Concours Commun INP (CCINP), France

Session 2015, filière TSI

Sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 6 heures

Ce que traite le sujet

- Partie 1 : présentation
- Partie 2 : accouplement en entrée de la boîte de transmission
- Partie 3 : accouplement en sortie de la boîte de transmission
- Partie 4 : supervision

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années : prepahelp.com/annales/ccinp/tsi/2015/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CONCOURS COMMUNS POLYTECHNIQUES

EPREUVE SPECIFIQUE - FILIERE TSI

SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR

Durée : 6 heures

N.B. : le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction. Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Les calculatrices sont autorisées

L'épreuve comporte trois dossiers :

- le sujet de 19 pages composé de quatre parties indépendantes ;
- les annexes de 8 pages, numérotées de A-1 à A-8 ;
- le document réponse de 6 pages à rendre avec la copie.

Pour des raisons de confidentialité ou pour simplifier l'étude, certaines données ou certaines valeurs numériques ont pu être modifiées.

La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte.

Pour chaque calcul, on écrira successivement l'expression littérale, puis l'expression numérique et enfin l'application numérique.

ETUDE D'UN BANC D'ESSAI DE BOITE DE TRANSMISSION PRINCIPALE D'HELICOPTERE

PARTIE 1 - PRESENTATION

1.1 Contexte général

Airbus Helicopters commercialise des hélicoptères civils et militaires. Pour les Etats ou les Entreprises faisant l'acquisition de ces machines, un des critères de choix est la masse qui peut être embarquée ou déplacée. Ainsi, pour les hélicoptères de la gamme EC 145, la masse à transporter est de 3 585 kg. Cette charge va influer sur les dimensions de l'appareil et sur la puissance à fournir par les turboréacteurs.

Le déplacement des hélicoptères est assuré par un rotor principal permettant la sustentation et la translation de l'appareil. Un rotor arrière permet de compenser le couple de réaction engendré par le rotor principal et de contrôler les mouvements de lacet de l'appareil (figure 1).

La puissance est délivrée par deux turboréacteurs (certains hélicoptères ne sont équipés que d'un turboréacteur). Ces turboréacteurs entraînent en rotation une boîte de transmission principale (BTP) qui elle-même entraîne d'une part le rotor principal et d'autre part le rotor arrière, par l'intermédiaire d'un arbre de transmission et d'une boîte de transmission arrière (BTA). La BTP assure aussi l'entraînement d'une série d'accessoires permettant le fonctionnement de l'appareil (alternateur, pompe hydraulique …).

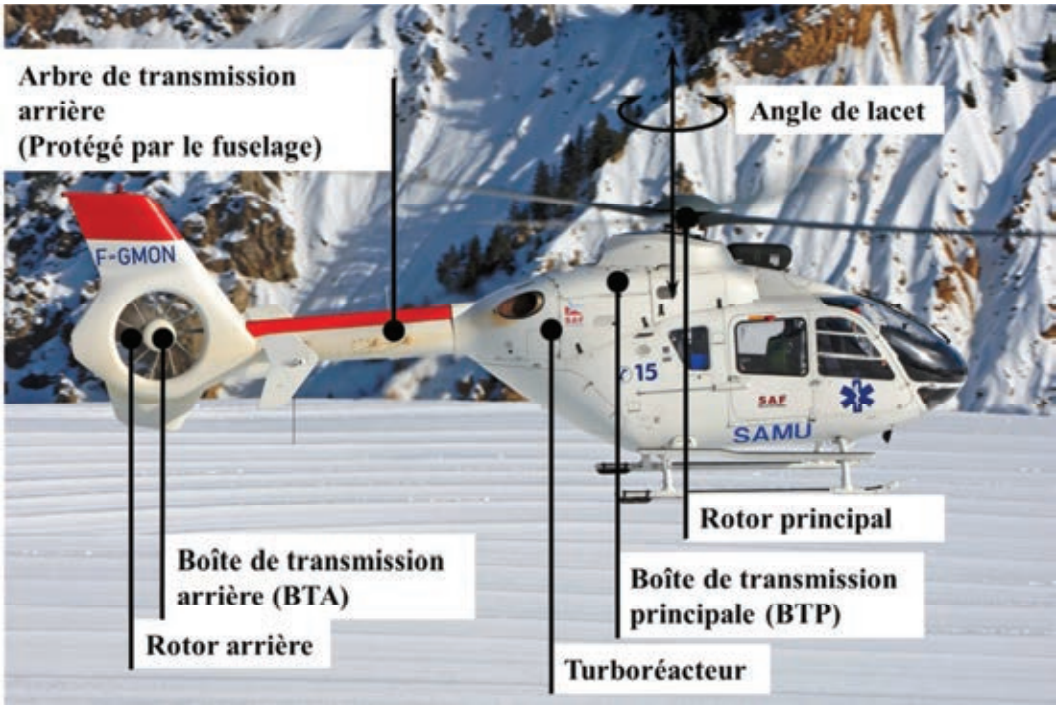


Figure 1 – Constituants principaux de la motorisation d'un hélicoptère

Pour chaque association hélicoptère - turboréacteur, Airbus Helicopters conçoit, fabrique et assemble une BTP. Cet ensemble étant au cœur du fonctionnement et de la sûreté de l'appareil, il nécessite une attention particulière et c'est ainsi qu'un banc d'essai permet de vérifier qu'il répond au cahier des charges.

Dans le cadre de notre étude on s'intéresse aux BTP équipant les hélicoptères de la gamme EC 145. Ces hélicoptères sont utilisés par la sécurité civile (pour participer à des opérations de sauvetage en mer, en montagne…), par la gendarmerie nationale ou encore par les compagnies pétrolières ou gazières pour accéder aux installations offshores.
Suivant les configurations, ces hélicoptères peuvent transporter jusqu'à 10 passagers et 2 pilotes. Ils sont équipés d'un rotor principal de 11 m de diamètre et d'un rotor de queue de 1,96 m de diamètre. Ils peuvent transporter jusqu'à 3 585 kg.

1.2 Banc d'essai de la boîte de transmission principale (BTP)

Afin de vérifier les performances des BTP fabriquées, celles-ci sont testées sur un banc d'essai dont un diagramme partiel des cas d'utilisation est donné figure 2.



Figure 2 – Diagramme partiel des cas d'utilisation du banc d'essai

Ce banc d'essai doit notamment permettre de valider que :

- la puissance fournie par la BTP est bien celle requise pour garantir le fonctionnement de l'appareil ;
- la structure de la BTP résiste aux différentes sollicitations ;
- les durées de vie des éléments constitutifs de la BTP sont bien celles prévues par le bureau d'études.

Le diagramme de contexte figure 3 présente l'ensemble des acteurs en relation avec le banc d'essai.

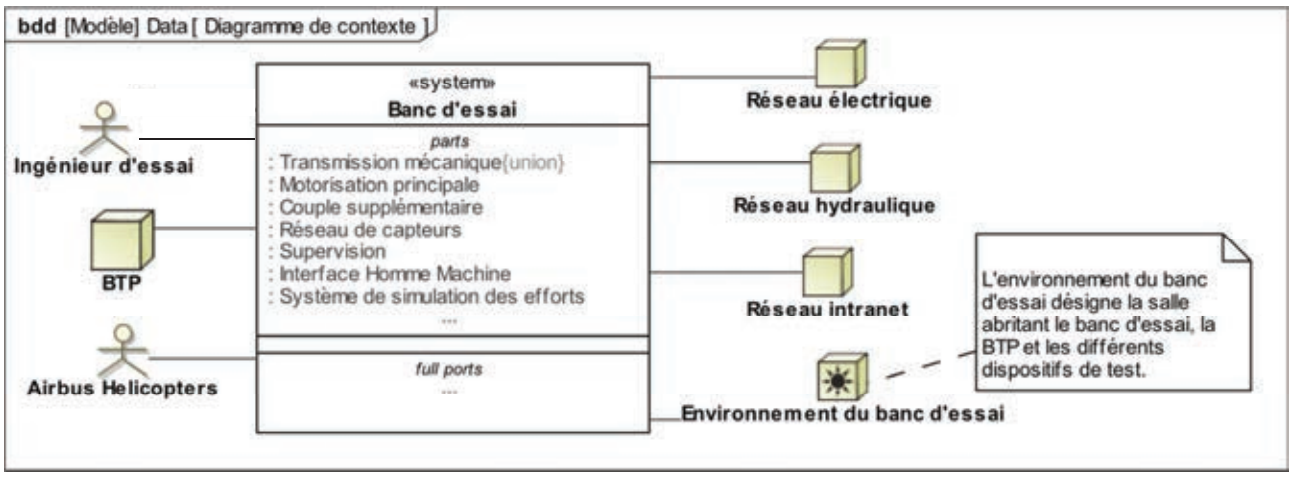


Figure 3 – Diagramme de contexte du banc d'essai

La figure 4 précise une partie des exigences auxquelles doit répondre le banc d'essai.

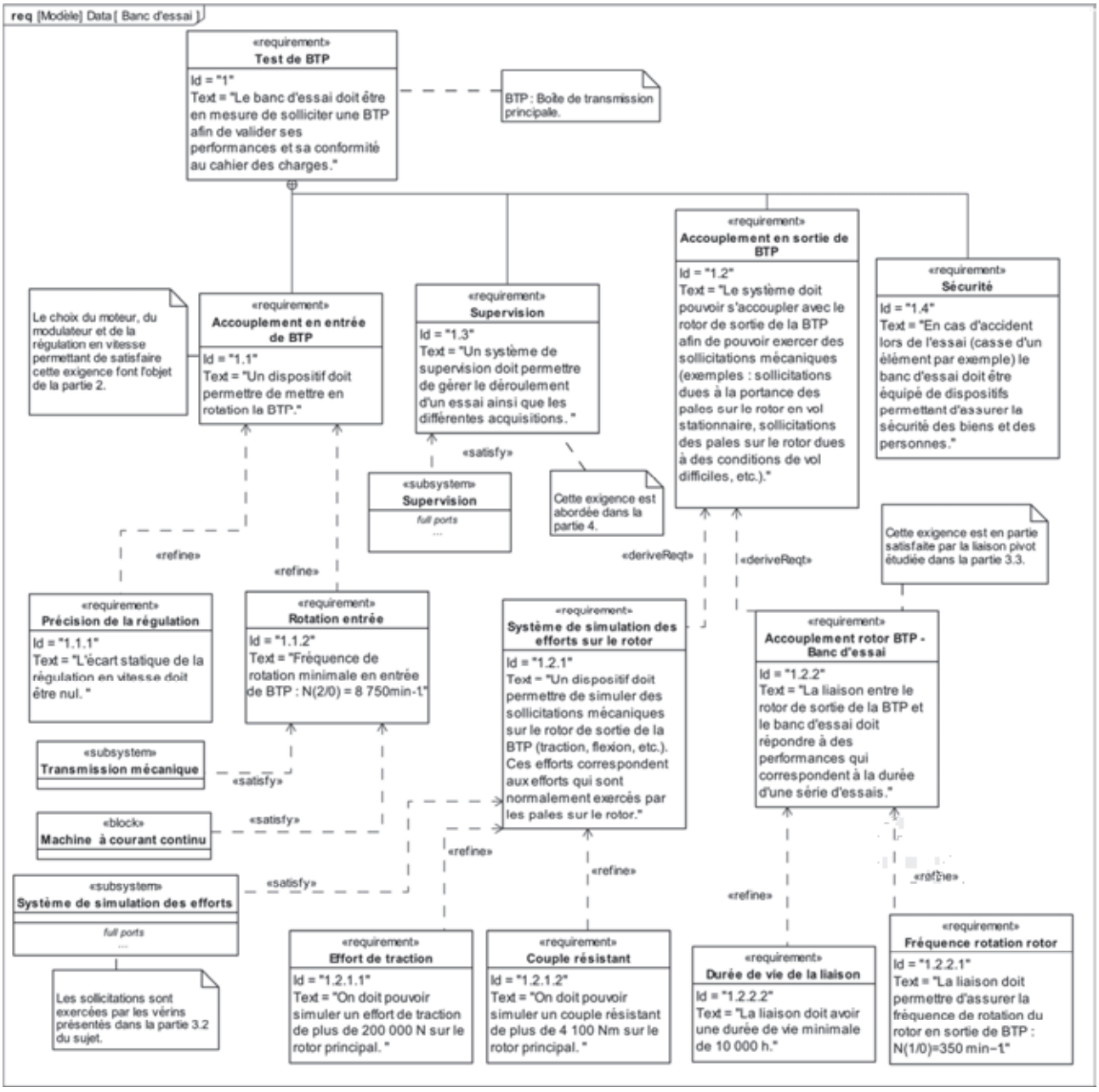


Figure 4 – Diagramme partiel des exigences du banc d'essai BTP

1.2.1 Chaîne d'énergie du banc d'essai

Le banc d'essai se présente sous la forme d'un châssis permettant d'assurer la liaison avec la BTP (figure 5, page 5). Il est équipé d'un moteur à courant continu piloté par un variateur lui-même alimenté par un transformateur. Ce moteur entraîne une succession de réducteurs entraînant eux-mêmes deux arbres reliés aux deux entrées de la BTP (figure 6, page 5). La BTP agit alors sur le rotor principal de l'hélicoptère. Le respect des caractéristiques des cycles d'essais est assuré par un asservissement en vitesse et en couple.



Figure 5 – Banc d'essai BTP

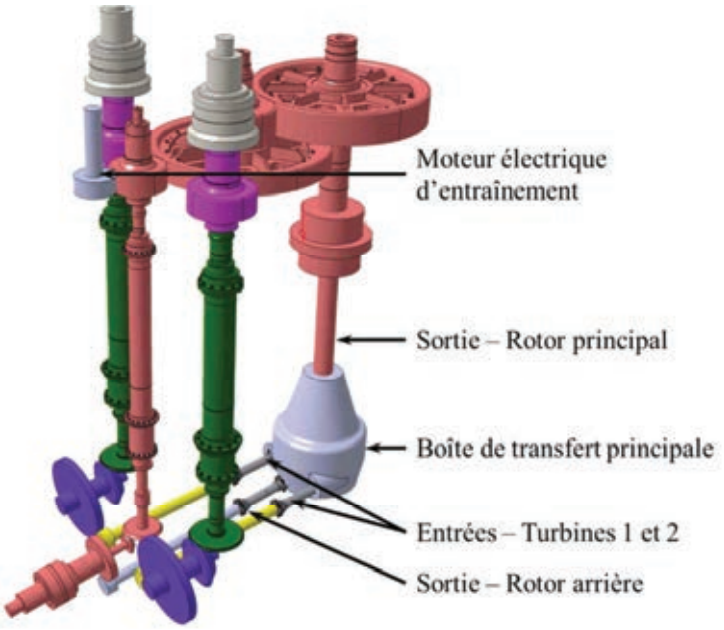


Figure 6 – Chaîne cinématique

Des vérins (intégrés au système de simulation des efforts) permettent d'appliquer les efforts simulant la portance de l'appareil en sortie de la BTP. Ces informations sont synthétisées sur le diagramme de bloc interne partiel du banc (figure 7).

