

Documents annexes
Épreuve de Sciences Industrielles B
Banque PT – 2020

Détail des exigences liées à l'exigence 1.1 "Rentabilité"

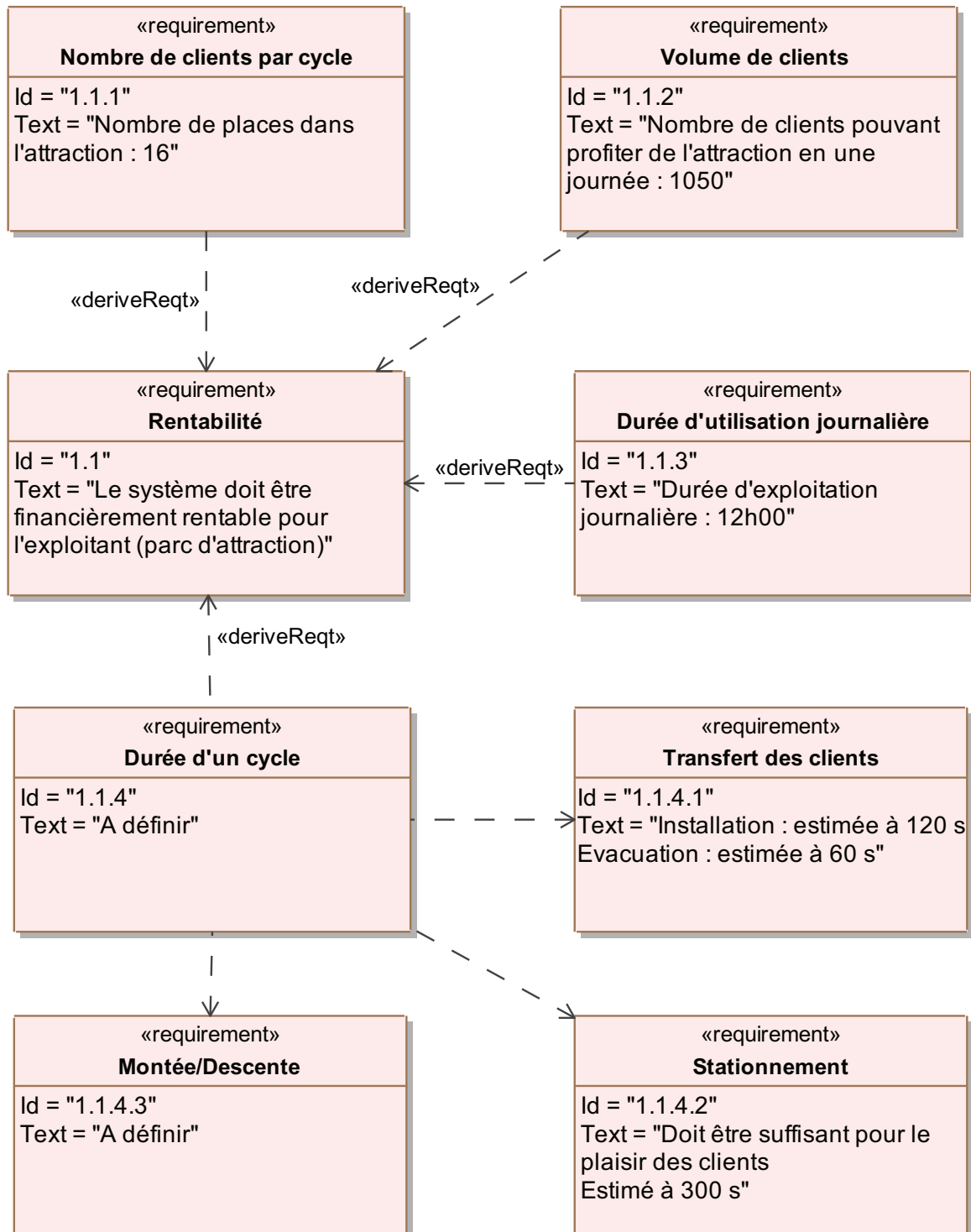


Figure 7 – Diagramme SysML détaillé de l'exigence 1.1 liée à la rentabilité de l'attraction

Détail des exigences liées à l'exigence 1.2 "Sécurité"

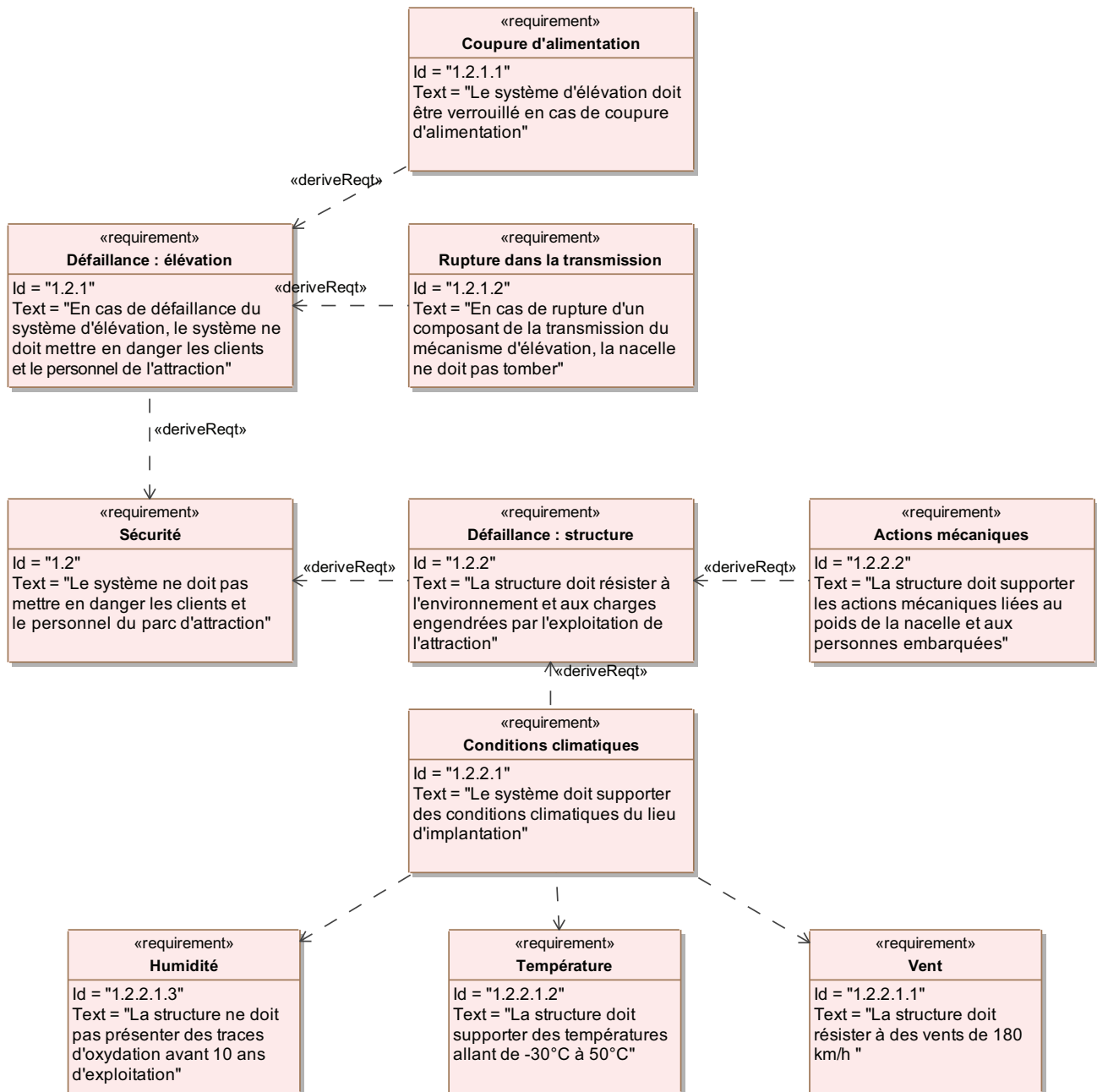


Figure 8 – Diagramme SysML détaillé de l'exigence 1.2 liée à la sécurité de l'attraction

Détail des exigences liées à l'exigence 1.3 "Plaisir client"

