



**LE RÉSEAU DE CRÉATION
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été numérisé par le Canopé de l'académie de Bordeaux
pour la Base nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

BTS MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Épreuve E 4 : ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE

SESSION 2014

Durée : 5 heures

Coefficient : 3

AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISÉ

Ce sujet contient 4 dossiers :

- Présentation : DP1 à DP2
- Questionnaire : DQ1 à DQ5
- Documents Réponses : DR1 à DR4
- Dossier Technique : DT1 à DT8

Matériel autorisé : Calculatrice de poche alphanumérique ou à écran graphique à fonctionnement autonome sans imprimante (circulaire 99-186 du 16-11-99)

IMPORTANT : Ce sujet comporte des pages numérotées de 1/19 à 19/19
Assurez-vous qu'il est complet ; s'il est incomplet, veuillez le signaler au surveillant de la salle qui vous en remettra un autre exemplaire. Les documents réponses doivent être agrafés à la copie normalisée.

BTS Maintenance industrielle	Session 2014
Epreuve E4	CODE : 14-MIE4AFS

Brevet de Technicien Supérieur
MAINTENANCE INDUSTRIELLE
Session 2014

EPREUVE E 4
Analyse fonctionnelle et Structurelle

Présentation

Ce dossier contient les documents : **DP1 à DP2**

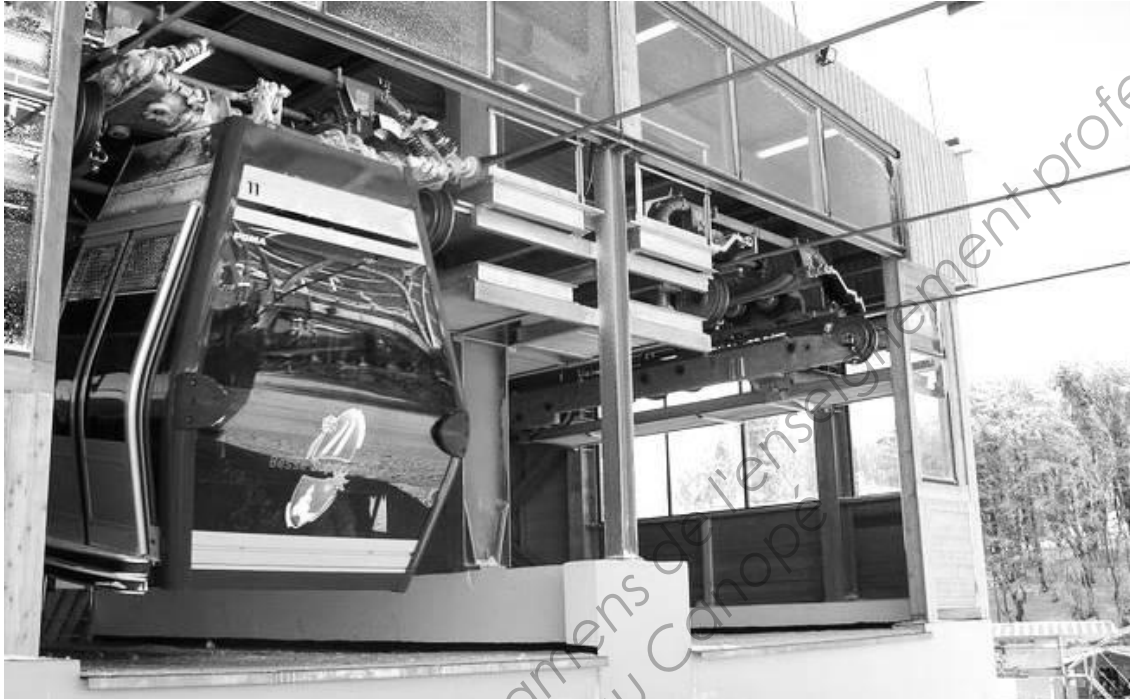
BTS Maintenance industrielle		Session 2014
Épreuve E4	CODE : 14-MIE4AFS	

ÉTUDE D'UN TELECABINE

Temps conseillé pour la lecture du sujet : 15 min

La station de Super-Besse est l'une des 3 stations du Massif du Sancy, elle est située en région Auvergne. Le domaine skiable s'étend de 1300 m à 1800 m d'altitude et comprend 43 km de pistes.

Le *Funitel* de la Perdrix a été construit pendant l'été 2008.



Le *Funitel* constitue une évolution technologique de taille : il est équipé d'un "Double Loop Monocable", c'est-à-dire un seul câble formant deux boucles.

La cabine est ainsi suspendue des deux côtés (voir la photo ci-dessus), ce qui assure une stabilité bien supérieure aux systèmes traditionnels. Le *Funitel* peut véhiculer les skieurs même lors de conditions climatiques difficiles, notamment par vent très fort.

L'entraînement du câble est assuré par deux moteurs à courant continu, chacun d'une puissance de 516 kW ; dans cette gamme de puissances le choix du moteur à courant continu reste justifié.

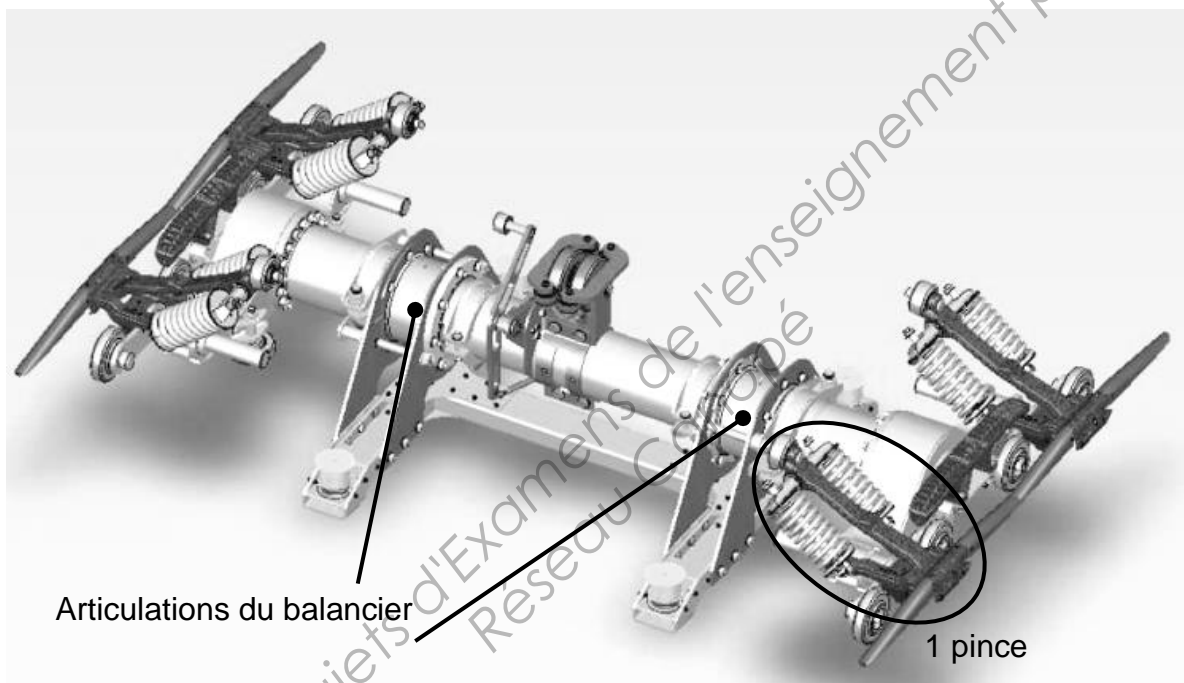


Pour la marche dégradée en mode secours, l'entraînement est assuré par deux moteurs asynchrones d'une puissance de 75 kW chacun, alimentés par un groupe électrogène.

Les cabines sont fabriquées par le constructeur français Sigma Composite. Elles possèdent une capacité de vingt places (1 600 kg), dont dix assises.



Elles sont coiffées d'un "chariot de véhicule" qui contient un système de balancier amorti. Quatre pinces permettent de désolidariser les cabines des câbles lors de leur arrivée en gare.



Le conducteur de ligne pilote l'installation, notamment grâce à un terminal de dialogue lui permettant de choisir parmi les différents modes de marche et les différentes vitesses associées.



Brevet de Technicien Supérieur
MAINTENANCE INDUSTRIELLE
Session 2014

EPREUVE E 4
Analyse fonctionnelle et Structurelle

Questions

Ce dossier contient les documents : **DQ1** à **DQ5**

BTS Maintenance industrielle		Session 2014
Épreuve E4	CODE : 14-MIE4AFS	

Le Funitel de la perdrix est l'équipement central de la station de ski. Il est prioritaire pour le service maintenance. De plus son taux d'utilisation est très supérieur à la moyenne car en été il sert de remontée pour la pratique du VTT de descente.

Le rôle du service maintenance est également d'apporter des améliorations lors des périodes d'arrêt en fonction des problèmes apparus lors de la saison précédente.

Les problèmes techniques de maintenance traités dans cette étude sont les suivants :

- une fissure a été repérée sur un tendeur de courroie de la voie d'accélération ;
- il arrive que les indexeurs d'aiguillage se bloquent ;
- certaines poulies de guidage du câble subissent un échauffement anormal et une usure prématurée des roulements.

1	Etude du câble et vérification de la vitesse d'arrivée des cabines sur les câbles	
		Durée conseillée : 1h15

Un éventuel glissement entre les pinces et le câble entraînerait une usure prématurée de celui-ci. Le service maintenance souhaite donc vérifier la synchronisation de vitesse entre la cabine et le câble lors de l'accroche.

1 - 1	Etude du câble
--------------	-----------------------

Le **DR1** représente une schématisation du Double Loop Monocable décrit sur le **DT1**. Le sens de rotation d'une poulie motrice est donné.

Q.1-1	Documents à consulter : DT1	Répondre sur DR1
--------------	------------------------------------	-------------------------

Sur le **DR1**, indiquer le sens de rotation ou de translation des éléments en complétant le schéma (remplir les cases) selon les possibilités proposées.

1 - 2	Vérification de la vitesse d'arrivée des cabines sur les câbles
--------------	--

Dans chaque gare, un train de roues à pneus reliées par des courroies permet d'accélérer les cabines au départ (voir **DT2**).

Le **DR2** représente le début du train de roues à pneus (3,5 m sur les 14 m au total).

Q.1-2-1	Documents à consulter : DT2	Répondre sur DR2
----------------	------------------------------------	-------------------------

Sur le **DR2**, calculer la vitesse angulaire ω_2 de la roue 2, puis compléter la case correspondante.

