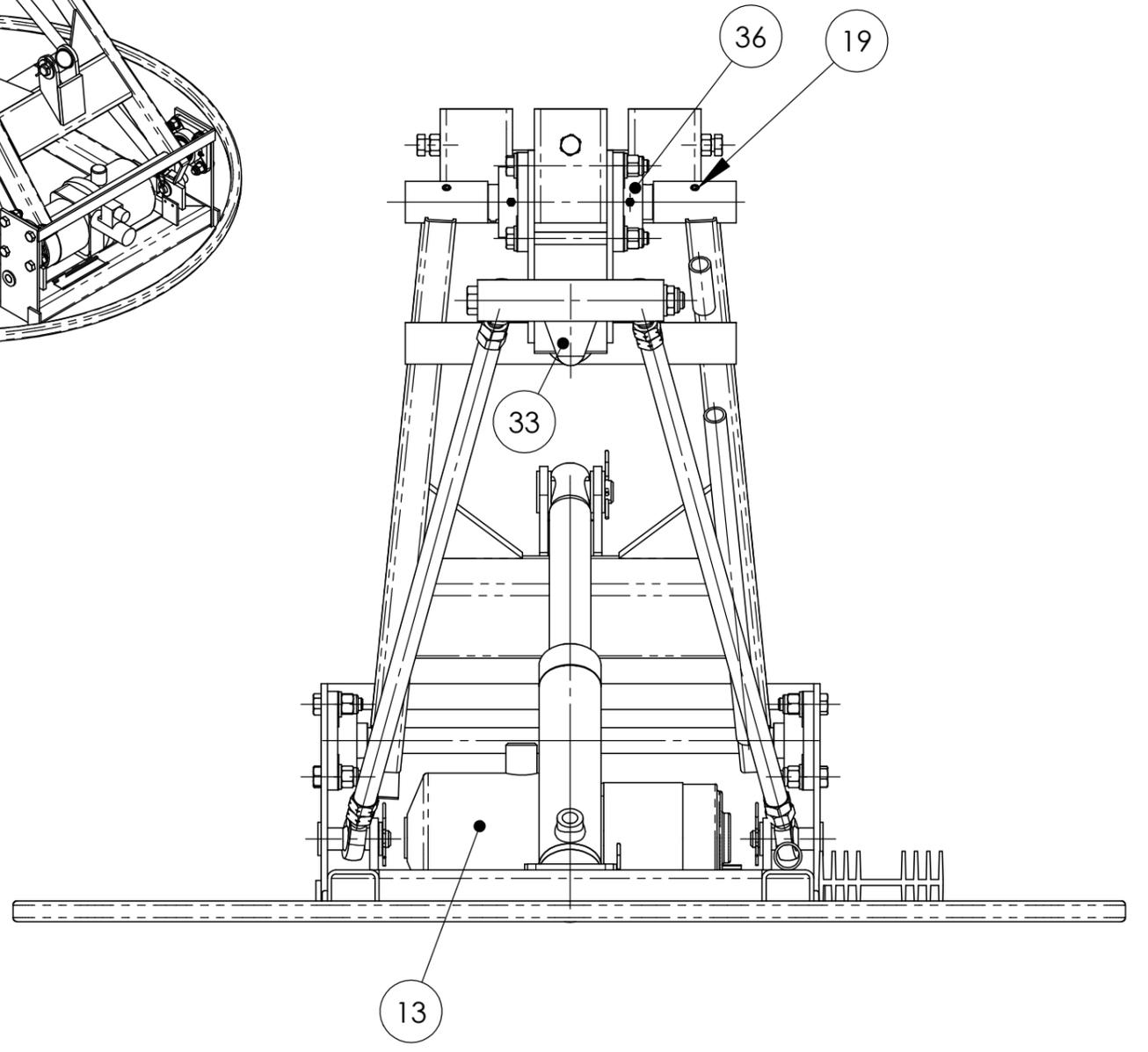
- FP : Permettre de déplacer verticalement le sujet de manège par rapport au plateau de manège.
- FC1 : S'adapter au sujet de manège.
- FC2 : Résister à l'ambiance extérieure.
- FC3 : S'adapter à l'énergie.
- FC4 : S'adapter au plateau de manège.

F.A.S.T. partiel de la fonction FP



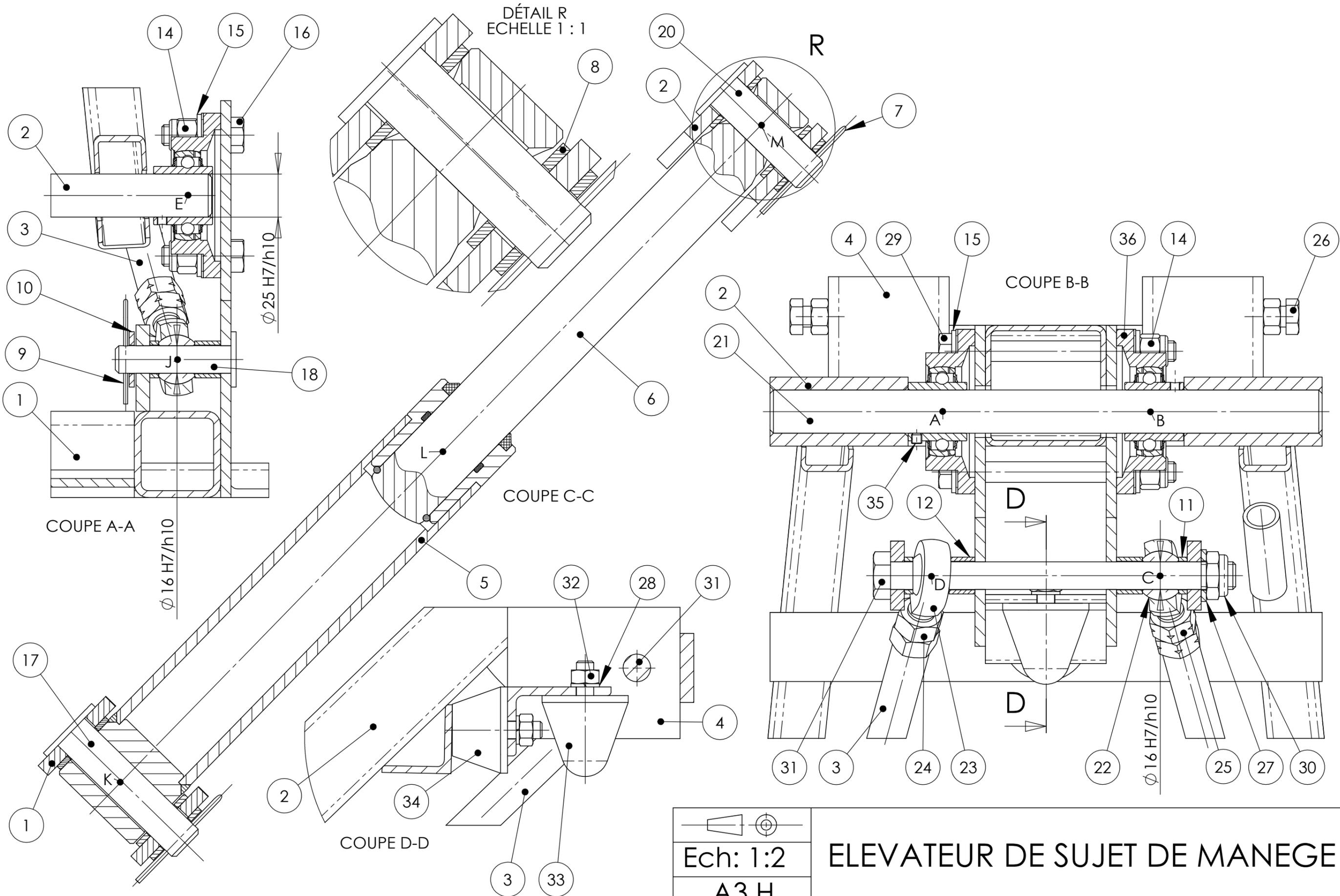


Ech: 1:12



Ech: 1:6
A3 H

ELEVATEUR DE SUJET DE MANEGE



Ech: 1:2
A3 H

ELEVATEUR DE SUJET DE MANEGE

36	4	Palier applique		HPC UCF 205
35	1	Vis de pression M6 x 6		NF EN ISO 4026
34	1	Butee		Tronconique
33	1	Butee		Sphérique
32	2	Ecrou H M10		NF EN ISO 4032
31	1	Vis H M16 x 200		NF EN ISO 4014
30	1	Ecrou Nylstop M16		NF EN ISO 7040
29	4	Vis H M12 x 130		NF EN ISO 4014
28	2	Rondelle WZ 10		NF E 25-516
27	1	Rondelle plate Z 16		NF E 27-611
26	3	Vis H M12 x 20		NF EN ISO 4017
25	2	Ecrou H M16	Pas à gauche	NF EN ISO 4032
24	2	Ecrou H M16		NF EN ISO 4032
23	2	Tete de bielle male		CMM.00.16/RH
22	2	Tete de bielle male	filetée à gauche	CMM.00.16/LH
21	1	Axe liaison support sujet	S 355	
20	1	Axe liaison tige verin	S 355	Mécano-soudé
19	2	Vis de pression M8 x 8		NF EN ISO 4026
18	2	Axe liaison bielles	S 235	Mécano-soudé
17	1	Axe liaison corps verin	S 355	Mécano-soudé
16	8	Vis H M12 x 40		NF EN ISO 4014
15	16	Rondelle plate Z 12		NF E 27-611
14	12	Ecrou Nylstop M12		NF EN ISO 7040
13	1	Centrale hydraulique		HPI
12	4	Entretoise	S 235	Longueur = 15 mm
11	4	Entretoise	S 235	Longueur = 5 mm
10	2	Rondelle plate M 16		NF E 27-611
9	2	Goupille epingle 16 x 60		
8	6	Rondelle plate Z 22		NF E 27-611
7	2	Goupille epingle 22 x 76		
6	1	Tige verin		
5	1	Corps verin		
4	1	Support sujet	S 355	Mécano-soudé
3	2	Bielle	S 235	Mécano-soudé
2	1	Bras elevateur	S 355	Mécano-soudé
1	1	Embbase elevateur	S 355	Mécano-soudé
Rep.	Nb.	DESIGNATION	MATERIAU	DESCRIPTION