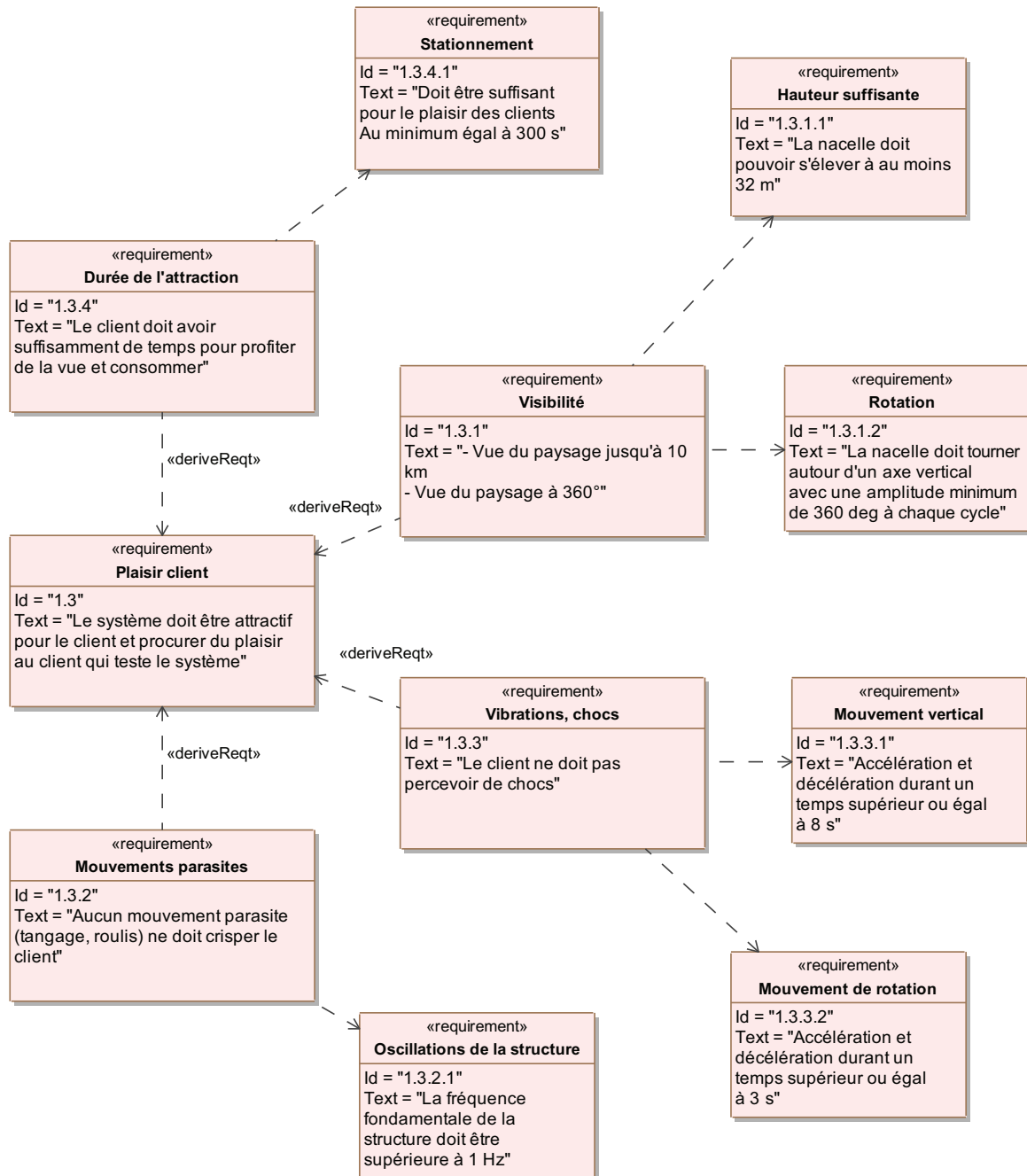


Figure 9 – Diagramme SysML détaillé de l'exigence 1.3 liée au plaisir et sensations procurés par l'attraction

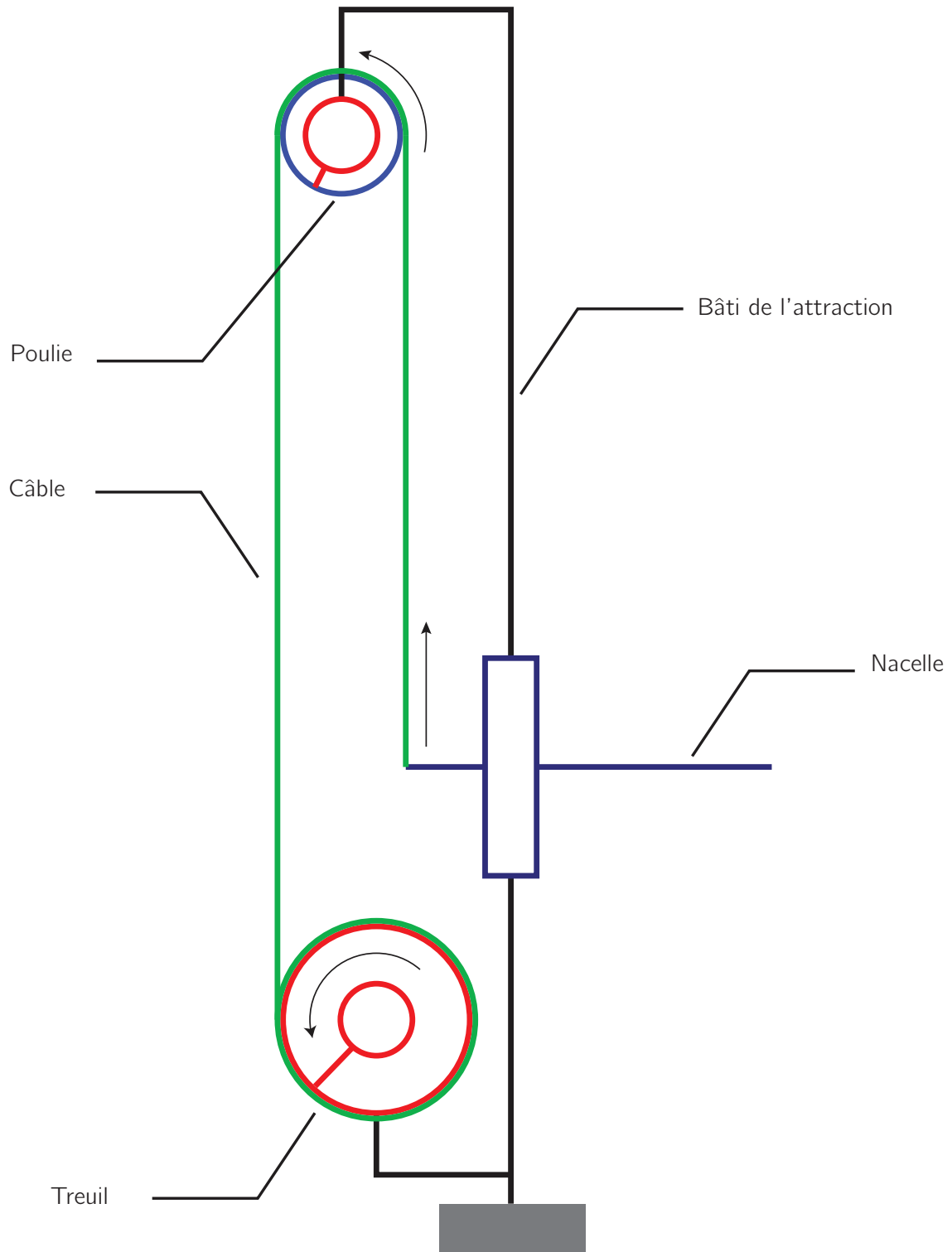


Figure 10 – Schéma d'architecture du système d'élévation de la nacelle (schéma limité à un des trois mâts de la structure porteuse)

Elévation de la nacelle : loi de vitesse retenue

Le profil de vitesse retenue pour l'élévation de la nacelle est présenté sur la figure 11. Ce profil contient trois phases principales :

- une phase ① durant laquelle la vitesse linéaire croît linéairement à partir d'une valeur nulle ;
- une phase ② durant laquelle la vitesse linéaire est constante ;
- une phase ③ durant laquelle la vitesse linéaire décroît linéairement jusqu'à s'annuler.

Un profil similaire est utilisé pour la phase de descente de la nacelle. La vitesse atteinte en régime permanent, en phase ②, serait alors négative.

