

ASCENSEUR A BATEAUX

Ressources à disposition du candidat:

- Le dessin d'ensemble du frein à disque de sécurité avec la nomenclature,
- Maquette .3DXML du système,
- L'énoncé du sujet,
- Le diaporama de présentation.

En cas de problème technique, le sujet pourra être traité sans le diaporama de présentation.

Mise en situation :

Temps conseillé pour la lecture du sujet et du diaporama : 10 min

En vue de moderniser les voies d'eau navigables d'Europe, il fut décidé en 1954 de porter le gabarit du réseau d'intérêt international à celui des péniches de 1350 tonnes. Ceci a imposé de nombreux défis technologiques, notamment le franchissement du dénivelé de 73 mètres par le canal du Centre à Strepv-thieu en Belgique.

L'ancien dispositif, comptant quatre ascenseurs hydrauliques successifs limités à des péniches de 300 tonnes, a récemment été remplacé par un ascenseur unique (figure 1) capable de monter ou descendre un bac contenant 6000 m³ d'eau et une barge de 2000 tonnes.



Figure 1: vue aérienne de l'ascenseur de Strepv-Thieu

L'ouvrage est constitué de deux ascenseurs funiculaires indépendants. Chacun comprend un bac mobile (figure 2) qui se déplace verticalement entre le bief amont et le bief aval. La masse de chaque bac rempli d'eau est équilibrée par des contrepoids, reliés au bac par un système de câbles d'acier.

Le cœur du système de levage se situe dans la salle des machines (figure 3) dont la configuration est donnée sur la figure 4.

- Chacun des deux ensembles bac contrepoids comprend 4 moteurs asynchrones qui entraînent chacun un réducteur "grande vitesse" (RGV),
- chaque RGV entraîne à son tour 2 treuils,
- chaque treuil est constitué d'un réducteur "petite vitesse" (RPV) entraînant 2 tambours,
- un frein à sabots équipe chaque tambour,
- des arbres forment une boucle de synchronisation en reliant les treuils entre eux.



