

# 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 influencer 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 ...).

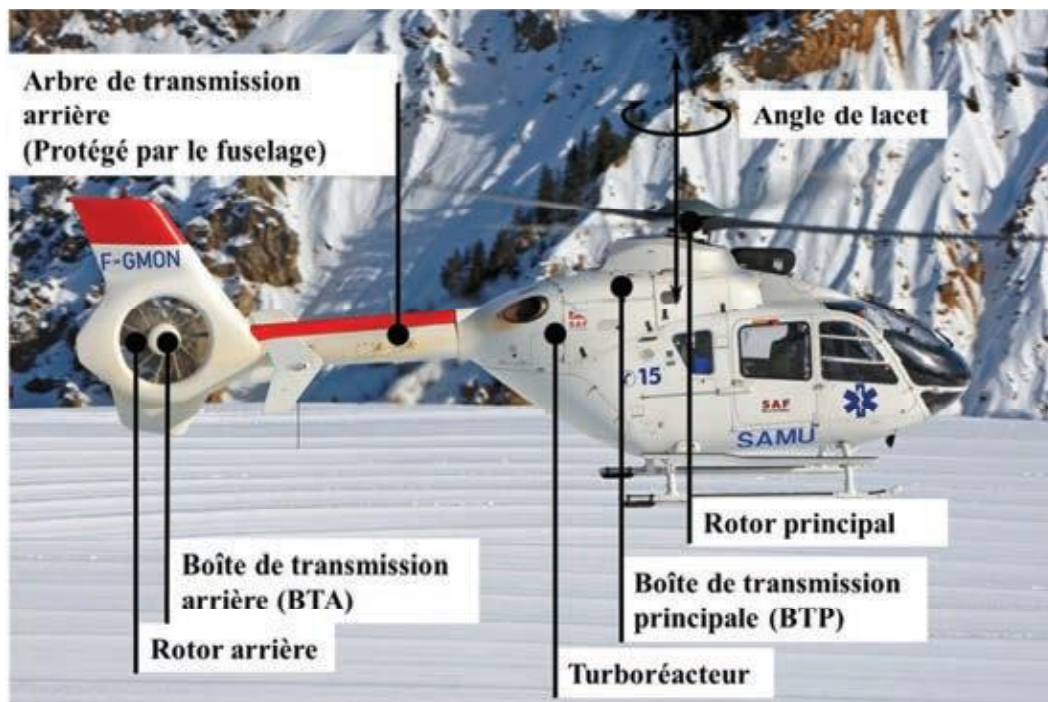


Figure 1 – Constituants principaux de la motorisation d'un hélicoptère

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 offshore.

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.