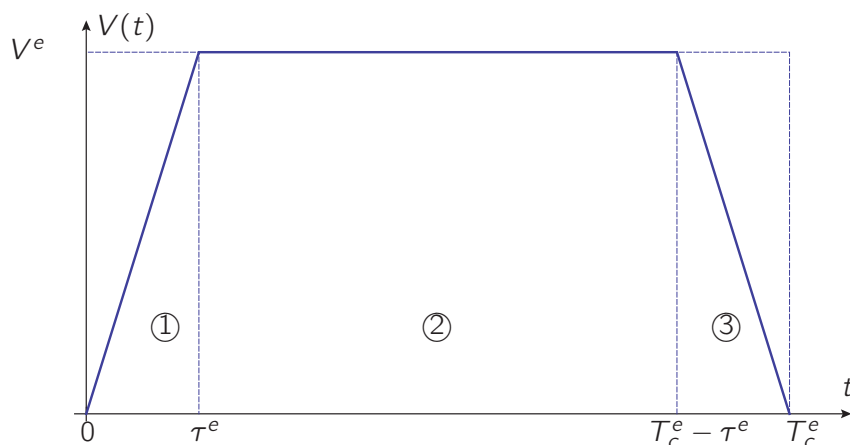


Figure 11 – Représentation de la loi de vitesse retenue pour l'élévation de la nacelle mobile

Moteurs pour l'élévation de la nacelle

Notation	Désignation
P_N	Puissance nominale
M_N	Couple nominal
N_N	Vitesse nominale
I_N	Courant nominal
$\cos\Phi$	Facteur de puissance
η_{50}	Rendement à 50 % de la puissance nominale
η_{75}	Rendement à 75 % de la puissance nominale
η_{100}	Rendement à 100% de la puissance nominale
I_A/I_N	Facteur de surintensité au démarrage
M_A/M_N	Rapport du couple de démarrage sur le couple nominal
M_H/M_N	Rapport du couple d'accélération sur le couple nominal
M_K/M_N	Rapport du couple de décrochage sur le couple nominal
m_{mot}	Masse du moteur
J_{mot}	Moment d'inertie des parties tournantes

Tableau 1 – Notations utilisées dans la documentation moteur fournie en figure 12

Moteur	P_N kW	M_N Nm	n_N tr/min	I_N A	$\cos\Phi$	$\eta_{50\%}$ %	$\eta_{75\%}$ %	$\eta_{100\%}$ %	I_A / I_N	M_A / M_N M_H / M_N	M_K / M_N	m_{mot} kg	J_{mot} 10^4 kgm^2
DRN112M4	4	26	1464	8.4	0.81	88.6	89.4	88.7	8.2	2.4 1.6	3.6	45	178
DRN132S4	5.5	36	1461	11	0.84	90.6	90.6	89.6	8.3	2.8 2.2	3.5	56	241
DRN132M4	7.5	49	1468	16	0.78	90.8	91.1	90.4	7.8	3.1 2.4	3.3	73	381
DRN132L4	9.2	60	1470	19.7	0.77	90.8	91.6	91.0	8.4	3.7 1.8	3.7	81	439
DRN160M4	11	71	1473	22	0.81	91.1	91.7	91.4	7.3	2.6 2.2	3.0	115	817
DRN160L4	15	97	1474	30.5	0.80	91.9	92.5	92.1	8.0	3.0 2.0	3.4	130	1040
DRN180M4	18.5	120	1478	35	0.85	92.8	93.1	92.6	9.5	3.6 2.9	3.6	155	1630
DRN180L4	22	142	1477	40.5	0.87	93.4	93.6	93.0	9.6	3.5 2.1	3.4	170	1950
DRN200L4	30	194	1480	59	0.82	93.3	93.9	93.6	8.2	2.9 2.5	3.3	280	2660
DRN225S4	37	240	1482	67	0.88	94.3	94.4	93.9	8.4	3.0 2.3	2.7	310	4350
DRN225M4	45	290	1482	85	0.85	94.1	94.5	94.2	8.8	3.0 2.2	2.7	310	4350
DRN250M4	55	355	1482	110	0.80	94.4	94.8	94.6	8.2	4.0 2.5	2.9	460	7360
DRN280S4	75	485	1482	151	0.79	94.9	95.3	95.0	7.6	3.7 2.6	2.9	520	8940
DRN280M4	90	580	1481	169	0.84	95.4	95.6	95.2	7.7	3.6 2.0	2.7	630	12000

Figure 12 – Documentation extraite du catalogue SEW concernant les moteurs type IE3 DRN...
380 V, 50 Hz, 4 pôles

Réducteur pour l'élévation de la nacelle

Les données d'entrée pour le choix d'un réducteur sont :

- la vitesse en entrée notée n_1 en $tr.min^{-1}$;
- la vitesse requise en sortie notée n_{2r} en $tr.min^{-1}$;
- le couple requis en sortie noté C_{2r} en $N.m$;
- le couple transmissible à la sortie du réducteur noté C_2 en $N.m$;
- la durée de fonctionnement requise avant maintenance h_r en heures ;
- le facteur de service K_A sans dimension ; ce coefficient tient compte du type d'usage, de la cadence des démarrages et la durée de fonctionnement par jour.

Ces données permettent de calculer le rapport de réduction (> 1) défini par :


$$i_r = \frac{n_1}{n_{2r}} \quad (G.1)$$

puis le couple corrigé en sortie :

$$C_{2c} = K_A C_{2r} \quad (G.2)$$

Enfin, on peut calculer le facteur de durée f_{h2} :

$$f_{h2} = n_{2r} h_r \quad (G.3)$$



	i	C_2 [Nm]						n_{1max} [min ⁻¹]	T_{2max} [Nm]	P_t [kW]				
		$n_{2r} \times h_r$												
	1/...	10000 (10 ⁴)	25000 (2.5 · 10 ⁴)	50000 (5 · 10 ⁴)	100000 (10 ⁵)	500000 (5 · 10 ⁵)	1000000 (10 ⁶)							
RA1700	(A)	15.60	6510	5930	5230	4960	3800	3090	3500	26500	38 (M...) 27 (FS)			
		17.64	7350	6560	5830	5560	4140	3370						
		20.56	8540	7440	6720	6420	4610	3750						
		25.08	10320	8750	8090	7720	5300	4310						
	(B)	10.64	23860	22960	19630	15940	9840	7990	2500	26500	46 (M...) 35 (FS)			
		12.03	22700	21390	20470	17380	10720	8710						
		14.02	19910	16560	14410	13250	11940	9700						
		17.10	16730	13910	12100	11510	10430	9990						
		53.04	18590	16620	15850	14140	8730	7090				3500	26500	27 (M...) 20 (FS)
		62.40	21250	18120	17370	15850	9780	7940						
70.56	22700	20350	19500	17280	10660	8660								
88.20	17420	15550	14900	14280	12460	10120								
100.32	16730	13910	12100	11510	10430	9990								
125.40	16730	13910	12100	11510	10430	9990								
175.56	16390	13910	12100	11510	10430	9990								
RA1700T	200.93	21370	18120	17370	14910	9200	7470	3500	26500	19 (M...) 14 (FS)				
	251.16	21370	18120	17370	16650	10760	8740							
	291.35	21370	18120	17370	16650	11840	9620							
	351.62	20770	18120	17370	16650	11840	9620							
	439.53	15760	13850	13270	12720	11520	9380							
	565.30	16730	13910	12100	11510	10430	9990							
	706.63	16730	13910	12100	11510	10430	9990							
	819.69	16730	13910	12100	11510	10430	9990							
	989.28	16390	13910	12100	11510	10430	9990							
	1054.22	15330	14010	13420	12870	11660	10000							
	1125.20	10720	9920	9500	9110	8250	7910							
	1272.34	11850	11130	10670	10230	9260	8880							
	1482.95	13600	12860	12320	11810	10700	10250							
	1808.97	16390	13910	12100	11510	10430	9990							

