

SESSION 2006

Concours externe de recrutement de professeurs agrégés

section : génie mécanique

Epreuve d'étude d'industrialisation.

durée : 6 heures

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.

En aucune façon, la calculatrice ne pourra posséder de données scientifiques et techniques propres au génie mécanique et à l'automatique.

Tout document et autre matériel électronique sont interdits.

Ce sujet comporte:

- 1 fascicule sujet de 13 pages d'énoncé du problème comprenant 3 parties identifiées : "Partie A", "Partie B" et "Partie C",
- 3 chemises intitulées "Dossier Technique", "Dossier Ressources" et "Dossier Réponses".

Après avoir complété les en-têtes, le candidat remettra en fin d'épreuve ses copies paginées et ses "document-réponses" regroupés dans **trois chemises distinctes**:

PARTIE A : Etude d'industrialisation du carter principal par un procédé primaire

PARTIE B : Analyse et optimisation du processus d'usinage du carter principal

PARTIE C : Définition d'un avant-projet de fabrication du rouet centrifuge

FASCICULE SUJET

Sommaire:

Mise en situation	Page 1
Partie A	Page 2
Partie B	Page 3
Partie C	Page 10

Avertissement :

- Le candidat est invité à formuler toutes les hypothèses nécessaires à la résolution du problème posé.
- Les parties A, B et C utilisent le même produit mais le candidat peut tirer avantage d'une lecture complète du sujet afin de valoriser au mieux ses compétences.

Organisation des documents associés au fascicule sujet :

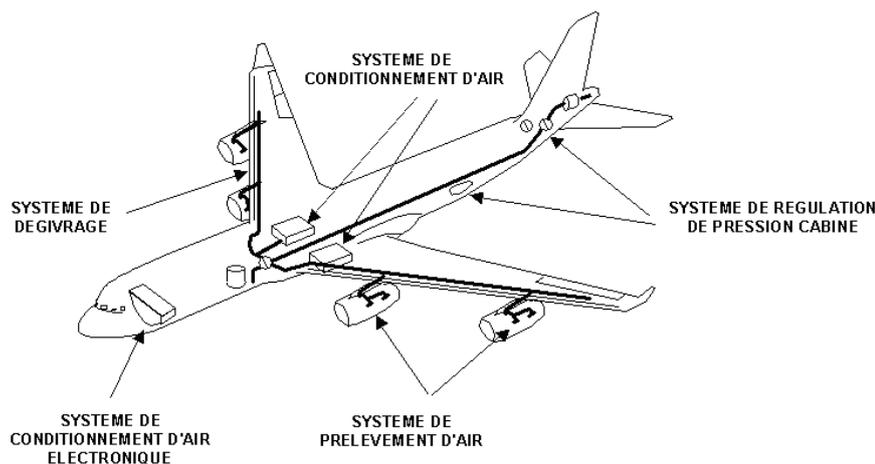
- 1 chemise DOSSIER TECHNIQUE dans laquelle des documents spécifiques au support de l'étude, seront identifiés "DOCUMENT TECHNIQUE DT [n° du document]",
- 1 chemise DOSSIER RESSOURCES dans laquelle des documents extraits de catalogues seront identifiés "DOCUMENT RESSOURCE DRS [n° du document]",
- 1 chemise DOSSIER REPONSES dans laquelle des documents, identifiés "DOCUMENT REPONSE DR [n° du document]", peuvent être utilisés par le candidat pour répondre selon les consignes formulées dans le sujet,
- Les documents anonymables peuvent être utilisés comme « Document Réponse ».

Avertissement

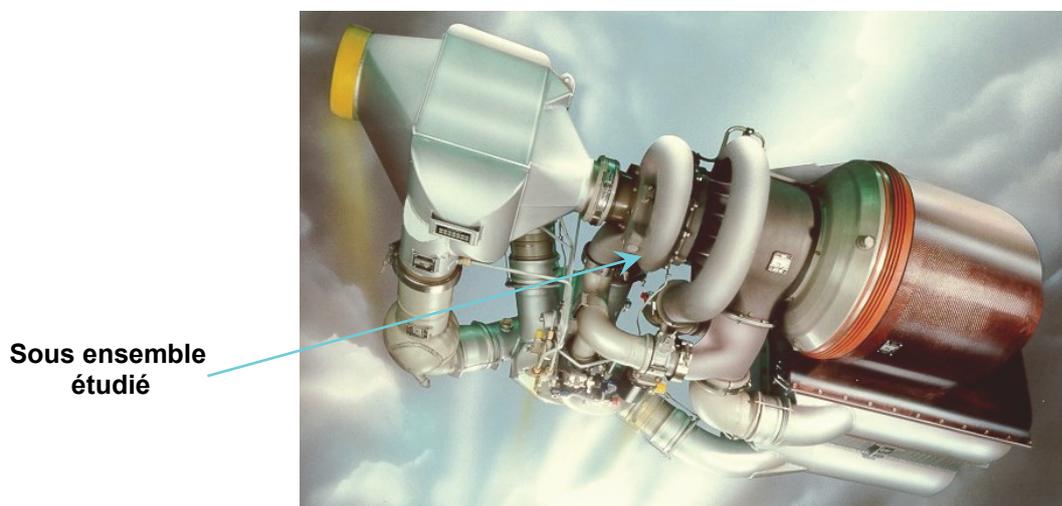
Le candidat est invité à formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires à la résolution des questions posées.