Q.1-2-2	Documents à consulter : DT2	Répondre sur DR2
----------------	------------------------------------	-------------------------

Sur le **DR2**, calculer les vitesses périphériques V_1 et V_2 des roues 1 et 2, puis compléter les cases correspondantes.

Q.1-2-3	Documents à consulter : DT2	Répondre sur DR2
----------------	------------------------------------	-------------------------

Sur le **DR2** calculer le rapport de transmission $i_{5/4}$ ($i_{5/4} = \omega_5 / \omega_4$) entre les roues 4 et 5, puis compléter la case correspondante.

Q.1-2-4	Documents à consulter : DT2	Répondre sur DR2
----------------	------------------------------------	-------------------------

Calculer les valeurs des trois rapports de transmission suivants : $i_{6/5}$, $i_{7/6}$, $i_{8/7}$.
Compléter le tableau sur le **DR2**.

Q.1-2-5	Documents à consulter : DT2	Répondre sur DR2
----------------	------------------------------------	-------------------------

Sur le **DR2** calculer l'accélération de la cabine entre les roues **6** et **7**, puis compléter la case correspondante.

Sur le parcours de lancement total, l'accélération moyenne est $a_{moy} = 1,28 \text{ m/s}^2$.
Pour avoir une bonne approximation de la vitesse de la cabine en fin d'accélération, on considère que l'accélération est constante et égale à a_{moy} .
La vitesse de départ de la cabine est très faible et sera considérée comme nulle.
La longueur du parcours d'accélération est $L = 14 \text{ m}$.
La vitesse du câble est $V_c = 6 \text{ m/s}$.

Q.1-2-6	Documents à consulter : aucun	Répondre sur feuille de copie
----------------	-------------------------------	-------------------------------

Calculer la vitesse V_f de la cabine à la fin du parcours d'accélération. Comparer cette valeur à celle de la vitesse du câble et conclure.

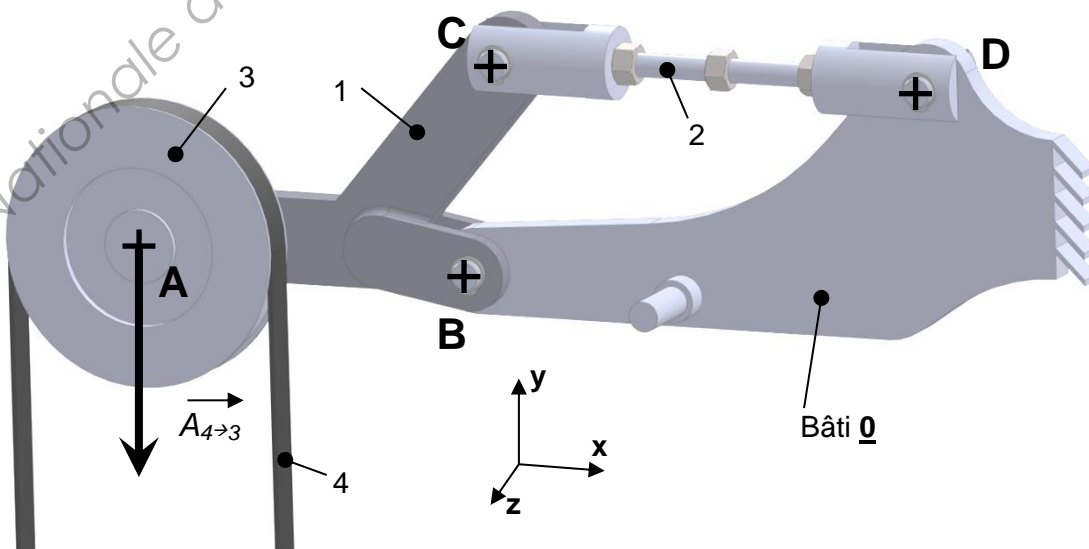
2	Problème de rupture d'un tendeur de courroie
	Durée conseillée : 1h30

Un système de poulies et courroies décrit dans le **DT3** transmet le mouvement du câble au train de roues à pneus. Une fissure a été trouvée sur un des tendeurs de courroie.

L'objectif de cette partie est de déterminer si cette fissure est liée à un défaut de fabrication ou à un problème de conception auquel il faudra remédier.

2 - 1	Calcul des efforts dans le tendeur
--------------	---

Système de tension de courroie :



La force $\vec{A}_{4 \rightarrow 3}$ a pour norme **8 000 N**. Elle est dirigée verticalement vers le bas.
 Le tirant **2** est horizontal.
 Le tendeur **1** est relié au bâti **0** par une liaison pivot d'axe (**B**, \vec{z}).

Q.2-1-1	Documents à consulter : DT3	Répondre sur feuille de copie
----------------	------------------------------------	-------------------------------

Justifier que la direction de l'effort $\vec{C}_{2 \rightarrow 1}$ est horizontale.

Q.2-1-2	Documents à consulter : DT3	Répondre sur feuille de copie
----------------	------------------------------------	-------------------------------

Établir le bilan des actions mécaniques s'appliquant au tendeur **1**.

Q.2-1-3	Documents à consulter : aucun	Répondre sur feuille de copie
----------------	-------------------------------	-------------------------------

En écrivant l'équation des moments au point **B** en projection sur l'axe \vec{z} , déterminer les caractéristiques de l'action $\vec{C}_{2 \rightarrow 1}$ de la biellette sur le tendeur.

2 - 2	Vérification de la résistance du tendeur
--------------	---

Les données calculées dans la question précédente ont permis de faire une étude de résistance des matériaux par éléments finis du tendeur de courroie. On trouve les résultats de cette étude sur le **DT4**.

La contrainte de Von Mises maximale admissible par le matériau est $\sigma_{E_{max}} = 200 \text{ MPa}$.

Chaque passage de cabine du train de roues à pneus aux câbles crée une variation importante de tension dans la courroie. Après un nombre important de cycles, la fatigue du matériau entraîne progressivement une baisse de la résistance du tendeur. La contrainte maximale admissible est alors **divisée par 2**.

Q.2-2-1	Documents à consulter : DT4	Répondre sur DR3
----------------	------------------------------------	-------------------------

Sur le **DR3**, repérer en rouge la zone dans laquelle la pièce risque de se détériorer.

Q.2-2-2	Documents à consulter : DT3, DT4	Répondre sur DR3
----------------	---	-------------------------

Sur le **DR3** proposer, en l'esquissant en bleu à main levée et en l'expliquant, une modification de forme qui permettrait de renforcer la pièce.

3	Problème de blocage des indexeurs d'aiguillage	
		Durée conseillée : 45 min

Pour éviter les problèmes liés à la rigueur du climat (dépôt de givre ou de glace sur les balanciers et les pinces du chariot de véhicule), les cabines sont rentrées chaque soir.

Un aiguillage pivotant permet de les sortir du circuit principal et de les envoyer vers une zone de garage (voir **DT5**). Dans ses deux positions, l'aiguillage est verrouillé par des indexeurs (voir **DT6**). Ces indexeurs ont tendance à se bloquer.

Q.3-1	Documents à consulter : DT5, DT6	Répondre sur DR3
--------------	---	-------------------------

Sur le **DR3**, compléter le schéma cinématique de l'indexeur, en justifiant la modélisation des liaisons des deux extrémités du vérin **3**.

Le degré d'hyperstatisme d'un mécanisme se calcule à l'aide de la formule ci-dessous :

$$h = L_i - 6(n-1) + m_u + m_i$$

- L_i : nombre d'inconnues statiques,
- n : nombre de classes d'équivalence (bâti compris),
- m_u : nombre de mobilités utiles,
- m_i : nombre de mobilités internes (ici $m_i = 0$).

Q.3-2	Documents à consulter : DT6	Répondre sur feuille de copie
--------------	------------------------------------	-------------------------------

Calculer le degré d'hyperstatisme du système.

Q.3-3	Documents à consulter : DT6	Répondre sur feuille de copie
--------------	------------------------------------	-------------------------------

Préciser quelles sont les contraintes géométriques auxquelles le système doit répondre pour éviter les blocages.

Q.3-4	Documents à consulter : DT6	Répondre sur feuille de copie
--------------	------------------------------------	-------------------------------

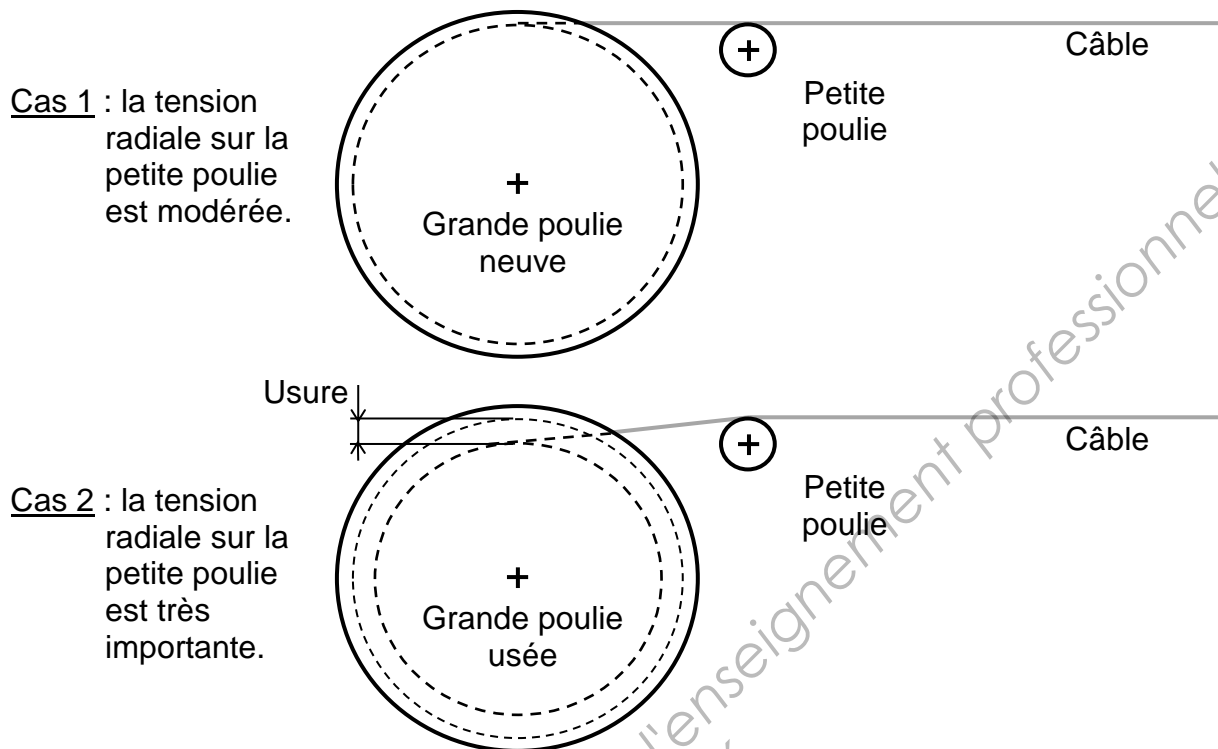
Proposer une solution, en termes de modification d'une ou plusieurs liaisons, pour s'affranchir du risque de blocage.