Figure 13 – Documentation extraite du catalogue Reggiana Riduttori

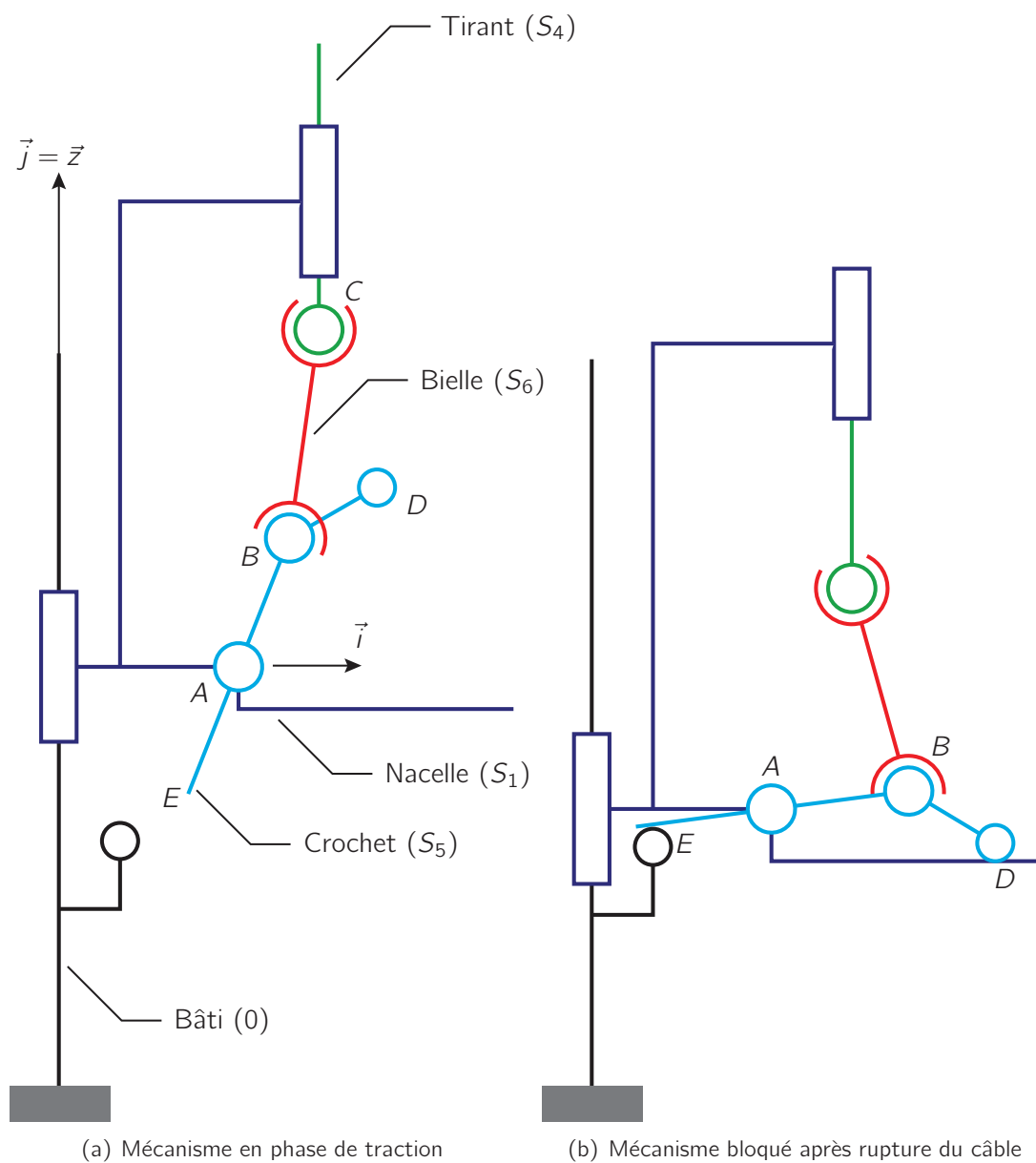


Figure 14 – Principe de fonctionnement du système antichute étudié : l'étude portera sur la phase dynamique transitoire entre ces deux états

