

AVANT PROJET DE PRODUIT INDUSTRIEL
U41 – Etude de calcul d'avant projet
Durée 3 heures 30 minutes

Ligne de fabrication de câbles LAN :
Cabestan de tirage



Aucun document autorisé

Documents remis au candidat au début de la sous-épreuve U-41

DOSSIER TECHNIQUE

Pages 1 / 2 à 2 / 2 :

Documents :

- 1 : Présentation de la ligne de fabrication
- 2 : Sous-ensembles de la ligne de fabrication. Principe d'assemblage
- 3 : FAST
- 4 : Mise en situation du cabestan tournant
- 5 : Eclaté partiel du cabestan tournant – Nomenclature partielle
- 6 : Cabestan tournant – Détail
- 7 (a à d): Résultats du logiciel de calcul CASTOR Concept
- 8 : Résultats du logiciel de simulation Motion
- 9 : Classes de qualité (visserie)

DOSSIER TRAVAIL DEMANDE

Pages 1 / 6 à 6 / 6

DOSSIER REPONSE

Documents Réponses :

- 1 : Passage du câble
- 2 : Schéma cinématique
- 3 : Charges sur le fût en régime stabilisé

Temps conseillé pour traiter le sujet et barème (sur 50 points)

Lecture du sujet :	30 mn	
Première partie :	1 h 30 mn	(24 points)
Deuxième partie :	45 mn	(14 points)
Troisième partie :	45 mn	(12 points)

DOSSIER TECHNIQUE

Ce Dossier comporte 2 pages numérotées 1 / 2 et 2 / 2 et les documents suivants :

Document 1 :

Présentation de la ligne de fabrication

Document 2 :

Sous-ensembles de la ligne de fabrication. Principe d'assemblage

Document 3 :

FAST

Document 4 :

Mise en situation du cabestan tournant

Document 5 :

Eclaté partiel du cabestan tournant – Nomenclature partielle

Document 6 :

Cabestan tournant – Détail

Document 7 (a à d) :

Résultats du logiciel de calcul CASTOR Concept

Document 8 :

Résultats du logiciel de simulation Motion

Document 9 :

Classes de qualité (visserie)

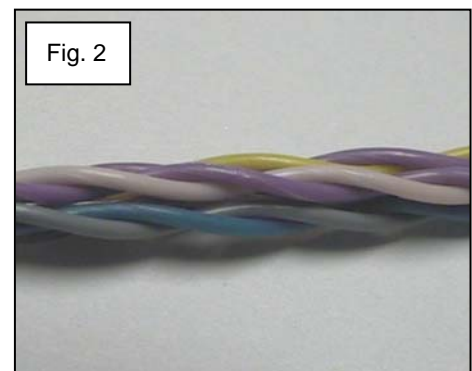
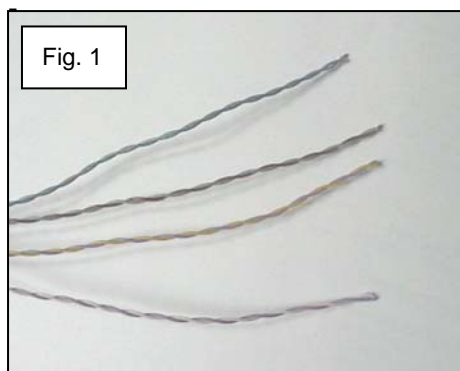
PRESENTATION

La société **SETIC** est spécialisée dans la conception et la réalisation de machines destinées à la fabrication de câbles *hautes performances* utilisés dans le domaine des réseaux de transmission (télécommunication et informatique).

La forte demande sur le marché mondial et une concurrence sévère conduisent au développement de machines de câblerie toujours plus rapides mais qui doivent rester capables de maîtriser les paramètres fonctionnels du câble. Chaque modèle de machine est généralement fabriqué en série de 20 à 50 exemplaires.

La réalisation des câbles demande deux opérations :

- les fils (ou brins), à l'origine enroulés individuellement sur des bobines, sont d'abord assemblés en hélice par paire : c'est la phase de **pairage** (fig. 1) ;
- différentes paires sont ensuite réunies : c'est la phase **d'assemblage** (fig. 2) :



L'assemblage des paires en hélice présente les particularités suivantes :

- Le *sens d'hélice* peut varier :
 - si l'hélice est orientée à **droite**, on parle d'enroulement en **Z** ;
 - si l'hélice est orientée à **gauche**, on parle d'enroulement en **S** ;
- Les paires de brins sont toujours de *pas* différents afin d'éviter, à l'utilisation, des interférences électriques entre paires.

Les Cahiers des Charges Fonctionnels client imposent notamment au fabricant trois paramètres fondamentaux :

- le nombre de paires à assembler ;
- le pas de pairage pour chaque paire ;
- le pas d'assemblage.

Le *Document 1* présente une ligne de fabrication de câbles à 4 paires de 2 brins, et le *Document 2* détaille les sous-ensembles :

- le pairage est réalisé par 4 groupes Twinner (Modules GT) fonctionnant en parallèle. Les vitesses de rotation de chaque groupe (donc les vitesses de pairage) sont différentes puisque les pas doivent être différents pour chaque paire ;
- l'assemblage des paires débute au *point de commettage* (repéré sur le *Document 2*). Il est réalisé par un cabestan CRT 350 R, tournant également, chargé de l'avancement du câble.
- le câble réalisé est enroulé sur une bobine de dépose (recevant 30 à 40 km de câble).

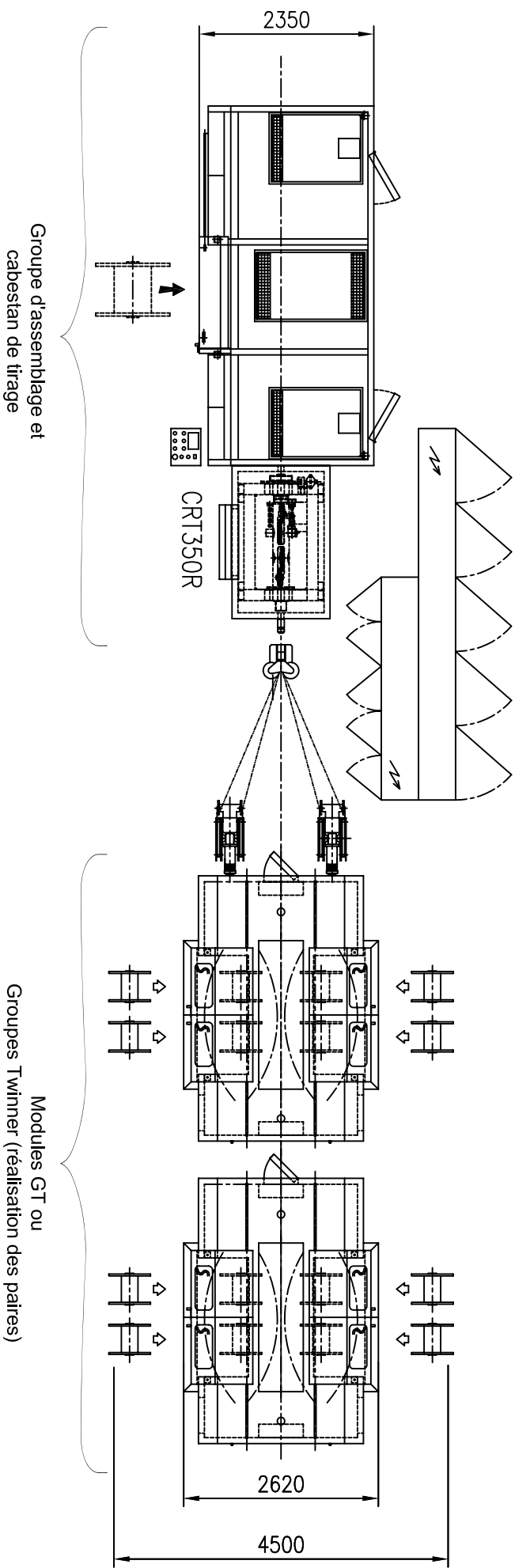
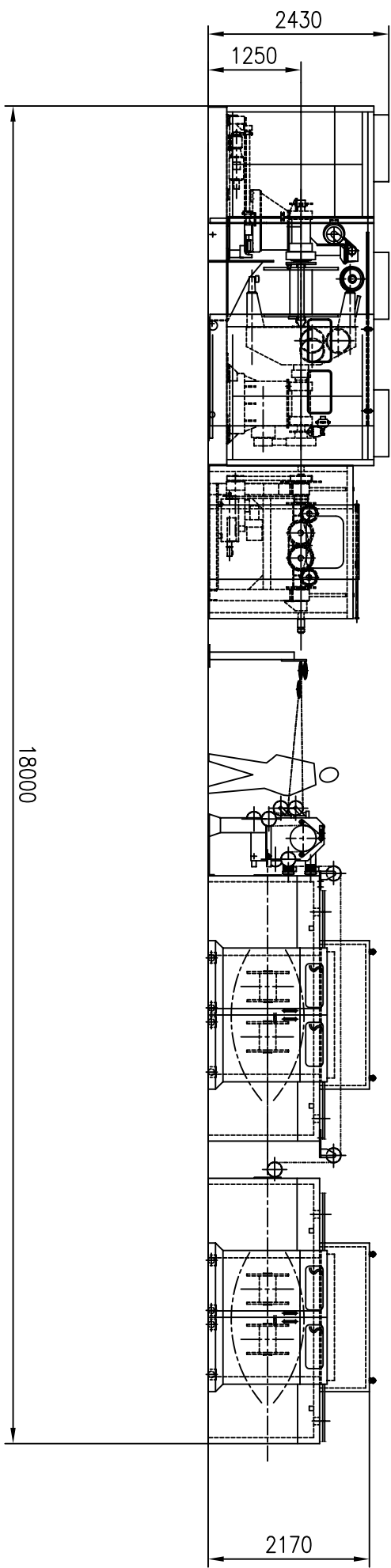
Différents dispositifs non représentés permettent la régulation de la tension du câble.