4	Durée de vie de composants de guidage	
		Durée conseillée : 1h15

À la sortie des grandes poulies du système, des petites poulies permettent de guider latéralement le câble (voir **DT7**).

En cours d'utilisation, le câble use la gorge de la grande poulie et il s'en suit une augmentation de l'effort radial appliqué sur la petite poulie, cette augmentation pouvant être la source de détérioration des roulements. L'étude qui suit vise à évaluer la conséquence de ce phénomène sur la durée de vie des roulements de la petite poulie.

Lorsque la grande poulie s'use, le diamètre d'enroulement du câble diminue de quelques millimètres.



La poulie est équipée de deux roulements **SNR ref. 6314 EE** (durée de vie souhaitée : 30 ans).

- La force radiale appliquée par le câble sur la petite poulie dans le cas 2 a pour module : $F = 22\ 000\ \text{N}$;
- il n'y a pas de force axiale ;
- fréquence de rotation : $N = 206\ \text{tr/min}$;
- Fonctionnement **8 h par jour, 10 mois par an**.

Q.4-1	Documents à consulter : DT8	Répondre sur feuille de copie
--------------	------------------------------------	-------------------------------

En vous aidant du **DT8**, calculer la durée de vie des roulements de la petite poulie en heures puis en années d'utilisation dans le cas 2. Conclure.

Afin de soulager les roulements de leur charge radiale, on se propose de compenser les conséquences de l'usure de la grande poulie par l'intervention périodique d'un technicien de maintenance sur un dispositif de réglage en hauteur de la petite poulie (à concevoir). Ce mécanisme permettra de diminuer la charge radiale sur la petite poulie.

Q.4-2	Documents à consulter : DT7	Répondre sur DR4
--------------	------------------------------------	-------------------------

Sur le **DR4**, concevoir un système pour régler la hauteur de la petite poulie. Vous pourrez compléter soit la mise en plan sur 2 vues, soit la perspective.

Contraintes :

- l'amplitude de réglage en hauteur de la poulie doit être de **60 mm**. Le système sera représenté en position médiane de réglage ;
- le système devra permettre à une personne seule d'effectuer le réglage manuellement, avec un outillage classique, et sans effort important ;
- le système sera immobilisé de manière à ce que les vibrations ne puissent pas modifier le réglage.

Brevet de Technicien Supérieur
MAINTENANCE INDUSTRIELLE
Session 2014

EPREUVE E 4
Analyse fonctionnelle et Structurelle

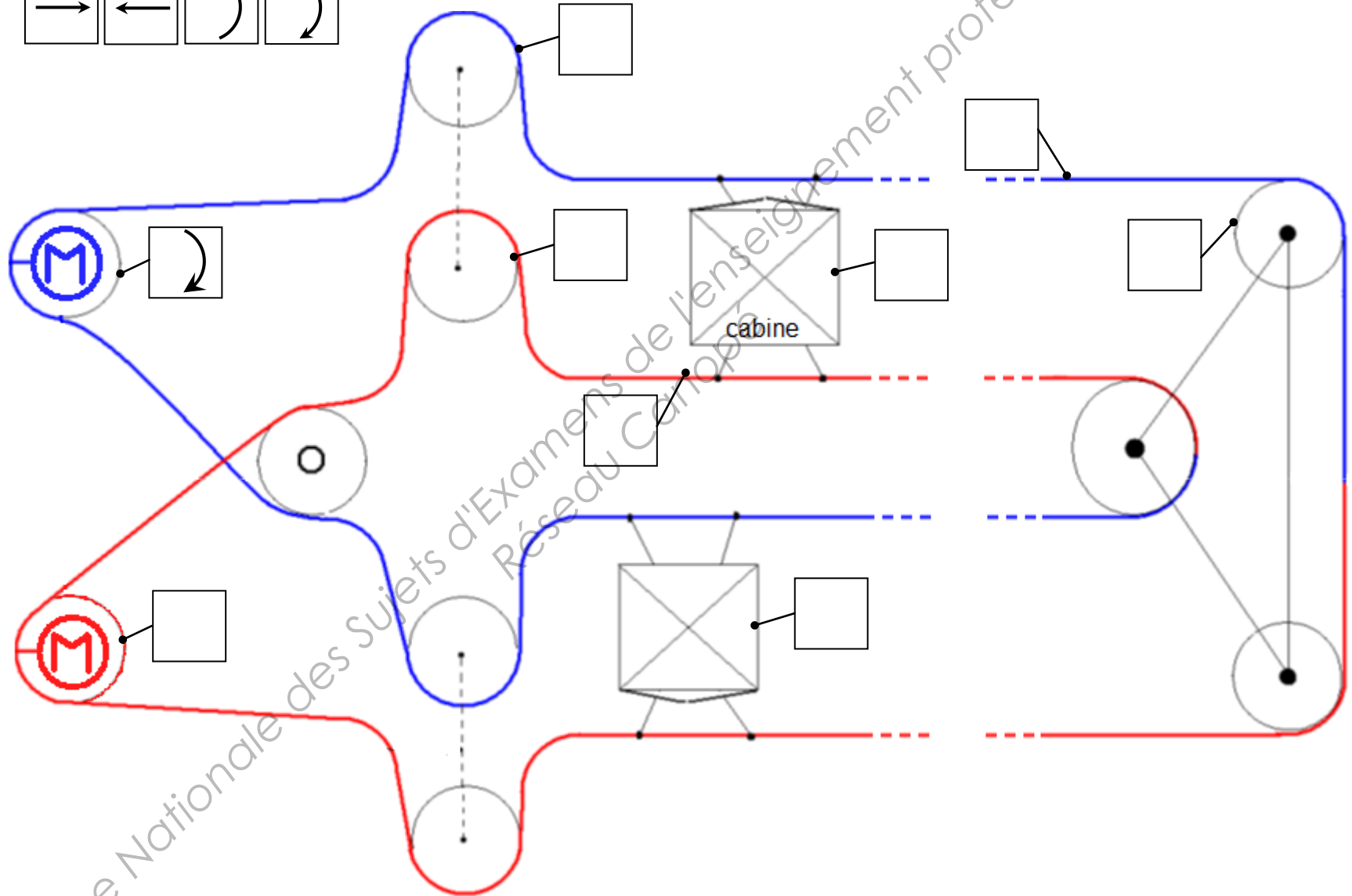
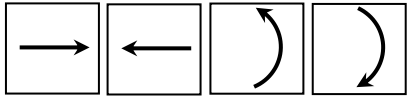
Documents réponses

Ce dossier contient les documents : **DR1 à DR4**

BTS Maintenance industrielle		Session 2014
Épreuve E4	CODE : 14-MIE4AFS	

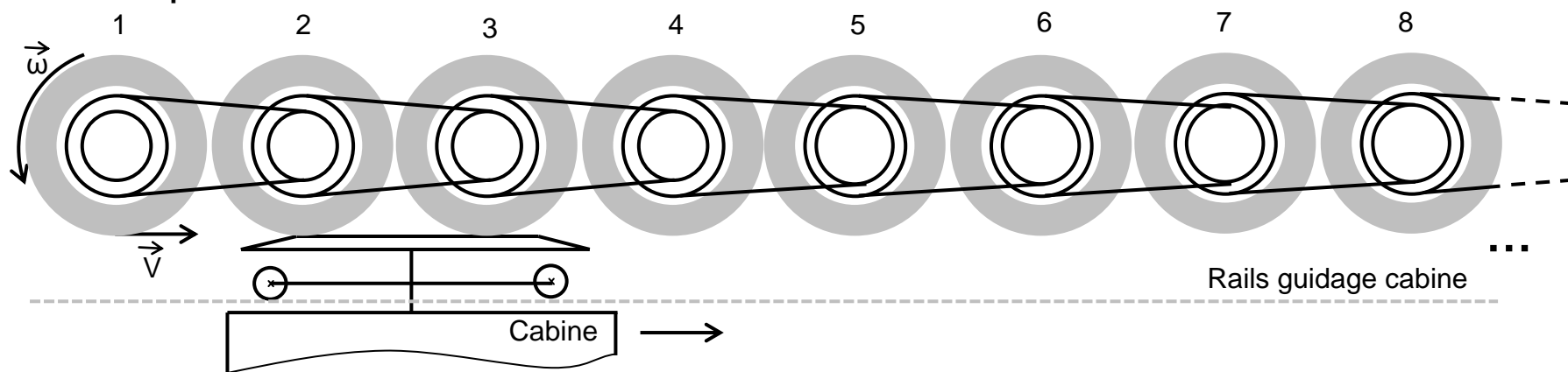
Q.1-1

possibilités :



DR1

Étude du début du train de pneus



	roue1	roue2	roue3	roue4	roue5	roue6	roue7	roue8
∅ roue (mm)	480	480	480	480	480	480	480	480
∅ grande poulie (mm)	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05	321,05
∅ petite poulie (mm)	238,41	238,41	238,41	238,41	254,3	254,3	254,3	254,3
rapport de transmission $i_{N+1/N}$		1,35		1,35				
ω_{roue} (rad/s)	1,16		2,10	2,83	3,57	4,51	5,69	7,18
$V_{périphérique}$ (m/s) $V_{roue} = R_{roue} \times \omega_{roue}$			0,50	0,68	0,86	1,08	1,37	1,72
Distance parcourue	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
Temps de passage $t_{ij} = 2 \cdot (d_j - d_i) / (V_i + V_j)$		1,53	1,14	0,85	0,65	0,52	0,41	0,32
Accél. entre 2 roues $a_{ij} = (V_j - V_i) / t_{ij}$		0,06	0,11	0,21	0,27	0,44		1,11

Calculs de la Q.1-2-1 :

