



Ce document a été mis en ligne par l'organisme [FormaV®](#)

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :

[www.formav.co/explorer](http://www.formav.co/explorer)

# Brevet de technicien supérieur AÉRONAUTIQUE

Session 2017

## Épreuve E4 - INGÉNIERIE D'ASSEMBLAGE ET DE MAINTENANCE

*Sous épreuve : Étude de modifications  
pluritechnologiques*

**Unité U41**

**Durée : 6 heures**

**Coefficient : 4**

**Aucun document n'est autorisé**

### **Matériel autorisé :**

Calculatrice électronique de poche, y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique, à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n°99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout autre document et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Le dictionnaire Anglais/Français, spécialisé aéronautique ou pas, est autorisé.

### **Documents remis en début d'épreuve :**

- **Dossier Sujet** DS1 à DS11
- **Dossier Technique** DT1 à DT22
- **Dossier Réponse** DR1 à DR6
- Des feuilles de composition comportant un bandeau d'anonymat
- Des feuilles de brouillon

### **Documents à rendre obligatoirement en fin d'épreuve :**

- Les feuilles de composition numérotées et anonymées
- Les feuilles du **Dossier Réponse** complétées seront agrafées aux feuilles de composition

### **Recommandations :**

- Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet
- Il est indispensable de commencer par lire la totalité du sujet
- S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera, alors, clairement et précisément ces hypothèses.

<b>BTS AÉRONAUTIQUE</b>		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	CHEMISE SUJET

## Treuil sur hélicoptère EC145

### Mise en situation

Cet hélicoptère est notamment utilisé par la Direction Générale de la Sécurité Civile (DGSC) pour effectuer des missions de secours à personnes et des missions d'assistance (feux de forêt, police, projection de moyens spécialisés, sauvetage en mer, en montagne, ...).

Pour assurer ces missions, on souhaite ajouter un treuil en s'assurant de l'adaptabilité de l'équipement à l'appareil.

Cet hélicoptère dispose d'une marge de puissance calculée au plus juste. Toute option ajoutée à cet aéronef nécessite une étude approfondie.



### Objectifs de l'étude

Étude de faisabilité du montage d'un treuil sur l'hélicoptère.

Le sujet est composé de 5 parties et de leurs sous-parties indépendantes :

PARTIE 1 : Adaptabilité de deux technologies de treuil

PARTIE 2 : Étude du prototype

PARTIE 3 : Étude du câblage et du circuit d'alimentation

PARTIE 4 : Étude de résistance des matériaux sur la potence

PARTIE 5 : Conclusion.

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017	
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DS1/11	

## PARTIE 1 Adaptabilité de deux technologies de treuil

Cette partie aborde la possibilité d'adapter une technologie de treuil répondant au cahier des charges.

Il est demandé de :

- comparer les kits utilisant deux formes d'énergies (génération hydraulique / génération électrique) ;
- étudier l'influence des équipements sur la masse et centrage ;
- vérifier la capacité de l'aéronef à fournir l'énergie nécessaire.

<b>Question 1.1</b>	À l'aide des documents techniques, compléter le tableau n°1 du DR1 spécifiant les caractéristiques des deux systèmes de treuil.
DT2 à DT5, DR1	

On désire vérifier à l'altitude de 2 000 m que la portance de l'hélicoptère est suffisante lors de l'hélicoptère en vol stationnaire.

<b>Question 1.2</b>	Relever la fréquence de rotation en sortie de la turbine, en déduire la fréquence en sortie de boîte de transmission principale (BTP), identique à celle du rotor.
DT2	

<b>Question 1.3</b>	Exprimer, puis calculer la vitesse tangentielle en bout de pale.
DT2	

<b>Question 1.4</b>	Le vol se faisant en montagne à l'altitude 2 000 m, vérifier que cette vitesse reste subsonique.
DT6	

Hypothèses :

- $C_z$  : coefficient de portance ;
- $\rho$  : masse volumique de l'air en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;
- On prendra  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  pour l'accélération de la pesanteur ;
- La portance générale du rotor correspond à la résultante de chaque pale. Pour les calculs, on se placera dans le cas où l'hélicoptère est en vol stationnaire ;
- La force de portance est toujours perpendiculaire au plan de rotation du rotor ;
- L'angle d'incidence est de  $5^\circ$  avec un nombre de Reynolds  $Re = 200\,000$ .

<b>Question 1.5</b>	Après avoir identifié $\rho$ à 2 000 m et $C_z$ , calculer la force de portance $F_n$ sur une pale. En déduire $F_s$ , la force de sustentation totale disponible. On reportera cette valeur dans le tableau n°2 du DR1.
DT3, DT6, DR1	

<b>Question 1.6</b>	Calculer le poids total de l'hélicoptère équipé du kit treuil hydraulique chargé à 270 kg. Reporter la valeur trouvée de $F_{T.Hyd}$ dans le tableau n°2 du DR1.
DT2, DT5, DR1	

<b>Question 1.7</b>	Calculer le poids total de l'hélicoptère équipé du kit treuil électrique chargé à 270 kg. Reporter la valeur trouvée de $F_{T.élec}$ dans le tableau n°2 du DR1.
DT2, DT5, DR1	

<b>Question 1.8</b>	Pour chacune des options envisagées, la force de sustentation disponible sera-t-elle suffisante ? Justifier la réponse sur copie.

Pour le pilotage, le manuel de vol précise que toute option ajoutée nécessite la prise en compte de la modification de la masse et du centrage autour de l'axe de tangage. Il s'agit de vérifier que la nouvelle position du centre de gravité reste compatible avec l'équilibre de l'aéronef.

Pour cela, on utilisera l'abaque de centrage du constructeur. Un exemple est donné dans le DT8.

On considérera qu'il n'y a pas de variation de masse de carburant.

<b>Question 1.9</b>	Compléter l'abaque DR2 (kit treuil hydraulique) en y reportant :
DT5, DT7, DT8, DR2	<ul style="list-style-type: none"> <li>La masse du kit déployé et une charge au treuil de 270 Kg ;</li> <li>Les valeurs et calculs dans les zones encadrées du DR2 ;</li> <li>Le nouveau point du centre de gravité.</li> </ul>

<b>Question 1.10</b>	Compléter l'abaque du DR3 (kit treuil électrique) en y reportant :
DT5, DT7, DT8, DR3	<ul style="list-style-type: none"> <li>La masse du kit déployé et une charge au treuil de 270 Kg ;</li> <li>Les valeurs et calculs dans les zones encadrées du DR3 ;</li> <li>Le nouveau point du centre de gravité.</li> </ul>

<b>Question 1.11</b>	Les points obtenus se trouvent-ils encore dans les limites masse et centrage pour les deux kits ?
DT8, DR2, DR3	

On cherche à s'assurer que l'hélicoptère peut produire l'énergie nécessaire pour le treuil électrique ou hydraulique.

Bilan des puissances pour le treuil hydraulique :

<b>Question 1.12</b>	Dans le circuit hydraulique de l'hélicoptère, indiquer :
DT9	<ul style="list-style-type: none"> <li>le type de pompe qui est embarqué ;</li> <li>leur nombre ;</li> <li>la pression du circuit ;</li> <li>le débit d'une pompe.</li> </ul>

On donne la relation : puissance hydraulique  $P \text{ (W)} = Q \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \times p \text{ (Pa)}$

<b>Question 1.13</b>	Calculer la puissance hydraulique que peut fournir l'ensemble de la génération hydraulique de l'hélicoptère. Compléter le tableau 3 du DR1.
DT9, DR1	

<b>Question 1.14</b>	Calculer la puissance hydraulique nécessaire à l'alimentation du treuil hydraulique. Compléter le tableau 3 du DR1.
DT5, DR1	

<b>Question 1.15</b>	En admettant que les systèmes qui utilisent l'énergie hydraulique nécessitent une puissance de 2 000 W, conclure sur la capacité de la génération hydraulique de l'hélicoptère à alimenter ce type de treuil. Compléter le tableau 3 du DR1.
DR1	

Bilan des puissances pour le treuil électrique :

<b>Question 1.16</b>	Dans le circuit électrique de l'hélicoptère, indiquer le nombre de générateurs embarqués.
DT10	<p>Caractériser l'énergie électrique que peut fournir un seul générateur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>nature de la tension (continue ou alternative) ;</li> <li>valeur de la tension ;</li> <li>courant maximum débité.</li> </ul>

<b>Question 1.17</b>	Calculer la puissance électrique que peut fournir l'ensemble de la génération électrique de l'hélicoptère. Compléter le tableau 4 du DR1.
DT10, DR1	

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DS3/11

<b>Question 1.18</b>	Calculer la puissance électrique nécessaire à l'alimentation du treuil électrique. Compléter le tableau 4 du DR1.
DT5, DR1	

<b>Question 1.19</b>	En admettant que les systèmes qui utilisent l'énergie électrique nécessitent une puissance de 6 000 W, conclure sur la capacité de la génération électrique de l'hélicoptère à alimenter ce type de treuil. Compléter le tableau 4 du DR1.
DR1	

<b>Question 1.20</b>	Au regard de l'ensemble des critères analysés, justifier sur copie votre choix de treuil.

## Travail demandé

### PARTIE 2 Étude du prototype

Dans la suite du questionnaire, la solution du treuil électrique est retenue.

Un prototype du treuil électrique a été monté sur l'hélicoptère. Après un certain nombre d'heures de fonctionnement, des problèmes de vitesse d'enroulement / déroulement sont apparus.

Cette partie a pour objectif d'analyser ce problème et de proposer une solution pour y remédier.

On vérifiera l'adaptation du moto-réducteur Brushless à courant continu sans balais (BLDC) équipant le treuil.

Pour cela, une étude de la chaîne de transmission de puissance est nécessaire.

Hypothèses :

- Charge maxi hélitreuillable :  $M = 270 \text{ kg}$  ;
- La masse du câble est négligée pour l'instant ;
- On prendra  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  pour l'accélération de la pesanteur ;
- Le diamètre moyen d'enroulement (câble à moitié enroulé) est  $D = 275 \text{ mm}$ .

### 2.1 Étude de la chaîne d'énergie et de transmission de puissance

<b>Question 2.1.1</b>	Calculer la puissance mécanique maximale $P_{\text{sortie}}$ lors du mouvement de translation du câble imposée par la charge maxi en phase de montée.
DT14	

<b>Question 2.1.2</b>	En tenant compte des différents rendements, calculer la puissance mécanique nécessaire sur l'arbre de sortie du moteur Brushless.
DT13	

<b>Question 2.1.3</b>	Le moteur initialement utilisé dans le treuil est un moteur à courant continu sans balais (BLDC) de référence 160216.
DT16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reporter sur copie la puissance nominale de sortie du moteur.</li> <li>• Cette puissance est-elle suffisante ?</li> </ul>

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017	
Étude de modifications pluritechnologiques		Code : AE4EMPT	DS4/11

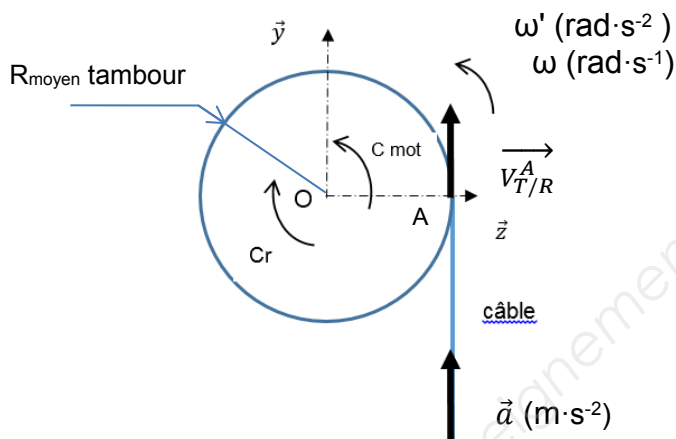
La suite de l'étude a pour objectif de choisir un moteur adapté.

## 2.2 Étude cinématique : Détermination de la fréquence de rotation du moteur

### Question 2.2.1

DT14 et DT18

En phase de montée à pleine vitesse  $\vec{V}_{T/R}^A$  avec la charge maxi, calculer la fréquence de rotation du tambour. On prendra le diamètre moyen d'enroulement du tambour.



### Question 2.2.2

DT13

Après avoir calculé le rapport de transmission  $i_{s/e}$ , calculer la fréquence mécanique de rotation nécessaire pour l'arbre du moteur.

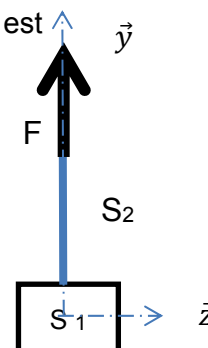
## 2.3 Étude dynamique: Détermination du couple moteur.

Une étude approfondie est nécessaire pour vérifier que le couple du moteur est suffisant, notamment lors du démarrage.

Hypothèse et données :

- Le solide ( $S_2$ ) correspond au câble, de masse notée  $m_2$
- Le câble est sollicité en traction
- Le solide ( $S_1$ ) correspond à la charge maxi hélitreuillée, de masse notée  $m_1$
- ( $S$ ) = ( $S_1$ ) + ( $S_2$ )

Étude à l'arrêt du système :



### Question 2.3.1

DT18

Après avoir calculé la masse  $m_2$  du câble (pour 90 m), calculer la masse totale  $m$  entraînée en translation.

### Question 2.3.2

DT18

À partir de la condition de résistance à la traction, calculer le coefficient de sécurité du câble à l'arrêt, puis valider par rapport au cahier des charges.

Étude dynamique du câble en translation et vérification de l'accélération maxi (notée  $a$ ) du câble à la rupture.

### Question 2.3.3

DT18

Écrire l'équation de la résultante dynamique sur  $\vec{y}$  appliquée au système ( $S$ ). En déduire l'expression littérale de l'accélération «  $a$  ».

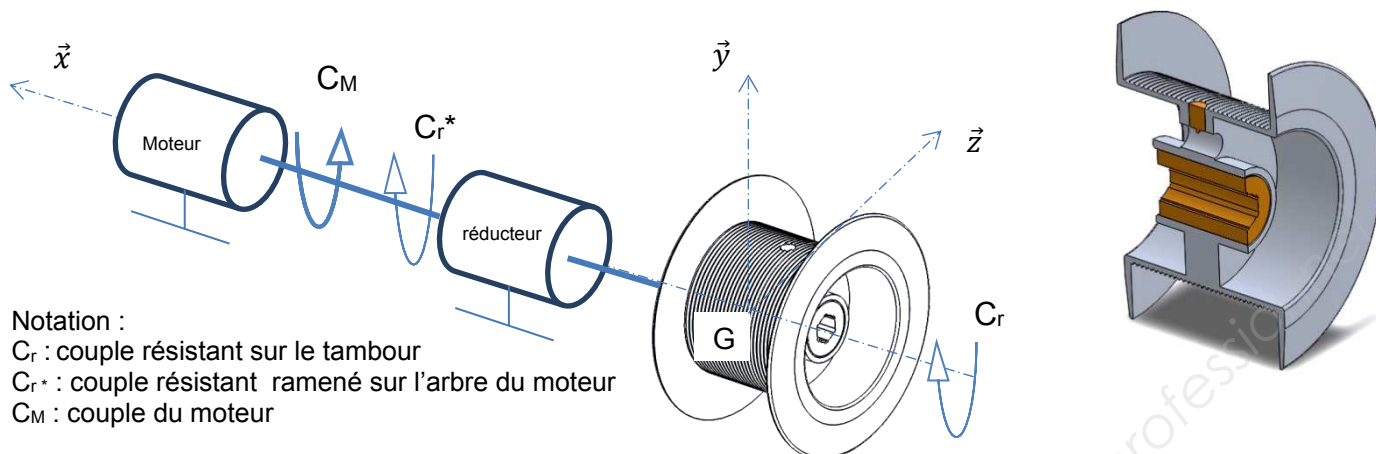
### Question 2.3.4

DT18

Calculer la force  $F_r$  entraînant la rupture du câble, en déduire l'accélération «  $a$  ». Conclure par rapport au cahier des charges.

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DS5/11

## Étude dynamique du tambour au démarrage du moteur.



### Données :

- Accélération angulaire du moteur  $\omega'_{moteur} = 1,52 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$  ;
- Le rendement global  $\eta_g = 0,894$  ;
- Le rapport de transmission  $i_{s/e} = 0,0509$  ;
- Seule l'inertie du tambour [ $J_{Gx} = 0.0627 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ] sera prise en compte ;
- La charge maxi à soulever est de 283,3 kg, les autres masses sont négligées.

### Relations :

On donne l'équation du moment dynamique autour de l'axe du moteur :

$$\sum \overrightarrow{Mt_{G/\vec{x}}} (\overrightarrow{F_{ext/S}}) = J_{Gx \text{ equi}} \cdot \omega'_{moteur} \vec{x}$$

L'inertie équivalente du tambour ramenée sur l'axe du moteur :

$$J_{Gx \text{ equi}} = J_{Gx} \cdot (i_{s/e})^2$$

<b>Question 2.3.5</b>	Calculer le couple résistant maxi noté $C_r$ sur le tambour imposé par la charge maxi à soulever pour un rayon de 142 mm.
<b>Question 2.3.6</b>	Calculer l'inertie équivalente $J_{Gx \text{ equi}}$ .
<b>Question 2.3.7</b>	À l'aide du rendement, calculer le couple ramené sur l'arbre du moteur $C_{r^*}$ .

On isole l'arbre du moteur

<b>Question 2.3.8</b>	À l'aide du principe fondamental de la dynamique : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Écrire l'équation du moment dynamique autour de l'axe <math>\vec{x}</math> et en déduire l'expression littérale de <math>C_M</math> en fonction <math>C_r</math>, <math>\omega'_{moteur}</math> et <math>J_{Gx \text{ equi}}</math>.</li> <li>• Calculer le couple moteur <math>C_M</math>.</li> </ul>
-----------------------	--

### Critères de choix du moteur :

- Puissance mécanique 2 000 W minimum ;
- Fréquence de rotation minimum 1 000 tr·min<sup>-1</sup> ;
- Masse minimale ;
- Couple moteur calculé précédemment.