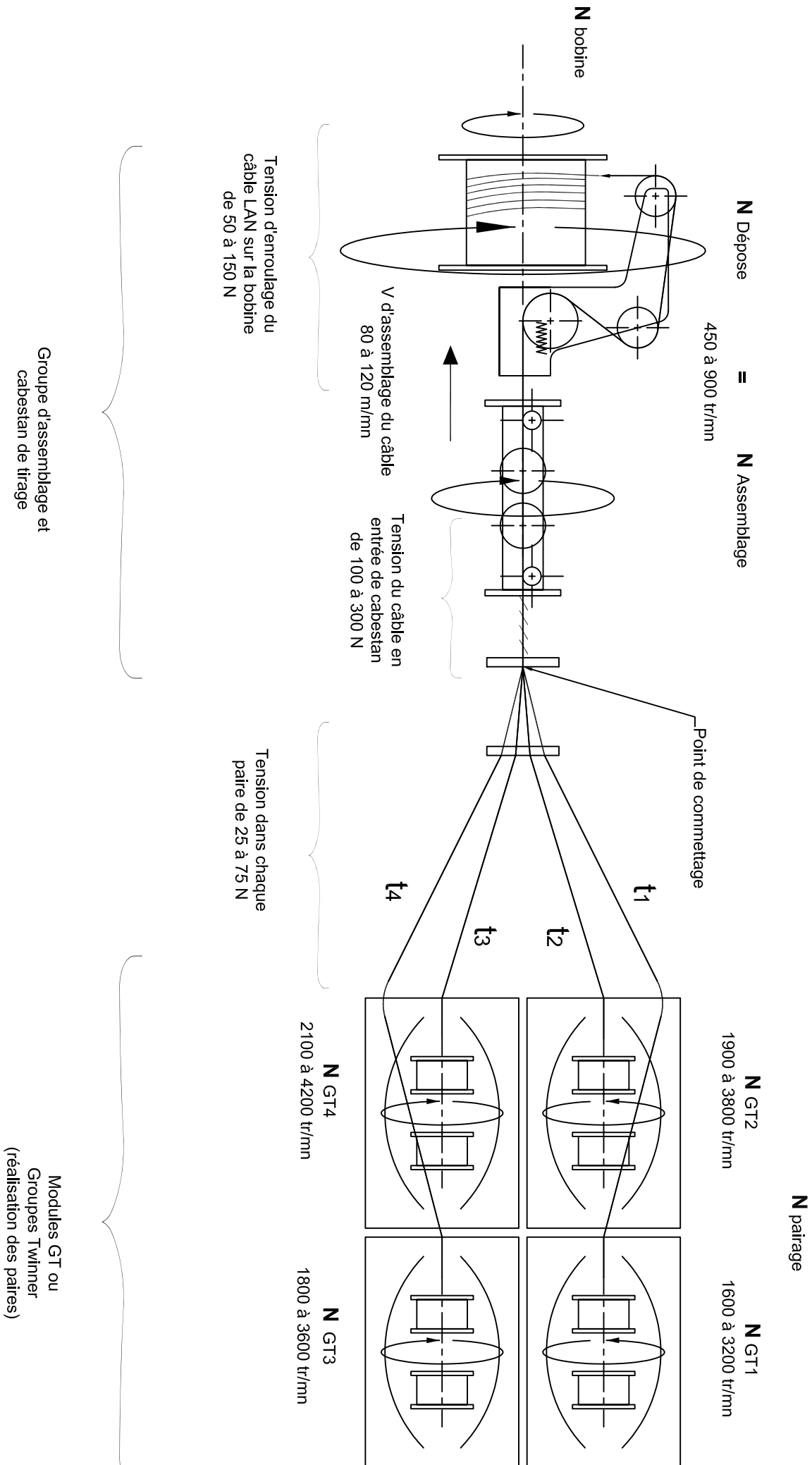
Lors de l'assemblage, le **cabestan tournant** doit réaliser simultanément deux opérations :

- un *tirage* du câble, pour l'amener vers l'enrouleuse ;
- un *enroulement en hélice* des brins du câble ;

Il est donc nécessaire à la fois de produire le mouvement hélicoïdal (**FT 11**) et de tirer les paires de brins (**FT 21**) (voir FAST sur *Document 3*).

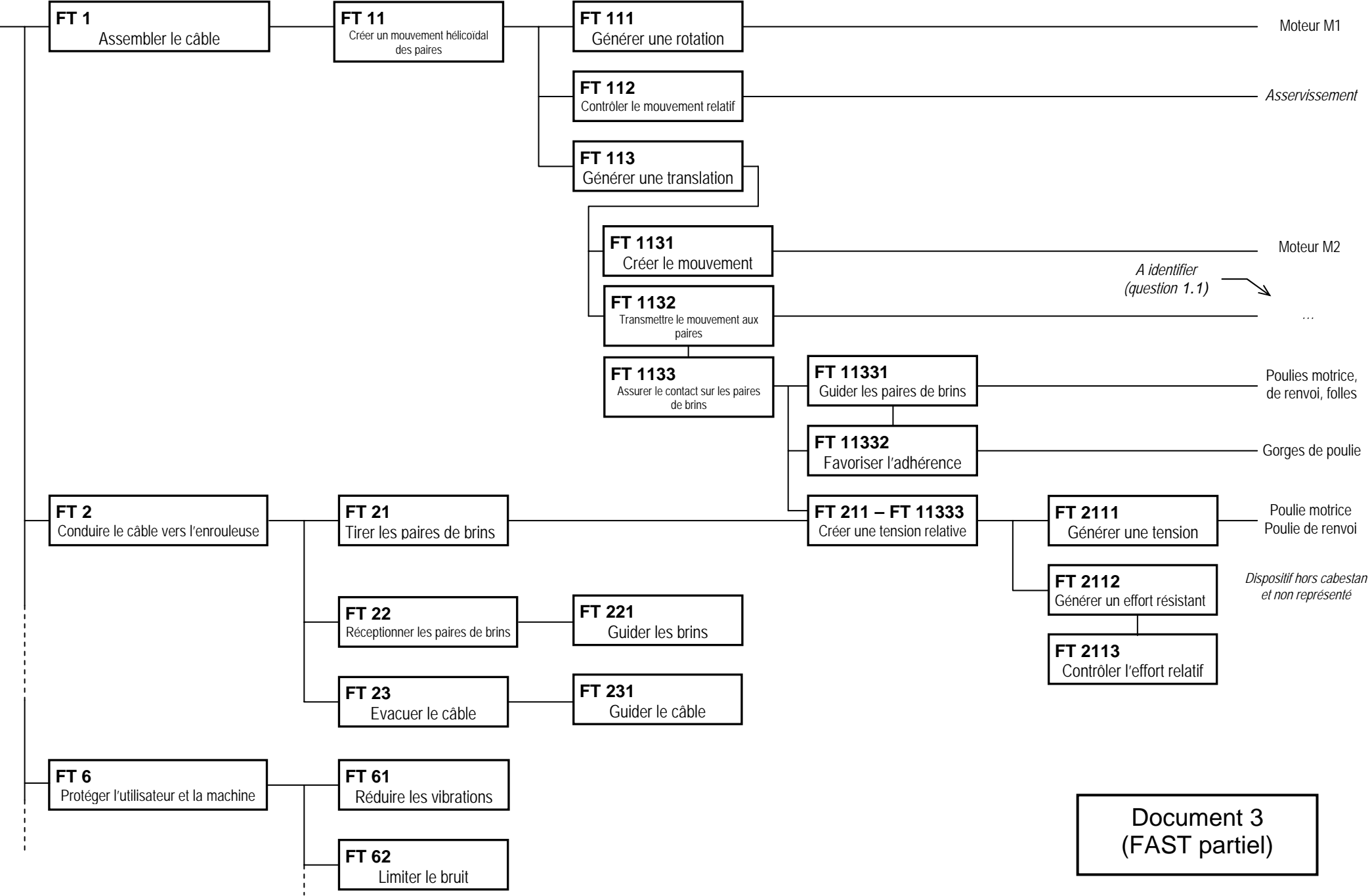
Le *Document 4* est une mise en situation du cabestan tournant. Les deux fonctions techniques **FT 11** et **FT 21** sont principalement réalisées par deux actionneurs (Moteur M1, Moteur M2) et des transmissions poulies-courroies crantées.



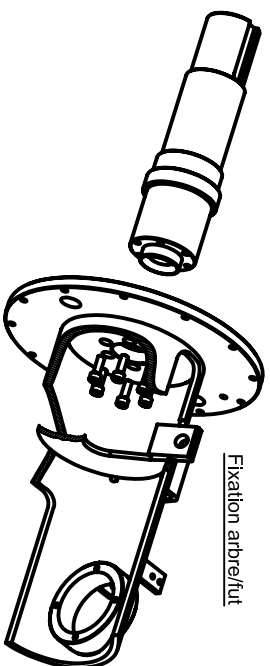
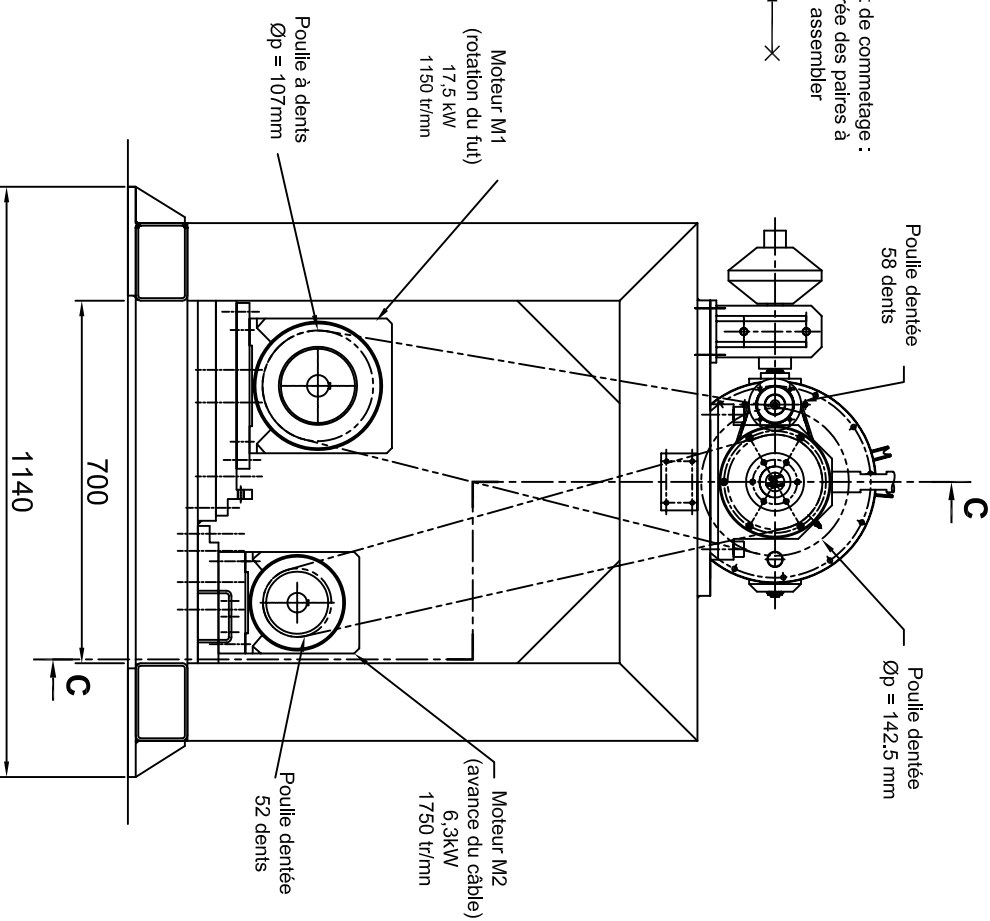
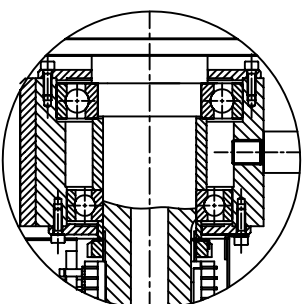
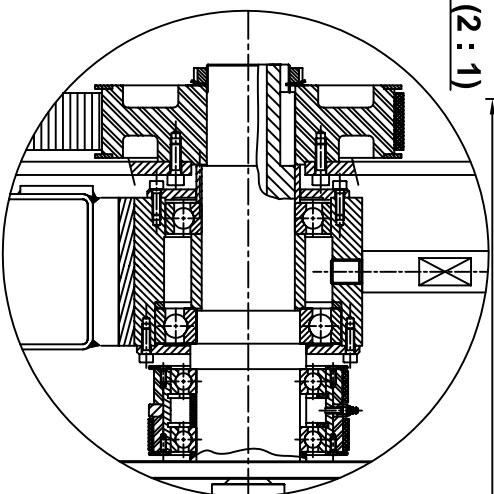
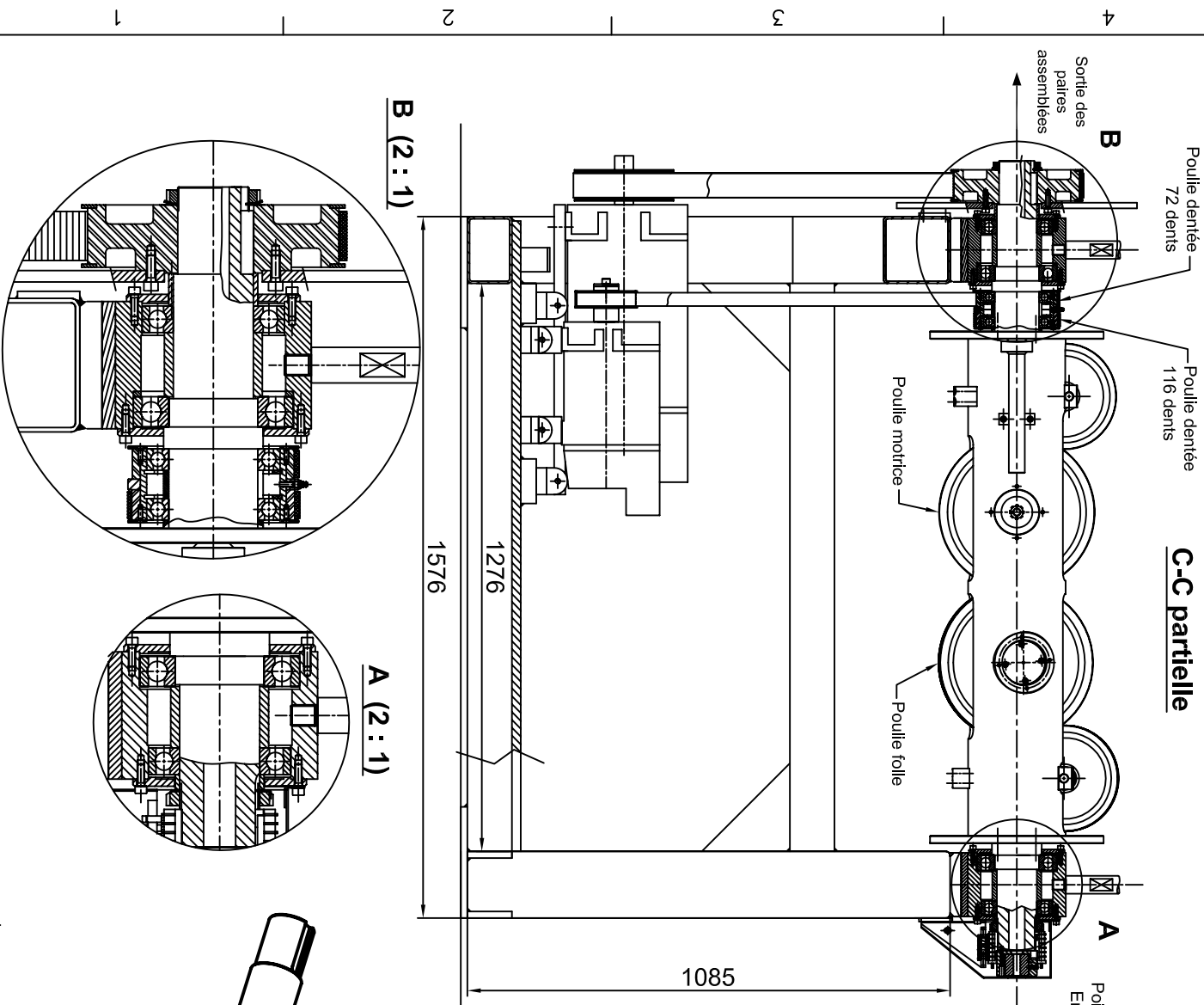