Ech: 1:1

A4 V

NOMENCLATURE ELEVATEUR DE SUJET DE MANEGE

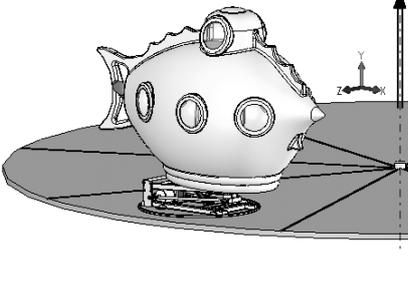
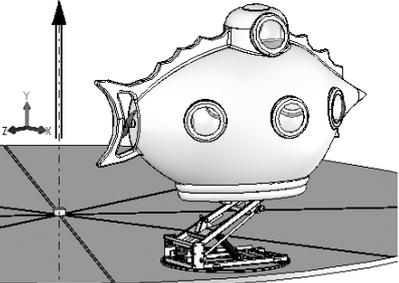
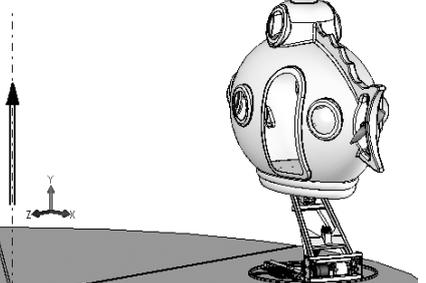
Caractéristiques du vérin :

Diamètre piston : 40 mm.
 Course : 190 mm.
 Taux de charge : 0,9.

Caractéristiques cinématique du manège :

Fréquence de rotation : 5 tours/min.

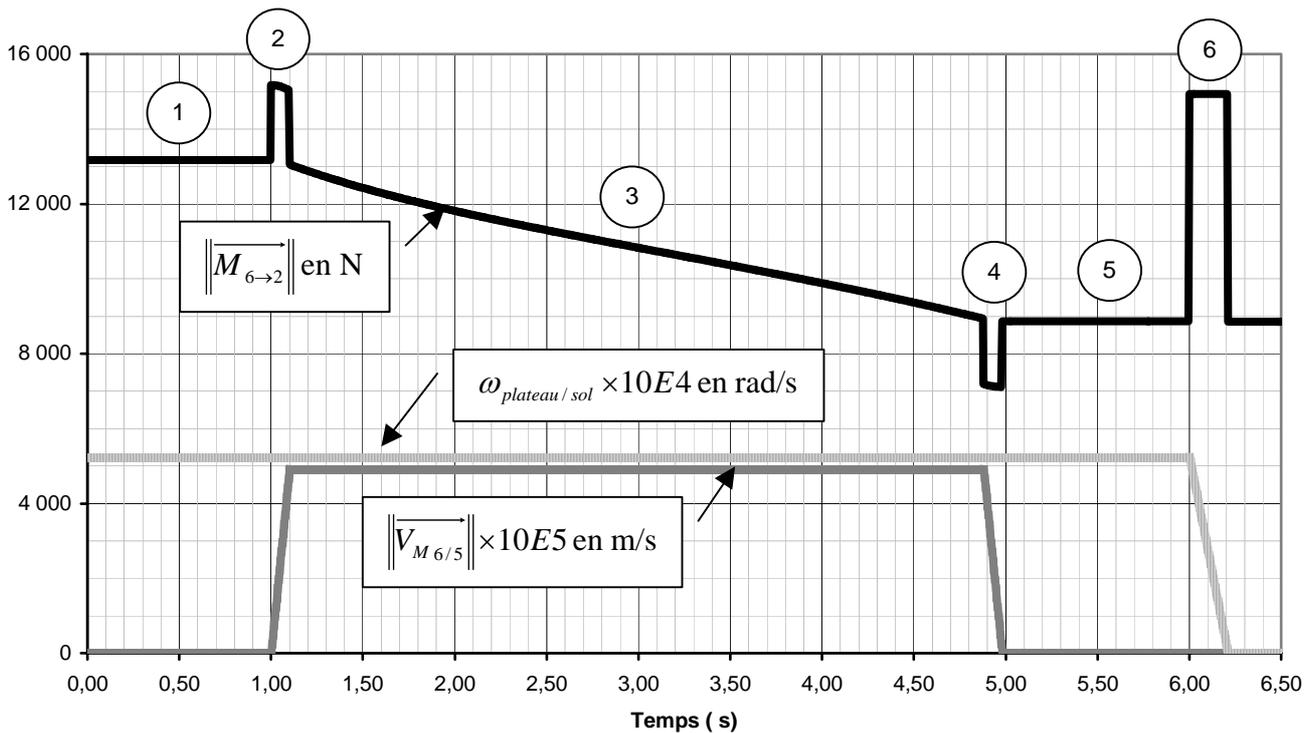
Description des mouvements du nautilus et du manège :

Le manège tourne Le nautilus est en position basse Phase ①	Le manège tourne L'élévateur soulève le nautilus Phase ②, ③, ④	Le manège tourne Le nautilus est en position haute Phase ⑤ Arrêt d'urgence, le manège s'arrête Phase ⑥
		

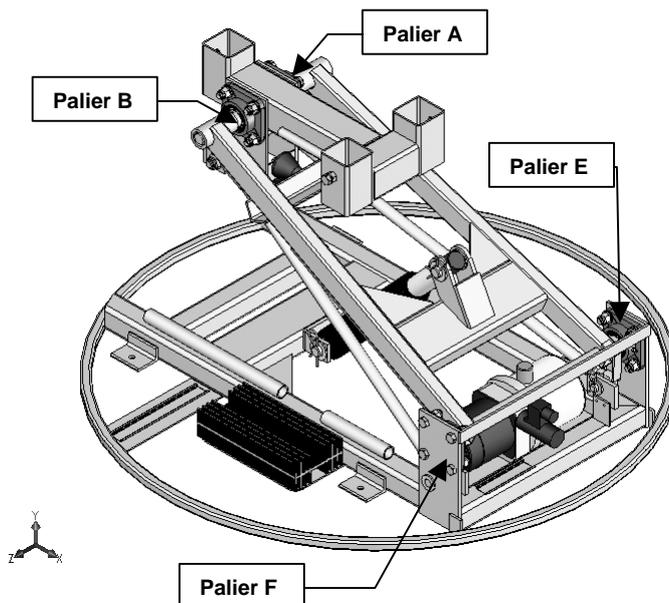
Graphe n°1 :

Variations en fonction du temps :

- du module de la résultante de l'action mécanique en M de la tige de vérin 6 sur le bras 2 ($\|\vec{M}_{6 \rightarrow 2}\|$ en Newton).
- de la vitesse angulaire du plateau par rapport au sol ($\omega_{plateau/sol} \times 10E4$ en rad/s).
- du module de la vitesse en M de la tige de vérin 6 par rapport au corps de vérin 5 ($\|\vec{V}_{M6/5}\| \times 10E5$ en m/s).



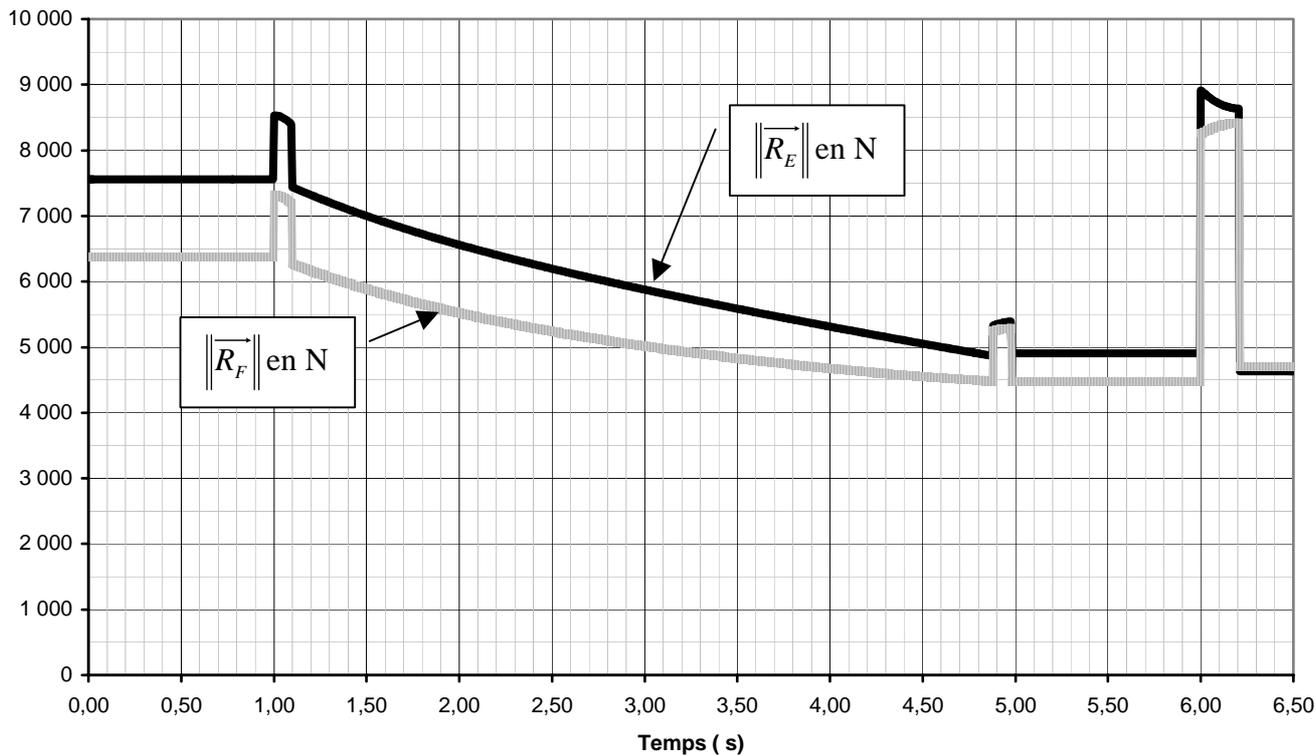
Modules des actions mécaniques dans les paliers de l'élève de manège.



