

Examen : Diagnostic vibratoire

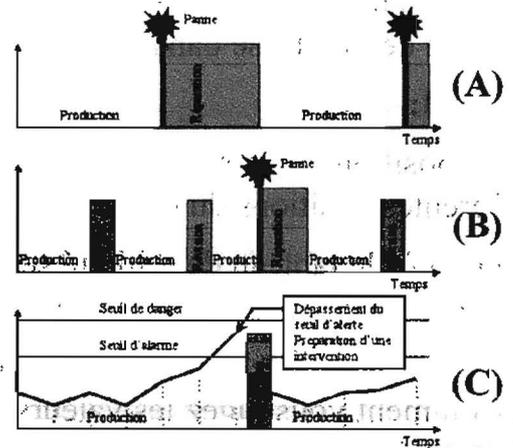
Exercice 01 :

- Répondre aux questions suivantes :

1) Indiquer le type de maintenance pour chaque figure (A; B; C) :

2. Quel est les principales caractéristiques d'une vibration?

3. Quel est le rôle d'un capteur de vibration ?



Exercice 02 :

Le palier de guidage dans la **figure 1** est testé par le bureau de contrôle en vue de détecter les défauts de fabrication. Il est placé sur un banc d'essai de vibration, quatre capteurs sont placés sur le palier pour enregistrer les signaux.

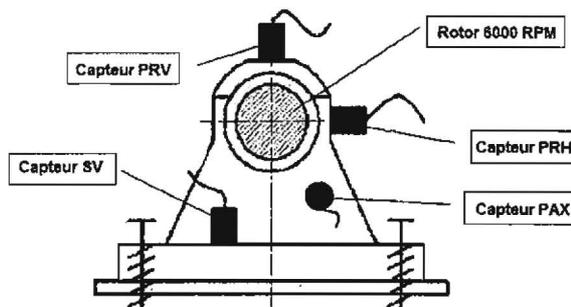
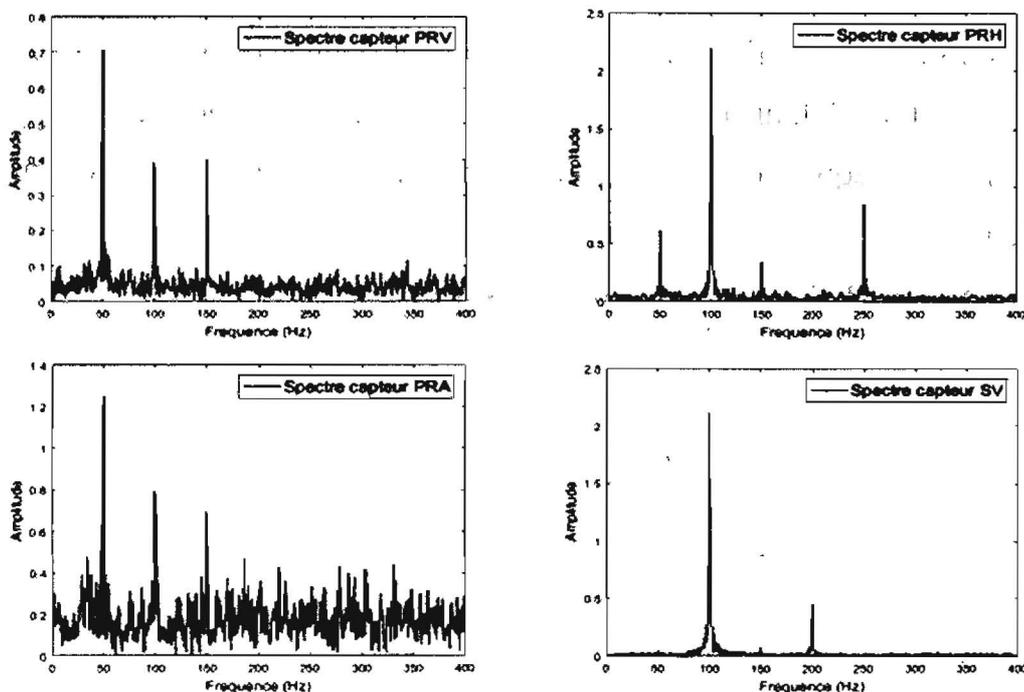


Figure 1. Palier de guidage

1. Quelles sont les défauts probables dans ce système ?

2. Analyser et déterminer le type des défauts pour les signatures spectrales des défauts enregistrés par chacune des capteurs.



Exercice 03

Un ventilateur d'extraction est entraîné par courroie à l'aide d'un moteur dont la puissance est $P=37\text{kW}$ et la vitesse de rotation $N=1420\text{ RPM}$ (Figure 1). Les diamètres des poulies sont choisies de telle sorte que la vitesse du ventilateur $N_v=820\text{ RPM}$.

Ce ventilateur est inspecté par analyse vibratoire, la mesure en niveau global de la valeur efficace de la vitesse dans la bande de fréquence $[0\text{Hz}-500\text{Hz}]$ est donnée dans la figure 2.

Partie I:

1. La position du capteur est pertinente pour diagnostiquer une machine tournante. Citez les différentes positions du capteur ?
2. D'après le tableau de criticité selon la norme ISO/DIS 10816-3, déterminer les seuils d'alarme et de danger, sachant que l'ensemble ventilateur et moteur sont considérés comme élastique.
3. Comment vous jugez les valeurs des vibrations efficaces, côté moteur et côté ventilateur (Figure 1).
4. Quelles sont les causes possibles de cette vibration ?

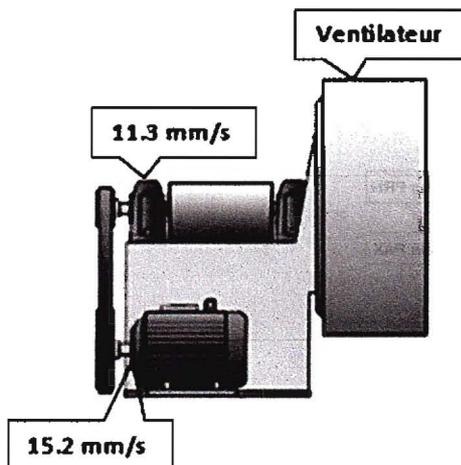
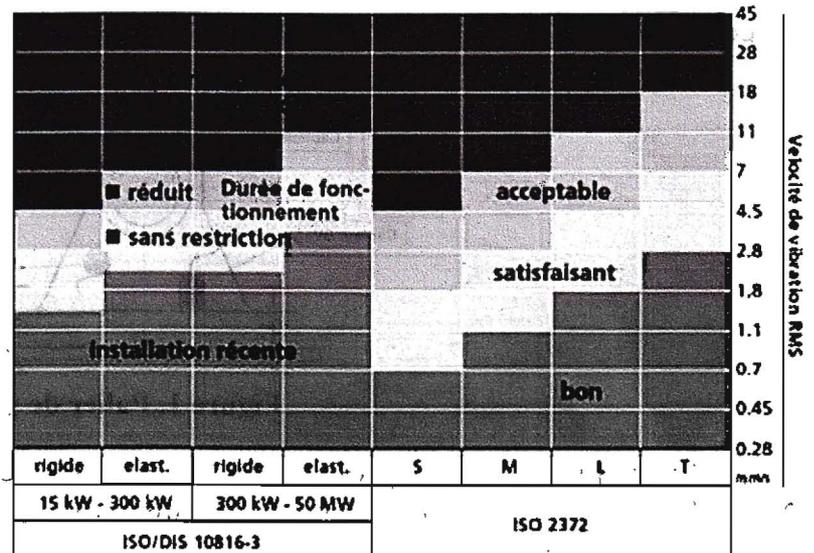


Figure 1. Ventilateur d'extraction

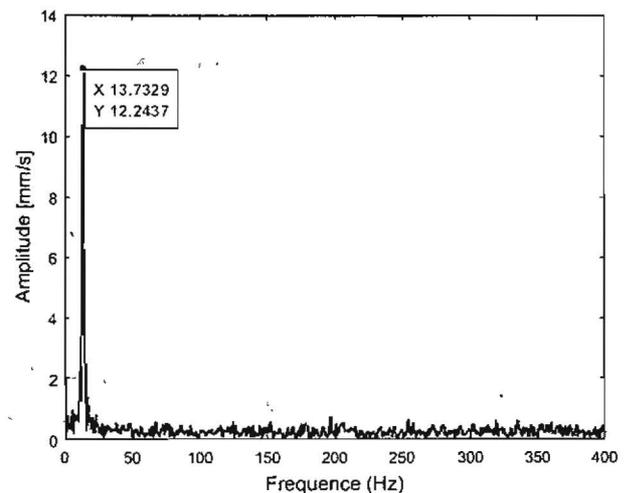


Partie II:

L'analyse spectrale des vibrations, côté ventilateur est donnée dans la figure 2.

- 1) Citer brièvement les défauts qui peuvent engendrer des vibrations dans ce système.
- 2) Quelles sont les : fréquences, pulsation et la période associés à la rotation du ventilateur ?
- 3) A quoi ça sert le spectre de référence ?
- 4) À quoi correspond la fréquence du pic du spectre (Figure 2), Expliquez le phénomène ?

Figure 2. Spectre côté ventilateur



20/20
(Pts)

Corrigé d'examen : Diagnostic vibratoire

Exercice 01 : (4.5 Pts)

- Répondre aux questions suivantes :

1) Indiquer le type de maintenance pour chaque figure (A; B; C) :

0.5 pts

- Maintenance corrective.

1.5 pts

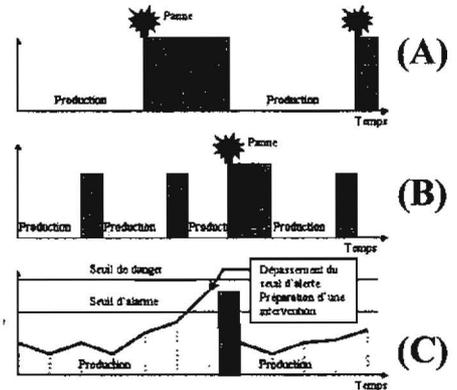
0.5 pts

- Maintenance préventive systématique.

0.5 pts

- Maintenance préventive conditionnelle

Prédictive_ Prévisionnelle



2. Quel est les principales caractéristiques d'une vibration?

02 pts

- Fréquence de rotation: F_0 ou F_r

0.5 pts

- Amplitude

0.5 pts

- Amplitude de crête (Maximale) A_c ;
- Amplitude crête à crête (Double) A_{c-c} ;
- Amplitude efficace (Niveau efficace, RMS: Root Mean Square) A_{eff} ou A_{rms} .

- La phase

0.5 pts

- La période

0.5 pts

3. Quel est le rôle d'un capteur de vibration ?

01 pts

- Les capteurs de vibration détectent les vibrations d'une machine et transforment le signal en un signal normalisé. Les signaux normalisés produits peuvent être envoyés à un affichage numérique, ce qui donne à l'utilisateur une vue constante de l'état momentané des machines.

Exercice 02 : (5.5 Pts)

Le palier de guidage dans la **figure 1** est testé par le bureau de contrôle en vue de détecter les défauts de fabrication. Il est placé sur un banc d'essai de vibration, quatre capteurs sont placés sur le palier pour enregistrer les signaux.