Groupe d'assemblage et
cabestan de tirage

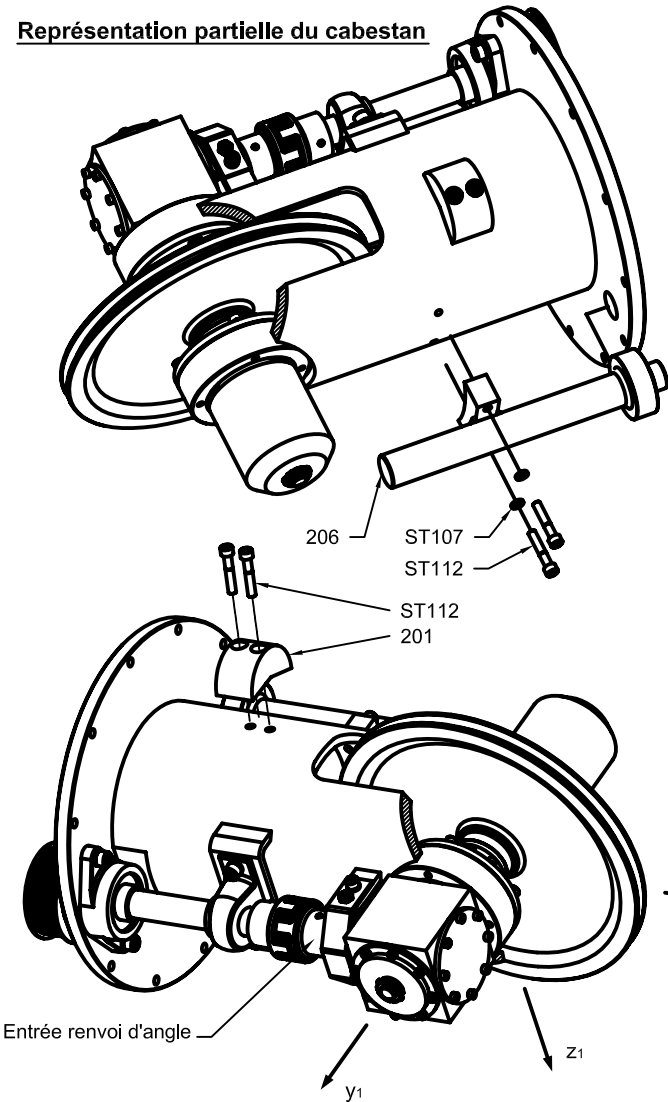
Modules GT ou
Groupes Twinner
(réalisation des paires)