Figure 2: vue d'un bac



Figure 3: salle des machines d'un ascenseur

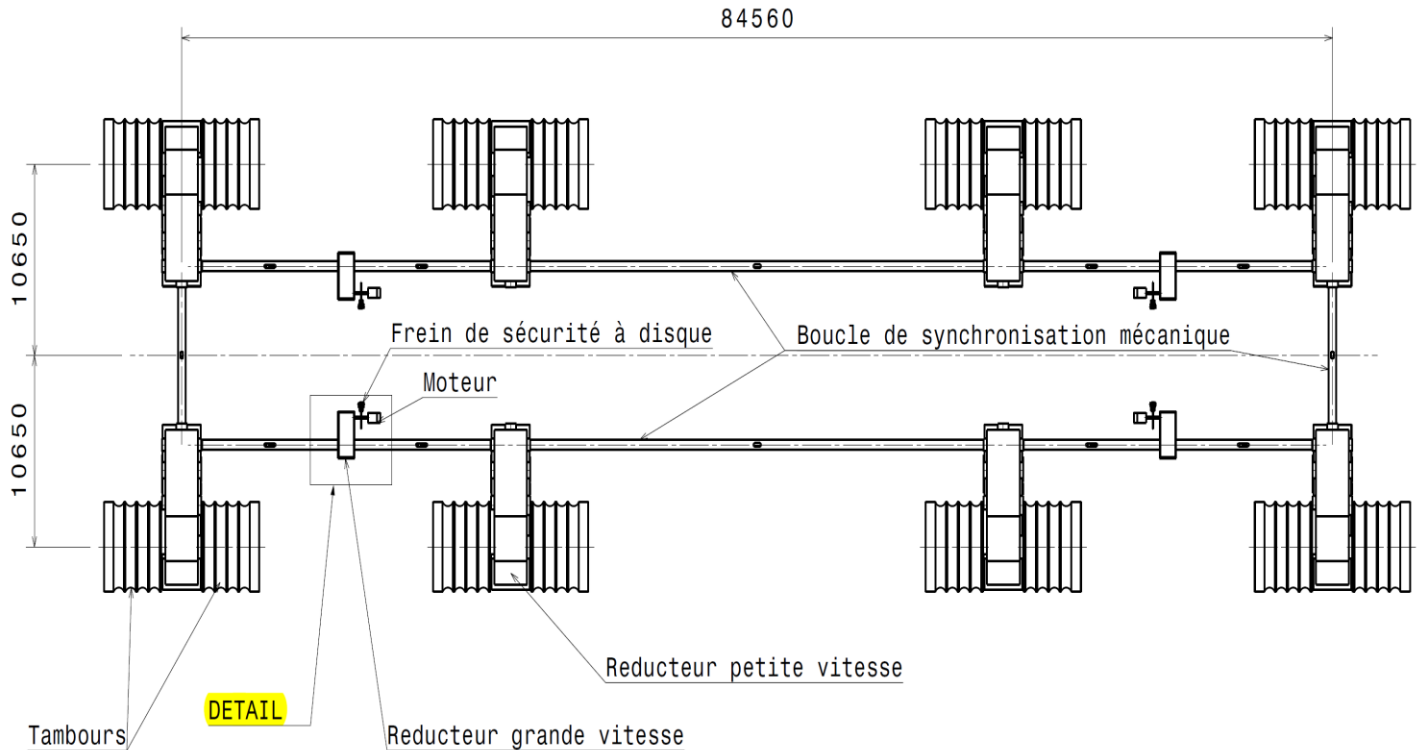


Figure 4: plan d'ensemble de la salle des machines

Problématique :

On souhaite implanter un système de freinage de sécurité dans la salle des machines.

Ce système viendra en doublon des freins à sabots déjà présents sur les tambours, afin de renforcer la sécurité de l'ascenseur et de prévenir le moindre incident.

Pour réaliser ce système de freinage, on choisit d'implanter un frein de sécurité à disque (figure 6) entre chacun des quatre moteurs et réducteurs "grande vitesse" (figures 4 et 5). Sur ce type de mécanisme, l'énergie hydraulique est utilisée pour desserrer le frein.

La société STROMAG, spécialisée dans la fabrication de ces matériels, désire vérifier leurs performances et leur fiabilité afin de pouvoir les intégrer dans la chaîne cinématique de l'ascenseur à bateaux.

L'étude qui vous est proposée devra permettre d'apporter des solutions aux problèmes que se pose cette société.

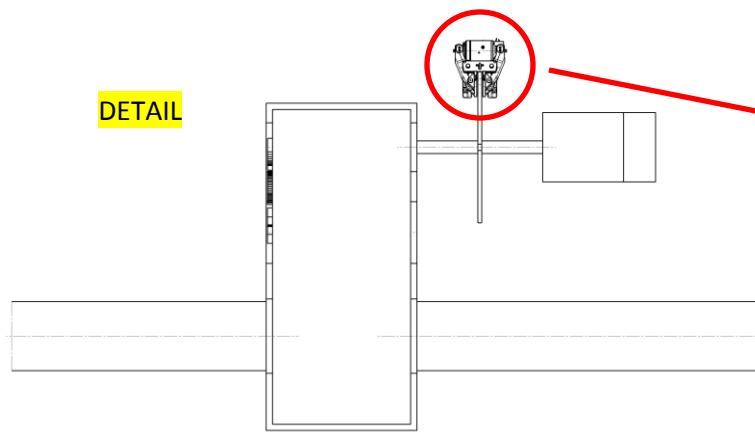


Figure 5: détail issu de la figure 4 de l'ensemble RGV-
moteur-frein de sécurité

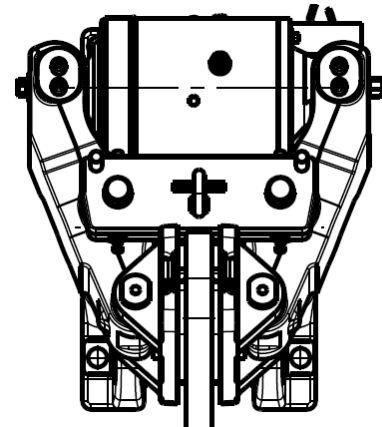


Figure 6: zoom sur le frein de sécurité

Le frein (figure 7) s'activera automatiquement en cas de perte d'énergie (on parle de frein « normalement fermé »).

Il est prévu de l'utiliser dans les cas :

- de détection de survitesse,
- d'utilisation de l'arrêt d'urgence par l'opérateur,
- de coupure d'alimentation électrique.