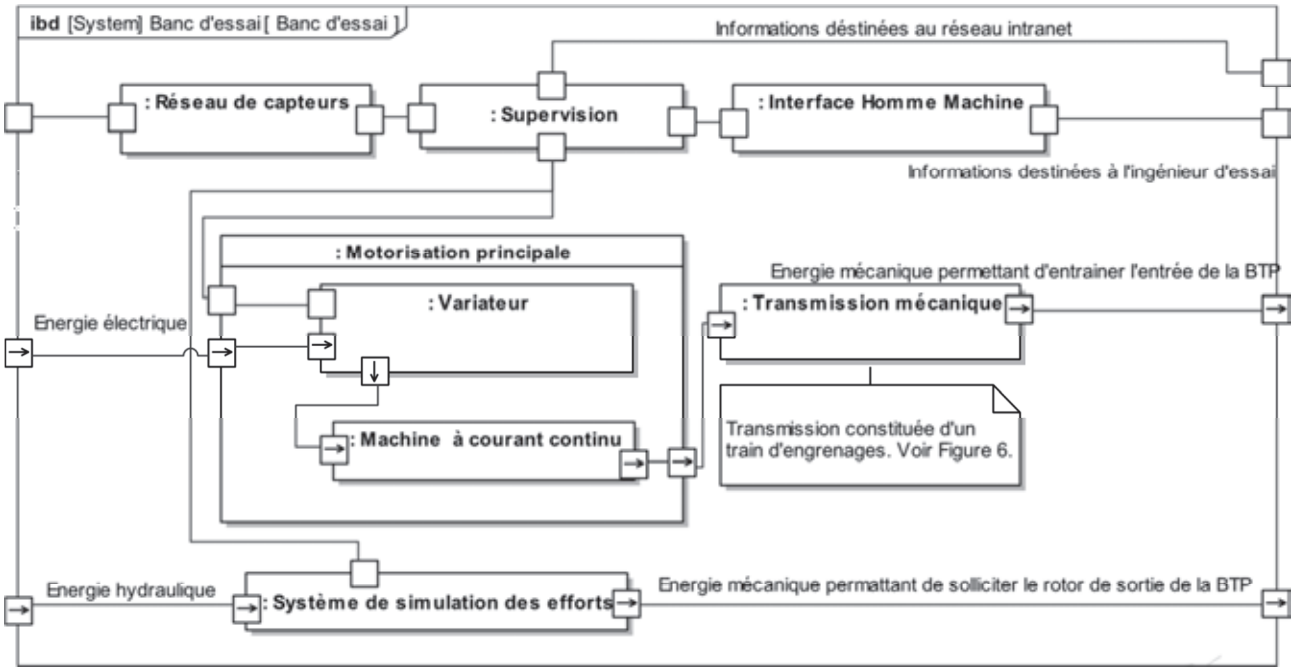


Figure 7 – Diagramme de bloc interne partiel du banc d'essai

1.2.2 Chaîne d'acquisition du banc d'essai

Un système de supervision permet de gérer les diverses acquisitions disponibles sur le banc d'essai (vitesse, couple, température, pression…). Pour cela, il est relié par réseau ETHERNET à des centrales de mesures permettant de gérer jusqu'à 32 capteurs. Les informations sont transférées par trame MODBUS et sont stockées dans des bases de données. L'ensemble des équipements se trouve dans la salle de contrôle (salle climatisée et insonorisée) située à plusieurs dizaines de mètres du banc.

1.2.3 Fonctionnement d'un cycle d'essai

Le cycle d'essai est programmé depuis le superviseur du banc ou récupéré à partir de la base de données du constructeur. Il peut durer plusieurs centaines d'heures. Il comprend différentes phases de tests de la boîte de vitesse (couple constant, vitesse constante, cycles spécifiques de mise en couple et de montée en vitesse qui proviennent de l'expérience de l'entreprise). La boîte de vitesse tourne toujours dans un seul sens. Cependant, le banc de test permet la rotation en sens inverse à vitesse très lente.

1.3 Objectifs de l'étude

Dans le cadre de cette étude, on se propose de répondre aux questions suivantes.

- Quel actionneur choisir, sur le banc d'essai, pour fournir en entrée de BTP une puissance mécanique identique à celle fournie par les turbomachines ?
- Quelles solutions technologiques choisir, sur le banc d'essai, pour simuler en sortie de BTP les sollicitations des pales ?
- Les solutions permettant la gestion des mesures par le système de supervision respectent-elles le cahier des charges ?

1.4 Appropriation du support de l'étude

Question 1 Vous utiliserez le document réponse **DR 1**. En utilisant les éléments présentés précédemment, compléter la chaîne fonctionnelle associée au banc de mesures permettant la mise en rotation de la BTP (vous complèterez donc chacune des fonctions de la chaîne d'information et de la chaîne d'énergie).

PARTIE 2 - ETUDE DE L'EXIGENCE 1.1 - ACCOUPLEMENT EN ENTREE DE LA BTP

Les parties 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 peuvent être traitées de manière indépendante.

Objectifs

- **Choisir un moteur à courant continu et le modulateur d'énergie associé.**
- **Valider la régulation en vitesse du banc d'essai.**

Connaissant la puissance mécanique à fournir en sortie de la BTP et connaissant la structure cinématique du banc d'essai, le but de cette partie est de déterminer dans un premier temps la motorisation et le convertisseur nécessaires au fonctionnement du banc d'essai.
Dans un second temps, il faudra vérifier que la commande du moteur permet d'assurer une vitesse constante (et de même valeur) du rotor lorsqu'un couple résistant lui est appliqué.

2.1 Objectifs et hypothèses de travail

La figure 8 présente l'architecture cinématique simplifiée du banc d'essai présenté sur la figure 6 (page 5).

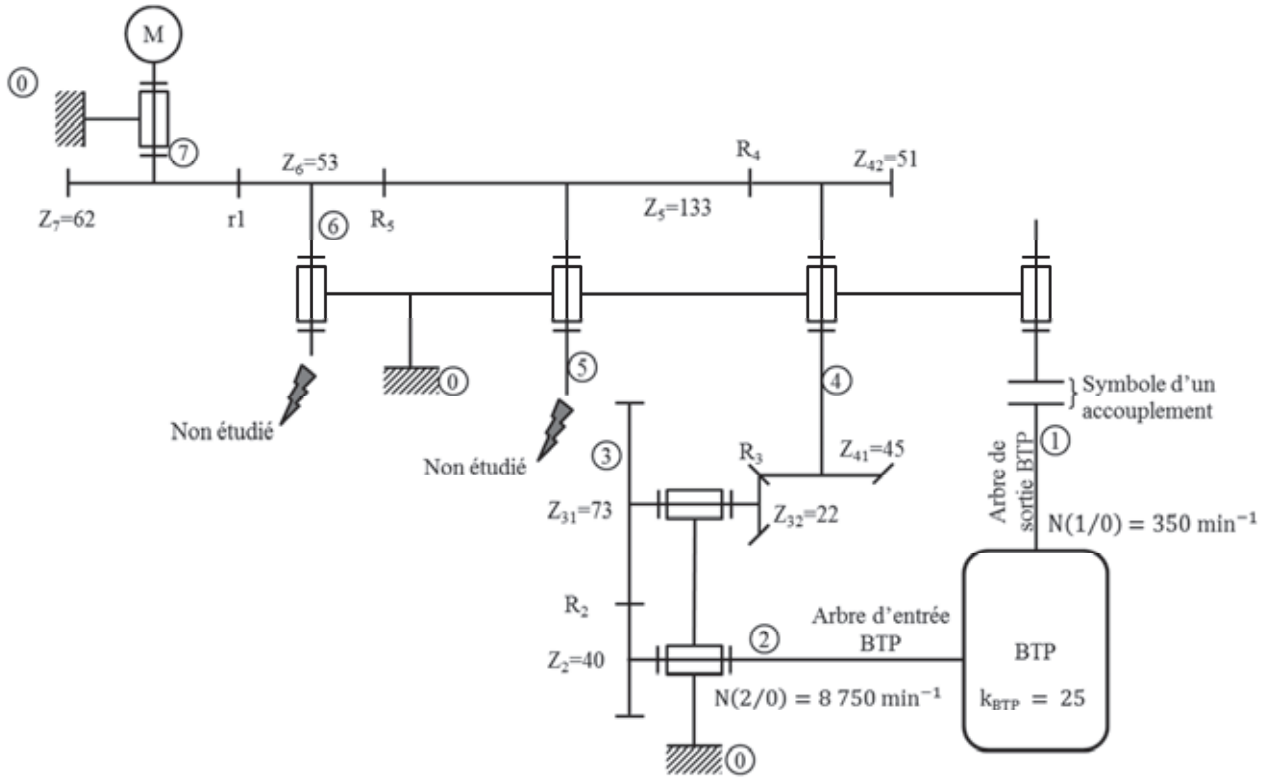


Figure 8 – Schéma cinématique simplifié du banc d'essai

Sur l'hélicoptère, la BTP est alimentée par deux turbines. Sur le banc d'essai la motorisation est assurée par un seul moteur à courant continu. Différents trains d'engrenages permettent alors d'alimenter les deux entrées de la BTP. Dans notre étude, nous nous intéresserons à une seule chaîne de transmission (l'entrée correspondant à la seconde turbine ainsi que la sortie rotor arrière ne sont pas représentées sur le schéma).

On note :

- $k_{BTP} = 25$ le rapport de transmission de la BTP est défini par $\frac{N(1/0)}{N(2/0)} = \frac{1}{k_{BTP}}$;
- $\eta = 0{,}98$ le rendement de la BTP et de chacune des transmissions par engrenages en régime permanent ;
- $N(2/0) = 8\,750\ \text{min}^{-1}$ la fréquence de rotation en entrée de BTP (fréquence de rotation des turbines entraînant la BTP) ;
- $N(1/0) = 350\ \text{min}^{-1}$ la fréquence de rotation en sortie de BTP (la fréquence de rotation du rotor) ;
- $C_1 = 4\,100\ \text{Nm}$ le couple transmis par l'arbre de sortie de la BTP (ce couple étant nécessaire pour assurer la rotation des pales et le vol de l'hélicoptère).

2.2 Choix d'un moteur électrique et du convertisseur associé

Question 2 Déterminer le couple $\mathbf{C_2}$ à fournir en entrée de la BTP.

Question 3 Calculer le rapport de transmission de l'arbre moteur jusqu'à l'entrée de la boîte de vitesses. On exprimera pour cela le rapport $\mathbf{k_T = \frac{N(2/0)}{N(7/0)}}$. En déduire la fréquence de rotation du moteur électrique $\mathbf{N(7/0)}$ en $\mathbf{min^{-1}}$.

Question 4 En faisant un bilan de puissance à chacun des étages de réduction et en tenant compte du rendement des transmissions par engrenages, calculer le couple $\mathbf{C_7}$ que doit fournir le moteur électrique et la puissance mécanique utile.

Outre le rotor, la BTP doit entraîner le rotor arrière ainsi que divers accessoires qui lui sont accouplés. Dans la suite on prendra donc les valeurs suivantes :

- tension réseau alimentation 3×380 V ;
- fréquence de rotation du moteur : $1\,920\ \text{min}^{-1}$ (fréquence maximale : $2\,500\ \text{min}^{-1}$) ;
- couple mécanique nécessaire en sortie du moteur électrique (arbre 7) : $1\,315$ Nm.

Question 5 Les concepteurs du banc ont fait le choix d'utiliser un moteur à courant continu. Déterminer la référence du moteur électrique nécessaire (vous détaillerez votre réponse en appliquant la méthode proposée par Leroy-Somer en annexe 1 (pages A-1 et A-2)).

Question 6 A l'aide de l'annexe 2 (pages A-3 et A-4), déterminer la référence du convertisseur (on souhaite que pendant les phases de freinage, l'énergie dissipée soit récupérée sur le réseau).

Question 7 Vous utiliserez le document réponse **DR 2**. Le banc doit permettre d'inverser le sens de rotation du moteur (de quadrant 1 à quadrant 3). Quelles grandeurs électriques doit-on inverser sur le moteur ? Expliquer comment avec la structure électronique à double pont de GRAETZ, donnée dans le document réponse DR 2, on va obtenir cette inversion. Préciser le groupe de thyristors qui sera commandé (**entourer votre réponse en rouge**). Vous trouverez des informations sur le moteur à courant continu en annexe 2 (pages A-3 et A-4) et sur les thyristors - interrupteurs de puissance à 3 segments en annexe 3 (page A-5).

Question 8 Indiquer dans le document réponse **DR2** quelle procédure permet à la machine à courant continu de fonctionner en mode moteur et en mode génératrice (voir annexe 2, pages A-3 et A-4). Plusieurs solutions sont proposées :

- inversion de la tension d'inducteur ;
- inversion de la tension d'induit ;
- inversion du courant d'inducteur ;
- inversion du courant d'induit.

Sur le schéma électrique relatif à la question 7 du document DR2, préciser le parcours du courant dans les thyristors :

- en **rouge** pour la phase moteur : quadrant 1 (voir annexe 2, pages A-3 et A-4) ;
- en **vert** pour la phase génératrice (récupération d'énergie) : quadrant 2 (entourer en vert le groupe de thyristors commandés).

Question 9 Vérifier que le convertisseur permet de fournir la puissance d'excitation nécessaire.

Question 10 Après avoir fait le bilan des puissances à fournir, calculer le rendement global de la machine à courant continu.

2.3 Etude du moteur à courant continu

Indépendamment du choix de la partie précédente, on souhaite utiliser un moteur 2254 VL développant une puissance de 273 kW.
Le banc d'essai est équipé d'un dispositif permettant de générer un couple résistant sur le rotor de sortie de la BTP. Cela permet de simuler les actions aérodynamiques sur les pales. Il faut donc évaluer l'impact de ce couple sur la vitesse du moteur.
La modélisation adoptée pour le moteur à courant continu est celle de la figure 9.

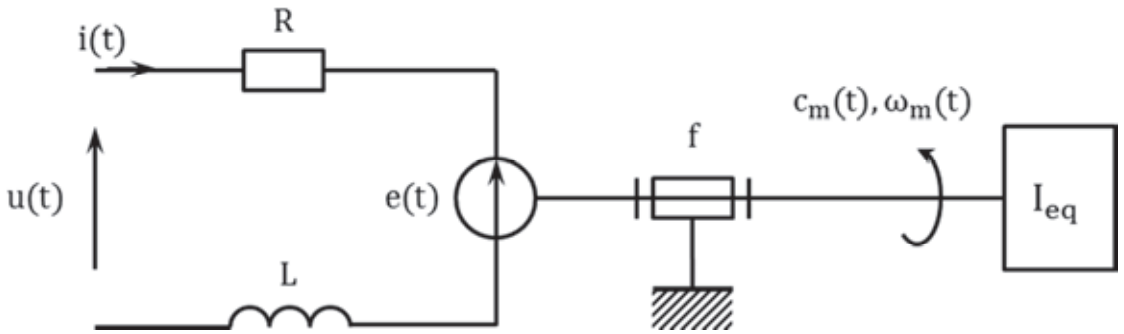


Figure 9 – Schéma équivalent du moteur à courant continu

On note :

- $u(t)$: la tension appliquée aux bornes de l'induit ;
- $i(t)$: le courant absorbé par l'induit ;
- $e(t)$: la force contre-électromotrice ;
- R : la résistance de l'induit ;
- L : l'inductance de l'induit ;
- $\omega_m(t)$: la vitesse de rotation de l'arbre moteur ;
- $c_m(t)$: le couple moteur ;
- $c_r(t)$: le couple résistant sur l'arbre moteur dû à la génération d'un couple résistant en sortie de BTP ;
- f : le coefficient de frottement, qui génère un couple résistant proportionnel à $\omega_m(t)$;
- I_{eq} : l'inertie équivalente du banc d'essai ramené à l'arbre moteur ;
- K_c : la constante de couple définie telle que :

$$c_m(t) = K_c \cdot i(t) \qquad \textbf{(équation 1)}$$

- K_e : la constante de force contre-électromotrice définie telle que :

$$e(t) = K_e \cdot \omega_m(t)\,. \qquad \textbf{(équation 2)}$$

Hypothèses

- le comportement de chacun des composants sera considéré comme linéaire, continu et invariant ;
- les conditions de Heaviside sont considérées comme vérifiées ;
- on note p la variable de Laplace. La transformée de Laplace d'une fonction temporelle $f(t)$ sera notée $F(p)$ (la transformée de $\omega(t)$ sera notée $\Omega(p)$).