Graphe n°2:

Variations en fonction du temps:

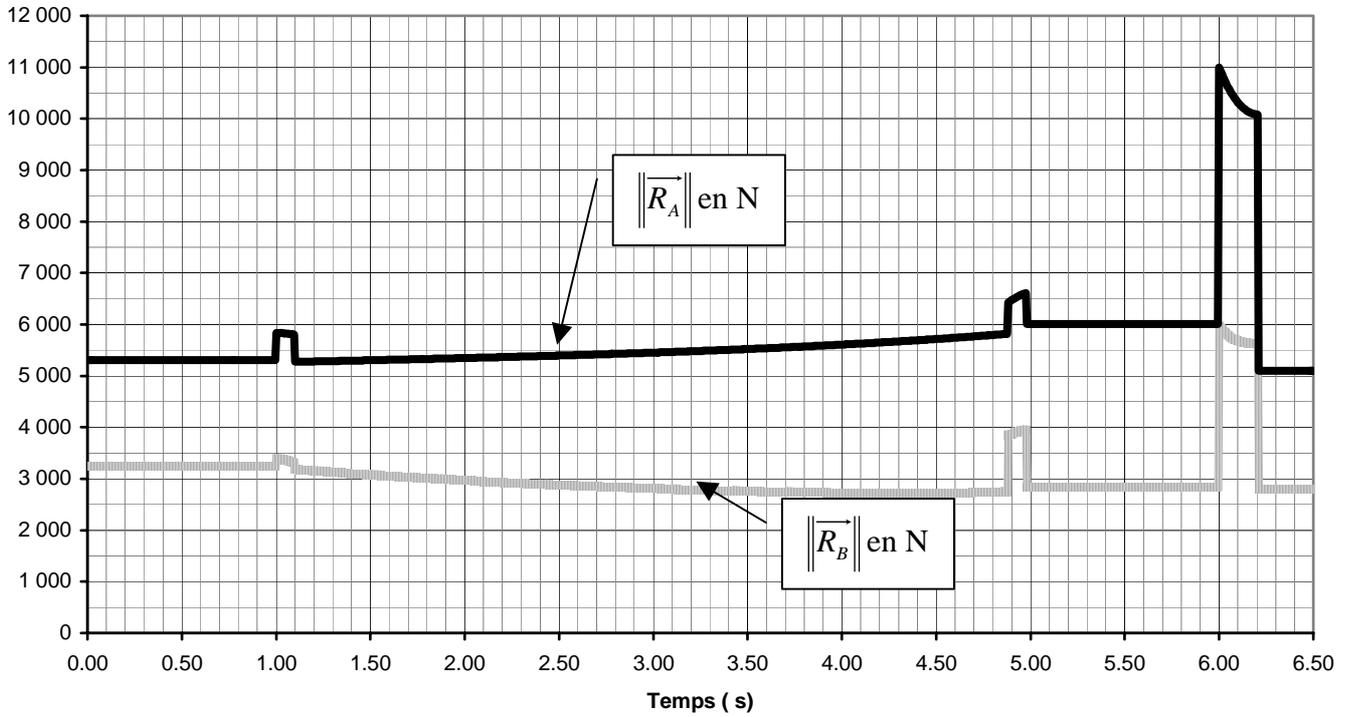
- Du module de l'effort radial appliqué au palier E ($\|\vec{R}_E\|$ en N).
- Du module de l'effort radial appliqué au palier F ($\|\vec{R}_F\|$ en N).



Graphe n°3:

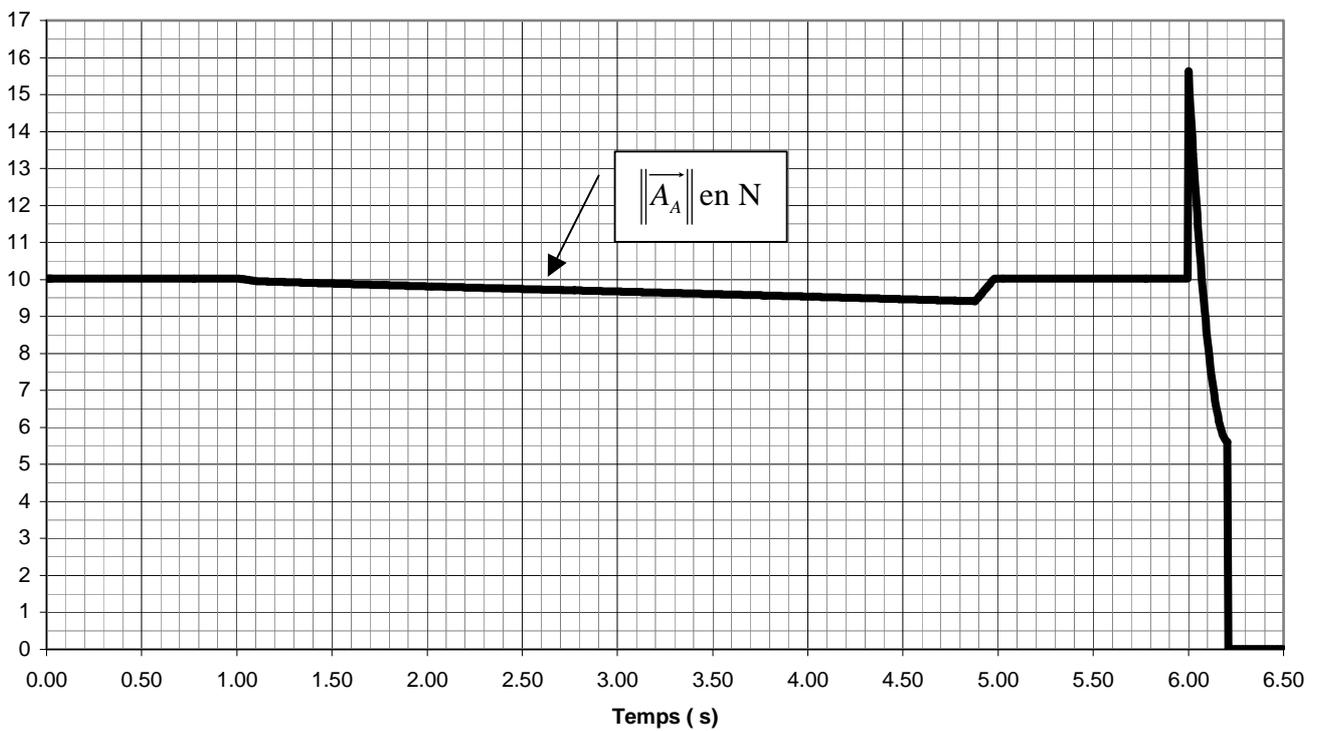
Variations en fonction du temps :

- du module de l'effort radial appliqué au palier A ($\|\vec{R}_A\|$ en N).
- du module de l'effort radial appliqué au palier B ($\|\vec{R}_B\|$ en N).



Graphe n°4 :

Variation en fonction du temps du module de l'effort axial appliqué au palier A ($\|\vec{A}_A\|$ en N).



**BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR
CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS
SESSION 2007**

ETUDE DE PRODUITS INDUSTRIELS

SOUS EPREUVE E51

**MODELISATION ET COMPORTEMENT DES PRODUITS
INDUSTRIELS**

DOSSIER TRAVAIL

ELEVATEUR DE SUJET DE MANEGE

Ce dossier comporte 4 pages.

PREMIERE PARTIE

Problématique : Valider la cinématique de l'élévateur et vérifier la capacité du groupe hydraulique.

Objectif 1 : Vérifier la hauteur et la vitesse de levée de l'élévateur.

Afin d'effectuer les calculs de vérification demandés, il est nécessaire de modéliser l'élévateur.

A l'aide des documents techniques DT3, DT4 et DT5, on donne les classes d'équivalence du mécanisme.

FT 1.1	{	I = {socle} = {1, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 36}
		II = {bras} = {2, 7', 8', 11', 12', 19, 20, 21, 35}
		III = {bielle 1} = {3, 22, 23, 24, 25}
		IV = {bielle 2} = {3', 22', 23', 24', 25'}
		V = {support sujet} = {4, 14', 15', 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36'}
FT 1.2	{	VI = {corps de vérin} = {5}
		VII = {tige de vérin} = {6}

Question 1 : sur le document réponse DR1 et sur feuille de copie.

A l'aide des documents techniques DT4, DT5 et DT6, compléter le tableau des liaisons comme indiqué à la première ligne du Document Réponse 1

- Repasser en rouge les surfaces fonctionnelles de la liaison ;
- Donner le torseur des actions mécaniques transmissibles par la liaison ;
- Donner son nom et le symbole spatial dans le repère proposé.

Question 2 : sur les documents réponses DR2 et DR3.

Compléter le graphe des liaisons sur le Document Réponse 2.

Compléter le schéma cinématique spatial du mécanisme sur le Document Réponse 3.

Question 3 : sur le document réponse DR4.

Tracer le mécanisme en position haute, les points A, C et M passent en A₁, C₁ et M₁. En déduire la hauteur de levée. A l'aide du DT1, vérifier si le cahier des charges est respecté.

Question 4 : sur feuille de copie.

Quelle est la nature du mouvement du sujet de manège posé sur l'élévateur, par rapport au plateau du manège?

Question 5 : sur feuille de copie.

Vérifier, d'après les caractéristiques de la pompe et les dimensions du vérin, que la vitesse de sortie de la tige de vérin est de 49 mm/s.

Question 6 : sur le document réponse DR4.

En position haute :

- Ecrire au point M₁ la loi de composition des vitesses.