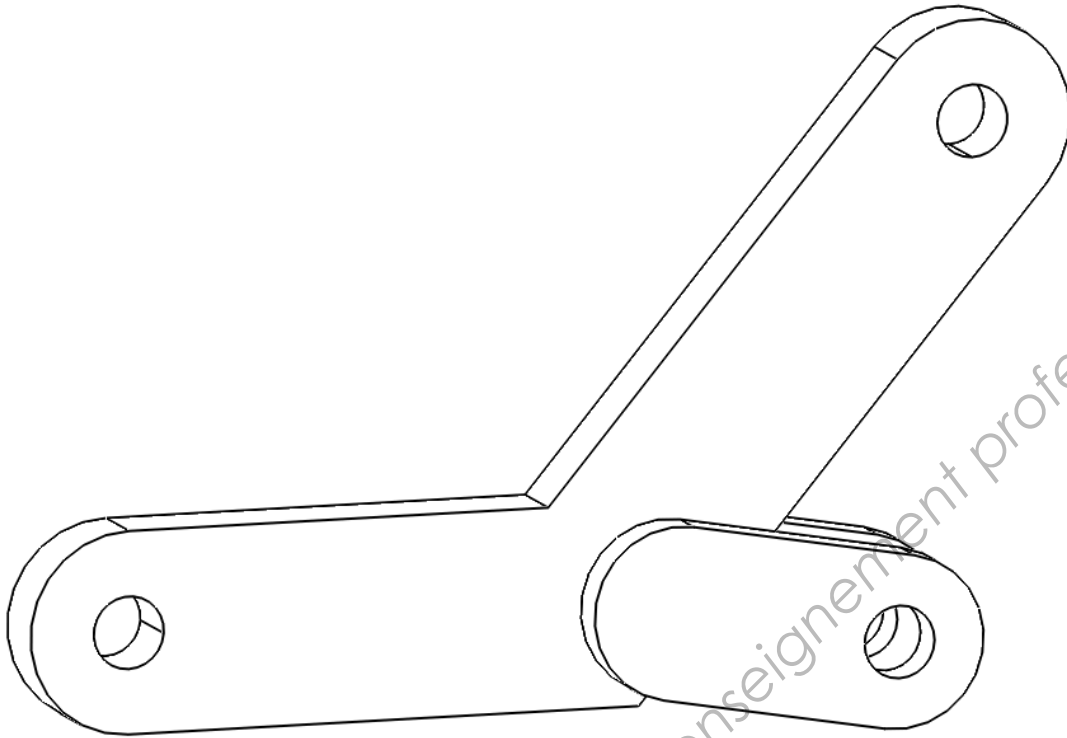
Calculs de la Q.1-2-2 :

Calculs de la Q.1-2-3 :

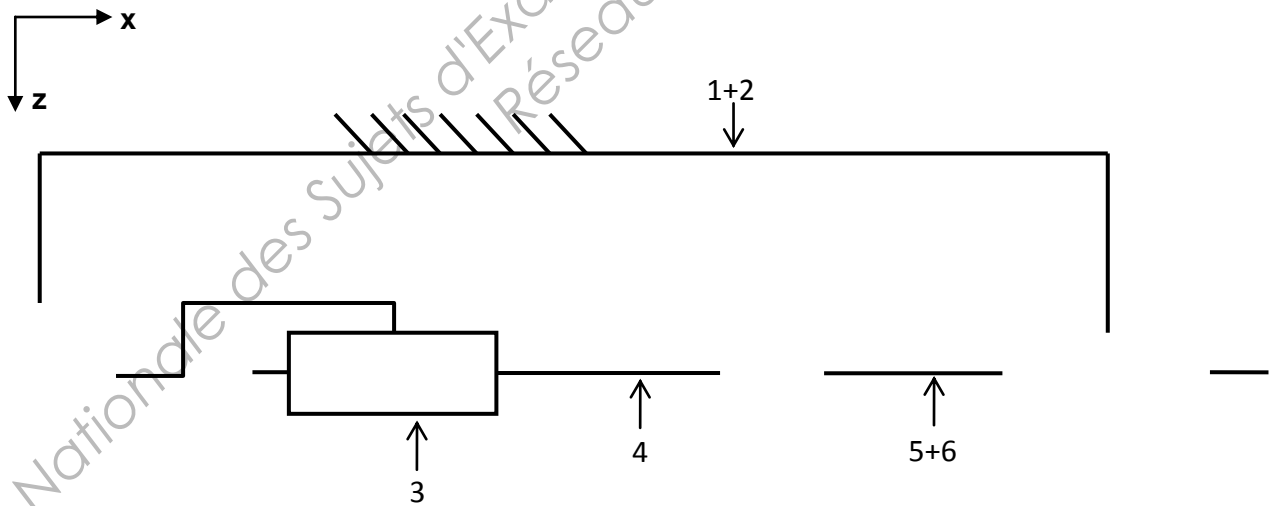
Justification de la Q.1-2-4 :

Calculs de la Q.1-2-5 :

Q.2-2-1, Q.2-2-2 :

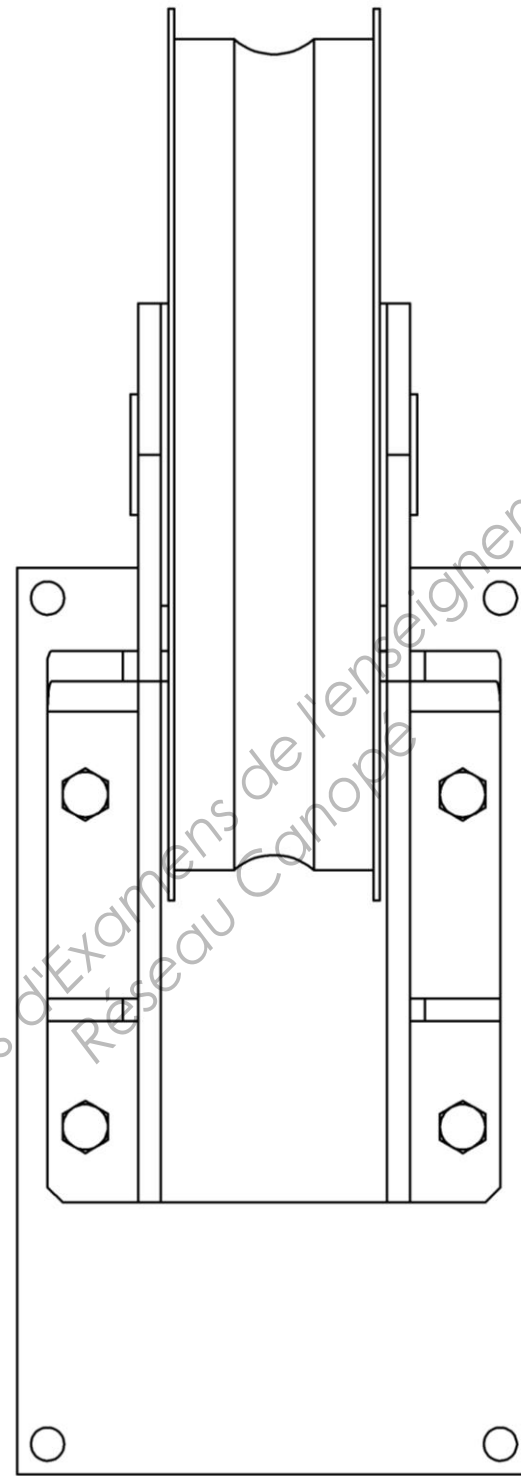
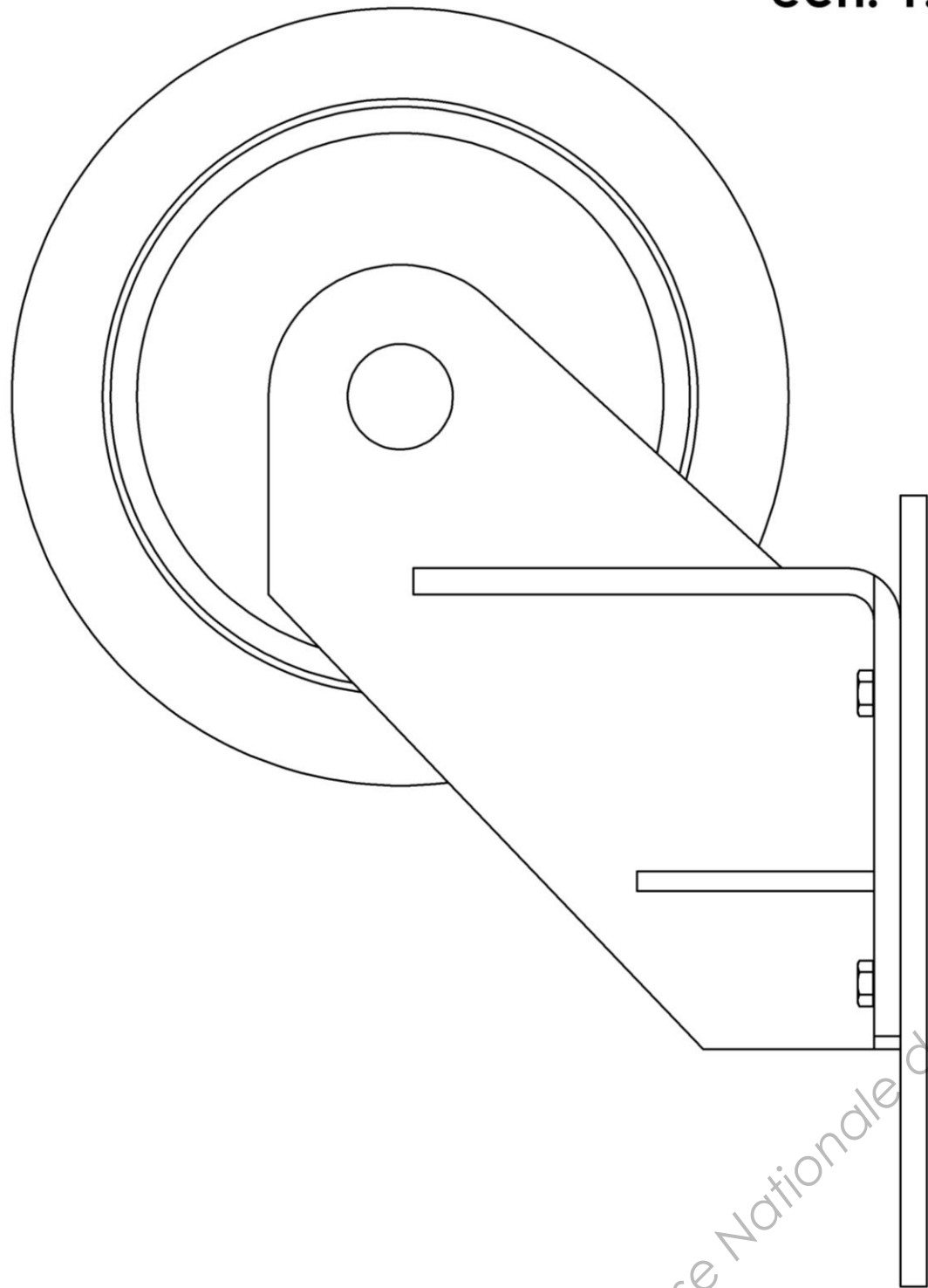