Mise en situation

Un équipementier du secteur de l'aéronautique est spécialisé dans le traitement de l'air. Il réalise les études relatives au développement, la fabrication de prototypes, la mise au point, l'industrialisation, la production, le montage, la commercialisation et le service après-vente de l'ensemble des dispositifs qui assurent le traitement de l'air de climatisation de la cabine de l'avion.

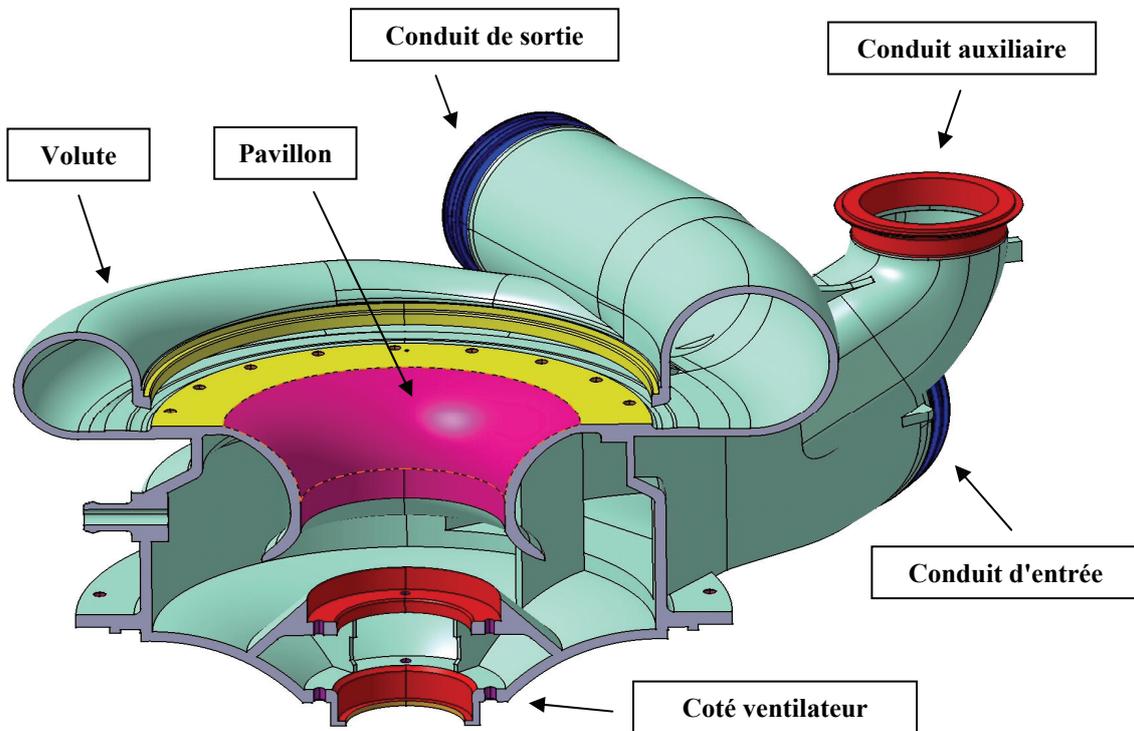


L'étude proposée concerne l'étage compresseur du système de conditionnement d'air.



Pour faire face à la concurrence et absorber l'augmentation de production due à la construction de nouveaux avions, cette entreprise décide d'intégrer davantage les évolutions dues à l'innovation technologique. Elle est amenée à adopter et standardiser les dispositifs d'installation des pièces, à standardiser davantage les outils coupants, à envisager de nouvelles techniques de générations de surfaces.

C'est dans ce contexte de production que l'étude associée au sujet est proposée.



PARTIE A: Etude d'industrialisation du carter principal par un procédé primaire.

