

BTS BLANC

Conception des Processus de Réalisation de Produits

Sujet de conception préliminaire

DOSSIER SUJET

Sommaire :

Structure du sujet.....	2
Mise en situation du moyeu d'hélicoptère Starflex.....	3
Partie 1 : ANALYSE FONCTIONNELLE.....	5
Partie 2 : ANALYSE du MATERIAU, du BRUT et du PROCESS du FLASQUE DE MANCHON	9
Partie 3 : ANALYSE DU PROCESS DE LA BROCHE.....	14
Partie 4 : ANALYSE du MANDRIN TOBLER (Serrage intérieur)	17
Partie 5 : ETUDE d'un NOUVEAU PROCESSUS d'usinage.....	20

Organisation des documents associés au dossier sujet :

- ↪ un **Dossier Technique (DT)** contenant des documents spécifiques au support de l'étude, des documents extraits de catalogues fournisseurs...
- ↪ un **Dossier Réponses (DR)** à compléter et à rendre en fin d'épreuve inséré dans une feuille de copie EN.

STRUCTURE DU SUJET

Le sujet aborde 5 parties indépendantes, cependant il est conseillé de suivre la chronologie du sujet afin de mieux en comprendre le sens.

Prise de connaissance du sujet		30 min
PARTIE 1 Analyse fonctionnelle	Problème 1 : Analyse fonctionnelle du moyeu Starflex	90 min
	Problème 2 : Etude de l'attache des pales	
	Problème 3 : Etude des dimensions liées à l'assemblage des pales sur les manchons	
	Problème 4 : Evaluation des efforts appliqués sur les manchons et les broches	
PARTIE 2 Analyse manchon	Problème 5 : Justification des matériaux choisis pour le flasque de manchon	60 min
	Problème 6 : Etude de la réalisation des alésages des flasques	
PARTIE 3 Analyse flasque	Problème 7 : Étude du matériau de la broche	60 min
	Problème 8 : Justification du matériau de la broche	
	Problème 9 : Analyse du processus de réalisation de la broche	
PARTIE 4 Mandrin intérieur	Problème 10 : Justification de l'utilisation du mandrin	60 min
	Problème 11 : Etude du fonctionnement du mandrin	
	Problème 12 : Quantification de l'effort de serrage	
PARTIE 5 Nouveau processus	Problème 14 : Justification de l'utilisation d'un tour bi-broche bi-tourelle	60 min
	Problème 15 : Proposition d'un nouveau processus de fabrication	
	Problème 16 : Choix des outils	
	Problème 17 : Proposition d'une solution constructive	

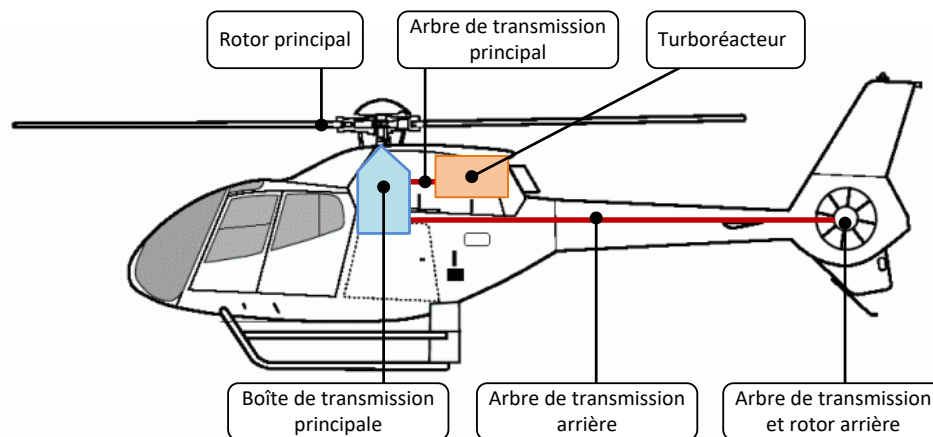
MISE EN SITUATION DU MOYEU D'HELICOPTERE STARFLEX

1. Le produit support de l'étude

L'EC120 Colibri est un hélicoptère léger monoturbine conçu et assemblé à Marignane par Airbus Helicopters. Il est destiné à transporter un pilote et quatre passagers et est doté d'une grande polyvalence pour s'adapter aux besoins de ses clients, qu'ils soient des acquéreurs privés ou des organismes publics, voire militaires.

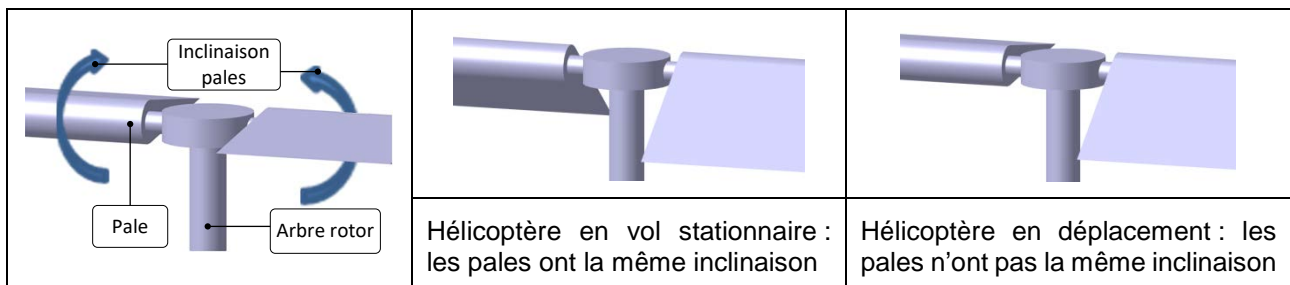


Le déplacement de l'hélicoptère est assuré par un rotor principal permettant la sustentation et la translation de l'appareil. Un rotor arrière permet de compenser le couple de réaction engendré par le rotor principal et de contrôler les mouvements de l'appareil (voir la figure ci-dessous).



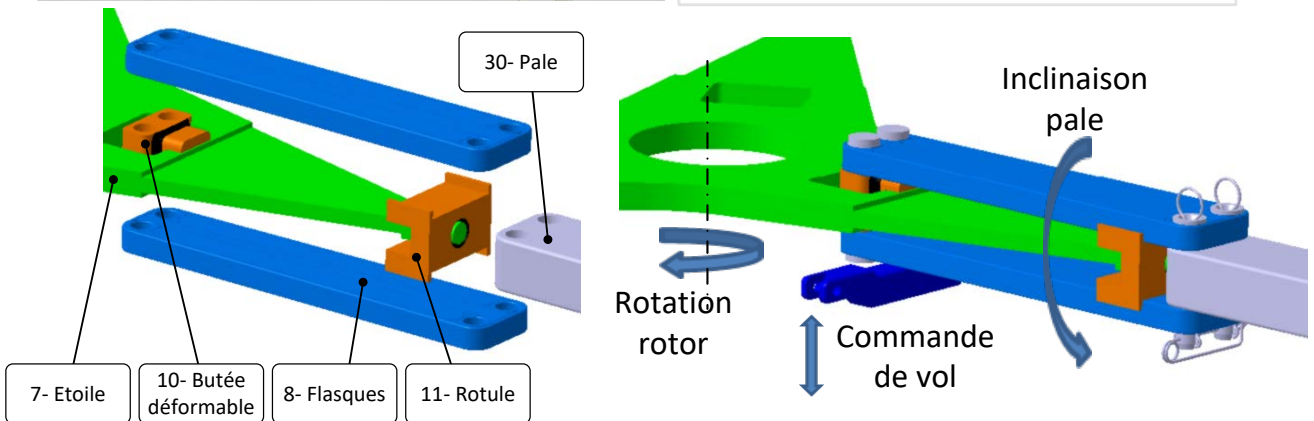
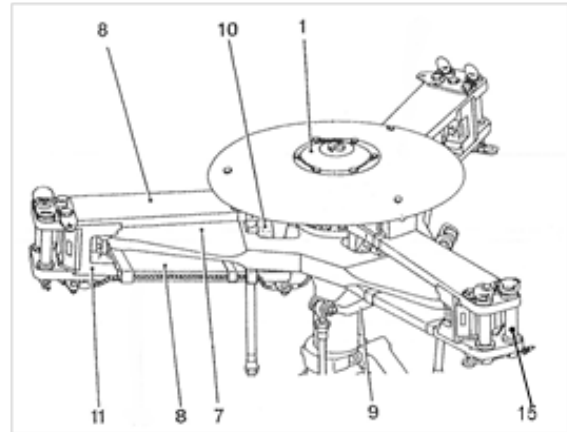
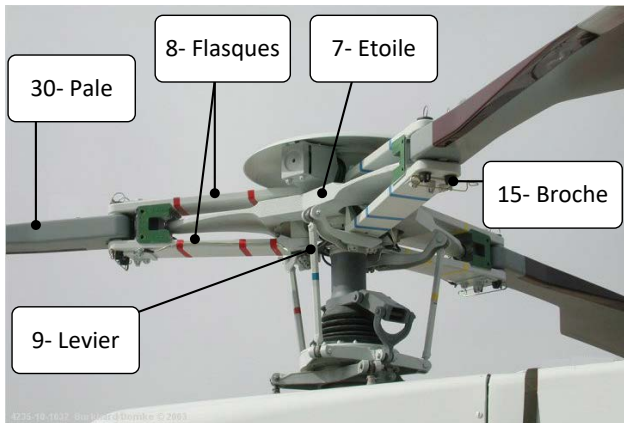
2. Rotor principal

L'hélicoptère crée sa portance grâce au mouvement de rotation de son rotor principal. Il se déplace en inclinant ses pales d'un angle qui varie au cours de la rotation.