<b>Question 2.3.9</b>	Choisir la référence du moteur qui conviendrait le mieux. Justifier.
DT16	

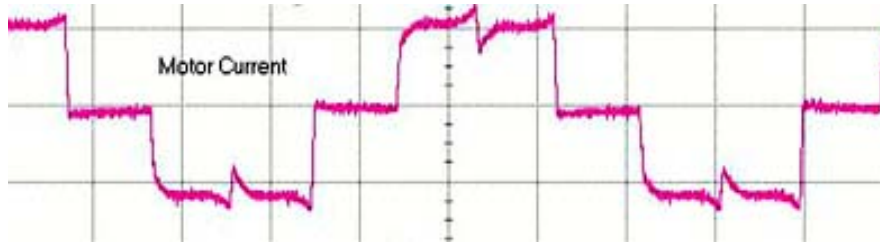
BTS AÉRONAUTIQUE	Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT DS6/11



## 2.4 Étude de la commande du moteur électrique

Les problèmes de vitesse de déroulement de câble peuvent avoir pour origine la commande du moteur d'entraînement BLDC.

Le chronogramme des courants dans les enroulements du moteur a été relevé.  
L'étude suivante consiste à vérifier que ce relevé est conforme.



Forme d'onde relevée du courant dans une phase du moteur



<b>Question 2.4.1</b> DT15, DR4	Sur le document réponse DR4, déterminer l'état des transistors pour satisfaire au cycle de fonctionnement donné DT15.
<b>Question 2.4.2</b> DT15, DR4	Sur le document réponse DR4, tracer les chronogrammes des courants $I_{AN}$ , $I_{BN}$ et $I_{CN}$ s'écoulant de A vers N, B vers N et C vers N.  Conclure quant à la conformité avec le relevé.
<b>Question 2.4.3</b>	En cas d'erreur de montage, quel serait l'effet d'une inversion de deux câbles alimentant les bobines du BLDC ?
La commande du moteur peut engendrer des perturbations électromagnétiques.	
<b>Question 2.4.4</b>	D'une manière générale, indiquer pourquoi les câbles d'alimentation constituent une source de perturbation électromagnétique.
<b>Question 2.4.5</b>	En conséquence, quelles précautions sont à prendre pour le cheminement des câbles ?
<b>Question 2.4.6</b>	Quel(s) type(s) de câble faut-il choisir pour limiter l'influence des champs électromagnétiques extérieurs ?

## 2.5 Étude des dispositifs de sécurité

On souhaite vérifier que le treuil est conforme à la réglementation aéronautique d'un point de vue sécurité des personnes durant un hélitreuillage.

<b>Question 2.5.1</b>	En cas de défaillance du moteur pendant un hélitreuillage, quel dispositif assure la sécurité ?
DT13 à DT17	

Un effort normal est nécessaire pour éviter le déroulement du câble lors d'une panne du moteur du treuil. On prendra un couple de  $C_r = 395 \text{ N}\cdot\text{m}$ .

<b>Question 2.5.2</b>	Calculer l'effort normal $P$ nécessaire entre les disques de friction pour empêcher la descente de la charge maximale. La valeur de $P$ est-elle conforme ?
DT17	

Donnée :

$$C_r = \frac{2}{3} * n * P * f * \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}$$

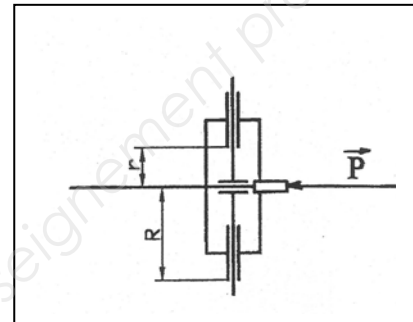
$f$  : coefficient d'adhérence,  $f = 0,4$

$R$  : rayon extérieur des disques de friction

$r$  : rayon intérieur des disques de friction

$P$  : Effort normal uniformément réparti

$n$  : nombre de surfaces frottantes



Étude du système coupe-câble :

Le dispositif « coupe-câble » est un dispositif pyrotechnique qui permet de sectionner le câble du treuil en cas d'extrême nécessité.

On souhaite ajouter une commande coupe-câble pour le copilote.

<b>Question 2.5.3</b>	Compléter le tableau du DR5 en indiquant le numéro des repères ① à ⑧ des éléments du schéma DT19.
DT19, DR5	

- les contacts « normalement ouverts » des commandes pilote, copilote et opérateur du coupe-câble seront connectés en dérivation. Ils actionnent le coupe-câble.
- les contacts « normalement fermés » seront connectés de manière à amener le potentiel GND au relais K70004 (borne X2). Ils autorisent l'alimentation du coupe-câble.

<b>Question 2.5.4</b>	Indiquer le nom des fonctions logiques réalisées par un câblage série et parallèle. Représenter les deux symboles à la norme ANSI.

<b>Question 2.5.5</b>	Justifier la présence du shunt MF7134B22 en absence de câblage de commande de coupe-câble copilote.
DT19	

<b>Question 2.5.6</b>	Indiquer la gauge AWG du shunt MF7134B22.
DT22	

<b>Question 2.5.7</b>	Compléter le schéma de câblage permettant la mise en œuvre d'une commande de coupe-câble coté copilote qui respecte les critères énoncés précédemment.
DT19, DR5	

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DS8/11

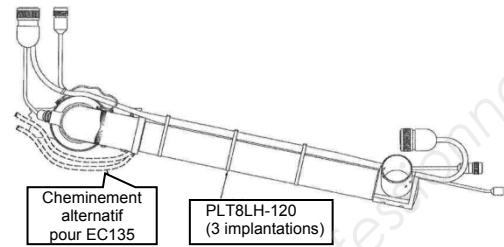
## PARTIE 3 Étude du câblage et du circuit d'alimentation

Les résultats de l'étude dynamique imposent le montage du moteur Brushless de référence **160217**.

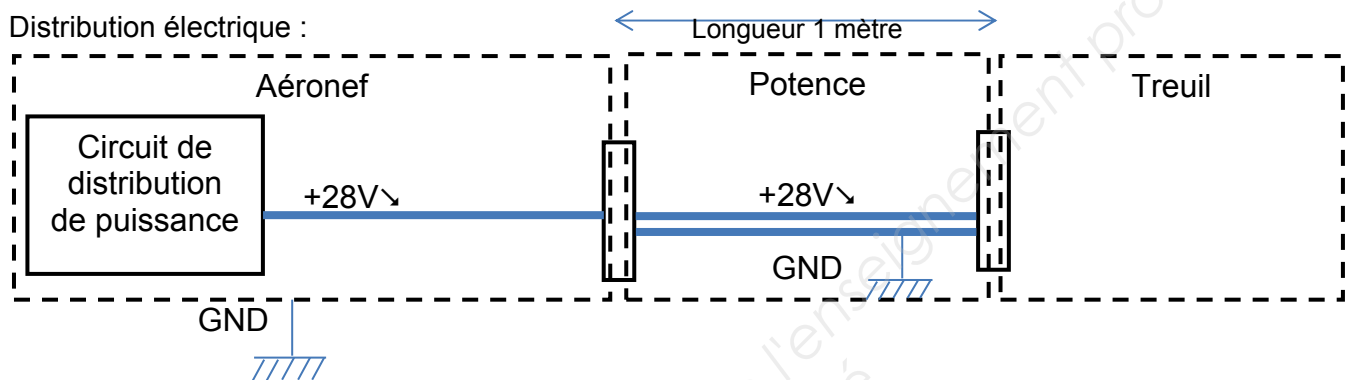
Dans la suite du problème, il vous est demandé d'étudier l'impact de ce changement de moteur sur la distribution électrique.

L'alimentation du treuil est décomposée en deux zones.

- 1- Aéronef : un conducteur unique permet d'amener le potentiel positif jusqu'à un connecteur. Le neutre est véhiculé par la structure de l'appareil.
- 2- Le long de la potence, **deux conducteurs** permettent le transport de l'énergie électrique.

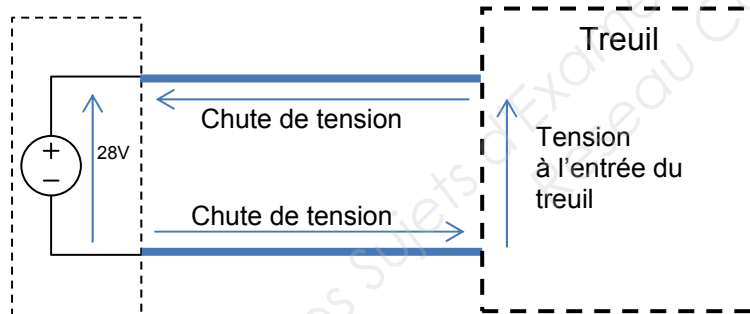


Distribution électrique :



**Question 3.1** Déterminer le courant crête qui sera consommé par le moteur.

DT16



**Question 3.2** Calculer la section de câble en cuivre permettant une chute de tension **totale** de moins de 2 % sur cette portion de câblage (le long de la potence).

DT21, DT22

*En appliquant un coefficient de sécurité et afin de limiter les pertes, le constructeur de l'aéronef a déterminé que le câble qui alimente le treuil depuis la boîte de distribution jusqu'à la potence doit avoir une section supérieure ou égale à **10 mm<sup>2</sup>**.*

**Question 3.3** Déterminer en la justifiant, la référence fournisseur du câble à utiliser sachant qu'il peut être soumis à des températures supérieures à 200 °C.

DT21, DT22

*À l'intérieur de l'aéronef, le câble d'alimentation emprunte des chemins lui faisant traverser des éléments de structure.*

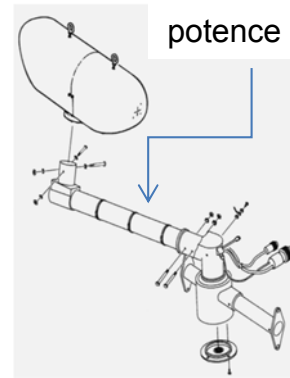
**Question 3.4** Quel serait le diamètre minimum nécessaire au passage du câble de type AS22759/87 et référencé 75987-6 ?

DT21, DT22

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DS9/11

## PARTIE 4 Étude de résistance des matériaux

Lors du suivi du prototype en phase d'utilisation des signes de fatigue (craques) sont apparus sur la potence. L'objectif de cette partie est d'évaluer les contraintes s'exerçant sur cette poutre.



<b>Question 4.1</b>	La potence est en alliage d'aluminium EN-AW 2017. Proposer un contrôle non destructif permettant de localiser une éventuelle craque débouchante (on ne souhaite pas démonter les pièces). Vous préciserez les différentes étapes de ce procédé.
DT12, DT20	

Par hypothèse le modèle d'étude sera plan, le désaxage entre le câble et le bras n'est pas pris en compte. Le modèle de poutre étudié sera le suivant :

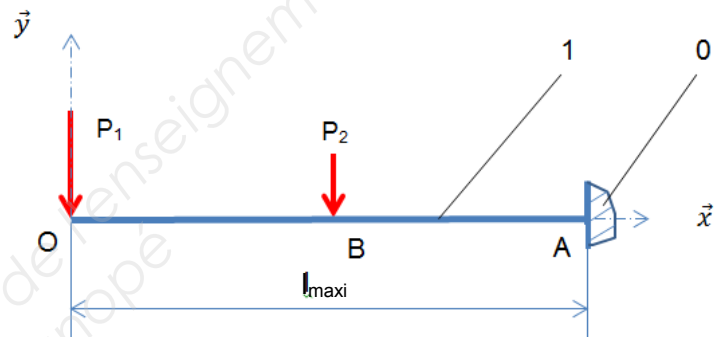


Figure 1

Hypothèses et données (voir figure 1 ci-contre) :

- Au point A, on a une liaison encastrement entre le kit treuil (1) et la structure (0) de l'hélicoptère.  
 $OA = l_{\max i} = 800 \text{ mm}$  et  $AB = l_{\max i}/2$ .
- Au point O, s'exerce l'action du poids du treuil (treuil, moteur, réducteur et plein d'huile) plus la charge maxi de 270 kg, notée  $P_1$ .
- On ramène au point B, l'action du poids de l'ensemble potence et support qui sera notée  $P_2$ .

La poutre sera assimilée à un tube de diamètre  $D_e = 75 \text{ mm}$ , d'épaisseur 4 mm.

Le coefficient de sécurité est de 2.

Le moment de flexion est noté :  $M_{fz}$

$E$  : module d'Young en MPa

$Y_{\max}$  : rayon extérieur de la potence

La contrainte de flexion vaut : 
$$\sigma_{\max} = \frac{M_{fz}}{\frac{I_{Gz}}{Y_{\max}}}$$

Le moment quadratique en flexion pour un **arbre plein** est : 
$$I_{Gz} = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$$

La flèche maxi vaut : 
$$y = \frac{-P_1 \cdot l^3 - P_2 \cdot (\frac{l}{2})^3}{3 \cdot E \cdot I_{Gz}}$$

On donne  $P_1 = 3\,070 \text{ N}$  et  $P_2 = 156 \text{ N}$

BTS AÉRONAUTIQUE	Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT DS10/11

<b>Question 4.2</b>	Isoler la poutre (1), puis déterminer les trois inconnues de la liaison encastrement ( $X_A$ , $Y_A$ , $N_A$ ).
Figure 1	
<b>Question 4.3</b>	Écrire littéralement les torseurs de cohésion le long de la poutre en fonction de $x$ . En déduire $T_y$ et $M_{f_z}$ entre O et B, puis entre B et A.
Figure 1	
<b>Question 4.4</b>	Compléter les diagrammes sur le DR6, puis indiquer sur copie le point appartenant à la section la plus sollicitée.
DR6	
<b>Question 4.5</b>	Pour cette section, calculer la contrainte de flexion maxi uniquement ( $T_y$ sera négligé). La condition de résistance est-elle respectée ? Si ce n'est pas le cas proposer un autre matériau à l'aide du tableau du DT12. Justifier.
DT12	
<b>Question 4.6</b>	Calculer la flèche maxi $f$ au point O. Est-elle acceptable ? On prendra le module de Young $E = 74\,000\text{ MPa}$
DT12	

Après contrôle dans l'AMM (Aircraft Maintenance Manuel), les dimensions de la crique constatée sur le kit ne dépassent pas la tolérance.

<b>Question 4.7</b>	On souhaite stopper cette crique, comment procéder ?
DT20	

## PARTIE 5 Conclusion

<b>Question 5</b>	Compte tenu de l'étude menée, conclure sur l'adaptabilité du kit treuil.

BTS AÉRONAUTIQUE	Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT DS11/11



## Sommaire du dossier technique

• Caractéristiques de l'hélicoptère	pages DT2 et DT3
• Analyse fonctionnelle du kit treuil	page DT4
• Fiche technique des treuils	page DT5
• Aérodynamique de l'hélicoptère	page DT6
• Masse et centrage	pages DT7 et DT8
• Génération hydraulique de l'aéronef	page DT9
• Génération électrique de l'aéronef	page DT10
• Descriptif détaillé du treuil électrique	pages DT11 à DT20
• Fiche technique du câblage électrique	page DT21 et DT22

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT1/22

## Caractéristiques de l'hélicoptère

L'hélicoptère EC145 est utilisé par la Direction Générale de la Sécurité Civile (DGSC)



Motorisation :

- Bi-moteurs
- Moteur : 2 GTM Arriel 1E2
- Puissance développée : 2 x 574 kW
- Fréquence de rotation de la turbine libre :  $41\,600 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$
- Fréquence de rotation de sortie de turbine :  $6000 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$

Rapport de Boîte de transmission principale (BTP) : 0.06965

Dimensions :

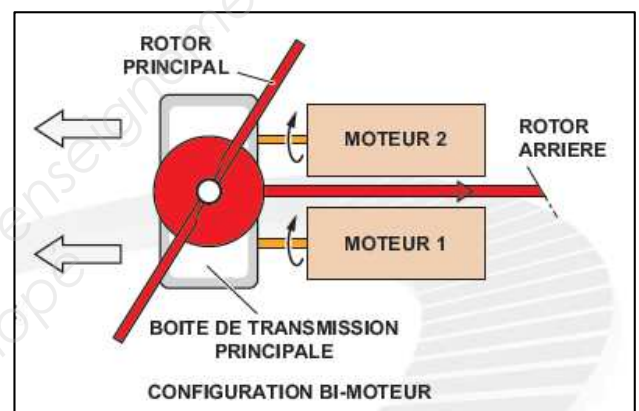
- Longueur : 13,02 m
- Diamètre rotor principal : 11,00 m

Performance :