Résultats du modèle dynamique

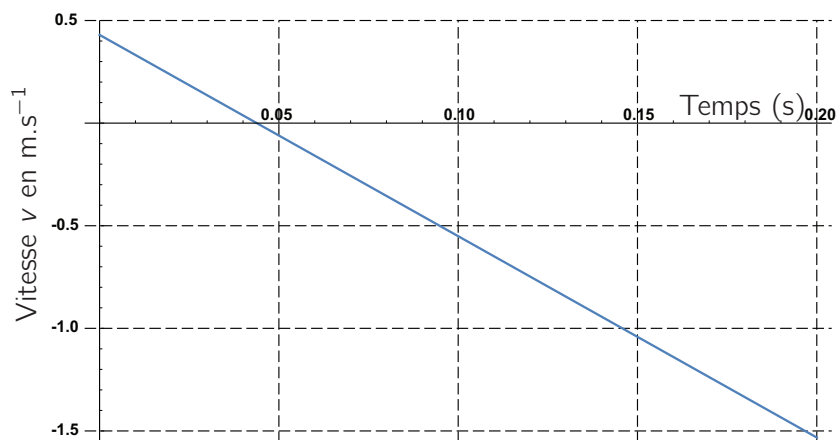


Figure 15 – Vitesse de la nacelle après rupture du câble de traction à $t = 0$

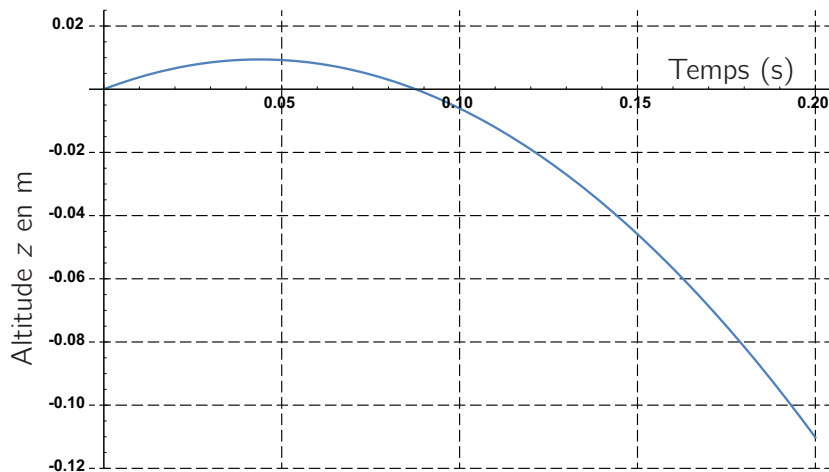


Figure 16 – Position de la nacelle après rupture du câble de traction à $t = 0$

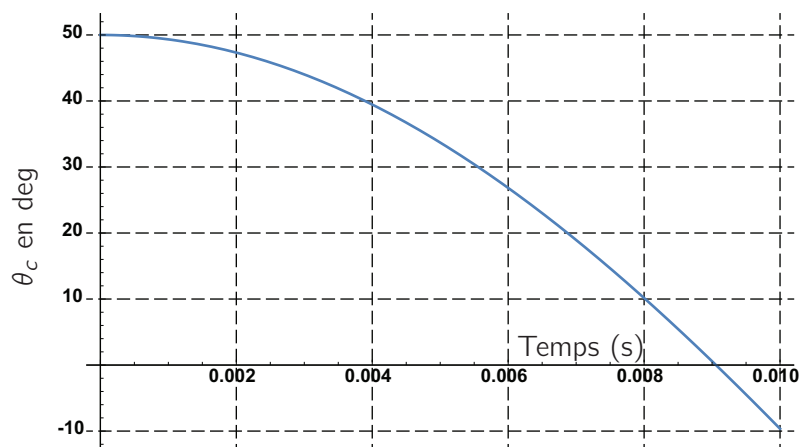


Figure 17 – Angle θ_c du crochet après rupture du câble de traction à $t = 0$

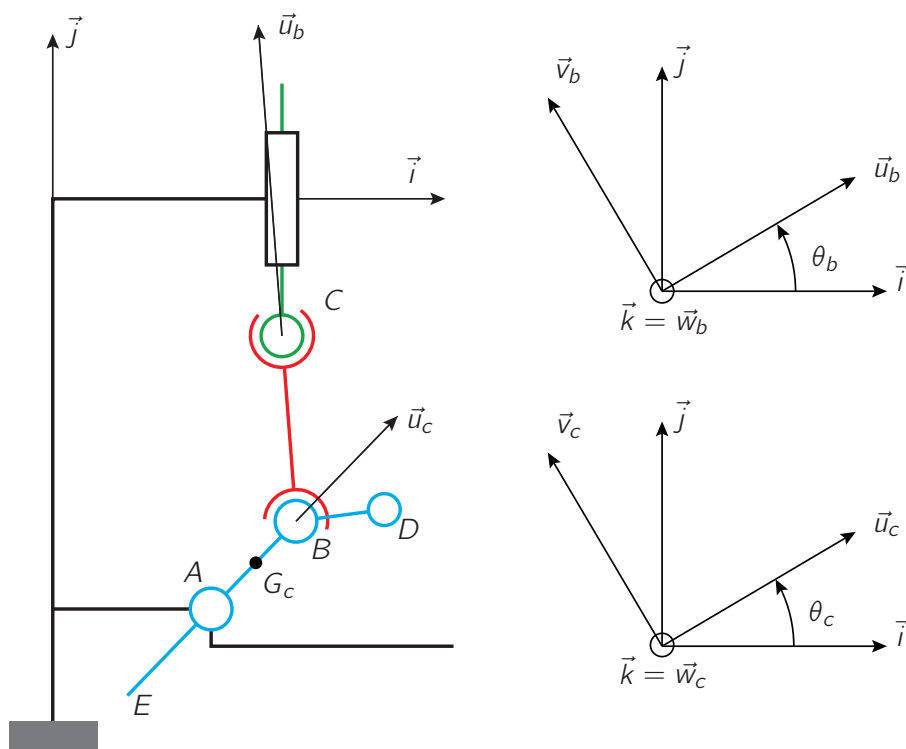


Figure 18 – Représentation du système antichute durant la phase transitoire entre les états présentés sur les figures H.14(a) et H.14(b) de l'annexe H ; $\vec{AB} = l_c \vec{u}_c$, $A\vec{G}_c = a_c \vec{u}_c$, $B\vec{C} = l_b \vec{u}_b$,
 $A\vec{C} = \delta_n \vec{i} + \lambda_t \vec{j}$

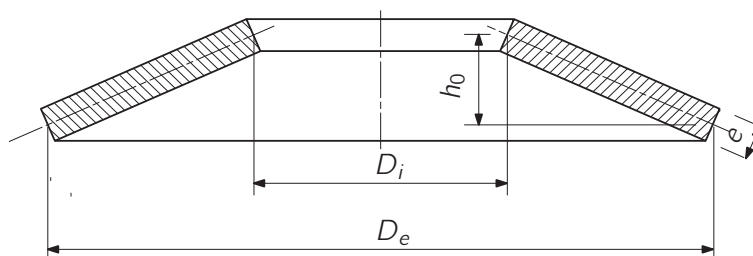


Figure 19 – Géométrie d'une rondelle élastique SCHNORR

Les rondelles ressort, notamment les colonnes de rondelles ressort, réclament toujours un élément de guidage afin d'éviter tout glissement latéral sous charge. Ce guidage peut être réalisé sur le diamètre intérieur D_i tout comme sur le diamètre extérieur D_e . La plupart du temps, on préfère un guidage sur le diamètre intérieur au moyen d'un boulon ou d'un arbre au guidage sur le diamètre extérieur au moyen d'une douille parce que cette solution présente des avantages constructifs et économiques.

Les éléments de guidage et les supports doivent être autant que possible durcis pour l'utilisation (profondeur de durcissement env. 0,8 mm) et présenter une durée minimale de 60 HRC. La surface des éléments de guidage doit être aussi lisse et poncée que possible. En cas de charge statique, l'utilisation de pièces de guidage non trempées peut également suffire.

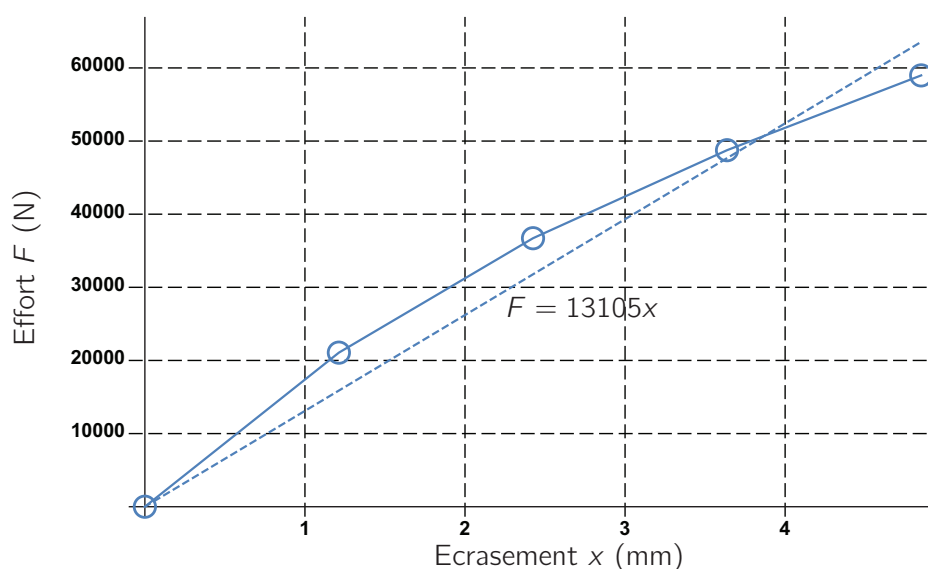


Figure 20 – Comportement de la rondelle SCHNORR $D_i = 71 \text{ mm}$, $D_e = 150 \text{ mm}$, $e = 6 \text{ mm}$,
 $h_0 = 4.85 \text{ mm}$

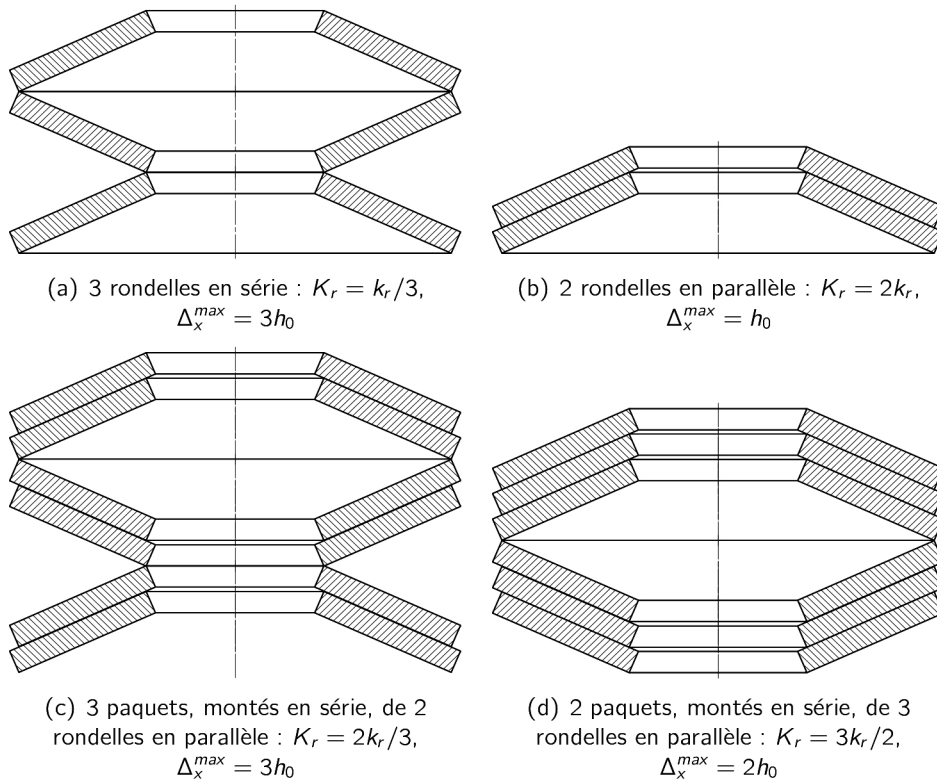


Figure 21 – Exemples d'empilements de rondelles élastiques de raideur unitaire k_r et de hauteur h_0 ; la raideur de l'empilement K_r et l'écrasement maximal possible Δ_x^{max} sont donnés pour chaque empilement



Modélisation poutre du crochet

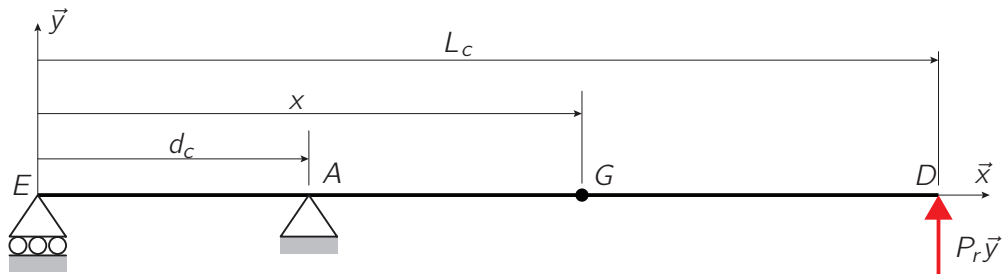


Figure 22 – Modèle proposé pour évaluer la résistance du crochet du système antichute; x représente la position du centre G d'une section quelconque de la poutre