Le carter principal du compresseur (document technique **DT1**) est produit en séries renouvelables de 100 pièces par mois.

Les contraintes technico-économiques et les spécifications de la pièce brute (document technique **DT2**) ont conduit le fondeur à opter pour le moulage en sable.

La coulée sera réalisée dans des moules constitués de châssis empilables verticalement et de noyaux. Chaque moule ne comportera qu'une seule empreinte.

Question 1. Travail à réaliser sur les documents réponse DR1, DR2 ou DR3

Sur le document réponse **DR1**, dessiner le moule prêt pour la coulée.

Sur le document réponse **DR1, DR2 ou DR3**, représenter les systèmes de coulée, de remplissage et d'alimentation avec leurs dimensions cohérentes.

Énoncer les critères retenus pour effectuer vos choix.

Établir la chronologie de remoulage (opération qui consiste à refermer le moule).

Préciser les risques inhérents à ce procédé sur ce type de pièce et montrer les défauts prévisibles en les situant sur le carter principal.

Remarques :

- Mentionner "DESSUS" pour la partie supérieure et "DESSOUS" pour la partie inférieure du moule.
- Représenter et justifier le ou les plans de joint.
- Dessiner chaque noyau et leur portée d'une couleur différente, en position dans le moule.
- Utiliser tout ou partie des vues proposées dans les documents réponse **DR1, DR2 ou DR3** que vous jugerez les plus pertinentes pour illustrer vos propositions.

Question 2.

Travail à réaliser sur feuille de copie

Compte tenu de la fonction et du niveau de sécurité associés à cette pièce, des contrôles autres que le contrôle dimensionnel seront envisagés.

Décrire ces contrôles et la nature des défauts mesurés.

PARTIE B: Analyse et optimisation du processus d'usinage du carter principal

Etude d'un outillage à changement rapide.

La première phase d'usinage (phase 20) du carter principal est réalisée sur un centre d'usinage 4 axes à broche horizontale, intégré à une cellule flexible. L'entreprise, en cours de standardisation des systèmes de positionnement des pièces a opté pour le choix de mandrin et palette présentés dans les documents ressources **DRS1**, **DRS2** et **DRS3**.

L'extrait du contrat de la phase 20 (document technique **DT4**) fournit les indications sur l'installation de la pièce et les surfaces usinées.

Question 3.

Travail à réaliser sur le document réponse DR4

La table de la machine est équipée d'une plaque de base MTS 410 × 410 P. La liaison du porte pièce est réalisée à l'aide de 4 mandrins "intégral Chuck M-P MTS" et de 4 tiges (centrage, préhension et compensation).

Définir et représenter par un dessin de principe à main levée le porte pièce :

- Mettre en place les axes normalisés de la machine,
- Coller les silhouettes de la pièce (document réponse **DR5-1** et **DR5-2**) correspondant à l'orientation et la position retenue pour celle-ci,
- Faire apparaître clairement les formes des surfaces de liaison avec la pièce et les surfaces de liaison avec les éléments standards,
- Définir sans ambiguïté les mobilités éventuelles.

Remarque : Sur le document **DR4**, les tiges sont représentées dans la position correspondant au porte pièce soulevé au dessus des mandrins.

Question 4.

Etablir la cotation d'aptitude à l'emploi de ce porte pièce.

Définir les spécifications à mesurer pendant la phase de réglage réalisée hors machine.

Remarque : Utiliser tout ou partie des vues proposées, ajouter éventuellement les vues de détail nécessaires à la bonne interprétation des spécifications.

Etude de l'usinage des conduits d'entrée et de sortie.

Les opérations de finition pour l'usinage de la partie extérieure des conduits sont réalisées avec une tête à aléser "U-Center" (document ressource **DRS4-1** et **DRS4-2**) en phase 40 (document technique **DT3**).

Question 5. **Travail à réaliser sur feuille de copie**

Expliquer le fonctionnement de cette tête à aléser et justifier le choix fait par l'entreprise d'utiliser cette tête.

Modéliser les axes machine dans ce contexte d'usinage.

Question 6. **Travail à réaliser sur le document réponse DR6**

Représenter l'installation de la pièce.

Représenter les axes machine.

Décrire l'ensemble des opérations à réaliser pour l'usinage complet (en ébauche et en finition) du conduit d'entrée en explicitant :

- la désignation de l'opération,
- la surface usinée,
- la désignation de l'outil utilisé,
- les points pilotés des outils,
- les trajectoires parcourues par les points pilotés.

Question 7. **Travail à réaliser sur feuille de copie**

Dans un souci de standardisation des outils coupants, l'entreprise souhaite utiliser des têtes porte plaquette standards (document ressource **DRS5**). Cependant, les accouplements des têtes porte plaquette ne sont pas compatibles avec les barres de la tête "U-Center".