Q.3-1 :

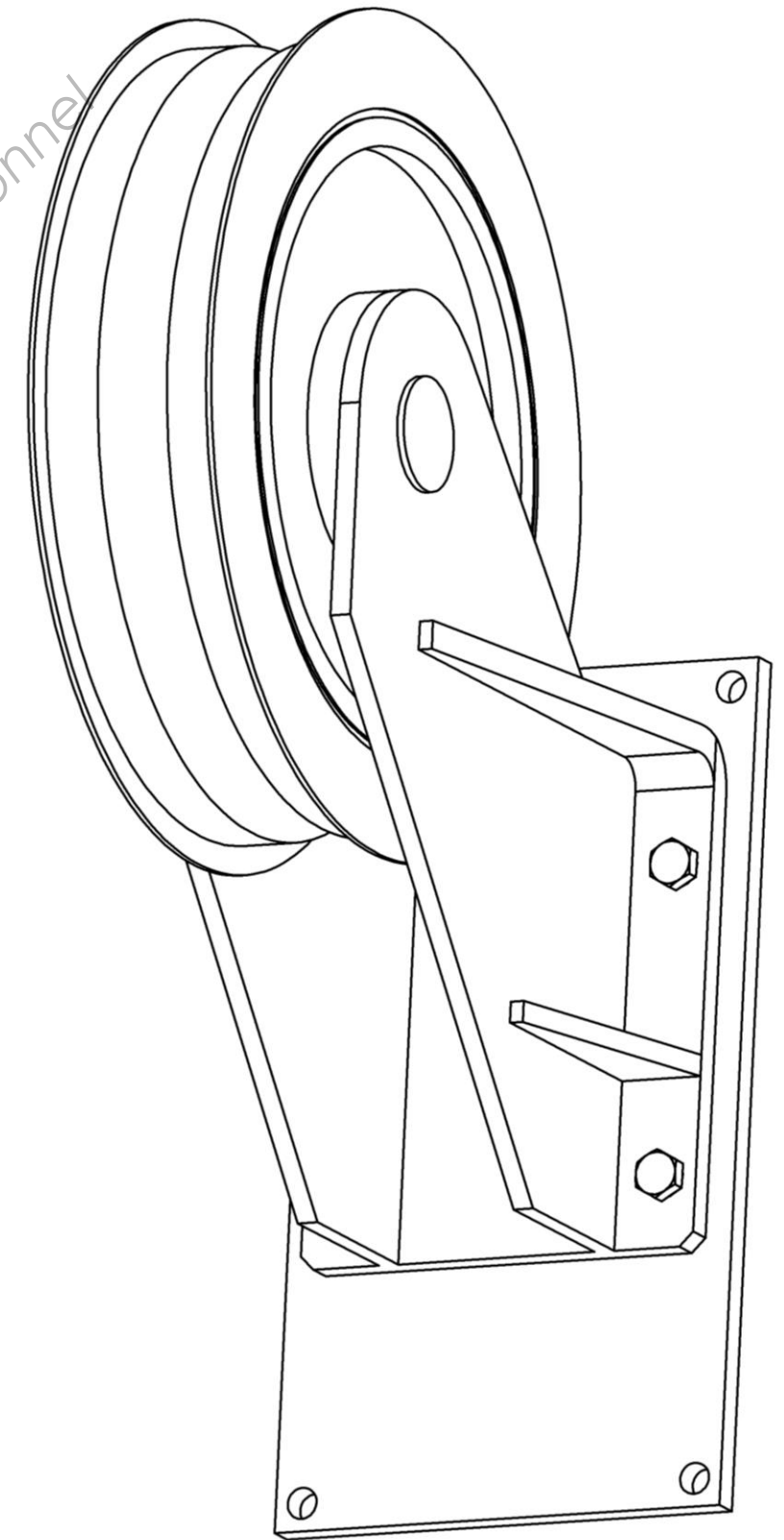


Justification de la modélisation des liaisons des extrémités du vérin :

mise en plan
ech. 1:5



Perspective



DR4

**Brevet de Technicien Supérieur
MAINTENANCE INDUSTRIELLE
Session 2014**

**EPREUVE E 4
Analyse fonctionnelle et Structurelle**

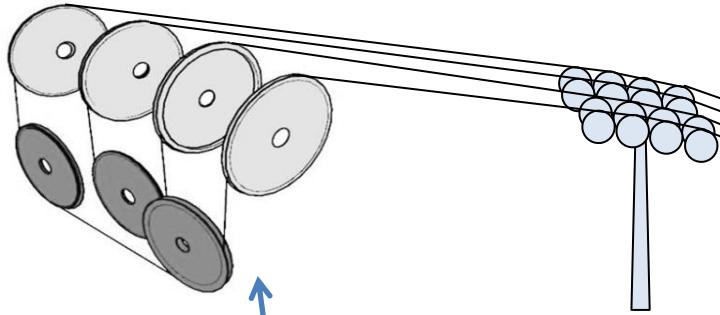
Dossier technique

Ce dossier contient les documents : **DT1 à DT8**

BTS Maintenance industrielle		Session 2014
Épreuve E4	CODE : 14-MIE4AFS	

Description de l'architecture Double Loop Monocable (DLM)