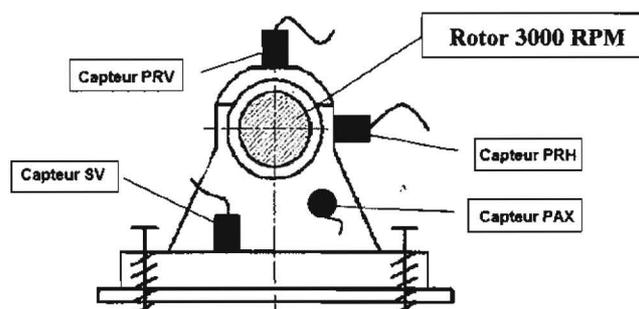


Figure 1. Palier de guidage

1. Quelles sont les défauts probables dans ce système ?

01.5 pts

• Balourd : (Balourd statique, Balourd de couple et Balourd dynamique)

0.25 pts

• Désalignement (parallèle, Angulaire et mixte)

0.25 pts

• Roulements (bague interne, bague externe, élément roulant et la cage)

0.25 pts

• Paliers lisses hydrodynamiques, défaut de fixation, jeu, usure...

0.25 pts

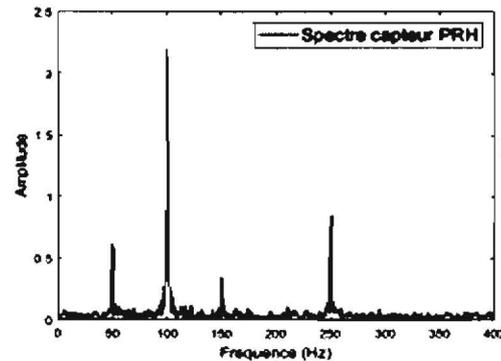
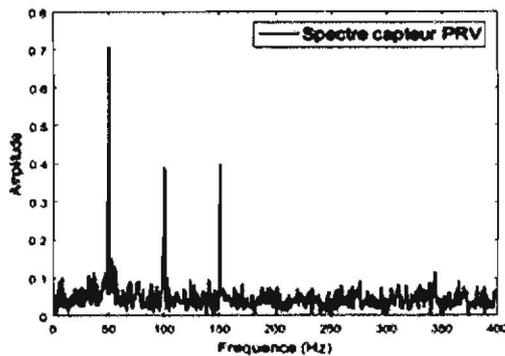
• Les phénomènes particuliers aux turbomachines

0.25 pts

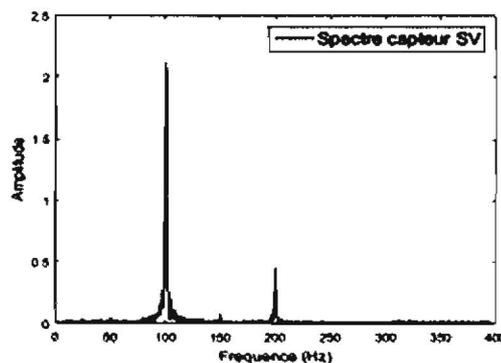
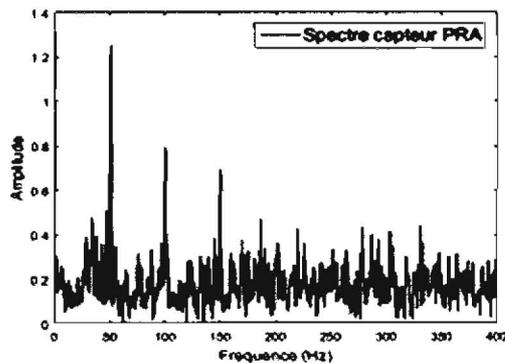
• Chocs périodique

0.25 pts

2. Analyser et déterminer le type des défauts pour les signatures spectrales des défauts enregistrés par chacune des capteurs.



04 pts



D'après la figure 1, on peut voir que l'arbre tourne à une vitesse de 6 000 tr/min. Par conséquent, nous pouvons dire que la fréquence fondamentale est égale à : $f = N/60 = 100\text{Hz}$.

• **Spectre capteur PRV :**

01 pts • Ce spectre présente un **défaut d'huile (fuite d'huile)**, ce défaut est caractérisé par une fréquence de l'ordre **50Hz (0.50xFr)**.

• **Spectre capteur PRH :**

01 pts • Ce spectre présente un **défaut de balourd**, ce défaut est caractérisé par une fréquence de l'ordre **100Hz (1xFr)**.

• **Spectre capteur PRA :**

01 pts • Ce spectre présente un **défaut d'huile (fuite d'huile)**, ce défaut est caractérisé par une fréquence de l'ordre **50Hz (0.50xFr)**.

• **Spectre capteur SV:**

01 pts • Ce spectre présente un **défaut de balourd**, ce défaut est caractérisé par une fréquence de l'ordre **100Hz (1xFr)**.

Exercice 03: (10 Pts)

Un ventilateur d'extraction est entraîné par courroie à l'aide d'un moteur dont la puissance est $P=37kW$ et la vitesse de rotation $N=1420$ RPM (Figure 1). Les diamètres des poulies sont choisies de telle sorte que la vitesse du ventilateur $N_v=820$ RPM.

Ce ventilateur est inspecté par analyse vibratoire, la mesure en niveau global de la valeur efficace de la vitesse dans la bande de fréquence [0Hz-500Hz] est donnée dans la figure 2.

Partie I: (4 Pts)

1. La position du capteur est pertinente pour diagnostiquer une machine tournante. Citez les différentes positions du capteur ?

Les positions du capteur sont :

01 pts

- 1. Radiale Horizontale 0.25 pts
- 2. Radiale Verticale 0.25 pts
- 3. Radiale Oblique 0.25 pts
- 4. Axiale 0.25 pts

2. D'après le tableau de criticité selon la norme ISO/DIS 10816-3, déterminer les seuils d'alarme et de danger, sachant que l'ensemble ventilateur et moteur sont considérés comme élastique.

01 pts

- la seuil d'alarme est : 4.5 mm/s 0.5 pts
- la seuil de danger est : 7 mm/s 0.5 pts

3. Comment vous jugez les valeurs des vibrations efficaces, côté moteur et côté ventilateur (Figure 1).

01 pts

- En comparant les valeurs des vibrations au niveau du moteur 15.2 mm/s et au niveau du ventilateur 11.3 mm/s avec la norme ISO/DIS 10816-3, nous constatons que les valeurs ont dépassé le seuil de danger (7 mm/s). Donc il y a un dysfonctionnement.

4. Quelles sont les causes possibles de cette vibration ?

01 pts

0.25 pts

- Désalignement (parallèle, Angulaire et mixte)

0.25 pts

- Courroie
- Jeu de palier
- Défaut de fixation

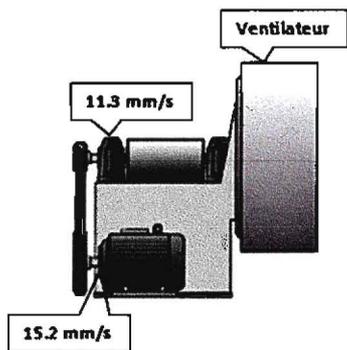


Figure 1. Ventilateur d'extraction

								45
								28
								18
								11
								7
								4.5
								2.8
								1.8
								1.1
								0.7
								0.45
								0.28
								mm/s
rigide	elast.	rigide	elast.	S	M	L	T	
15 kW - 300 kW		300 kW - 50 MW						
ISO/DIS 10816-3				ISO 2372				

Partie II: (6 Pts)

L'analyse spectrale des vibrations, coté ventilateur est donnée dans la figure 2.

1) Citer brièvement les défauts qui peuvent engendrer des vibrations dans ce système.

- Balourd : (Balourd statique, Balourd de couple et Balourd dynamique)
- Désalignement (parallèle, Angulaire et mixte)
- Roulements (bague interne, bague externe, élément roulent et la cage)
- Courroie
- Chocs périodiques
- Phénomènes magnétiques (électrique)
- Paliers lisses hydrodynamiques, défaut de fixation, jeu, usure...
- Les phénomènes particuliers aux turbomachines

1.5 pts

2) Quelles sont les: fréquences, pulsation et la période associés à la rotation du ventilateur ?

- Fréquence de rotation $F_0 = F_r = N/60$; $F_0 = 820/60 = 13.6666\text{Hz}$
- Pulsation $\omega = 2.\pi.F_0$; $\omega = 2 . 3,14 . 13.6666 = 85,87 \text{ rad/s}$
- Période : $T=1/F_0$; $T=1/13.6666 = 0.0731\text{s}$

0.5 pts

1.5 pts

0.5 pts

0.5 pts

3) A quoi ça sert le spectre de référence ?

On peut établir un spectre de référence lorsque la machine est neuve ou après une nouvelle opération de maintenance

1 Pts

4) À quoi correspond la fréquence du pic du spectre (**Figure 2**) Expliquez le phénomène?

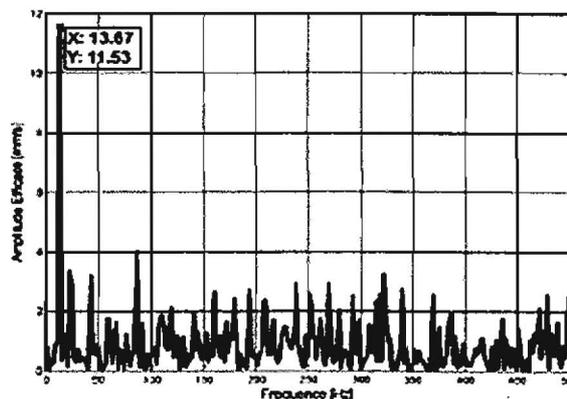


Figure 2. Spectre coté ventilateur

2 Pts

1 pts

- Ce spectre présente un défaut de balourd, ce défaut est caractérisé par une fréquence de l'ordre 50Hz et qui est répété en harmonique 100 Hz, 200Hz, ($F=, 1xFr, 2xFr$

1 pts

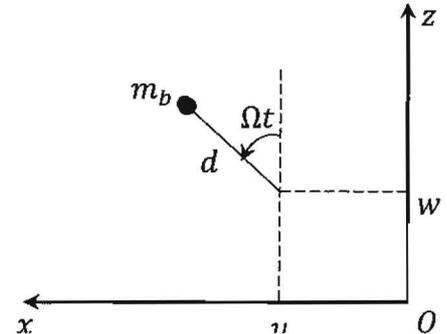
Le phénomène de balourd mécanique est lié à une répartition non homogène de la masse autour de l'axe de rotation : L'axe d'inertie de l'arbre n'est pas confondu avec l'axe de rotation. Différents types de balourd peuvent être identifiés : Balourd statique, Balourd de couple et Balourd dynamique

CONTROLE

Exercice n°1 :

Le balourd sur le disque du rotor est dû à une masse m_b située à la distance d du centre géométrique de l'arbre.

Calculer son énergie cinétique.