L'inclinaison variable des pales à chaque tour du rotor impose une architecture complexe du rotor pour permettre et commander leur orientation. Airbus Helicopters a développé des rotors en matériaux composites (technologie de moyeu STARFLEX) permettant l'articulation des pales grâce à la flexibilité des matériaux. Ce type de rotor est plus léger, moins cher à produire et à maintenir.

3. Moyeu Starflex

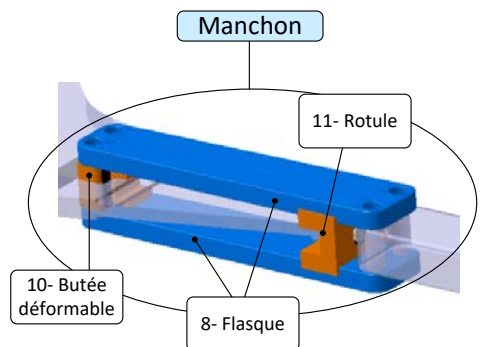


Le mouvement de rotation est transmis par l'arbre rotor (1) à l'étoile (7). Les flasques (8) supportent les pales (30) reliées par un encastrement à cet ensemble par les broches (15). Les 2 flasques (8) sont solidaires de la butée déformable (10) et de la rotule (11). La liaison avec la cinématique de commande de vol est réalisée par les leviers (9) qui en déformant la butée déformable (10) permettent l'inclinaison des deux flasques et donc de la pale qui y est liée.

Description des éléments :

Etoile (7) : c'est le corps du moyeu, elle est constituée de trois branches qui portent chacune un manchon composé de :

- Deux flasques (8) : elles assurent la liaison entre le moyeu rotor et les pales.
- Une butée déformable (10) : elle est constituée de couches métalliques minces collées à de l'élastomère et permet de réaliser une liaison élastique entre le manchon et l'étoile.
- Une rotule (11) : elle relie les flasques et l'étoile et permet les mouvements de rotation des flasques et donc des pales.

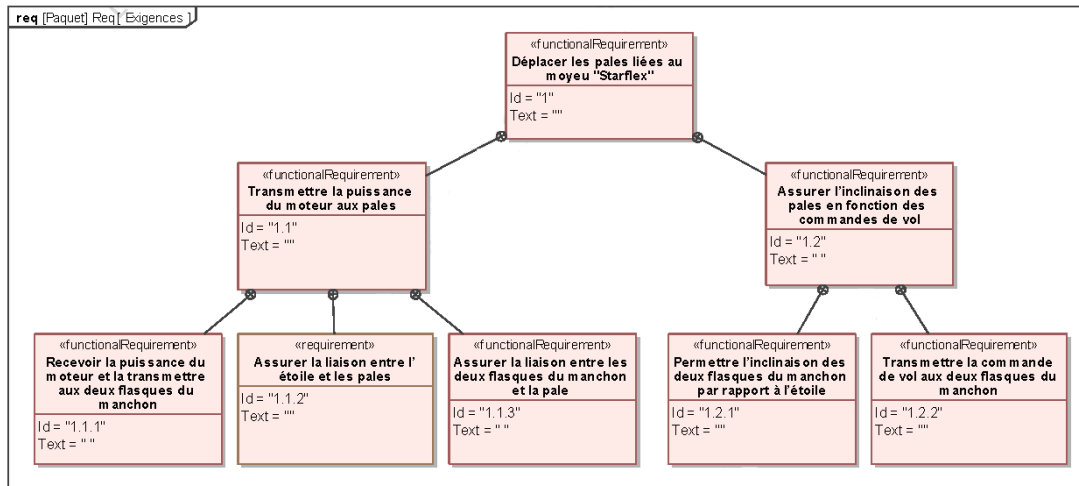


Remarque : le terme « manchon » fait référence à la forme traditionnelle de la pièce liant la pale au moyeu sans utilisation de pièces en matériaux composites.



PARTIE 1 : ANALYSE FONCTIONNELLE

Diagramme des exigences partiel du moyeu « Starflex »



Problème 1 : Analyse fonctionnelle du moyeu Starflex

(Docs. utiles : [Dossier Sujet page 3, 4 – DR1](#))

► Répondre sur le document réponse DR1 ◀

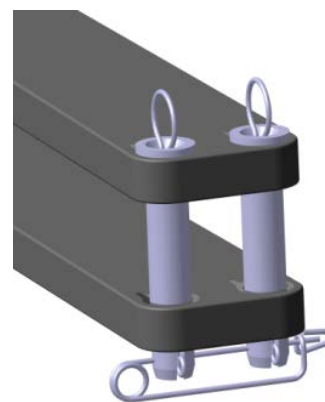
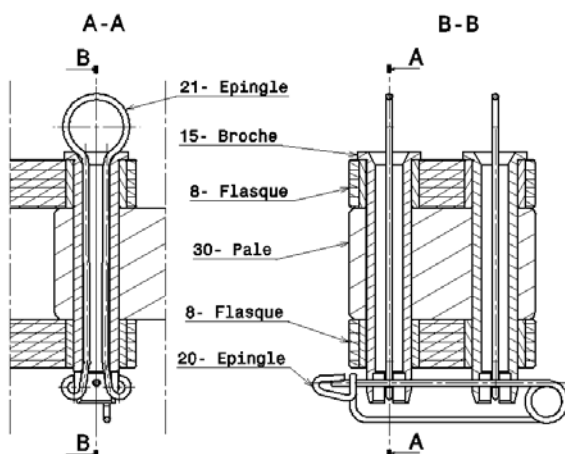
Q 1.1 : Définir, sur le tableau à compléter, la (ou les) pièce(s) du moyeu qui assure(nt) les fonctions listées.

Problème 2 : Etude de l'attache des pales

(Docs. utiles : [Dossier Sujet page 3, 4, 5 – DR1](#))

► Répondre sur le document réponse DR1 ◀

Les pales (30) de l'hélicoptère sont assemblées aux deux flasques (8) du manchon par deux broches (15). Le démontage des pales est rapide et ne nécessite aucun outillage spécifique. Cependant, il est impératif que le montage des broches soit sûr et qu'aucun démontage intempestif ne puisse avoir lieu. Chacune des deux broches (15) est maintenue par une épingle (21) et une épingle de sécurité (20) sécurise l'ensemble.



Afin de mieux préciser la fonction de chaque pièce intervenant dans le montage d'une pale sur le moyeu « Starflex », on propose de définir la gamme de démontage de la pale.

Q 2.1 : Compléter la gamme de démontage d'une pale en précisant, le numéro de l'opération, la désignation de l'opération et le repère des pièces démontées (cette gamme se limite aux pièces **20**, **21**, **15** et à la pale **30**)

Q 2.2 : Expliquer pourquoi un système de double épingle a été adopté par le constructeur.

Problème 3 : Etude des dimensions liées à l'assemblage des pales sur les manchons

(Docs. utiles : **DT1 – DT4 – DR2 – DR3**)

► **Répondre sur le document réponse DR2** ◀

L'assemblage précis des pales sur les manchons risque d'imposer de fortes contraintes dimensionnelles sur les différentes pièces qui participent à cet assemblage. Les questions suivantes permettent d'analyser et de justifier ces contraintes.

Q 3.1 : La pale (**30**) est positionnée dans le manchon constitué des deux flasques (**8**) à l'aide de deux broches (**15**). Colorier sur le dessin (document réponse **DR2**) les surfaces cylindriques qui participent à ce montage sur chacune des pièces concernées.

Q 3.2 : La mise en position des pales (**30**) dans le manchon constitué des deux flasques (**8**) à l'aide des surfaces cylindriques identifiées à la question précédente est un montage hyperstatique. Préciser grâce au tableau (document réponse **DR2**) les principales conditions dimensionnelles ou géométriques que doivent respecter les pièces pour que le montage des pales soit possible.