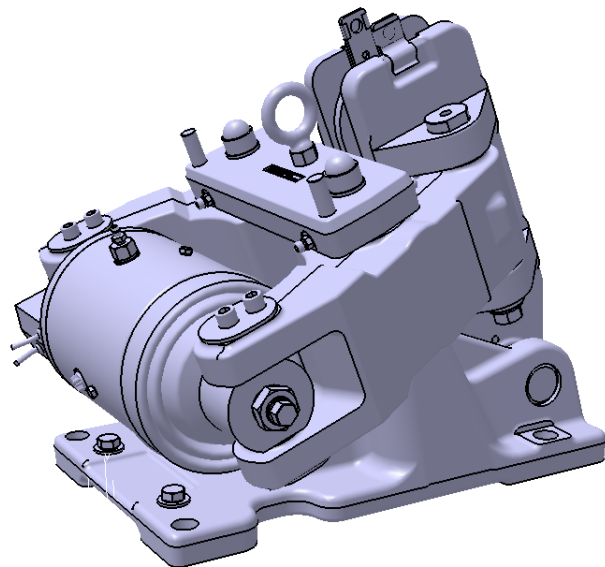


Figure 7: vue 3 D du frein de sécurité

Déroulement de l'épreuve:

Pour structurer la démarche, vous suivrez les étapes suivantes:

Partie 1 : Analyse du frein à disque de sécurité.

Partie 2 : Modélisation du système en vue de vérifier ses performances.

Partie 3 : Étude de régulation du freinage.

Les parties 1 et 2 sont à préparer pendant la phase de préparation. La partie 3 sera fournie par l'interrogateur et traitée pendant l'interrogation.

Partie 1 : Analyse du système mécanique.

Temps de préparation conseillé : 20 min

Deux systèmes sont décrits dans les diagrammes SysML du diaporama : l'ascenseur funiculaire d'une part, le frein de sécurité d'autre part.

1.1 ANALYSE SYSTEME

Cette partie est à exposer au début de l'interrogation.

1-1-a

A partir de l'analyse des diagrammes SysML du diaporama, précisez le nombre de tambours de treuils , de câbles et de contrepoids en relation avec un bac.

Quel est le principe retenu pour faire monter ou descendre un bac ?

1-1-b

Localisez sur le plan d'ensemble les différents éléments correspondants au diagramme de blocs du frein.

Pour ce système du frein de sécurité, précisez les différents blocs du diagramme de bloc permettant de satisfaire des exigences du diagramme des exigences.

1.2 ANALYSE DES SOLUTIONS PLURITECHNOLOGIQUES

1-2-a

Pour chacune des liaisons suivantes, analysez (type de liaison, architecture, conditions fonctionnelles) , justifiez et critiquez la solution technologique retenue

- liaison entre les demi-arbres de vérin **(17)** et les bras **(2)** ou **(3)**,
- liaison entre le couvercle **(20)** et le cylindre **(22)**,

1-2-b

Etude de la liaison Axe**(4)** / bras **(3)**.

Justifiez le montage employé et précisez le type d'ajustement nécessaire pour un bon fonctionnement.

1-3 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT INTERNE

1-3-a

A partir du plan du mécanisme et son diagramme de contexte, décrivez le fonctionnement interne du mécanisme.

1-3-b

Précisez la solution technologique permettant de répondre à l'exigence « Le frein doit pouvoir être manœuvré manuellement »

Partie 2 : Modélisation

Temps de préparation conseillé : 20 min

L'objectif de cette partie est d'établir un modèle de l'ensemble de la salle des machines qui permettra de vérifier que le type de frein TH9-2 commercialisé par la société Stromag, utilisé pour chacun des 4 freins de sécurité, fournit les performances de freinage attendues pour l'ascenseur à bateaux.

Données de masses et d'inerties :

La salle des machines (voir figure 4) est composée de différents sous-ensembles en mouvement :

- quatre sous-ensembles {rotor moteur ; frein} : (rotation)
 $I_{\text{mot}} = 57,88 \text{ kg.m}^2$: inertie d'un sous-ensemble autour de son axe
- un tambour équivalent : (rotation)
 $I_{\text{eq rot}} = 139,7.10^6 \text{ kg.m}^2$: cette inertie exprimée sur l'axe d'un tambour prend en compte les inerties des éléments suivants: réducteurs, arbres de la boucle de synchronisation, tambours, portions des câbles enroulées sur les tambours
- les câbles montants : (translation)
la masse de ces câbles dépend de leur longueur.
 $\rho_{\text{câbles}} = 4356 \text{ kg/m}$: masse linéique de l'ensemble des câbles
- les câbles descendants : (translation)
idem
- le bac : (translation)
 $m_b = 8385 \text{ tonnes}$: masse du bac
- les 24 contrepoids :
 $m_c = 322 \text{ tonnes}$: masse d'un contrepoids

Données constructives :

- $c = 11,10 \text{ m}$; $h = 84,6 \text{ m}$; rayon tambour $R = 2,4 \text{ m}$
- rapport de réduction: $r = \frac{\text{vitesse de rotation tambour}}{\text{vitesse de rotation moteur}} = \frac{1}{1250}$

2-1

Dans cette étude, on cherche à établir un modèle très simplifié dans lequel apparaît une seule chaîne cinématique équivalente à l'ensemble de la salle des machines.