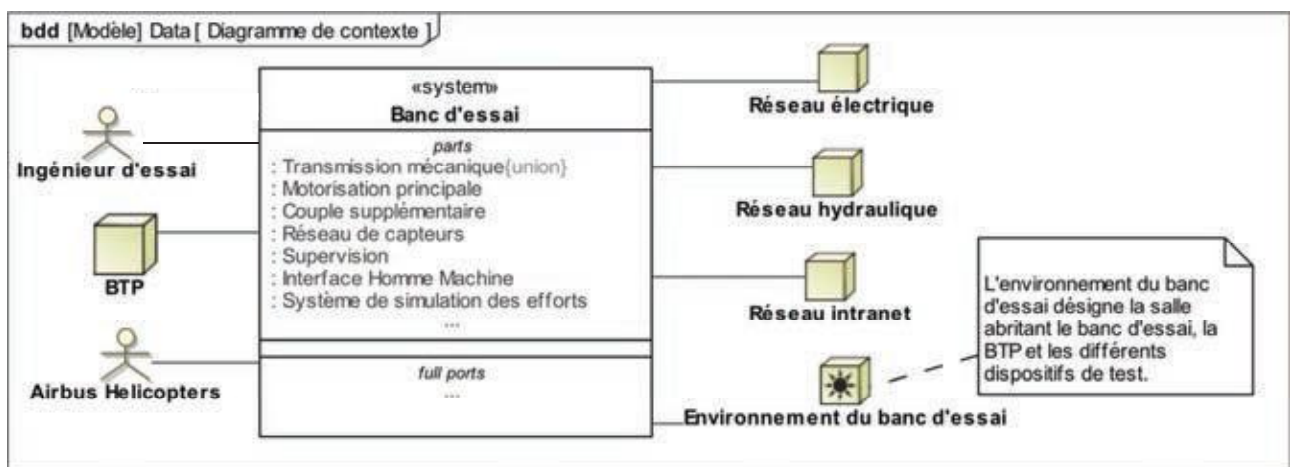


Figure 3 – Diagramme de contexte du banc d'essai

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

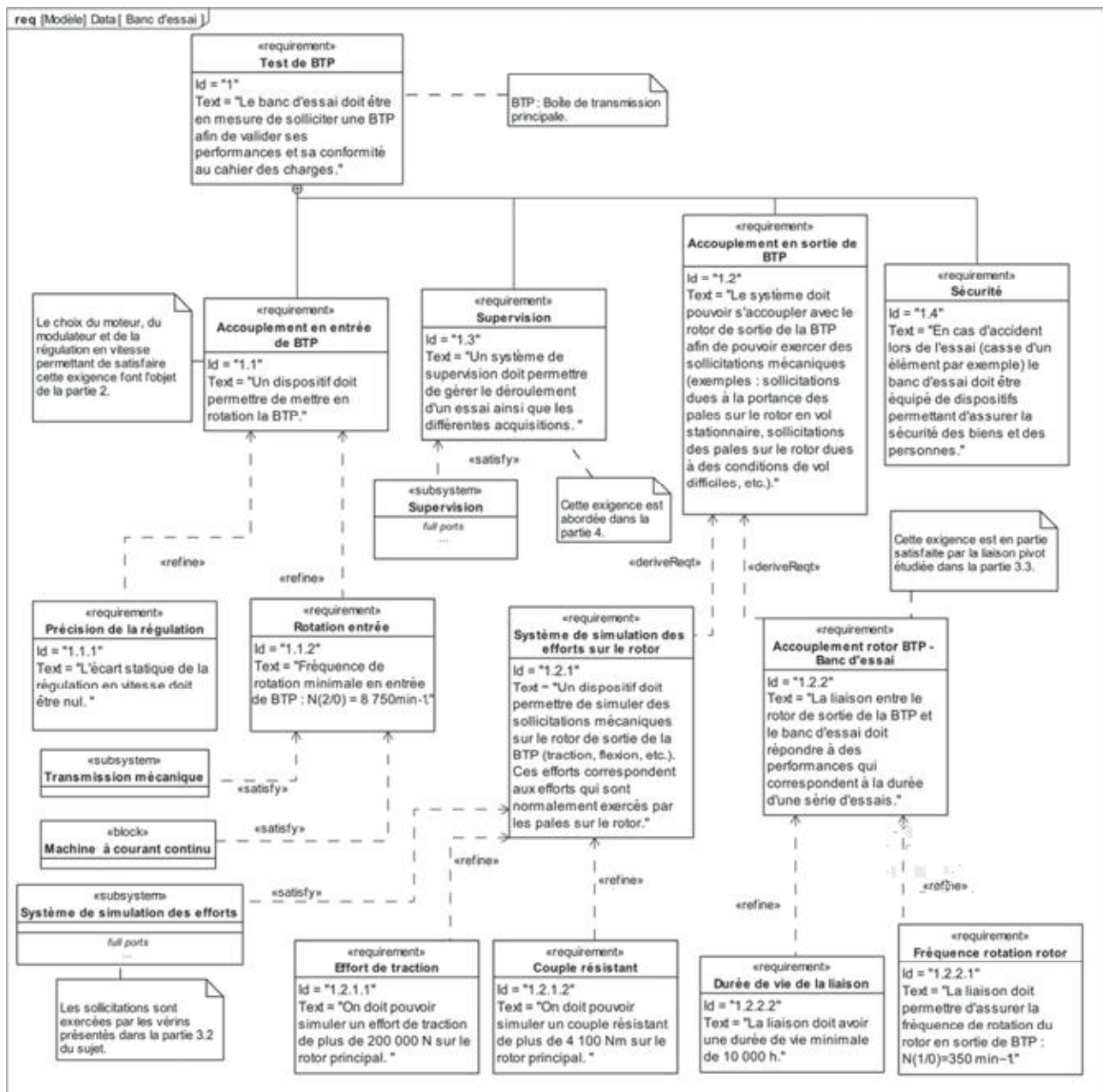


Figure 4 – Diagramme partiel des exigences du banc d'essai BTP

### 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.

### 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.

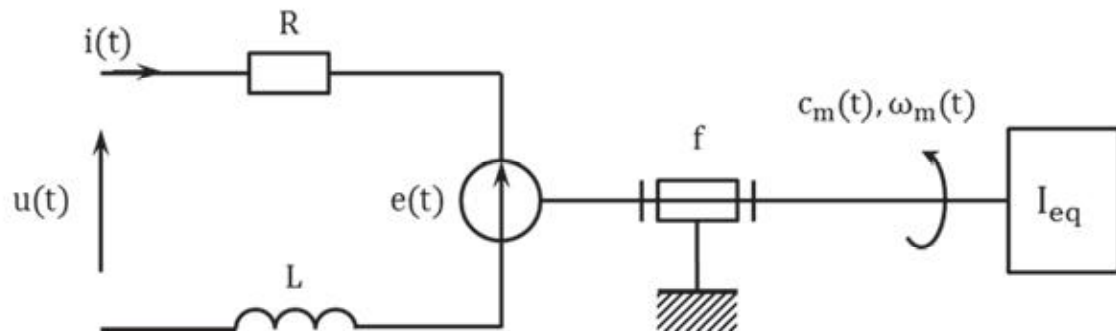


Figure 9 – Schéma équivalent du moteur à courant continu

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 :