*Les dessins de définitions des pales (**30**), des flasques (**8**) et des broches (**15**) (voir **DT1 et DT4**) font apparaître des cotes précises pour les surfaces des pièces qui assurent la fonction de mise en position des pales.*

On trouve en particulier les conditions suivantes :

- Diamètre alésage Flasque (**8**) : $D_f = \varnothing 30 \text{ G7 } (30^{+0,028}_{+0,007})$
- Diamètre alésage Pale (**30**) : $D_p = \varnothing 30 \text{ G7 } (30^{+0,028}_{+0,007})$
- Diamètre Broche (**15**) : $db = \varnothing 29.9^{+0,037}_{-0,028}$
(après application de la couche de protection)
- Entraxe des alésages de Pale (**30**) : $E_p = 70 \pm 0.02$
- Entraxe des alésages de Flasque (**8**) : $E_f = 70 \pm 0.02$

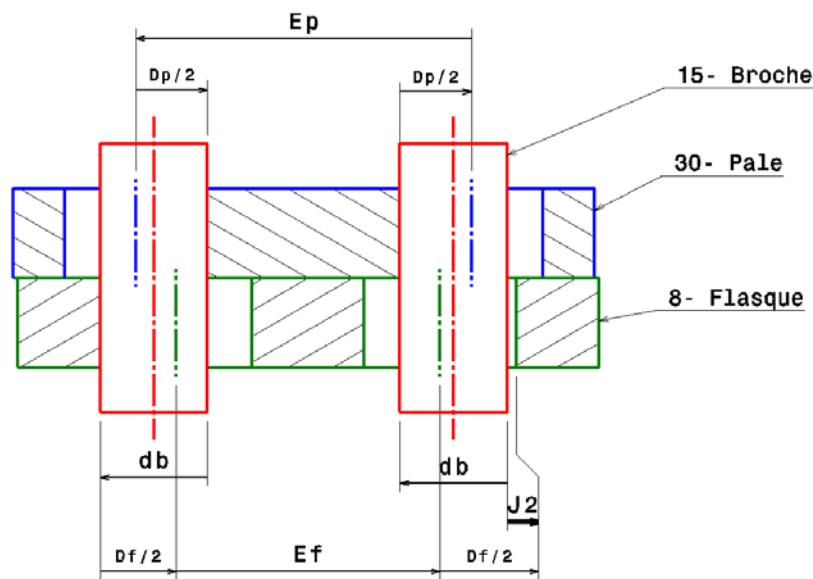
Q 3.3 : Déterminer le jeu maximum (J_{1Maxi}) et le jeu minimum (J_{1mini}) entre la broche (**15**) et l'alésage de la pale (**30**).

Le constructeur souhaite que :

- $J_{1Maxi} < 0.16$ (pour limiter le jeu entre la pale et le rotor)
- $J_{1mini} > 0.05$ (pour permettre une mise en place des broches aisée)

Vérifier que ces contraintes sont respectées.

Il faut de plus vérifier que les dimensions des pièces permettent le montage des pales sur le moyeu. On propose de le faire pour un seul flasque (voir schéma ci-dessous).



► Répondre sur le document réponse DR3 ◀

Le jeu minimum ($J_{2\text{mini}}$) entre une broche (15) et un flasque (8) est donné par l'équation :

$$J_{2\text{mini}} = -db_{\text{Maxi}} + \frac{Dp_{\text{mini}}}{2} - Ep_{\text{Maxi}} + \frac{Dp_{\text{mini}}}{2} - db_{\text{Maxi}} + \frac{Df_{\text{mini}}}{2} + Ef_{\text{mini}} + \frac{Df_{\text{mini}}}{2}$$

Q 3.4 : A quelle condition le jeu minimum $J_{2\text{mini}}$ permet le montage des broches ? Calculer ce jeu minimum ($J_{2\text{mini}}$) et conclure.

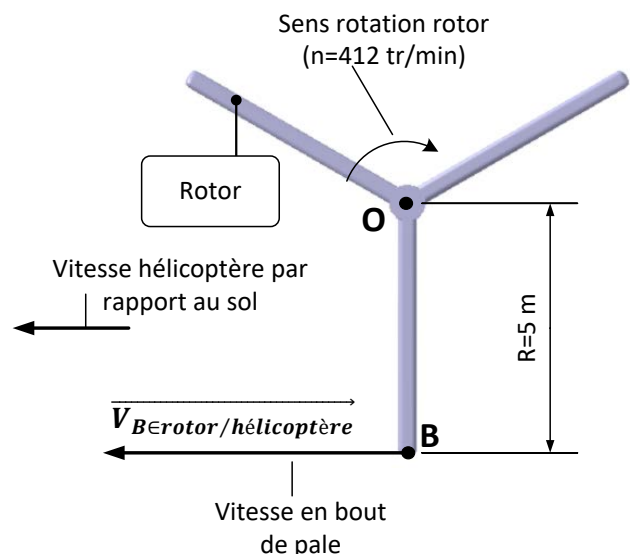
Problème 4 : Evaluation des efforts appliqués sur les manchons et les broches

(Docs. utiles : DT1 – DR3)

► Répondre sur le document réponse DR3 ◀

La vitesse importante des pales engendre des actions mécaniques considérables dans les flasques et les broches. On propose d'évaluer ces efforts.

La vitesse de rotation d'un rotor d'hélicoptère est limitée par une contrainte majeure : la vitesse en bout de pale doit rester inférieure à la vitesse du son (environ 320 m/s à une altitude de 5000 mètres et à une température de -15°C). La vitesse de rotation du rotor de l'EC120 Colibri est de 412 tr/min (soit 6,87 tr/s) ; l'ensemble de son rotor a un diamètre de 10 mètres.



Q 4.1 : En vous aidant de la ressource ci-dessous, calculer la vitesse du point B (bout de pale) appartenant au rotor par rapport à l'hélicoptère.

Ressource :

On rappelle que la vitesse V d'un point appartenant à un solide tournant autour d'un axe fixe (à une vitesse n) et situé à une distance r de cet axe est :

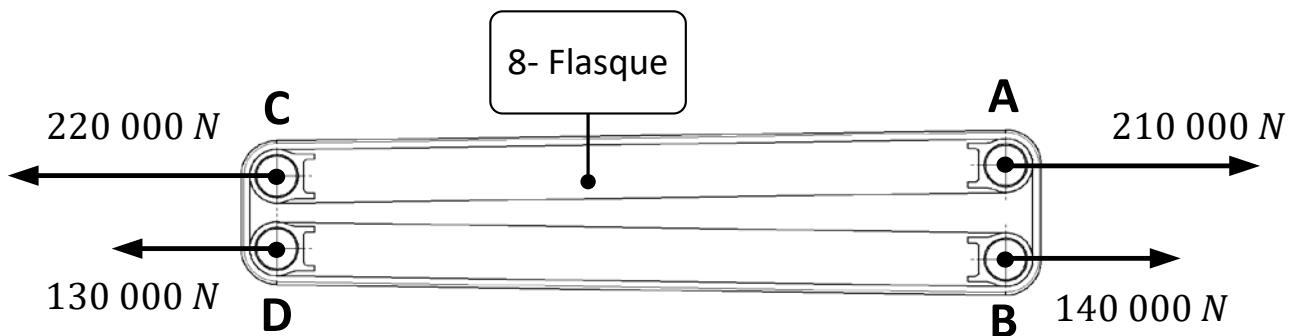
$$\underbrace{V}_{\text{m/s}} = 2 \times \pi \times \underbrace{n}_{\text{tr/s}} \times \underbrace{r}_{\text{m}}$$

De plus l'hélicoptère se déplace à une vitesse maximale de 279 km/h (soit 78 m/s).

Q 4.2 : Calculer la vitesse du point B (bout de pale) appartenant au rotor par **rapport au sol** et vérifier qu'elle est inférieure à la vitesse du son.

Les pales (30) de l'EC 120 Colibri ont une masse de 29.9 kg et les questions précédentes suggèrent que leur centre de gravité a une vitesse très élevée ce qui provoque des efforts importants pour la maintenir sur le manchon composé des deux flasques (8) grâce aux broches (15).

L'application du principe fondamental de la dynamique à une pale (30) puis à un flasque (8) permet d'estimer les actions mécaniques appliquées à un flasque, elles sont représentées sur le schéma ci-dessous :



Q 4.3 : Préciser quel est le type de sollicitation à laquelle est principalement soumis le flasque (8).

PARTIE 2 : ANALYSE DU MATERIAU, DU BRUT ET DU PROCESS DU FLASQUE DE MANCHON

La partie précédente a montré que les **FLASQUES DE MANCHON** sont soumis à des efforts importants et a justifié la grande précision des alésages recevant les broches. De plus, comme toute pièce de l'hélicoptère on cherche à limiter la masse des flasques. Cette partie aborde la conception et la réalisation du **FLASQUE DE MANCHON**.

Le constructeur réalise environ 150 flasques de ce type par mois.