Question 11 En justifiant, donner la relation électrique entre $\mathbf{e(t)}$, $\mathbf{i(t)}$ et $\mathbf{u(t)}$.

On se réfère de nouveau au schéma cinématique présenté figure 8 (page 7). On note I_i le moment d'inertie du solide i autour de l'axe de rotation du solide.

Question 12 Déterminer l'énergie cinétique $\mathbf{E_c(7/0)}$ de l'ensemble **7** par rapport à **0** en fonction de $\boldsymbol{\omega(7/0)}$ et de $\mathbf{I_7}$ puis l'énergie cinétique $\mathbf{E_c(6/0)}$ de l'ensemble **6** par rapport à **0** en fonction de $\boldsymbol{\omega(7/0)}$, $\mathbf{Z_7}$, $\mathbf{Z_6}$ et $\mathbf{I_6}$. En déduire l'énergie cinétique $\mathbf{E_c((6+7)/0)}$ ainsi que l'inertie équivalente aux solides **6** et **7** (notée $\mathbf{I_{67}}$) ramenée sur l'arbre **7**.

Par extension on pourrait déterminer l'inertie équivalente I_{eq} de l'ensemble $E = \{1,2,3,4,5,6,7, BTP\}$ ramenée sur l'arbre moteur **7**.

Question 13 En utilisant la figure 9 (page 9) et par la méthode de votre choix, déterminer la relation entre $c_m(t)$, $c_r(t)$, $\omega_m(t)$, $\frac{d\omega_m(t)}{dt}$, I_{eq} et f.

Question 14 Traduire dans le domaine de Laplace les équations (1) et (2) (page 9) ainsi que les relations établies aux questions 11 et 13. Remplir alors le schéma bloc associé au moteur à courant continu sur le document réponse **DR 2**.

2.4 Modélisation de l'asservissement en vitesse

Hypothèses

- on néglige l'inductance du moteur à courant continu ainsi que l'effet du coefficient de frottement ;
- on fait l'hypothèse que $K_c = K_e = K$;
- pour simplifier l'étude, la boucle de courant n'a pas été modélisée.

Le schéma bloc de l'asservissement en vitesse du moteur à courant continu est donné sur la figure 10.

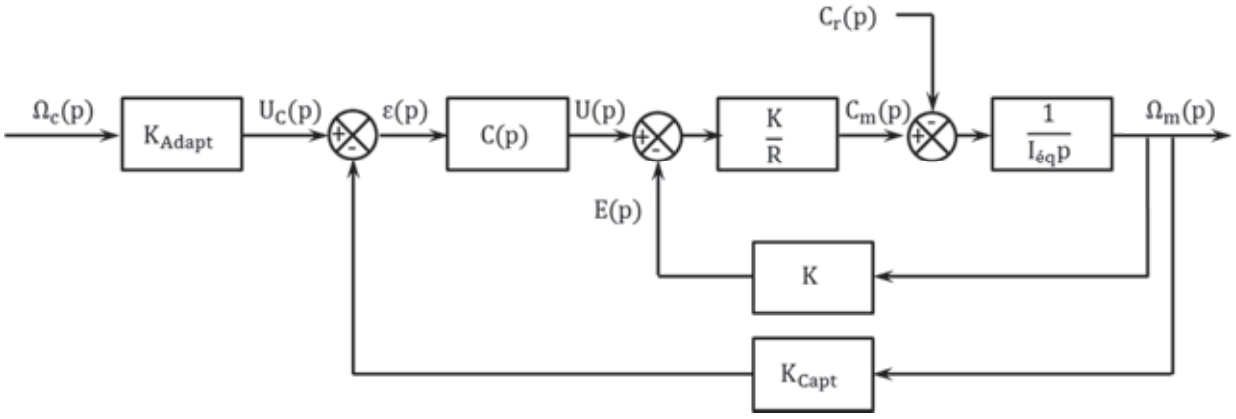


Figure 10 – Régulation en vitesse du banc d'essai

Question 15 Quelle solution technologique peut-on utiliser pour le capteur situé en boucle de retour ? Comment déterminer la valeur du gain K_{Adapt} ?

Hypothèse 1 : on considère que $C_r(p) = 0$ et $\Omega_c(p) \neq 0$.

Question 16 Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée $H_m(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U(p)}$ puis la fonction de transfert en boucle fermée $H_1(p) = \frac{\Omega_m(p)}{\Omega_C(p)}$. On considère que $C(p) = K_P$, K_P étant constant. Mettre $H_1(p)$ sous la forme $\frac{K_1}{1+\tau_1 p}$ où on explicitera les valeurs de K_1 et τ_1.

Hypothèse 2 : on considère que $\Omega_C(p) = 0$ et que $C_r(p) \neq 0$.

Question 17 Retracer sur la copie le schéma bloc en tenant compte de ces hypothèses.

Question 18 Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée $H_2(p) = \frac{\Omega_m(p)}{C_r(p)}$. On considère que $C(p) = K_P$, K_P étant constante. Mettre $H_2(p)$ sous la forme $-\frac{K_2}{1+\tau_2 p}$ où on explicitera les valeurs de K_2 et τ_2.

Hypothèse 3 : on considère maintenant que $\Omega_C(p) \neq 0$ et que $C_r(p) \neq 0$.

Question 19 En utilisant le théorème de superposition, exprimer $\Omega_m(p)$ en fonction de $H_1(p)$, $H_2(p)$, $\Omega_c(p)$ et $C_r(p)$.

A une fréquence de rotation de $350\ \text{min}^{-1}$ en sortie de BTP correspond une consigne de fréquence de rotation du moteur de $1\,928\ \text{min}^{-1}$ soit environ $202\ \text{rad/s}$. Le couple résistant ramené à l'arbre moteur est évalué à $990\ \text{Nm}$. On soumet donc le système à un échelon de consigne d'amplitude $202\ \text{rad/s}$ et à un couple résistant de $990\ \text{Nm}$.

Question 20 Après avoir exprimé la consigne $\boldsymbol{\Omega_c(p)}$ puis le couple résistant $\boldsymbol{C_r(p)}$, calculer sous forme littérale l'écart statique du système. Conclure vis-à-vis du cahier des charges.

Question 21 Quel intérêt peut présenter l'utilisation d'un correcteur intégral de gain K_I de la forme $C(p) = K_I/p$?

Question 22 En conclusion, en utilisant le correcteur précédent, l'asservissement proposé permet-il de tenir la consigne de vitesse lorsqu'un couple résistant est appliqué à l'arbre de sortie de la BTP ? L'exigence 1.1.1 est-elle vérifiée ?

2.5 Etude du schéma électrique de l'ensemble variateur + moteur

Question 23 A partir du schéma de câblage d'un variateur de l'annexe 2 (pages A-3 et A-4), identifier les fonctions **ALIMENTER, PROTEGER, COMMANDER** et **MODULER** remplies par les composants QS, QF, QM, KM1 et KM2 en précisant pour quels équipements, ou parties d'équipements la fonction est remplie (l'induit moteur par exemple). Indiquer également le rôle que pourraient avoir les options filtre et self sur l'alimentation de la partie puissance de l'induit.

Question 24 A partir du schéma de principe du variateur en annexe 2 (pages A-3 et A-4), compléter le chronogramme (document réponse **DR 3**) lors d'un arrêt d'urgence, le moteur étant en fonctionnement (QS, QM et QF fermés, KA, KM1 et KM2 alimentés). Vous pourrez vous aider des explications sur les contacteurs en annexe 3 (page A-5).

Question 25 Compléter la suite du chronogramme (document réponse DR3) lors de la remise en route par le bouton SB1 (QS, QM et QF fermés, AU relâché, KA, KM1 et KM2 non alimentés).

PARTIE 3 - ETUDE DE L'EXIGENCE 1.2 - ACCOUPLEMENT EN SORTIE DE LA BTP

Les parties 2.2, 2.3, 2.4 et 2.5 peuvent être traitées de manière indépendante.

Objectifs

- **Dimensionner l'arbre en sortie de la BTP qui fera la jonction avec le banc d'essai.**
- **Déterminer les roulements qui assureront la liaison entre l'arbre 1 et le support S.**
- **Concevoir la liaison pivot entre l'arbre de sortie et le bâti.**

3.1 Hypothèses - Modélisation

Dans le cadre d'un essai de la BTP, les pales ne sont pas utilisées. Il est donc nécessaire de concevoir un arbre de sortie qui doit faire office de rotor principal. Cet arbre de sortie devra supporter des efforts équivalents à ceux engendrés par les efforts aérodynamiques. L'accouplement avec le reste du banc d'essai doit permettre de fournir un couple résistant (figure 11). Par ailleurs, des vérins permettent de générer l'effort de portance. Une modélisation de l'arbre de sortie de la BTP est présentée sur la figure 12.

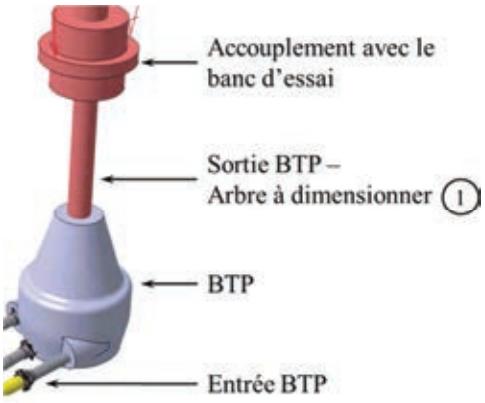


Figure 11 – Vue 3D de la BTP et du banc d'essai (système de mise en effort non représenté)

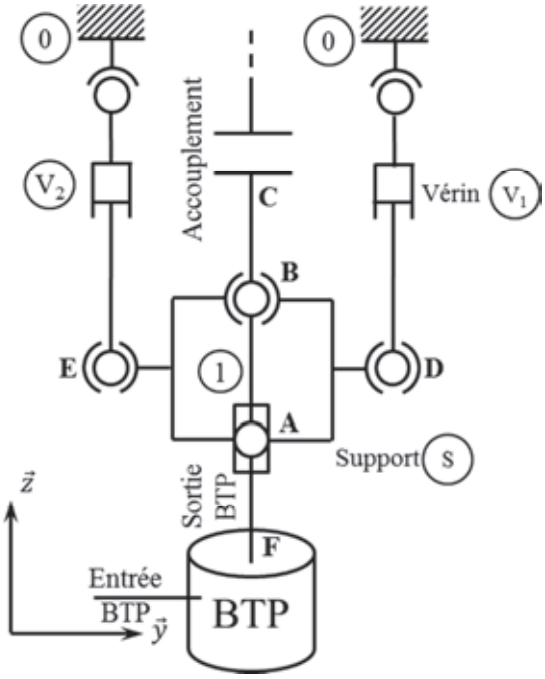


Figure 12 – Schéma d'architecture de la sortie de la BTP

On considère un essai dans lequel l'arbre **1** (figures 11 et 12) est sollicité par un effort généré par le vérin $\mathbf{V_1}$. On fait les hypothèses suivantes :

- l'action du vérin $\mathbf{V_1}$ sur l'arbre **1** est transmise par l'intermédiaire du support **S**. L'action du vérin sur le support **S** est modélisable par un glisseur passant par le point **D** :
  $\vec{R}(V_1 \rightarrow S) = F_v\,\vec{z}$ avec $F_v = 80\,000$ N ;
- l'action de la BTP sur l'arbre **1** est un couple $\overrightarrow{\mathcal{M}}(A, BTP \rightarrow 1) = C_1\vec{z}$ avec $C_1 = 4\,100$ Nm ;

- on considère que les liaisons en **A** et **B** sont parfaites, l'accouplement permet donc de transmettre le couple fourni par la BTP ;
- la pesanteur est négligée.

On a :

- $\overrightarrow{AB} = l\vec{z}$ avec $l = 200$ mm ;
- $\overrightarrow{BD} = L\vec{y} - \frac{l}{2}l\,\vec{z}$ avec $L = 300$ mm.

3.2 Dimensionnement de l'arbre

Objectif

- **Déterminer le diamètre minimal de l'arbre et son matériau.**

La modélisation retenue pour déterminer le diamètre de l'arbre est la suivante (figure 13) :

- l'arbre est modélisé par une poutre cylindrique de révolution de longueur H. Une section de la poutre est repérée par l'abscisse z suivant l'axe $(C, \vec{z})$. On note $\overrightarrow{CG} = z\vec{z}$;
- l'action des vérins est modélisée par un seul effort : $F_v\vec{z}$;
- le couple moteur est modélisé par un moment : $C_1\vec{z}$.

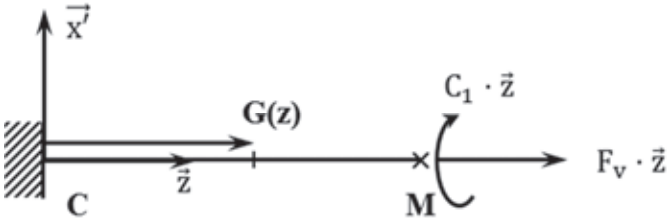


Figure 13 – Modélisation des efforts sur l'arbre de sortie de la BTP

Question 26 Exprimer la forme de torseur de cohésion $\{\mathcal{T}_{coh}(z)\}$ dans la poutre au point G(z) dans la base $\left(\vec{x'}, \vec{y'}, \vec{z}\right)$. A quel(s) type(s) de sollicitation(s) l'arbre est-il soumis ?

On considère que l'arbre n'est soumis qu'à de la torsion pure et que le torseur de cohésion est le suivant :

$$\{\mathcal{T}_{coh}(z)\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & C_1 \end{Bmatrix}_{M\in(C,\vec{z}),(\vec{x'},\vec{y'},\vec{z})}.$$

On note :

- τ_{Max} : la contrainte tangentielle de cisaillement maximale en MPa ;
- I_0 : le moment quadratique en mm^4 ;
- d : le diamètre de l'arbre en mm.

On a alors $\tau_{Max} = \frac{C_1}{I_0} \cdot \frac{d}{2}$ avec $I_0 = \frac{\pi d^4}{32}$.

La condition de résistance en torsion de l'arbre est donnée par $\tau_{Max} < \frac{K \cdot R_e}{s}$ avec :

- K : coefficient dépendant du type de matériau (tableau 1, page 14) ;
- R_e : limite élastique à la traction (en MPa) ;
- s : coefficient de sécurité.

Famille de matériaux	Pourcentage de carbone	K
Aciers	Inférieur à 0,2 %	0,5
	Entre 0,2 % et 0,32 %	0,6
	Entre 0,32 % et 0,45 %	0,7
	Entre 0,45 % et 1,7 %	0,8
Fonte	Supérieur à 1,7 %	Entre 0,77 et 1

Tableau 1 – Valeurs du coefficient K

Question 27 On recommande un coefficient de sécurité $s = 1{,}2$. A partir des données précédentes, exprimer de manière littérale quel doit être le diamètre minimum de l'arbre.

Question 28 En utilisant l'annexe 4 (page A-6), donner une liste des matériaux présentant le meilleur compromis prix - résistance élastique. Proposer un procédé de mise en forme du brut et un procédé de finition permettant de fabriquer l'arbre de sortie de la BTP.