Ce modèle simplifié est ébauché sur la figure 11 avec la représentation des éléments suivants : tambour équivalent, contrepoids, câbles et bac.

Faites apparaître sur ce modèle également de façon simplifiée les 4 sous-ensembles {rotor moteur ; frein} en prenant en considération le fait qu'ils ne tournent pas à la même vitesse que le tambour équivalent.

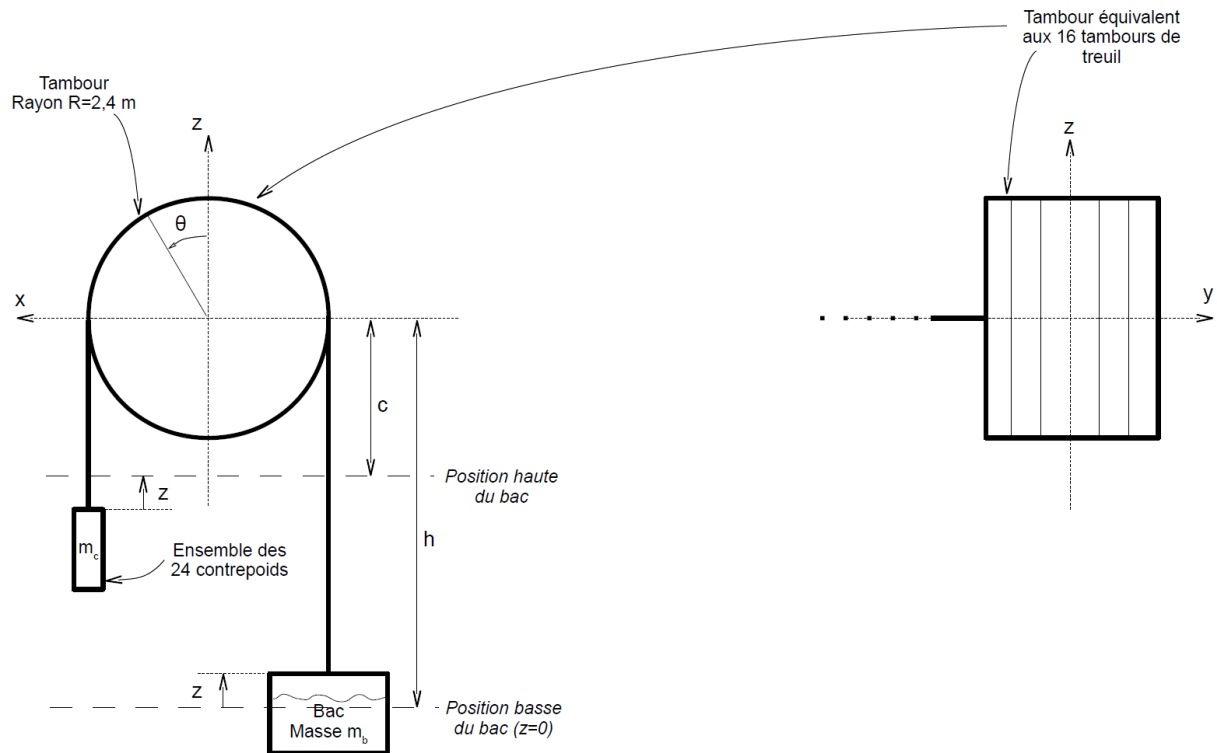


Figure 11 : Ebauche de modélisation

2-2

Proposez une méthode de résolution permettant d'établir l'expression du couple de freinage C_f exercé par chacun des 4 freins en phase de freinage en fonction de l'accélération angulaire du tambour $\theta''(t)$.

2-3

Le cahier des charges de l'ascenseur impose un freinage d'urgence réalisé sur une distance (déplacement du bac vers le bas) $\Delta z = 1$ m en 2 s, ce qui conduit, compte tenu du paramétrage, à une décélération du bac $z'' = +0.5$ m/s².

Un frein Stromag TH9-2 peut fournir un couple de freinage $C_f = 31120$ N.m

Quelle démarche peut-on suivre pour vérifier que le cahier des charges est bien rempli ?

Partie 3 : Fabrication

Dans certains cas d'utilisation, le constructeur du frein a pu constater un problème de fiabilité de la liaison encastrement entre le piston principal (25) et le piston secondaire (30), se traduisant par la rupture de la vis (29).

Il est donc envisagé de remplacer l'ensemble piston {25 ; 30} par un piston unique (figure 13).