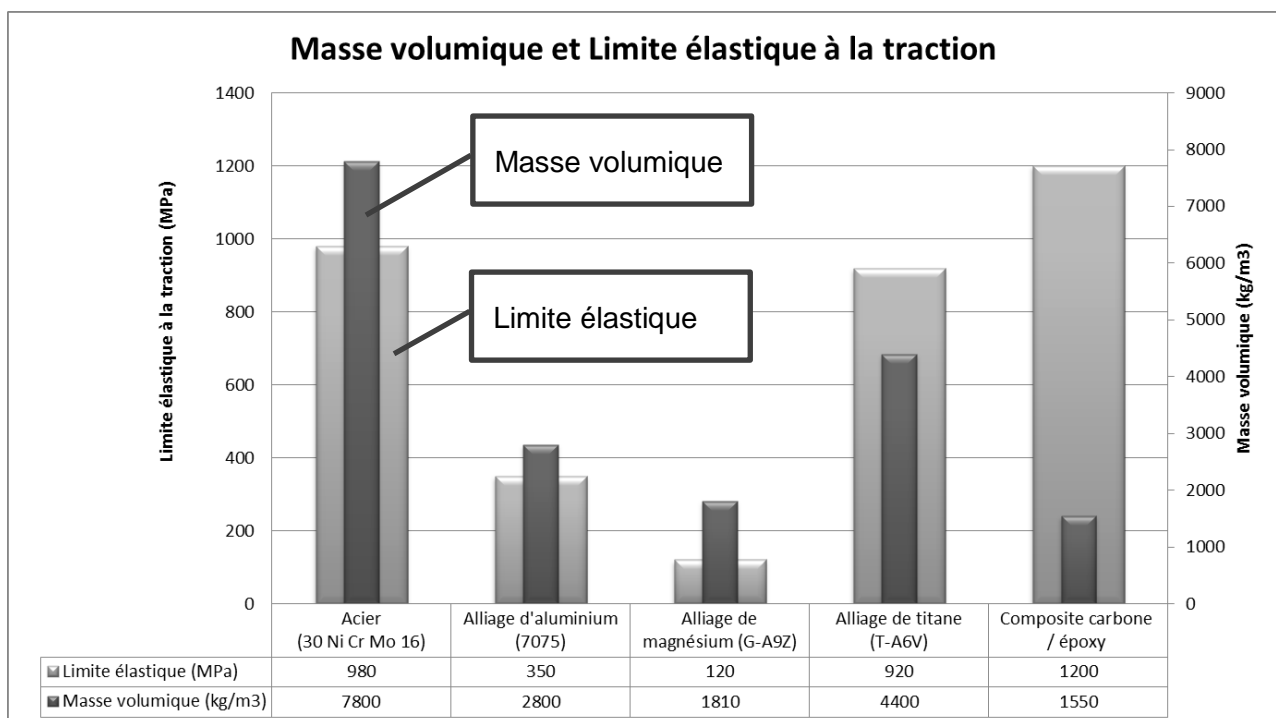
Problème 5 : Justification des matériaux choisis pour le flasque de manchon

(Docs. utiles : DT1 – DT2 – DR4 – DR5 – DR6)

► Répondre sur le document réponse DR4 ◀

Le constructeur a choisi de réaliser les flasques de manchon en matériau composite carbone / époxy (fibres de carbone et matrice époxy).

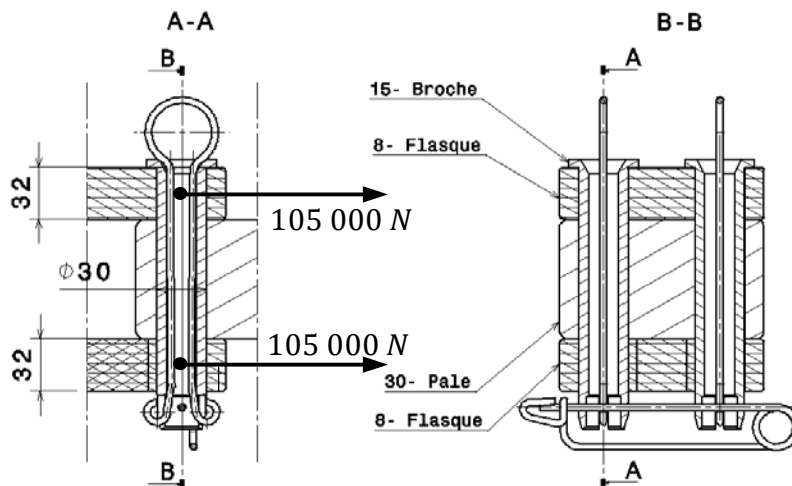
Le graphique ci-dessous permet la comparaison de deux caractéristiques –masse volumique et limite élastique à la traction (Re)- pour des matériaux couramment utilisés dans le secteur aéronautique.



Q 5.1 : Sur le document réponse DR4, justifier :

- l'utilisation des critères « masse volumique » et « limite élastique » pour le choix du matériau du flasque
- le choix du constructeur (composite carbone / époxy)

La pale (30) exerce sur les flasques (8) du manchon des efforts importants (voir question Q 4.3) qui sont transmis par les broches (15). Les matériaux composites acceptant une pression de matage assez faible, il est nécessaire d'estimer la pression de contact entre la broche et les flasques et de juger si elle est acceptable.



Hypothèses :

- On se place dans le cas où l'effort de la broche sur chacun des deux flasques est égal à 105 000 N
- Les dimensions des surfaces en contact sont données sur la figure ci-dessus
- La répartition de la pression de contact (notée P_0) est uniforme sur la surface de contact (sur un demi-cylindre comme indiqué par la ressource ci-dessous).

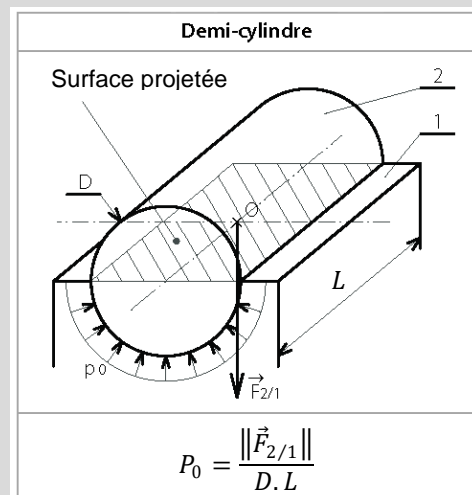
Q 5.2 : A partir des informations données par la ressource ci-dessous :

- montrer que l'aire de la surface projetée pour un contact entre un flasque et la broche est égale à $(32 \times 30) \text{ mm}^2$
- calculer la pression de contact entre la broche (15) et un flasque (8)
- préciser si le contact direct entre la broche et un flasque en composite est une solution satisfaisante.

Ressource – Pression de matage

En cas de contact surfacique, une des méthodes permettant l'estimation de la pression de contact entre deux solides consiste à faire l'hypothèse que la répartition de la pression (notée P_0) est uniforme sur toute la surface de contact. Pour dimensionner et choisir les matériaux devant servir à réaliser les surfaces de contact, on compare la pression de contact P_0 à la pression de matage admissible (fournie par les laboratoires d'essais). On vérifie alors que : $P_0 \leq P_{matage}$

Pour ce modèle, la pression P_0 se calcule aisément puisqu'elle est égale au quotient de la force appliquée par l'aire de la surface de contact projetée sur un plan perpendiculaire à cette force (figure ci-contre).

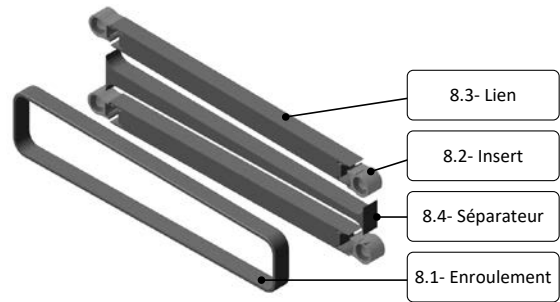


Quelques pressions de matage admissibles :

Contact entre pièces fixes	Pression admissible
Acier sur acier	120 à 160 MPa
Acier sur composite (carbone / époxy)	30 à 50 MPa

Q 5.3 : A partir du résultat précédent, justifier l'utilisation d'inserts en acier qui permettent d'éviter le matage des surfaces en contact. (Voir dessin flasque **DT1**)

Le constructeur a donc choisi de réaliser les flasques en matériau composite mais en intégrant des inserts en aciers dans les zones de contact avec les broches. Cependant, pour optimiser le couple masse / résistance mécanique, il a adopté une conception particulière basée sur l'utilisation de deux types de matériaux composites. (Voir **DT2** - Processus simplifié de réalisation d'un flasque)



Type de matériau	Pièce
Matériau sandwich avec âme nid d'abeille et peau tissée - avantage : densité très faible	Lien (8.3) Séparateur (8.4)
Bande pré-imprégnée fibre de carbone / époxy - avantage : très bonne limite élastique à la traction et densité faible	Enroulement (8.1)
Acier 30 Ni Cr Mo 16 - avantage : pression de contact admissible forte	Insert (8.2)

Vérification de la section de l'enroulement (8.1)

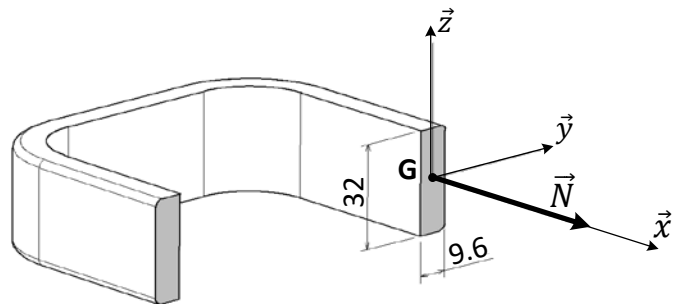
La conception du flasque impose que la presque totalité des efforts qui lui sont appliqués soient supportés par l'enroulement (8.1). Cet enroulement est réalisé grâce à une bande pré-imprégnée de composite « fibre de carbone / époxy » qui est enroulée autour du flasque (étape 5 du **DT2**). L'enroulement final est constitué par 16 couches d'une bande d'épaisseur 0,6 mm, soit une épaisseur totale de 9.6 mm.