Question 29 On choisit un acier dont la teneur en carbone est comprise entre 0,32 % et 0,45 %. On prendra $R_e = 1\,000$ MPa. Déterminer le diamètre de l'arbre.

3.3 Conception du montage de roulements

Objectif

- **Concevoir la liaison entre l'arbre de sortie de la BTP et le banc d'essai.**

La liaison pivot entre le support **S** et l'arbre **1** est assurée par une liaison sphérique de centre **B** et par une liaison sphère cylindre de centre **A** et de direction $(A, \vec{z})$ (figure 12, page 12). On souhaite vérifier s'il est possible d'utiliser des roulements à billes à contact radial.
L'action du vérin $\mathbf{V_2}$ n'est pas prise en compte (l'action de ce vérin est nulle).

Question 30 Déterminer les efforts dans les liaisons en **A** et en **B**.

Question 31 Déterminer l'effort axial F_{Aa} et l'effort radial F_{Ar} dans la liaison en **A** ainsi que l'effort axial F_{Ba} et l'effort radial F_{Br} dans la liaison en **B**.

Pour la suite on prendra les valeurs suivantes : $F_{Aa} = 0$ N et $F_{Ar} = 120\,000$ N, $F_{Ba} = 80\,000$ N et $F_{Br} = 120\,000$ N. On rappelle que la fréquence de rotation de l'arbre **1** est $N(1/0) = 350\ \text{min}^{-1}$. En tenant compte de sollicitations non décrites dans la partie 3.1, il est nécessaire que l'arbre soit de diamètre supérieur à celui qui a été déterminé. On utilisera un tube de diamètre extérieur de 150 mm et dont le diamètre intérieur est tel que le moment quadratique est conservé.

Pour les questions suivantes, vous utiliserez les documents de l'annexe 5 (page A-7).

Question 32 En phase d'avant-projet, on désire savoir si le roulement référence 6 230 (figure 14, page 15) peut convenir. Le banc d'essai est révisé tous les ans, ce qui correspond approximativement à 8 760 heures de test. En utilisant l'annexe 5 (page A-7), calculer la durée de vie du roulement en **B**. Le roulement est-il compatible avec le cahier des charges ? Si non, quelle solution proposer ?

d (mm)	Référence	D (mm)	B (mm)	C (N)	C0 (N)	Fréquence de rotation (min^{-1})
150	6 230	270	45	176 000	168 000	2 700

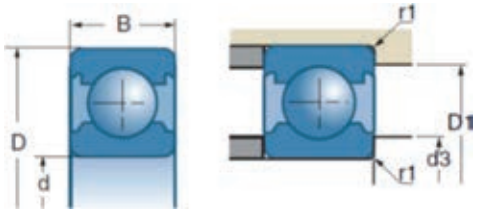


Figure 14 – Extrait de catalogue SNR Bearings

Afin de prendre en charge des sollicitations mécaniques plus importantes, il est finalement envisagé d'utiliser des roulements à rouleaux coniques. On demande de réaliser la conception de la liaison entre l'arbre et le support.

Question 33 On a choisi un montage en **« O »** pour les roulements. Les réponses seront à donner sur le document réponse **DR 4**.

a. Sur le document réponse DR4, justifier le choix d'un montage en **« O »**.

b. Sur le croquis du document réponse DR4, préciser quelles sont les bagues montées serrées et quelles sont les bagues montées glissantes. Justifier.

c. Sur le croquis du document réponse DR4, indiquer par des croix les arrêts axiaux sur les roulements.

d. Dans la zone de conception (document réponse page 5), concevoir à main levée la liaison entre le roulement à rouleau conique, l'arbre et le support.

e. Dans la zone de conception (document réponse page 5), concevoir le flasque permettant d'assurer l'étanchéité entre l'intérieur du support et le milieu extérieur.

PARTIE 4 - ETUDE DE L'EXIGENCE 1.3 - SUPERVISION

Les parties 4.1, 4.2, 4.3 et 4.4 peuvent être traitées de manière indépendante.

Objectifs

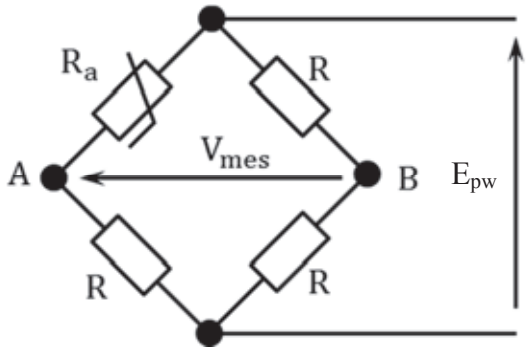
- **Analyser le montage des capteurs de couple.**
- **Analyser la chaîne d'acquisition des mesures du capteur jusqu'au processeur.**
- **Concevoir l'algorithme de gestion des mesures.**

4.1 Capteurs de couple

Le banc d'essai est équipé de plusieurs capteurs de couple sur l'arbre moteur d'entraînement, sur les arbres d'entrées et aussi sur les arbres de sorties rotor principal et rotor arrière. Ces capteurs sont équipés de jauges de contrainte montées en pont de Wheatstone.

Question 34 En utilisant le montage en quart de pont figure 15 (page 16), donner l'expression de V_{mes} en fonction de R_a, R et E_{pw}. Indiquer les conditions d'équilibre du pont

($V_{mes} = 0$). La résistance R_a de jauge pour un couple de torsion de 1 000 Nm est de 356 Ω, donner la valeur numérique de V_{mes} ($E_{pw} = 10$ V, $R = 350$ Ω).

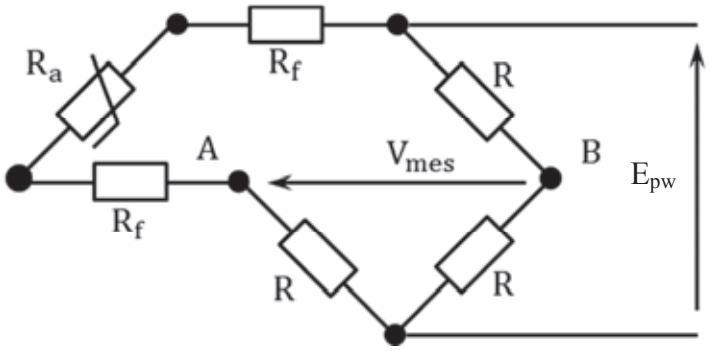


avec :

- R_a : résistance de la jauge de contrainte ;
- E_{pw} : tension d'alimentation du pont ;
- V_{mes} : tension de sortie du capteur.

Figure 15 – Montage pont de Wheatstone dit en quart de pont

Ces jauges de contraintes sont raccordées aux cartes d'acquisitions grâce à des câbles blindés avec une âme en cuivre (de résistivité $\rho = 1{,}72 \cdot 10^{-8}\ \Omega.\mathrm{m}$) de section $S = 0{,}14\ \mathrm{mm}^2$ et de longueur 50 m. Le schéma équivalent (montage pont de Wheatstone avec résistance des fils de liaison) est donné sur la figure 16.



avec R_f : résistance des fils de liaison.

Figure 16 – Montage pont de Wheatstone avec résistance des 2 fils de liaison

Question 35 Calculer la résistance d'un fil $\mathbf{R_f}$ et donner la nouvelle expression de $\mathbf{V_{mes}}$. Refaire le calcul de $\mathbf{V_{mes}}$ en utilisant les mêmes données numériques. Calculer l'erreur de la mesure en %. Conclure sur l'erreur due aux câbles par rapport à la précision intrinsèque du capteur.

Question 36 En utilisant le montage du pont de Wheatstone avec résistance des 3 fils de liaison (figure 17) démontrer que l'on retrouve l'équilibre du pont avec le montage 3 fils quand la jauge est au repos.

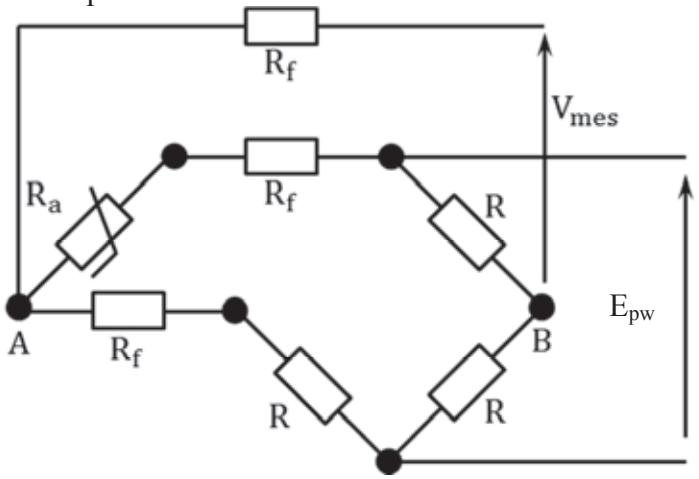


Figure 17 – Montage pont de Wheatstone avec résistance des 3 fils de liaison

4.2 Préamplificateur d'instrumentation

Les signaux des capteurs de couple sont acheminés par des câbles blindés afin d'éviter les perturbations électriques provenant du variateur. La carte d'acquisition est équipée du montage préamplificateur schématisé sur la figure 18.

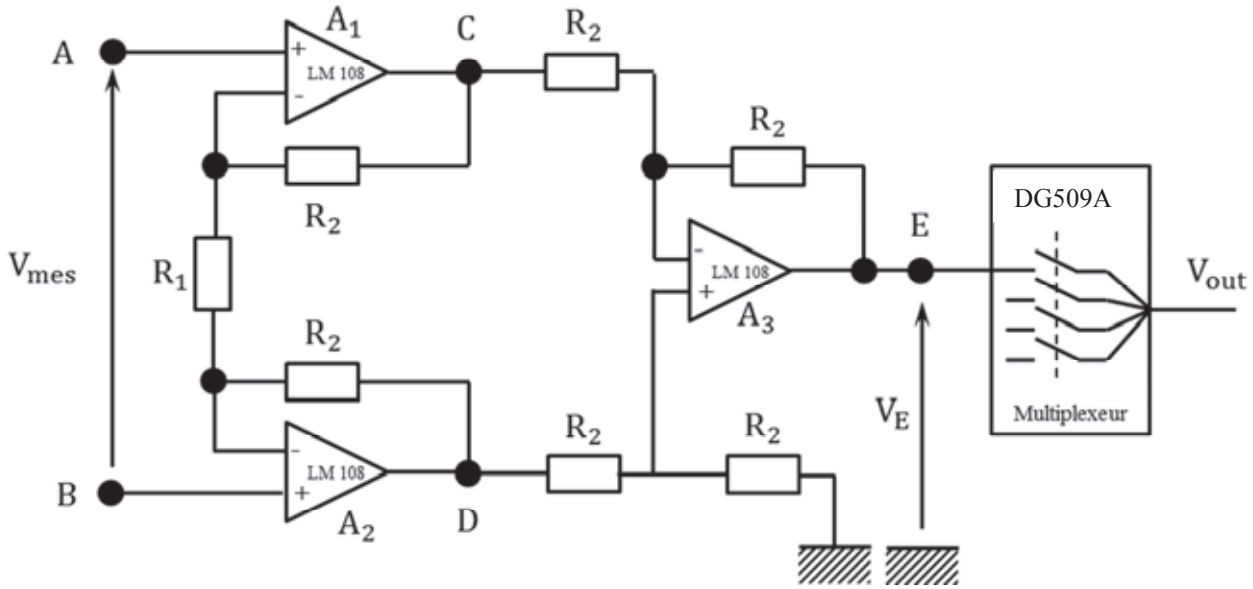


Figure 18 – Montage amplificateur

Question 37 Donner l'expression de V_E en fonction de V_{mes}. On pourra d'abord étudier la relation de $V_C - V_D$ en fonction de $V_A - V_B$. Nous considérerons que les amplificateurs opérationnels sont idéaux (par convention les tensions V_X sont données par rapport à la masse 0 V).

4.3 Montage conditionneur : amplificateur programmable

Le signal des capteurs préamplifiés par le montage précédent et multiplexé par le circuit DG509A ($4 \rightarrow 1$) nommé V_{out} est appliqué à un montage à amplificateur programmable (figure 19, page 18). Ce montage conditionneur/amplificateur programmable est constitué :

- d'un circuit MCP4922 composé de deux convertisseurs numériques analogiques (CNA ou DAC), convertisseurs 12 bits à interface bus SPI ;
- d'un montage amplificateur opérationnel à étudier ;
- d'une entrée analogique du microcontrôleur µC qui comporte un CAN.

Le bus SPI permet d'envoyer vers les circuits MCP4922 les données numériques D_N de chaque voie. Le microcontrôleur envoie les trames des informations capteurs au superviseur du banc grâce au réseau ETHERNET.

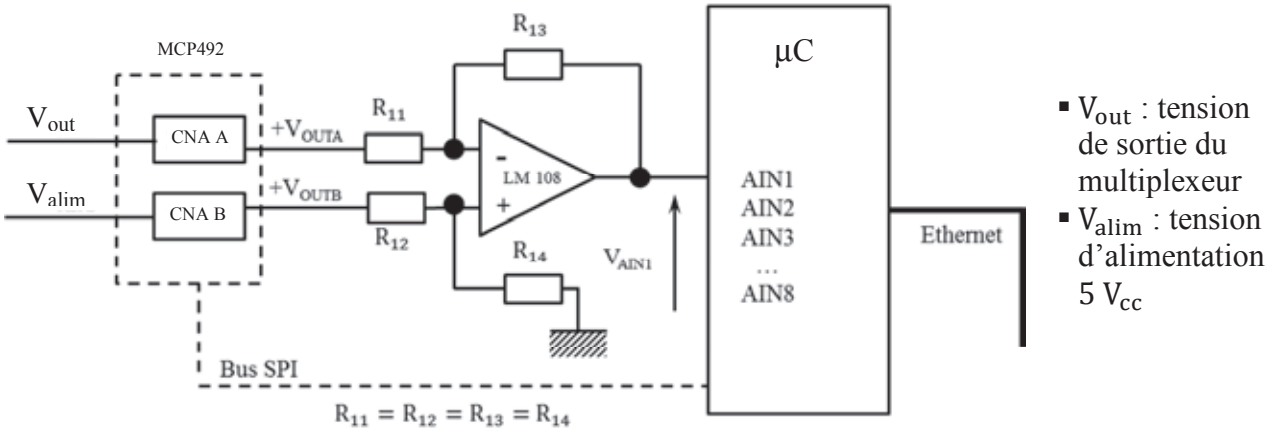


Figure 19 – Montage conditionneur/ amplificateur programmable

Question 38 A partir de la documentation technique en annexe 6 (page A-8), donner les expressions des tensions en sortie V_{OUTA}, V_{OUTB} du MCP4922 en précisant chacun des paramètres.

Question 39 Exprimer la tension analogique V_{AIN1} appliquée sur la voie 1 du module ADC du microcontrôleur µC en fonction de la tension délivrée par le capteur V_{mes}. Identifier dans l'expression précédente le gain et l'offset du montage conditionneur.

Question 40 Proposer une solution numérique pour le gain et l'offset à régler concernant l'acquisition du capteur de couple (tension pleine échelle +/- 2 mV) et pour une tension d'entrée analogique microcontrôleur comprise entre 0 et 3,3 V. En déduire l'utilité de ce préamplificateur.