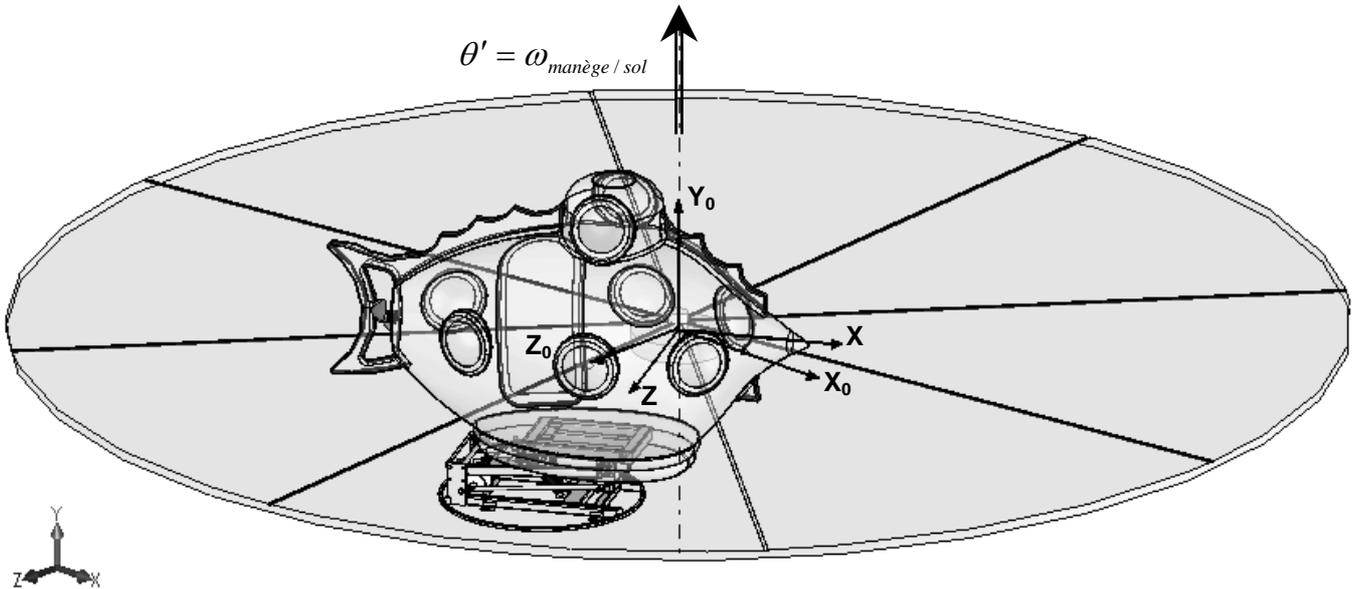
- En déduire $\overrightarrow{V_{M_1 \text{ bras} / \text{ plateau}}}$.

- Déterminer la vitesse atteinte par le Nautilus par rapport au plateau de manège.

- Vérifier que la vitesse du Nautilus par rapport au plateau du manège est conforme à l'extrait du cahier des charges fourni sur le DT1.

Objectif 2 : Vérifier la capacité du groupe hydraulique à fournir la pression nécessaire pour soulever la charge.

La mise en mouvement du nautilus nécessite une accélération, induisant une hausse de pression. Le manège est en fonctionnement, l'élévateur commence à soulever le nautilus (phase ②).



Hypothèses :

- On considérera l'ensemble "nautilus + élévateur", comme un système de solides appelé E.
- On néglige la masse de l'élévateur, on considérera donc que la masse de E = 435 Kg.
- Le rendement de la transmission de mouvement est égal à 1.
- La variation d'énergie cinétique de rotation de E est négligeable, on négligera dans cette deuxième partie la rotation du manège.
- *L'élévateur donne au nautilus un mouvement de translation circulaire par rapport au plateau de manège*

Données :

En fin de phase d'accélération, $\| \overline{V_{G_{E/R}}} \| = 0,15 \text{ m/s}$.

Déplacement vertical de E pendant la phase d'accélération = 7,5 mm.

Dans cette étude, le but est de déterminer l'action mécanique de la tige de vérin 6 sur le bras 2 pendant la phase uniformément accéléré de E (phase ②), en appliquant le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble E.

Question 7 : sur feuille de copie.

A l'aide du Document Ressource 1, déterminer la variation d'énergie cinétique de E.

Question 8 : sur feuille de copie.

A l'aide du Document Ressource1, déterminer le travail de l'action mécanique extérieure appliquée à E.

Question 9 : sur feuille de copie.

A l'aide du DT6, déterminer le déplacement de la tige de vérin par rapport au corps de vérin pendant la phase d'accélération (phase ②, durée : 0,1 s).

A l'aide du Document Ressource1, exprimer le travail de l'action mécanique intérieure (seul le vérin fourni un travail).

Question 10 : sur feuille de copie.

A l'aide du Document Ressource1, appliquer le théorème de l'énergie cinétique et déterminer l'action mécanique de la tige de vérin 6 sur le bras 2.

Question 11 : sur feuille de copie.

Déterminer la pression nécessaire à l'obtention de l'action mécanique déterminée ci-dessus. La centrale hydraulique peut elle fournir la pression nécessaire pour soulever l'ensemble E ?

DEUXIEME PARTIE

Problématique : Vérification de la tenue des paliers du support sujet en cas d'arrêt d'urgence du manège.

Hypothèses :

- On considérera l'ensemble "nautilus + support sujet 4", comme un seul solide appelé S.
- La décélération angulaire du manège est supposée constante pendant l'arrêt d'urgence

Données :

Extrait de norme (NF EN 13814 Machines et structures pour fêtes foraines et parcs d'attraction – Sécurité) :

Pour un freinage d'urgence d'un sujet de manège accueillant des enfants de moins de 10 ans, prendre une accélération maximale de 7m/s².

Position du Centre de Masse de S par rapport à l'origine du manège à l'instant du déclenchement de l'arrêt d'urgence:

$$X = 121,31 \text{ mm}; Y = 1156 \text{ mm}; Z = 2784,58 \text{ mm}.$$

Masse de S : 422 Kg

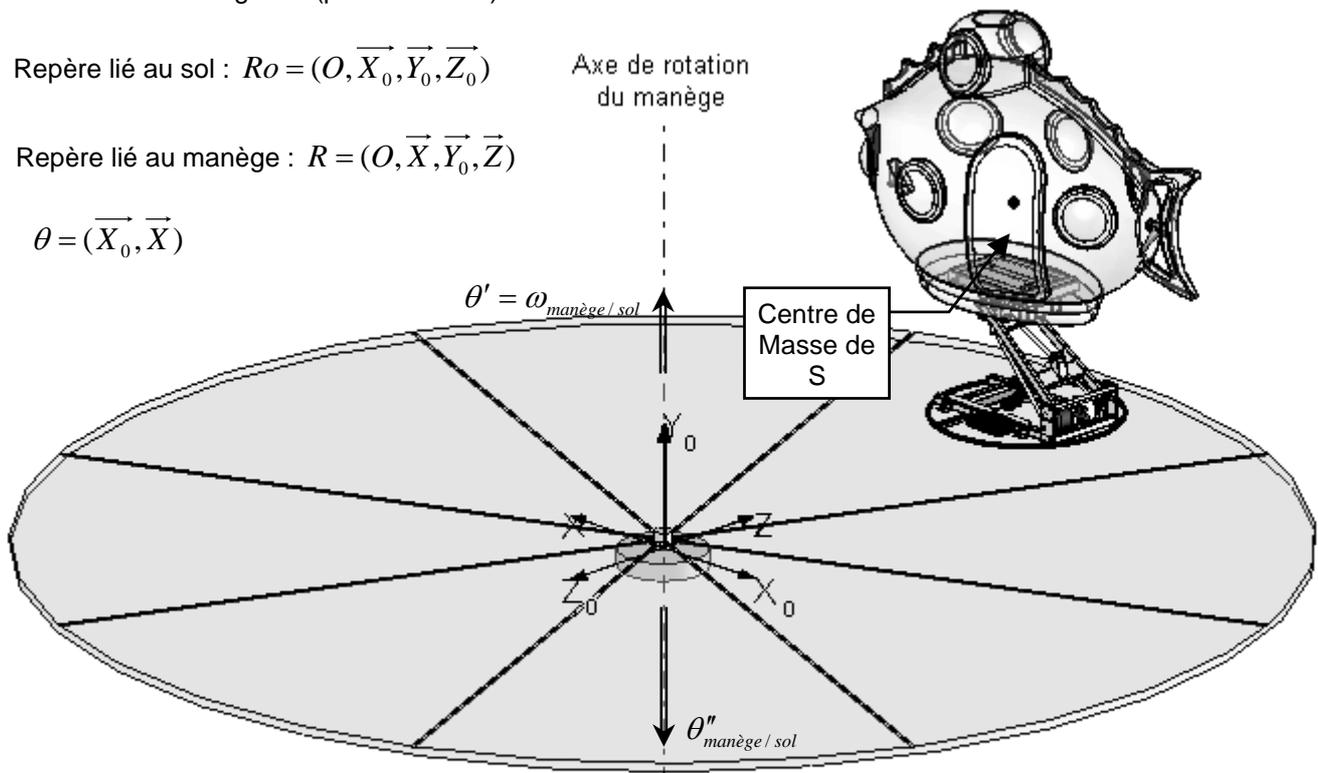
Mise en situation :

Le manège est en fonctionnement, l'élévateur a soulevé S, un incident amène le gérant du manège à déclencher l'arrêt d'urgence (phase ⑤ et ⑥).

Repère lié au sol : $R_0 = (O, \vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)$

Repère lié au manège : $R = (O, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})$

$$\theta = (\vec{X}_0, \vec{X})$$



Question 12 : sur feuille de copie.

A l'aide du DT6, indiquer à quel instant correspond le déclenchement de l'arrêt d'urgence.

Question 13 : sur feuille de copie et DR5.

Déterminer l'accélération normale maximale de S, la représenter en rouge à l'échelle sur la figure 2 du DR5.

Question 14 : sur feuille de copie et DR5.

La norme impose une **accélération maximale de 7 m/s²**. Connaissant l'accélération maximale de S, déterminer son accélération tangentielle. La représenter en rouge à l'échelle sur la figure 2 du Document Réponse 5.

Question 15 : sur le DR5.

Représenter qualitativement en bleu, sur les figures du Document Réponse 5 :

- les directions des résultantes des actions mécaniques des bielles 3 sur S,
- le poids de S,
- les composantes inconnues des actions mécaniques du bras 2 sur les paliers en A et B.

Question 16 : sur feuille de copie.