Une étude mécanique préalable montre, que dans la section droite de l'enroulement la plus sollicitée, les éléments de réduction en G du torseur des efforts de cohésion maximum s'expriment (dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ liée à la section) par :

$$\mathcal{T}_{coh} = \begin{pmatrix} 200\,000\,N & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{(G)} \begin{pmatrix} \vec{x} \\ \vec{y} \\ \vec{z} \end{pmatrix}$$

Données :

- Limite élastique du matériau : $Re = 1\,100\,MPa$
- Dimensions de la section : $32\,mm \times 9,6\,mm$



► Répondre sur le document réponse **DR5** ◀

Q 5.4 : Préciser la nature de la sollicitation à laquelle est soumise cette partie de l'enroulement.

Q 5.5 : Calculer la contrainte normale maximale (σ_{max}) dans la section de l'enroulement définie par la figure ci-dessus.

Q 5.6 : Estimer le coefficient de sécurité s choisi par le constructeur pour le dimensionnement de l'enroulement (on définit : $s = \frac{Re}{\sigma_{max}}$)

Calcul de la masse d'un flasque

► Répondre sur le document réponse **DR6** ◀

Q 5.7 : Calculer la masse d'un flasque **8** en complétant le tableau (**DR6**). Les calculs de la masse d'un insert (**8.2**) et d'un enroulement (**8.1**) doivent être détaillés dans les cadres prévus.

Problème 6 : Etude de la réalisation des alésages des flasques

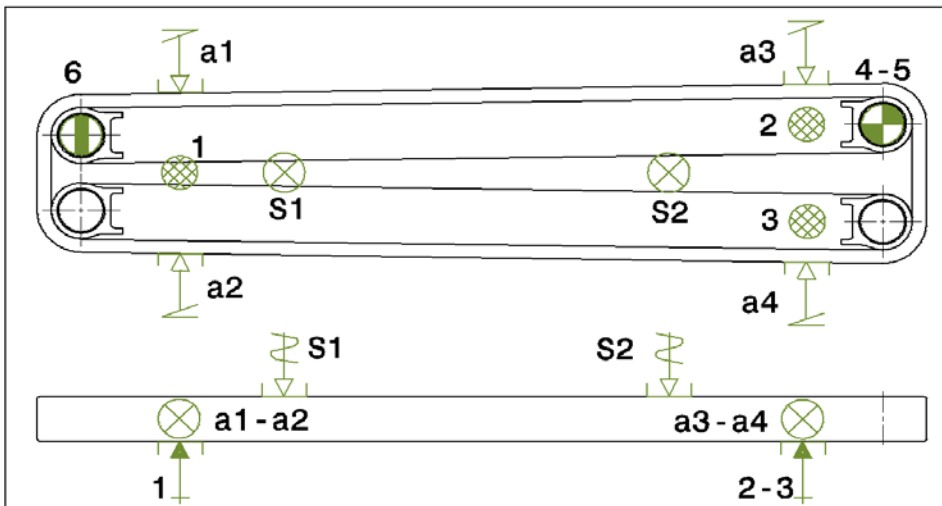
(Docs. utiles : **DT1 – DT2 – DT3 – DT8.1 – DT8.2 – DR7**)

► Répondre sur le document réponse **DR7** ◀

Le processus de réalisation du flasque (voir **DT2**) et les conditions dimensionnelles souhaitées (voir **DT1**) imposent de réaliser une opération d'usinage des alésages en fin de processus de réalisation de ces pièces.

Cette opération est réalisée sur un centre d'usinage horizontal et quatre flasques sont montées sur un « cube » selon la disposition présentée sur le document **DT3**.

La mise en position et le maintien en position d'un flasque sont schématisés sur le croquis ci-dessous



L'opération de mise en place d'un flasque sur le montage impose une série de manipulations à réaliser par l'opérateur. La pièce est positionnée grâce à un centreur et un locating qu'il est nécessaire de retirer avant l'usinage. Deux brides assurent le maintien en position de la pièce et quatre appuis auxiliaires (qu'il est nécessaire de régler pour chaque pièce) favorisent ce maintien pendant l'usinage.

Q 6.1 : Proposer une notice de montage d'un flasque sur le montage d'usinage. Ce document, destiné à l'opérateur, accompagne le dessin du montage **DT3** et fait appel aux repères des pièces définis sur **DT3**.

On s'intéresse désormais aux outils de coupe nécessaires pour réaliser les 4 alésages (étape 6 du processus de réalisation d'un flasque **DT2**) ; on précise les éléments suivants :

- diamètre des alésages avant usinage : $\varnothing 28 \text{ H9} (28_{+0}^{+0,052})$
- diamètre final des alésages : $\varnothing 30 \text{ G7} (30_{+0,007}^{+0,028})$ sur
- les autres caractéristiques de ces alésages sont à rechercher sur le dessin de définition du flasque (**DT1**)
- les outils sont choisis dans la gamme SECO (voir **DT8.1** et **DT8.2**)

► Répondre sur le document réponse DR8 ◀

Q 6.2 : Compléter la colonne « alésage à réaliser » du tableau (DR8) : donner les caractéristiques des alésages à réaliser.

Q 6.3 : Indiquer dans les trois colonnes de droites du tableau (DR8) si les trois outils proposés sont capables de réaliser les caractéristiques des alésages (OUI : capable – NON : pas capable)

Q 6.4 : A partir de la lecture du tableau complété (DR8) montrer que la réalisation de ces alésages ne peut se faire qu'en utilisant deux outils parmi ceux proposés. Préciser quels sont ces outils.

PARTIE 3 : ANALYSE DU PROCESS DE LA BROCHE

La broche est considérée par le constructeur comme une pièce critique : elle est fortement sollicitée (voir partie 1) et sa rupture en vol provoquerait la perte d'une pale. De plus ses caractéristiques dimensionnelles sont exigeantes. Cette partie aborde la conception et la réalisation de la **BROCHE**.

Le constructeur réalise environ 1000 broches de ce type par mois.

Problème 7 : Étude du matériau de la broche

(Docs. utiles : DT4 – DR9)

► Répondre sur le document réponse DR9 ◀

Le matériau de la pièce est **30 Ni Cr Mo 16**.

Q 7.1 : Préciser à quelle famille appartient le matériau de la pièce.

Q 7.2 : Indiquer pour ce matériau, quels sont les éléments d'addition qui rentrent dans sa composition, en précisant leur teneur respective.

Problème 8 : Justification du matériau de la broche

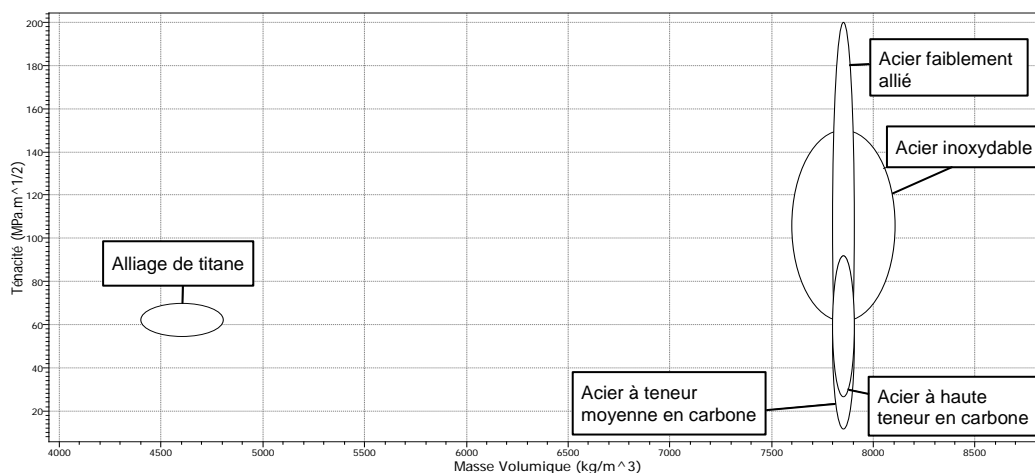
(Docs. utiles : DT4– DR9)

► Répondre sur le document réponse DR9 ◀

Les broches (15) qui assurent la liaison entre les deux flasques du manchon et la pale sont des pièces critiques pour la sûreté de l'appareil. Aussi, le cahier des charges que doit respecter ce matériau est contraignant. On trouve ci-dessous un extrait de ce cahier des charges :

- Dureté : >360 HB
- Résistance élastique : >900 MPa
- Allongement : > 10%

On propose ci-dessous un graphique permettant de comparer plusieurs matériaux respectant ces contraintes.