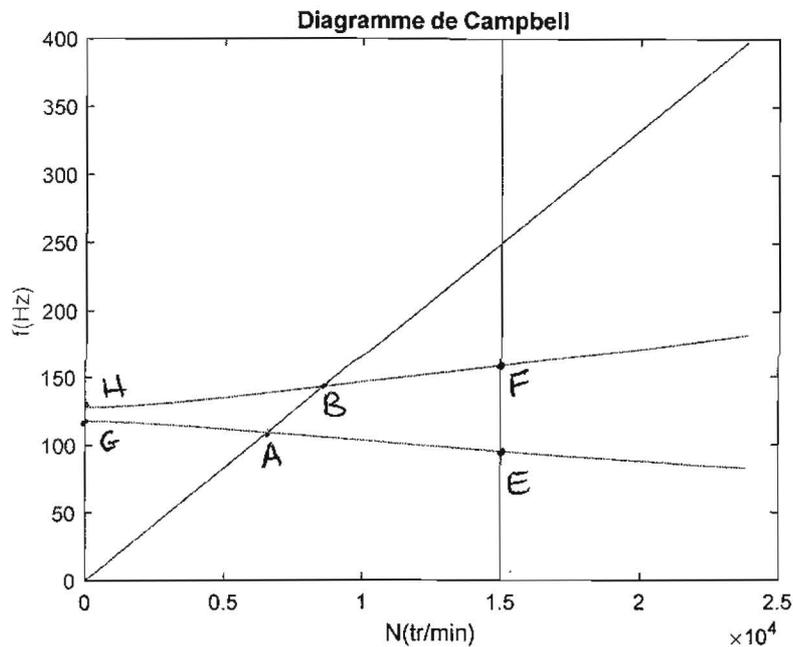
Exercice n°2

Les équations de mouvement de flexion d'un rotor s'écrivent :

$$20 \ddot{q}_1 - 5\Omega \dot{q}_2 + 1.1 \times 10^7 q_1 = 3 \times 10^{-5} \Omega^2 \sin \Omega t$$

$$20 \ddot{q}_2 + 5\Omega \dot{q}_1 + 1.3 \times 10^7 q_2 = 3 \times 10^{-5} \Omega^2 \cos \Omega t$$

- 1- Calculer les pulsations propres en fonction de la vitesse de rotation du rotor.
- 2- Le diagramme de Campbell est présenté sur la figure ci-dessous. Que représente chacun des points représentés sur ce diagramme ?



- 3- Déterminer la composante permanente de la réponse du système.
- 4- Calculer ses vitesses critiques.
- 5- Déterminer l'orbite du milieu de l'axe de l'arbre du rotor et y étudier le sens de sa précession en fonction de la vitesse de rotation du rotor.

CORRIGE-TYPE DU CONTROLE DE D.M.T

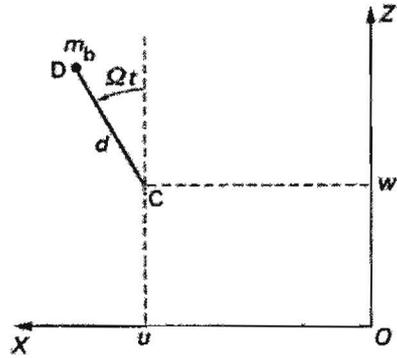
Exercice n°1 :

Le vecteur position du point D est :

$$\textcircled{1} \quad \vec{OD} = \begin{cases} u + d \sin \Omega t \\ cste \\ w + d \cos \Omega t \end{cases}$$

d'où la vitesse :

$$\textcircled{1} \quad \vec{V} = \frac{d\vec{OD}}{dt} = \begin{cases} \dot{u} + d\Omega \cos \Omega t \\ 0 \\ \dot{w} - d\Omega \sin \Omega t \end{cases}$$



et l'énergie cinétique :

$$\textcircled{0,15} \quad T_b = \frac{1}{2} m_b \vec{V}^2 = \frac{1}{2} m_b (\dot{u}^2 + \dot{w}^2 + \Omega^2 d^2 + 2\Omega \dot{u} d \cos \Omega t - 2\Omega \dot{w} d \sin \Omega t) \quad \textcircled{1}$$

Exercice n°2

1- Calcul des pulsations propres en fonction de la vitesse de rotation du rotor.

Les équations en mouvement libre s'écrivent :

$$20 \ddot{q}_1 - 5\Omega \dot{q}_2 + 1.1 \times 10^7 q_1 = 0$$

$$20 \ddot{q}_2 + 5\Omega \dot{q}_1 + 1.3 \times 10^7 q_2 = 0$$

dont les solutions sont de la forme :

$$q_1 = Q_1 e^{rt}$$

$$q_2 = Q_2 e^{rt}$$

Ce qui mène au système :

$$\begin{bmatrix} 1.1 \times 10^7 + 20r^2 & -5\Omega r \\ 5\Omega r & 1.3 \times 10^7 + 20r^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Les solutions non triviales sont celles qui correspondent à l'annulation du déterminant de la matrice :

$$(1.1 \times 10^7 + 20r^2)(1.3 \times 10^7 + 20r^2) + (5\Omega r)^2 = 0$$

$$400 r^4 + (48 \times 10^7 + 25\Omega^2)r^2 + 1.43 \times 10^{14} = 0$$

Cette équation du deuxième degré en r^2 admet deux solutions :

$$r^2 = i^2 \omega^2$$

$$= \frac{-(48 \times 10^7 + 25\Omega^2) \pm \sqrt{(48 \times 10^7 + 25\Omega^2)^2 - 4 \times 400 \times 1.43 \times 10^{14}}}{800}$$

Ce qui donne deux pulsations propres qui dépendent de la vitesse de rotation Ω du rotor

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{48 \times 10^7 + 25\Omega^2 - \sqrt{(48 \times 10^7 + 25\Omega^2)^2 - 2.24 \times 10^{17}}}{800}}$$

0,75

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{48 \times 10^7 + 25\Omega^2 + \sqrt{(48 \times 10^7 + 25\Omega^2)^2 - 2.24 \times 10^{17}}}{800}}$$

0,75

2- Représentation des points :

A et B : vitesses critiques.

F et G : les fréquences propres à vitesse de rotation nulle.

E et F : les fréquences propres à la vitesse de rotation de 15000 tr/min.

3- Composante permanente de la réponse

$$20 \ddot{q}_1 - 5\Omega \dot{q}_2 + 1.1 \times 10^7 q_1 = 3 \times 10^{-5} \Omega^2 \sin \Omega t$$

$$20 \ddot{q}_2 + 5\Omega \dot{q}_1 + 1.3 \times 10^7 q_2 = 3 \times 10^{-5} \Omega^2 \cos \Omega t$$

Les solutions sont cherchées sous la forme :

$$q_1 = Q_1 \sin \Omega t$$

$$q_2 = Q_2 \cos \Omega t$$

Ce qui mène au système :

$$\begin{bmatrix} 1.1 \times 10^7 - 20\Omega^2 & 5\Omega^2 \\ 5\Omega^2 & 1.3 \times 10^7 - 20\Omega^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 3 \times 10^{-5} \Omega^2 \\ 3 \times 10^{-5} \Omega^2 \end{Bmatrix}$$

Dont la solution est :

$$Q_1 = \frac{3 \times 10^{-5} \Omega^2 (1.3 \times 10^7 - 25\Omega^2)}{375 \Omega^4 + 48 \times 10^7 \Omega^2 + 1.43 \times 10^{14}}$$

$$Q_2 = \frac{3 \times 10^{-5} \Omega^2 (1.1 \times 10^7 - 25\Omega^2)}{375 \Omega^4 + 48 \times 10^7 \Omega^2 + 1.43 \times 10^{14}}$$

4- Vitesses critiques.

$$375 \Omega^4 + 48 \times 10^7 \Omega^2 + 1.4 \times 10^{14} = 0$$

$$\Omega_{1c} = 686.93 \text{ rad/s} \quad N_{1c} = 6559.70 \text{ tr/min}$$

$$\Omega_{2c} = 898.95 \text{ rad/s} \quad N_{2c} = 8584.34 \text{ tr/min}$$

5-

- Détermination de l'orbite du milieu de l'axe de l'arbre du rotor :

$$u\left(\frac{L}{2}, t\right) = \sin\frac{\pi}{2}q_1(t) = q_1(t) = Q_1 \sin \Omega t$$

$$w\left(\frac{L}{2}, t\right) = \sin\frac{\pi}{2}q_2(t) = q_2(t) = Q_2 \cos \Omega t$$

$$\frac{u^2\left(\frac{L}{2}, t\right)}{Q_1^2} + \frac{w^2\left(\frac{L}{2}, t\right)}{Q_2^2} = 1$$

C'est l'équation d'une ellipse.

- Sens de la précession en fonction de la vitesse de rotation du rotor.

Le sens de la précession est déterminé par le signe du produit Q_1Q_2

- Si $Q_1Q_2 > 0$, la précession est directe,
- Si $Q_1Q_2 < 0$, la précession est inverse

Ce qui revient à étudier le signe de l'expression :

$$E(\Omega^2) = (1.1 \times 10^7 - 25\Omega^2)(1.3 \times 10^7 - 25\Omega^2)$$

Qui s'annule et change de signe pour les valeurs :

$$\Omega_1 = \sqrt{\frac{1.1 \times 10^7}{25}} = 663.32 \text{ rad/s}$$

$$\Omega_2 = \sqrt{\frac{1.3 \times 10^7}{25}} = 721.11 \text{ rad/s}$$

La précession est donc directe si $\Omega < 663.32 \text{ rad/s}$, ou $\Omega > 721.11 \text{ rad/s}$, et inverse si $663.32 \text{ rad/s} < \Omega < 721.11 \text{ rad/s}$.

Benamor. Samel CORRIGE TYPE EXAMEN
AUTOMATISMES

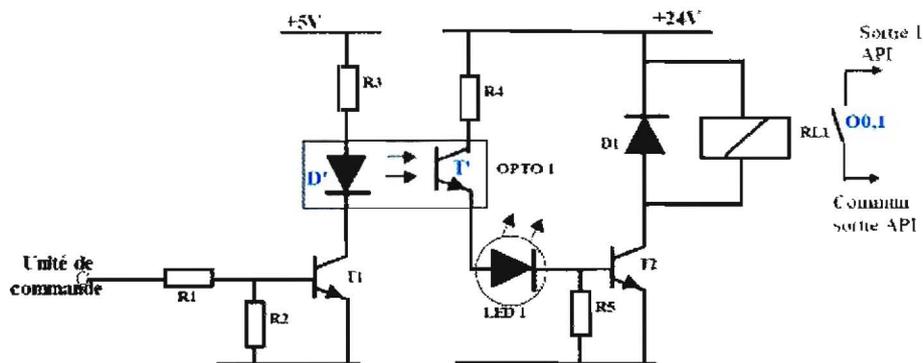
Questions de cours: (08 pts)

1. Quelles sont les différentes natures des informations traitées par un automate programmable ?

1. Les informations peuvent être de type :

- 1.5 ○ **Tout ou rien** (T.O.R.) : l'information ne peut prendre que *deux états* (*vrai/faux, 0 ou 1*). C'est le type d'information délivrée par un détecteur, un bouton poussoir, ...
- 1.5 ○ **Analogique** : l'information est *continue* et peut prendre une valeur comprise dans une plage bien déterminée. C'est le type d'information délivrée par un capteur (pression, température ...)
- 1.5 ○ **Numérique** : l'information est contenue dans des *mots codés sous forme binaire* ou bien *hexadécimale*. C'est le type d'information délivrée par un ordinateur ou un module intelligent.