Effectuer le choix de la tête à aléser et de la tête porte plaquette. Enoncer les critères retenus pour ce choix.

Etudier et dessiner une barre d'alésage permettant :

- le montage des têtes porte plaquette,
- l'installation sur le coulisseau de la tête "U-Center",
- la finition des profils des conduits d'entrée et de sortie.

Etablir la cotation de cette barre d'alésage.

Déterminer les paramètres de cet ensemble à mesurer et à implanter dans le directeur de commande numérique.

Définir selon la norme en vigueur et mettre en place les angles caractéristiques de la partie active de la plaquette.

Donner les valeurs de ces angles à prendre en compte pour effectuer le choix de la plaquette.

Question 8.**Travail à réaliser sur feuille de copie**

Les conduits d'entrée et de sortie sont usinés dans la même phase sur un même centre d'usinage horizontal 4 axes. Pour des raisons d'encombrement évidentes, la pièce n'est pas installée sur la machine avec l'axe du pavillon confondu avec l'axe de rotation de la palette.

Pour simplifier l'étude qui suit, on considèrera que :

- dans la position $B=0^\circ$, l'axe de la broche est parallèle au plan de coupe AA du dessin de définition (document technique **DT1**),
- l'origine programme pour usiner le conduit d'entrée se situe à l'extrémité de son axe (l'axe de l'embout du conduit d'entrée),
- l'origine programme pour usiner le conduit de sortie se situe à l'extrémité de son axe (l'axe de l'embout du conduit de sortie).

Exprimer littéralement, en fonction de la position de la pièce et de l'axe de rotation de la palette, les décalages d'origine à effectuer pour usiner les conduits.

Rappel : la position de l'axe de rotation de la palette par rapport à l'origine machine est connue du directeur de commande.

Etude de l'usinage du pavillon

La forme du pavillon est obtenue en CAO par révolution d'une courbe, construite à partir de points numérisés. Nous nous intéressons ici à l'étude de la forme et à la stratégie d'usinage optimale sur une machine 4 axes, positionnés (vitesse de rotation de la broche $N=24000$ tr/min maximum et avance sur les axes $F=20000$ mm/min maximum).

Dans un premier temps, l'objectif est de déterminer, par une analyse géométrique, le type d'interpolation dans le plan X, Y le mieux adapté au copiage du pavillon. Ensuite, l'outil et les conditions de coupe sont déterminés en fonction des hauteurs de crête résultantes et des temps d'usinage, en s'appuyant sur une interpolation choisie dans le plan X, Y et une stratégie d'usinage du pavillon.

Pour simplifier les calculs, l'analyse se limite volontairement à une courbe générant le pavillon, formée par quatre points :

Points équivalents utilisés dans le sujet	P₀	P₁	P₂	P₃
Points réels de construction définis sur DT1	P ₀	P ₄	P ₇	P ₁₁
Valeur X	0	10.23	21.31	39.91
Valeur Y	78.39	59.66	50.13	44.85

Question 9.**Travail à réaliser sur feuille de copie et sur le document réponse DR7**

Définir analytiquement la courbe paramétrique, de degré m et de paramètre u , basée sur un modèle de *Bézier* passant par les points P_0 et P_3 avec les points de contrôle P_1 et P_2 :

$$\vec{OP}(u) = \sum_i \frac{m!}{(m-i)!i!} \times (1-u)^{m-i} \times u^i \times \vec{OP}_i \quad \text{avec } u \in [0,1] \text{ et } i \in \{0,1,\dots,m\}$$

Ensuite, construire cette courbe sur le document réponse **DR7**.

Définir la méthode de calcul du décalage maximum entre la courbe paramétrique et la forme exacte du pavillon générée par une interpolation linéaire entre les 4 points, en posant toutes les expressions sans les résoudre. Ensuite, estimer graphiquement ce décalage maximum et vérifier une application numérique pour $u=0,367$ et $u=0,645$.

Conclure qualitativement (respect de la géométrie, variation de courbure, avantages et inconvénients, etc.) en précisant les difficultés d'utilisation de ce type de modélisation et proposer, sans la traiter, une modélisation par courbes polynomiales par morceaux, mieux adaptée.

Question 10.**Travail à réaliser sur feuille de copie et sur le document réponse DR7**

Définir analytiquement une courbe polynomiale passant exactement par les points P_0 , P_1 , P_2 et P_3 , et la construire sur le document réponse **DR7**. Evaluer qualitativement cette modélisation (respect de la géométrie, variation de courbure, avantages et inconvénients, etc.) par rapport à la courbe de Bézier.