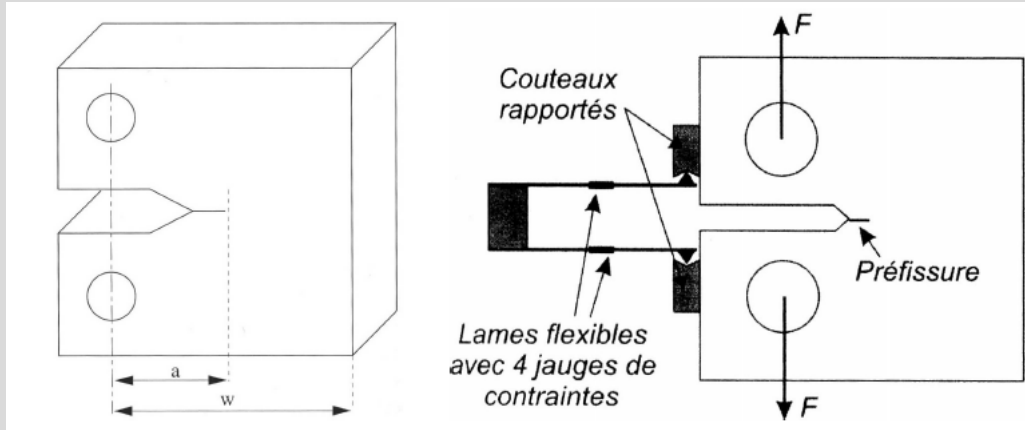


Q 8.1 : Expliquer pour quelles raisons on a choisi de comparer ces matériaux selon leur masse volumique et leur ténacité. (Voir la ressource ci-dessous)

Ressource – La ténacité des matériaux

La ténacité est une grandeur qui caractérise la résistance à la propagation brutale de fissure dans un matériau.

La méthode de mesure de la ténacité la plus utilisée consiste à effectuer un essai de traction sur une éprouvette entaillée et pré-fissurée au fond de l'entaille. Au cours de l'essai, on mesure l'écartement des bords de l'entaille en fonction de la force appliquée.



On définit alors la ténacité K dont l'unité est : $MPa \cdot m^{\frac{1}{2}}$.

Q 8.2 : Justifier le choix du matériau retenu par le constructeur pour réaliser les broches (15). (acier faiblement allié)

Problème 9 : Analyse du processus de réalisation de la broche

(Docs. utiles : DT4 – DT5.1 – DT6.1 – DT6.2 – DR10 – DR11)

► Répondre sur le document réponse DR10 ◀

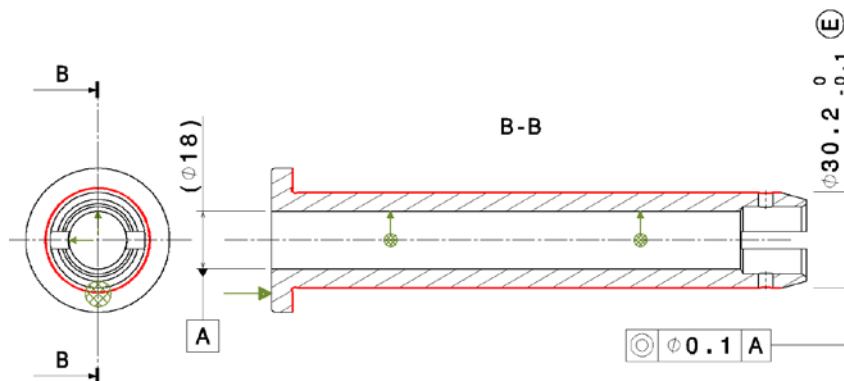
On donne (DT5.1) le processus incomplet (version actuelle) de réalisation des broches.

En outre, il a été choisi de réaliser une opération de rectification cylindrique sur le diamètre extérieur de la broche ($\phi 29,8^{+0,077}_{+0,052}$ avant protection).

On précise qu'aucun traitement thermique n'est nécessaire pour cette pièce.

Q 9.1 : Citer au moins un critère qui justifie l'opération de rectification pour finir le diamètre de 29,8 et préciser sa position dans le processus de réalisation de la broche (DT5.1).

On propose ci-dessous le croquis partiel de la phase 20D (avant la rectification) :



► Répondre sur le document réponse DR11 ◀

Q 9.2 : Décoder la spécification $\phi 30.2 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.1 \end{smallmatrix} \text{ (E)}$ sur le document réponse DR 11.

Pour la réalisation de deux sous-phases, la pièce est soutenue pendant l'usinage par une contre-pointe (phase 20B) ou par une lunette « autocentrante » (phase 20C) (voir document **DT5.1**). En effet la longueur de la pièce et le faible diamètre du mandrin Tobler intérieur (**DT6.1** et **DT6.2**) ne permettent pas les usinages prévus avec des conditions de coupe suffisantes sans des déformations excessives de la pièce et du porte-pièce.

On souhaite réaliser la sous-phase 20D de finition du cylindre sans utiliser de contre pointe (en effet des essais ont montré que l'utilisation d'une contre pointe dans cette phase peut déformer le bout de la pièce dans lequel la rainure a été usinée) ; la question suivante permet de déterminer si ce choix est pertinent.

On effectue, à l'aide d'un logiciel « éléments finis » l'étude de la déformation de la pièce dans le mandrin Tobler pendant l'usinage. On pourra alors comparer la déformée obtenue avec les contraintes dimensionnelles exigées sur la pièce.

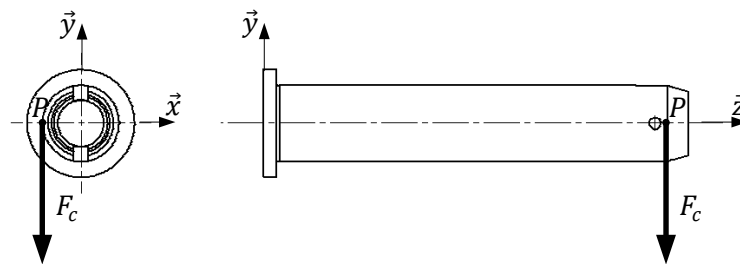
On modélise dans un premier temps les efforts de coupe pendant cette opération.

Données :

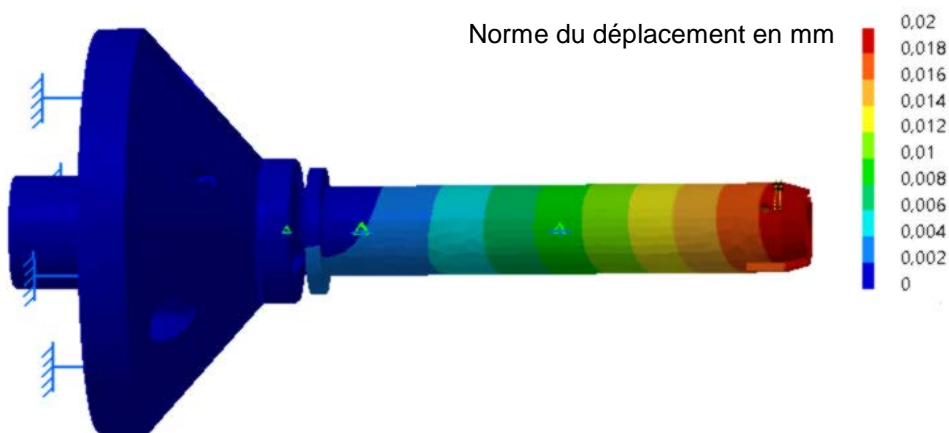
- Avance : $f = 0,1 \text{ mm/tour}$
- Profondeur de passe : $0,25 \text{ mm}$
- Effort de coupe : le torseur simplifié associé aux efforts de coupe pendant la

finition du cylindre est donné au point P :

$$T_{coupe} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ F_c = -100 \text{ N} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$$



Le logiciel calcule les déformations de l'ensemble mandrin Tobler et pièce auxquels on applique l'effort de coupe :



► Répondre sur le document réponse **DR10** ◀

Q 9.3 : Expliquer pourquoi le calcul ci-dessus a été effectué avec l'outil positionné au point P (point dont la coordonnée sur l'axe z est la plus grande).

Q 9.4 : La spécification $\text{Ø}30 \cdot 2 \cdot 0 \cdot 1 \text{ E}$ peut-elle être respectée sans utiliser de contre pointe ?

PARTIE 4 : ANALYSE DU MANDRIN TOBLER (SERRAGE INTERIEUR)

Cette partie s'intéresse au fonctionnement du mandrin TOBLER à serrage intérieur et permet de vérifier son aptitude à garantir les fonctions « mise en position » et « maintien en position » de la pièce.

Problème 10 : Justification de l'utilisation du mandrin

(Docs. utiles : DT6.1 – DT6.2 – DR12)

► Répondre sur le document réponse DR12 ◀

Q 10.1 : Quelle est la nature de la mise en position de la broche assurée par le mécanisme :

- « Appui plan centrage court »
- ou
- « Butée centrage long »

Q 10.2 : Quel est le nombre de degrés de liberté éliminés par cette mise en position ?

Q 10.3 : A partir du dessin d'ensemble et de sa nomenclature, donner le nom et le repère des pièces en contact avec la broche qui assurent la fonction « centrage ».

Q 10.4 : A partir du dessin d'ensemble et de sa nomenclature, donner le nom et le repère des pièces en contact avec la broche qui assurent la fonction « butée » ou « appui plan ».