2. Expliquer le fonctionnement de l'interface *de sortie T.O.R.* représenté ci-dessous:



Lors de la commande d'une sortie automate ;

- L'unité de commande envoie un 1 logique (5V) (0.5)
- T1 devient passant, donc D' s'éclaire (0.5)
- Le photo transistor T' de l'optocoupleur devient passant (0.5)
- LED 1 s'éclaire et nous informe de la commande de la sortie O 0,1 (0.5)
- T2 devient passant (0.5)
- La bobine RL1 devient sous tension et commande la fermeture du contact de la sortie O 0,1 (0.5)

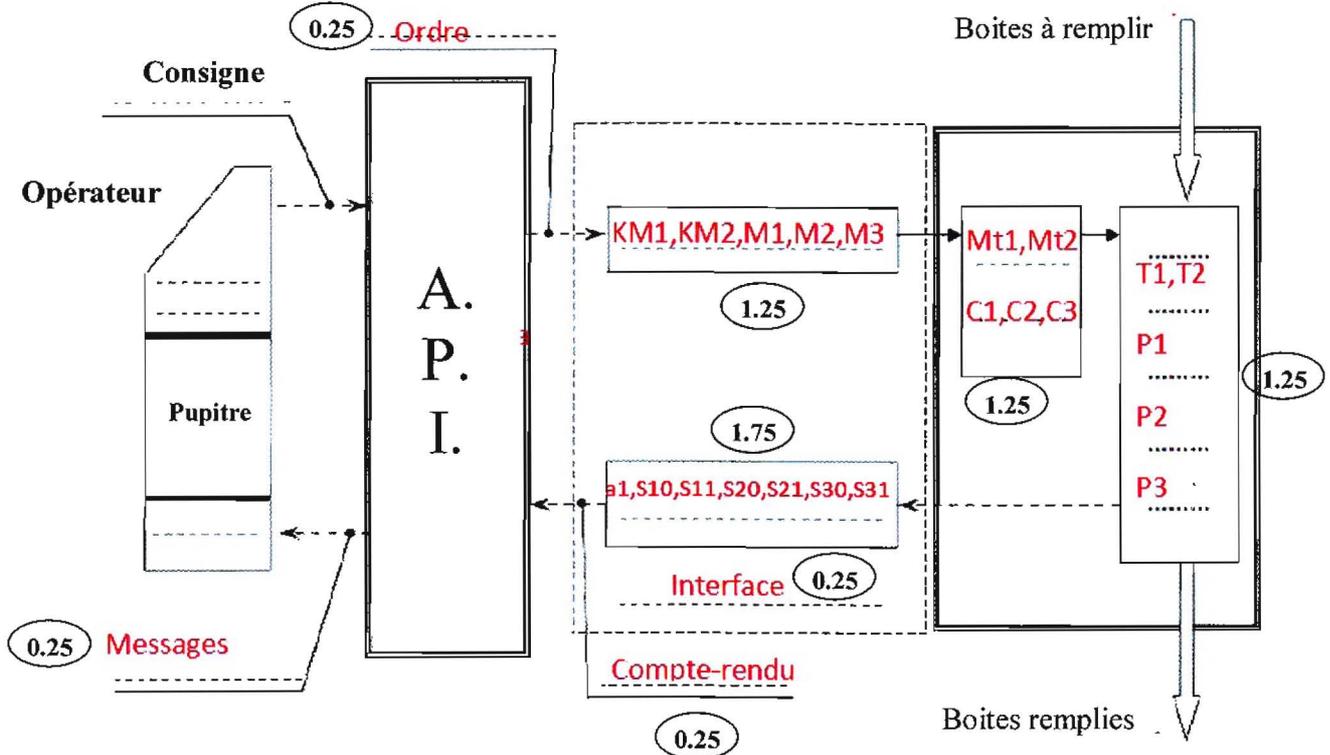
Donc pour commander une sortie automate l'unité de commande doit envoyer un 1 logique pour actionner une sortie API et un 0 logique pour stopper la commande d'une sortie API (0.5)

Exercice 02: (12 pts)

1. Compléter le tableau en indiquant les différents éléments

Pré actionneurs	Actionneurs	Effecteurs	Capteurs
Contacteur KM1	Moteur Mt1.....	Tapis T1.....	a1
Contacteur KM2	Moteur Mt2	Tapis T2 (1.25)	S10,S11
Distributeur M1 (1.25)	Vérin C1 (1.25)	Poussoir P1.....	S20,S21 (1.75)
Distributeur M2	Vérin C2.....	Poussoir P2.....	S30,S31.....
Distributeur M3	Vérin C3	Plaque P3	

2. Compléter la structure du système en se référant aux questions précédentes



Faculté des Sciences et Sciences Appliquées
 Département de Génie Mécanique
 Master 2 CM

Nom :
 Prénom :

Module Bureau des Méthodes

Corrige type

Enseignant :Nadjah.M

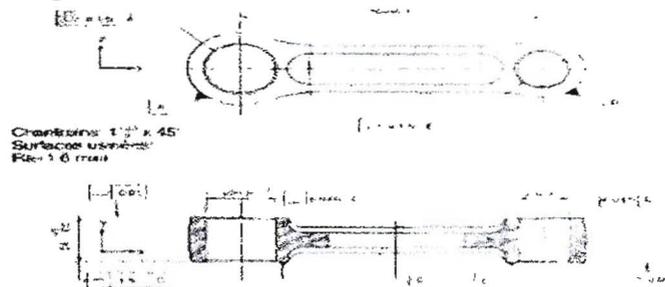
1) Tolérances dimensionnelles et géométriques 2.5pt

Tolérances dimensionnelles et géométriques	Tolérances propres à une surface	Tolérances de forme	○	Rectitude
	Tolérances entre surfaces	Tolérances dimensionnelles	○	Circularité
		Tolérance d'ondulation Tolérance de rugosité	○	Cylindricité
	Tolérances de battement	Tolérances de position	⊕	Planéité
Tolérances d'orientation		⊖	Ligne quelconque	
Tolérances dimensionnelles		⊗	Surface quelconque	

○	Diamètre/ Angle d'un cône
○	Code ISO (M6)
○	Ondulation
○	Rugosité
⊕	Localisation
⊖	Symétrie
⊗	Concentricité/Coaxialité
⊥	Perpendicularité
∥	Parallélisme
∕	Inclinaison
X	Cote de longueur
∠	Cote angulaire
↺	Battement simple
↻	Battement total

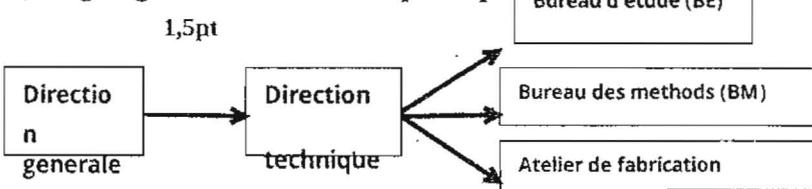
2)Interprétation des tolérances géométriques 2.5pt

Bielle de compresseur à air
 Dessin partiel de définition



Classification	Tolérances propres à une surface			Tolérances entre surfaces			Tolérance de battement
	Forme	Dimension	Ondulation rugosité	Dimension	Position	Orientation	
⊕ φ 1.5 A 109 ^{10.1}							
∇ 0.05							
○25 H7							
∥ φ 0.05 C 24 L							
⊖ 1.5 D φ 18 H7							
∥ 0.1 Ra = 1.6							
1° à 45°							

3) Organigramme d'une entreprise 3pt



Le BM comprend les services suivants

- *Service des gammes.
- *Service des méthodes des brutes.
- *Service implantation des machines outil.
- *Service d'étude d'outillage.
- *Service temps..
- *Service lancement. 1,5pt

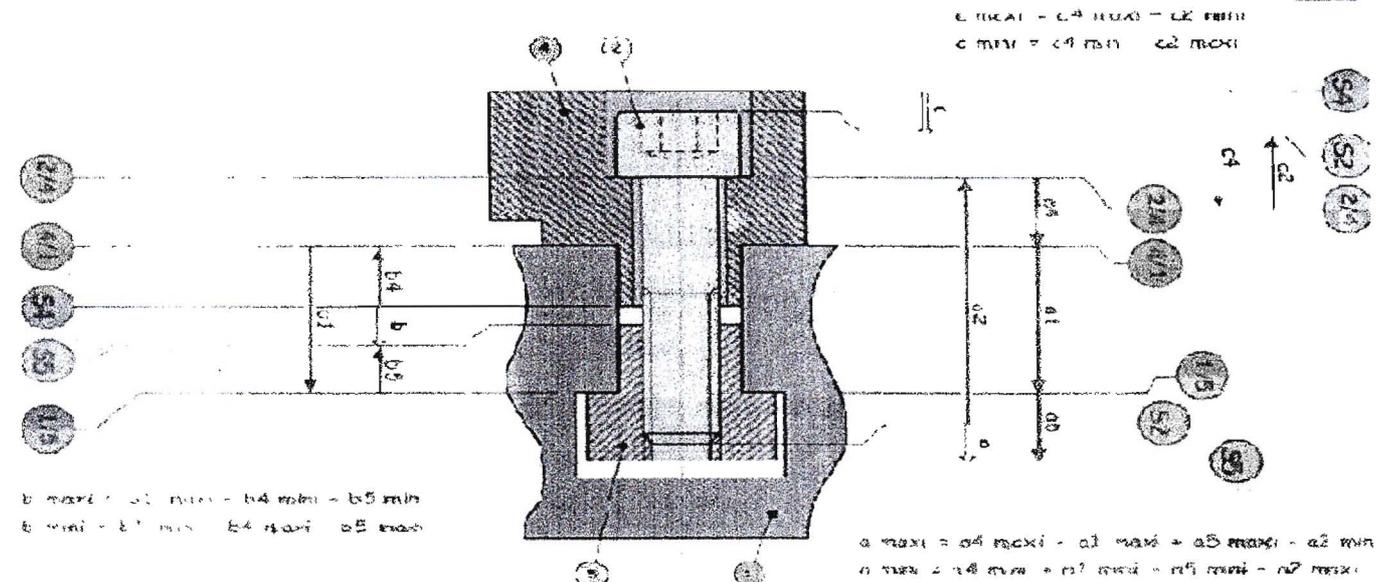
4) Les liaisons mécaniques élémentaires (NF EN23952,ISO 3952) 1.5pt

- Deux solides S1 et S2 si un ou plusieurs degrés de liberté sont supprimés, il existe des liaisons
- Deux solides S1 et S2 n'ont aucun degrés de liberté l'un par rapport à l'autre, il existe une liaison
- Une pièce de monnaie est en contact avec un support plan. Les degrés de liberté que dispose cette pièce

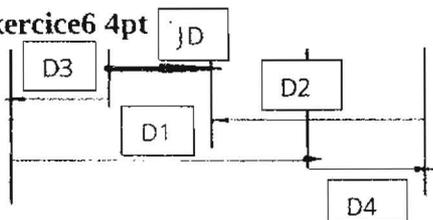
• Les liaisons mécaniques élémentaires (NF EN 23952, ISO 3952) 2.5pt

Nom de la liaison	Degrés de liberté (d.d.l)	Mouvements relatifs	Symbole		Exemples
			Representation plane	Perspective	
Glissement	1	1 Translation 0 Rotation			
Helicoidale	1	1 Translation 1 Rotation			
Pivot glissant	2	1 Translation 1 Rotation			
Lineaire annulaire ou sphere-cylindre	4	1 Translation 3 Rotation			
Lineaire rectiligne	4	2 Translation 2 Rotation			
Ponctuelle ou Sphere-plan	5	3 Translation 2 Rotation			

Exercice : Tracer les chaînes de cotes relatives aux conditions fonctionnelles a, b et c
Préciser les équations permettant de calculer les valeurs extrêmes des trois cotes. **4pt**