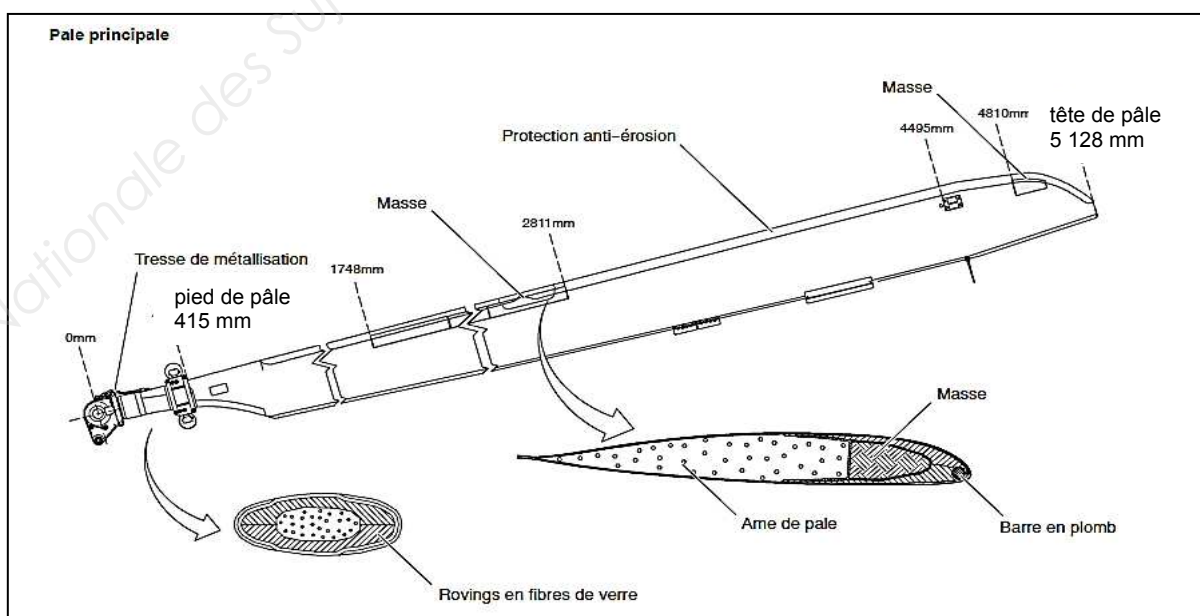
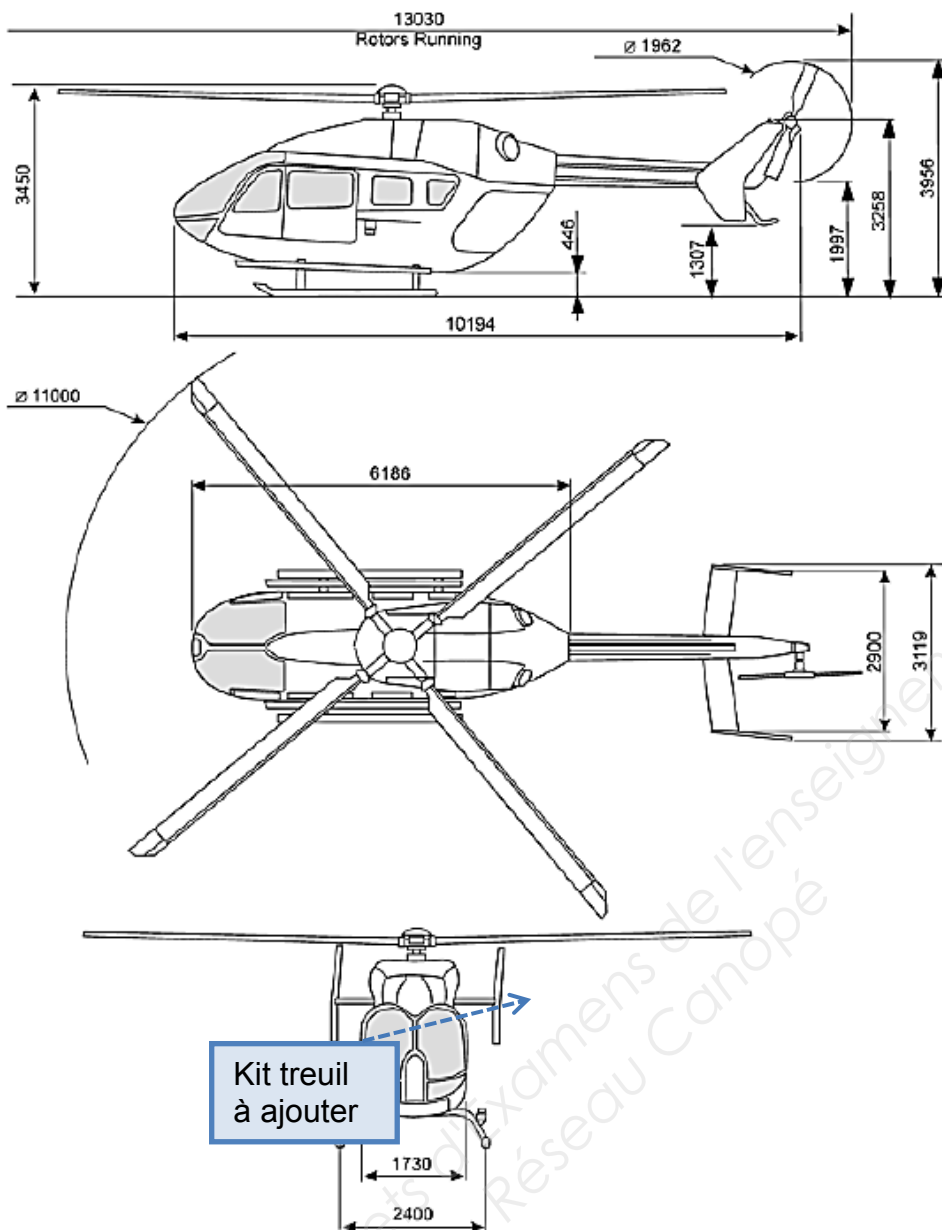
- Vitesse : 135 kt ( $245 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ )
- Masse maxi : 3 585 kg sans le kit treuil
- Autonomie : 2h15 min
- Distance franchissable : 510 km

Fixation d'une option treuil : des renforts de fixations sont prévus

- Une connectique électrique est prévue sur tous les appareils
- Pas de raccordement hydraulique prévu de série
- Charge maxi à hélitreuiller 270 kg

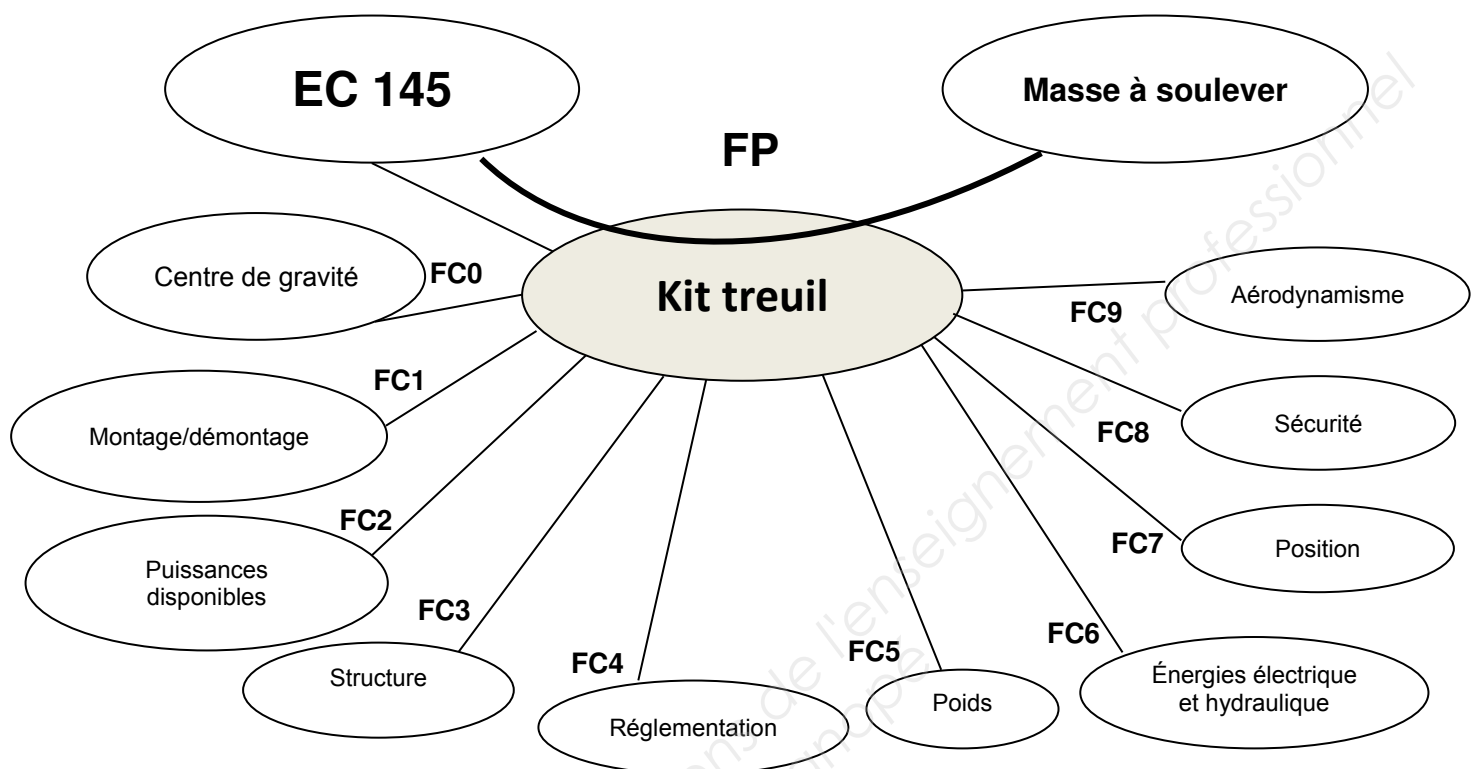


BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT2/22





## Graphe d'association



### Les fonctions :

Fonction principale : Hélitreuiller une masse de 270 kg maxi

FC0: Limiter le déplacement du centre de gravité de l'hélicoptère équipé (masse et centrage)

FC1: Être démontable

FC2: Limiter la consommation en énergie afin d'éviter le délestage

FC3: S'adapter à la structure existante de l'appareil

FC4: Respecter les normes aéronautiques pour l'ajout d'une option sur aéronef

FC5: Limiter le poids du Kit

FC6: S'adapter aux branchements disponibles (hydraulique, électrique,...)

FC7: Monter le kit à gauche ou à droite de l'hélicoptère

FC8 : Disposer de systèmes de sécurité (mécanique, électrique, pyrotechnique)

FC9 : Limiter les perturbations aérodynamiques de l'appareil

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT4/22

## Fiche technique du treuil hydraulique

L'utilisation du treuil hydraulique est très avantageuse, car il peut fonctionner en continu, il dispose d'un mécanisme très fiable et ne connaît aucune limite. Un treuil hydraulique a des capacités de traction extrêmement importantes et des vitesses d'enroulement très élevées. Toutefois, il est bien plus lourd qu'un treuil électrique. Le treuil hydraulique nécessite souvent d'installer une réserve d'huile, une pompe et un circuit hydraulique dimensionné pour le treuil. En outre, son prix d'achat est plus élevé que celui du treuil électrique.

### General specifications

Height	21 inch	53,4 cm	
Width	10,6 inch	27 cm	
Weight	treuil	146,6 lbs	66,5 kg
	perche	35,86 lbs	16,27 kg
	support	34 lbs	15,88 kg
	total du kit	216,46 lbs	98,65 kg
Hoist length	230 ft	70 m	
Cable diameter	0.19 inch	4,92 mm	
Cable length	246 ft	75 m	
Maximum fit load	595,24 lbs	270 kg	
Supply pressure	2540 psi	175 bars	
rate flow	5,3 gal·min <sup>-1</sup>	20 l·min <sup>-1</sup>	
Input power	28 VDC/10 A max		



## Fiche technique du treuil électrique (première partie)

L'utilisation d'un treuil électrique est un bon compromis pour soulever des charges modérées. Plus léger que l'hydraulique il ne nécessite pas de se raccorder aux circuits hydrauliques de l'aéronef et perturbe moins le centrage. Son prix est également moins élevé.

Toutefois il faut veiller à la consommation d'énergie électrique et vérifier que l'appareil puisse la fournir sans perturber les autres servitudes, synonyme de délestage.

### General specifications

Height	12.32 inch	31.3 cm	
Width	8.75 inch	22.22 cm	
Weight	treuil	92,11 lbs	43 kg
	perche	35,86 lbs	16,27 kg
	support	34 lbs	15,88 kg
	total du kit	161,97 lbs	75,15 kg
Hoist length	262 ft	80 m	
Cable diameter	0.19 inch	4,92 mm	
Cable length	354,3 ft	90 m	
Maximum fit load	595,24 lbs	270 kg	
Input power	28 VDC/125 A max		

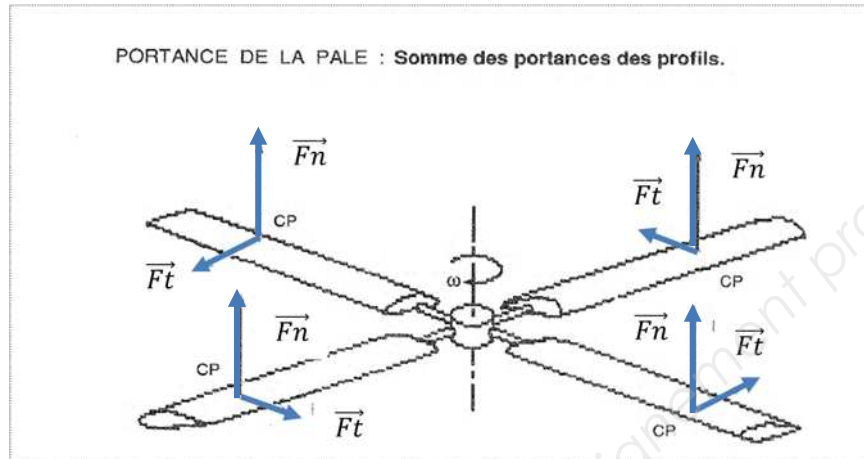


BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT5/22

## Aérodynamique de l'hélicoptère (quatre pales)

Mise en œuvre de la portance :

Pour parvenir à soulever l'hélicoptère, il faut pouvoir créer une portance résultante (force de sustentation totale et moyenne du rotor) supérieure au poids total de l'appareil. Ainsi en vol stationnaire, quand la résultante de l'ensemble des forces s'exerçant sur l'appareil est nulle, la portance est égale au poids, de même direction, mais de sens opposé.



### Polaires du profil (angle, Cz, Cx)

Re= 75 000			Re= 200 000			Re= 350 000		
Angle	Cz	Cx	Angle	Cz	Cx	Angle	Cz	Cx
-5	-0,676	0,0199	-5	-0,7	0,0142	-5	-0,701	0,0124
-4	-0,623	0,0181	-4	-0,644	0,0129	-4	-0,558	0,011
-3	-0,561	0,0173	-3	-0,529	0,0123	-3	-0,421	0,0097
-2	-0,45	0,0179	-2	-0,38	0,0116	-2	-0,274	0,0083
-1	-0,174	0,0207	-1	-0,214	0,0107	-1	-0,134	0,0075
0	0	0,0206	0	0	0,0105	0	0	0,0071
1	0,1738	0,0207	1	0,214	0,0107	1	0,1343	0,0075
2	0,4503	0,0179	2	0,3796	0,0116	2	0,274	0,0083
3	0,5605	0,0173	3	0,5289	0,0123	3	0,4209	0,0097
4	0,6229	0,0181	4	0,6435	0,0129	4	0,5584	0,011
5	0,6762	0,0199	5	0,6997	0,0142	5	0,7006	0,0124

Altitude en m	θ en °C	P en kPa	V (son) en m·s <sup>-1</sup>	ρ en kg·m <sup>-3</sup>
0	15,00	101,33	340,3	1,225
200	13,70	98,95	339,5	1,202
400	12,40	96,61	338,8	1,179
600	11,10	94,32	338,0	1,156
800	9,80	92,08	337,2	1,134
1 000	8,50	89,88	336,4	1,112
2 000	2,00	79,50	332,5	1,007
3 000	-4,49	70,12	328,6	0,909
4 000	-10,98	61,66	324,6	0,819
6 000	-24,0	47,22	316,5	0,660
8 000	-36,9	35,65	308,1	0,526
10 000	-49,9	26,50	299,5	0,414
12 000	-62,9	19,40	295,1	0,312

La résultante des forces de portance et de traînée s'applique au centre de poussée.

Pour le calcul de la vitesse corrigée  $V_c$  sur la pale, on prendra comme rayon le centre de poussée :

$$CP = 0,7 \times \text{Rayon de la pale.}$$

On considère  $F_n$  pour une pale :  $F_n = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_c^2 \cdot C_z$

$C_z$  : coefficient de portance

$S$  : surface d'une pale  $S = c \cdot (L_{\text{tête de pale}} - L_{\text{pied pale}})$  avec la corde  $c = 414$  mm

$\rho$  : masse volumique de l'air en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

$V_c$  : vitesse corrigée en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

La composante verticale sert à compenser le poids de l'appareil et à mouvoir l'hélicoptère verticalement.

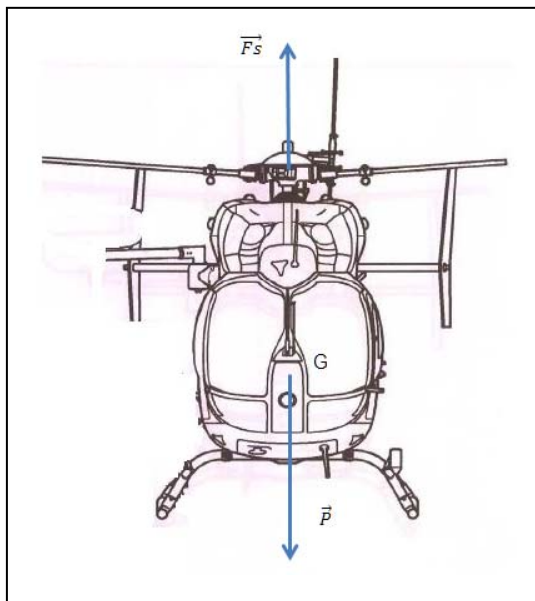
La composante horizontale compense la traînée  $F_x$  et lui permet de se mouvoir horizontalement.

En phase d'hélicitreillage, l'hélicoptère est en vol stationnaire donc la force de translation est nulle.