4.4 Programmation centrale d'acquisition

Chaque centrale d'acquisition permet de mesurer 32 capteurs. Les 8 voies analogiques du microcontrôleur sont équipées de 4 capteurs multiplexés par le circuit DG509A. Leurs signaux sont amplifiés par un préamplificateur et un amplificateur programmable adapté au capteur (voir partie précédente pour plus d'informations).

Le programme de cette centrale prévoit de faire 20 mesures de ces voies de manière entrelacée afin de compenser les éventuelles perturbations extérieures. Une fois cette acquisition effectuée, le microcontrôleur constitue sa trame MODBUS qui sera envoyée toutes les 10 secondes sur le réseau ETHERNET (mode dégradé : le programme prévoit de stocker 20 minutes en cas de problème de connections réseau). La figure 20 (page 19) donne le schéma général de la carte d'acquisition.

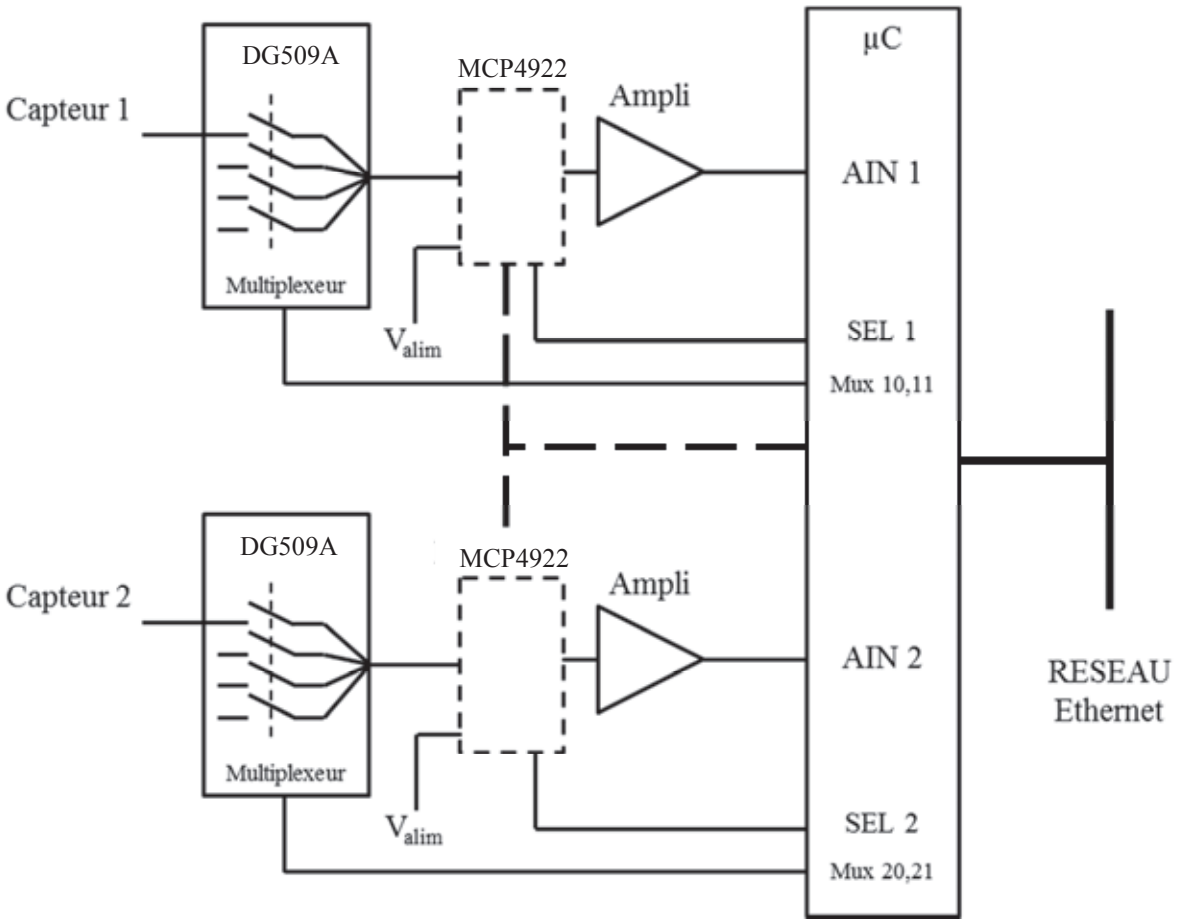
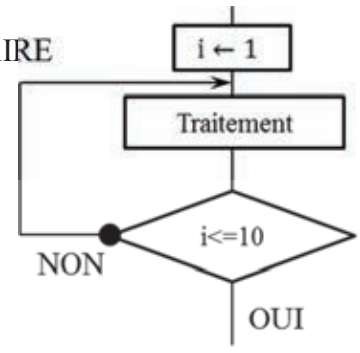


Figure 20 – Schéma général de la carte d'acquisition

Question 41 Compléter l'algorigramme du document réponse **DR5** afin de finaliser les traitements et les actions à réaliser pour faire l'acquisition de l'ensemble des capteurs et le traitement avant l'envoi de ces informations (nous ne tiendrons pas compte du mode dégradé).

Vous pourrez vous aider de la liste d'actions et de traitements possibles ci-dessous (attention tous ne sont pas utiles).

Liste des actions, traitements itératifs et décisions possibles	
Envoyer D_{NA} et D_{NB} [Capteur C] par bus SPI	Pour M = de 1 à 20 mesures
Lancer Lecture CAN entrée V	Pour C = de 1 à 4 capteurs
Valeur [Mesure] = Résultat CAN entrée V	Pour V = de 1 à 8 voies
Envoyer D_{NA} et D_{NB} [Voie V] par bus SPI	Test fin de conversion CAN OK
Sélectionner Boitier CNA [Voie V]	Algorigramme de : POUR i = 1 à10, FAIRE Traitement FIN POUR 
Sélectionner Boitier CNA [Capteur C]	
Constituer Trame MODBUS avec moyenne	
Sélectionner Entrée MUX [Capteur C]	
Sélectionner Entrée MUX [voie V]	
Calculer moyenne des 20 mesures	

Fin de l'énoncé

IMPRIMERIE NATIONALE – 15 1329 – D'après documents fournis

ANNEXES

ANNEXE 1 - Extrait de documentation LEROY-SOMER

Désignation moteur

LSK	1604	L 10	460 V	2330 mln⁻¹	113 kW	IM 1001	180 V	IC 06	IP 23S
Type moteur	Hauteur d'axe Polarité	Désignation stator Indice constructeur	Tension d'induit	Vitesse nominale	Puissance nominale	Forme de construction	Tension d'excitation	Indice de refroidissement	Indice de protection

Caractéristiques électriques

Tensions d'induit en fonction des réseaux			
Secteur monophasé	Tension maximale d'induit	Secteur triphasé	Tension maximale d'induit
V	V	V	V
220 - 230	180 - 190	220	250
380 - 400	310 - 320	230	260
415	340	240	270
		380	440
		400	460
		415	470
		440	500
		500	570
		660	600

Tensions d'excitation' en fonction des réseaux	
Secteur monophasé	Tension d'excitation
V	V
230	210
400	360
Couplables «série-parallèle»	
Tension plaquée	utilisable de
180 - 360	160 à 190 ou 320 à 380

Méthode de choix

Exemple de choix :

Données :
- 48 kW à 2500 min⁻¹
- tension de sortie du variateur 440 V
- fonctionnement sous puissance constante jusqu'à 3800 min⁻¹

Mode opératoire :
- Présélectionner la taille du moteur à l'aide de l'abaque ci-contre : LSK 1324.
- Chercher dans la table de sélection la puissance la plus proche de 48 kW dans la colonne tension d'induit 440 V :
  $P = 49$ kW à 2530 min⁻¹

Comment ajuster la vitesse nominale à la vitesse demandée ?
- par ajustage de la tension d'induit (sortie du variateur), dans la limite de + 5 %, la puissance étant corrigée proportionnellement ;
- ou par ajustage de l'excitation : en la réduisant, on augmente la vitesse à puissance constante.

Dans ce cas, pour être utilisé à **2500 min⁻¹**, le moteur sera alimenté sous :

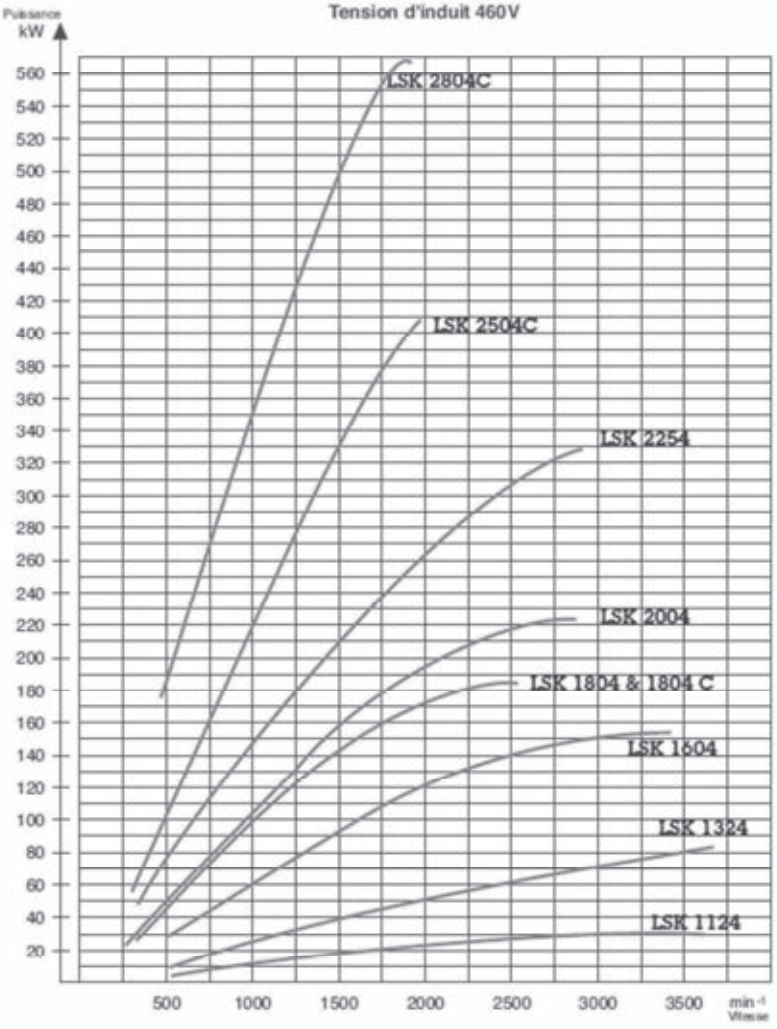
$$440 \times \frac{2500}{2530} = 435 \text{ V}$$

et $P = 49 \times \frac{435}{440}$, soit 48,4 kW.

La variation de tension d'induit est de 1,15 %, donc inférieure à la limite. Pour satisfaire le fonctionnement en surcharge à puissance constante, il faut choisir la version compensée (en non compensé, la limite étant à 3500 min⁻¹).
Voir extrait table de sélection ci-dessous.

Moteur sélectionné :
LSK 1324 VL 11 - 440 V - 49 kW...
IC 06

Abaque de Présélection



B

Exemple de choix dans tableau de sélection

P	Vitesse de rotation n pour tension d'induit U						n_{max} élec.		M	I	Indice constructeur
kW	400 V min⁻¹	400 V min⁻¹	420 V min⁻¹	440 V min⁻¹	460 V min⁻¹	500 V min⁻¹	N.C. min⁻¹	C. min⁻¹	N.m	A	
28.1	1500						3200	4000	179	127	11
44.7		2300					3400	4000	186	126.5	11
46.6			2420				3500	4000	184	126	11
49				2530			3500	4000	185	126	11
49.5					2640		3500	4000	179	121	11
52.7						2870	3500	4000	175	116	11
61.4								4000	170	111.5	C 11

Tableau sélection moteur LSK

Moteurs à courant continu ouverts
LSK 2254 L

Moteur IP 23S - Ventilation IC 06 - Classe H
Alimentation en triphasé pont complet
Service S1 - Température ambiante ≤ 40°C - Masse totale : 920 kg - Moment d'inertie : 2,4 kg.m²
Puissance d'excitation : 3,2 kW - Vitesse maximale mécanique : 3000 min⁻¹

P	Vitesse de rotation n pour tension d'induit U							n_{max}	M	I	η	L	R_{cap}	U_{max}	Indice	Qté
kW	260 V min⁻¹	400 V min⁻¹	420 V min⁻¹	440 V min⁻¹	460 V min⁻¹	500 V min⁻¹	600 V min⁻¹	Elec† min⁻¹	N.m	A	Hors excit.	mH	Ω	V		
112	790							1100	1355	475	0.91	1.4	0.039	750		
177		1220						1650	1385	475	0.93	1.4	0.039	750		
186			1280					1750	1388	475	0.93	1.4	0.039	750		
195				1340				1800	1393	475	0.94	1.4	0.039	750	10	
205					1400			1900	1395	475	0.94	1.4	0.039	750		
223						1520		2050	1401	475	0.94	1.4	0.039	750		
268							1820	2450	1406	475	0.94	1.4	0.039	750		
129	900							1200	1364	540	0.92	1.1	0.03	700		
202		1380						1800	1398	540	0.94	1.1	0.03	700		
212			1450					1900	1398	540	0.94	1.1	0.03	700		
223				1520				2000	1400	540	0.94	1.1	0.03	700	11	1
233					1590			2100	1401	540	0.94	1.1	0.03	700		
254						1750		2300	1387	540	0.94	1.1	0.03	700		
294							2100	2750	1335	520	0.94	1.1	0.03	700		
139	970							1300	1367	582	0.92	0.95	0.027	650		
218		1490						1950	1395	582	0.94	0.95	0.027	650		
227			1570					2050	1378	575	0.94	0.95	0.027	650		
237				1640				2150	1378	573	0.94	0.95	0.027	650	12	
247					1720			2250	1369	571	0.94	0.95	0.027	650		
265						1930		2400	1311	563	0.94	0.95	0.027	650		
308							2320	2800	1269	546	0.94	0.95	0.027	650		
152	1075							1400	1349	633	0.92	0.8	0.022	600		
238		1650						2150	1376	633	0.94	0.8	0.022	600		
250			1740					2250	1372	633	0.94	0.8	0.022	600		
257				1820				2300	1347	620	0.94	0.8	0.022	600	13	
262					1930			2400	1295	604	0.94	0.8	0.022	600		
280						2150		2700	1242	593	0.94	0.8	0.022	600		
324							2600	3000	1189	572	0.94	0.8	0.022	600		
167	1180							1600	1348	693	0.92	0.66	0.019	550		
254		1820						2300	1330	675	0.94	0.66	0.019	550		
261			1910					2400	1303	660	0.94	0.66	0.019	550		
269				2050				2600	1254	650	0.94	0.66	0.019	550	14	1
276					2170			2700	1215	637	0.94	0.66	0.019	550		
294						2440		2900	1150	624	0.94	0.66	0.019	550		

ANNEXE 2 - Documentation – Conversion de puissance

Variateur LEROY-SOMER

1 - Généralités

1.1 - Principe général de fonctionnement

Les variateurs **DMV 2322** et **DMV 2342** sont destinés à l'alimentation de moteurs à courant continu à excitation séparée, à partir d'un réseau alternatif triphasé compris entre 220 et 480 V ± 10 %.