Exercice6 4pt



Données

$JD = 0.2^{+0.6}_{-0.1}$ $D_1 = 35^{+0.2}_{-0.1}$ $D_2 = 30^{+0.4}_{-0.25}$ $D_4 = 7^{+0.25}_{-0.15}$

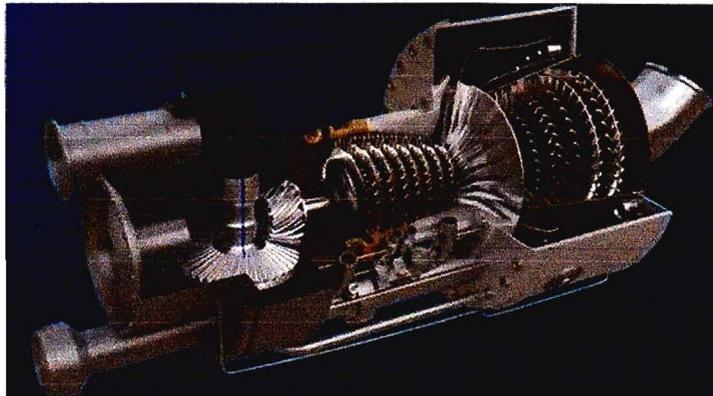
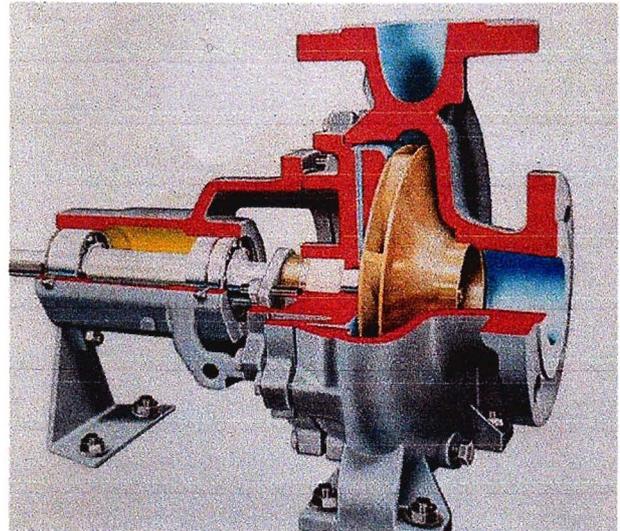
Travail demande Calculer les cotes bi limites de D_3

$JJD = (D_1 + D_4) - (D_2 + D_3)$ $JJD_{max} = (D_{1max} + D_{4max}) - (D_{2min} + D_{3min})$ et $JJD_{min} = (D_{1min} + D_{4min}) - (D_{2max} + D_{3max})$
 $D_{3min} = D_{1max} + D_{4max} - JJD_{max} - D_{2min}$ $JJD_{max} = 0.8$ $D_{1max} = 35.20$ $D_{2min} = 29.75$ $D_{4max} = 7.25$
 $D_{3min} = 35.2 + 7.25 - 0.8 - 29.75 = 11.75$ $D_{3min} = 11.9$
 $D_{3max} = D_{1min} + D_{4min} - JJD_{min} - D_{2max}$ $JJD_{min} = 0.1$ $D_{1min} = 34.9$ $D_{2max} = 30.4$ $D_{4min} = 6.85$
 $D_{3max} = 34.9 + 6.85 - 0.1 - 30.4 = 11.75$ $D_{3max} = 11.25$ $D_3 = 11^{+0.25}_{-0.9}$
 $ITJD = ITD_1 + ITD_2 + ITD_3 + ITD_4$ $ITJD = JJD_{max} - JJD_{min}$ $ITJD = 0.8 - 0.1 = 0.7$
 $ITD_1 = D_{1max} - D_{1min}$ $ITD_1 = 35.2 - 34.9 = 0.3$
 $ITD_2 = D_{2max} - D_{2min}$ $ITD_2 = 30.4 - 29.75 = 0.65$
 $ITD_4 = D_{4max} - D_{4min}$ $ITD_4 = 7.25 - 6.85 = 0.4$
 $ITD_3 = D_{3max} - D_{3min}$ $ITD_3 = 11.25 - 11.9 = -0.65$
 $ITD_3 = ITJD - ITD_1 - ITD_2 - ITD_4 = 0.7 - 0.3 - 0.65 - 0.4 = -0.65$

$JJD_{max} = 35.2 + 7.25 - 0.8 - 29.75 = 11.95$ $D_{3min} = 11.95 - 0.3 - 0.65 - 0.4 = 10.55$
 $JJD_{min} = 34.9 + 6.85 - 0.1 - 30.4 = 11.25$ $D_{3max} = 11.25 - 0.3 - 0.65 - 0.4 = 9.85$

Contrôle Installations et Turbomachines

Soit les deux installations et la turbomachine suivantes :



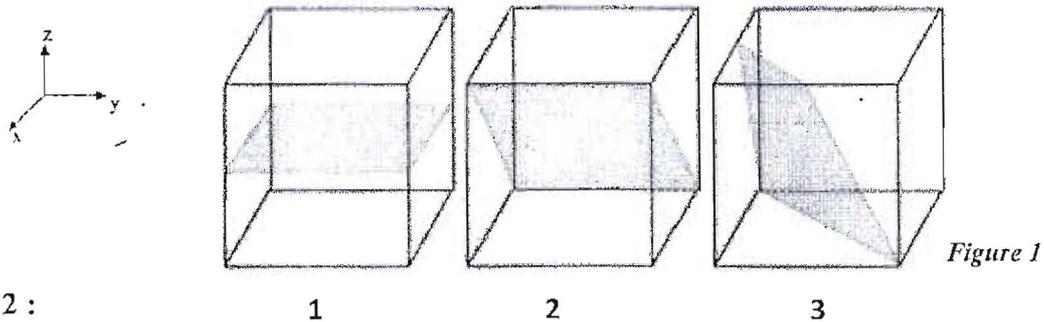
- 1) Donnez la définition de Turbomachines.
- 2) Pour les trois installations :
 - Quel est le nom de l'installation ?
 - Quels sont les éléments constructifs de l'installation ?
 - Expliquez le principe de fonctionnement.
- 3) Quels sont les éléments et les caractéristiques communes au trois Machines ?

EPREUVE Matériaux – SEMESTRE 1
(Durée : 1h 30)

Exercice 1 :

Soit le repère cristallographique orthogonal $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$.

1. Représenter :
 - a. Les directions des rangées : [100], [120] et [123].
 - b. Les plans d'indices (hkl) suivant : (100), (120) et (111).
2. Quel sont les indices de Miller (hkl) familles de plans réticulaires représentés sur la figure 1 :



Exercice 2 :

Voici un tableau (Tableau 1) des températures du solidus et du liquidus du système Ge-Si.

Composition %m de Si	Température Solidus (°C)	Température Liquidus (°C)
0	938	938
10	1005	1147
20	1065	1226
30	1123	1278
40	1178	1315
50	1232	1346
60	1282	1367
70	1326	1385
80	1359	1397
90	1390	1408
100	1414	1414

1. Construire le diagramme d'équilibre Température - fraction massique de ce système et identifier chaque région.
2. Soit l'alliage obtenu en mélangeant 8,43 g de silicium et 14,52 g de germanium :
 - a) calculer la fraction massique globale du silicium dans ce mélange ;
 - b) cet alliage est porté à 1200°C. Déterminer la nature et la composition massique de chacune des phases
 - c) déterminer les masses des phases en présence à 1200°C

Exercice 3 :

Soit le diagramme binaire Al-Ca (figure 2) montrant l'existence de deux composés définis C1 et C2, sachant que toutes les phases sont non miscibles à l'état solide : Déterminer la nature et la composition des composés C1 et C2 ?

$M_{Al}=27\text{g/mol}, M_{Ca}=40\text{ g/mol}$

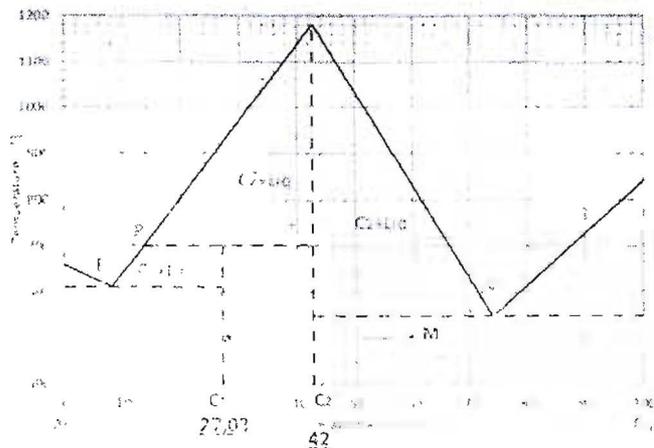


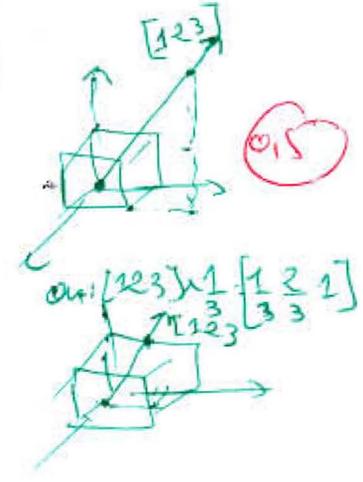
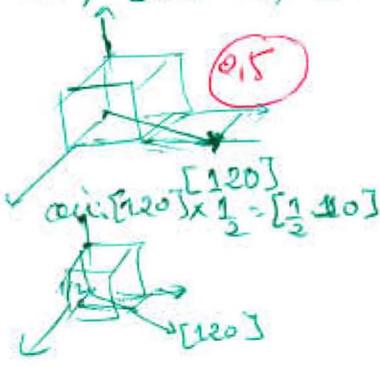
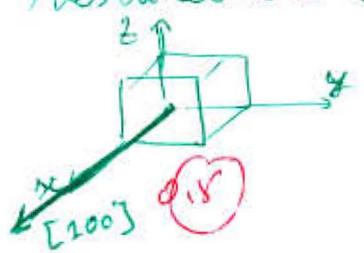
Figure 2 : Diagramme de phase ~~diagramme~~ Al-Ca

Bon courage

Dr. A. M. G. A. A. A.

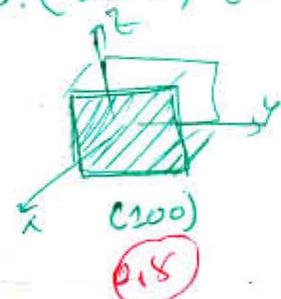
Exo n°1: (6 pts) - Corrigé type Examen Matériaux.

1° Les directions: $[100]$; $[120]$; $[123]$

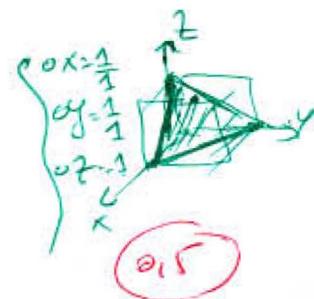
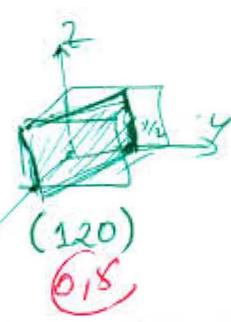


2° Les plans: (100) ; (120) ; (111)

$ox = \frac{1}{1} = 1$
 $oy = \frac{1}{0} = \infty$
 $oz = \frac{1}{0} = \infty$



$ox = \frac{1}{1} = 1$
 $oy = \frac{1}{2}$
 $oz = \frac{1}{0} = \infty$



2° Les (hkl) = ?