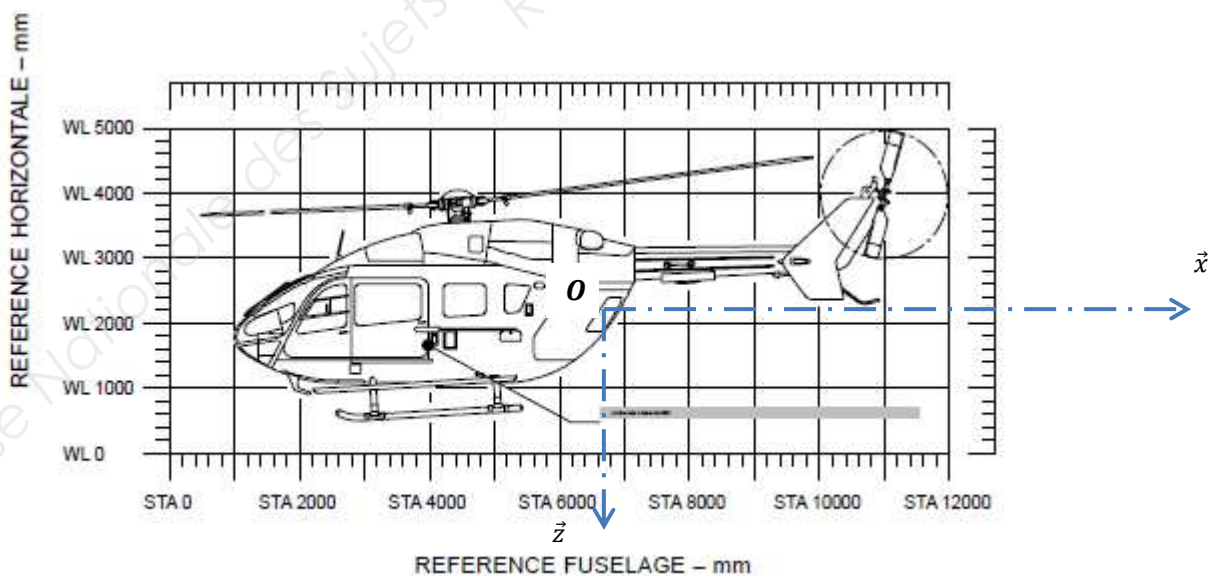
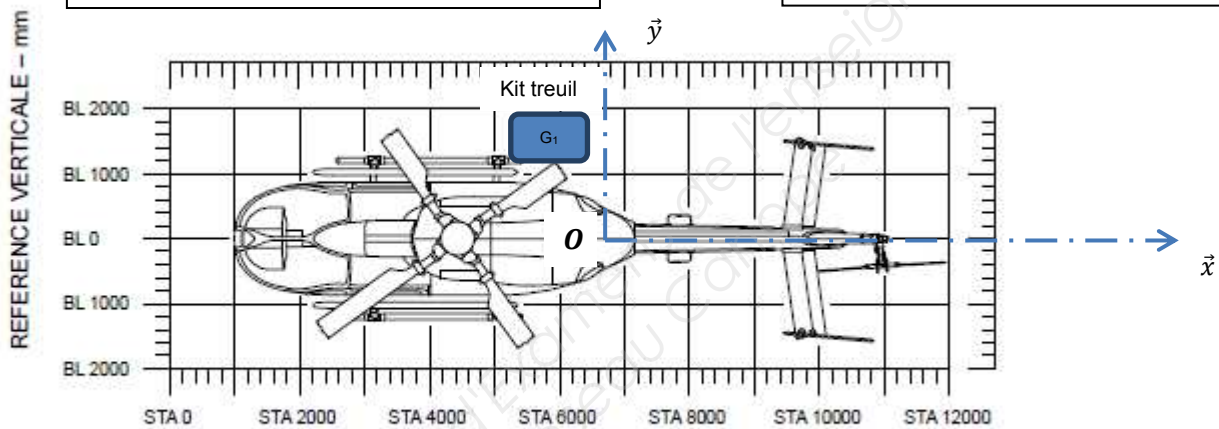
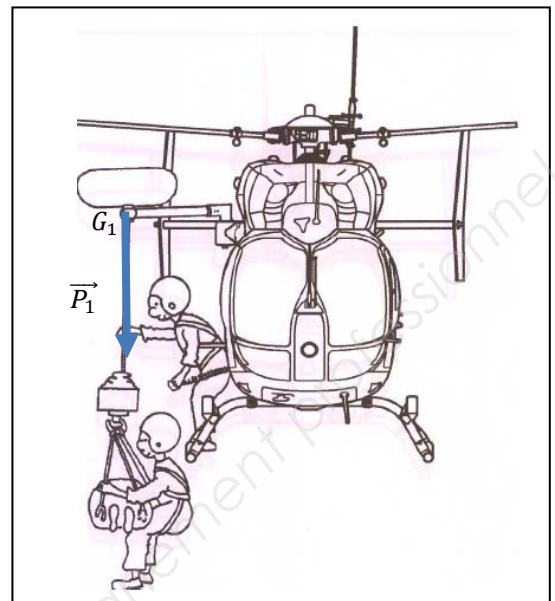
BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT6/22

## Masse et centrage

Sans le kit treuil



Avec le kit treuil



Le moment massique est égal à la masse d'un élément multipliée par sa longueur de bras de levier.

- Centre de gravité (CG)

Le centre de gravité est le point autour duquel l'hélicoptère serait en équilibre s'il était suspendu.

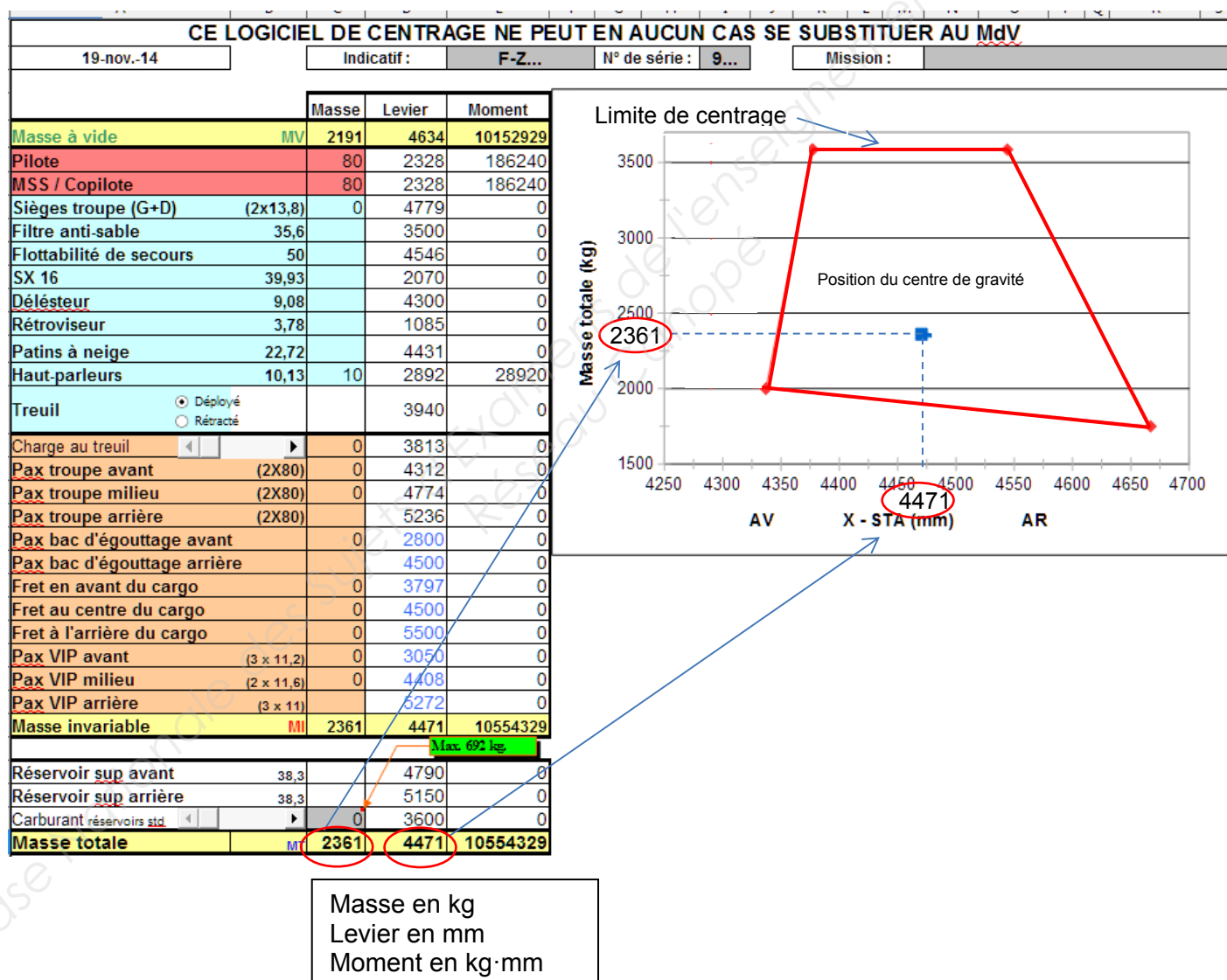
On calcule la distance par rapport à la référence "zéro" en divisant le moment total par la masse totale de l'hélicoptère.

$$\text{Bras (mm)} = \frac{\text{Somme de tous les moments (kg.mm)}}{\text{Somme de toutes les masses (kg)}}$$

- Limites de centrage

Les limites de centrage correspondent aux déplacements maximum autorisés du centre de gravité de l'hélicoptère. Lors du décollage, pendant toute la durée du vol et à l'atterrissage, le centre de gravité de l'hélicoptère chargé doit toujours rester dans ces limites.

Abaque masse et centrage longitudinal sans le kit treuil





# Fiche technique de la génération hydraulique de l'aéronef

## Généralités

La génération hydraulique est utilisée pour assister les entrées de commande manuelles du pilote. En même temps, les forces de rappel des pales du rotor principal sont bloquées.

## Composants

La génération hydraulique est composée des éléments suivants :

- le cadre modulaire
- deux circuits de pression identiques
- les pompes
- les servocommandes principales
- la servocommande arrière
- le système d'indication et de test.

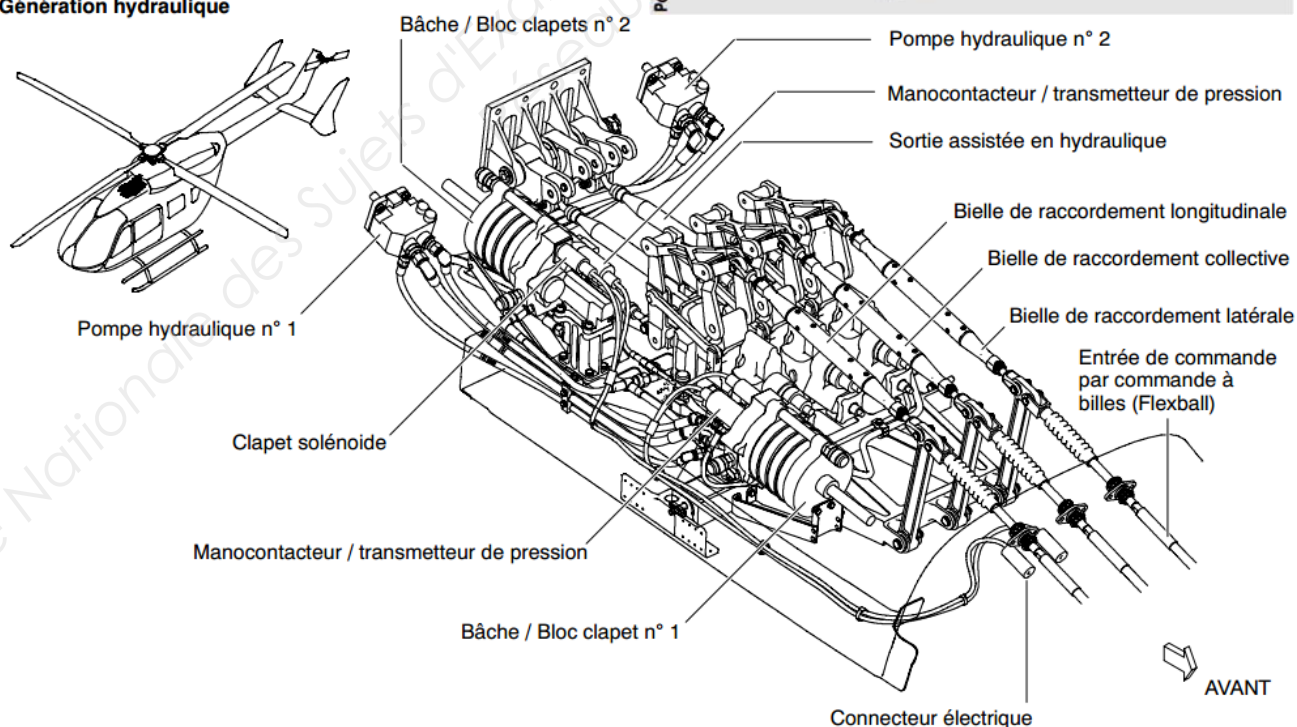
## Caractéristiques

Pression de fonctionnement	103 bars
Pression de retour	1,40 - 1,75 bar
Liquide hydraulique	conforme à MIL-H 5606 (G)
Volume dans les systèmes	1,0 l (SYS 1); 1,2 l (SYS 2)
Volume de la bache	0,8 l
Débit d'une pompe	8,1 l·min <sup>-1</sup>

## Mise à disposition de la redondance

La génération hydraulique est un système double. Il est constitué de deux circuits identiques d'alimentation en pression, le circuit 1 et le circuit 2, opérant de manière indépendante. Sous des conditions de fonctionnement normales, les deux circuits d'alimentation en pression génèrent simultanément la totalité de la pression pour assister les commandes du rotor principal. Le circuit 2 assiste, en outre, les commandes du rotor arrière. En cas de panne de l'un des circuits d'alimentation en pression, le circuit restant continue à alimenter les servocommandes principales. Ceci provoque une diminution de moitié de la puissance opérationnelle des servocommandes mécano-hydrauliques principales.

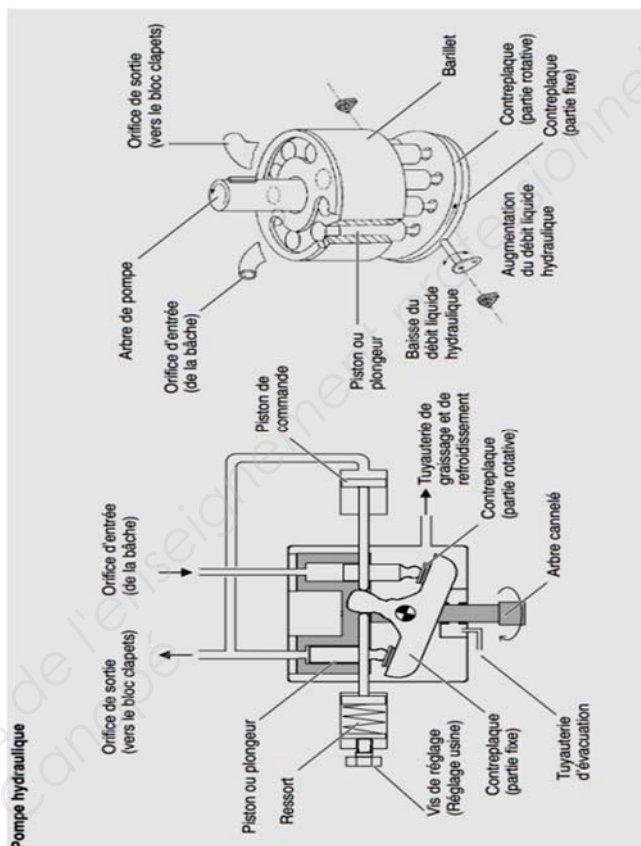
## Génération hydraulique



## Fonctionnement de la pompe hydraulique

### Ensemble

La pompe est de type piston, présentant à l'intérieur un barillet cylindrique avec neuf pistons ou plongeurs, le barillet étant entraîné par la partie entraînement des accessoires de la boîte de transmission principale.



# Fiche technique de la génération électrique de l'aéronef

## Généralités

L'alimentation de l'hélicoptère est fournie par :

- deux génératrices-démarrateurs, équipées de sondes de température
- une batterie
- ou un groupe de parc (EPU).

## Génératrices-démarrateurs G10001 et G10002

### Généralités

Chaque moteur de l'hélicoptère est équipé d'une génératrice-démarrateur de courant continu. Elle permet le démarrage du moteur et l'alimentation électrique du système électrique à bord, incluant la charge de la batterie.

### Fixation

La génératrice-démarrateur est fixée, par une bride de montage, sur le boîtier des accessoires, et est maintenue par un collier de fixation. Elle est fixée, par bride, à l'arbre de transmission du compresseur du boîtier des accessoires moteur.

### Modes de fonctionnement

La génératrice-démarrateur peut fonctionner en deux modes différents:

- le mode démarreur
- le mode génératrice.

## Fonctionnement de la génératrice-démarrateur

### Généralités

La génératrice-démarrateur peut fonctionner en deux modes différents:

- le mode génératrice
- le mode démarreur.

### Mode génératrice

Lorsque le régime  $n_1$  du moteur est  $> 40 / 50 \%$ , la génératrice est automatiquement connectée au système électrique de l'hélicoptère (à condition qu'un groupe de parc ne soit pas branché).

Lorsque le régime  $n_1$  du moteur augmente, la génératrice est automatiquement déconnectée du système électrique de l'hélicoptère, si :

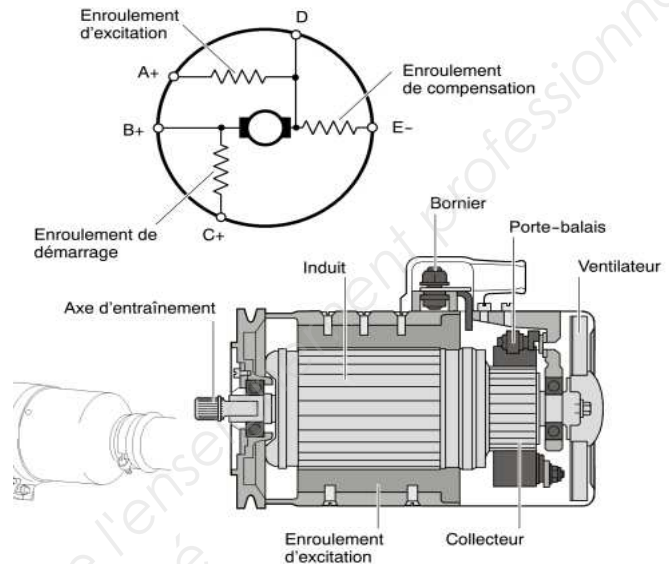
- la tension de la génératrice chute de 0,3 V DC, en dessous de la tension de la barre principale
- la tension de la génératrice chute en dessous du point de réglage du régulateur de tension génératrice
- $n_1$  est inférieur à 50 %.

### Mode démarreur

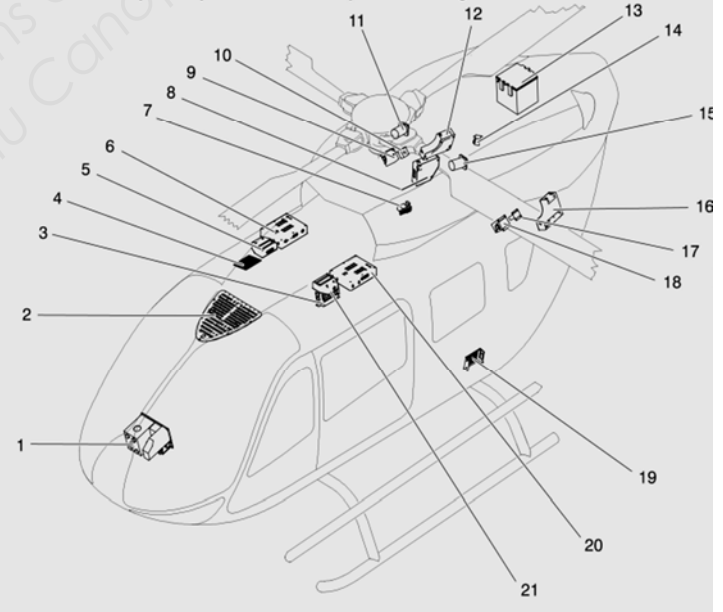
Le deuxième mode de fonctionnement possible, est le mode démarreur. L'enroulement de démarrage est alimenté et la génératrice-démarrateur est utilisée comme un moteur électrique pour démarrer les moteurs. Elle entraîne alors, par le boîtier des accessoires, la turbine générateur de gaz. L'alimentation est fournie par un groupe de parc ou par la batterie de bord.