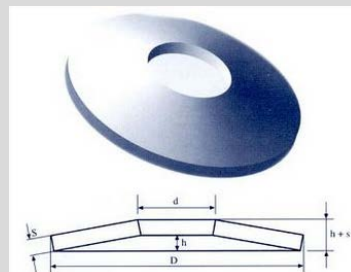
Q 10.5 : A partir du dessin d'ensemble et de sa nomenclature, donner le nom et le repère des pièces en contact avec la broche qui assurent la fonction « serrage ».

Problème 11 : Etude du fonctionnement du mandrin

(Docs. utiles : DT6.1 – DT6.2 – DR12 – DR13)

► Répondre sur le document réponse DR12-DR13 ◀

Les efforts de serrage sont assurés par deux empilages de rondelles «BELLEVILLE ». L'empilage de rondelles BELLEVILLE assure la fonction « ressort ». Dans les mécanismes, cette solution technique est souvent utilisée lorsque l'on souhaite obtenir des efforts importants avec de faibles déformations.



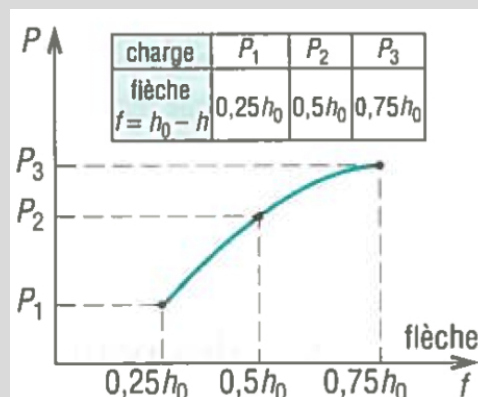
Ressource – Rondelles ressort BELLEVILLE :

La rondelle Belleville est une rondelle ressort de forme tronconique. Ces rondelles permettent de concevoir des ressorts de compression sur mesure en utilisant des rondelles de raideurs différentes ou en effectuant des montages en série, en parallèle ou une combinaison des deux.

Empilages				
	1 seule rondelle	6 rondelles en série	6 rondelles en parallèle	3 couples en parallèle de 2 rondelles en série
Capacité de charge	P	P	6P	2P
Déformation ou flèche	$f = h_0 - h$	6f	f/6	3f / 2
Représentation schématique				

Efforts et déformation :

la déformation d'une rondelle Belleville n'est pas linéaire. Les fournisseurs donnent généralement une charge pour différentes flèches : $0,25 \times h_0$, $0,5 \times h_0$ et $0,75 \times h_0$.



Rondelle BELLEVILLE repère 10

- Diamètre extérieur : $D_s = 28 \text{ mm}$
- Diamètre intérieur : $D_i = 12,2 \text{ mm}$
- Epaisseur : $t = 1,25 \text{ mm}$
- Hauteur total libre : $l_0 = 2,10 \text{ mm}$

Q 11.1 : Retrouver dans la nomenclature du mandrin Tobler intérieur le nombre de rondelles employées dans cet empilage.

Q 11.2 : Suivant la vue principale du dessin d'ensemble, préciser sur quel serrage agit cet empilage de rondelles : « Serrage arrière » ou « Serrage avant »

► Répondre sur le document réponse **DR13** ◀

Q 11.3 : Quelle solution technique est utilisée pour transformer l'effort axial des rondelles en efforts radiaux ?

Rondelle BELLEVILLE repère 11

- Diamètre extérieur : $D_s = 31,5 \text{ mm}$
- Diamètre intérieur : $D_i = 16,3 \text{ mm}$
- Epaisseur : $t = 2 \text{ mm}$
- Hauteur total libre : $l_o = 2,75 \text{ mm}$

Q 11.4 : Retrouver dans la nomenclature du mandrin Tobler intérieur le nombre de rondelles employées dans cet empilage.

Q 11.5 : Suivant la vue principale du dessin d'ensemble, préciser sur quelle partie de la broche agit cet empilage (partie avant ou partie arrière).

Problème 12 : Quantification de l'effort de serrage

(Docs. utiles : DT6.1 – DT6.2 – DR13 – DR14)

► Répondre sur le document réponse DR13 ◀

Empilage « en série » des rondelles BELLEVILLE repère 10

Q 12.1 : Déterminer la longueur totale libre (non chargée) de l'empilage de rondelles

Q 12.2 : Déterminer la flèche de l'empilage de rondelles sachant que pour un diamètre de serrage de la broche $\varnothing 18 \text{ mm}$, la longueur de l'empilage devient $E_0 = 25,12 \text{ mm}$

Q 12.3 : En déduire la flèche d'une seule rondelle.

► Répondre sur le document réponse DR14 ◀

Q 12.4 : Dans cette situation, déterminer la charge appliquée F à partir de la courbe de charge caractéristique de cette rondelle proposée dans le document réponse DR14.

Q 12.5 : Déterminer le couple transmissible C_1 (exprimé en Nm) par cet empilage sur la broche :

$$C_1 = \frac{F}{\text{tg}(\alpha + \varphi)} \times \text{tg}\varphi \times r$$

Avec :

- coefficient d'adhérence acier/acier légèrement lubrifié : $\text{tg}\varphi = 0,077$ et $\varphi = 4,4^\circ$
- Angle des cales pentées (repère 4) : $\alpha = 5^\circ$
- $r = \frac{D}{2} = 9 \text{ mm}$ ou $r = 0,009 \text{ m}$

PARTIE 5 : ETUDE D'UN NOUVEAU PROCESSUS D'USINAGE

Cette partie aborde une solution d'amélioration technico-économique du processus de réalisation de la broche. Pour cela, on justifie dans un premier temps l'intérêt d'un tour bi-broche bi-tourelle puis on propose un processus de fabrication adapté à cette nouvelle machine. Enfin, on détaille une séquence d'usinage et on étudie un mandrin spécial dédié à la deuxième broche.

Problème 13 : Justification l'intérêt d'un tour bi-broche bi-tourelle

(Docs. utiles : **DT5.1 – DT5.2 – DR15**)

► Répondre sur le document réponse DR15 ◀

Q 13.1 : Dans le processus actuel, proposer la ou les manipulations (voir liste ci-dessous) ainsi que l'équipement de soutien auxiliaire qui pourraient être retirés grâce à l'utilisation d'un tour bi-broche bi-tourelle.

Liste des manipulations opérateur et des actions associées aux équipements de soutiens auxiliaires :

Début Ph10: M1 : Chargement des bruts dans le distributeur de la machine spéciale de forage.
Fin Ph10 : M2 : Récupérer et transférer par lot les pièces issues du forage.

Début Ph20a: M3 : Montage et serrage de la pièce dans le mandrin Tobler

Début Ph20b : S1 : Sortie de la contre pointe
Fin Ph 20b : S2 : Retrait de la contre pointe

Début Ph20c : S3: Sortie de la lunette de soutien automatique.
Fin Ph20c : S4: Retrait de la lunette de soutien automatique

Début Ph20d : M4 : Démontez, retourner et remonter la pièce dans le mandrin Tobler

Fin Ph20e : M5 : Démontez et déposer la pièce

Début Ph30 : M6 : Monter la pièce en contre pointes dans la rectifieuse cylindrique
Fin Ph30 : M7 : Démontez et déposer la pièce

Q 13.2 : Donner les avantages qu'offre l'emploi d'un tour bi-broche pour la réalisation d'une telle pièce.

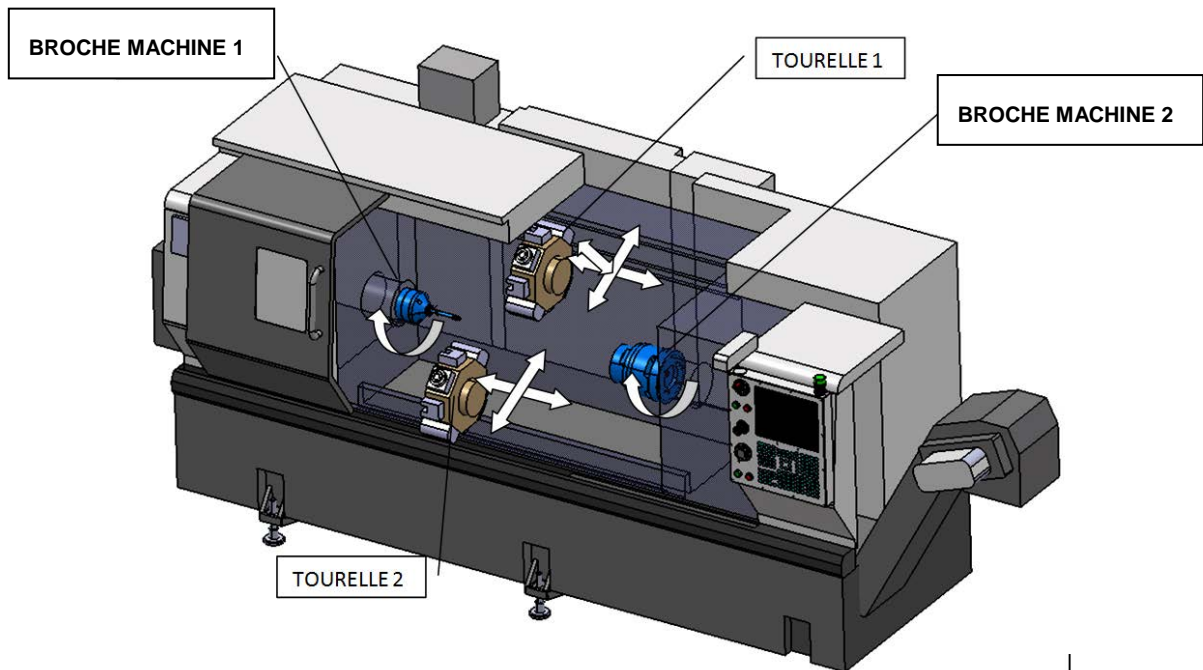
Problème14 : Proposition un processus de fabrication adapté à cette nouvelle machine