$$c_m(t) = K_c \cdot i(t) \quad (\text{équation 1})$$

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

$$e(t) = K_e \cdot \omega_m(t) . \quad (\text{équation 2})$$

#### 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  $e(t)$ ,  $i(t)$  et  $u(t)$ .



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  $E_c(7/0)$  de l'ensemble 7 par rapport à 0 en fonction de  $\omega(7/0)$  et de  $I_7$  puis l'énergie cinétique  $E_c(6/0)$  de l'ensemble 6 par rapport à 0 en fonction de  $\omega(7/0)$ ,  $Z_7$ ,  $Z_6$  et  $I_6$ . En déduire l'énergie cinétique  $E_c((6+7)/0)$  ainsi que l'inertie équivalente aux solides 6 et 7 (notée  $I_{eq}$ ) 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.

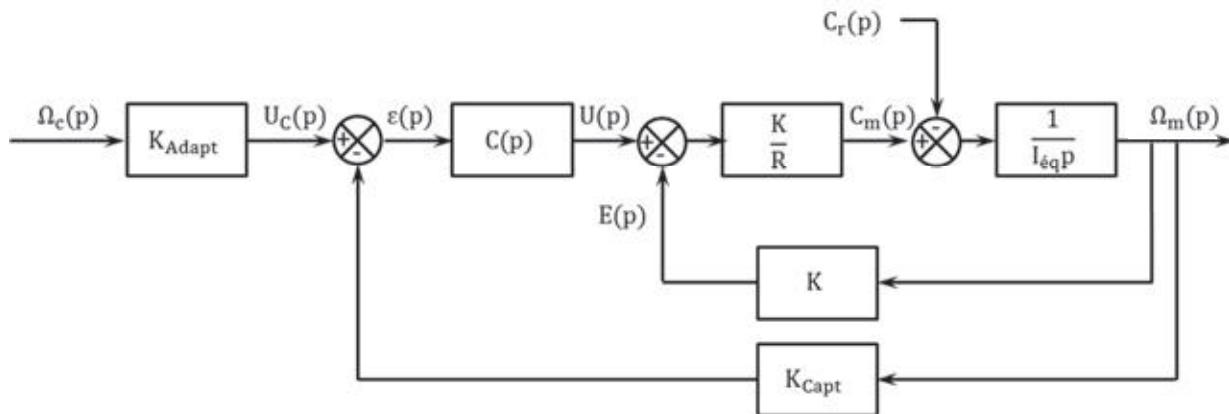


Figure 10 – Régulation en vitesse du banc d'essai

**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  $\tau_1$ .

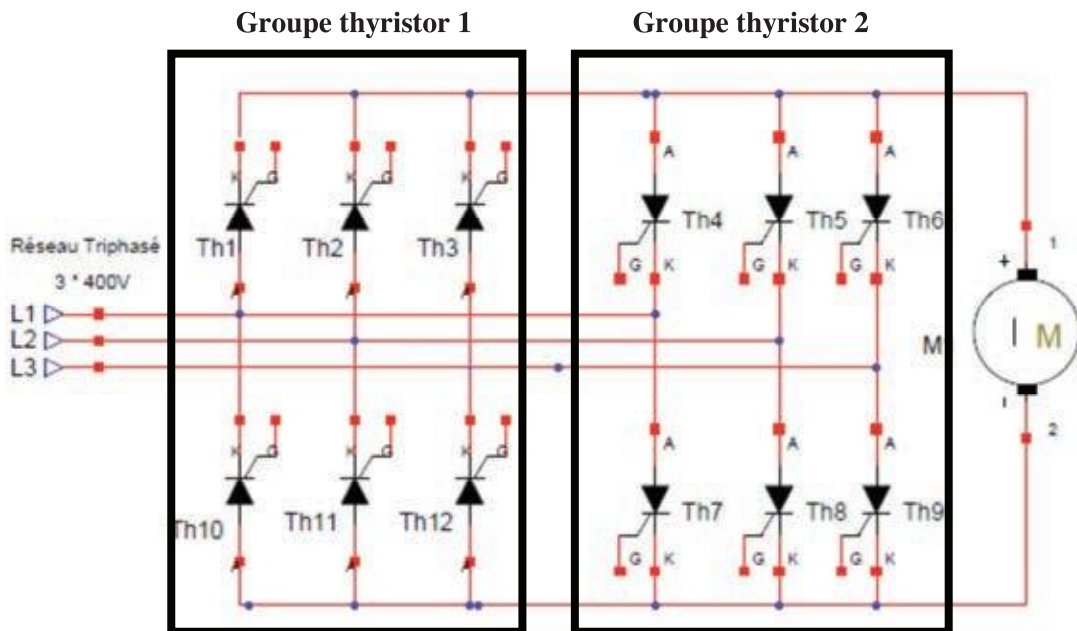
## Document réponse DR 2

### 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