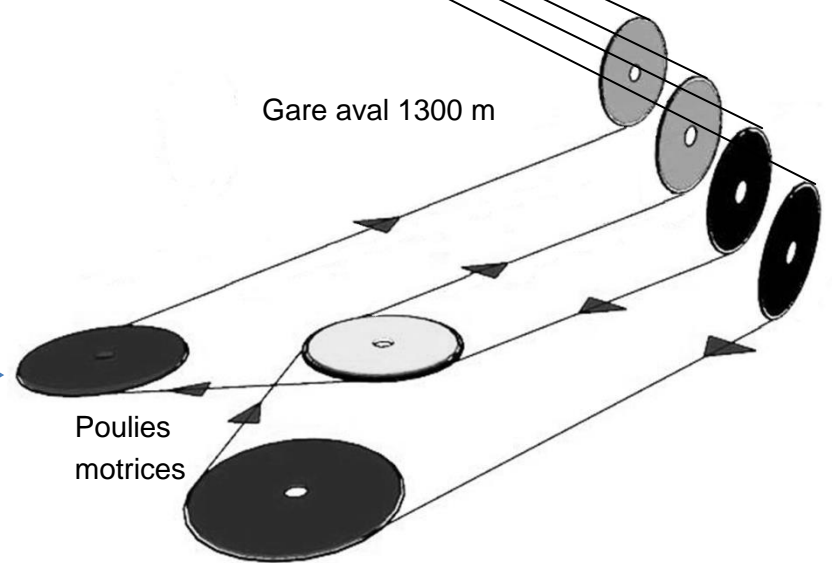
Gare amont 1800



7 pilônes



Gare aval 1300 m

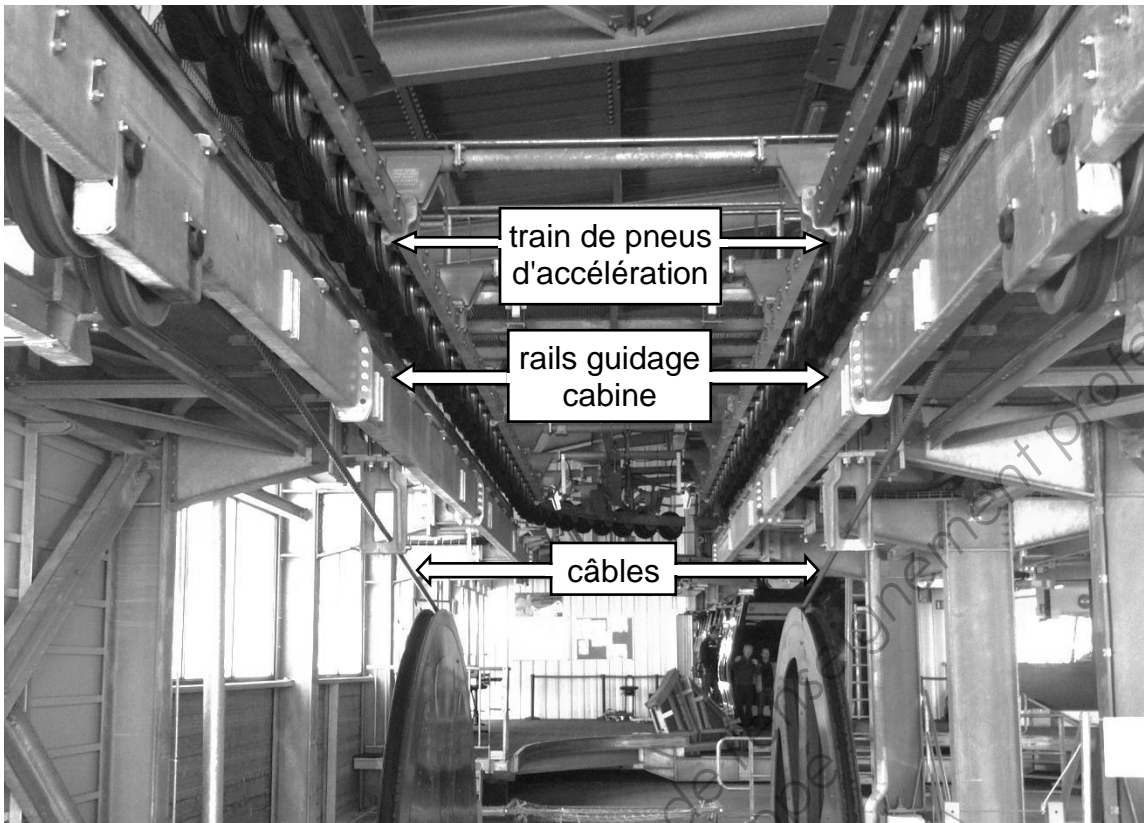


Poulies motrices

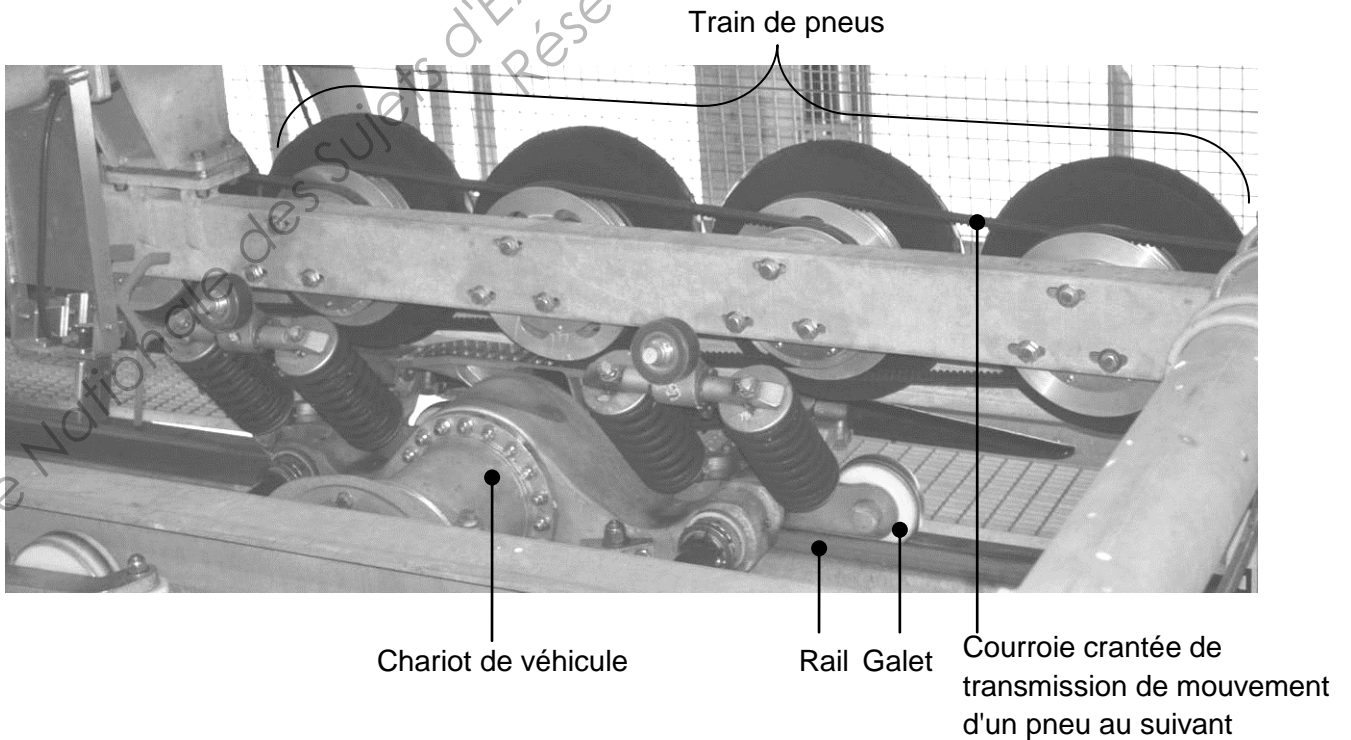


Base Nationale des Sujets d'Examens de l'Enseignement professionnel

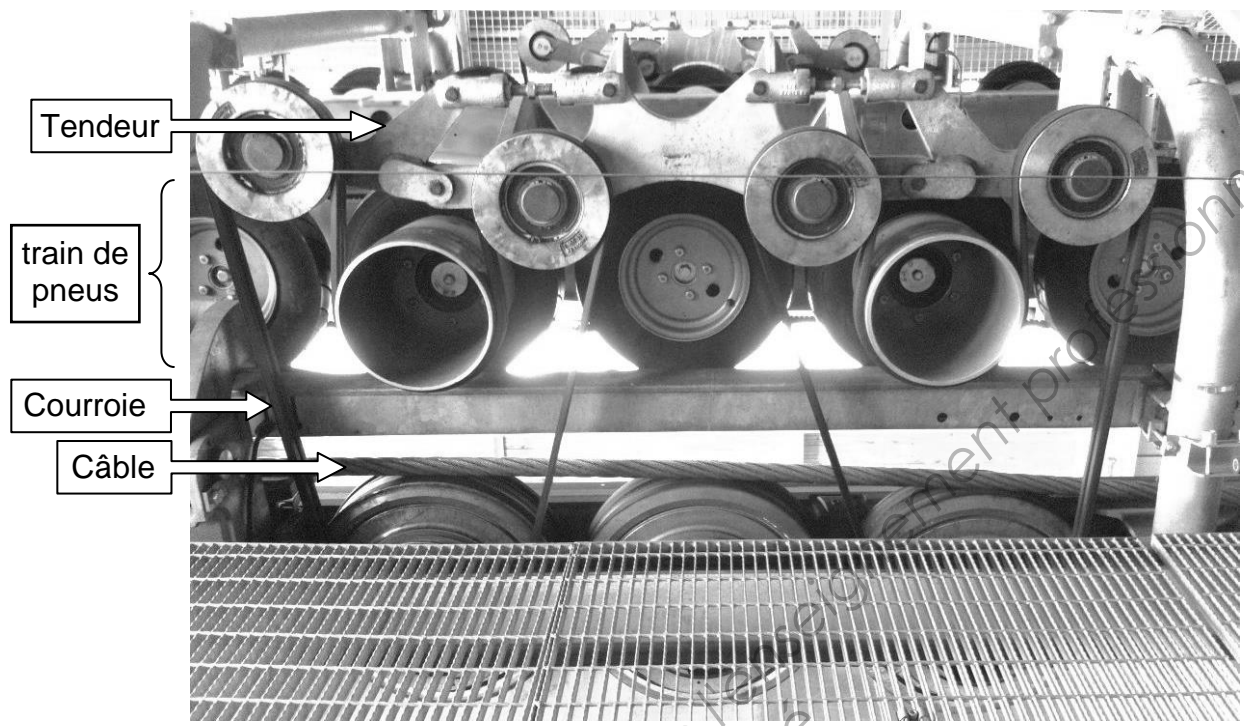
Ligne d'accélération des cabines



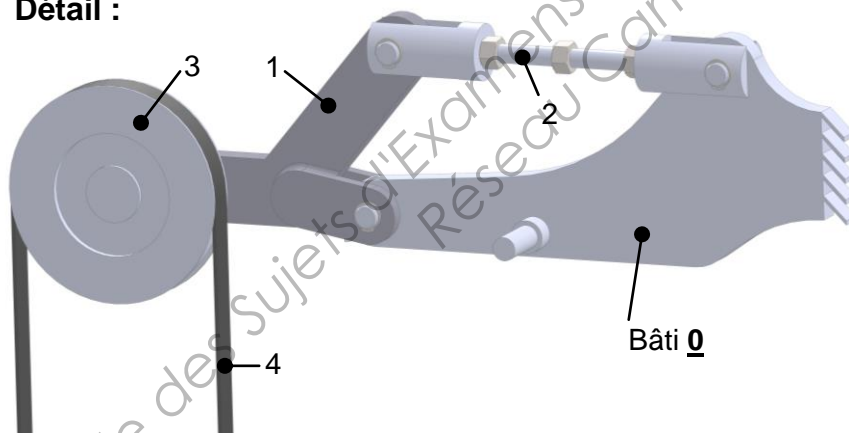
Vue de côté d'un chariot de véhicule d'une cabine en phase d'accélération.
La cabine est guidée par des galets dans des rails.
La cabine est entraînée par le train de pneus.



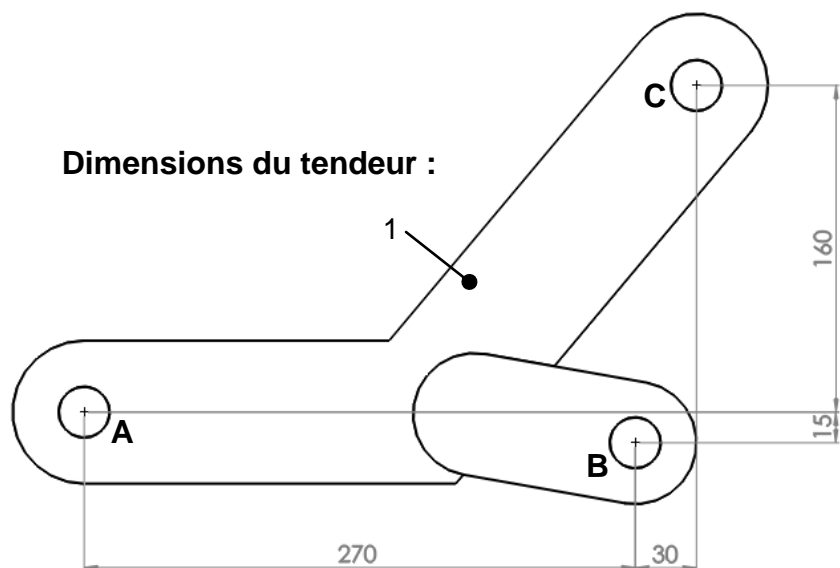
Transmission du mouvement du câble au train de pneus