Les roulements des paliers montés en A, B, E et F, fonctionnent-ils de façon dynamique ou statique ?

Question 17 : sur feuille de copie.

A l'aide des courbes données sur les DT7 et DT8 représentant les composantes radiales et axiales des résultantes des paliers de l'élévateur de sujet de manège et des indications données dans le dossier ressources page 1 et 2, vérifier que la charge admissible n'est pas dépassée. Conclure sur le choix des paliers.

TROISIEME PARTIE

Problématique : Vérifier la résistance du bras de l'élévateur.

Données :

Caractéristiques du matériau :

Acier d'usage général : S 355

Module d'élasticité longitudinale $E = 205000 \text{ N/mm}^2$

Coefficient de sécurité (norme NF EN 13814) : 2.

Mise en situation :

La simulation numérique de l'arrêt d'urgence (Le manège est en fonctionnement, l'élévateur a soulevé S, un incident amène le gérant du manège à déclencher l'arrêt d'urgence (phase ©)) a fourni les actions mécaniques appliquées sur le bras 2. Ces données ont été récupérées pour une étude de résistance des matériaux par la méthode des éléments finis, sur un logiciel de calcul de structure. Ce logiciel a fourni les résultats présentés sur le document réponse 8.

Question 18 : sur feuille de copie et sur DR6.

A partir des résultats obtenus par le logiciel de calcul de structure, relever la valeur de la contrainte équivalente maximale et entourer la ou les zones correspondantes.

Question 19 : sur feuille de copie.

Déterminer le coefficient de sécurité de la pièce et le comparer avec celui recommandé par la norme.

Question 20 : sur feuille de copie.

A l'aide du document ressource 3, des documents techniques DT4 et DT6, déterminer la pression de contact maximale exercée au niveau des surfaces cylindriques de la liaison axe 20 / bras 2, comparer avec les pressions préconisées sur le document ressource 3.

Question 21 : sur le DR7.

Compte tenu des résultats obtenus aux questions 23 et 24, proposer, sous forme de croquis ou/et d'annotations, des modifications de forme du bras permettant d'améliorer sa résistance.

Question 22 : sur feuille de copie.

Dans une démarche de bureau d'étude, quelles seraient les activités à mettre en œuvre suite à cette modification de forme du bras de l'élévateur ?

**BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR
CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS
SESSION 2007**

ETUDE DE PRODUITS INDUSTRIELS

SOUS EPREUVE E51

**MODELISATION ET COMPORTEMENT DES PRODUITS
INDUSTRIELS**

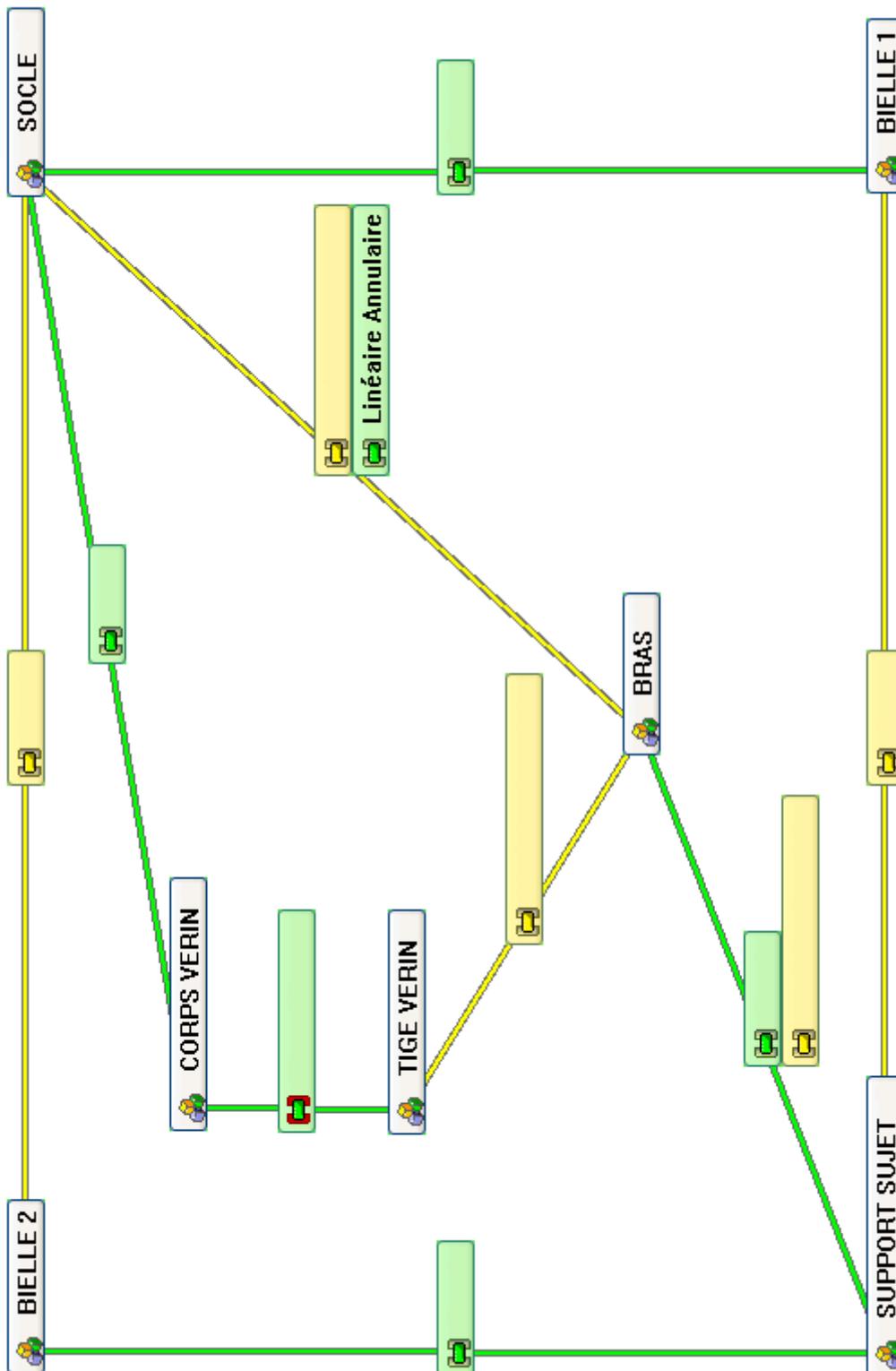
DOSSIER REPONSE

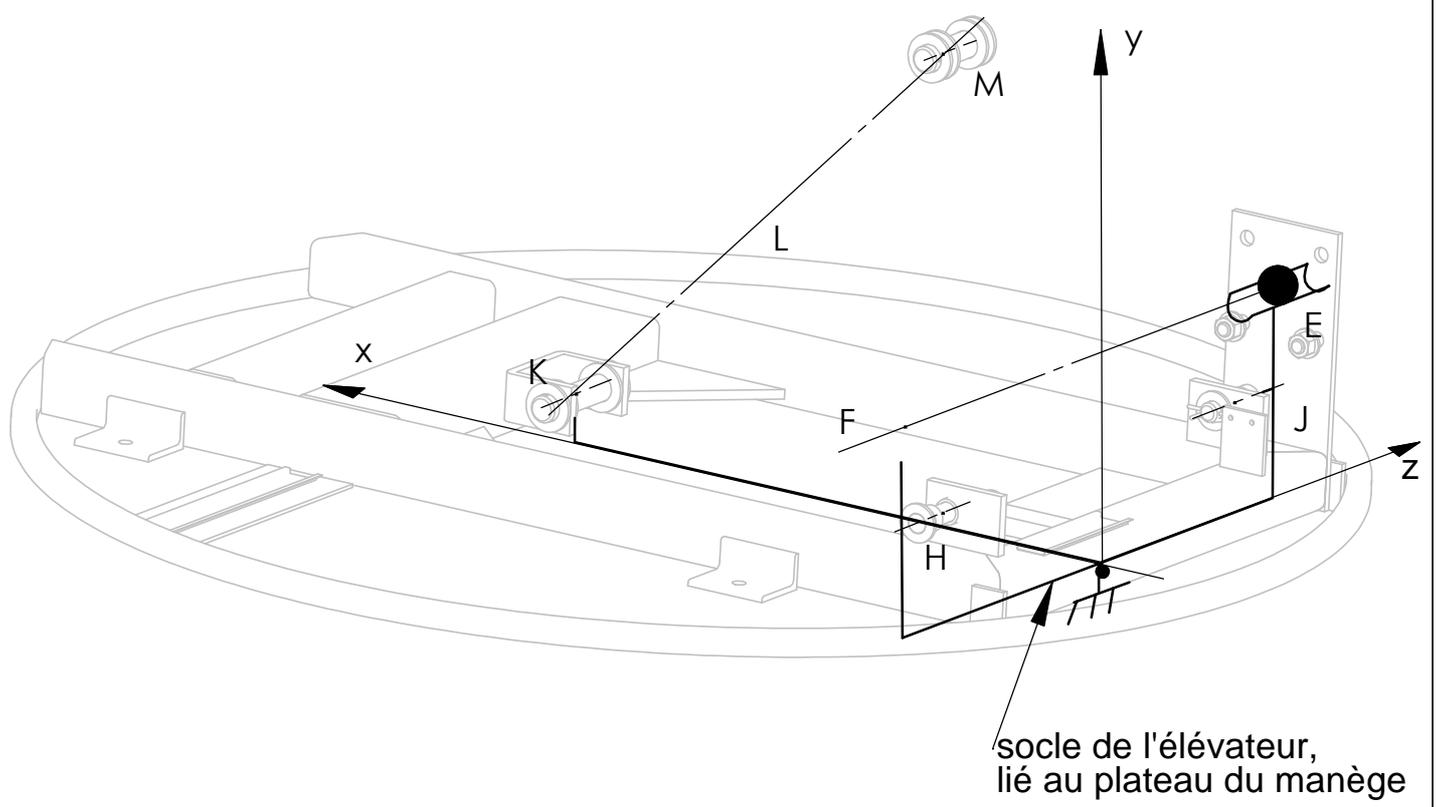
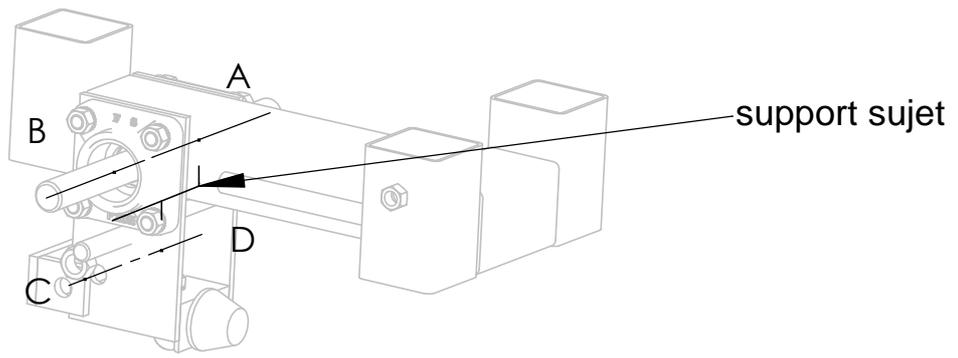
ELEVATEUR DE SUJET DE MANEGE