## Données techniques - génératrice

Tension nominale	28 V DC
Courant débité à 100 % $n_1$	200 A
Régime	8 010 à 11 123 tr.min <sup>-1</sup>
Régime maxi. (5 minutes)	14 000 tr.min <sup>-1</sup>
Thermocontacteur	160 ± 5,5 °C



## Génération électrique - Implantation des composants de la génération de courant continu



- |                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1 Tableau de bord                 | 12 Boîte batterie                  |
| 2 Panneau plafond                 | 13 Batterie                        |
| 3 Support barre non-essentielle 2 | 14 Detecteur "décharge batterie"   |
| 4 Inverter 2                      | 15 Génératrice-démarrateur 1       |
| 5 Boîte à diodes 2                | 16 Boîte de jonction arrière 1     |
| 6 Boîte de distribution 2         | 17 Sonde ampèremétrique géné 1     |
| 7 Prise de parc                   | 18 Régulateur de tension géné 1    |
| 8 Boîte de jonction arrière 2     | 19 Support barre non-essentielle 1 |
| 9 Régulateur de tension géné 2    | 20 Boîte de distribution 1         |
| 10 Sonde ampèremétrique géné 2    | 21 Boîte à diodes 1                |
| 11 Génératrice-démarrateur 2      |                                    |

BTS AÉRONAUTIQUE

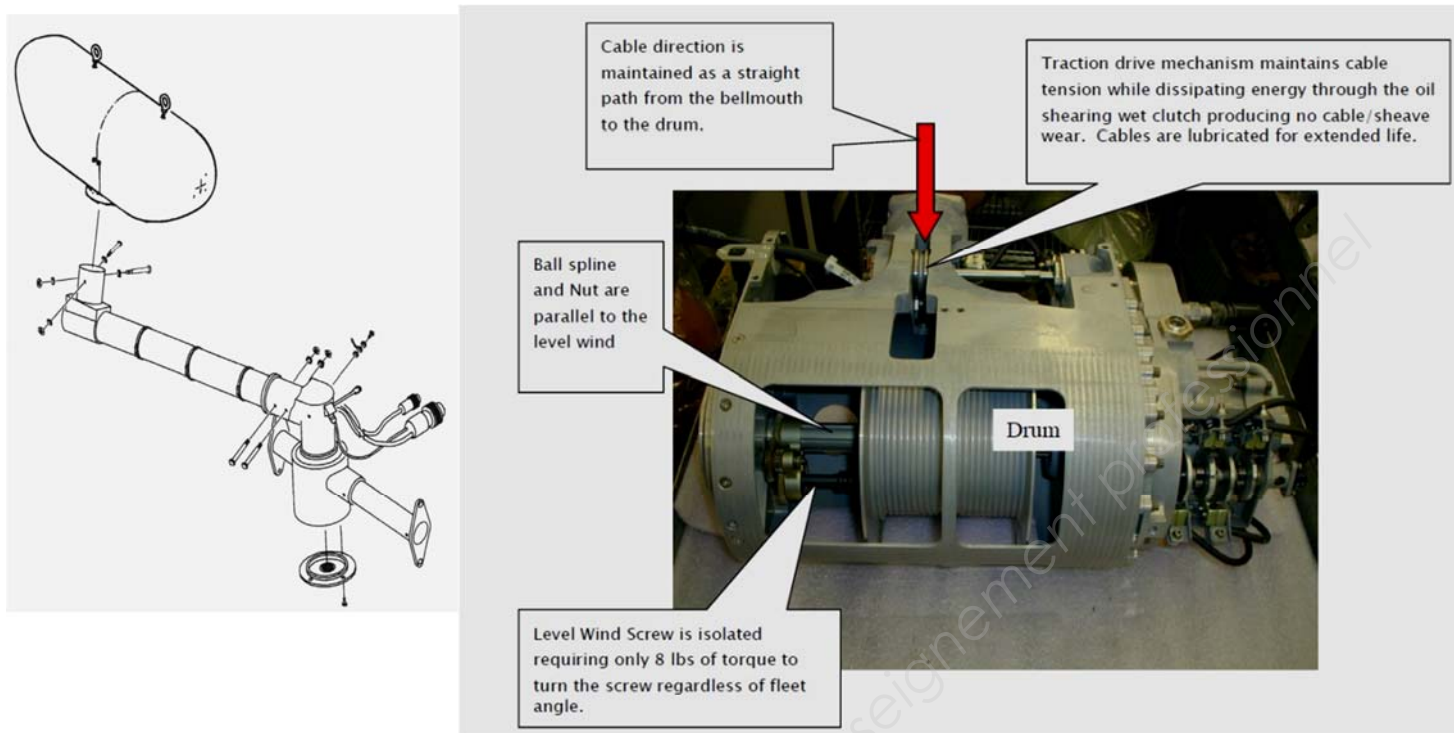
Session : 2017

Étude de modifications pluritechnologiques

Code : AE4EMPT

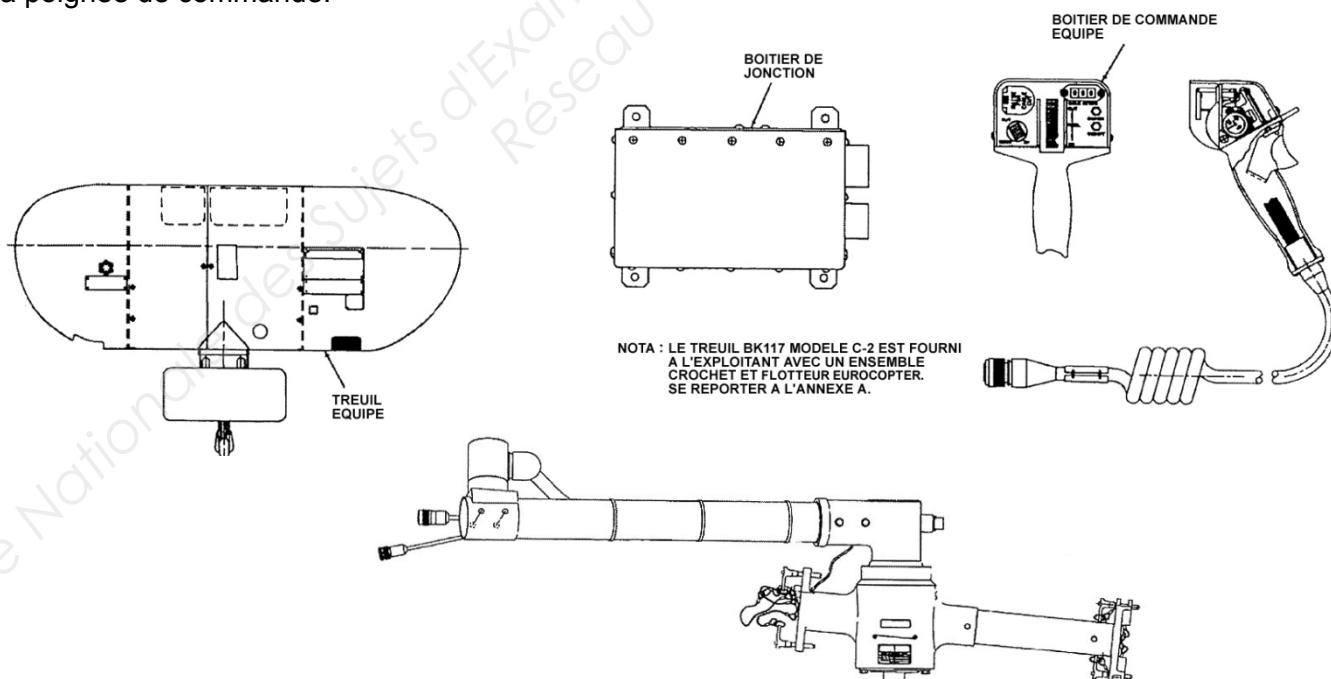
DT10/22

## Descriptif détaillé du treuil électrique



**Le système de treillage est constitué de quatre grands sous-ensembles :**

- le treuil équipé ;
- l'ensemble potence et support (longueur 800 mm) ;
- le boîtier de jonction ;
- la poignée de commande.



BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT11/22



## 1. Description de l'ensemble support / potence

- L'ensemble potence équipée, offre un moyen de soutenir et positionner le treuil de sauvetage.

La potence équipée se compose de :

- un support avec broches de montage / démontage rapide ;
- un bras de potence ;
- un ensemble actionneur rotatif, muni d'un moteur électrique ;
- des microswitches fins de course en rotation du bras et deux faisceaux de câblage.

- Le bras de potence assure le soutien structural du treuil. Il se compose d'un coude et d'un adaptateur tubulaire, reliés par un tube actuellement (prototype) en aluminium EN AW-2017. Le tube est boulonné sur le coude et emmanché dans l'adaptateur.

La flèche maxi ne devra pas dépasser  $y = 15$  mm.

Nuances usuelles *	R min. *	Re min. *
EN AW-1350 [EAl 99,5] **	65	–
EN AW-1050 [Al 99,5]	100	75
EN AW-5154 [Al Mg 3,5]	220	130
EN AW-5754 [Al Mg 3]	270	190
EN AW-5086 [Al Mg 4]	310	230
EN AW-2017 [Al Cu 4 Mg Si]	390	240
EN AW-2030 [Al Cu 4 Pb Mg]	420	280
EN AW-7075 [Al Zn 5,5 Mg Cu]	520	440
EN AW-7049 [Al Zn 8 Mg Cu]	600	560

## 2. Description du treuil

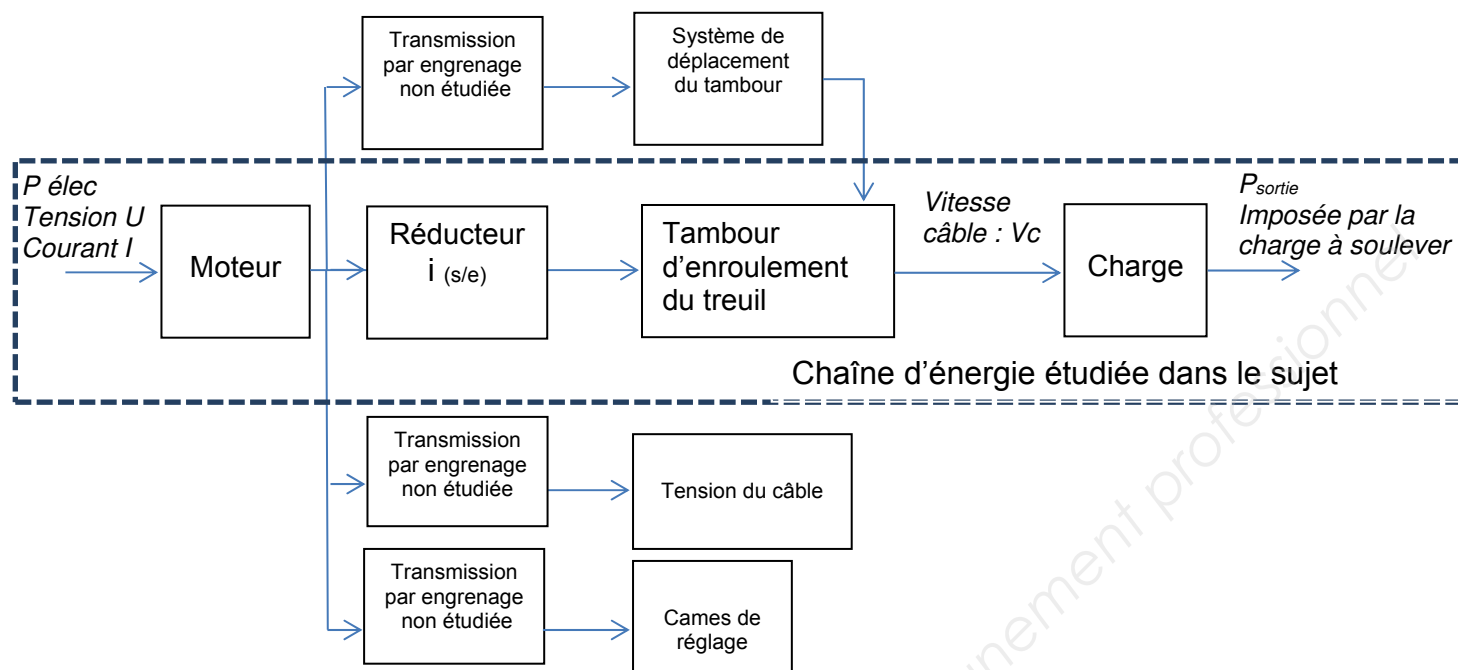
Le treuil est un ensemble électromécanique pour dérouler et enrouler un câble de charge avec toutes les sécurités requises.

Il est constitué d'un carter principal, s'installant sur l'hélicoptère par l'intermédiaire d'une potence, dans lequel sont placés :

- Un moteur électrique d'entraînement principal et son électronique de puissance entraînant directement le tambour ;
- Un réducteur de vitesse à train d'engrenages pour le mécanisme de déplacement en translation du tambour (représenté en page suivante) ;
- Un système de tension du câble, au déroulement et à l'enroulement ;
- Des micro-switches de détection des positions extrêmes du câble et d'un coupe-câble avec étoupille pyrotechnique pour sécuriser l'hélicoptère si besoin.

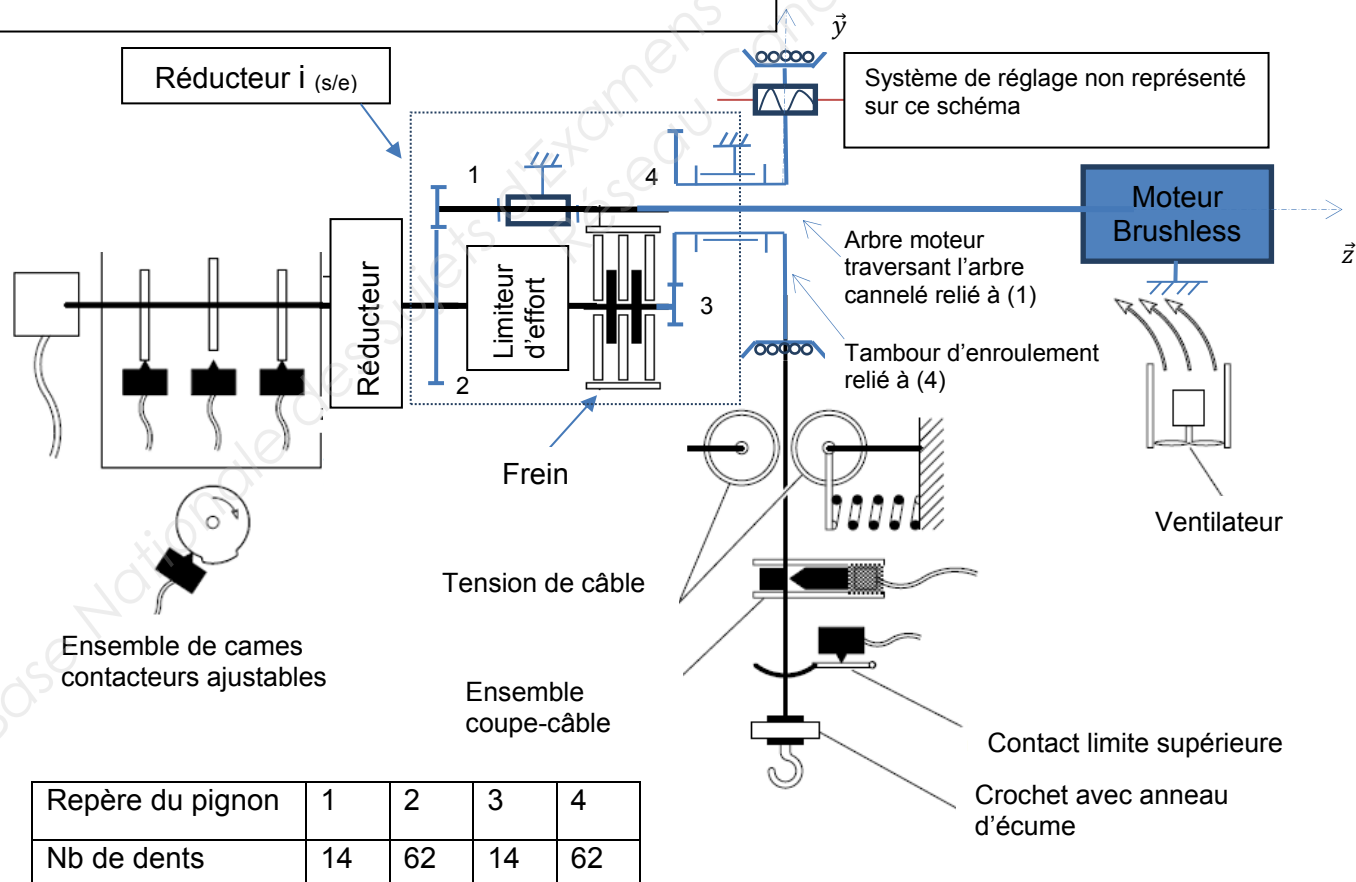
BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT12/22

## Chaîne d'énergie et de transmission de puissance



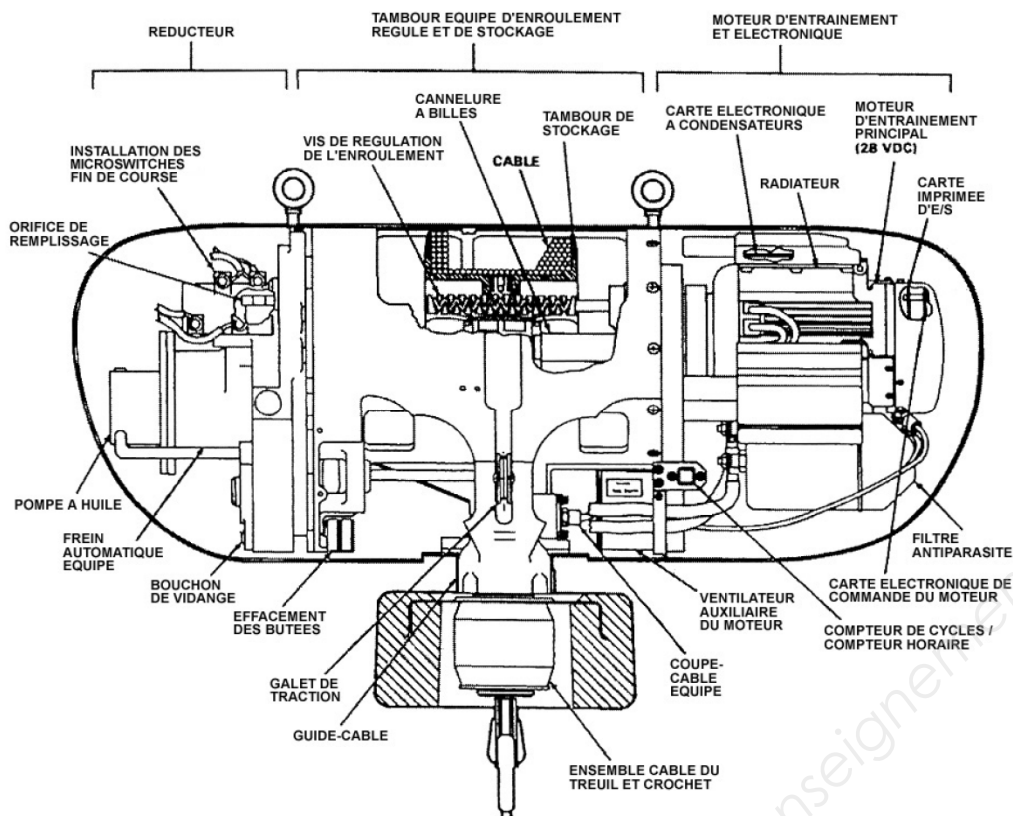
### Rendements :