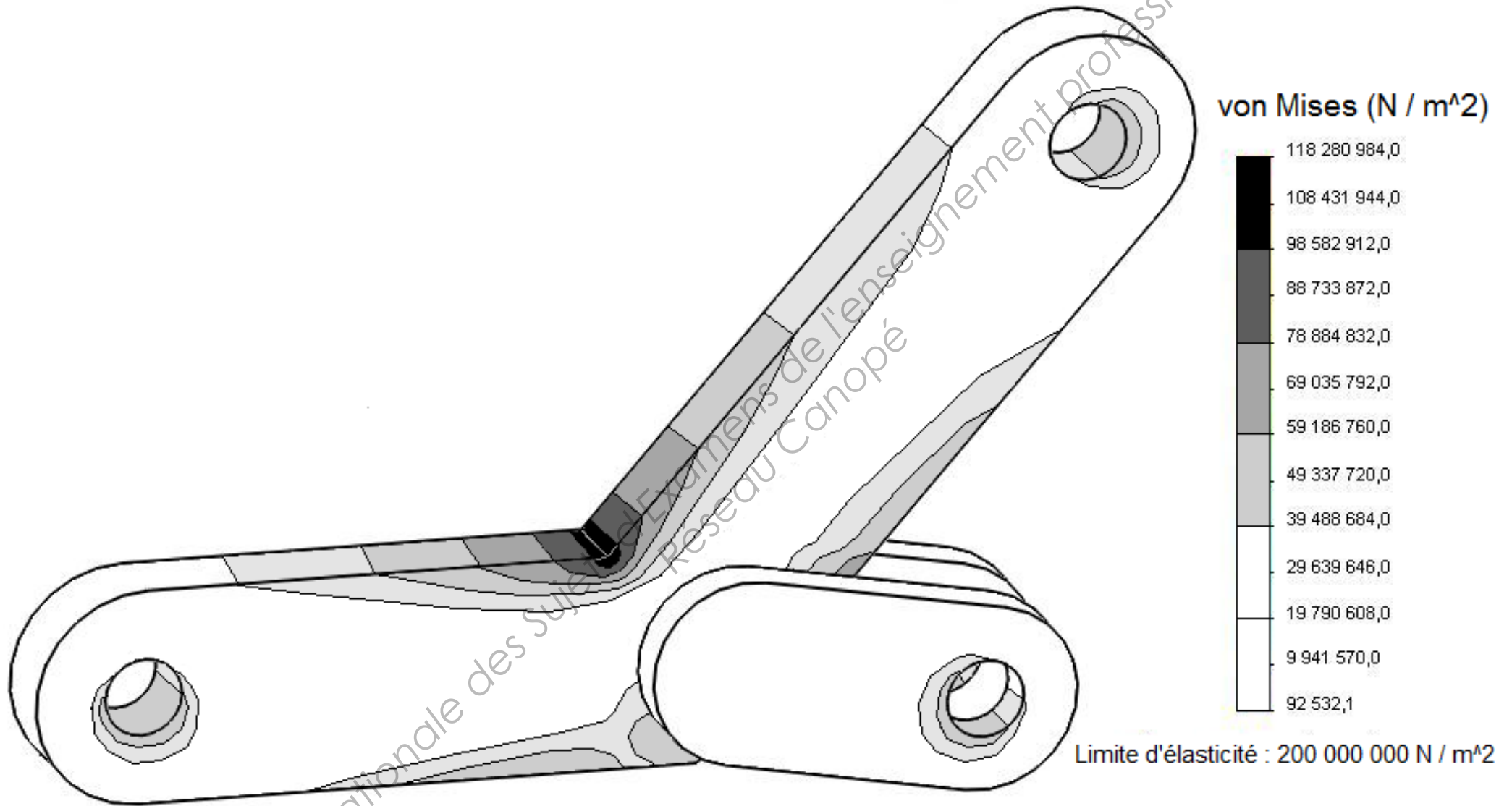
Détail :



Dimensions du tendeur :

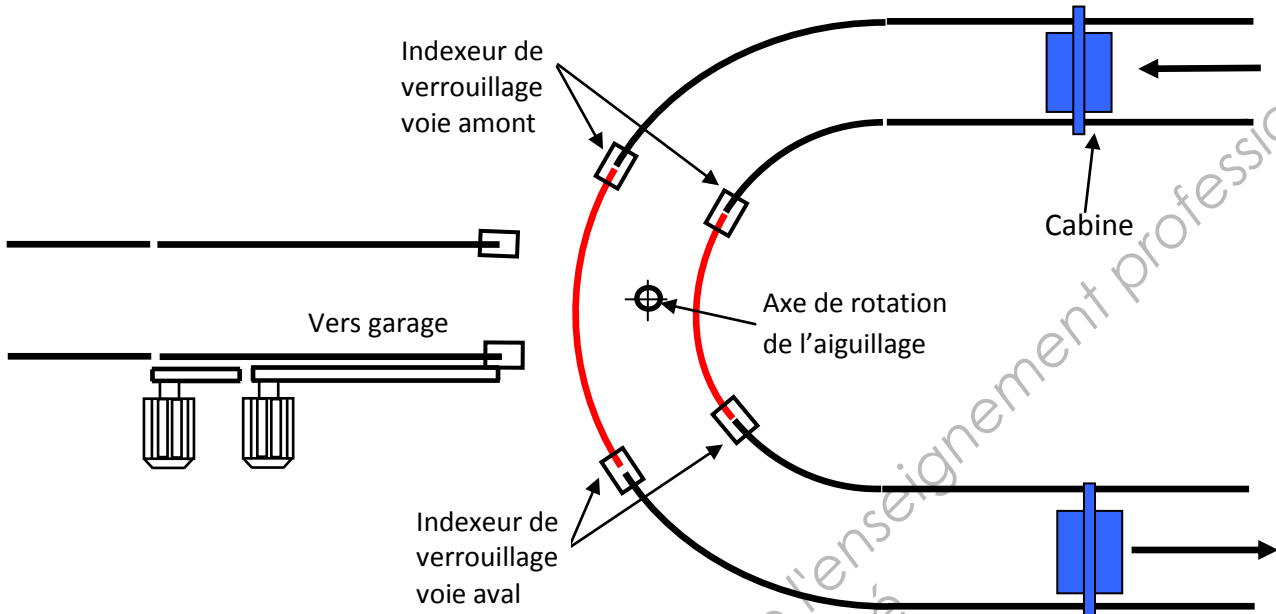


Étude par éléments finis du tendeur de courroie

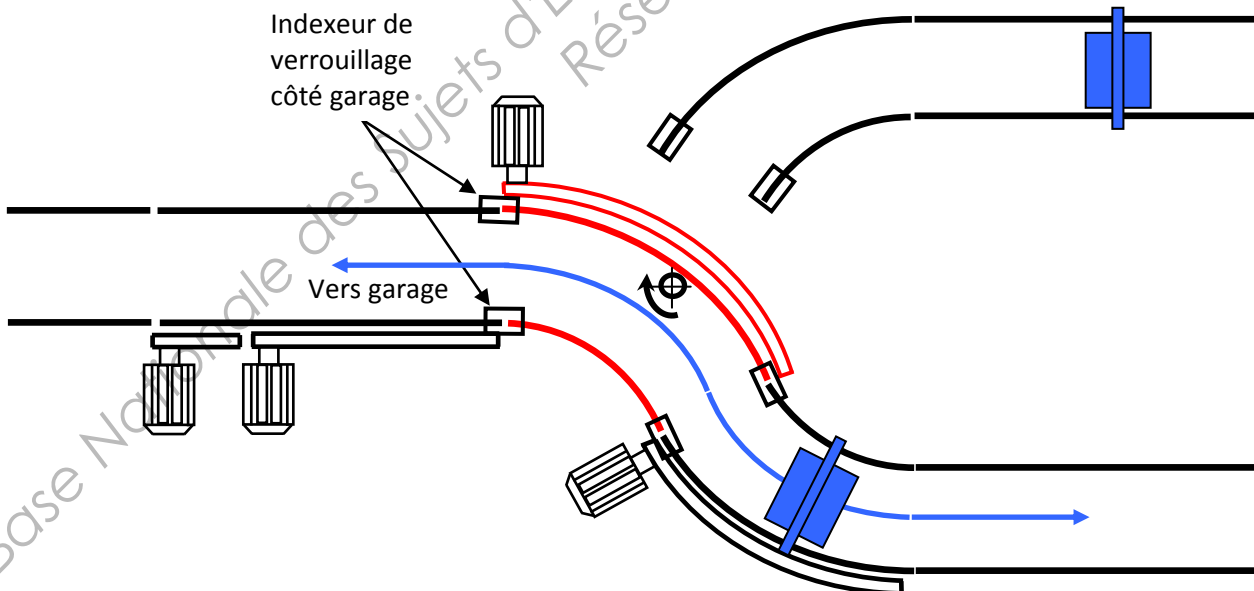


DT5 : Système d'aiguillage

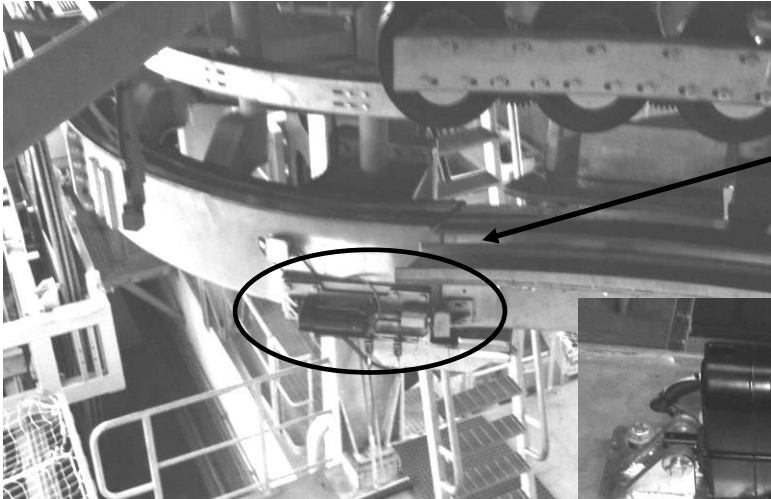
Aiguillage en position « Exploitation »



Aiguillage en position « Cyclage / Décyclage »