Ce dossier comporte 7 pages.

point	extrait du plan DT 5	torseur statique	nom de la liaison	symbole	
fonction technique 11	E		$E \begin{Bmatrix} XE & 0 \\ YE & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})}$	liaison linéaire annulaire d'axe z	
	A				
fonction technique 12					

Question 2: Compléter le graphe des liaisons





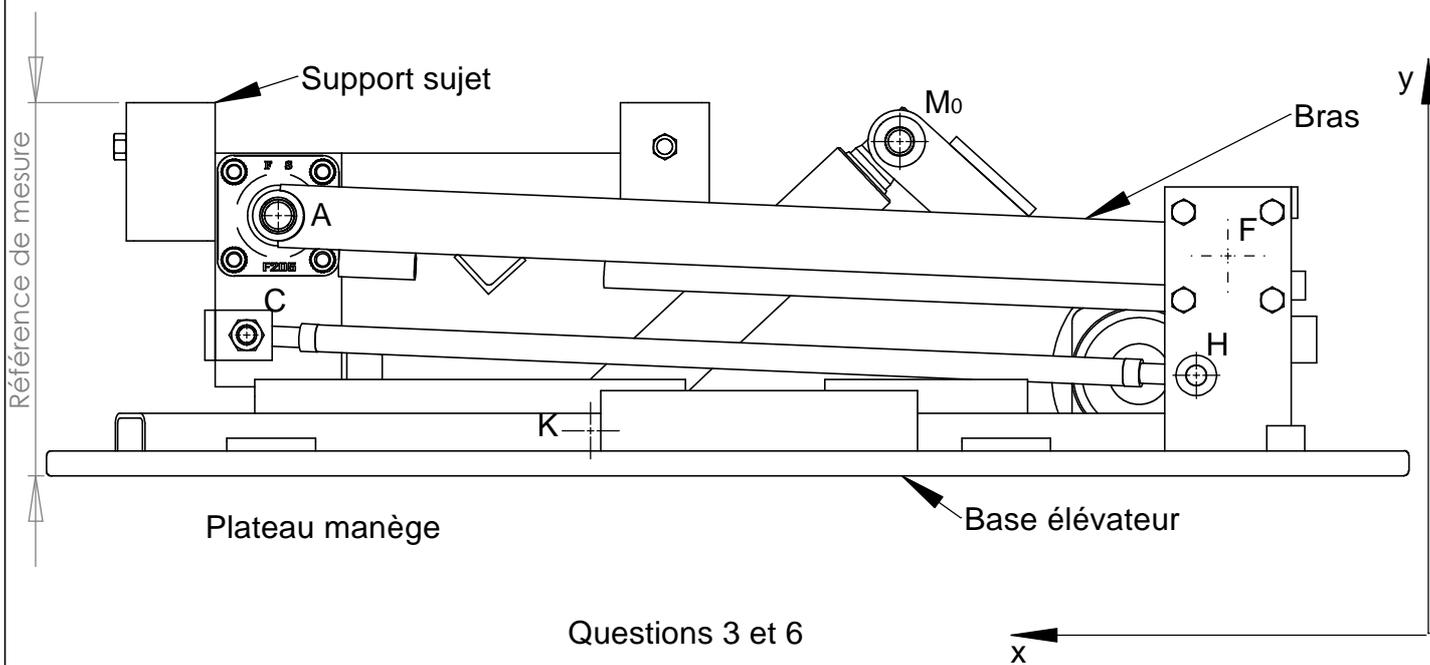
Question 2

Echelle :

Elévateur de sujet de manège

Loi de composition des vecteurs vitesses au point M :