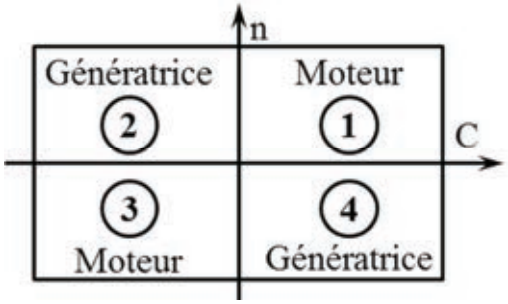
Ils assurent le contrôle du courant d'induit et de la vitesse ; du courant inducteur si le variateur est équipé d'une alimentation variable pour l'excitation (optionnel).

Totalement protégé contre les dysfonctionnements liés à l'application, au moteur, au réseau d'alimentation, ils peuvent afficher leurs états permettant un diagnostic aisé et rapide.

Entièrement numériques, ils sont programmables par l'utilisateur.

Le **DMV 2322** est un variateur unidirectionnel, 2 quadrants.

Le **DMV 2342** est un variateur 4 quadrants, avec récupération d'énergie sur le réseau en fonctionnement génératrice



De nombreuses options étendent le fonctionnement du variateur.

- **Régulation de vitesse**

A flux ϕ constant, la vitesse n est proportionnelle à la force contre électromotrice E du moteur.

La variation de vitesse est obtenue par variation de la tension d'induit.

Le couple délivré par le moteur est proportionnel au courant absorbé.

$E' = K \cdot n \cdot \phi, C = K' \cdot I, E' = FCEM(V)$

I = intensité d'induit (A)

n = vitesse angulaire (rad/s)

K = constante moteur

ϕ = flux (Wb).

La régulation est de type "cascade" :

- une boucle interne de courant qui pilote directement l'angle d'amorçage des thyristors ;
- une boucle externe de vitesse qui donne la référence courant interne.

L'EXC-DMV permet d'avoir une tension d'excitation variable pour des applications spéciales.

- **Circuit de puissance du DMV 2322**

La partie puissance est composée d'un pont de GRAETZ à 6 thyristors, monté aux bornes de l'induit.

Le montage est utilisé pour les entraînements ne nécessitant pas de freinage.

- **Circuit de puissance du DMV 2342**

La partie puissance est composée d'un double pont de GRAETZ à thyristors, monté tête - bêche aux bornes de l'induit.

Le montage permet une inversion rapide du sens de rotation.

Par inversion des grandeurs physiques – courant et tension – le moteur fonctionne dans les 4 quadrants du plan couple C - vitesse n.

Ceci autorise des freinages rapides.

- **Circuits de puissance séparés**

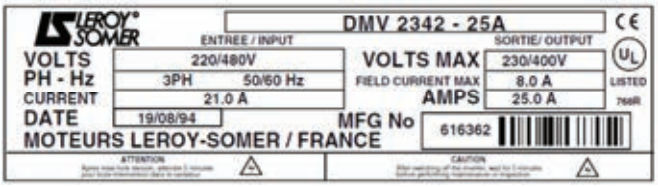
L'alimentation de la partie de puissance de l'induit est séparée de l'excitation (bornes L1 L2 L3 pour l'induit et E1 E2 E3 pour l'excitation).

1.2 - Désignation du produit

Exemple : **DMV 2342 - 25A**

DMV Désignation générale du variateur
2 Technologie Numérique
3 Alimentation triphasée
4 : 4 Quadrants ou **2** : 2 Quadrants
2 Génération
25A Calibre en Ampère

Cette appellation est reproduite sur la plaque signalétique.

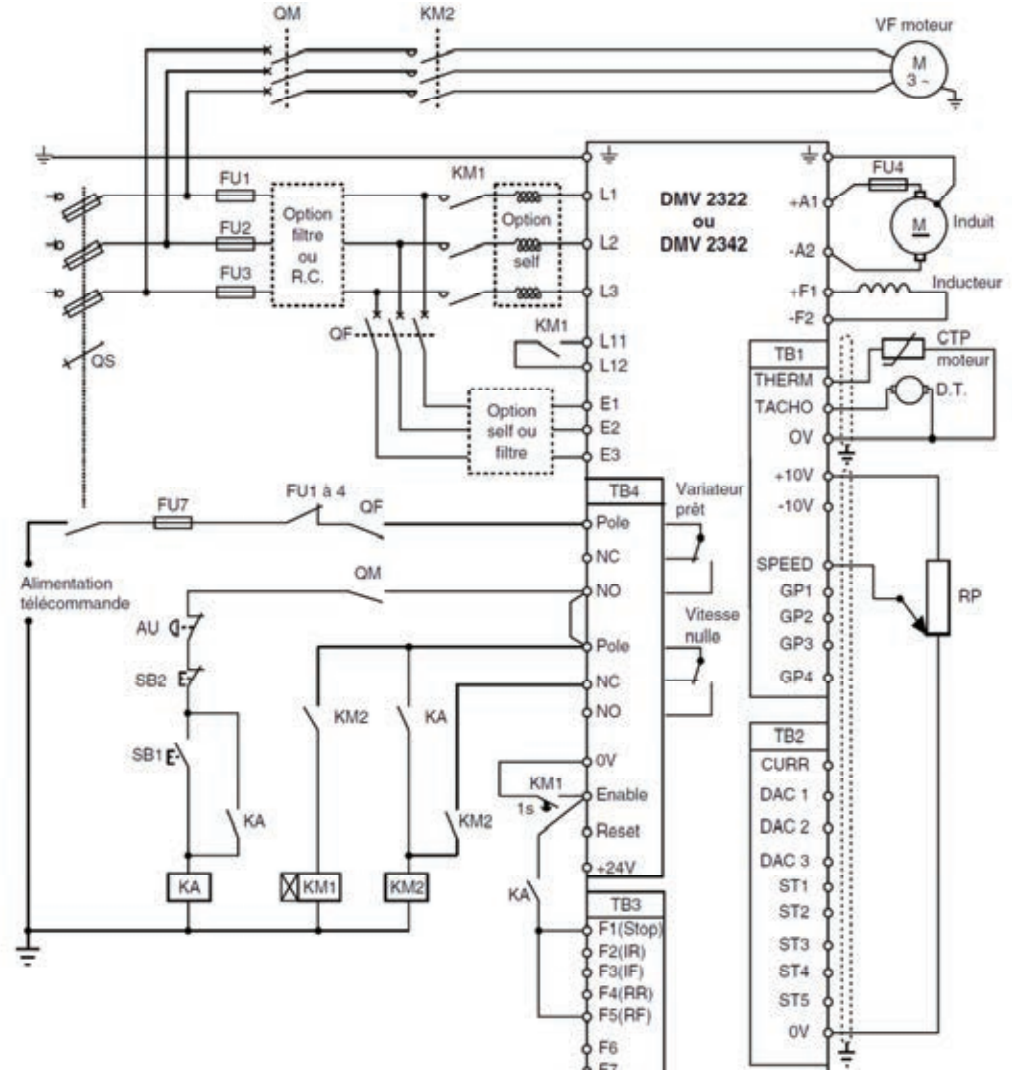


2 - Caractéristiques électriques

Tension réseau puissance		Triphasée, 220 à 480V ±10 %✱												
Tension réseau électronique et excitation		Triphasée, 220 à 480V ±10%												
Pour tension réseau	(V)	240		400		415		440		460		480		
Tension excitation maximum	(V)	210		360		370		400		415		430		
Tension induit	(V)	260		440		460		500		510		530		
Fréquence réseau		45Hz à 62Hz												
Calibre variateur	(A)	25	45	75	105	155	210	350	420	550	700	825	900	1200	1850
Courant de ligne permanent	(A)	21	38	60	88	130	175	292	350	460	585	690	750	1000	1540
Courant d'induit permanent	(A)	25	45	75	105	155	210	350	420	550	700	825	900	1200	1850
Puissance pour U induit = 400V	(KW)	7.5	15	30	37.5	56	75	125	150	200	250	300	340	450	750
Courant d'excitation maxi	(A)	8						10					20		

3 - Exemple de raccordement variateur

Schéma arrêt contrôlé jusqu'à vitesse nulle et 2 sens de marche par consigne analogique.



Explication des signaux

- Variateur prêt (contact « Pole NO » fermé) : pas de défaut interne du variateur.
- Vitesse nulle (contact « Pole NC » ouvert) : vitesse de moteur = 0.
- Enable : entrée validation commande variateur.
- F1(Stop) : entrée autorisation commande moteur.
- F5 (RF) : entrée commande moteur sens direct.

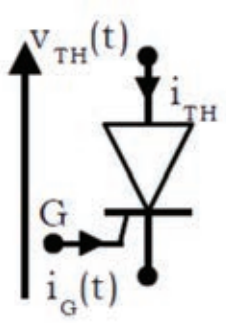
  Ces 3 entrées sont en logique négative.

ANNEXE 3 - Explication fonctionnement composants

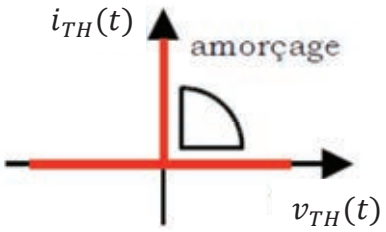
1 - Fonctionnement simplifié d'un thyristor

Le thyristor est un interrupteur de puissance à 3 segments de fonctionnement dans le plan $i_{th} = f(v_{TH})$.

- Pour qu'un **thyristor conduise** (interrupteur fermé), il faut que la tension $v_{TH} \geq 0$ et qu'un courant i_G soit envoyé dans la gâchette. Il peut continuer à conduire même si la tension s'inverse.
- Pour qu'un **thyristor se bloque** (interrupteur ouvert) il suffit que le courant i_{TH} s'annule.



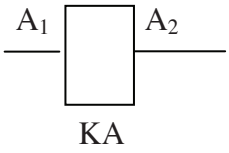
Equivalent à :



2 - Fonctionnement d'un relais ou contacteur temporisé

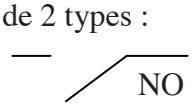
Le contacteur est un composant électromécanique qui est composé de 2 parties distinctes :

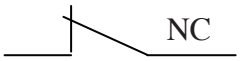
- **la bobine** KA : bobinage électrique permettant de faire déplacer en translation un noyau ;
- **des contacts électriques** : ils sont commandés mécaniquement par le noyau de la bobine. Ils sont liés mécaniquement entre eux.



Il existe 2 modes de commande mécanique :

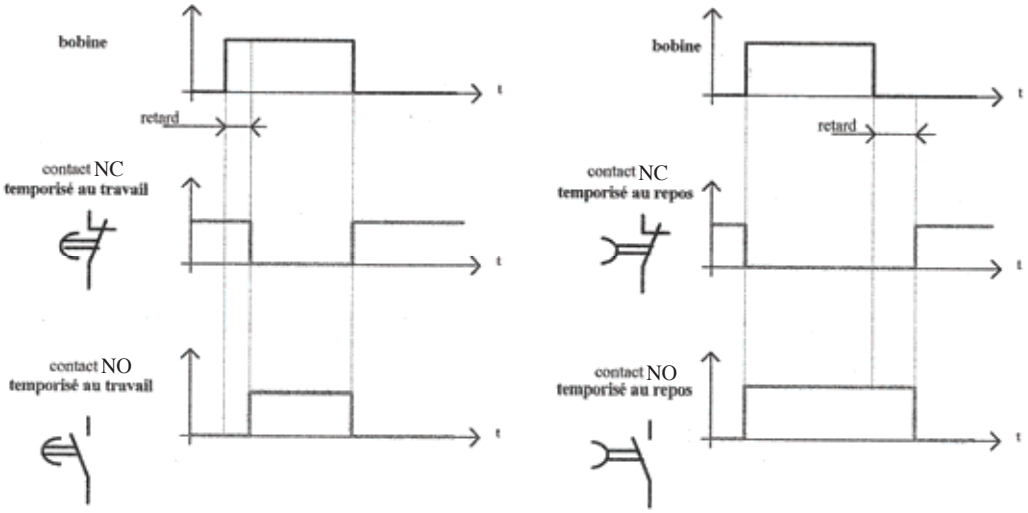
- **commande instantanée :** ces contacts sont actionnés en même temps que la commande de la bobine. Ceux-ci peuvent être de 2 types :
  - normalement Ouvert (NO) ;
  - normalement Fermé (NC) ;



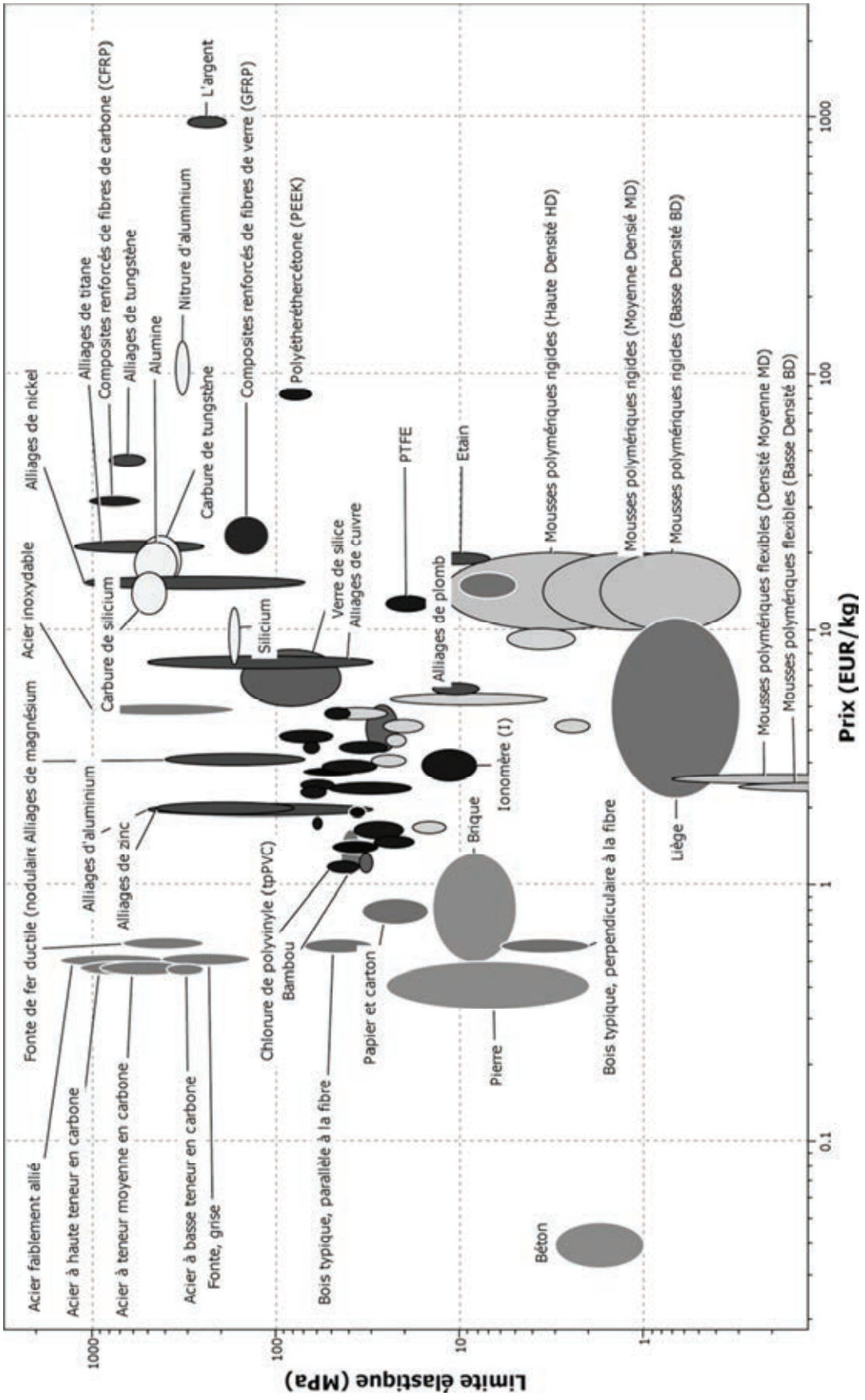


- **commande temporisée** : leur action est décalée dans le temps par rapport à la commande de la bobine (temps réglable).