A cet effet, on souhaite définir un couple procédé-matériau pour le nouveau piston ainsi que les principales étapes de son élaboration (brut, usinage, traitement thermique).

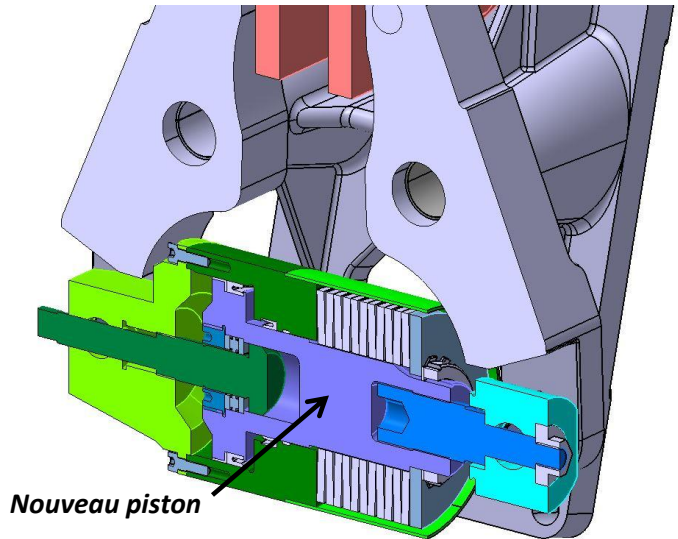


Figure 13: vue 3 D en coupe du frein de sécurité

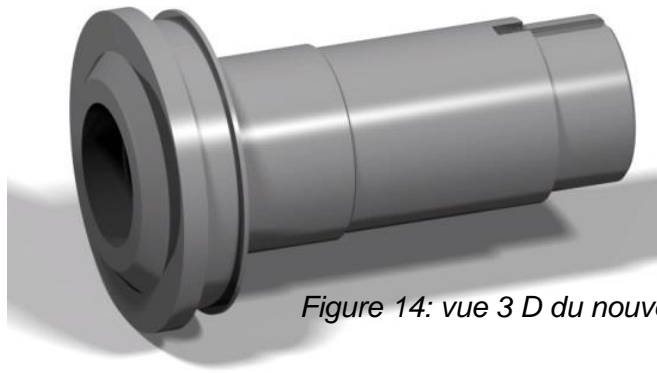


Figure 14: vue 3 D du nouveau piston

3-1

A partir du dessin de définition de la pièce, interprétez et justifiez la spécification géométrique liée à la référence **A**

3-2

Le matériau retenu pour cette pièce est un acier 34CrMo4 trempé. Ses caractéristiques vous sont données en annexe.

Quelles peuvent être les différentes raisons du choix de cet acier et d'un traitement thermique associé?

Compte tenu des caractéristiques obtenues par chacune des trempes (voir annexe), donner les conséquences du choix de l'une ou l'autre sur la gamme de fabrication de ce nouveau piston.

3-3

Après avoir défini la forme de la pièce brute, Choisissez une cinématique de machine pour l'usinage de la pièce.

Annexe : Caractéristiques de l'acier 34CrMo4

DÉSIGNATIONS

Normes européennes :

- Symbolique : 34CrMo4
- Numérique : 1.7220

AECMA :

- Désignation : FE-PL45

AIR : 35 CD 4

WL : 1.7220, 1.7224

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

- Etat recuit : chauffage à 825 °C suivi d'un refroidissement lent.

- Dureté Brinell : 217

- Trempe à l'huile à 850 °C. Revenu à 600 °C.

- Résistance : 1050 N/mm²
- Limite d'élasticité à 0,2 % : 950 N/mm²
- Allongement sur 5d : 16,5 %
- Résilience KCU : 100 J/cm²

- Trempe à l'huile à 850 °C. Revenu à 675 °C.

- Résistance : 900 N/mm²
- Limite d'élasticité à 0,2 % : 750 N/mm²
- Allongement sur 5d : 20 %
- Résilience KCU : 140 J/cm²