(Docs. utiles : **DT5.1 – DT5.2 –DR16**)

► Répondre sur le document réponse DR16 ◀

Tour bi-broche, bi-tourelle, 7 axes commandés :

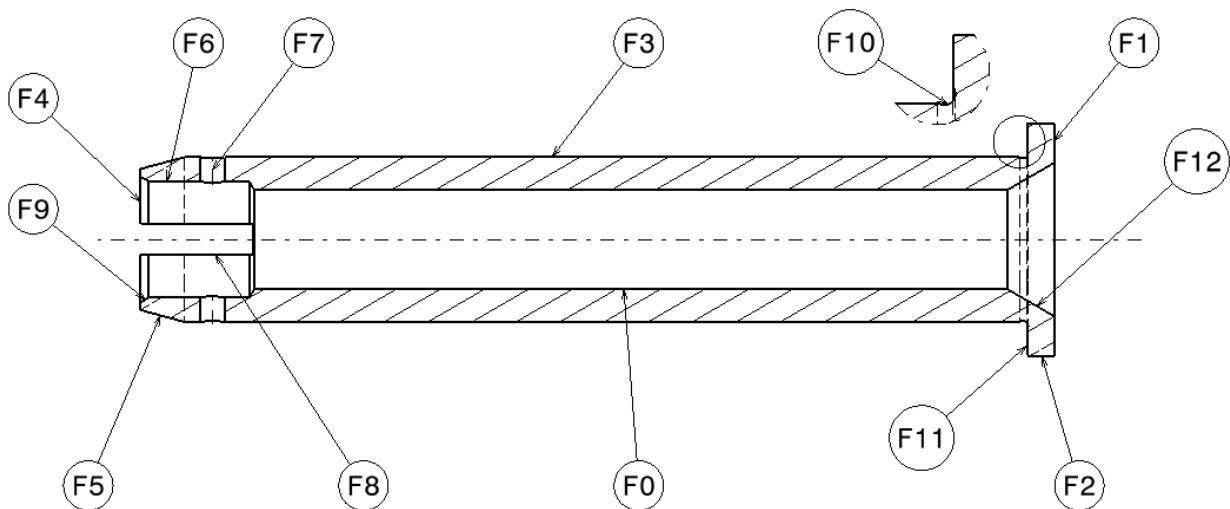
- Tourelle 1 : axe X, Y, Z
- Tourelle 2 : axes U, W
- Broche 1 : Axe C
- Broche 2 : Axe F



Equipements mis en place pour l'usinage de la pièce (broche de pale) :

BROCHE MACHINE 1	BROCHE MACHINE 2	TOURELLE 1	TOURELLE 2
Mandrin Tobler pour serrage intérieur. (Diamètre de serrage : $\varnothing 18\text{mm}$)	Mandrin Tobler pour serrage extérieur (Diamètre de serrage : $\varnothing 43\text{mm}$)	T1 : Outil à charioter dresser T2 : Outil à charioter dresser (finition) T3 : Outil à aléser	T4 : Contre pointe tournante T5 : Outil à charioter dresser T6: Outil à aléser T7 : Foret à pointer T8 : Foret carbure $\varnothing 4.5\text{mm}$ T9 : Fraise deux tailles carbure monobloc $\varnothing 5,5\text{mm}$ (commande spéciale)

Q 14.1 : A partir de ces nouveaux moyens de production (Tour bi-broche et équipements), détailler le processus d'usinage en nommant chaque opération d'usinage et en attribuant les équipements associés à ces opérations. Compléter le tableau **DR16**



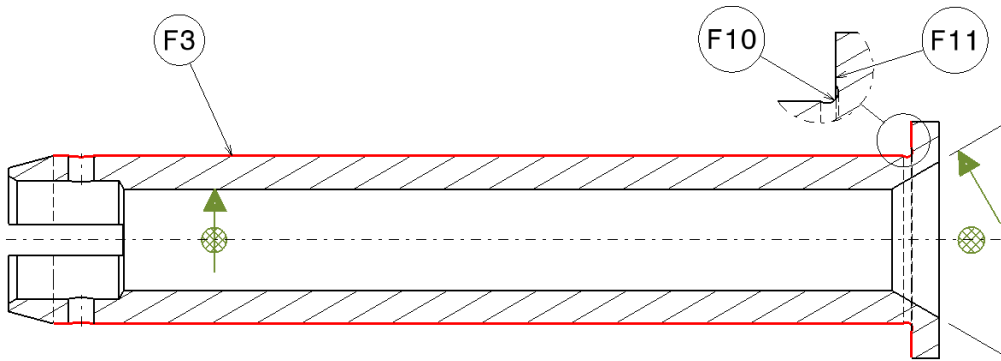
Problème 15 : Choix des outils et détermination des conditions de coupe

(Docs. utiles : DT10 – DT11.1 – DT11.2 – DT11.3 – DR17)

► Répondre sur le document réponse DR17 ◀

Dans cette partie, on propose de faire le choix de l'outil et de déterminer les conditions de coupe pour l'usinage en finition de tournage du cylindre F3, du piquage F10 et de la face F11.

Rappel : Avant rectification cylindrique, le diamètre du cylindre F3 = $\phi 30.2 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.1 \end{smallmatrix} \text{E}$ et d'état de surface : $Ra = 3.2 \mu\text{m}$



Détail de la zone de piquage de l'angle (voir ci-contre) :

Le type de plaquette carbure retenue pour cette opération est une plaquette « rhombique » (en forme de losange) dont l'angle de pointe est de 35° .

On rappelle que la matière de la broche est un acier faiblement allié : **30NiCrMo16** dont la résistance mécanique à la traction $R_m = 1000 \text{ MPa}$

Q 15.1 : A partir du DT11.1 retrouver la nuance de plaquette adaptée à l'usinage de la broche dans cette opération de finition. **Remarque** : La nuance à retenir est la nuance pour laquelle la vitesse de coupe préconisée est **en gras**. (les codes matières numérotés de 1 à 22 sont donnés dans le DT11.2)

Q 15.2 : Représenter le trajet de la pointe de l'outil par des segments de droites : en traits pointillés les déplacements rapides et en traits continus les déplacements travail. La chronologie du parcours sera proposée en numérotant chaque segment de droite.

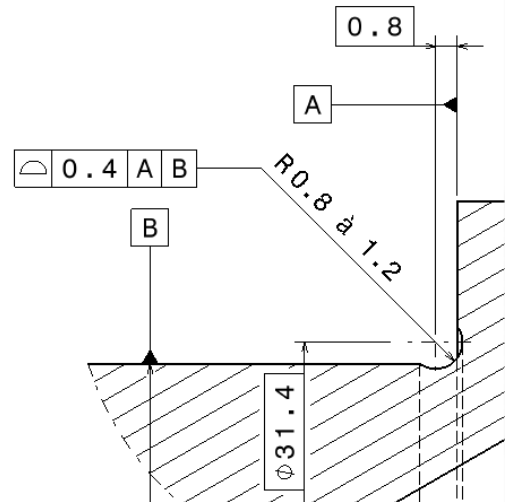
Q 15.3 : Déterminer la vitesse d'avance f exprimée en mm par tour sachant que l'état de surface à obtenir avant rectification est d'un $Ra = 3.2 \mu\text{m}$

En tournage, formule approchée pour la détermination de l'état de surface $Ra = 50 \times \frac{f^2}{r}$

On choisit un rayon de plaquette : $r = 0,8 \text{ mm}$

Unités :

- Ra (rugosité) : μm
- f (avance) : mm/tr
- r (rayon plaquette) : mm



Problème 16 : Proposition d'une solution constructive de la mise en butée de la pièce dans le mandrin Tobler à serrage extérieur.

(Docs. utiles : **DT7.1 – DT7.2 – DR18**)

► Répondre sur le document réponse **DR18** ◀

Le mandrin TOBLER à serrage extérieur est livré pour le serrage d'un cylindre de diamètre 43 mm avec une course de serrage de ± 0.8 mm autour de ce diamètre. La mise en position axiale de la pièce (broche de pale) à serrer dans le mandrin doit se faire par une mise en butée qui est à définir par le client. Dans cette partie, on vous demande de tracer une solution constructive représentant la mise en butée de la pièce dans le mandrin TOBLER.

Q 16.1 : Sur le document réponse DR18 (dans la vue « Détail B » à l'échelle 1), représenter, au crayon et à la règle, la butée et sa fixation dans le mandrin.