C-C partielle

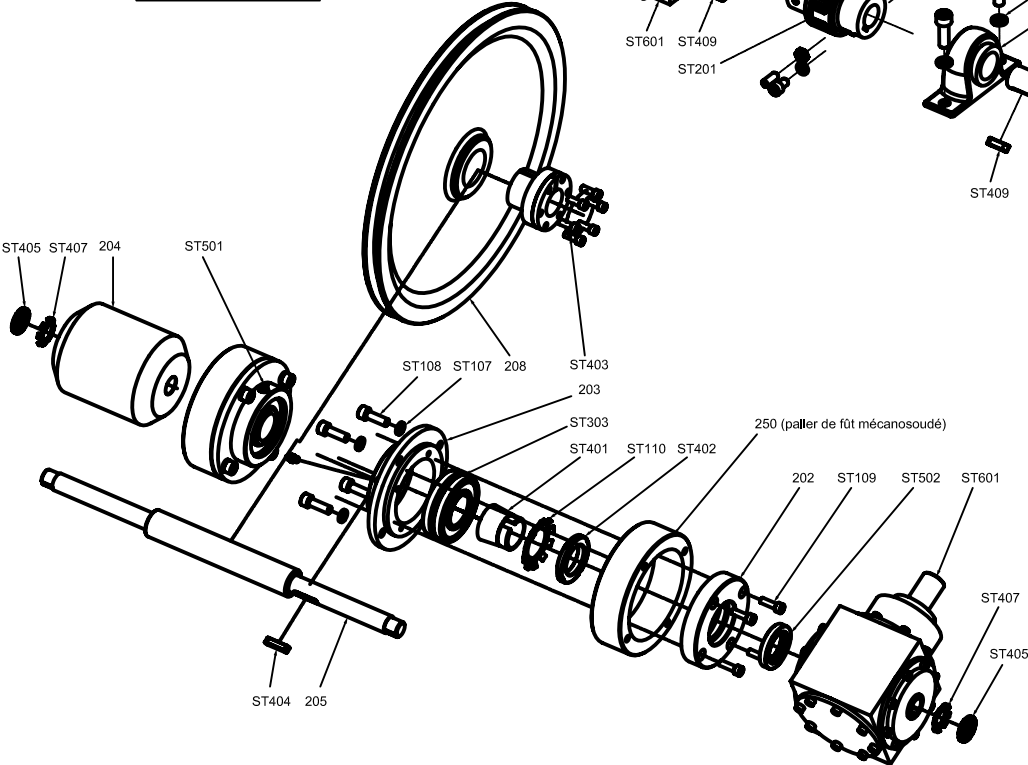


Représentation partielle du cabestan

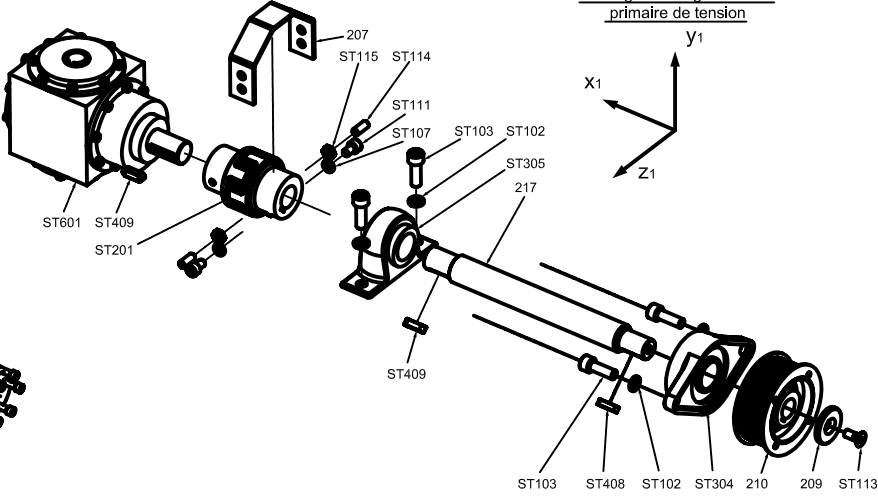


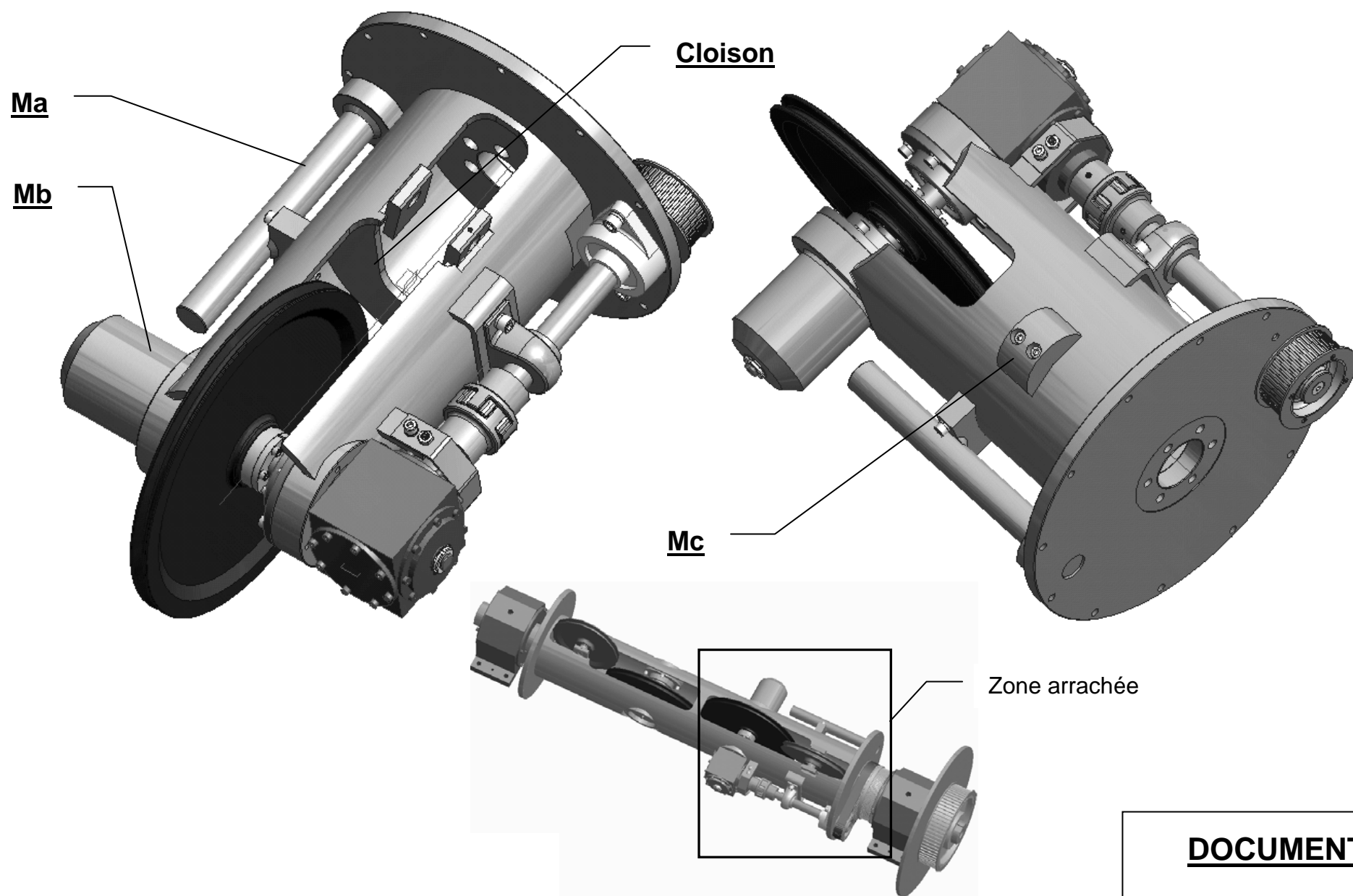
Liste de pièces				
Réf	Nbre	Désignation	Matériau	Observation
201	1	Contre masse	S235	
202	2	Couvercle palier de poulie de tension motrice	S235	
203	2	Boîtier de roulement à graisseur	S235	
204	1	Contre masse radiale	S235	
205	1	Arbre poulie de tension motrice	34Cr Mo 4	
206	1	Contre masse axiale		
207	1	Cavalier de maintien du renvoi d'angle	S235	
208	1	Ensemble poulie motrice		
209	1	Rondelle d'arrêt poulie motrice	S235	
210	1	Poulie crantée à 58 dents		
217	1	Arbre primaire de tension	34 Cr Mo 4	
250	1	Fut		
ST102	4	Rondelle W10 - ISO 7980		
ST103	4	Vis CHC M10x1,25-30		
ST107	14	Rondelle W8 - NF E 25-515		
ST108	8	Vis CHC M8-25		
ST109	8	Vis CHC M6-20		
ST110	2	Rondelle frein type A de 35, NF E 22-307		
ST111	2	Vis CHC M8x1-12		
ST112	4	Vis CHC M8x1-45		
ST113	1	Vis FHC M8-20		
ST114	2	Vis Hc M8x20 à bout plat		
ST115	2	Ecrou bas hexagonal ISO 4035 - M8		
ST200	1	Accouplement élastique		28 AL-D 92
ST303	2	Roulements à rotules sur rouleaux 22207 EK Alésage conique - pour arbre Ø35		
ST304	1	Palier applique FYTB30TF		
ST305	1	Palier à semelle -d30 - P62 YAR206-2F		
ST401	2	Manchons serrage H307		
ST402	2	Ecrou à encoches - ISO 2982 - M35 x 1,5		
ST403	1	Assembleur expansible RLK 110, Ø30 x Ø41		
ST404	1	Clavette parallèle, A 6 x 6 x 28 mm - NF E 27-656		
ST405	2	Ecrou à encoches - ISO 2982 - M17 x 1		
ST406	2	Ecrou hexagonal ISO 4033 - M8		
ST407	2	Rondelle frein type A de 17, NF E 22-307		
ST408	1	Clavette parallèle A 6x6x25 mm		
ST409	2	Clavette parallèle forme A 8x7x25mm		
ST501	2	Graisseur TECALEMIT droit M6x100		
ST502	2	Joint à lèvres type IE, 30x48x8		
ST601	1	Renvoi d'angle CATEP Z10 BHY 4 OKR		Rapport Ns/Ne = 0.25

Montage de la ligne d'arbre, poulie de tension motrice

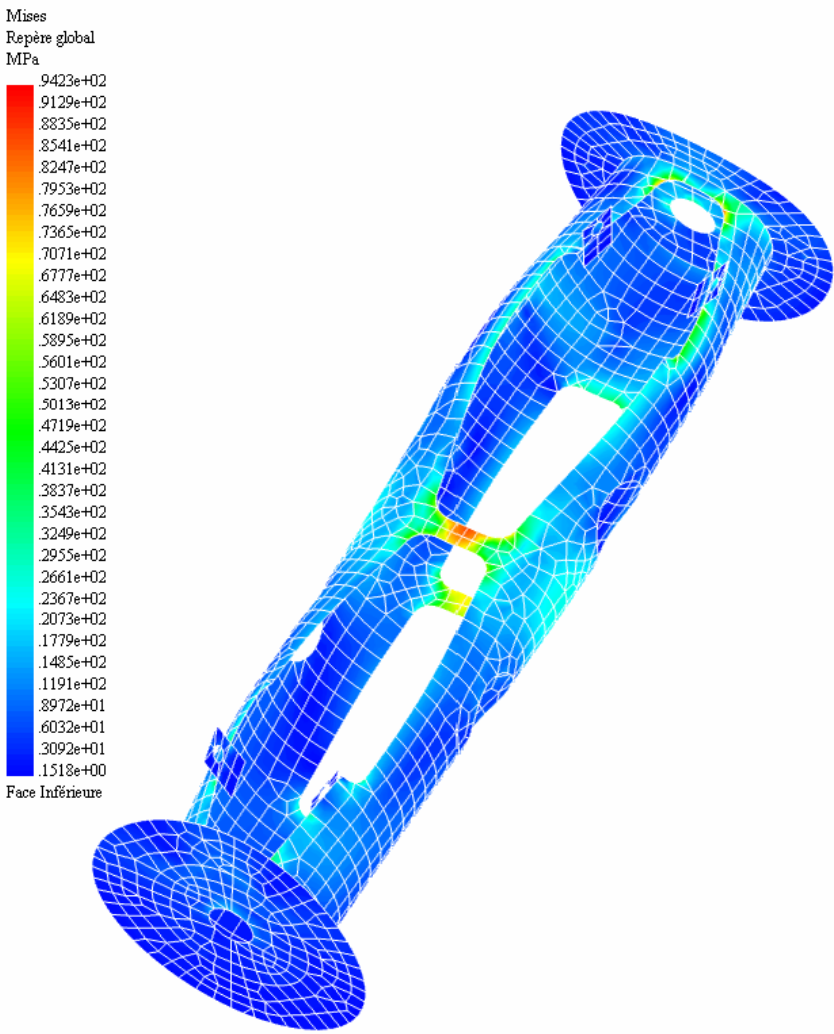


Montage de la ligne d'arbre primaire de tension



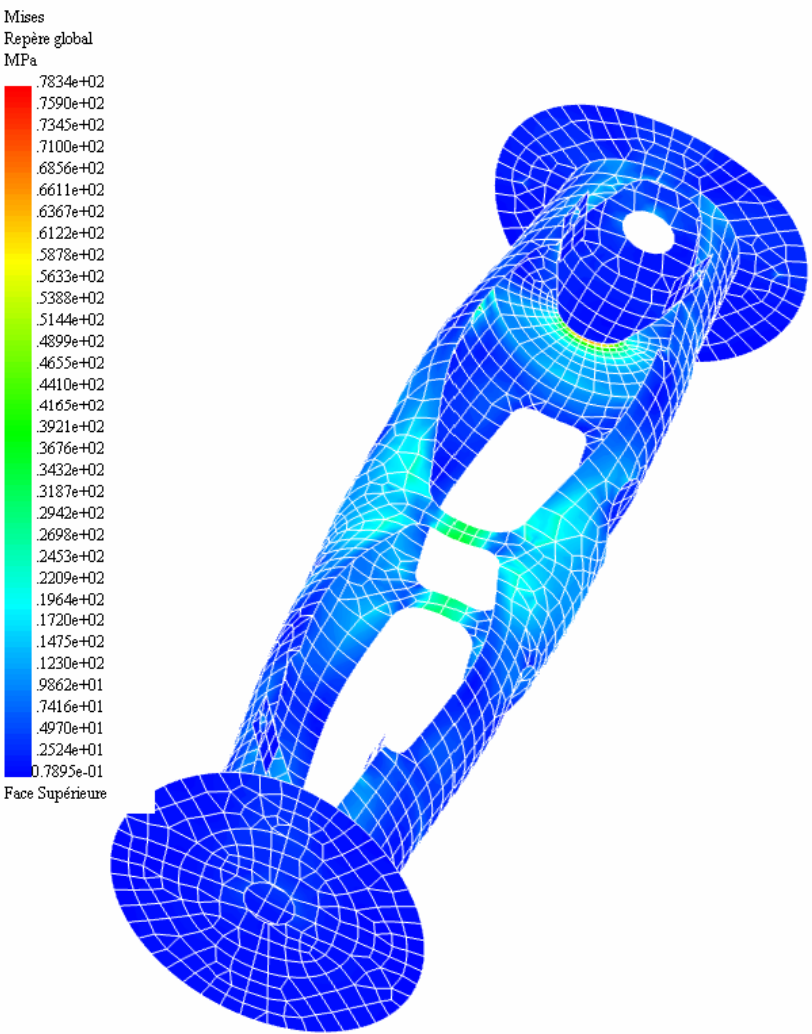
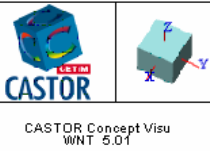