- Guidage en translation de l'arbre cannelé  $\eta_{ac} = 0,95$
- Guidage de l'ensemble des liaisons en rotation  $\eta_{liaison} = 0,98$
- **Un train d'engrenage** du réducteur  $i$  :  $\eta_{TE} = 0.98$
- Les autres rendements ne seront pas pris en compte

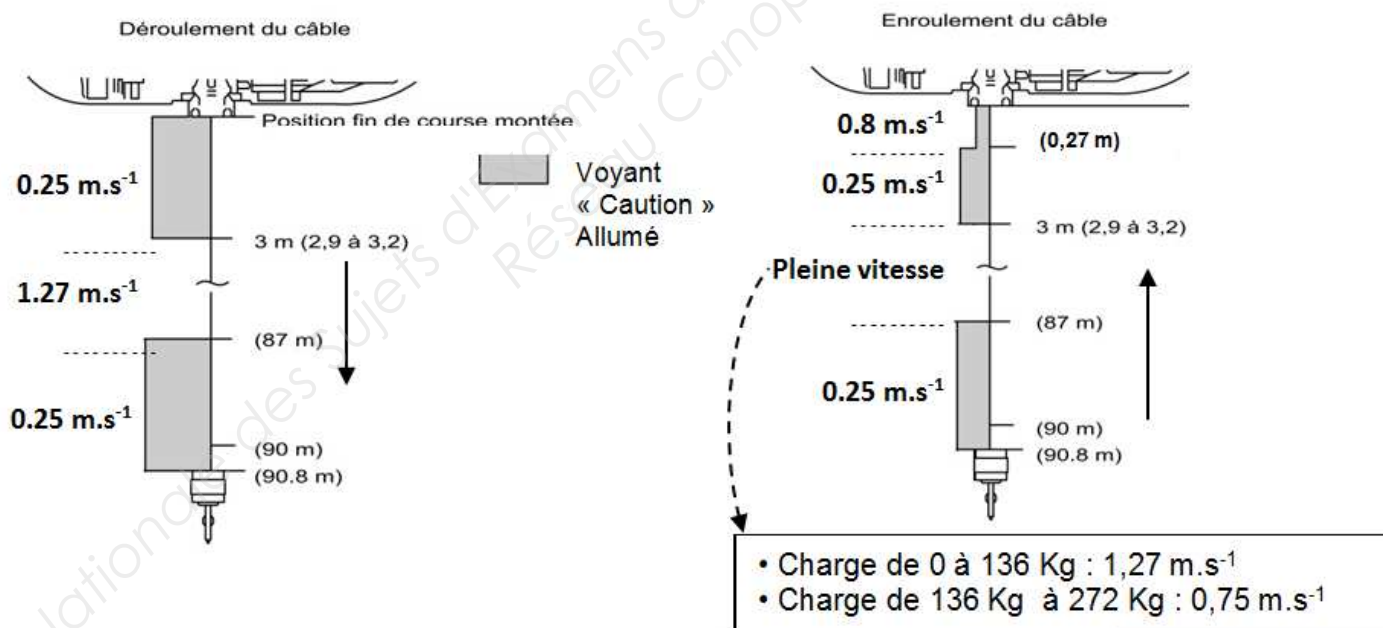


Repère du pignon	1	2	3	4
Nb de dents	14	62	14	62

BTS AÉRONAUTIQUE	Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT DT13/22



### 3. Gestion de la vitesse de déroulement du câble



### 4. Moteur d'entraînement principal

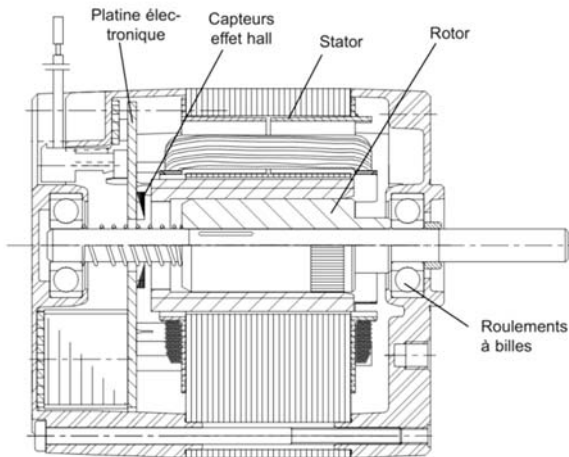
- Moteur électrique sans balai, 28 Vcc, à fonctionnement en continu (c'est-à-dire sans limitation du nombre de cycles de treuillage consécutifs. Sa référence est 160216.
- Le moteur est refroidi par un ventilateur intégré, solidaire de l'arbre moteur, il tourne dès lors que le moteur est en fonctionnement.
- Un refroidissement supplémentaire est assuré par ventilateur électrique auxiliaire monté sur le carter au-dessous du moteur.

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT14/22

# Moteurs à courant continu sans balais ( Brushless DC BLDC ) 1/2

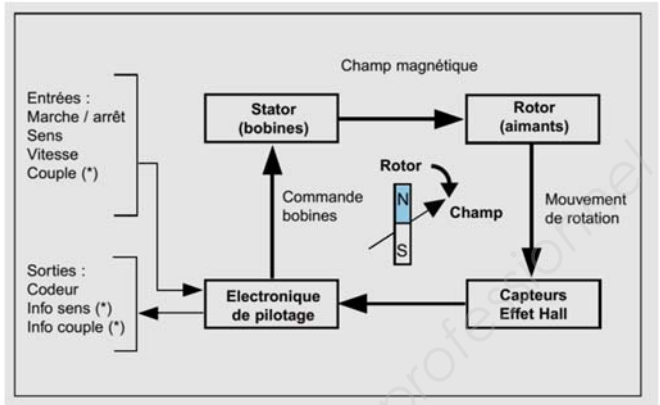
## 1.1. Constitution de la partie motrice :

Les moteurs brushless sont constitués de 3 éléments principaux :

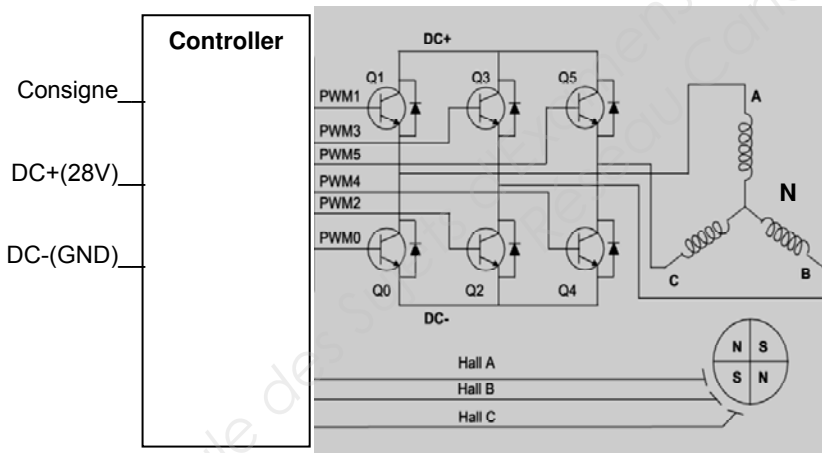


- Une partie fixe, le stator, muni de trois groupes de bobines, appelées les trois phases du moteur. Ces bobines fonctionnent comme des électro-aimants et permettent de générer diverses orientations de champ magnétique régulièrement réparties autour de l'axe central du moteur.
- Une partie tournante, le rotor, muni d'aimants permanents. Comme l'aiguille d'une boussole, ces aimants vont en permanence entraîner le rotor pour tenter de s'aligner sur le champ magnétique du stator. Pour une durée de vie optimale du moteur, le rotor est monté sur roulements à billes
- Trois capteurs magnétiques à " effet Hall ". Ces capteurs permettent de connaître à chaque instant la position des aimants du rotor.

## 1.2. L'électronique de pilotage

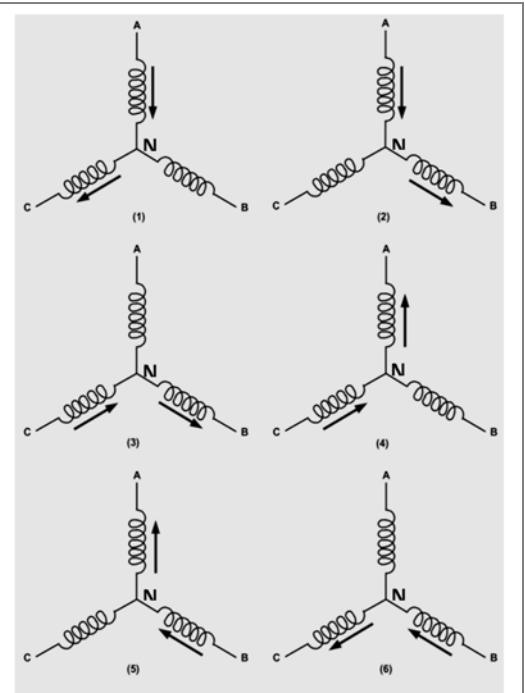
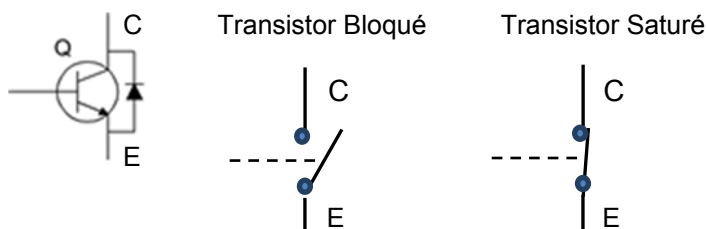


- L'électronique de pilotage détermine la position du rotor à partir des capteurs à effet Hall. Elle en déduit l'orientation à donner au champ magnétique du stator. Au cours de la rotation, elle commande les trois bobines pour ajuster régulièrement l'orientation du champ à la position du rotor, de façon à entraîner celui-ci dans le sens choisi par l'utilisateur
- En modulant le courant dans les bobines, l'électronique peut accélérer ou ralentir le moteur et réguler ainsi sa vitesse. Elle peut aussi orienter le champ magnétique de façon à freiner le rotor dans son mouvement jusqu'à l'arrêt.
- En limitant le courant dans les bobines, l'électronique peut également limiter le couple du moteur, et activer la sortie correspondante
- L'électronique génère également les sorties du codeur intégré à partir des capteurs à effet Hall.



Le contrôleur est un calculateur qui pilote les différentes bobines du moteur en fonction de la consigne et du retour d'informations de position du rotor.

Les transistors Q0 à Q5 et leurs diodes associées se comportent comme des interrupteurs pilotés entre leurs bornes E et C.



Cycle de commande  
(La flèche représente le sens du courant)

Chacune des phases A, B et C est alimentée et traversée par un courant afin de recréer un champ tournant dans l'ordre décrit ci-dessus.

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT15/22



# Brushless DC Motors with Integrated Controller

## 5.25" x 10.15" (133mm x 256mm) Series



		Part Number						
	Units	150213	150214	150215	160216	160217	160218	160219
Supply Voltage	VDC	28	28	28	28	28	28	28
Continuous Torque	oz-in	100	320	864	1558,04	3073,58	4107,56	4815,76
	Nm	0.706	2.26	6.1	11	21,7	29	34
Speed @ Cont. Torque	RPM	3525	1875	1700	1605	1107	1043	945
Current @ Cont. Torque	Amps (A)	11.70	20.00	48.50	73,95	100,62	110,86	117,76
Continuous Output Power	Watts (W)	261	444	1086	1849	2516	3167	3365
Torque Constant	oz-in/A	9.57	16.77	16.97	21,07	30,55	37,05	40,89
	Nm/A	0.068	0.118	0.12	0,167	0,242	0,256	0,283
Voltage Constant	V/krpm	7.08	12.40	12.55	17,45	25,29	26,85	29,63
	V/rad/s	0.068	0.118	0.12	0,17	0,24	0,26	0,28
Winding Resistance	Ohms	0.11	0.11	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Winding Inductance	mH	0.24	0.32	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
No-Load Current	Amps (A)	1.70	1.20	2.50	3,9	5,2	5,8	6,1
No-Load Speed	RPM	3900	2225	2200	2293	1703	1738	1718
Peak Current	Amps (A)	16.5	30.0	55.5	81,3	120,7	133,0	147,2
Peak Torque	oz-in	150	504	1025	1792	3535	4724	5538
	Nm	1.059	3.5582	7.2365	12,65	24,955	33,35	39,1
Electrical Constant Time	ms	2.18	0.01	0.01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mechanical Constant Time	ms	2.9	1.5	1.4	1,3	1,3	1,2	1,2
Max. Winding Temperature	Celsius	105	105	105	105	105	105	105
Rotor Inertia	oz-in-sec <sup>2</sup>	0.0168	0.0299	0.0726	0,0649	0,0609	0,0597	0,059
	kg-m <sup>2</sup>	1.19E-4	2.11E-4	5.13E-4	4,57E-04	4,29E-04	4,20E-04	4,15E-04
Weight (Mass)	oz	288	296	475	587	799	1005	1068
	g	8164.7	8391.5	13446	16639	22640	28507	30282
Efficiency		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

## 5. Le thermostat

Lorsque la température du moteur dépasse les limites prévues, un thermostat provoque l'allumage du voyant rouge de surchauffe (OVERHEAT) sur la poignée de commande sans arrêter le fonctionnement du treuil. Il limite, dans ce cas, l'intensité du courant moteur, réduisant en conséquence la vitesse de défilement du câble.

## 6. Compteur numérique horaire

Il enregistre le nombre cumulé d'heures de fonctionnement du treuil, il est relié à l'électronique de commande du moteur et il est activé dès lors que le moteur principal est en fonctionnement. Il sert de base pour effectuer la maintenance programmée en heures.

## 7. Le réducteur de vitesse

Il est entraîné en rotation par le moteur principal, par l'intermédiaire d'un arbre cannelé aux deux extrémités qui traverse l'arbre cannelé de support du tambour.

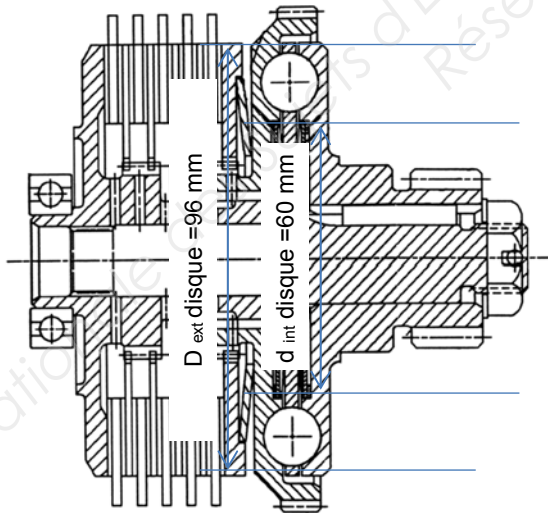
- Il entraîne en rotation, à vitesse (s) appropriée (s) :
  - Par l'intermédiaire d'un arbre cannelé à billes, le tambour de câble et son mécanisme de translation ;
  - Le mécanisme de tension du câble ;
  - Le dispositif électromécanique de détection de position du câble.
- Le réducteur de vitesse est constitué d'un train d'engrenages et de trois systèmes de sécurité mécaniques : un frein automatique, un limiteur d'effort en cas de surcharge sur le câble et un limiteur d'effort sur les galets de tension du câble.

## 8. Frein automatique

Ce frein permet de retenir la charge quelle que soit la position du tambour de câble en cas d'interruption du moteur électrique (y compris en cas de panne).

Le frein automatique équipé se compose de cinq disques à friction intercalés sur l'arbre du frein automatique, entre quatre disques de frein et une plaque d'appui. Donc il y a 10 surfaces frottantes.

L'effort normal  $P_{\text{mini}}$  sur les disques doit être supérieur à 2 400 N pour garantir le freinage en cas d'urgence.