Question 11.**Travail à réaliser sur feuille de copie et sur le document réponse DR7**

Décrire les différentes possibilités de mise en œuvre d'une interpolation circulaire entre les 4 points P_0 , P_1 , P_2 et P_3 , en précisant les différentes contraintes et étapes de calcul sans résoudre les expressions.

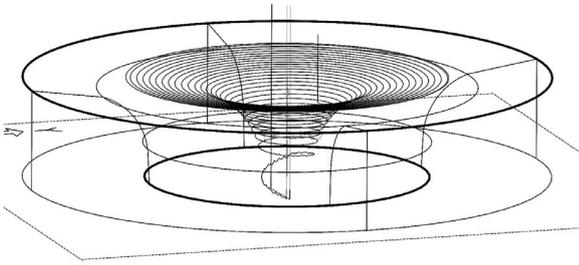
En considérant maintenant un premier arc de cercle passant par P_0 , P_1 et P_2 (de centre $i_1=48,131$ $j_1=92,520$ et de rayon $R_1=50,162$), déterminer un 2^{ème} cercle qui passe par P_2 et P_3 , et soit tangent au premier cercle en P_2 . Construire sur le document réponse **DR7** ces deux cercles.

Evaluer qualitativement cette modélisation (respect de la géométrie, variation de courbure, avantages et inconvénients, etc.) par rapport aux deux précédentes.

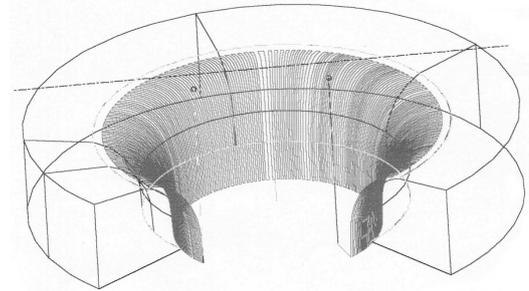
Conclure sur un choix de modélisation pour satisfaire l'usinage du pavillon, au niveau du type d'interpolation défini dans la commande numérique.

Question 12. Travail à réaliser sur feuille de copie

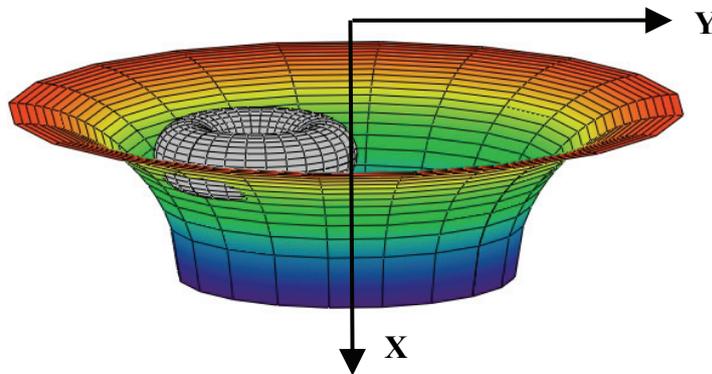
Pour réaliser le copiage du pavillon entre les 4 points P_0 , P_1 , P_2 et P_3 , deux stratégies d'usinage sont maintenant envisageables :



Stratégie hélicoïdale ou circulaire (par décalage progressif en X avec un pas angulaire dans le plan X, Y)



Stratégie axiale (copiage dans un plan X, Y et décalage angulaire dans le plan Y, Z)



Comparer pour les deux stratégies les avantages et les inconvénients en terme de conditions de coupe, d'état de surface généré, de programmation CN, de sollicitation des axes machine et de temps d'usinage global.

Question 13. Travail à réaliser sur feuille de copie

En considérant l'arc de cercle basé sur les points P_0 , P_1 et P_2 à la question 11 (de centre $i_1=48,131$ $j_1=92,520$ et de rayon $R_1=50,162$), établir la relation entre le diamètre de l'outil, le pas angulaire dans le plan X, Y et la hauteur de crête pour un usinage du pavillon par interpolation hélicoïdale. Donner l'expression analytique de cette relation en vous appuyant sur un schéma clair et en précisant les hypothèses retenues.

Choisir un outil et ses conditions de coupe adaptées à la réalisation du pavillon, par rapport aux résultats de la question précédente et à la rugosité imposée (on prendra une hauteur de crête maximum $\approx R_t=8,5 \mu\text{m}$ pour un $R_a=1,6 \mu\text{m}$ et on considérera $A_p=0,5 \text{ mm}$ pour la finition), en utilisant le document ressource **DRS6**. Préciser les compromis utilisés pour le choix de l'outil et établir le temps d'usinage en finition de la surface gauche du pavillon entre les points P_0 et P_2 .