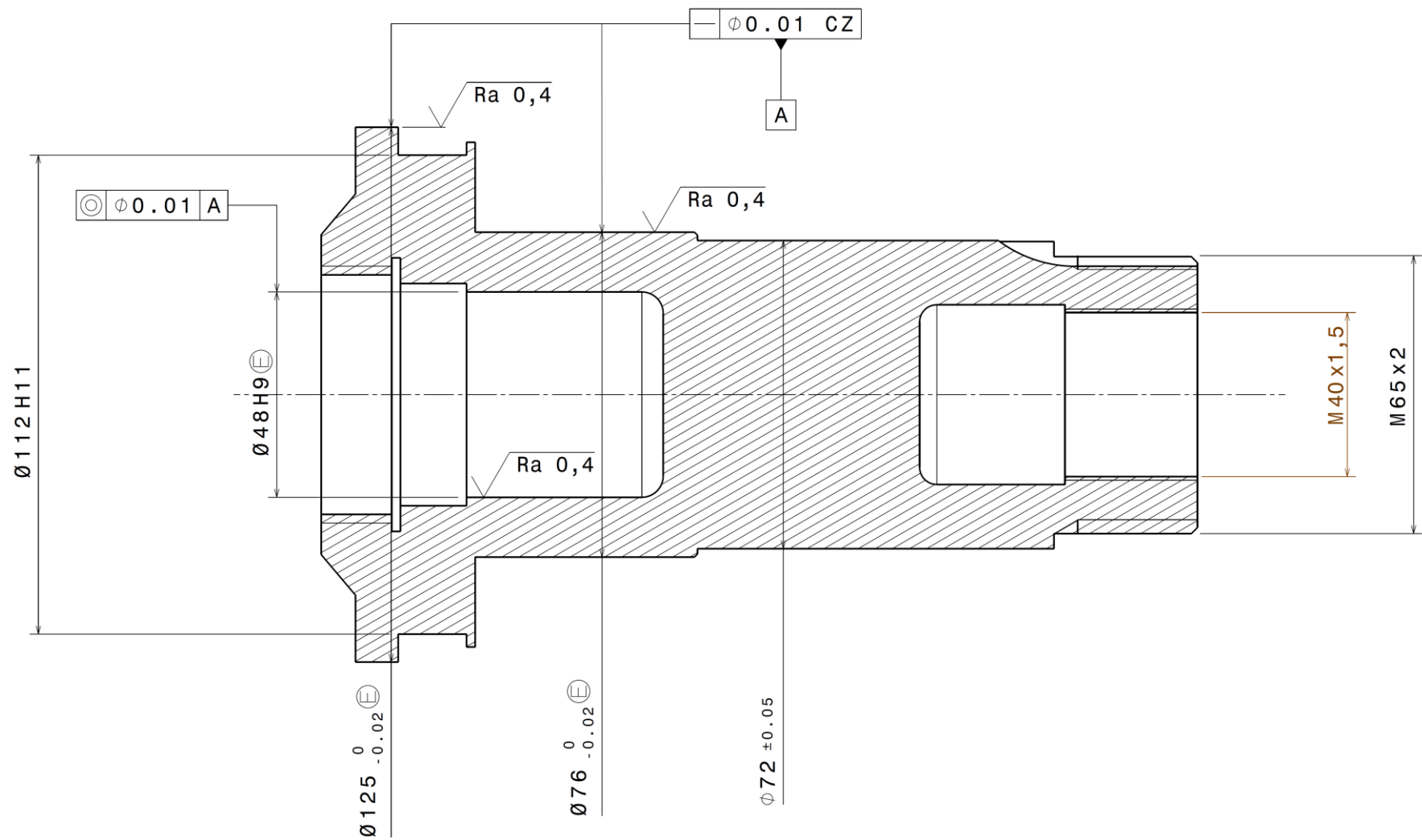
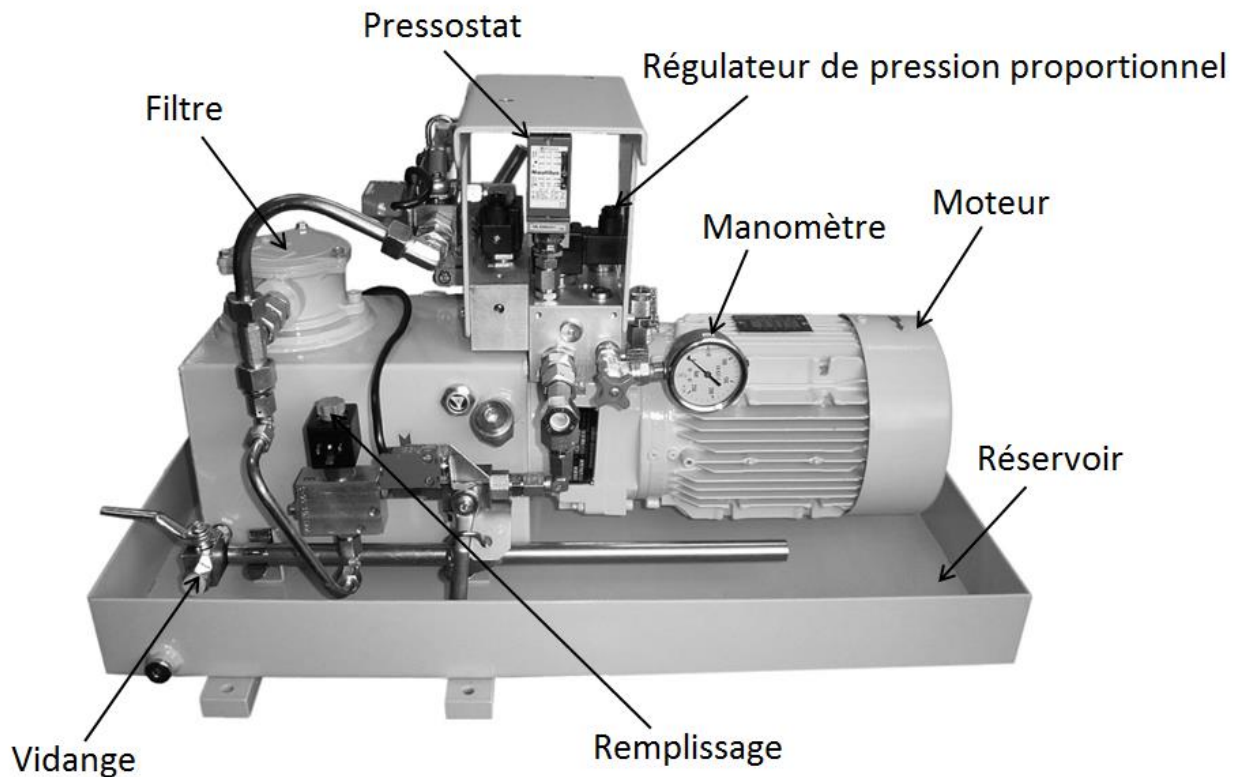