DOCUMENT 6



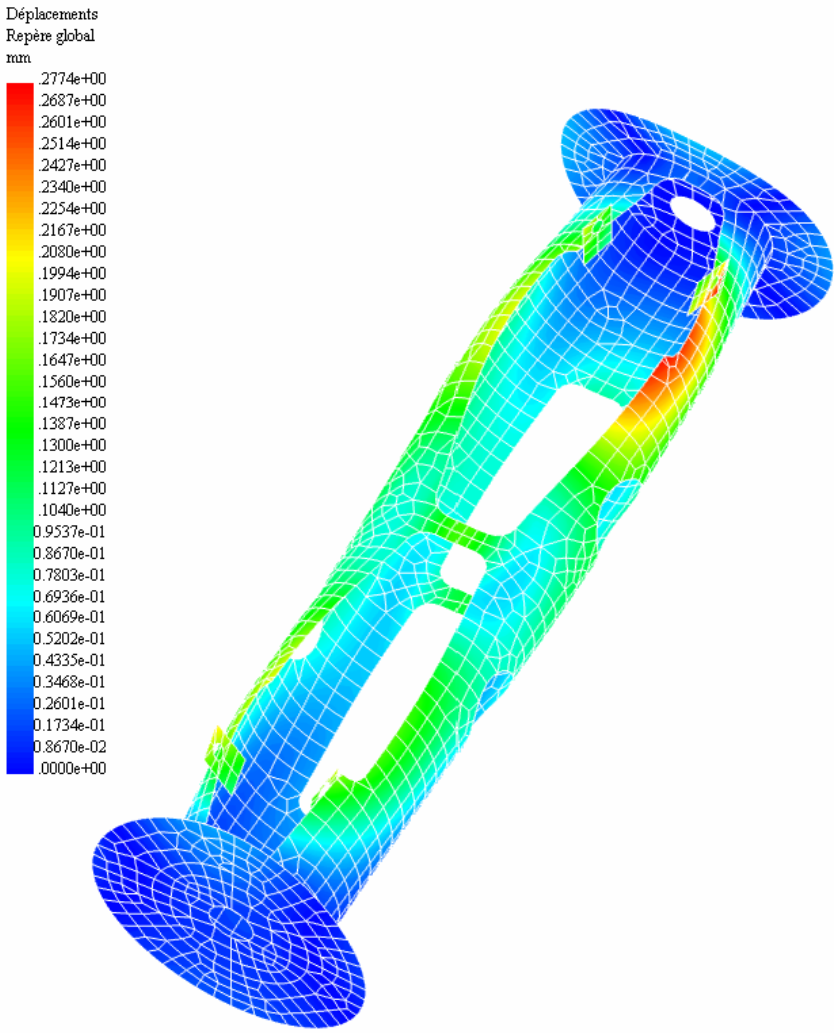
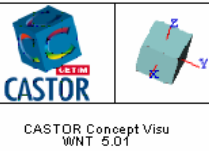
Document 7 - a

Modèle A - Calcul des contraintes de VON MISES



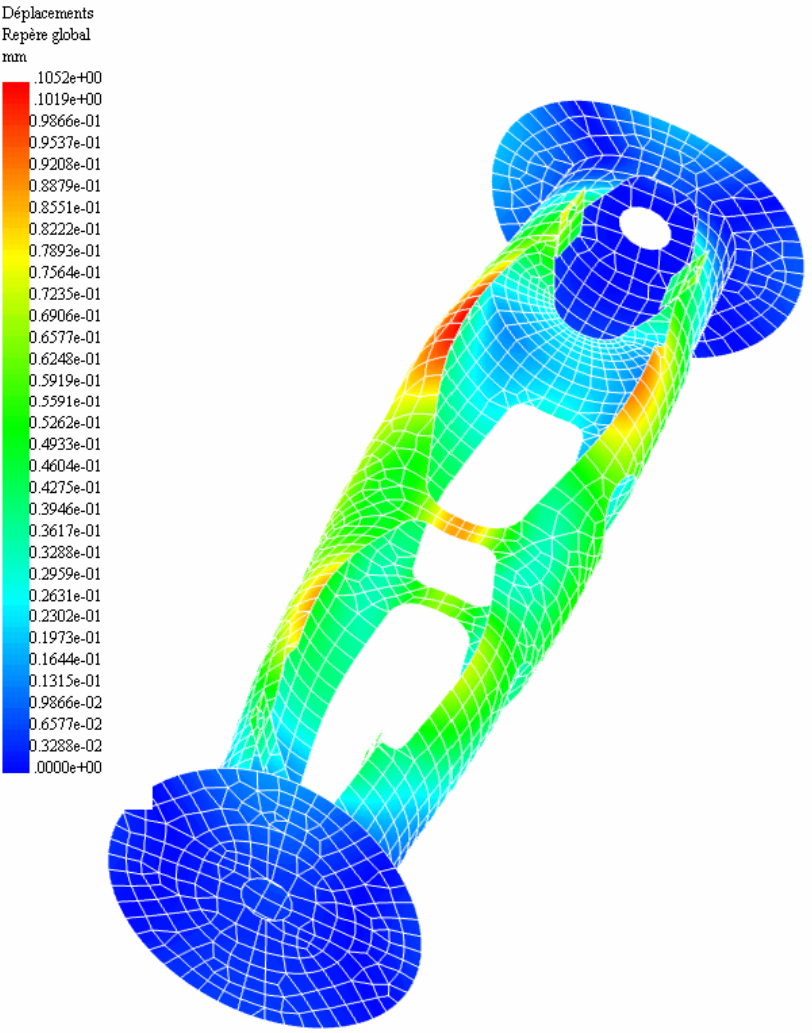
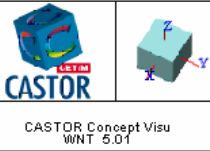
Document 7 - c

Modèle B - Calcul des contraintes de VON MISES



Document 7 - b

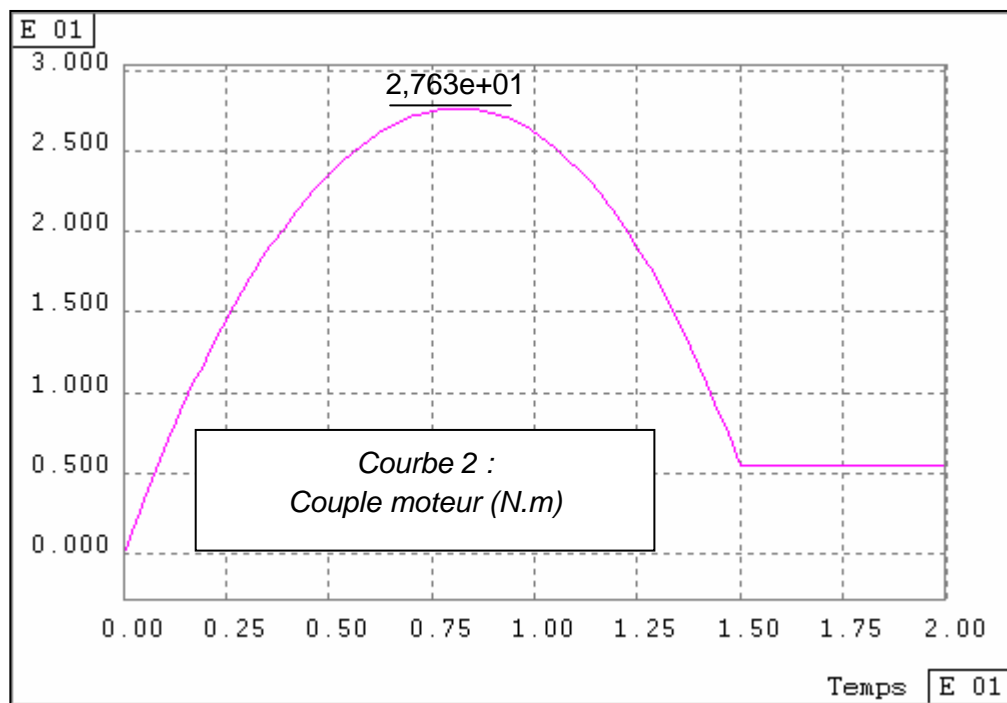
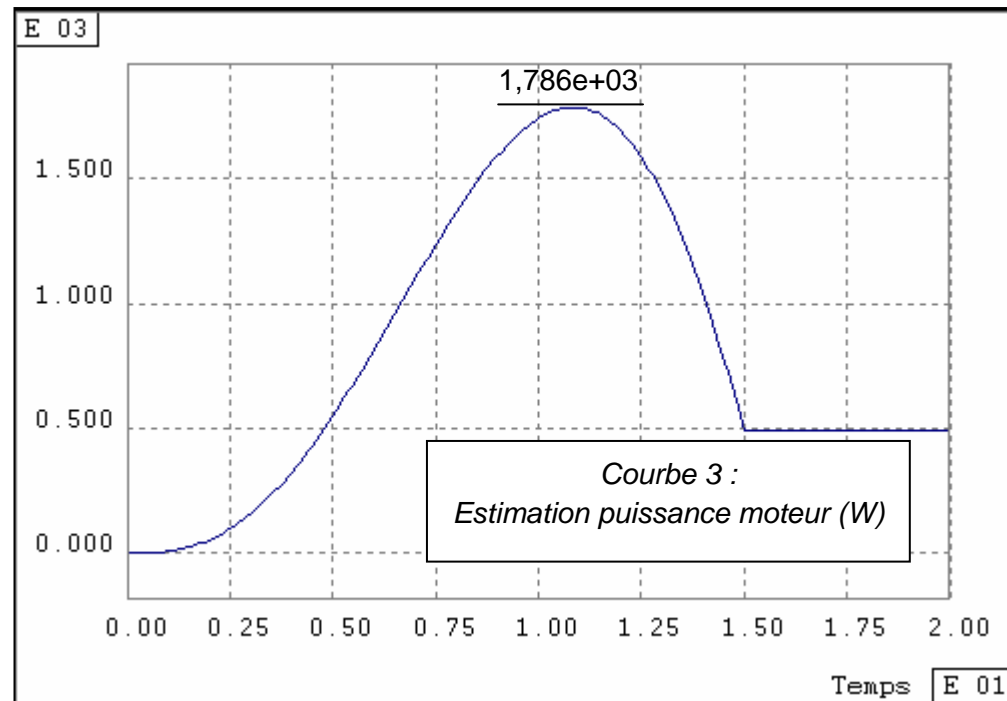
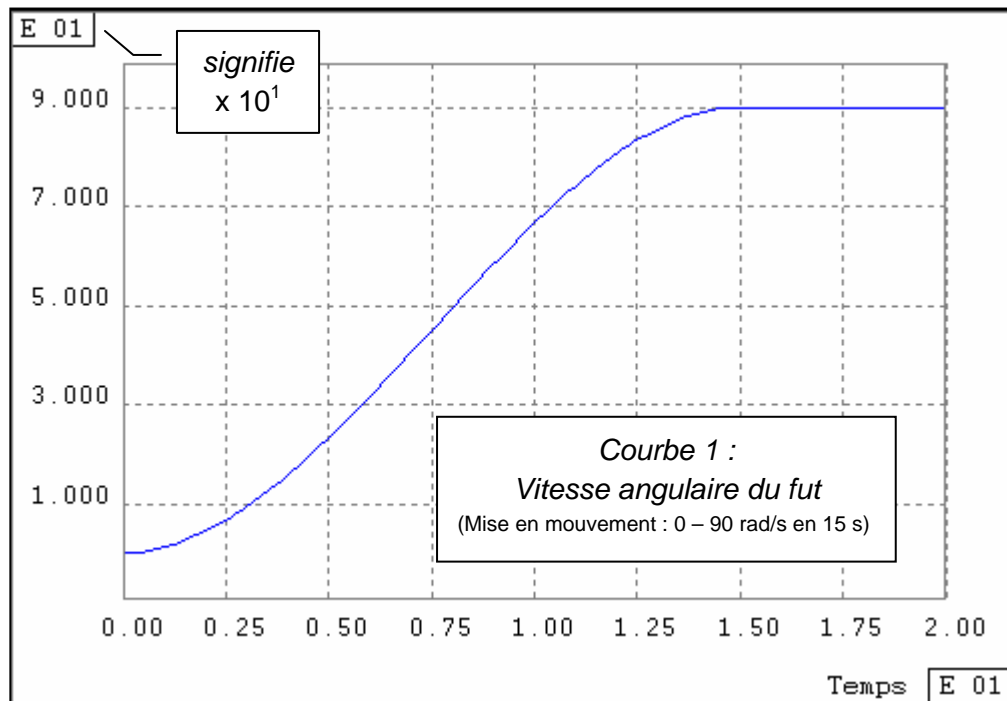
Modèle A - Calcul des déplacements