## Gestion du câble

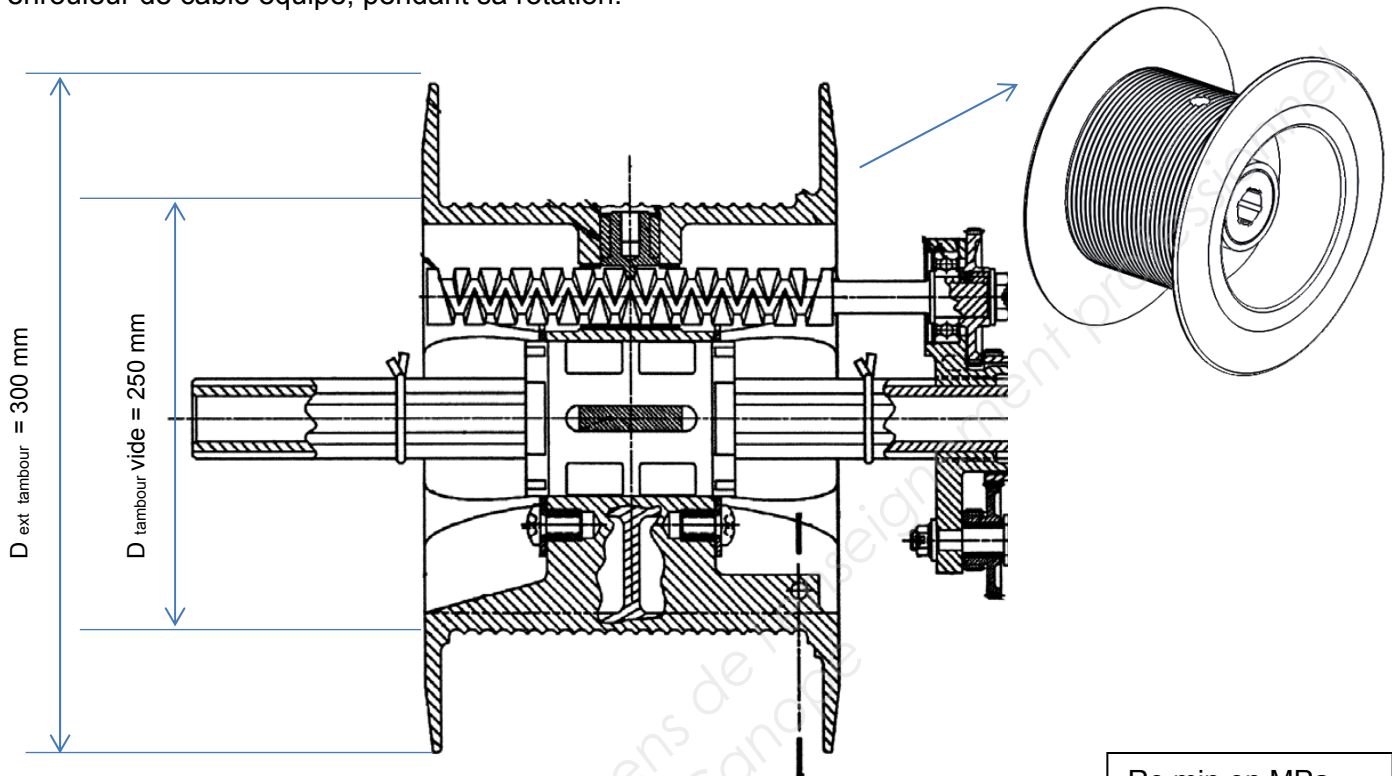
Un mécanisme de translation du tambour dans un mouvement de va-et-vient pendant le fonctionnement du treuil garantit le bon rangement du câble à l'enroulement et sa bonne extraction au déroulement, en positionnant le tambour de façon à ce que le câble soit toujours perpendiculaire à l'axe du tambour. Un système de galets de tension (galet menant et galet mené) maintient une tension positive sur le câble pour l'enroulement et le déroulement du câble sans charge.

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT17/22

## 9. Tambour équipé d'enroulement régulé et de stockage

Le tambour se compose d'un enrouleur de câble équipé d'une vis de régulation de l'enroulement et d'un arbre cannelé à billes.

La rotation de la vis de régulation de l'enroulement produit un effort de poussée sur un doigt de régulation de l'enroulement, ce qui a pour effet de provoquer le déplacement en translation de l'enrouleur de câble équipé, pendant sa rotation.



## 10. Câble équipé

Hypothèse : pour le calcul de la masse on assimilera le câble à un cylindre.

Données :

- Câble Hors tout 93,5 m, longueur utile 90 m, diamètre 4,92 mm.
- Matériau acier pour les fortes sollicitations : 36NiCrMo16.
- Masse volumique du câble :  $\rho_v = 7,8 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ .
- Le coefficient de sécurité  $s > 3$ .
- La limite de rupture du câble impose d'avoir une accélération maxi de  $106 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .
- Pour le calcul de la force à la rupture on prendra :

$$\frac{Fr}{S} = Rr, \text{ S étant la section du câble.}$$

## 11. Dispositif coupe-câble équipé

Le dispositif coupe-câble permet de cisailer le câble, en cas d'urgence, grâce à une étoupille pyrotechnique à allumage électrique. Cet allumage peut être commandé par le pilote ou par le treuilliste via deux circuits électriques complètement indépendant entre eux et indépendant de la masse mécanique du treuil.

Re min en MPa

Nuances usuelles	Traitement de référence	
	R min.*	Re min.*
38 Cr 2	800	650
34 Cr 4	880	660
37 Cr 4	930	700
41 Cr 4	980	740
55 Cr 3	1 100	900
100 Cr 6	HRC $\geq 62$	
25 Cr Mo 4	880	700
35 Cr Mo 4	980	770
42 Cr Mo 4	1 080	850
16 Cr Ni 6	800	650
17 Cr Ni Mo 61	1 130	880
30 Cr Ni Mo 81	1 030	850
51 Cr V 4	1 180	1 080
16 Mn Cr 5	1 080	835
20 Mn Cr 5	1 230	980
36 Ni Cr Mo 16	1 710	1 275
51 Si 7	1 000	830
60 Si Cr 7	1 130	930

BTS AÉRONAUTIQUE

Session : 2017

Étude de modifications pluritechnologiques

Code : AE4EMPT

DT18/22






## 12. Boîtier de jonction équipé

Les signaux électriques générés par la poignée de commande équipée sont interprétés par les cartes du boîtier de jonction. Celui-ci donne les ordres en conséquence au système moteur / électronique de puissance.

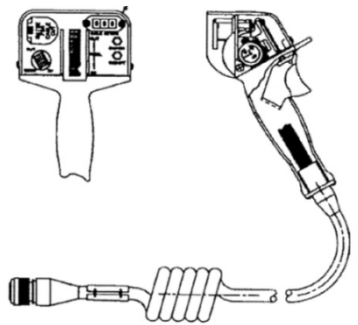
### 13. Poignée de commande équipée

- La poignée de commande est équipée d'une molette de variation de vitesse REEL IN/OUT, d'un sélecteur de rentrée ou de sortie de la potence (BOOM IN/OUT), d'un interrupteur de commande du coupe-câble (CABLE CUT), d'un afficheur de longueur de câble (CABLE METER), de deux voyants d'alerte (ATTENTION) et de surchauffe (OVERHEAT) et d'un commutateur d'interphonie (ICS).
  - Le commutateur de déploiement/rentrée de potence permet à l'opérateur de déployer la potence (position de fonctionnement) et de la rentrer (position de repos).
  - Le commutateur coupe-câble (CABLE CUT) active la cartouche pyrotechnique du coupe-câble, ce qui a pour effet de couper le câble du treuil et de larguer la charge du treuil de sauvetage.
- 



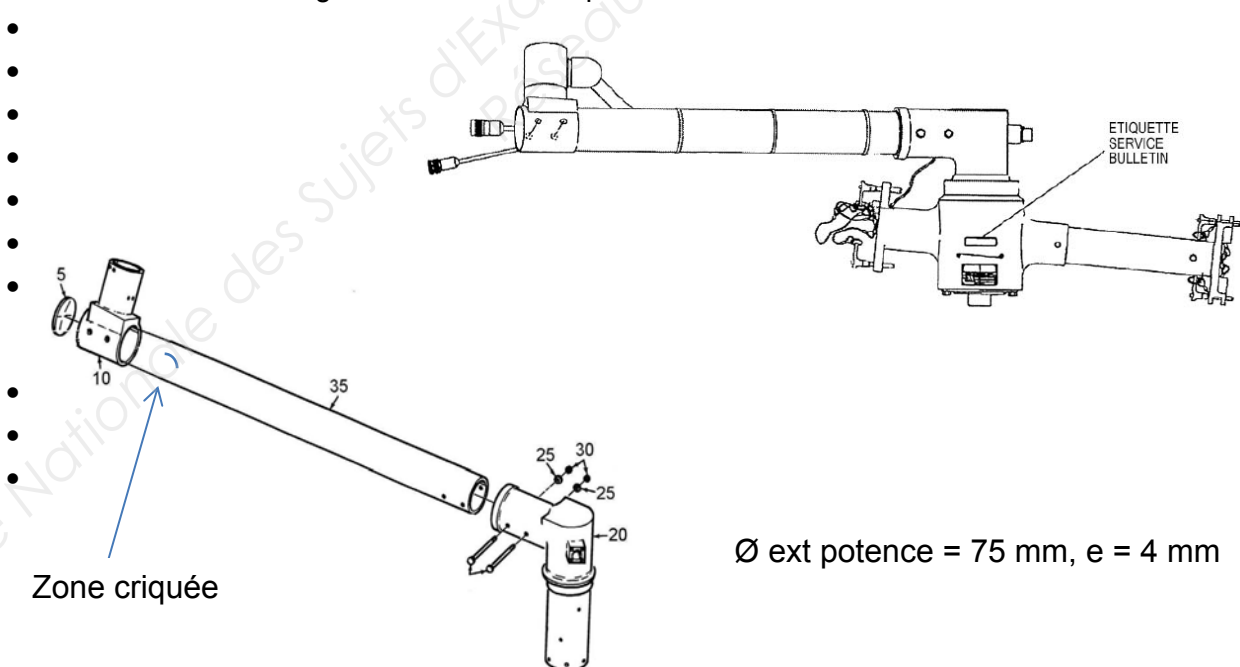
L'afficheur CABLE METER indique, en mètres, la longueur de câble déroulée du treuil.

- Les voyants **ATTENTION** et **OVERHEAT** indiquent l'état opérationnel du treuil équipé.



## PHÉNOMÈNES À L'ORIGINE DU SERVICE BULLETIN

- Phénomènes de fatigue constatés sur la potence



Ø ext potence = 75 mm, e = 4 mm

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT20/22

# Fiche technique du câblage électrique 1/2

## Construction

### CONDUCTOR

AS22759/86: Silver coated copper  
AS22759/87: Nickel coated copper  
AS22759/88: Tin coated copper

### INSULATION

PTFE/POLYIMIDE TAPE WRAP  
(7.4 - 16.2 MIL NOM.)

## Temperature Rating

AS22759/86: 200°C  
AS22759/87: 260°C  
AS22759/88: 150°C



## AS22759/86

Nexans references	AWG	Conductor Standing (Nbr x mm)	Finished wire				Weight Max. (LBS/1000 ft)
			Diameter				
			Min. (inch)	Max. (inch)	Min. (mm)	Max. (mm)	
75986-26	26	19*38	0.033	0.037	0.84	0.94	1.55
75986-24	24	19*36	0.038	0.042	0.97	1.06	2.20
75986-22	22	19*34	0.043	0.047	1.09	1.19	3.10
75986-20	20	19*32	0.051	0.055	1.29	1.39	4.70
75986-18	18	19*30	0.061	0.065	1.54	1.65	6.90
75986-16	16	19*29	0.068	0.073	1.72	1.85	8.80
75986-14	14	19*27	0.081	0.086	2.05	2.18	13.40
75986-12	12	37*28	0.100	0.105	2.54	2.66	20.40
75986-10	10	37*26	0.122	0.127	3.09	3.22	31.60
75986-8	8	133*29	0.180	0.188	4.57	4.77	58.5
75986-6	6	133*27	0.219	0.229	5.56	5.81	88.9
75986-4	4	133*25	0.276	0.288	7.01	7.31	144.0
75986-2	2	665*30	0.344	0.364	8.73	9.24	226.0
75986-1	1	817*30	0.388	0.408	9.85	10.36	292.0
75986-01	0	1045*30	0.420	0.450	10.66	11.43	352.0
75986-02	00	1330*30	0.475	0.505	12.06	12.82	448.0

## AS22759/87

Nexans references	AWG	Conductor Standing (Nbr x mm)	Finished wire				Weight Max. (LBS/1000 ft)
			Diameter				
			Min. (inch)	Max. (inch)	Min. (mm)	Max. (mm)	
75987-26	26	19*38	0.033	0.037	0.84	0.94	1.55
75987-24	24	19*36	0.038	0.042	0.97	1.06	2.20
75987-22	22	19*34	0.043	0.047	1.09	1.19	3.10
75987-20	20	19*32	0.051	0.055	1.29	1.39	4.65
75987-18	18	19*30	0.061	0.065	1.54	1.65	6.85
75987-16	16	19*29	0.068	0.073	1.72	1.85	8.70
75987-14	14	19*27	0.081	0.086	2.05	2.18	13.30
75987-12	12	37*28	0.100	0.105	2.54	2.66	20.20
75987-10	10	37*26	0.122	0.127	3.09	3.22	31.60
75987-8	8	133*29	0.180	0.188	4.57	4.77	58.5
75987-6	6	133*27	0.219	0.229	5.56	5.81	88.9
75987-4	4	133*25	0.276	0.288	7.01	7.31	144.0
75987-2	2	665*30	0.344	0.364	8.73	9.24	226.0
75987-1	1	817*30	0.388	0.408	9.85	10.36	292.0
75987-01	0	1045*30	0.420	0.450	10.66	11.43	352.0
75987-02	00	1330*30	0.475	0.505	12.06	12.82	448.0

Résistance d'un fil :  $R = \rho \times L / S$

$\rho$  : résistivité du matériau en  $\Omega \cdot m$

L : longueur du câble en m

S : section du câble en  $m^2$

$\rho_{(cuivre)} = 17.10^{-9} \Omega \cdot m$



AS22759/86: -65° to 200°C  
AS22759/87: -65° to 260°C  
AS22759/88: -65° to 150°C



AS22759/86: WJ  
AS22759/87: WK  
AS22759/88: WL



Arc resistant



Flame resistant

BTS AÉRONAUTIQUE

Session : 2017

Étude de modifications pluritechnologiques

Code : AE4EMPT

DT21/22

## Fiche technique du câblage électrique 2/2

### COMPOSITE WIRE SAE AS22759

AS22759/86, AS22759/87, and AS22759/88

#### Applications

Designed for general purpose aircraft wiring application for 26 AWG to 10 AWG.  
Designed for power transmission for 8 AWG and larger.  
These constructions can be used in protected area, airframe and swamp area, or inside a cable.  
AS22759/87 can be used in nacelles & engines high temperature area.

600 V

#### AS22759/88

Nexans references	AWG	Conductor Standing (Nbr x mm)	Finished wire				
			Diameter				Weight Max. (LBS/1000 ft)
			Min. (inch)	Max. (inch)	Min. (mm)	Max. (mm)	
75988-26	26	19*38	0.033	0.037	0.84	0.94	1.55
75988-24	24	19*36	0.038	0.042	0.97	1.06	2.20
75988-22	22	19*34	0.043	0.047	1.09	1.19	3.10
75988-20	20	19*32	0.051	0.055	1.29	1.39	4.65
75988-18	18	19*30	0.061	0.065	1.54	1.65	6.85
75988-16	16	19*29	0.068	0.073	1.72	1.85	8.70
75988-14	14	19*27	0.081	0.086	2.05	2.18	13.30
75988-12	12	37*28	0.100	0.105	2.54	2.66	20.20
75988-10	10	37*26	0.122	0.127	3.09	3.22	32.20

#### Référence des câbles dans l'aéronef

##### Numéro du câble électrique

Le numéro du câble électrique est le numéro utilisé dans les schémas et dans l'hélicoptère.

##### Lettre de segment du câble électrique

Une connexion électrique, entre la génération électrique et les consommateurs, peut être divisée en différents câbles électriques, par des connecteurs et des épissures. Chaque partie est alors repérée par une lettre de segment.

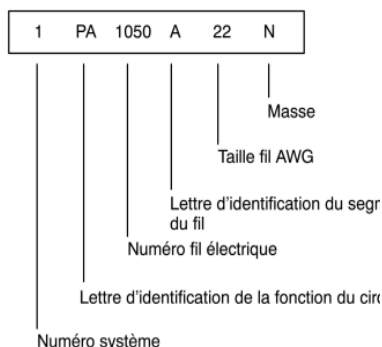
##### Taille du câble électrique

La taille du câble électrique donne des informations sur la section des câbles selon AWG.

##### Fonction du câble électrique (masse)

La lettre N identifie le câble électrique connecté à la masse. Si le câble électrique est connecté à un autre potentiel, aucune fonction du câble n'est indiquée.