$\vec{V}_{\text{Mtige vérin/corps}} =$



Questions 3 et 6

Echelle : 1 : 6

Elévateur de sujet de manège

Document Réponse 4

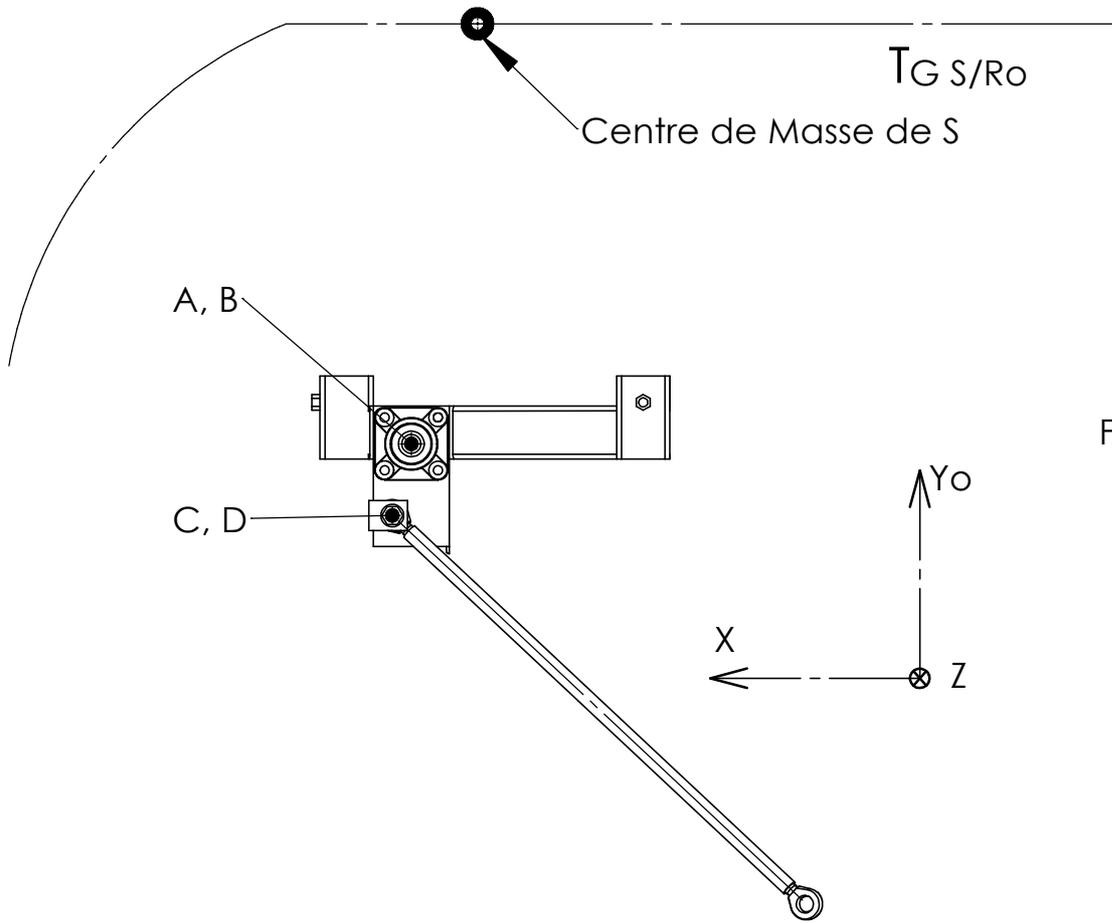


Figure 1

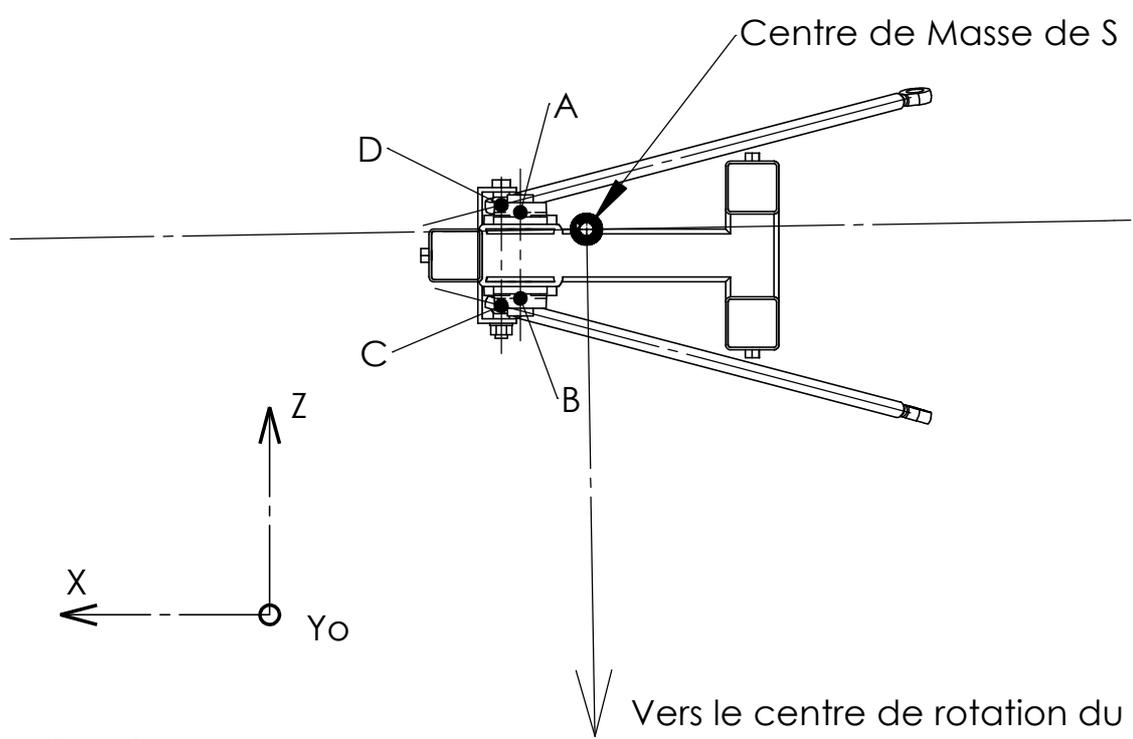


Figure 2

1 cm pour 1 m/s²

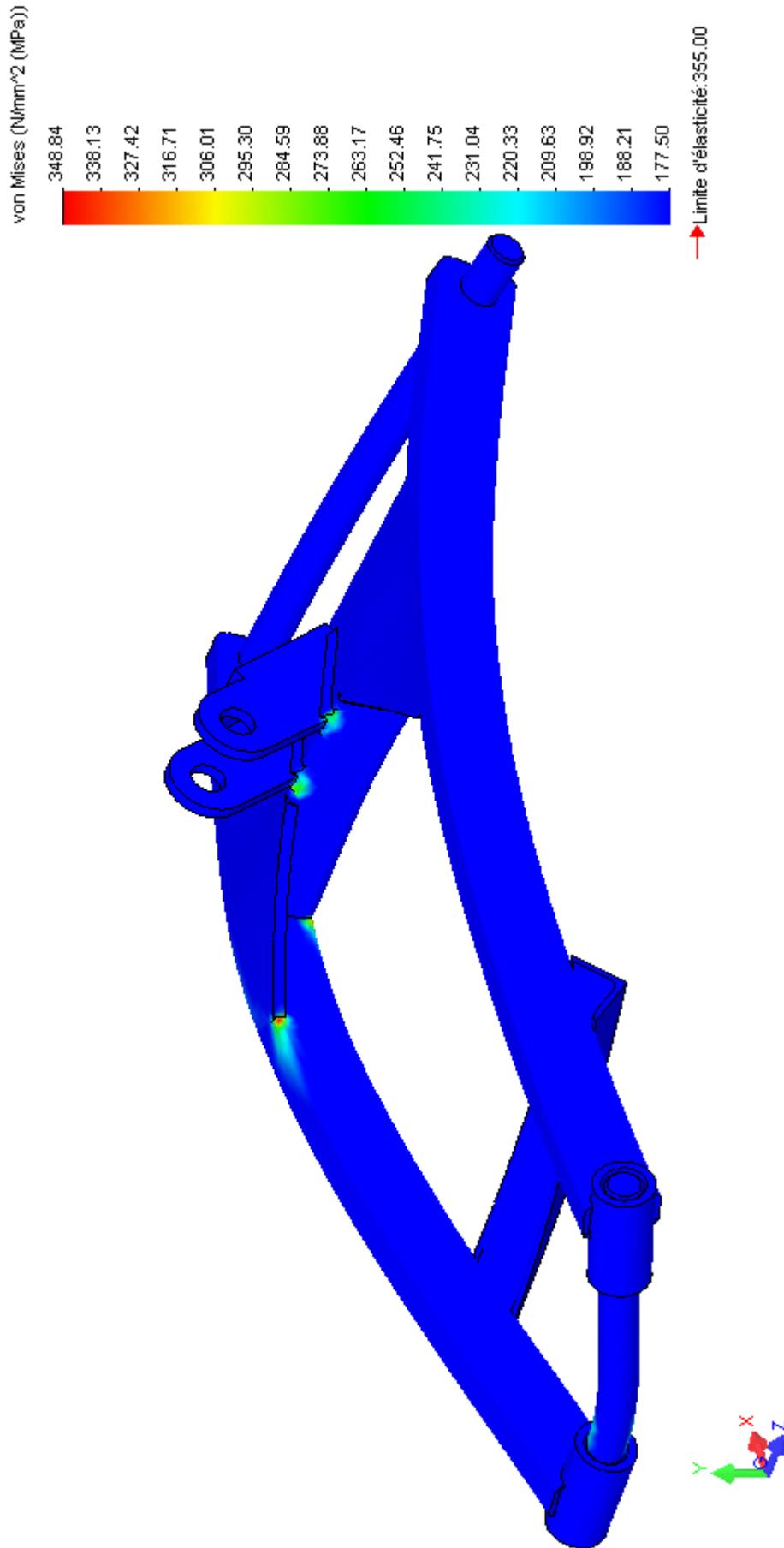
Questions 13, 14 et 15

Représentations Accélérations et Actions Mécaniques sur Support sujet

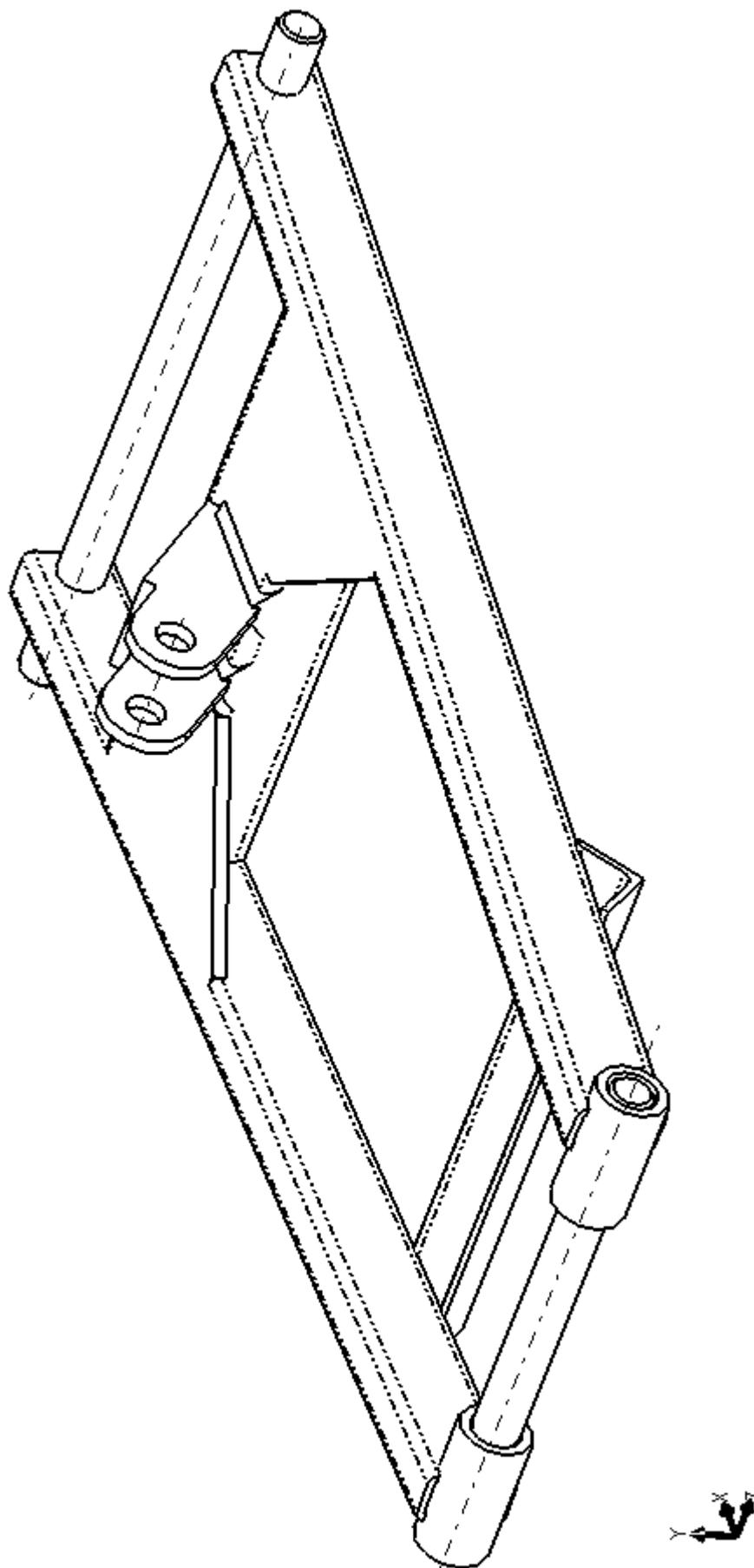
Ech: 1:10
A4 V

Question 24 : Relever la valeur de la contrainte équivalente maximale et entourer la ou les zones correspondante.

Nom du modèle: Etude de Bras elevateur cosmos
 Nom de l'étude: etude
 Type de tracé: Statique contrainte nodale Tracé1
 Echelle de déformation: 38.6722



Question 27 : Proposer des modifications de forme du bras.



**BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR
CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS
SESSION 2007**

ETUDE DE PRODUITS INDUSTRIELS

SOUS EPREUVE E51

**MODELISATION ET COMPORTEMENT DES PRODUITS
INDUSTRIELS**

DOSSIER RESSOURCES

ELEVATEUR DE SUJET DE MANEGE

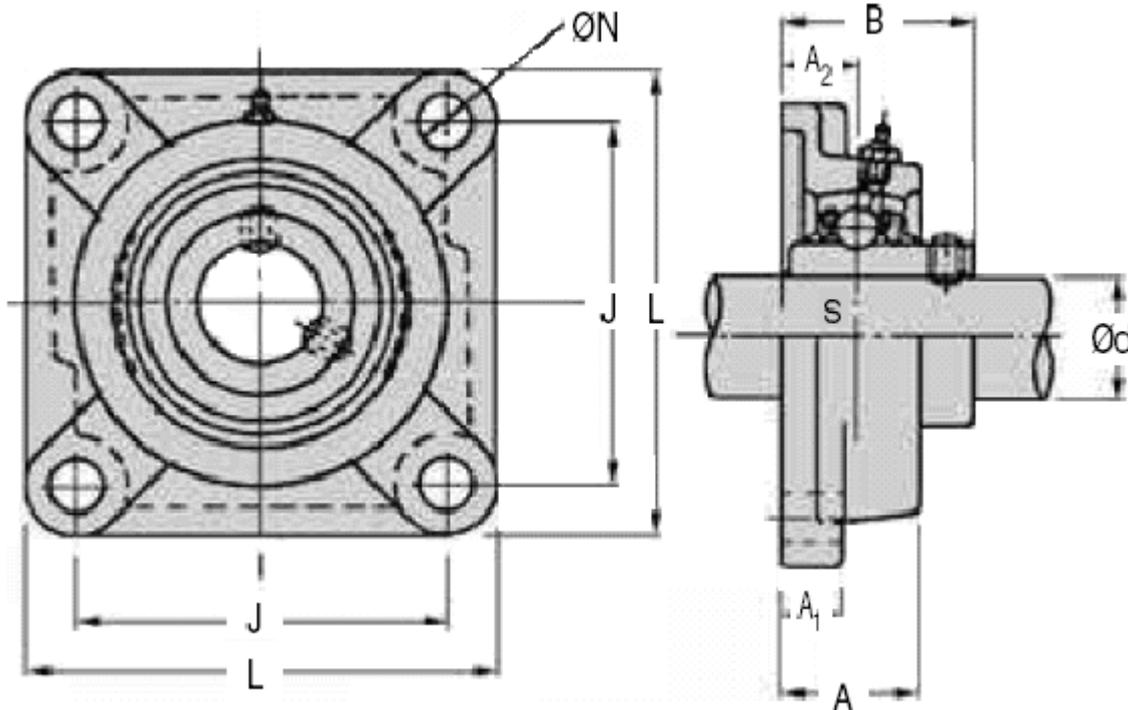
Ce dossier comporte 3 pages.

THEOREME DE L'ENERGIE CINETIQUE :

$$E_C(E/Rg)_{t_2} - E_C(E/Rg)_{t_1} = \sum W_{t_1}^{t_2}(\bar{E} \rightarrow E/Rg) + \sum W_{t_1}^{t_2}(E_i \leftrightarrow E_j)$$

La variation de l'énergie cinétique est égale au travail des forces extérieures et intérieures.
 Avec t_1 : début de l'accélération du vérin t_2 : fin de l'accélération du vérin

PALIER HPC



REFERENCE	Alésage Ød	L	J	A2	A1	A	B	ØN	S	Taille boulon	Stock	Prix Uni. 1 à 5
UCF204	20	86	64	15	12	25,5	33,3	12	12,7	M10	✓	8,76 €
UCF205	25	95	70	16	14	27,0	35,7	12	14,3	M10	✓	9,45 €
UCF206	30	108	83	18	14	31,0	40,2	12	15,9	M10	✓	11,83 €
UCF207	35	117	92	19	16	34,0	44,4	14	17,5	M12	✓	15,01 €
UCF208	40	130	102	21	16	36,0	51,2	16	19,0	M12	✓	17,69 €

REFERENCE	Charge (kN)	
	dynamique	statique
UCF204	9,88	6,65
UCF205	10,78	9,93
UCF206	14,97	11,31
UCF207	19,75	15,30
UCF208	25,09	19,84

Facteur radial Xo = 0,6.
 Facteur axial Yo = 0,5.

CHARGE STATIQUE DE BASE ET CHARGE STATIQUE EQUIVALENTE (sources NSK)

Charge statique de base

Un roulement qui supporte à l'arrêt une charge excessive, ou une charge instantanée importante, peut subir de ce fait une déformation locale permanente, des billes ou des rouleaux, ou des pistes de roulement de ses bagues, si la limite élastique du métal vient à être dépassée en ces endroits.

Une telle déformation permanente tend à s'aggraver en surface comme en profondeur avec l'augmentation de la charge, et si celle-ci dépasse une certaine limite, la douceur de fonctionnement du roulement se trouve compromise.

La charge statique de base est définie comme la charge statique qui produit les pressions spécifiques de contact indiquées ci-dessous, au centre de l'aire de contact entre l'élément roulant le plus chargé et la piste.

- Pour roulements à rotule sur billes : 4600 MPa
- Pour autres roulements à billes : 4200 MPa
- Pour roulements à rouleaux : 4000 Mpa

Charge statique équivalente

La charge statique équivalente est la charge théorique entraînant une déformation permanente du chemin de roulement et des billes ou rouleaux, à l'endroit de leur contact mutuel. Cette déformation permanente est équivalente à la déformation permanente maximum provoquée par une charge réelle à l'arrêt du roulement, ou lorsque celui-ci tourne ou oscille très lentement.

La charge statique radiale passant par le centre du roulement constitue la charge statique équivalente pour des roulements travaillant dans le sens radial, tandis que pour les butées on prend la charge axiale statique appliquée suivant l'axe du roulement.

On prend la plus forte des deux valeurs données par les formules suivantes :

$$Po = Xo \cdot Fr + Yo \cdot Fa, \text{ si } Fa > Xo \cdot Fr$$

$$Po = Fr$$

dans lesquelles :

- Po : charge statique équivalente (N)
- Fr : charge radiale (N)
- Fa : charge axiale (N)
- Xo : facteur radial
- Yo : facteur axial

En général, la charge statique équivalente ne doit pas dépasser la valeur indiquée dans les Tableaux pour la charge statique limite d'un roulement, sauf dans certains cas particuliers. Cette charge statique équivalente doit même être inférieure à la charge statique limite, dans un rapport qui dépend des conditions de fonctionnement et des exigences imposées au roulement. On trouvera ci-dessous les valeurs du facteur de charge statique *fs* qui répond à la relation suivante :

$$fs = \frac{Co}{Po} \quad \text{dans laquelle : } Co : \text{ charge statique de base (N); } Po : \text{ charge statique équivalente (N)}$$

Conditions de fonctionnement	Limite inférieure du facteur <i>fs</i>	
	Roulements à billes	Roulements à rouleaux
Application silencieuse	2	3
Roulement soumis à des vibrations et des chocs	1,5	2
Conditions normales de fonctionnement	1	1,5

PRESSION DE CONTACT POUR UN CONTACT LINEAIRE (théorie de Hertz). (sources G.C.M.)

Les formules de Hertz relatives à ce type de contact, s'applique dans le domaine élastique. Pour effectuer ces calculs, il faut définir les grandeurs suivantes :

Rr : le rayon de courbure relative : $\frac{1}{Rr} = \frac{1}{R1} \pm \frac{1}{R2}$

R1 : rayon du cylindre 1.

R2 : rayon du cylindre 2.

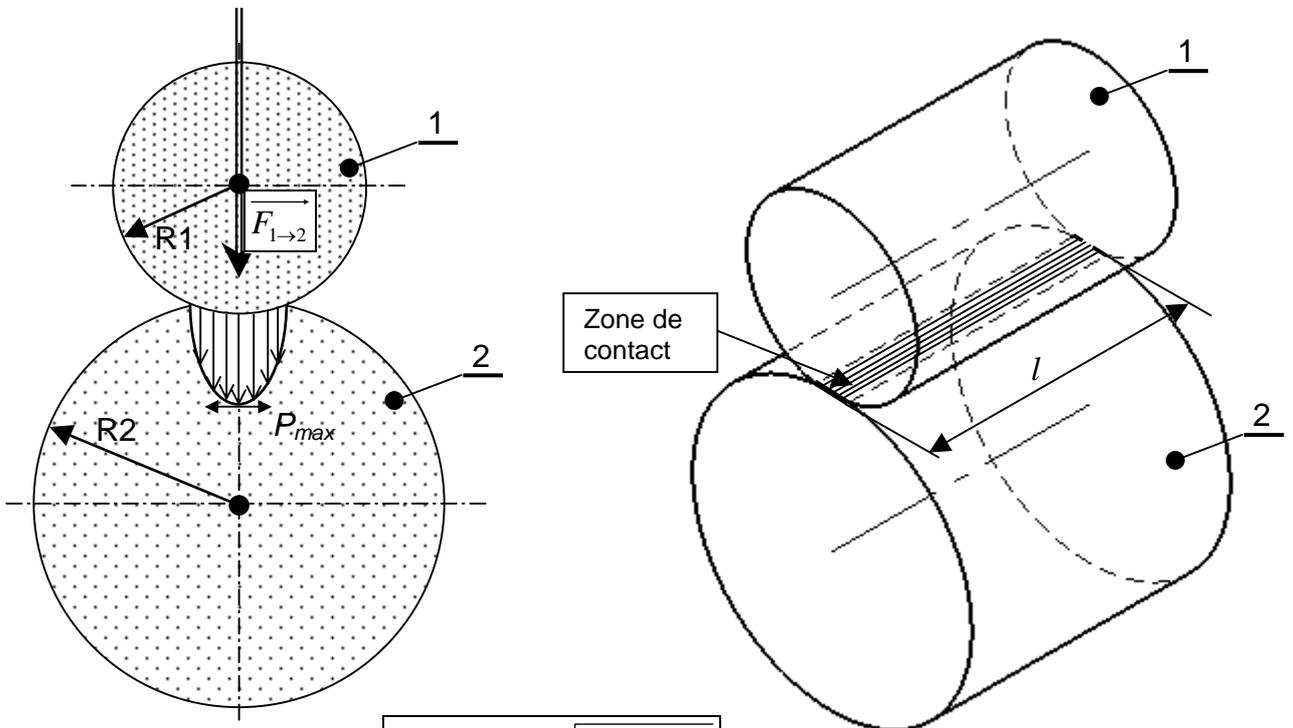
Signe : + pour une tangence extérieure;

- pour une tangence intérieure.

Le module d'élasticité longitudinale E équivalent : $\frac{1}{E} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E1} + \frac{1}{E2} \right)$

E1 : module d'élasticité longitudinale du matériau 1.

E2 : module d'élasticité longitudinale du matériau 2.



$$P_{max} \approx 0,418 \sqrt{\frac{\|F_{1 \rightarrow 2}\| \times E}{Rr \times l}}$$

Contact entre pièces fixes	Pression admissible (en MPa)
Sur acier ou fonte sans matage	80 à 100
Sur acier ou fonte avec léger matage	200 à 250