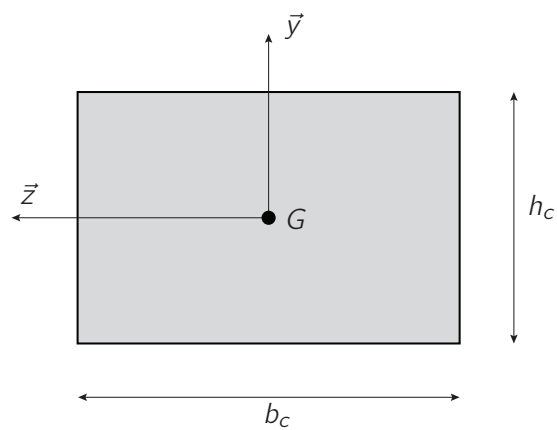


Figure 23 – Géométrie de la section du crochet

Entrainement de la nacelle en rotation

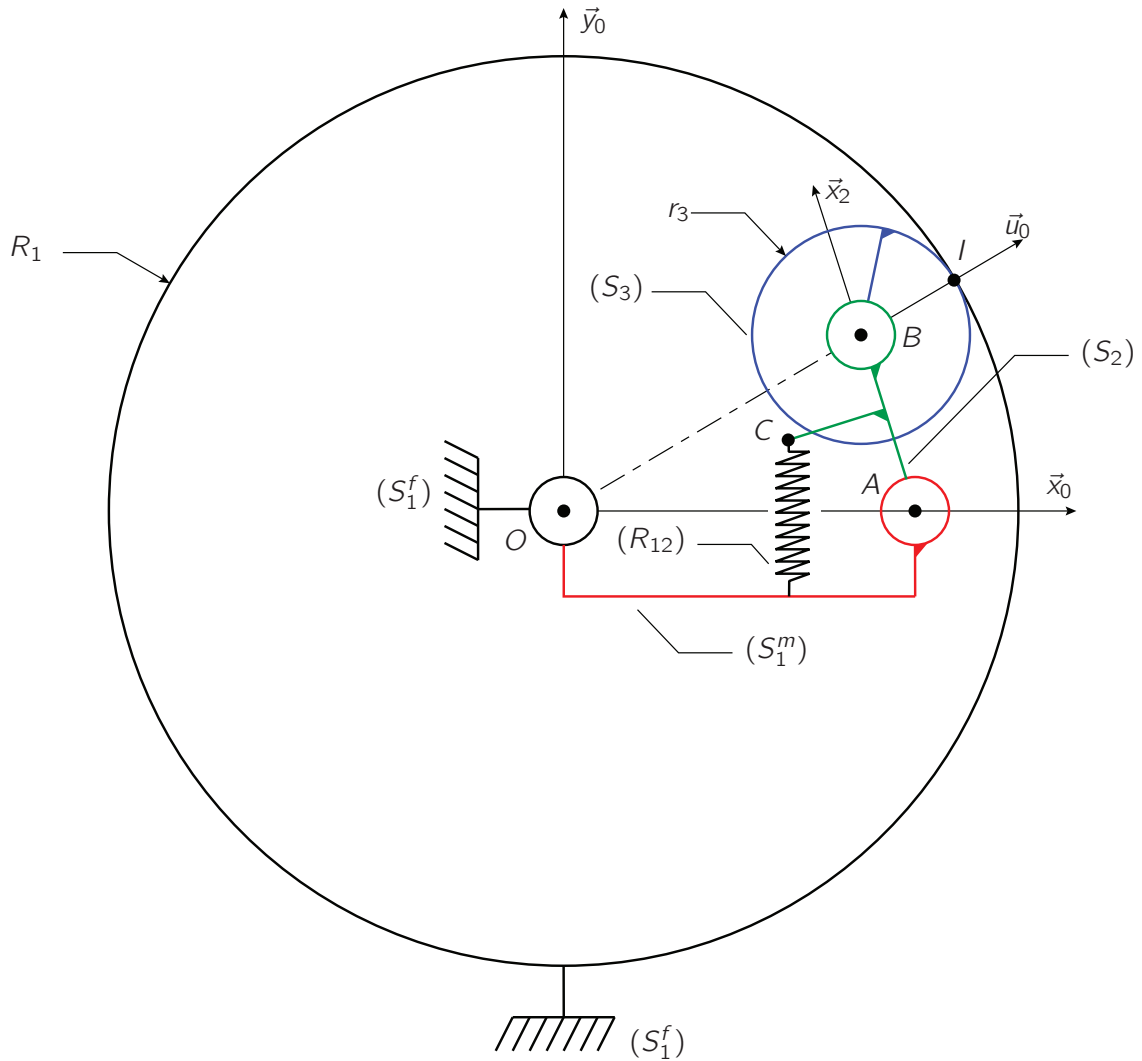


Figure 24 – Schéma d'architecture du système d'entraînement de la nacelle; les positions des différents points sont données par : $\vec{AB} = l_2 \vec{x}_2$, $\vec{AC} = a_2 \vec{x}_2 + b_2 \vec{y}_2$, $\vec{BI} = r_3 \vec{u}_0$, $\vec{OI} = R_1 \vec{u}_0$

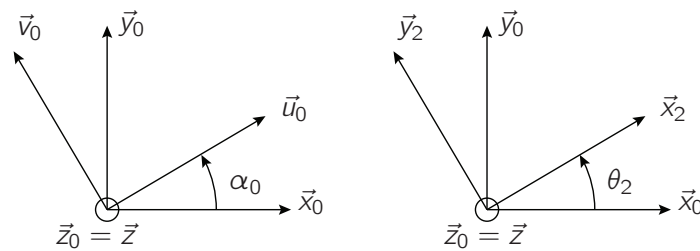


Figure 25 – Figures planes associées à la figure 24

Réducteur pour la rotation de la nacelle

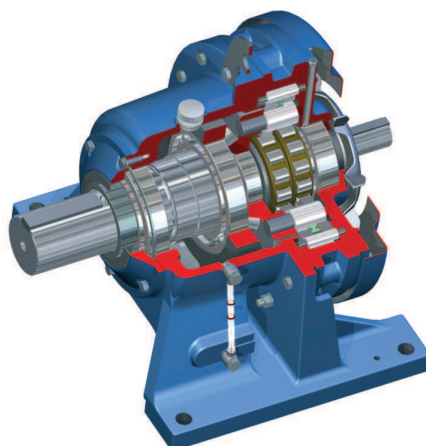


Figure 26 – Réducteur Cyclodrive 6000 utilisé pour la mise en rotation de la nacelle

3	5	6	8	11	13	15	17	21	25	29	35	43	51	59	71	87	119
---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Tableau 1 – Rapports de réduction des réducteurs à simple étage

	11	13	15	17	21	25	29	35	43	51	59	87
6				102			174	210	258		354	522
8		104										
11	121	143	165	187	231		319	385	473		649	957
13			195		273		377		559			1131
15			225				435					
17				289	357	425	493	595	731		1003	1479
21						525						
29							841		1247		1711	
35								1225	1505		2065	3045
43									1849	2193	2537	3741
51												4437
59											3481	5133
71												6177
87												7569

Tableau 2 – Rapports de réduction des réducteurs à deux étages exploitant des réducteurs à simple étage ; seules les associations existant dans le catalogue sont données

Rotation de la nacelle : loi de vitesse retenue

Le profil de vitesse retenu pour la mise en rotation de la nacelle (S_1^m) lors de la phase de stationnement est présenté sur la figure 27. Ce profil contient trois phases principales :

- une phase ① durant laquelle la vitesse angulaire croît linéairement à partir d'une valeur nulle ;
- une phase ② durant laquelle la vitesse angulaire est constante ;
- une phase ③ durant laquelle la vitesse angulaire décroît linéairement jusqu'à s'annuler.