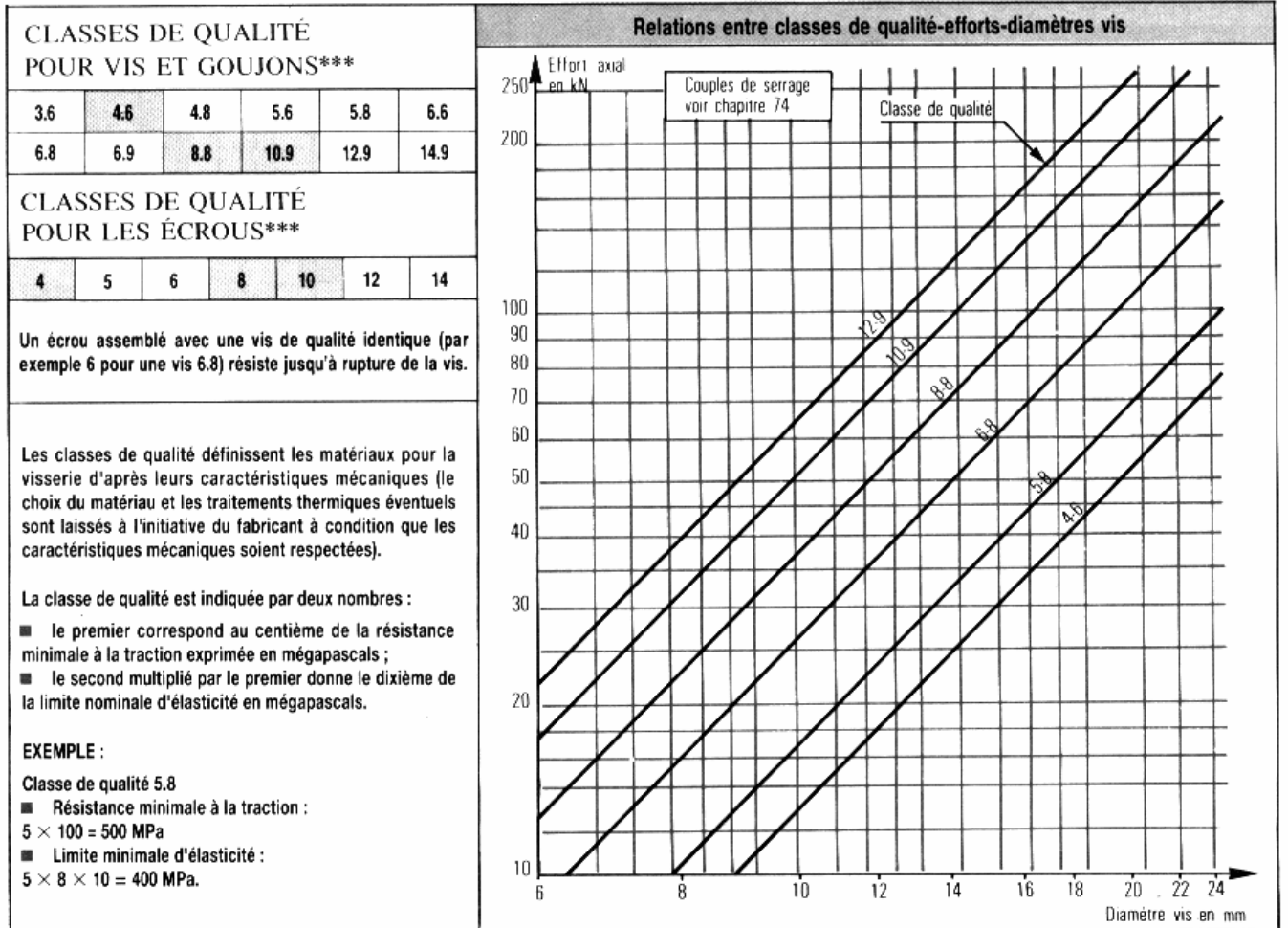


Document 7 - d

Modèle B - Calcul des déplacements





CLASSES DE QUALITE (Visserie)

* Rm = résistance minimale à la rupture par traction en mégapascals.

** Re = Limite minimale d'élasticité en mégapascals.

(1 MPa = 1 N/mm².)

*** Les qualités teintées sont les plus usuelles.

**DOSSIER
TRAVAIL DEMANDE**

Ce Dossier comporte 6 pages numérotées 1 / 6 à 6 / 6.

Première Partie

Validation du fonctionnement par la recherche des caractéristiques cinématiques du cabestan tournant

Cette partie visera à :

- l'identification des solutions techniques utilisées ;
- la définition du comportement cinématique ;
- la caractérisation des performances.

Ressources à utiliser :

- Dossier Technique
- Document Réponse 1, 2

Etude de la fonction FT 1132 Transmettre le mouvement aux paires :

- **Question 1.1 :** Le FAST (Document 3) ne précise pas la solution technique utilisée pour la fonction FT 1132 Transmettre le mouvement aux paires. Indiquer cette solution (sur feuille de copie).
- **Question 1.2 :** Sur le Document Réponse 1, compléter la représentation du câble entre le point d'entrée et le point de sortie et son enroulement autour des poulies. On indiquera par des flèches le sens d'avancement.
- **Question 1.3 :** Compléter, sous forme de schéma cinématique minimal, l'ébauche sur le Document Réponse 2 en vue de montrer la transmission des mouvements au câble à partir des moteurs M1 et M2. Les sens de rotation des groupes cinématiques 2, 3 et 4 seront également indiqués.

Afin de pouvoir déterminer la vitesse d'avance du câble, on recherche à présent les caractéristiques des mouvements de certains sous-ensembles du fût.

- **Question 1.4 :** Pour un régime moteur de 450 tr/mn, calculer la fréquence de rotation du fût du cabestan $N_{1/0}$ (exprimée en tr/mn).

Pour les questions suivantes 1.5 à 1.9, les résultats seront exprimés **en fonction de la vitesse angulaire $\omega_{2/1}$** :

- **Question 1.5 :** A l'aide du repérage représenté sur le Document Réponse 2, écrire en fonction de la vitesse angulaire (algébrique) $\omega_{2/1}$ et des caractéristiques de la transmission, les vecteurs rotation instantanés $\vec{\Omega}_{2/1}$, $\vec{\Omega}_{3/1}$, $\vec{\Omega}_{4/1}$ exprimés en utilisant la base $\mathcal{B}_1(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ liée au fût du cabestan 1.
- **Question 1.6 :** Pour le point C tel que $O_4\vec{C} = 0,175 \vec{z}_1$ (en m), déduire $\vec{V}_{C \in 4/1}$.

Le mouvement du câble résulte de la combinaison du mouvement de tirage du câble et du mouvement du fût autour de son axe. On cherche la vitesse d'avancement du câble, définie par $\vec{V}_{C \in \text{câble} / 0} \cdot \vec{x}_1$ (Projection sur \vec{x}_1 du vecteur vitesse $\vec{V}_{C \in \text{câble} / 0}$).

Hypothèses :

- Il y a non-glissement du câble sur la poulie motrice 4 ;
- $\omega_{1/0} > 0$
- **Question 1.7 :** Exprimer $\vec{V}_{C \in \text{câble} / 0}$ en fonction de $\vec{V}_{C \in 4 / 1}$, $\vec{V}_{C \in \text{câble} / 4}$, $\vec{V}_{C \in 1 / 0}$.
- **Question 1.8 :** Compléter la vue suivant V du *Document Réponse 2* en indiquant la direction et le sens de $\vec{V}_{C \in 1 / 0}$ (de norme arbitraire).
- **Question 1.9 :** En déduire la vitesse d'avancement du câble $\vec{V}_{C \in \text{câble} / 0} \cdot \vec{x}_1$.

La vitesse nominale d'avancement du câble est fixée à 80 m/mn. Pour cette vitesse on a alors $\omega_{2/1} = 15,2 \text{ rad/s}$.

- **Question 1.10 :** Quelle relation peut-on écrire entre les vecteurs $\vec{\Omega}_{2/1}$, $\vec{\Omega}_{2/0}$, $\vec{\Omega}_{1/0}$?
- **Question 1.11 :** Pour la fréquence nominale de rotation du cabestan $\omega_{1/0} = + 45 \text{ rad/s}$ (enroulement en S), supposée constante, indiquer la fréquence de rotation $\omega_{2/0}$ de la poulie double.
- **Question 1.12 :** Que devient la fréquence nominale de rotation $\omega_{2/0}$ si $\omega_{1/0} = - 45 \text{ rad/s}$ (enroulement en Z) ?
- **Question 1.13 :** Que doit-on en conclure sur le mouvement de la poulie double ? Est-ce ou non plus favorable pour les roulements qui assurent son guidage ?

Deuxième partie

Vérification de la résistance du fût du cabestan aux sollicitations dynamiques

Cette partie visera à :

- l'identification des solutions techniques utilisées ;
- la définition d'un modèle de chargement du fût ;
- la justification d'une conception en exploitant les résultats d'un logiciel de calcul ;
- le dimensionnement d'un composant.

Ressources :

- Dossier Technique
- Document Réponse 3

Prise en compte des sollicitations dynamiques sur le fût :

Compte tenu des masses tournantes mises en jeu (inertie des pièces et fréquence de rotation élevées), il est impératif de prendre en compte les aspects dynamiques pendant la phase de conception de la machine.

- **Question 2.1 :** Enoncer la fonction technique concernée sur le FAST (*Document 3*).
- **Question 2.2 :** Justifier le rôle des pièces Ma, Mb et Mc visibles sur les *Documents 5* et *6*.

Identification des charges exercées sur le fût :

Afin de vérifier le bon dimensionnement du fût à l'aide d'un logiciel de calcul de structure autonome, il est nécessaire de modéliser les charges qui s'exercent sur le fût du cabestan en régime stabilisé.

Hypothèses :

- Le fût est étudié pendant une phase de rotation stabilisée ($\omega = \text{constante}$) ;
- Compte tenu du montage, les actions mécaniques des ensembles poulie motrice et poulie folle (visibles sur le *Document 4*) sur le fût sont négligeables.