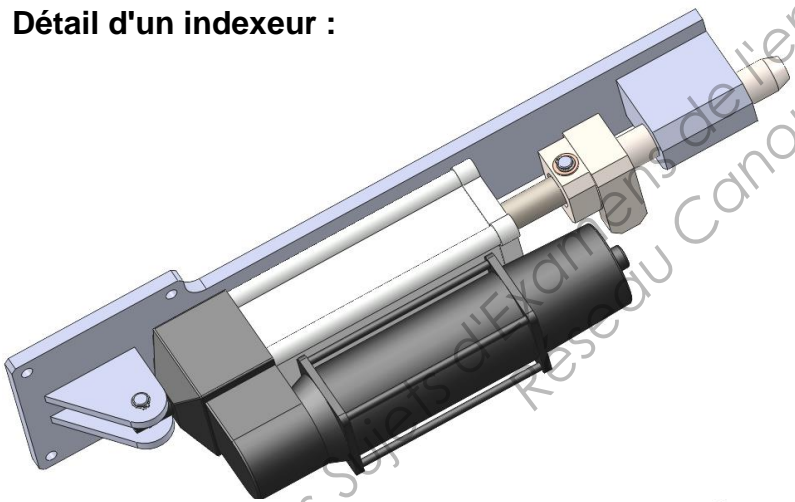
Indexeur de système d'aiguillage



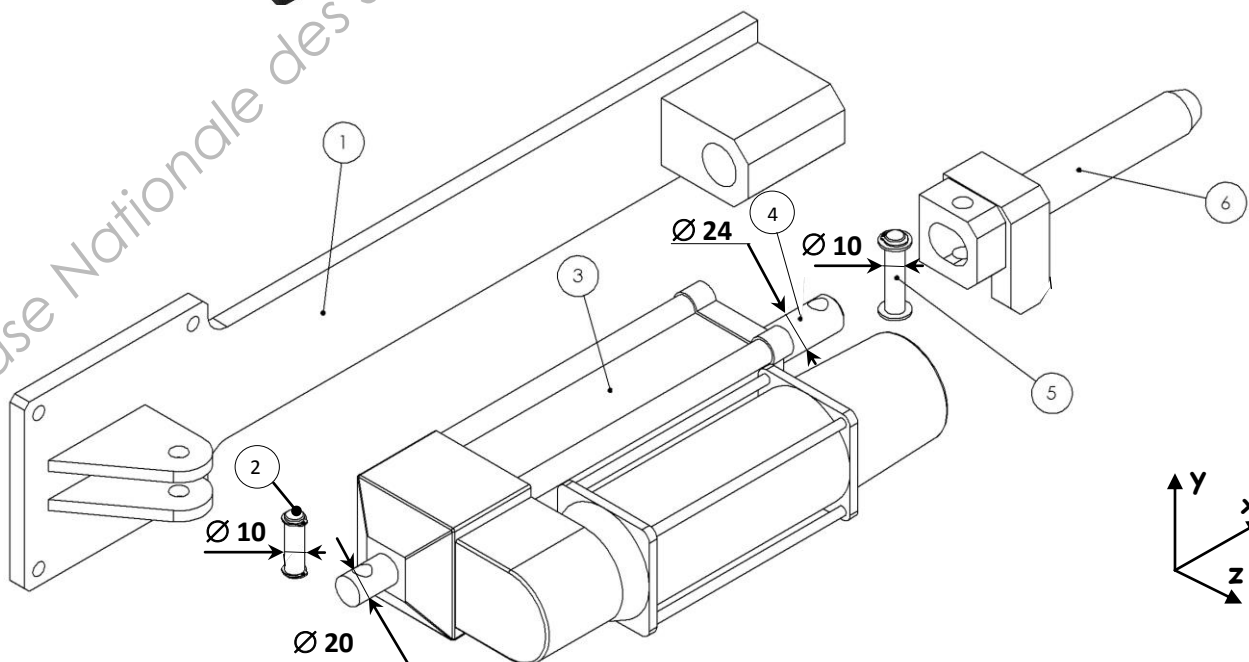
Indexeur de verrouillage
voie aval
en position sortie



Détail d'un indexeur :

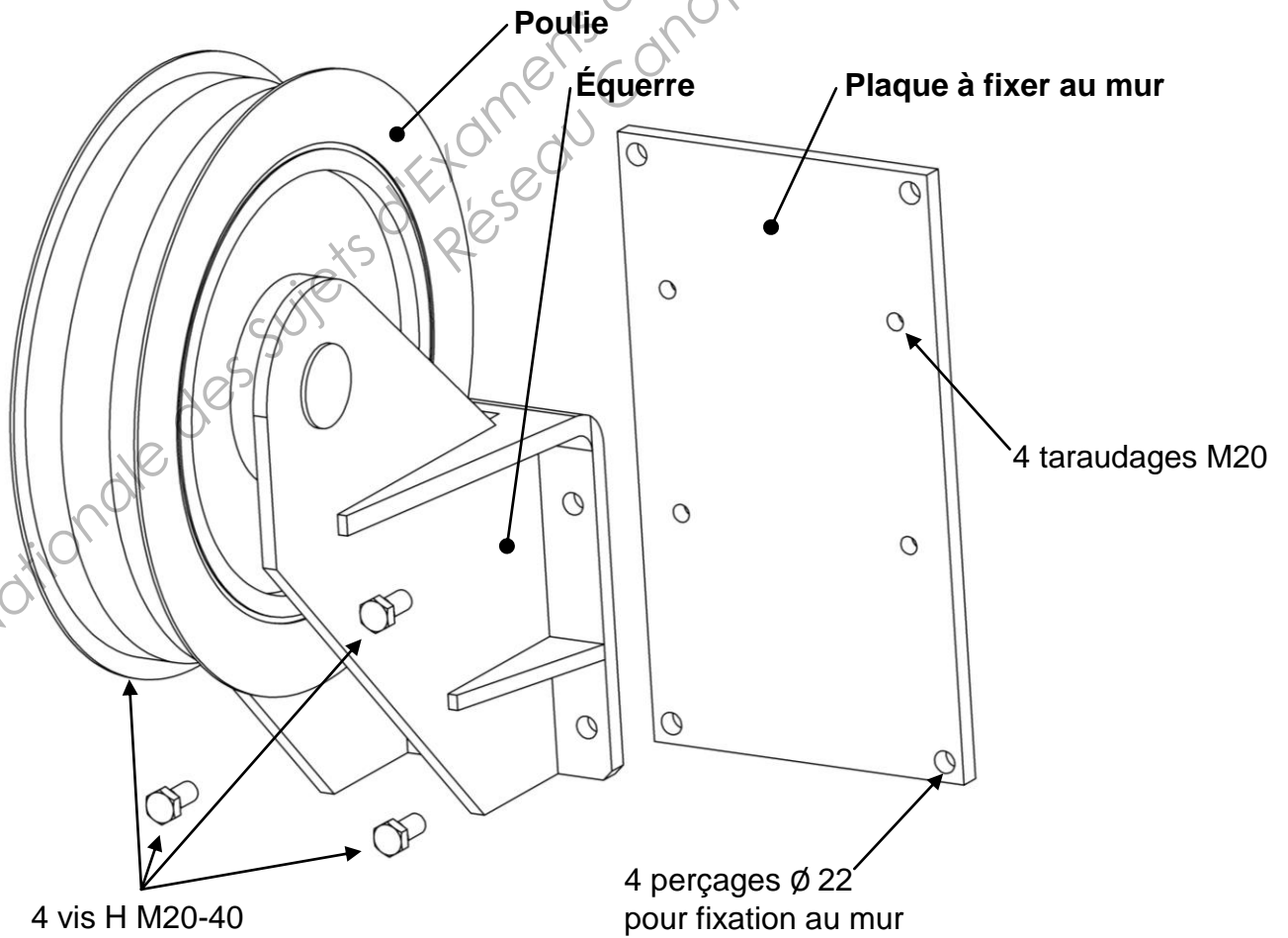
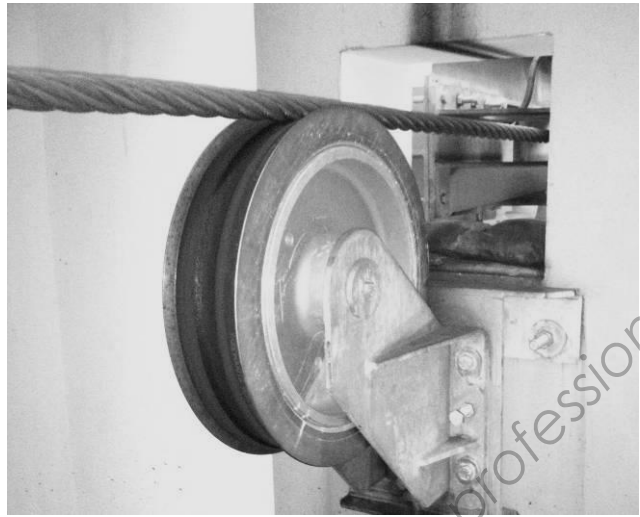
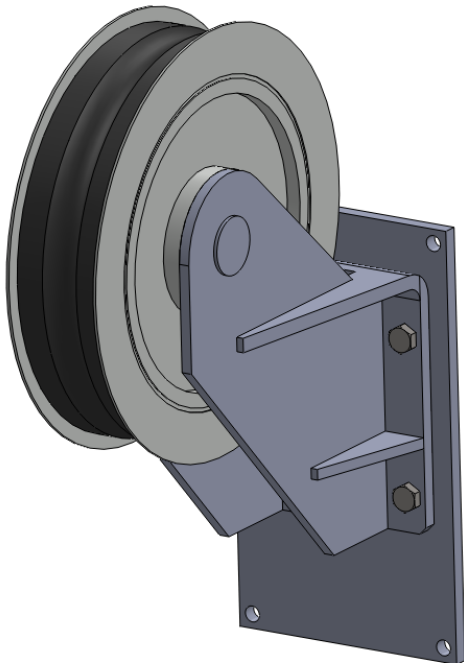


N°	Sous-ensemble
1	Bâti
2	Axe de corps
3	Vérin électrique
4	Tige
5	Axe de tige
6	Indexeur



Poules guide-câbles

Détail du système de fixation :



Documentation sur les roulements

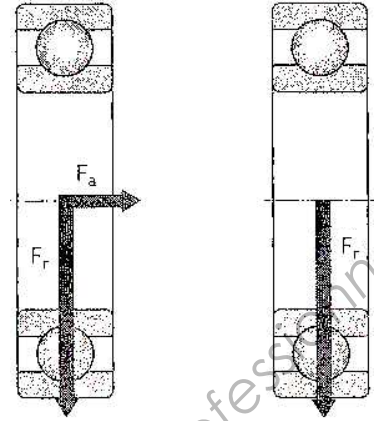
Calcul de la durée de vie

Charge dynamique équivalente P :

Si charge purement radiale, $P = F_r$

Si charge conjuguée, $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$

- F_r : force radiale ;
- F_a : force axiale ;
- X et Y : coefficients à définir sur le catalogue de roulements.



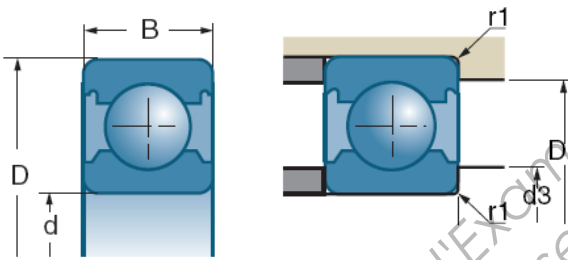
Durée de vie en heures L_h pour un roulement à billes :

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot N} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

- N : fréquence de rotation en tr/min ;
- C : charge dynamique du roulement.

Extrait du catalogue SNR

Roulements à une rangée de billes à contact radial



d		D	B				
mm	Références	mm	mm	$10^3 N$	$10^3 N$	tr/mn EE/2RS*	tr/mn ZZ*
65	61813 EE	85	10	12,3	12	4400	7100
	6013 EE	100	18	30,5	25	4000	6100
	6213 EE	120	23	57	40	3400	5100
	6313 EE	140	33	93	60	3000	4500
70	61814 EE	90	10	12,4	12,4	4100	6700
	6014 EE	110	20	38	31	3700	5500
	6214 EE	125	24	62	44	3200	4900
	6314 EE	150	35	104	68	2800	4200
75	61815 EE	95	10	12,9	13,3	3800	6300
	6015 EE	115	20	39,5	33,5	3500	5200
	6215 EE	130	25	67	48	3100	4600
	6315 EE	160	37	113	77	2600	3900
80	61816 EE	100	10	13	13,8	3600	6000
	6016 EE	125	22	47,5	39,5	3200	4800
	6216 EE	140	26	73	53	2900	4300
	6316 EE	170	39	123	86	2400	3700