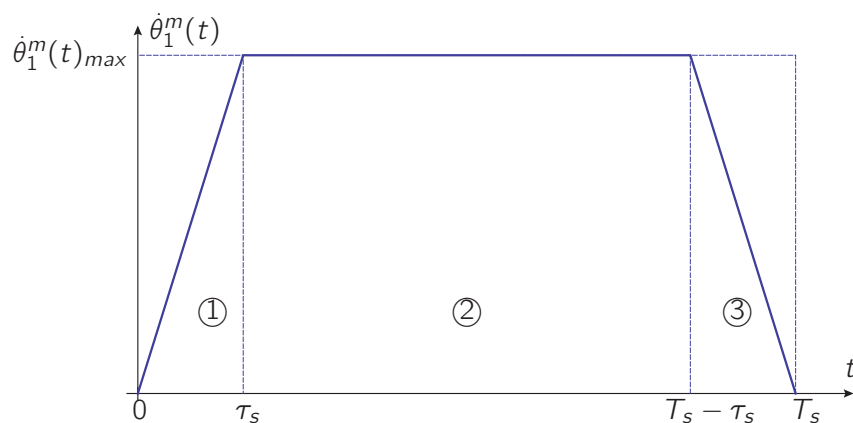


Figure 27 – Représentation de la loi de vitesse angulaire retenue pour la nacelle mobile (S_1^m)

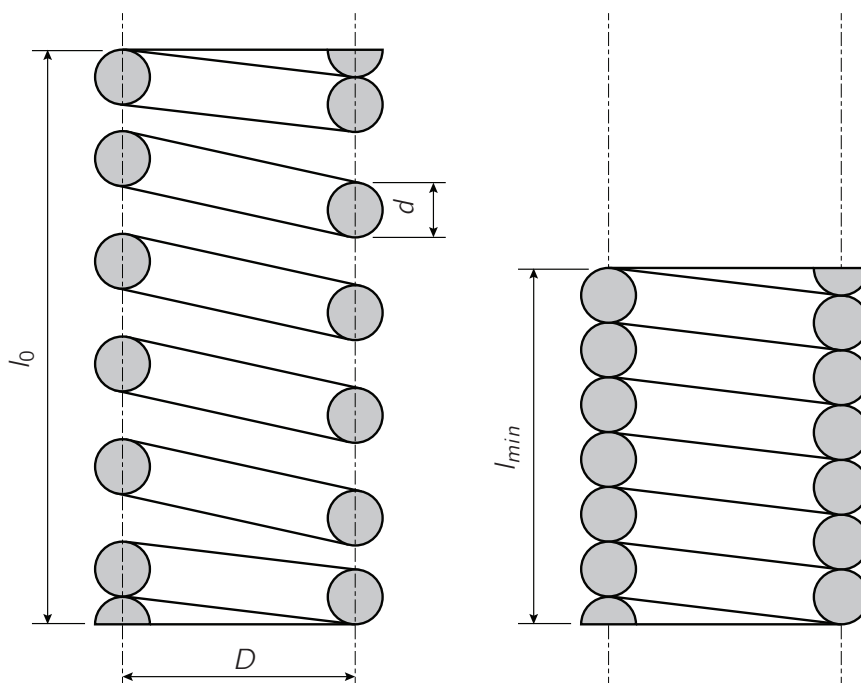


Figure 28 – Vue en coupe d'un ressort hélicoïdal; représentation à sa longueur libre l_0 et entièrement comprimé

La raideur d'un ressort hélicoïdal tel que celui présenté en figure 28 peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$k = \frac{Gd^4}{8nD^3}$$

avec :

- k : raideur du ressort en $N.mm^{-1}$;
- G : module de cisaillement du matériau ;
- d : diamètre du fil rond en mm ;
- D : diamètre moyen d'enroulement en mm ;
- n : nombre de spires utiles.

Référence	d	D	F	l_0	l_{min}	n	k
C.493.380.1270.A	3.8	49.3	144	127	43.5	8.8	3.3
C.480.500.1600.A	5.0	43	784	160	78.4	10	10.0
C.492.580.1400.AP	5.8	43.4	1523	140	78.46	9.3	19.4

Tableau 1 – Caractéristiques de quelques ressorts du commerce de la société Vanel; l_0 désigne la longueur (mm) à vide, l_{min} désigne la longueur (mm) du ressort lorsqu'il est entièrement comprimé (spires jointives), et F désigne l'effort maximal (N) que peut supporter le ressort en statique

Coussinets retenus pour l'articulation du basculeur

Les coussinet IBINZA sont produits à partir d'une bande de matériau multicouche composé :

- d'une bague en acier recouverte d'étain ;
- d'une couche de bronze fritté ;
- d'une couche de PTFE et de bisulfure de molybdène.

Ce type de coussinet est adapté aux fonctionnements à sec, sans lubrification supplémentaire.

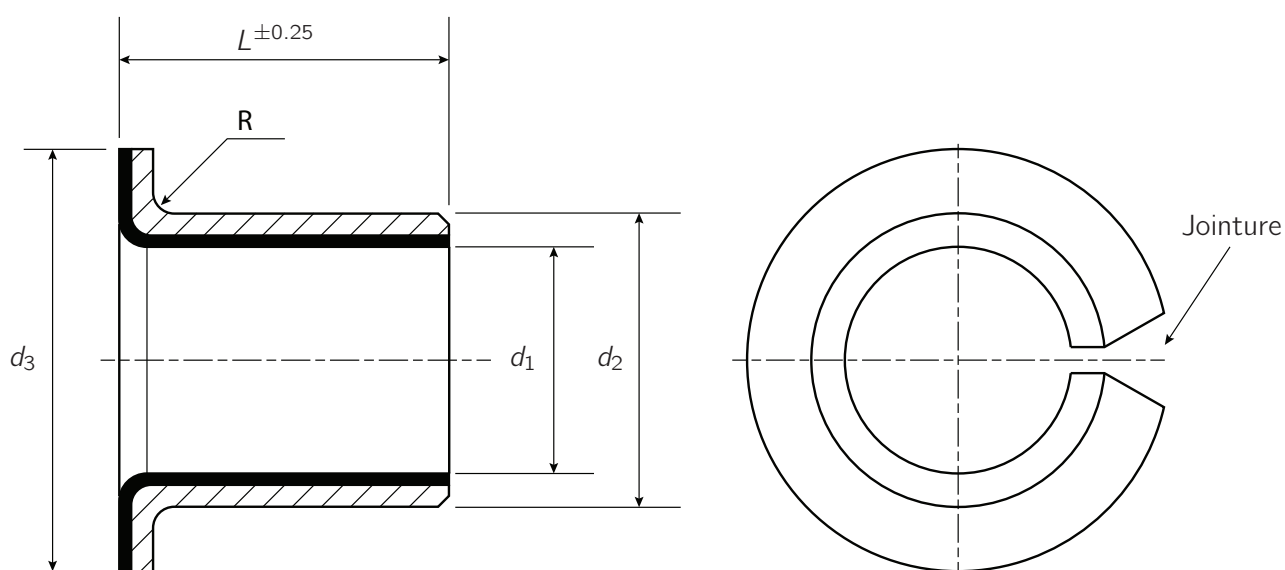


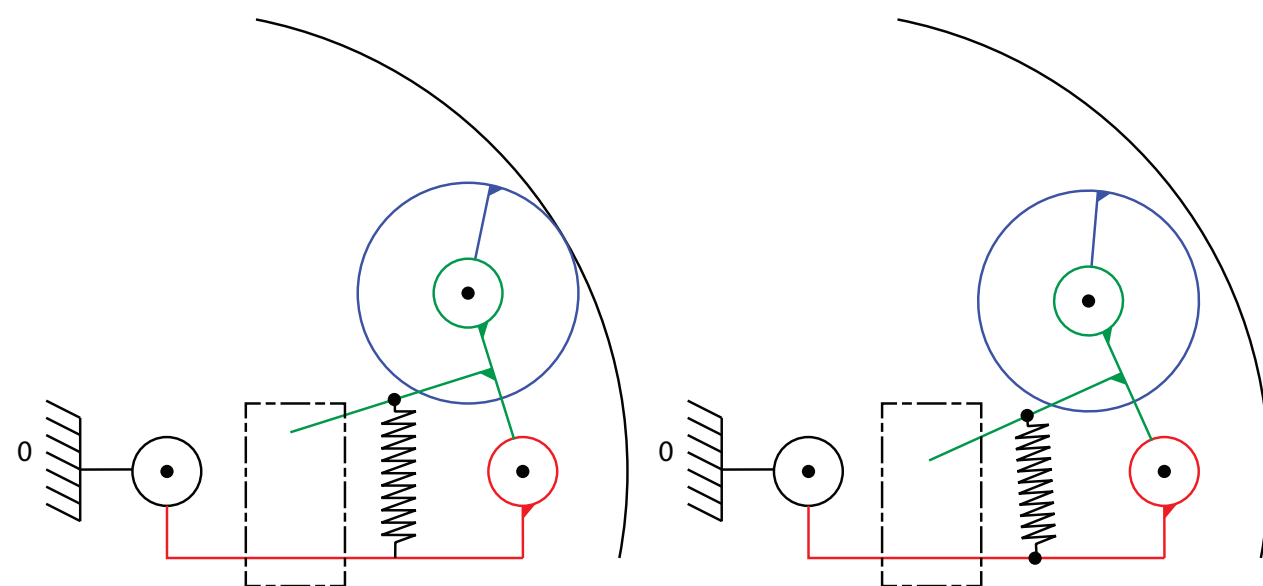
Figure 29 – Géométrie des coussinets acier/PTFE à colerette retenus