Pour information :

- Longueur : 1200 mm ; Diamètre du fût : 300 mm (partie centrale) ;
- Masse : 270 kg

Sur le *Document Réponse 3*, les zones pouvant être concernées par des actions mécaniques sont repérées Z_1 à Z_{14} .

- **Question 2.3 :** Selon l'exemple ci-dessous, lister sur feuille de copie, en précisant les zones concernées, les actions mécaniques (*liaisons* et *charges appliquées*) à considérer pour le modèle du fût du cabestan en fonctionnement.

Exemple :

Actions mécaniques	Zones concernées
Efforts centrifuges dus à la première poulie folle et à la masse Mc correspondante	Z_1, Z_2, Z_3

Sur le *Document Réponse 3*, les zones concernées par la modélisation des liaisons nécessaires au calcul sont identifiées (symbole ▲).

- **Question 2.4 :** Selon l'exemple ($\vec{A}_1, \vec{A}_2, \vec{A}_3$), compléter la figure en représentant les charges appliquées sur la structure (en respectant les directions et sens d'effort) avec les symboles proposés, et cocher les cases des charges non symbolisées.

Exploitation du calcul de structure du fût :

La modélisation du cabestan dans un cas défavorable de charges dynamiques a finalement conduit aux résultats proposés sur les *Document 7-a* à *7-d*. On constate que le cabestan est sollicité au niveau des cloisons (visibles sur le *Document 6*).

Le modèle A ne diffère du modèle B que par la suppression des cloisons.

- **Question 2.5 :** Quelles sont les conséquences de la suppression des cloisons sur la résistance et la déformation du fût ?

Le fabricant a opté pour la conception selon le modèle B.

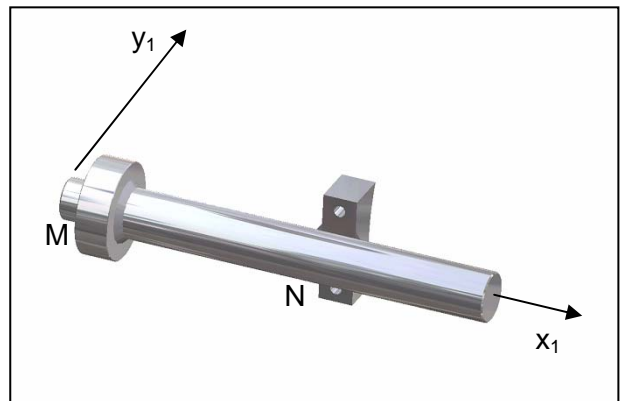
- **Question 2.6 :** Préciser quel est le coefficient de sécurité obtenu pour cette conception sachant qu'on donne, pour l'acier constituant le fût, $R_e = 335 \text{ MPa}$, $R_r = 600 \text{ MPa}$.

Validation des vis ST 112

La modélisation des charges appliquée sur le fût permet aussi de vérifier le choix des vis ST 112 (*Document 5*). Une approche simple permet de considérer le modèle ci-dessous :

Hypothèses et données particulières :

- la pièce Ma est modélisée par un cylindre en acier ;
- le problème est *supposé plan* dans le plan x_1y_1 (voir figure) ;
- on se place à la fréquence maximale de rotation du cabestan (900 tr/mn) et la charge centrifuge correspondante s'applique sur ce cylindre ;
- les liaisons avec le fût sont modélisées en M et N respectivement par une liaison sphère cylindre et une rotule ;



- **Question 2.7 :** Un logiciel de calcul mécanique a permis d'obtenir $Y_N = 4200 \text{ N}$. A l'aide de l'abaque du *Document 9*, déterminer la classe de qualité minimale de vis (diamètre 8) à choisir pour assurer la liaison fût – Ma, sachant que le constructeur impose pour ces vis un coefficient de sécurité $s = 6$.

Troisième Partie

Dimensionnement des moteurs

Cette partie visera à :

- l'exploitation des résultats d'un logiciel de simulation dynamique pour vérifier le choix du moteur M1 ;
- la détermination du moteur d'avancement du câble M2.

Ressources :

- Dossier Technique

Simulation dynamique en phase de démarrage

Le constructeur disposant d'un modèle numérique 3D de son ensemble, une simulation dynamique a été conduite à l'aide d'un logiciel.

L'utilisation d'un tel logiciel intégré au logiciel de CAO permet d'accéder rapidement aux charges dynamiques dont on avait besoin pour le calcul de structure réalisé précédemment. Le constructeur ne remet pas en cause ce calcul, mais souhaite optimiser le choix du moteur M1, en examinant la phase de démarrage.

Hypothèses :

La phase de démarrage dure 15 s avec simultanément :

- o une mise en rotation du fut de 0 jusqu'à 900 tr/mn ;
- o un avancement du câble de 0 à 120 m/mn (vitesse maximale) ;

La simulation dynamique donne notamment la courbe de couple moteur (calculé sur l'axe de rotation du fut) visible sur le *Document 8*. La vitesse de 900 tr/mn (soit environ 90 rad/s) est atteinte progressivement - par une rampe dite *cubique* - comme le montre la Courbe 1.

- **Question 3.1 :** Expliquer comment la courbe de puissance instantanée nécessaire à la rotation du fut (Courbe 3) *et non fournie directement par le logiciel* a été construite. Vérifier cette puissance pour la valeur maximale, en faisant apparaître les valeurs caractéristiques sur les axes des courbes.
- **Question 3.2 :** Quel phénomène physique explique la puissance non nulle, une fois le démarrage réalisé ?
- **Question 3.3 :** La puissance à prévoir pour le moteur M1 est évidemment supérieure. Que penser du moteur choisi par le constructeur ?

Calcul du moteur M2 en régime stabilisé

En régime de fonctionnement stabilisé, l'effort de tirage sur le câble en entrée de cabestan est au maximum de 300 N. Pour entraîner ce câble, un effort en sortie est également nécessaire, ce que réalise un régulateur de tension, disposé entre le cabestan tournant et l'enrouleuse (non visible sur le *Document 2*).

Hypothèses et données particulières :

- Fonctionnement en régime stabilisé (les effets dynamiques sont ignorés) ;
 - Le modèle de la liaison entre les poulies et le câble est assimilé au modèle de la liaison poulie courroie – plate : $T = t e^{f\alpha}$
 - le contact câble-poulies est avec frottement de coefficient $f = 0,25$;
 - on prendra un angle d'enroulement sur la poulie motrice de $180^\circ = \pi \text{ rad}$;
 - la poulie motrice a pour rayon $R = 175 \text{ mm}$;
 - La fréquence maximale de rotation de la poulie motrice est égale à $7,6 \text{ rad/s}$;
 - Le rendement de la chaîne cinématique est égal à $0,8$;
- **Question 3.4 :** Déterminer le moment du couple moteur, puis la puissance à exercer sur la poulie motrice.
- **Question 3.5 :** En déduire la puissance du moteur M2 nécessaire.

**DOSSIER
REPOSE**

*Ce Dossier comporte les trois Documents Réponse suivants, **à rendre avec la copie** :*

Document Réponse 1 :

Passage du câble

Document Réponse 2 :

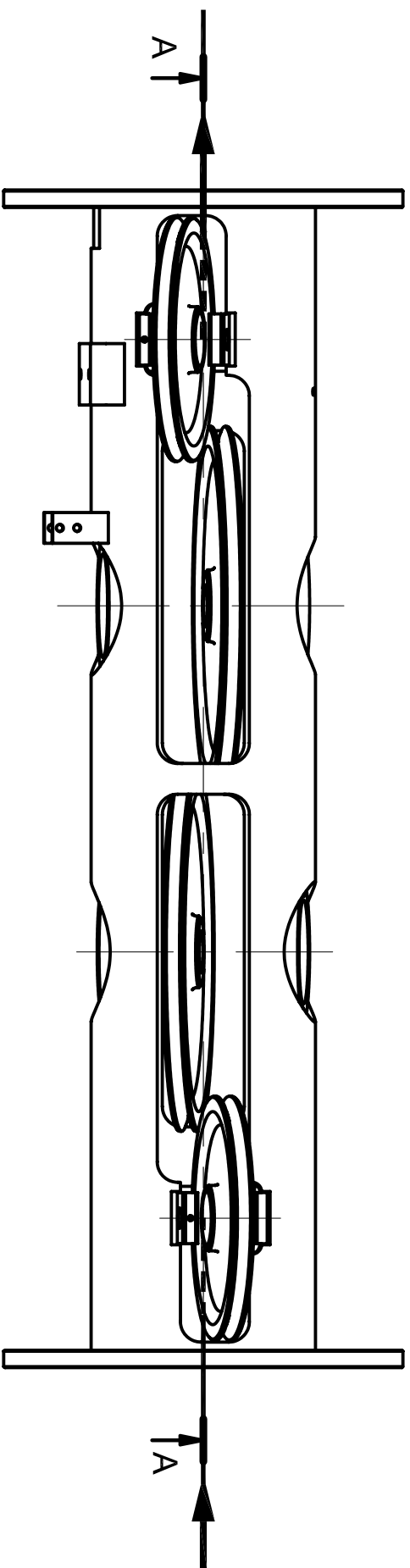
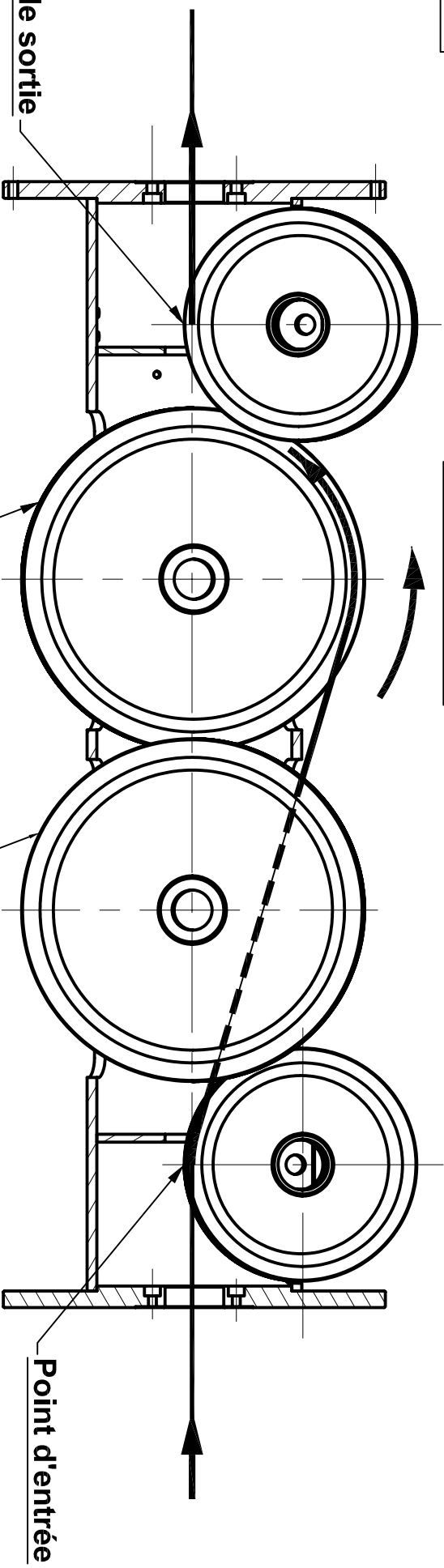
Schéma cinématique

Document Réponse 3 :