Question 14. Travail à réaliser sur feuille de copie

Toujours dans ce contexte d'usinage, préciser l'intérêt de l'utilisation de la tête "U-Center" (document ressource **DRS4-1** et **DRS4-2**) par rapport à une fraise torique ou hémisphérique. Calculer le nouveau temps de cycle de finition entre P_0 et P_2 avec comme hypothèse l'utilisation de rayon de plaquette et de conditions de coupe identiques à la question précédente (question 13), et conclure.

Question 15. Travail à réaliser sur feuille de copie

En fonction du mode d'usinage (en poussant ou en tirant), définir la méthode de calcul de la variation de vitesse de coupe effective le long de l'arête de coupe entre P_1 et P_2 , en posant toutes les expressions sans les résoudre. Conclure sur le mode d'usinage à privilégier entre P_0 et P_3 .

Calculer la variation de vitesse de coupe effective pendant la génération du pavillon avec une interpolation circulaire (entre P_0 et P_2) en ne considérant que le point de contact sur la normale à la surface du pavillon et conclure sur le pilotage de la vitesse de broche avec la tête "U-Center" ou avec la fraise hémisphérique.

Analyse du processus d'usinage du carter principal

La définition partielle du processus de fabrication du carter principal est donnée sur le document technique **DT3** et sur l'extrait du contrat de la phase 20 (document technique **DT4**).

On souhaite vérifier que le processus permet de respecter les conditions du bureau d'étude qui spécifient :

- la situation des surfaces brutes (cote de liaison au brut 6,3 mm),
- la situation du groupe de surfaces coté volute (cotes 103,2 mm, spécification de localisation par rapport à A),
- la situation du groupe de surfaces coté ventilateur (spécification de coaxialité de Y avec A et I-J-K).

Question 16. Travail à réaliser sur le document réponse DR8 et sur feuille de copie

Analyse suivant la normale à la surface A :

Déterminer et calculer, par la méthode de votre choix, les cotes fabriquées (cotes d'usinage et cotes de fonderie) qui sont nécessaires au respect de la cote 6,3 mm, de la cote 103,2 mm et de la spécification de localisation avec A.

Calculer les cotes de fonderie nécessaires au respect de la surépaisseur de fonderie.

Données : les moyens de production permettent de prendre les valeurs suivantes :

- IT de fonderie sur les épaisseurs : $\pm 0,3$ mm,
- surépaisseur mini de fonderie: 2,5 mm,
- dispersion d'installation sur une surface plane usinée: 0,02 mm,
- dispersion d'installation sur une surface brute de fonderie: 0,4 mm.

Question 17. Travail à réaliser sur le document réponse DR9 et sur feuille de copie

Analyse suivant une direction perpendiculaire à la normale à la surface A :

Déterminer, par la méthode de votre choix, les conditions à remplir pour assurer le respect de la coaxialité de Y avec A et I-J-K.

Déterminer sans les calculer, par la méthode de votre choix, les cotes de fonderie nécessaires au respect de la surépaisseur de fonderie sur le pavillon et sur l'alésage ϕ 220 mm.

Justifier le choix du processus retenu sur le document technique **DT3**.

Etude d'un mode opératoire de mesure et de contrôle

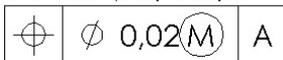
Cette étude se situe dans une démarche de mesure et de contrôle réception de produit fini. L'étude est relative aux spécifications des 19 trous ϕ 5,4 mm et à l'alésage ϕ 220 mm qui assurent la liaison du carter principal avec l'étage avoisinant de la turbo machine.

Le contrôle est réalisé sur une machine à mesurer tridimensionnelle à commande numérique.

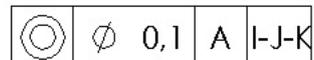
Question 18. Travail à réaliser sur feuille de copie

Faire l'interprétation et l'analyse des spécifications suivantes :

3 trous ϕ 5,4 \pm 0,01



16 trous ϕ 5,4 \pm 0,1



L'analyse mettra en évidence, pour chacune des spécifications, les éléments tolérancés, les éléments de références, les références spécifiées et la zone de tolérance.

Pour chacun de ces éléments, préciser éventuellement la nature, la forme, la ou les dimensions, la situation et les critères d'association.

Utiliser éventuellement pour les croquis, les silhouettes fournies dans les documents réponse **DR10-1** et **DR10-2**.