Ref.	d_1	d_2	L	d_3
FMB 25-11.5 DU	25	28	11.5	35
FMB 25-16.5 DU	25	28	16.5	35
FMB 25-21.5 DU	25	28	21.5	35
FMB 30-16 DU	30	34	16	42
FMB 30-26 DU	30	34	26	42
FMB 35-16 DU	35	39	16	47
FMB 35-26 DU	35	39	26	47

Tableau 1 – Dimensions des coussinets disponibles

En cas de maintenance sur la partie mobile de la nacelle, celle-ci doit pouvoir tourner librement sur son axe. Il est donc nécessaire de pouvoir maintenir la roue motrice éloignée du fût durant cette opération. Pour cela, il est suggéré d'interposer un élément supplémentaire entre le basculeur et le châssis de la nacelle mobile. Cet élément devra :

- laisser le ressort plaquer librement la roue contre le fût en phase de fonctionnement normal ;
- permettre, par l'intervention d'un technicien, d'éloigner la roue du fût durant toute la phase de maintenance.



(a) Système en phase de fonctionnement normal : le ressort plaque la roue contre le fût

(b) Système en phase de maintenance : le système à concevoir permet d'écarter la roue du fût

Figure 30 – Présentation du rôle du système à concevoir permettant d'assurer une position de maintenance ; le système sera interposé entre le basculeur et le châssis de la nacelle mobile (zone du cadre en trait mixte)

Notation	Valeur/Unité	Commentaires
N_p	16	Nombre de places assises disponibles dans la nacelle (hors barman)
m_p	77 kg	Masse moyenne d'un passager retenue pour le dimensionnement
M_n	3900 kg	Masse de la nacelle sans passager
T_{exp}	12h	Durée journalière d'exploitation de l'attraction
T_c		Durée d'un cycle de l'attraction
T_c^e		Durée de la phase de montée ou de la phase de descente
N_j	1050	Nombre de clients souhaité par jour
$N_{c,h}$		Nombre de cycles à réaliser dans une heure d'exploitation
N_{jours}	3500	Nombre de jours d'utilisation entre deux maintenances du système d'élévation
ω_{mot}^e	1470 tr.min ⁻¹	Vitesse de rotation d'un moteur entraînant un treuil
i^e		Rapport de réduction d'un réducteur entraînant un treuil
R^e	0.46 m	Rayon d'enroulement du câble sur le treuil
H^e	32 m	Hauteur d'élévation de la nacelle
τ^e	8 s	Phase d'accélération durant l'élévation
V^e		Vitesse d'élévation de la nacelle en régime permanent
η^e	0.85	Rendement de la chaîne de transmission permettant l'élévation
C_r		Couple appliqué par un réducteur sur un treuil durant l'élévation de la nacelle
h_r		Durée d'exploitation en heures d'un réducteur entre deux maintenances
F_c		Effort appliqué par un câble sur un tirant (S_4)
$z(t)$		Position de la nacelle sur l'axe vertical après rupture des câbles à $t = 0$
$v(t)$		Vitesse de la nacelle sur l'axe vertical après rupture des câbles à $t = 0$
t_{inv}		Temps au bout duquel $v(t)$ change de signe
t_{stop}		Temps au bout duquel le crochet entre dans une encoche
p		Distance entre deux encoches successives
$E_{c,n}$		Energie cinétique de la nacelle après rupture des câbles
$E_{c,c}$		Energie cinétique du crochet après rupture des câbles
$E_{c,t}$		Energie cinétique d'un tirant après rupture des câbles
λ_t		Paramètre de position d'un tirant relativement à la nacelle
θ_b		Paramètre de position angulaire d'une bielle (S_6) relativement à la nacelle (S_1)
θ_c		Paramètre de position angulaire d'un crochet (S_5) relativement à la nacelle (S_1)
δ_n		Caractéristique géométrique de la nacelle (S_1)
l_b		Caractéristique géométrique de la bielle (S_6)
l_c		Caractéristique géométrique du crochet (S_5)
m_t		Masse du tirant (S_4)
a_c		Positionnement du centre de gravité du crochet (S_5)
m_c		Masse du crochet (S_5)
J_c		Inertie du crochet (S_5)
$J_{c,eq}$		Inertie équivalente du système antichute ramenée au crochet (S_5)
$C_{(R_{15} \rightarrow (S_5))}$		Couple de rappel du ressort de torsion sur le système antichute
k_{15}		Raideur du ressort de torsion du système antichute

Notation	Valeur/Unité	Commentaires
$P_{p,t}$		Puissance de la pesanteur sur le tirant (S_4)
$P_{p,c}$		Puissance de la pesanteur sur le crochet (S_5)
$P_{r,c}$		Puissance de l'action du ressort (R_{15}) sur le crochet (S_5)
Δt_c		Temps au bout duquel le crochet (S_5) peut entrer dans une encoche
E_c		Energie cinétique à absorber par un système antichute
K_r		Raideur de l'appui élastique entre crochet (S_5) et nacelle (S_1)
Δx		Ecrasement de l'appui élastique entre crochet (S_5) et nacelle (S_1)
Δx^{max}		Ecrasement maximal possible de l'appui élastique entre (S_5) et (S_1)
α	0.9	Marge souhaitée par rapport à l'écrasement maximal Δx^{max}
k_r		Raideur d'une rondelle élastique
h_0		Ecrasement maximal possible pour une rondelle élastique
n_p		Nombre de paquets de rondelles élastiques
$n_{r/p}$		Nombre de rondelles élastiques dans chaque paquet
F^{max}		Effort à produire pour écraser totalement une rondelle élastique
P_r		Effort imposé au crochet (S_5) par l'appui élastique
L_c	130 mm	Longueur du crochet (S_5)
d_c	60 mm	Distance entre deux articulations du crochet (S_5)
h_c		Hauteur de la section du crochet (S_5)
b_c	60 mm	Largeur de la section du crochet (S_5)
$M_{fz,max}$		Moment fléchissant maximal dans la poutre modélisant le crochet (S_5)
σ_e	400 MPa	Limite élastique du matériau constituant le crochet (S_5)
s_c	1.5	Coefficient de sécurité pour le dimensionnement du crochet (S_5)
r_3	210 mm	Rayon de la roue d'entraînement (S_3)
R_1	1110 mm	Rayon du fût de la nacelle (S_1^m)
l_2	170 mm	Caractéristique géométrique du basculeur (S_2)
a_2	150 mm	Caractéristique géométrique du basculeur (S_2)
b_2	150 mm	Caractéristique géométrique du basculeur (S_2)
θ_2	2.2 rad	Caractéristique géométrique du basculeur (S_2)
N_s		Nombre de tours de nacelle durant le stationnement en position haute
T_s	5 min	Temps de stationnement en position haute
τ^s	3 s	Phase d'accélération durant la rotation de la nacelle
ω_{mot}^r	1320 tr.min ⁻¹	Vitesse de rotation d'un moteur entraînant la nacelle mobile (S_1^m) en rotation
i^r	1225	Rapport de réduction du motoréducteur entraînant la nacelle mobile (S_1^m)
F_r		Effort imposé par le ressort (R_{12}) sur le basculeur portant la roue (S_3)
N_{13}		Effort normal au contact entre la roue (S_3) et la nacelle mobile (S_1^m)
T_{13}		Effort tangentiel au contact entre la roue (S_3) et la nacelle mobile (S_1^m)
ε_{13}	±1	Paramètre permettant de modifier le sens de l'effort tangentiel T_{13}
μ_{13}		Coefficient de frottement au contact entre la roue (S_3) et la nacelle mobile (S_1^m)
R_p	1.8 m	Eloignement d'un passager de l'axe de rotation de la nacelle mobile (S_1^m)
J_1^s	1500 kg.m ²	Moment d'inertie selon \vec{z} de la nacelle mobile (S_1^m) sans occupant
J_1		Moment d'inertie selon \vec{z} de la nacelle mobile (S_1^m) avec N_p occupants