Charges sur le fût en régime stabilisé

Sens de rotation

A-A



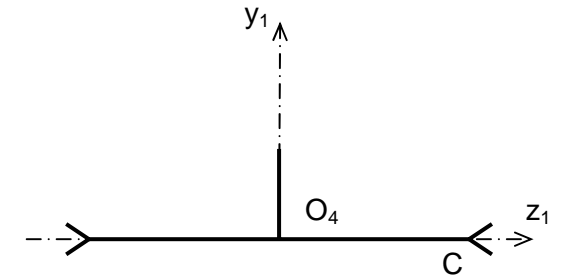
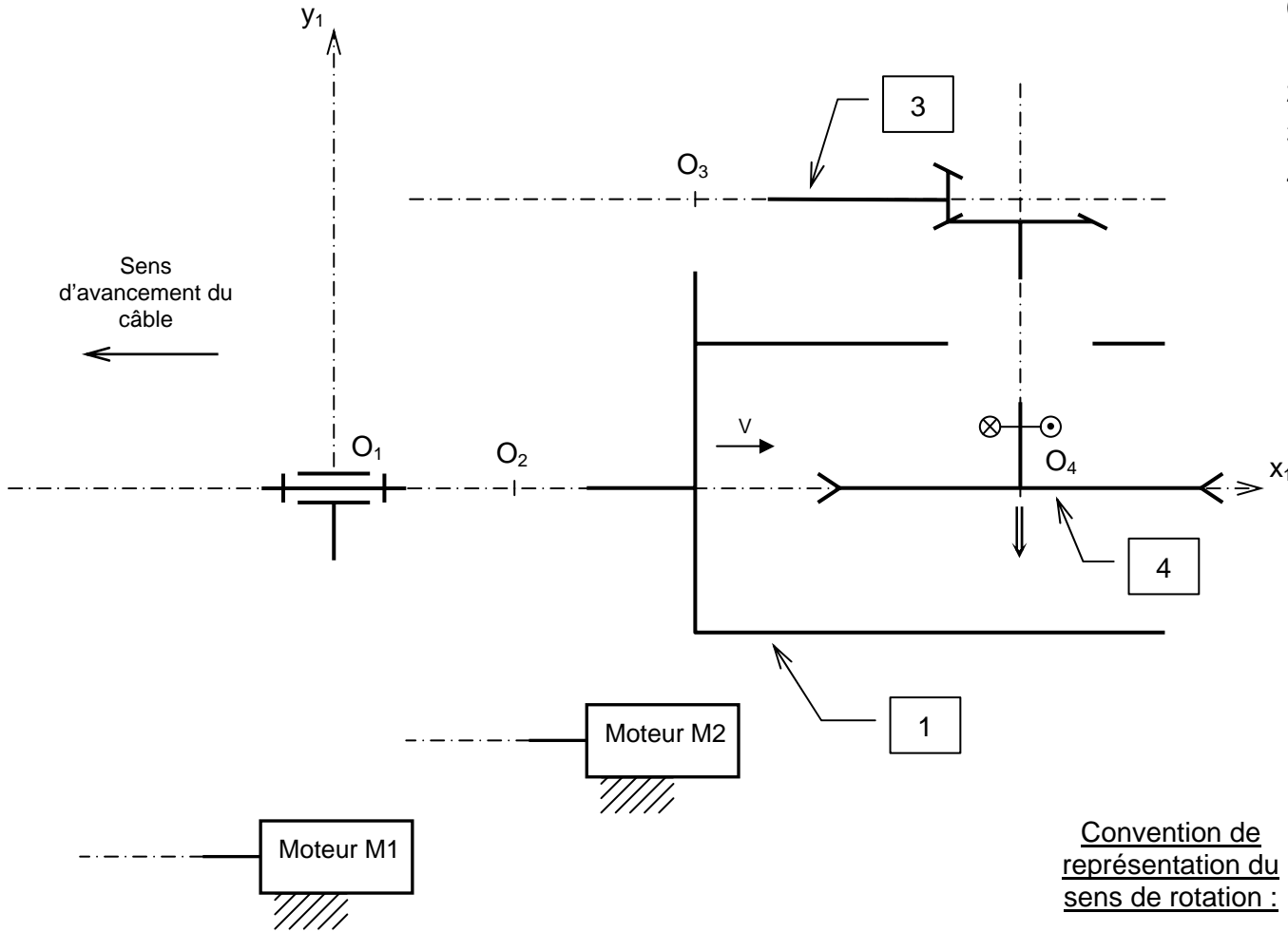
Zone d'agrafage

Document à placer et à agraffer
à l'intérieur d'une copie (dans le coin bas gauche)

SCHEMA CINEMATIQUE

Groupes cinématiques :

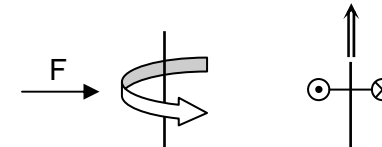
- 0 : Bâti
- 1 : Fût du cabestan
- 2 : Poulie double
- 3 : Arbre de poulie de tension motrice
- 4 : Ensemble poulie motrice



Vue suivant V
(4 seul)

Vue suivant F

Convention de
représentation du
sens de rotation :




Document Réponse 2

Zone d'agrafage

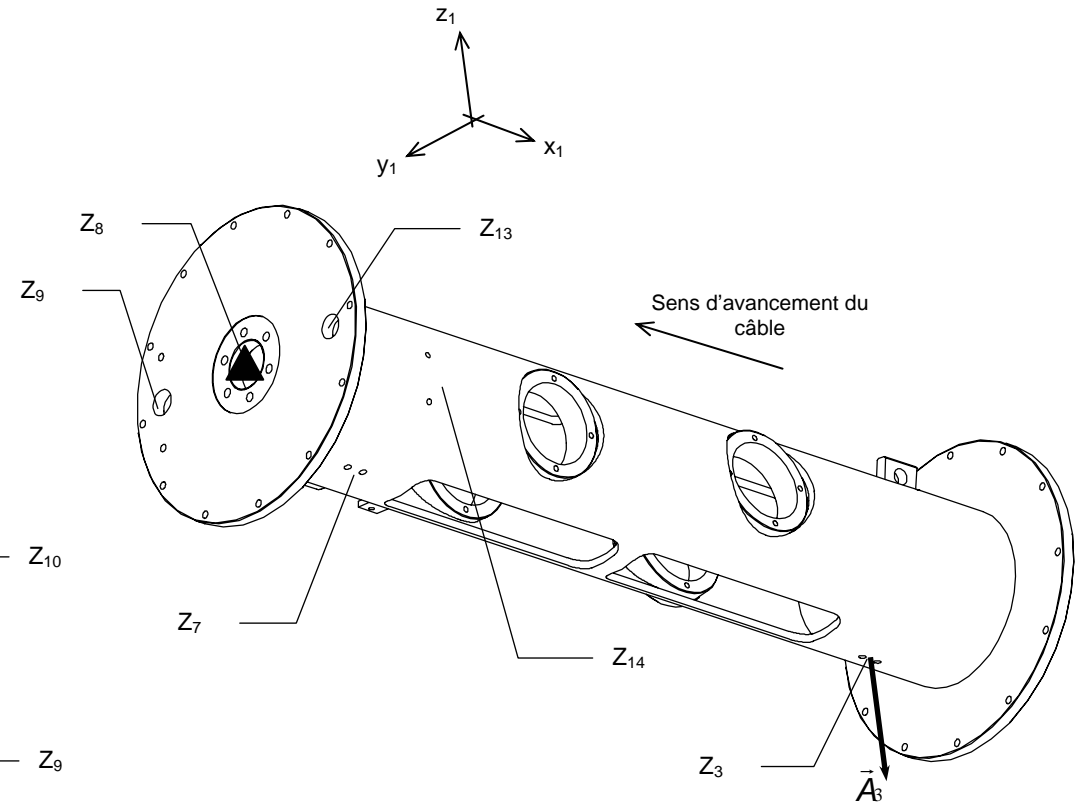
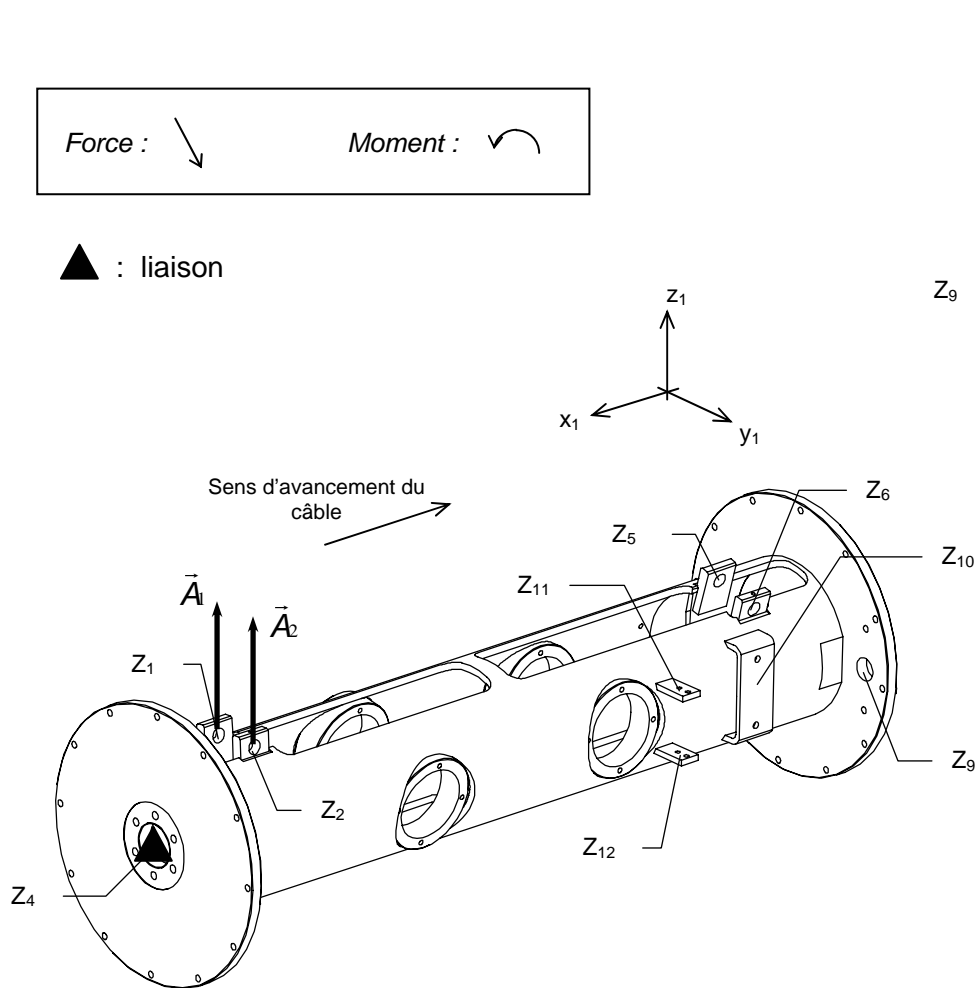
Document à placer et àagrafer
à l'intérieur d'une copie (dans le coin bas gauche)

CHARGES à modéliser SUR LE FÛT en régime stabilisé

Force : 

Moment : 

▲ : liaison



Document Réponse 3

Autres charges non symbolisées :

Gravité

☐

Effort centrifuge dû à une
rotation de la structure selon

☐

x_1

☐

y_1

☐

z_1