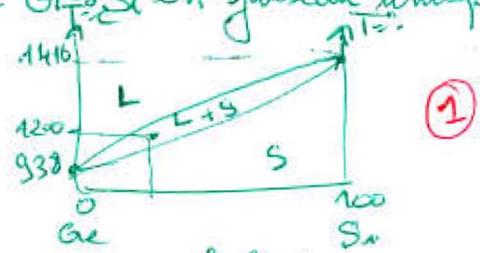
1° $ox = \infty$
 $oy = \infty \Rightarrow (002)$
 $oz = \frac{1}{2}$

2° $ox = -1$
 $oy = \infty \Rightarrow (\bar{1}04)$
 $oz = 1$

3° $ox = -\frac{1}{2}$
 $oy = \frac{1}{2} \Rightarrow (\bar{2}20)$
 $oz = 0$

Exo n°2: Système Ge-Si (3 pts)

1° Le diagramme Ge-Si est fusé et unique à 3 domaines: L; L+S; S



2° fraction massique globale: ?

$f_{m(Si)} = \frac{m(Si)}{m(Si) + m(Ge)} \approx 0,37$ et $f_{m(Ge)} = \frac{m(Ge)}{m(Si) + m(Ge)} = 0,63$

Exercice 1 : 5pts

Un composite unidirectionnel AS/3501 (Carbone - Epoxy) possède les caractéristiques élastiques suivantes :

$$E_f = 155 \text{ GPa} ; \nu_f = 0.248 ; E_m = 3.45 \text{ GPa} ; \nu_m = 0.352 ; \rho_f = 2.5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} ; \rho_m = 1.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

1. En se basant sur le modèle de disposition carrée, déterminer l'expression de la fraction en volume des fibres et en déduire sa valeur maximale.
2. Déterminer l'expression de la densité volumique du pli composite puis calculer sa valeur à V_{fmax} .
3. Calculer les constantes élastiques E_1, ν_{12}, E_2 et G_{12} du composite à V_{fmax} .

Indication : On rappelle que la fibre seule et la matrice seule sont des matériaux isotropes.

Exercice 2 : 3pts

Prouvez que pour les stratifiés symétriques (N plis identiques) la matrice de couplage B est nulle, c-à-d qu'on doit avoir $B_{ij} = 0$.

Problème : 12pts

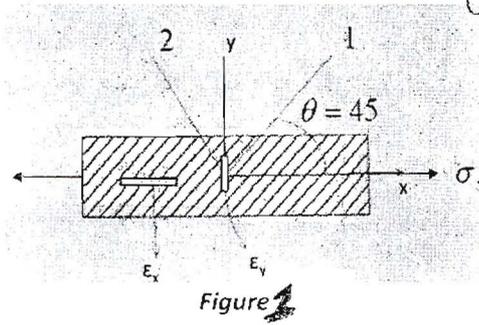
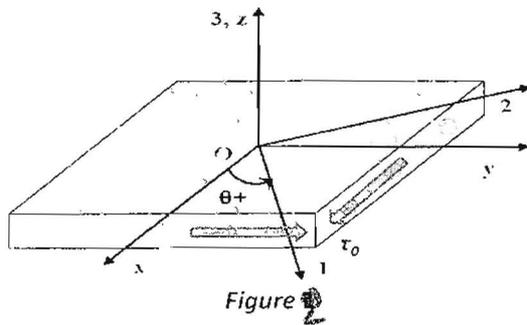
On considère le composite stratifié $[\alpha / 0 / -\alpha]$. Les plis constituant le stratifié sont parfaitement identiques, matériau : Carbone - Epoxy et même épaisseurs t .

1. Déterminer la matrice de rigidité du stratifié (Matrice ABD) et ce en fonction des constantes élastique Q_{ij} .
2. Faites une conclusion pour ce qui est du comportement en membrane et en flexion du stratifié, s'il est sollicité dans son plan par N_x .
3. On considère, à présent, uniquement le pli orienté à $(+\alpha)$ avec $\alpha = 45^\circ$, soumis à l'état de contrainte de la figure 1. Les caractéristiques du matériau dans le repère d'orthotropie sont $E_1 = 40 \text{ GPa}, E_2 = 10 \text{ GPa}, \nu_{12} = 0.32$.

Les contraintes ultimes du matériau sont : $X = 560 \text{ MPa} ; Y = 35 \text{ MPa}$ et $S = 60 \text{ MPa}$.

- a. La figure 1 schématise une procédure expérimentale pour la détermination du module de cisaillement G_{12} du pli. Deux jauges piézométriques permettent de mesurer les déformations ϵ_x et ϵ_y . Montrer que si l'on a : Pour $\sigma_x = 26 \text{ MPa}; \epsilon_x = 6\%$ et $\epsilon_y = -0.5\%$, on trouve $G_{12} = 0.2 \text{ GPa}$

- b. Quel doit être la valeur de τ_0 qui vérifie le critère de rupture de Tsai-Hill. (Fig. 2)



Indication : Éléments de la matrice de rigidité hors axes d'orthotropie ; θ est l'angle d'orientation des fibres.

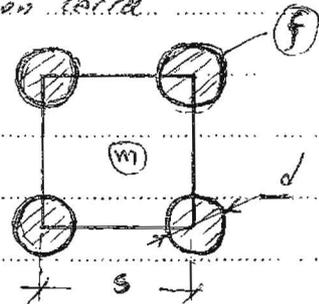
$$\begin{aligned} \bar{Q}_{11} &= Q_{11} \cos^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{22} \sin^4 \theta \\ \bar{Q}_{12} &= (Q_{11} + Q_{22} - 4Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{12} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta) \\ \bar{Q}_{22} &= Q_{11} \sin^4 \theta + 2(Q_{12} + 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{22} \cos^4 \theta \\ \bar{Q}_{16} &= (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \sin \theta \cos^3 \theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \sin^3 \theta \cos \theta \\ \bar{Q}_{26} &= (Q_{11} - Q_{12} - 2Q_{66}) \sin^3 \theta \cos \theta + (Q_{12} - Q_{22} + 2Q_{66}) \sin \theta \cos^3 \theta \\ \bar{Q}_{66} &= (Q_{11} + Q_{22} - 2Q_{12} - 2Q_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + Q_{66} (\sin^4 \theta + \cos^4 \theta) \end{aligned}$$

EMD in Matériaux Composites

Corrigé Type

Exercice 4

Modèle de disposition carré:



2.

(f) -> fibre ; (m) -> matrice

La fraction volumique des fibres

s'exprime par :

$$V_f = \frac{\text{vol. fibre}}{\text{vol. total}} = \frac{V_f}{V}$$

Pour le présent modèle, le volume total correspond presque au volume de la matrice, on écrit :

$$V_f = \frac{V_f}{V} = \frac{A_f}{A_m}$$

$$A_f: \text{surface occupée par les fibres} = 4 \times \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_m: \text{la matrice} = s^2$$

$$\Rightarrow V_f = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{s} \right)^2$$

La fraction volumique est maximale si : $s = d$

$$V_{f \max} = \frac{\pi}{4} = 0,785 \quad \text{ou bien } V_{f \max} = 78,5\%$$

2. Densité volumique du pli : $\rho_c = ?$

$$\rho_c = \frac{\text{masse du composite}}{\text{volume du composite}} = \frac{m_c}{V} = \frac{m_f + m_m}{V} = \frac{m_f}{V_f} \cdot \frac{V_f}{V} + \frac{m_m}{V_m}$$

$$\Leftrightarrow \rho_c = \rho_f \cdot V_f + \rho_m \cdot V_m$$

$$\rho_c \text{ à } V_{f \max} \quad \rho_c = \rho_f \cdot V_{f \max} + \rho_m (1 - V_{f \max})$$

$$\text{A.N.} \rightarrow \rho_c = 2,22 \text{ g/cm}^3$$

3. Calcul des cis élastiques à V_{fmax}

$$E_1 = E_f \cdot V_{fmax} + E_m (1 - V_{fmax}) =$$

$$\nu_{12} = \nu_f \cdot V_{fmax} + \nu_m (1 - V_{fmax}) =$$

$$E_2 = \frac{E_f \cdot E_m}{E_f (1 - V_{fmax}) + E_m V_{fmax}} =$$

$$G_{12} = \frac{G_f \cdot G_m}{G_f (1 - V_{fmax}) + G_m V_{fmax}} ; G_f, G_m ?$$

fibre seule \equiv isotrope $\Rightarrow G_f = \frac{E_f}{2(1 + \nu_f)} =$

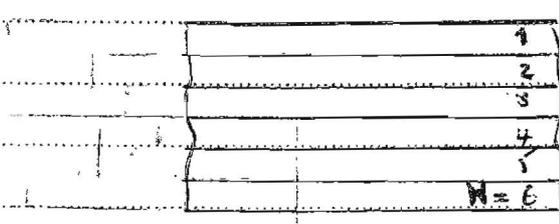
matrice isotrope $\Rightarrow G_m = \frac{E_m}{2(1 + \nu_m)} =$

$\Rightarrow G_{12} =$

Ex 2



cyl



Considérons les plis N^o set N

et les plis $N^o 2$ et $N-1$.

le stratifié étant symétrique on doit avoir:

• Pour les coor données

$$z_0 = -z_N$$

$$z_1 = -z_{N-1}$$

$$z_2 = -z_{N-2}$$

• Pour les matrices de rigidité des plis:

$$(\bar{Q}_{ij})_2 = (\bar{Q}_{ij})_N = c_1$$

$$(\bar{Q}_{ij})_2 = (\bar{Q}_{ij})_{N-1} = c_2$$

soit

$$(\bar{Q}_{ij})_2 = (\bar{Q}_{ij})_N = C_1$$

$$(\bar{Q}_{ij})_2 = (\bar{Q}_{ij})_N = C_2$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^2 - z_{k-1}^2)$$

(2)

En développant B_{ij} on obtient :

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \left[\bar{Q}_{ij})_1 (z_1^2 - z_0^2) + \bar{Q}_{ij})_2 (z_2^2 - z_1^2) + \dots + \bar{Q}_{ij})_{N-1} (z_{N-2}^2 - z_{N-3}^2) + \bar{Q}_{ij})_N (z_N^2 - z_{N-1}^2) \right]$$

$$\Leftrightarrow B_{ij} = \frac{C_1}{2} \underbrace{\left[(z_1^2 - z_0^2) + (z_N^2 - z_{N-1}^2) \right]}_0 + \frac{C_2}{2} \underbrace{\left[(z_2^2 - z_1^2) + (z_{N-2}^2 - z_{N-3}^2) \right]}_0$$

$$\Leftrightarrow B_{ij} = 0 \cdot 0$$

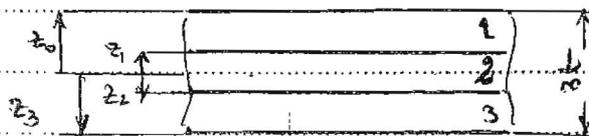
Problème :

1. Matrice de rigidité ABD du stratifié

$\left[+\alpha / 0 / -\alpha \right] \rightarrow$ stratifié à 3 plis $N=3$ C_1, C_2 antisymétrique

Paramétrage :

$$\begin{aligned} z_0 &= -\frac{3}{2}t \\ z_1 &= -\frac{t}{2} \\ z_2 &= \frac{t}{2} \\ z_3 &= \frac{3}{2}t \end{aligned}$$