##### Exemple



AWG	diamètre		section
	inch	mm	mm <sup>2</sup>
0000	0,4600	11,684	107
000	0,4096	10,405	85,0
00	0,3648	9,266	67,4
0	0,3249	8,251	53,5
1	0,2893	7,348	42,4
2	0,2576	6,544	33,6
3	0,2294	5,827	26,7
4	0,2043	5,189	21,1
5	0,1819	4,621	16,8
6	0,1620	4,115	13,3
7	0,1443	3,665	10,5
8	0,1285	3,264	8,37
9	0,1144	2,906	6,63
10	0,1019	2,588	5,26
11	0,0907	2,305	4,17
12	0,0808	2,053	3,31
13	0,0720	1,828	2,62
14	0,0641	1,628	2,08
15	0,0571	1,45	1,65
16	0,0508	1,291	1,31
17	0,0453	1,15	1,04
18	0,0403	1,024	0,823

AWG : American Wire Gauge

BTS AÉRONAUTIQUE	Session : 2017	
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	DT22/22

## DOCUMENT RÉPONSE

Q 1.1 Tableau N° 1

	Kit Treuil hydraulique	Kit Treuil électrique
Masse totale (Kg)		
ATA concerné(s)		
Caractéristiques de l'alimentation électrique nécessaire (U et I)	U =            I =	U =            I =
Caractéristiques de l'alimentation hydraulique nécessaire (Q en l·min <sup>-1</sup> et P en bar)	Q =            P =	
Intégration (fixations) prévue par le constructeur de l'hélicoptère (oui/non)		
Modification masse et centrage (oui/non)		
Perturbation aérodynamique (oui/non)		
Masse maxi hélitreuillable		
BUS électrique prévue pour le Kit sur l'hélicoptère (oui/non)		
Circuit hydraulique spécifique au treuil prévu par le constructeur de l'hélicoptère (oui/non)		

Q 1.5 à Q 1.7 Tableau N° 2

	Hélicoptère seul	Hélicoptère + Kit Treuil hydraulique	Hélicoptère + Kit Treuil électrique
Force de portance calculée	F <sub>s</sub> =	F <sub>T.Hyd</sub> =	F <sub>T.élec</sub> =

Bilan énergétique : Q 1.13 à Q 1.19 Tableaux 3 et 4

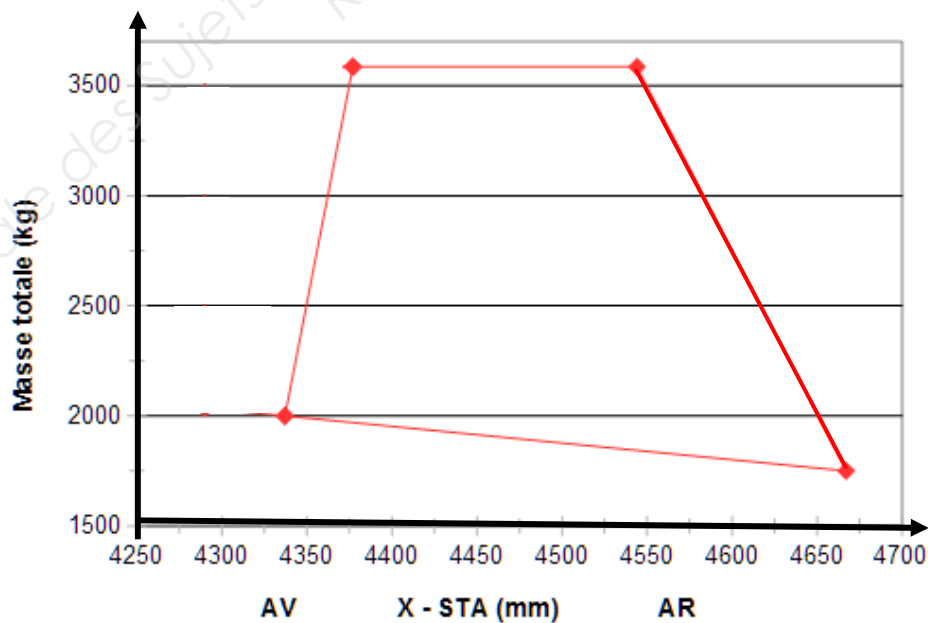
	Hydraulique	
Q 1.13	Puissance totale générée	
	Puissance absorbée par les systèmes (hors treuil)	2 000 W
Q 1.14	Puissance absorbée par le treuil hydraulique	
Q 1.15	Faisabilité (oui/non)	

	Électrique	
Q 1.17	Puissance totale générée	
	Puissance absorbée par les systèmes (hors treuil)	6 000 W
Q 1.18	Puissance absorbée par le treuil électrique	
Q 1.19	Faisabilité (oui/non)	

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	<b>DR1/6</b>

		Kg	mm	Kg.mm
		Masse	Levier	Moment
Masse à vide	MV	2191	4634	10152929
Pilote		80	2328	186240
MSS / Copilote		80	2328	186240
Sièges troupe (G+D)	(2x13,8)	0	4779	0
Filtre anti-sable	35,6		3500	0
Flottabilité de secours	50		4546	0
SX 16	39,93		2070	0
Délésteur	9,08		4300	0
Rétroviseur	3,78		1085	0
Patins à neige	22,72		4431	0
Haut-parleurs	10,13	10	2892	28920
Treuil	<input checked="" type="radio"/> Déployé <input type="radio"/> Rétracté		3940	
Charge au treuil			3813	
Pax troupe avant	(2X80)	0	4312	0
Pax troupe milieu	(2X80)	0	4774	0
Pax troupe arrière	(2X80)		5236	0
Pax bac d'égouttage avant		0	2800	0
Pax bac d'égouttage arrière			4500	0
Fret en avant du cargo		0	3797	0
Fret au centre du cargo		0	4500	0
Fret à l'arrière du cargo		0	5500	0
Pax VIP avant	(3 x 11,2)	0	3050	0
Pax VIP milieu	(2 x 11,6)	0	4408	0
Pax VIP arrière	(3 x 11)		5272	0
Masse invariable	MI			
Réservoir sup avant	38,3		4790	0
Réservoir sup arrière	38,3		5150	0
Carburant réservoirs std		0	3600	0
Masse totale	MT			

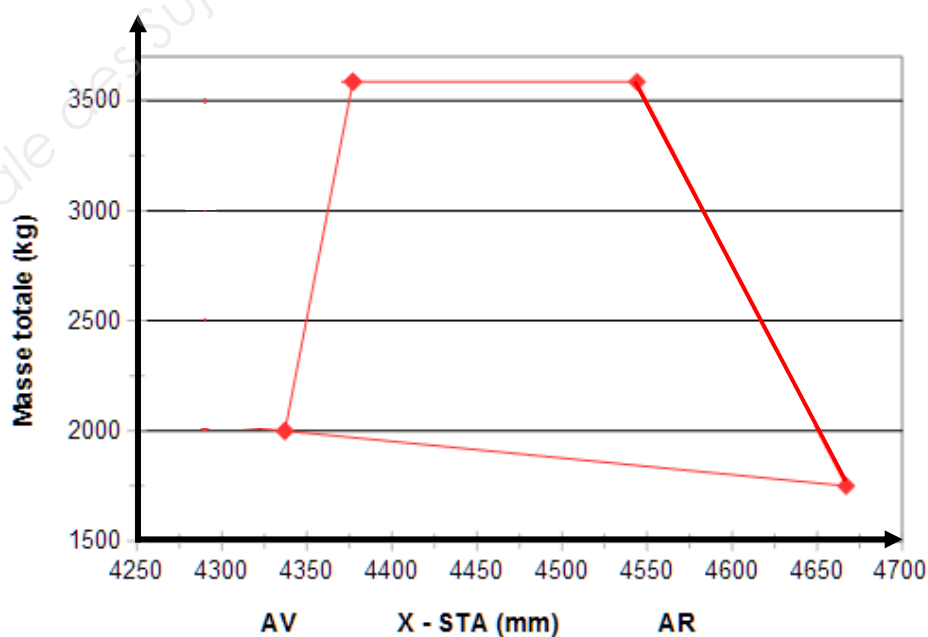
Zones à compléter





		Kg	mm	Kg.mm
		Masse	Levier	Moment
Masse à vide	MV	2191	4634	10152929
Pilote		80	2328	186240
MSS / Copilote		80	2328	186240
Sièges troupe (G+D)	(2x13,8)	0	4779	0
Filtre anti-sable	35,6		3500	0
Flottabilité de secours	50		4546	0
SX 16	39,93		2070	0
Délésteur	9,08		4300	0
Rétroviseur	3,78		1085	0
Patins à neige	22,72		4431	0
Haut-parleurs	10,13	10	2892	28920
Treuil	<input checked="" type="radio"/> Déployé <input type="radio"/> Rétracté		3940	
Charge au treuil			3813	
Pax troupe avant	(2X80)	0	4312	0
Pax troupe milieu	(2X80)	0	4774	0
Pax troupe arrière	(2X80)		5236	0
Pax bac d'égouttage avant		0	2800	0
Pax bac d'égouttage arrière			4500	0
Fret en avant du cargo		0	3797	0
Fret au centre du cargo		0	4500	0
Fret à l'arrière du cargo		0	5500	0
Pax VIP avant	(3 x 11,2)	0	3050	0
Pax VIP milieu	(2 x 11,6)	0	4408	0
Pax VIP arrière	(3 x 11)		5272	0
Masse invariable	MI			
Réservoir sup avant	38,3		4790	0
Réservoir sup arrière	38,3		5150	0
Carburant réservoirs std		0	3600	0
Masse totale	MT			

Zones à compléter



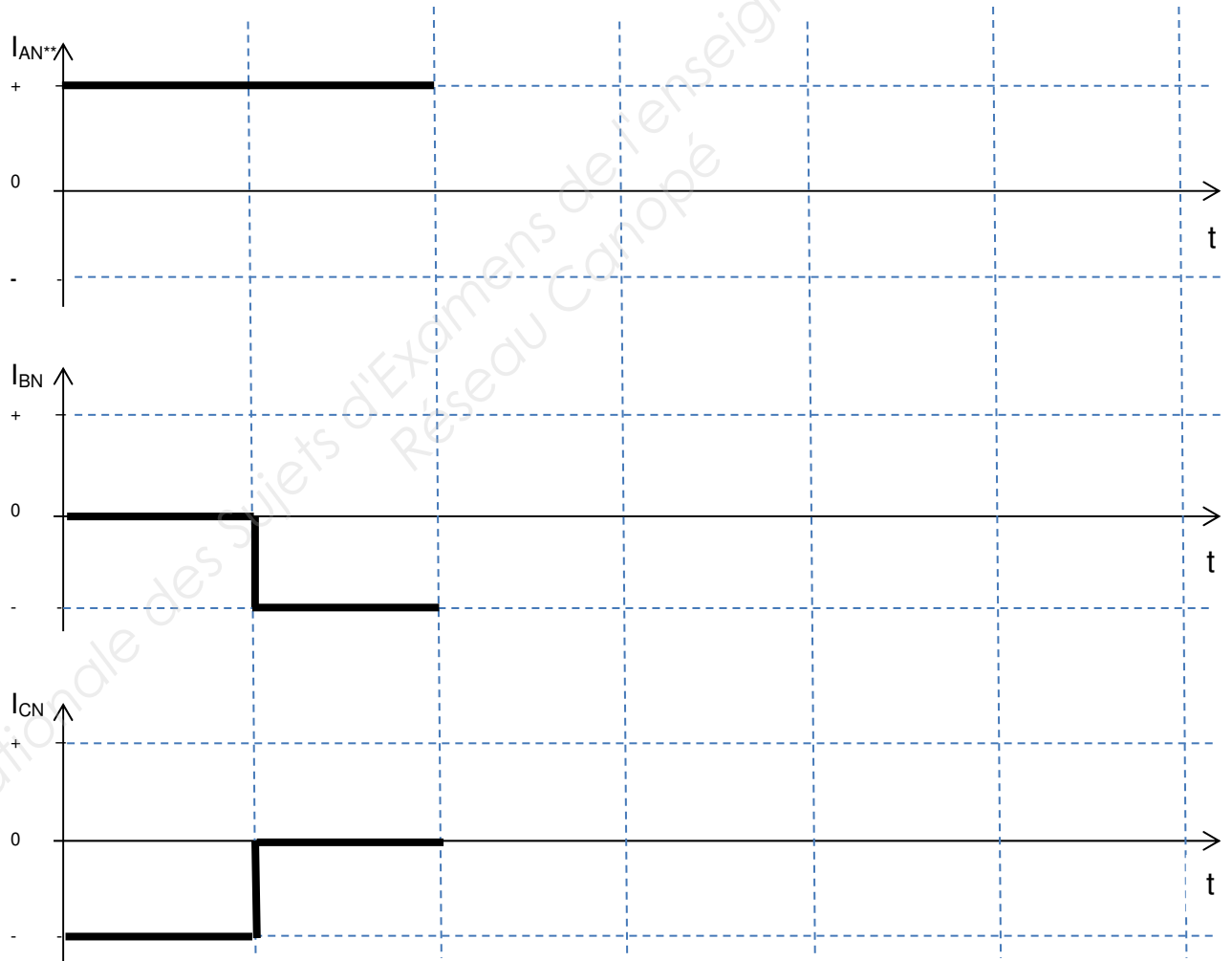
BTS AÉRONAUTIQUE	Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT
	<b>DR3/6</b>

### Q 2.4.1 États des transistors : B → Bloqué S → Saturé

Cycle Transistor	1	2	3	4	5	6
Q0	B	B				
Q1	S	S				
Q2	B	S				
Q3	B	B				
Q4	S	B				
Q5	B	B				



### Q 2.4.2 Chronogrammes :



\*\*Convention : Le courant  $I_{XN}$  est considéré positif s'il s'écoule de X vers N ( DT15)

Conformité avec le relevé Oui / Non :

☐

BTS AÉRONAUTIQUE

Étude de modifications pluritechnologiques

Session : 2017

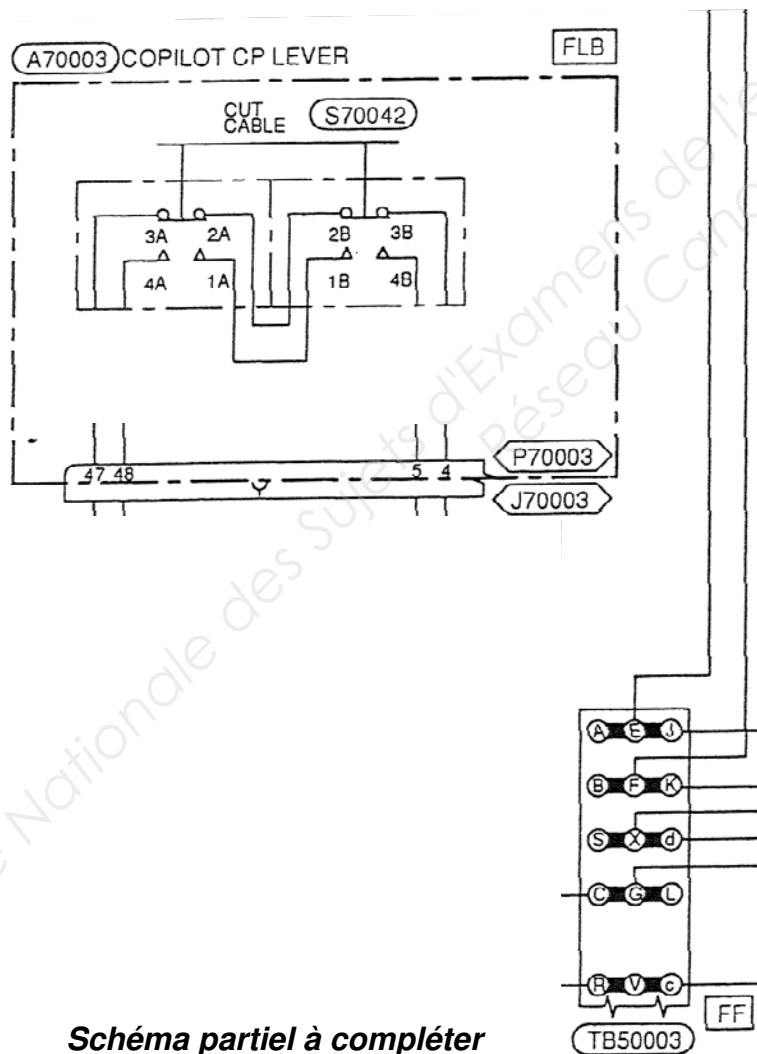
Code : AE4EMPT

**DR4/6**

**Question 2.5.3 : Éléments à repérer.**

Élément à repérer DT19	↓ Repères à compléter ↓
Voyant du panneau central	
Commande coupe-câble pilote	
Commande coupe-câble copilote	
Shunt Commande copilote	
Commande coupe-câble treuilliste	
Coupe-câble (montage gauche)	
Commande de verrouillage du coupe-câble	
Disjoncteurs	

**Question 2.5.7 : Compléter le schéma de câblage**



**Schéma partiel à compléter**

Schéma partiel à compléter en utilisant la couleur :

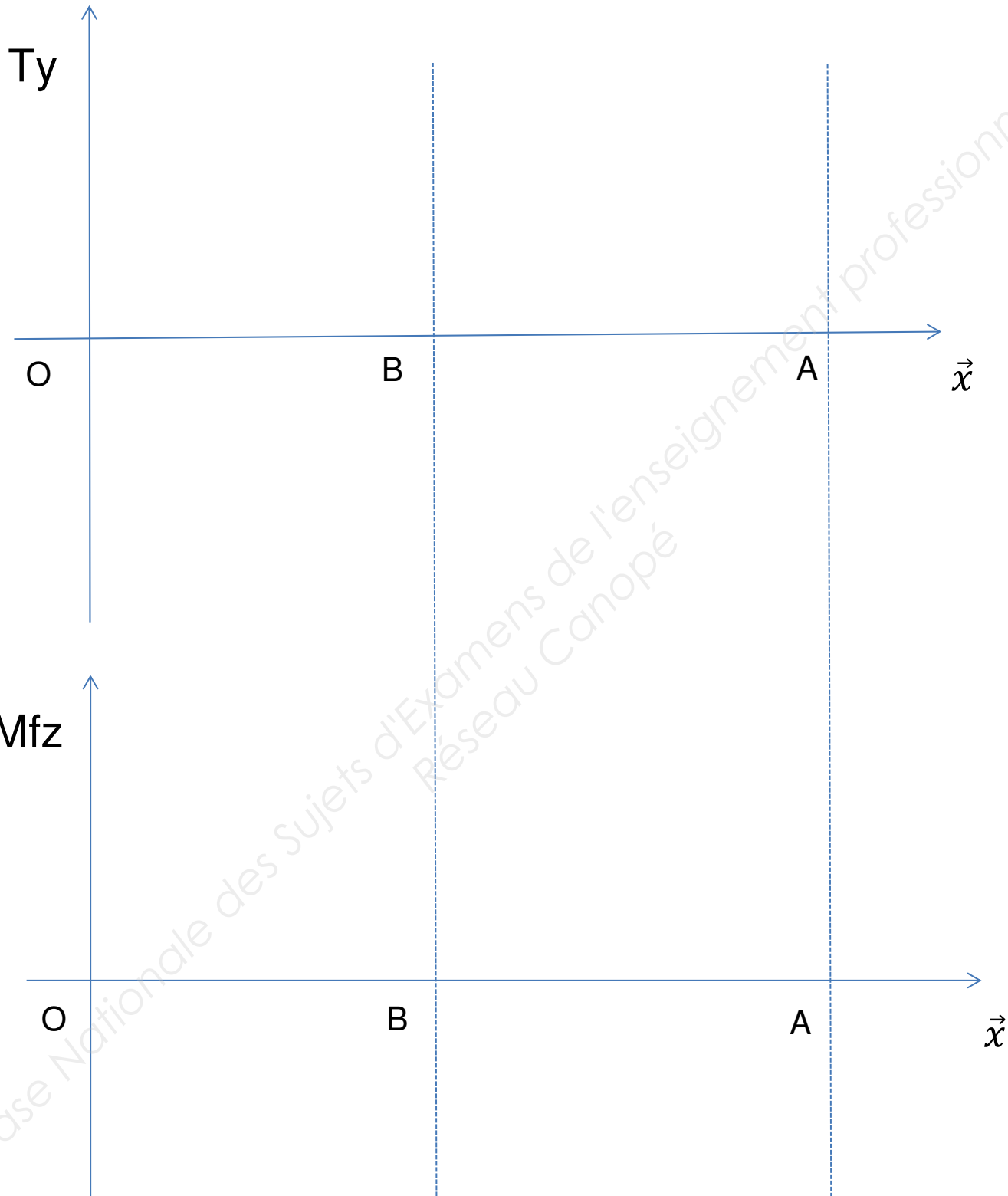
- ROUGE pour les liaisons électriques en lien avec les points 2A-3A-2B-3B
- BLEUE pour les liaisons électriques en lien avec les points 1A-1B-4A-4B

BTS AÉRONAUTIQUE	Session : 2017
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT
	<b>DR5/6</b>



Échelles : 1 mm pour 75 N  
1 mm pour 50 N·m

Question 4.4



Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.