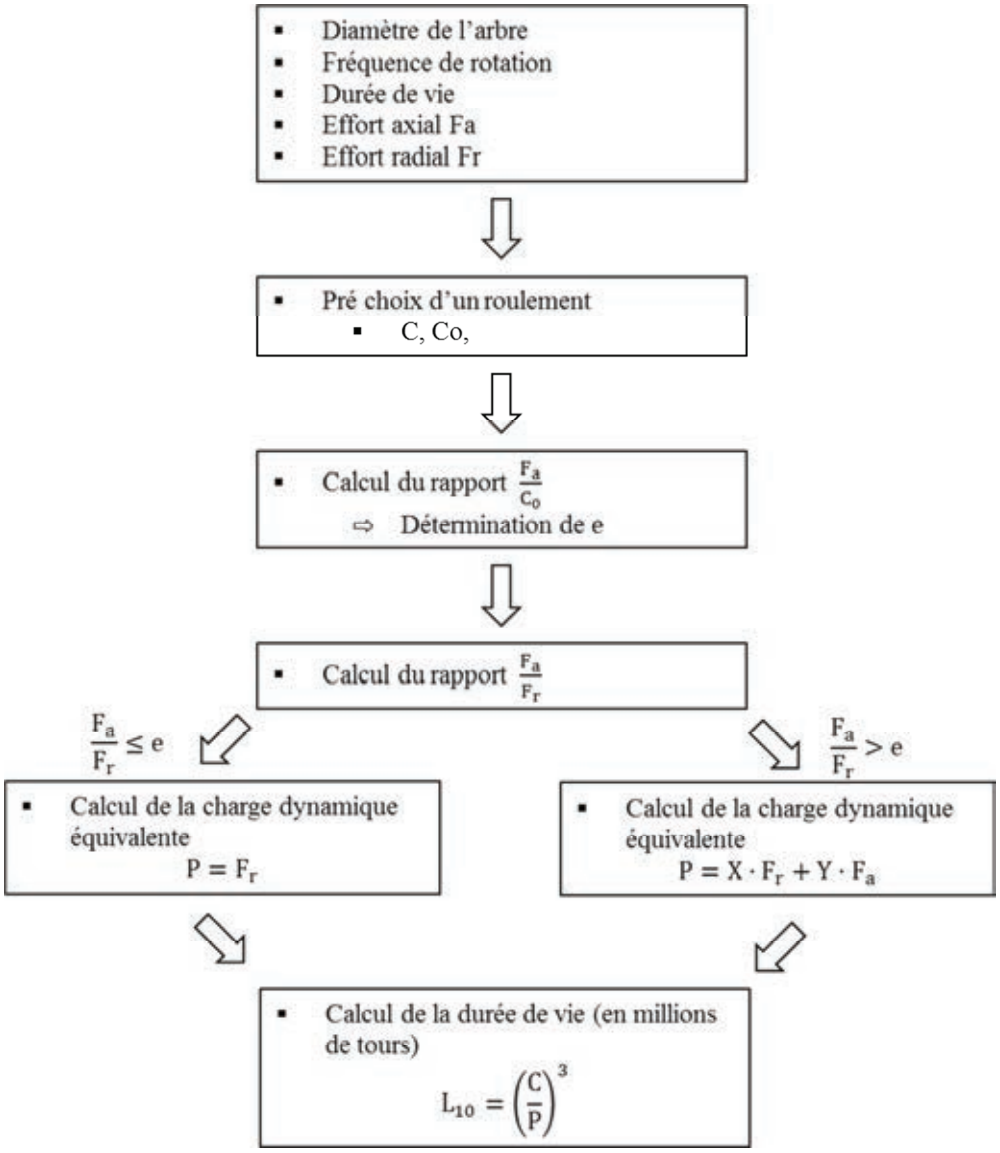
Ces contacts peuvent être de type NO ou NC et être temporisés par rapport à l'activation (tempo au travail) de la bobine ou au relâchement tempo au repos) de celle-ci (voir chronogramme ci-dessous).



ANNEXE 4 - Carte de choix des matériaux



ANNEXE 5 - Extraits de documentation SNR Bearings



SNR. Durée de vie

Durée de vie nominale *(suite)*

Charge dynamique équivalente P

$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$

X et Y = facteurs de charge définis dans le tableau ci-dessous
F_a et F_r = efforts axial et radial appliqués au roulement

Type	Coupe	Série	Angle de contact	F_a/C_0	e	$F_a/F_r \leq e$		$F_a/F_r > e$	
						X	Y	X	Y
Roulements à billes à contact radial à 1 ou 2 rangées de billes		60-62-63-64 160-618-619 622-623 42-43		0,014 0,028 0,056 0,084 0,110 0,170 0,280 0,420 0,560	0,19 0,22 0,26 0,28 0,30 0,34 0,38 0,42 0,44	1	0	0,56	2,30 1,99 1,71 1,55 1,45 1,31 1,15 1,04 1,00

ANNEXE 6 - Chaîne d'information du banc d'essai

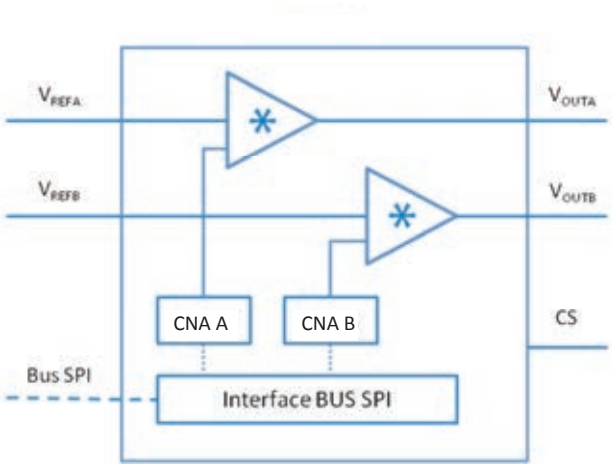
1 - Convertisseur numérique/analogique (CNA ou DAC) 12 bits 2 sorties MICROCHIP MCP4922

Equation de V_{OUTA} ou V_{OUTB} en fonction de V_{REFA} ou V_{REFB}

$$V_{OUT} = \frac{V_{REF} * D_N}{2^n}$$

avec :

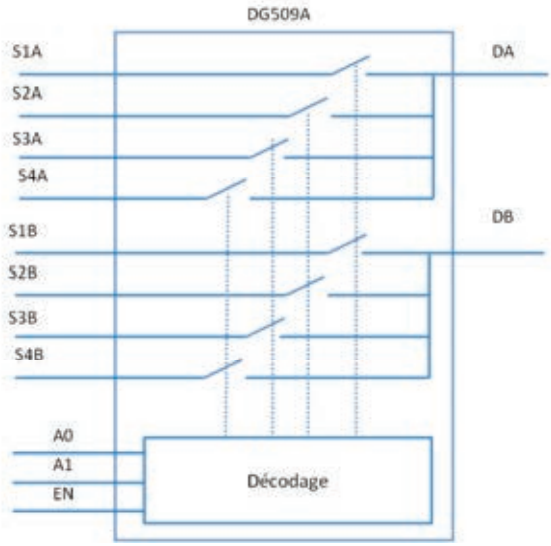
- V_{REF} : tension de référence en entrée,
- D_N : code numérique (fournit par le bus SPI),
- n : résolution 12 pour MCP4922,
- entrée CS : entrée sélection du CNA.



2 - Multiplexeur analogique 4 canaux différentiels MAXIM DG509A

Entrée Décodage				DA
EN	A1	A0		
0	X	X		0
1	0	0		S1A
1	0	1		S2A
1	1	0		S3A
1	1	1		S4A

idem pour DB

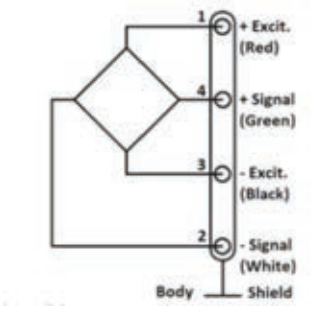


3 - Capteur de couple dynamique CD 1050

- Couplage par carré male
- Echelle de ± 5 Nm à ± 7 000 Nm
- Acier inoxydable

Paramètres	Valeurs
Température de fonctionnement (OTR)	- 20 à 80 °C (- 4 à 176 °F)
Température de fonctionnement mode compensée (CTR)	0 à 60 °C (32 à 140 °F)
Game (pleine échelle F.S)	± 5 Nm à ± 7 kNm
Offset en CTR	< 0,5 % F.S / 50 °C [/100 °F]
Précision CTR	< 1 % de lecture / 50 °C [/100 °F]
Vitesse de rotation	Jusqu'à 3 000 min^{-1}, (2 sens)
Tension d'alimentation	10 Vdc
Sortie pleine échelle	± 2 mV/V
Impédance d'entrée	350 Ω



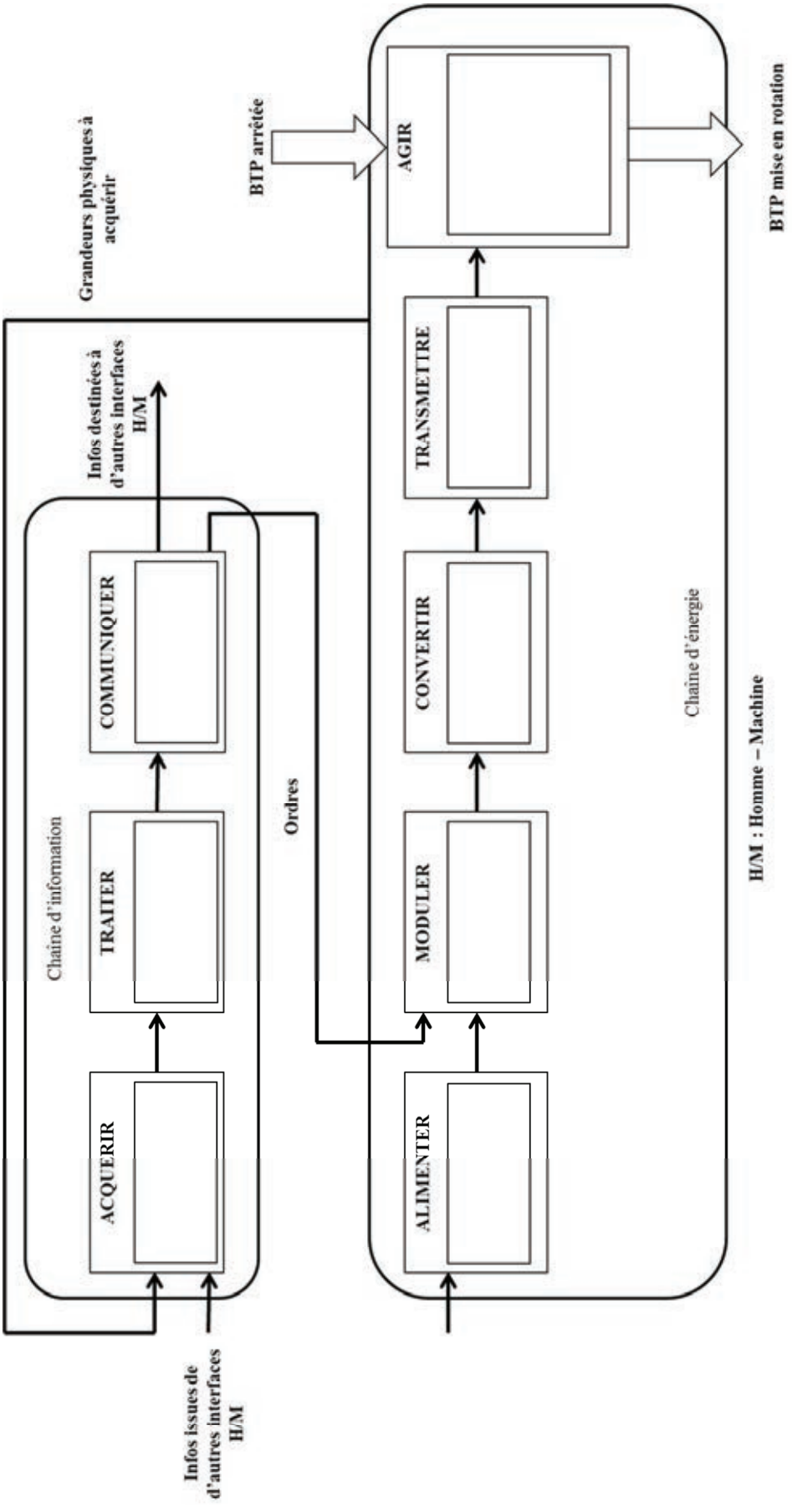


DOCUMENTS REPONSES

A rendre, non plié, dans la copie

Document réponse DR 1

Question 1



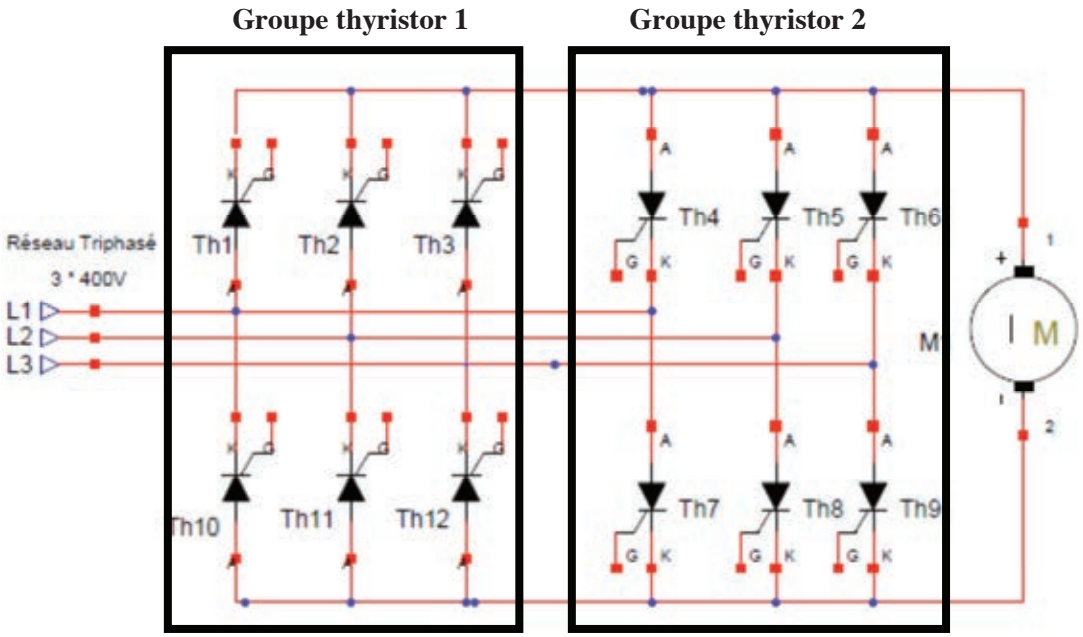
Document réponse DR 2

Question 7

Inversion sens rotation

- **Grandeurs électriques à inverser :**

Comment réaliser l'inversion ? (donner ci-dessous les explications et entourer le groupe de thyristors en rouge)