• Matrices de rigidité des plis

pli 2 $[\bar{Q}]_2 = [Q]_2 = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & 0 \\ Q_{12} & Q_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Q_{66} \end{bmatrix}$

plis 1 et 3

$$\bar{Q}_{11})_1 = \bar{Q}_{11})_3 ; \bar{Q}_{12})_1 = \bar{Q}_{12})_3 ; \bar{Q}_{22})_1 = \bar{Q}_{22})_3$$

$$\bar{Q}_{66})_1 = \bar{Q}_{66})_3$$

$$\bar{Q}_{16})_1 = -\bar{Q}_{16})_3 ; \bar{Q}_{26})_1 = -\bar{Q}_{26})_3$$

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^3 \bar{Q}_{ij})_k (z_k - z_{k-1}) = \bar{Q}_{ij})_1 (z_1 - z_0) + \bar{Q}_{ij})_2 (z_2 - z_1) + \bar{Q}_{ij})_3 (z_3 - z_2)$$

$$A_{ij} = t \cdot \bar{Q}_{ij})_1 + t \cdot \bar{Q}_{ij})_2 + t \cdot \bar{Q}_{ij})_3$$

$$A_{11} = 2t \bar{Q}_{11})_1 + t Q_{11} ; A_{22} = 2t \bar{Q}_{22})_1 + t Q_{22} ; A_{16} = 0$$

$$A_{33} = 2t \bar{Q}_{33})_1 + t Q_{33} ; A_{66} = 2t \bar{Q}_{66})_1 + t Q_{66} ; A_{26} = 0$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^3 \bar{Q}_{ij} (z_k^2 - z_{k-1}^2) = \frac{1}{2} \bar{Q}_{ij} (z_1^2 - z_0^2) + \frac{1}{2} \bar{Q}_{ij} (z_2^2 - z_1^2) + \frac{1}{2} \bar{Q}_{ij} (z_3^2 - z_2^2)$$

$$B_{ij} = -t^2 \bar{Q}_{ij} + t^2 \bar{Q}_{ij}$$

$$B_{11} = 0 ; B_{22} = 0 ; B_{12} = 0$$

$$B_{16} = -2t^2 \bar{Q}_{16} ; B_{26} = -2t^2 \bar{Q}_{26}$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \bar{Q}_{ij} (z_k^3 - z_{k-1}^3) = \frac{1}{3} \bar{Q}_{ij} (z_1^3 - z_0^3) + \frac{1}{3} \bar{Q}_{ij} (z_2^3 - z_1^3) + \frac{1}{3} \bar{Q}_{ij} (z_3^3 - z_2^3)$$

$$D_{ij} = \frac{13}{12} t^3 \bar{Q}_{ij} + \frac{1}{12} t^3 \bar{Q}_{ij} + \frac{13}{12} t^3 \bar{Q}_{ij}$$

$$D_{11} = \frac{13}{6} t^3 \bar{Q}_{11} + \frac{1}{12} Q_{11} ; D_{22} = \frac{13}{6} t^3 \bar{Q}_{22} + \frac{1}{12} Q_{22}$$

$$D_{12} = \frac{13}{6} t^3 \bar{Q}_{12} + \frac{1}{12} Q_{12} ; D_{66} = \frac{13}{6} t^3 \bar{Q}_{66} + \frac{1}{12} Q_{66}$$

$$D_{16} = 0 ; D_{26} = 0$$

stric ABD

$$ABD = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 & 0 & 0 & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & 0 & 0 & 0 & B_{26} \\ 0 & 0 & A_{66} & B_{16} & B_{26} & 0 \\ 0 & 0 & B_{16} & D_{11} & D_{12} & 0 \\ 0 & 0 & B_{26} & D_{12} & D_{22} & 0 \\ B_{16} & B_{26} & 0 & 0 & 0 & D_{66} \end{bmatrix}$$

2. 1.

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 & 0 & 0 & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & 0 & 0 & 0 & B_{26} \\ 0 & 0 & A_{66} & B_{16} & B_{26} & 0 \\ 0 & 0 & B_{16} & D_{11} & D_{12} & 0 \\ 0 & 0 & B_{26} & D_{12} & D_{22} & 0 \\ B_{16} & B_{26} & 0 & 0 & 0 & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} E_x \\ E_y \\ \gamma_{xy} \\ K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{Bmatrix}$$

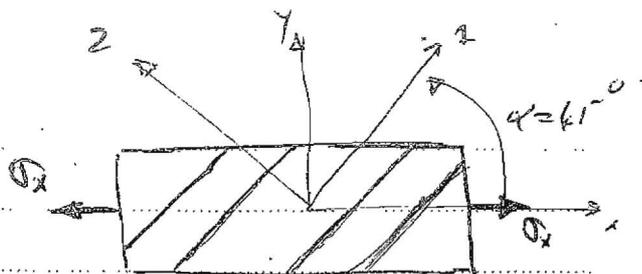
$$N_x = A_{11} E_x + A_{12} E_y + B_{16} K_{xy}$$

conclusion: le stratifié soumis à N_x , subit en plus des déformations normales E_x et E_y , une torsion K_{xy} .



3. a)

$G_{12} = ?$



$G_{12} = \frac{\tau_{12}}{\gamma_{12}}$

$\tau_{12} = ? \rightarrow \begin{Bmatrix} \sigma \end{Bmatrix}_{(1,2)} = T \begin{Bmatrix} \sigma \end{Bmatrix}_{(x,y)} \Leftrightarrow \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2sc \\ s^2 & c^2 & -2sc \\ -sc & sc & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$

$\Rightarrow \tau_{12} = -\sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sigma_x = -\frac{\sigma_x}{2} \sin 2\alpha \quad (\alpha = 45^\circ)$

$\gamma_{12} = ? \rightarrow \begin{Bmatrix} \epsilon \end{Bmatrix}_{(1,2)} = T' \begin{Bmatrix} \epsilon \end{Bmatrix}_{(x,y)}$

$\rightarrow \begin{Bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & sc \\ s^2 & c^2 & -sc \\ -2sc & 2sc & c^2 - s^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}$

$\Rightarrow \gamma_{12} = 2 \sin \alpha \cos \alpha (-\epsilon_x + \epsilon_y) + (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \gamma_{xy}$

$\alpha = 45^\circ \rightarrow \gamma_{12} = (-\epsilon_x + \epsilon_y)$

$G_{12} = -\frac{\sigma_x}{2(-\epsilon_x + \epsilon_y)} = \frac{\sigma_x}{2(\epsilon_x - \epsilon_y)}$

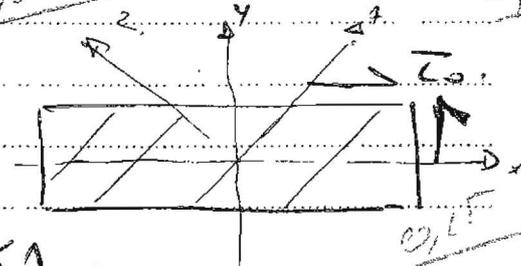
A.N. $\rightarrow G_{12} = 200 \text{ MPa} = 0.2 \text{ GPa}$

i. b. $\tau_0 = ?$

(21)

Critère de rupture de Tresca-Mises

$\frac{\sigma_1^2}{x^2} + \frac{\sigma_2^2}{y^2} - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{x^2} + \frac{\tau_{12}^2}{s^2} \leq 1$



$\begin{Bmatrix} \sigma \end{Bmatrix}_{(1,2)} = T \begin{Bmatrix} \sigma \end{Bmatrix}_{(x,y)}$

$\sigma_1 = 2 \sin \alpha \cos \alpha \cdot \tau_0 = \tau_0$

$\sigma_2 = -2 \sin \alpha \cos \alpha \cdot \tau_0 = -\tau_0$

$\tau_{12} = (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \cdot \tau_0 = 0$

le critère devient:

$\frac{\tau_0^2}{x^2} + \frac{\tau_0^2}{y^2} + \frac{\tau_0^2}{x^2} \leq 1 \Rightarrow \tau_0^2 \left(\frac{2}{x^2} + \frac{1}{y^2} \right) \leq 1$

$\rightarrow \tau_0 \leq \frac{1}{\left(\frac{2}{x^2} + \frac{1}{y^2} \right)^{1/2}} \rightarrow \text{A.N.} \rightarrow \tau_0 \leq 34.76 \text{ MPa} \quad (5)$

Département: Génie Mécanique

M2. CM

Corrigé type Examen :

Recherche documentaire et Conception de Mémoire (RDCM)

Partie 1 : (10 pts) Cocher (x) la bonne réponse.

1/ La méthode 3QPOC tente de répondre aux questions :

- Qui, Quoi, Quand, Pourquoi, Où, Comment.
- Qui, Quoi, Quand, Pour qui, Où, Comment.
- Qui, Quoi, Quand, Pourquoi, Où, Combien.

2/ Dans une recherche documentaire, l'utilisation des guillemets offre la possibilité :

- de rechercher une expression rare.
- de rechercher une expression exacte.
- de rechercher une information exacte.

3/ Les opérateurs booléens sont :

- appelés également opérateurs logistiques.
- au nombre de trois : plus (+), moins (-), égal (=).
- utilisés afin de combiner les mots-clés.

4/ Que représente la référence suivante : « F.P. Incropera, D.P. Dewitt, T.L. Bergman, A.S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Wiley ed. 2007, USA. » ?

- un article dans une revue.
- un livre.
- chapitre ou section de livre.

5/ Les remerciements et dédicaces dans un mémoire Master sont :

- Facultatif.
- Recommandé.
- Obligatoire.

6/ La taille du résumé d'un mémoire master doit être :

- moins de 200 mots.
- compris entre 150 et 250 mots.
- compris entre 200 et 500 mots.
- un maximum d'une page.

7/ Afin d'éviter le plagiat, toute phrase empruntée à un auteur doit être :

- présentée entre deux guillemets.
- présentée entre parenthèses.
- présentée en italique et en gras.

8/ Afin de bien présenter votre poster, il est idéal de mélanger:

- 40% de texte, 30% d'illustrations et 30% de vide.
- 30% de texte, 30% d'illustrations et 40% de vide.
- 30% de texte, 40% d'illustrations et 30% de vide.

9/ Lors du débat avec les membres de jury :

- il faut répondre aux questions à un ordre chronologique.
- Il est conseillé de noter les questions.
- Il faut répondre très rapidement pour montrer la maîtrise du sujet.

10/ Pour être validé, l'étudiant doit obtenir au moins la mention passable, sinon il sera dans l'obligation de :

- une nouvelle soutenance.
- passer en session rattrapage.
- redéposer un autre mémoire qui fera l'objet d'une nouvelle soutenance.

Partie 2 : (10 pts)

Q1/ Citer les quatre grands axes pour la réalisation du mémoire de master. **(02 Pts)**

Réponse 1/ La réalisation du mémoire de master comporte quatre grandes phases ;

- Définition du sujet (Titre, thème).
- Collecte de l'information.
- Traitement de l'information.
- Rédaction du mémoire.

Q2/ Quels sont les critères adoptés pour formuler le titre du mémoire Master. **(2 Pts)**

Réponse 2/ Le titre du mémoire doit être:

- court et explicite,
- accrocheur dans la mesure du possible,
- avoir une fonction informative,
- directement en rapport avec le sujet et la problématique,
- être percutant et approprié.

Q3/ Citer deux (02) logiciels spécialisés dans la gestion bibliographique. **(2 Pts)**

Réponse 3/ *Mendeley, EndNote, CiteUlike, JabRef, Connotea, Zotero, Papers, RefWorks.*

Q4/ Quels sont les critères d'une bibliographie réussie (brièvement) **(2 Pts)?**

Réponse 4/ Les critères d'une bibliographie réussie sont :

- Elle doit être réfléchie.
- Elle doit être représentative.
- Elle doit être organisée.
- Elle doit être équilibrée.
- Elle doit être présentée selon des normes précises.