Question 19. Travail à réaliser sur feuille de copie

Proposer une installation de la pièce sur la machine à mesurer (mise en position et maintien) afin de permettre la mesure répétitive de toutes les pièces.

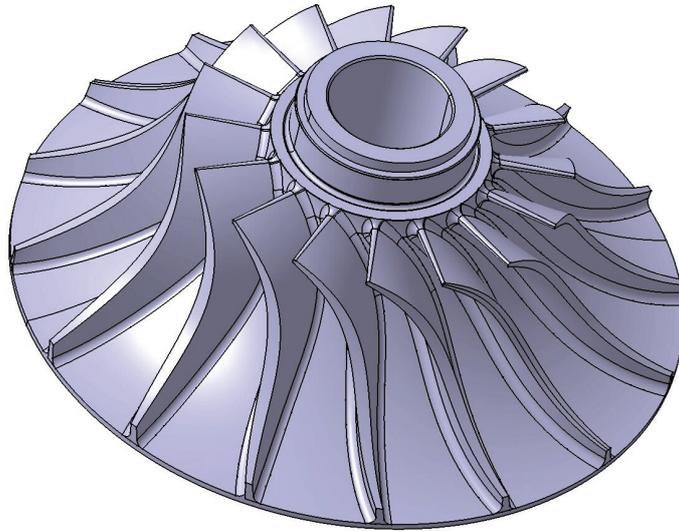
Rédiger un mode opératoire de contrôle de ces spécifications.

Remarques :

Le mode opératoire définira les éléments palpés, les éléments construits et leur mode de construction, les repères éventuels (dégauçissages) et leur mode de construction et les critères d'acceptabilité :

- Prendre soin de repérer et de représenter les éléments définis précédemment.
- Proposer une structure rigoureuse et claire de la chronologie des opérations.
- Si nécessaire, indiquer des commentaires en liaison avec l'analyse des spécifications et la pièce.

PARTIE C: Définition d'un avant-projet de fabrication du rouet centrifuge



Etude de la gamme d'usinage du rouet centrifuge

Le rouet centrifuge du compresseur (document technique **DT5**) est produit en séries renouvelables de 100 pièces par mois.

La pièce brute (document technique **DT6**) est obtenue par matriçage.

Question 20. Travail à réaliser sur feuille de copie

Etablir une nomenclature des phases du processus de fabrication complet du rouet centrifuge (document technique **DT5**).

Le parc machine outil de l'entreprise est composé de:

- tours CN monobroche 2 axes, 3 axes (axe C) et 4 axes (axe C et axe Y),
- tours CN bibroches,
- tours de précision 2 axes "Hembrug" (document ressource **DRS7**),
- centre d'usinage vertical 3 axes, horizontal 4axes,
- centre d'usinage 5 axes positionnés et continus,
- machine de grenailage,
- installation de traitement thermique.

Les capacités dimensionnelles de ces installations sont compatibles avec les dimensions du rouet centrifuge à usiner.

Pour chacune des phases d'usinage, expliciter :

- sa désignation,
- la machine utilisée,
- les surfaces usinées et leur état d'usinage (ébauche, demi finition et finition),
- l'installation de la pièce (1^{ère} partie de la norme).

Utiliser éventuellement pour les croquis, les silhouettes fournies dans le document réponse **DR11**.

Etude du traitement thermique et du traitement de surface du rouet centrifuge

Le cahier des charges du rouet centrifuge stipule un niveau de sécurité important et des conditions d'utilisation sévères (température d'utilisation : 450°C, vitesse de rotation : 48000 tr/min, etc.).

De ce fait, les caractéristiques recherchées au niveau des pales sont les suivantes :

- $R_p=970$ MPa (limite élastique) après trempe et vieillissement
- Ductilité $A\%=17$
- Tenue en fatigue
- Tenue en fluage

Question 21. Travail à réaliser sur feuille de copie

Après forgeage, l'usinage est réalisé. En tenant compte des tolérances serrées exigées aux niveaux des alésages et des pales, proposer un type de traitement thermique adapté en le situant dans la gamme d'usinage.

Quelles sont les améliorations apportées par le traitement mécanique de surface (grenailage ou shot peening) ? Préciser les caractéristiques mécaniques améliorées en justifiant votre réponse.

Proposer ensuite les zones du rouet centrifuge à traiter et les zones à protéger. Le candidat peut utiliser le document ressource **DRS8**.

La température d'utilisation de la pièce doit-elle être prise en compte pour l'efficacité du traitement de surface ?

Préciser la position du grenailage dans la gamme de fabrication du rouet centrifuge et justifier les interactions avec les opérations d'usinage au niveau des contraintes résiduelles.