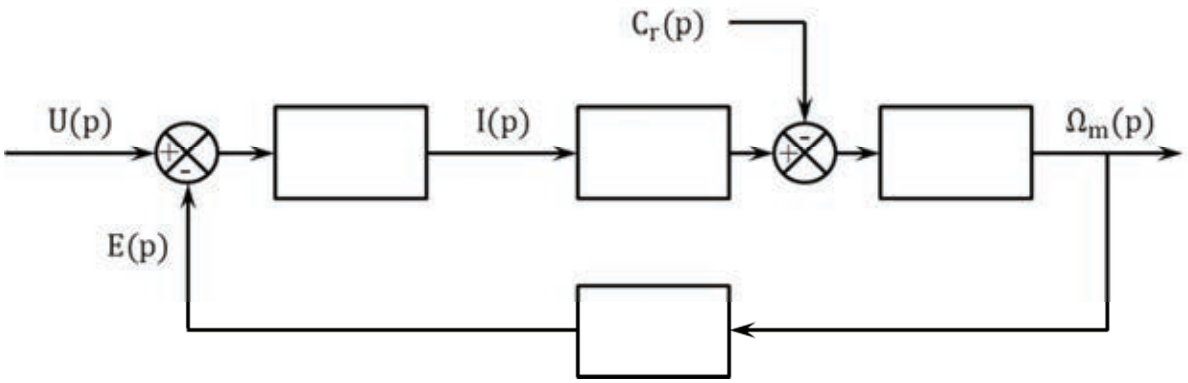


Question 8

Mode moteur et mode génératrice (entourer la ou les réponses ci-dessous, indiquer le parcours du courant dans les 2 modes et entourer le groupe de Thyristors en vert) :

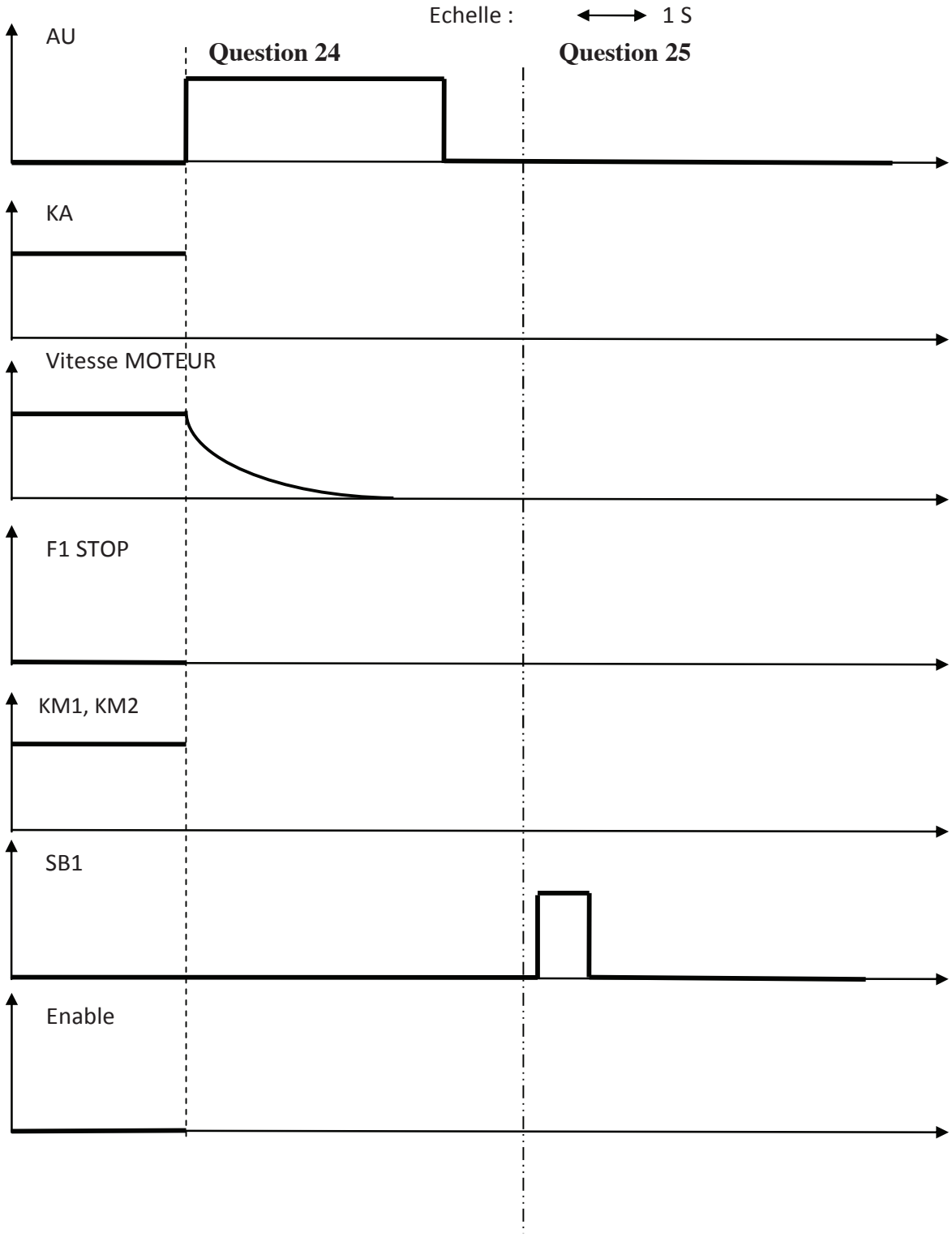
- inversion de la tension d'inducteur ;
- inversion de la tension d'induit ;
- inversion du courant d'inducteur ;
- inversion du courant d'induit.

Question 14



Document réponse DR 3

Questions 24 et 25



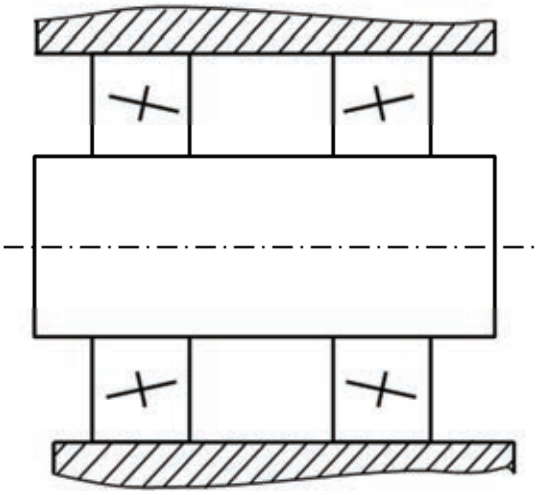
Document réponse DR 4

Question 33 a.

Justification du choix du montage en « O » :

Question 33 b.

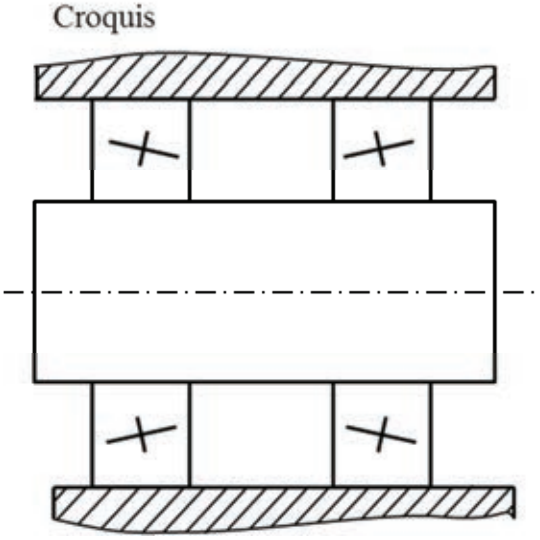
Croquis



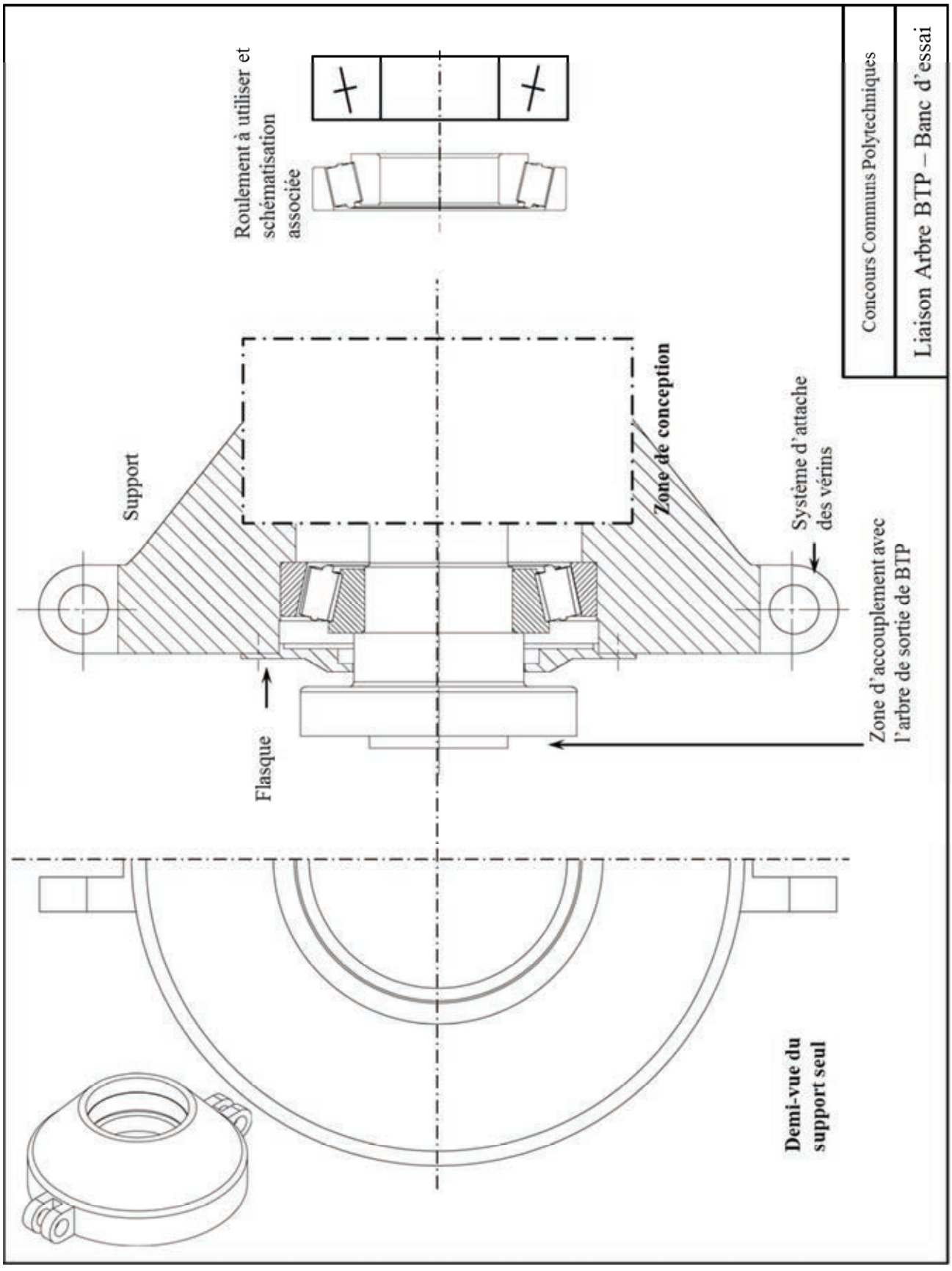
Justifications du serrage des bagues :

Question 33 c.

Croquis

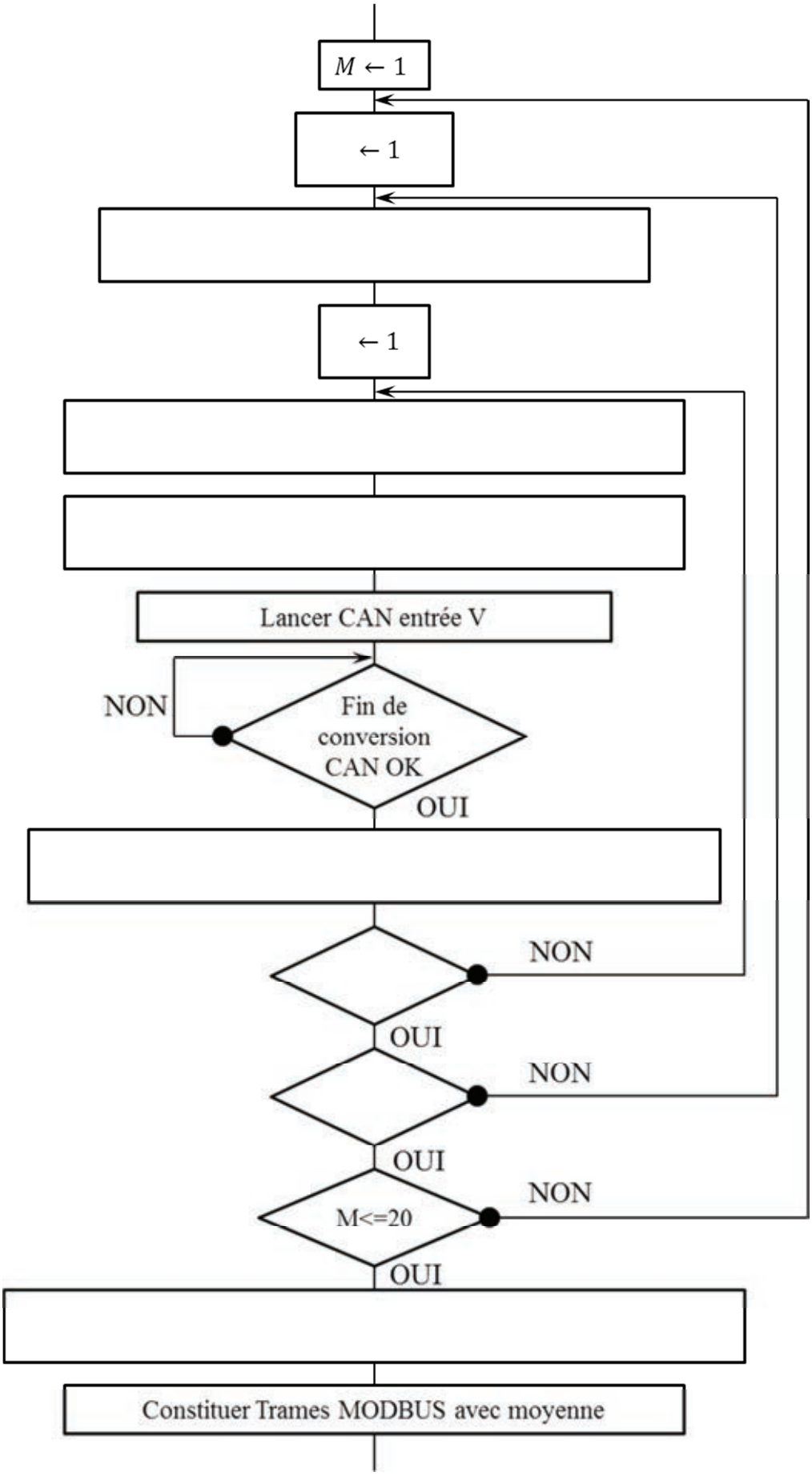


Questions 33 d. et 33 e.



Document réponse DR 5

Question 41



Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de TSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase
- Transmetteurs de puissance et trains d'engrenages
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement
- Modélisation des liaisons, graphe des liaisons et schéma cinématique

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/ccinp/tsi