Figure 15: dessin de définition du nouveau piston
(cotation partielle)

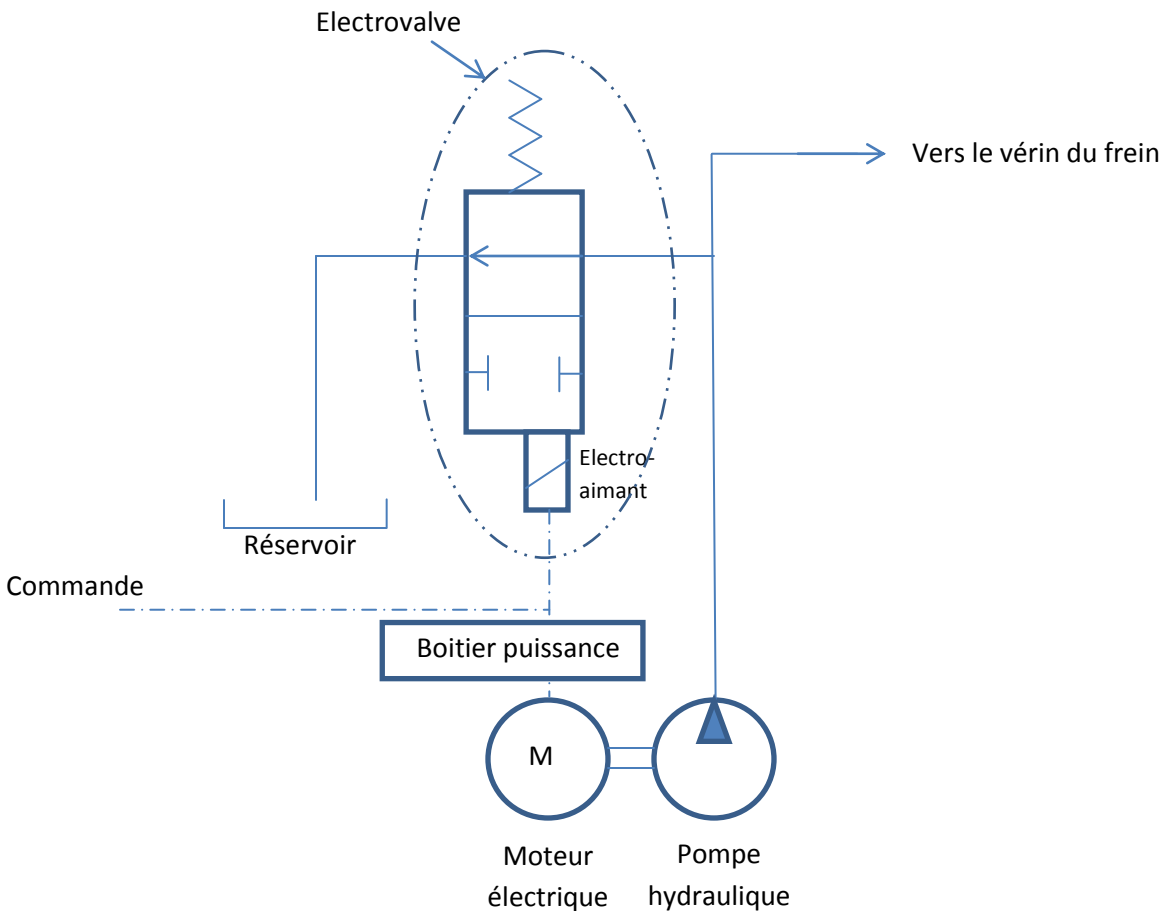
Partie 3 : Étude de régulation du freinage.