Détailler la procédure de grenailage en précisant les paramètres influents, la préparation de la pièce avant grenailage et les risques inhérents à ce procédé.

Etude du taillage des pales

Nous nous intéressons maintenant à la stratégie d'usinage optimale des pales du rouet centrifuge (document technique **DT5**) sur une machine 5 axes continus.

Remarque : Dans cette approche, on considérera que la rigidité de l'outil est bien plus faible que celle de la pale.

Question 22. Travail à réaliser sur feuille de copie

Pour respecter la spécification géométrique sur la forme des pales et les états de surface (fond et côté) tout en limitant le temps global de fabrication, définir une stratégie d'usinage optimale en finition (opérations, outils et parcours d'outil).

Les surfaces intrados et extrados des pales sont des surfaces réglées. Expliciter le problème d'interférence au niveau de la vrille et présenter un principe de correction adapté en général par les logiciels FAO pour l'usinage en roulant. Utiliser des schémas simples et clairs.

Question 23. Travail à réaliser sur feuille de copie

Les conditions d'utilisation sévères du système (48000 tr/min) et le niveau de sécurité important (aéronautique) imposent une qualité de fabrication et des stratégies d'usinage qui tiennent compte du risque de rupture en fonctionnement. Il est donc primordial d'éviter les risques d'amorce de rupture (défaut d'état de surface, ressaut, crique, etc.).

Déterminer un outil conique permettant l'usinage en finition des pales en utilisant le document ressource **DRS9**. Justifier votre choix ainsi que la nécessité du bout hémisphérique de l'outil. Préciser le positionnement outil sur la surface usinée (radial et axial) en tenant compte des consignes précédentes.

Calculer les efforts de coupe maximum lors de cette finition, en considérant une profondeur de passe radiale $A_e=0,2$ mm et en vous appuyant sur le document ressource **DRS10**. Préciser pourquoi les efforts de coupe sont variables le long de l'arête de coupe de l'outil.

En utilisant le résultat précédent et le document ressource **DRS10**, montrer sans les résoudre, les différentes étapes de calcul permettant l'obtention de la flexion de l'outil, vers une définition du défaut maximum de déflexion. Préciser les hypothèses retenues.

Question 24. Travail à réaliser sur feuille de copie

En utilisant un modèle RDM simplifié (outil équivalent : fraise cylindrique de rayon 2,5 mm), un porte à faux de l'outil de 90 mm et une charge uniformément répartie de 200 N, calculer la flexion maximum de l'outil lors de la coupe et justifier notamment l'emploi d'un outil en carbure (module d'Young de 550 GPa). Préciser également les hypothèses retenues.

Pour l'outil conique, préciser géométriquement par des schémas clairs, les relations entre la flexion de l'outil et la qualité de l'usinage, au niveau du respect de la tolérance géométrique et de la rugosité en fond de pale.

Proposer deux approches pour limiter la flexion de l'outil ou prendre en compte son comportement dans ce contexte d'usinage.

Question 25. Travail à réaliser sur feuille de copie

Lors de la phase d'industrialisation, un essai montre que l'outil vibre pendant l'usinage des pales, au niveau de la partie supérieure du rouet centrifuge (hauteur maximum des pales). Ce phénomène de vibration régénérative (ou broutement régénératif) peut s'exprimer sous la forme d'un tracé des lobes de stabilité (document ressource **DRS11**). Expliciter les hypothèses et les différentes étapes, sans les détailler, qui permettent d'arriver à ce tracé.

Grâce à ce tracé des lobes de stabilité, proposer une optimisation des conditions de coupe pour limiter les vibrations, en tenant compte d'une vitesse de coupe maximum de 100 m/min pour l'outil conique dans un matériau de type TA6V (Ti Al 6 V).

Etude de la métrologie et de l'équilibrage du rouet centrifuge

Question 26. Travail à réaliser sur feuille de copie

Proposer une gamme de mesure permettant le contrôle de la spécification géométrique (tolérance de forme) et de la tolérance dimensionnelle (épaisseur) d'une pale du rouet centrifuge.

Préciser les problèmes relatifs à la mesure de toutes les pales et proposer une méthode qui minimise dans ce cas les erreurs de mesure.

Question 27. Travail à réaliser sur feuille de copie

En utilisant le document ressource **DRS12**, définir la procédure d'équilibrage avec un degré de qualité G6.3 à 48000 tr/min (masse du rouet centrifuge : 1,375 Kg) et préciser le balourd résiduel admissible. Proposer une technique d'équilibrage par enlèvement de matière sur les zones prévues du dessin de définition du rouet centrifuge (document technique **DT5**).