L'implantation des freins de sécurité Stromag sur la chaîne cinématique de l'ascenseur à bateaux va nécessiter l'intégration d'une valve à effet proportionnel dans la centrale hydraulique permettant d'obtenir un freinage régulé.



Une centrale hydraulique, équipée d'une pompe à engrenages et d'un moteur asynchrone triphasé, a été conçue pour délivrer un débit destiné à ouvrir les freins de sécurité à disques.

Initialement, la fermeture des freins est obtenue grâce à une électrovalve.



Lors d'une commande d'ouverture des freins, la valve se ferme et le moteur démarre simultanément. Ce moteur entraîne la pompe à engrenages qui fournit un débit d'huile permettant d'ouvrir les pinces.

La mise hors tension du moteur et de la valve provoque le retour de l'huile au réservoir de la centrale et l'annulation de la pression de travail. Ainsi, les pinces retombent et appliquent le couple de freinage.

Pour garantir un freinage régulé, notamment en cas de détection de survitesse, on envisage d'équiper la centrale hydraulique d'un régulateur de pression proportionnel, tout en conservant la fonction de freinage tout ou rien.

Sans entrer dans les détails de fonctionnement, un régulateur de pression proportionnel a la faculté de délivrer une pression de sortie proportionnelle à l'intensité du courant électrique qui traverse la bobine de son électroaimant, quel que soit le débit de fluide. Ainsi, le réglage de la pression d'alimentation du vérin peut se faire de façon continue et permet d'ajuster avec précision le couple de freinage.

3-1

Le régulateur de pression proportionnel est constitué d'une carte électronique de pilotage (amplificateur), d'un solénoïde proportionnel à courant continu et d'un tiroir distributeur.

En règle générale, la régulation de la position du tiroir du régulateur de pression est réalisée en boucle ouverte (figure 16).

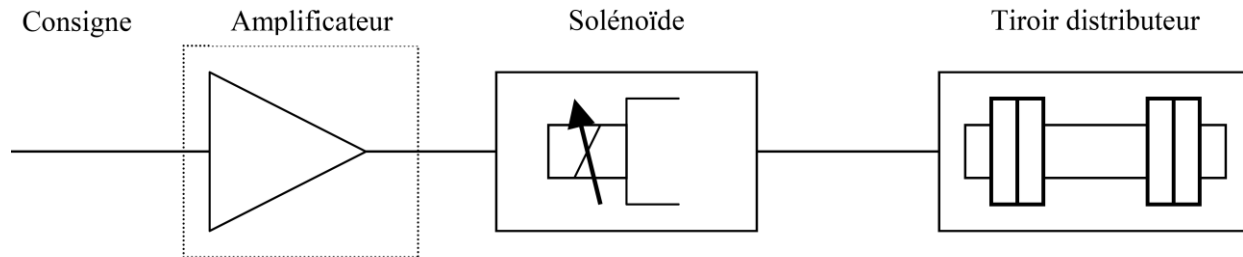


Figure 16: schéma bloc du système de positionnement du tiroir du régulateur de pression (boucle ouverte)

Après avoir rappelé les différences entre une régulation et un asservissement, identifiez les variables d'entrée et de sortie des différents blocs ci-dessus.

3-2

Pour s'affranchir de la moindre erreur de position du tiroir (engendrée notamment par des forces de frottements secs, des forces hydrodynamiques liées à la circulation du fluide, des phénomènes d'hystérésis, ...), on intègre un capteur de position au tiroir du régulateur de pression, de manière à délivrer un signal proportionnel à la position de celui-ci. Ce signal est utilisé comme feed-back vers la carte d'amplification de manière à permettre un positionnement précis.

Proposez, à l'aide d'un schéma bloc, une modélisation du système permettant de décrire ce nouveau dispositif.

3-3

Proposez et détaillez une technologie de capteur de position pouvant équiper le limiteur de pression à effet proportionnel.