Q5/ Citer les différents systèmes de classement des références bibliographiques. **(2 pts):**

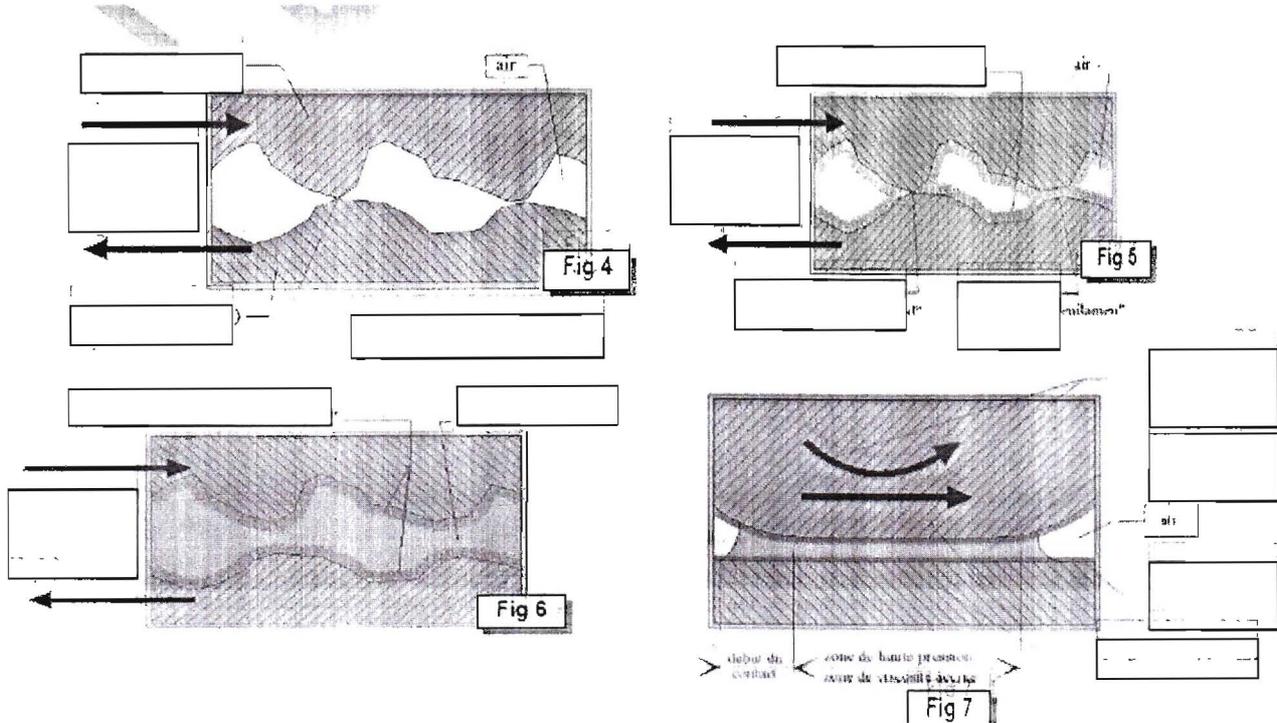
Réponse 5/ Les styles bibliographiques peuvent être séparés en deux grands groupes:

- **Le système Harvard (alphabétique):** Classement alphabétique des références (de A à Z). Les références sont appelées dans le texte par le nom du premier auteur et l'année de parution de l'article cité.
- **Le système Vancouver (numérique) :** Les références sont numérotées selon l'ordre d'apparition dans le texte (1, 2,...).

Examen

Exercice 01 : (8pts)

1- Expliquez le principe de la tribologie et la lubrification et complétez chaque type du phénomène tribologique et lubrification représentés en (Fig : 4 ; 5 ; 6 ; 7).



Exercice 02 : (6pts)

L'usure est un phénomène évolutif et irréversible ; chaque état d'un système détruit définitivement l'état précédent, de sorte qu'il est très difficile, voire impossible, de reconstituer le passé à partir du constat d'une dégradation. Usure d'un arbre à camés et poussoir (Fig:1) et bague intérieure de roulement et arbre de pignon (Fig:2)

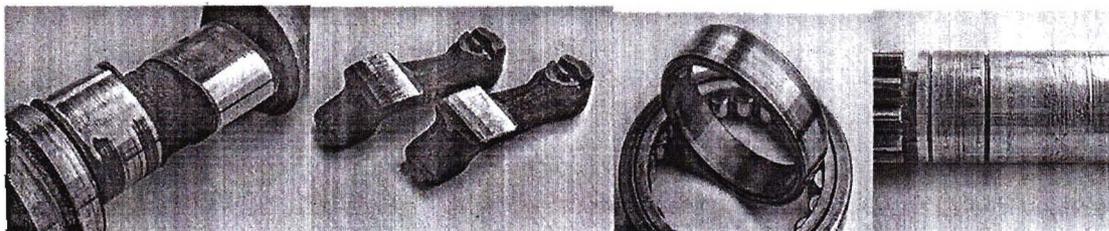
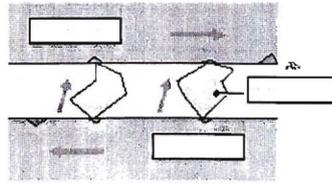
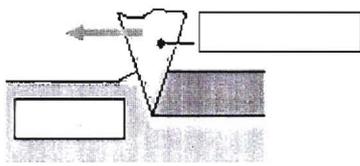


Figure 1 : Figure 2 :

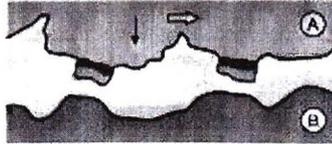
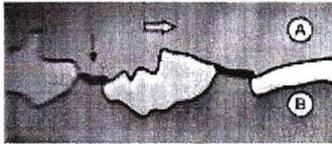
- 1-Expliquez ces types d'usures.
- 2-Indiquez et complétez sur les schémas les différents types d'usures ainsi que les formules d'usure à appliquer pour calculer le volume d'usure.



V=

Figure a : Usure

Figure b : Usure



W=

Figure c : Usure Figure d : Usure

3-Expliquez ces deux types d'usures représentés sur les figures c et d.

Exercice 03 : (6pts)

De nombreuses formes d'usure sont classées en plusieurs groupes :

Cavitation, Erosion, Corrosion, Fluage, Fatigue, Dissolution, Abrasion, Adhésion.

1-Expliquez ces différentes formes d'usures et donnez des exemples.

2-Expliquez les deux formes d'usure illustrées dans les figures suivantes :

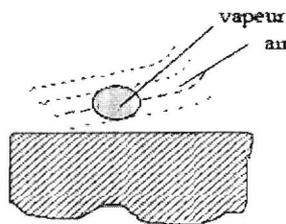
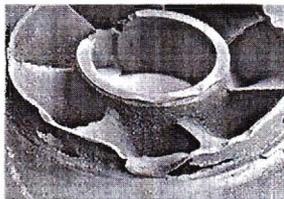


Figure A :

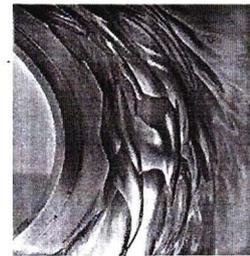
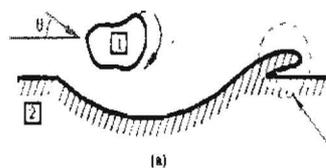
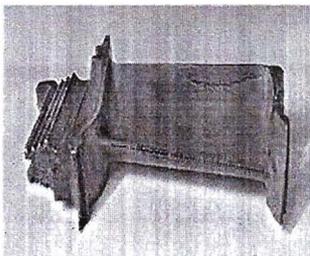


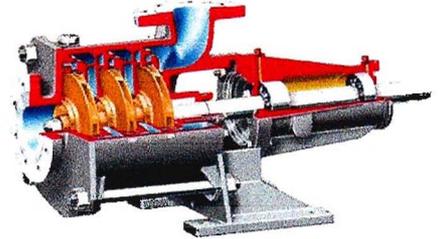
Figure B :

Contrôle de Turbomachines

Cours (06p)

Définitions et Principes

- 1) Donnez le nom et la classification de **la turbomachine** suivante :
- 2) Citez les éléments constructifs de base d'une **pompe centrifuge**.
- 3) Quels sont les points communs des turbomachines.



Application 1 (06p)

Turbine hydraulique

- Citez les différents types de **turbines hydrauliques** ainsi que leurs caractéristiques.
 - Une centrale hydroélectrique produit de l'électricité grâce à une **chute d'eau** de **37 m**. **L'alternateur** absorbe une puissance de **656,0 MW**. Le rendement de **l'alternateur** et de **la turbine** sont respectivement **0.95** et **0.75**.
- 1) Déterminez le **débit** et la **puissance électrique** de l'installation.
 - 2) Quel est le **type de turbine** de cette installation (justifier votre réponse).

Application 2 (08p)

Les performances d'une pompe centrifuge

Une **pompe centrifuge** à **eau** fonctionne avec les **spécifications** suivantes :

- Vitesse de rotation : $N = 1500 \text{ tr/min}$
 - Les diamètres de la roue : $D_1 = 3 \text{ cm}$; $D_2 = 6 \text{ cm}$
 - L'épaisseur des aubes à la sortie de la roue : $b_2 = 7.5 \text{ cm}$
 - Les angles d'inclinaison des aubes : $\beta_1 = 55^\circ$; $\beta_2 = 75^\circ$
 - La **vitesse radiale** de l'écoulement est constante : $V_{r1} = V_{r2}$
 - Le rendement manométrique (hydraulique) est : $\eta_m = 0.85$
 - Le rendement global de la pompe est : $\eta_g = 0.76$
 - L'écoulement à l'entrée de la pompe n'a pas de pré rotation : $V_{u1} = 0 \text{ m/s}$
 - L'accélération de la pesanteur $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.
- 1) Tracer **les triangles des vitesses** à l'entrée et la sortie de la roue avec les valeurs calculées.
 - 2) Calculez **les performances de la pompe** : le travail spécifique, le débit massique, la hauteur manométrique et la puissance mécanique de la pompe.
 - 3) Commentez les résultats.

Mécanique de Propulsion
Examen N° : 1

Exercice 1 (8pts)

Un avion de masse 90 tonnes vole à la poussée minimale nécessaire au maintien du vol, à l'altitude où la masse volumique de l'air est $\rho = 0.9 \text{ kg/m}^3$. Il a une surface de référence $S = 200 \text{ m}^2$ et une polaire pouvant être assimilée à une parabole d'équation :

$$C_z = -500 C_x^2 + 50 C_x - 0.4.$$

- Calculer la finesse maximale, f_0 .

En effet, l'avion vole avec une portance maximale, alors :

- Calculer la finesse correspondante, f_1 .
- Après établir l'équilibre des forces en présence, calculer la poussée nécessaire au vol, T .
- Calculer la vitesse de vol, V .

Exercice 2 (12pts)

Etudier le turbopropulseur suivant

- Vitesse de vol, $V_E = 196 \text{ m/s}$.
- Température ambiante, $T_0 = 253 \text{ K}$.
- Rapport de compression du compresseur, $R_{CC} = 10$.
- Rendement de la chambre de combustion, $\eta_{ChC} = 0.98$.
- Chute de pression dans la chambre de combustion de 3%.
- Les rendements du compresseur et de la turbine sont : $\eta_C = \eta_T = 0.91$.
- Les rendements du diffuseur et de la tuyère sont : $\eta_D = \eta_{Ty} = 0.88$.
- Puissance nette nécessaire pour entraîner l'hélice, $\dot{W}_H = 5.7 \text{ MW}$.

Calculer :

- 1) Les températures réelles et isentropiques aux points 1, 2 et 3.
- 2) La puissance du compresseur \dot{W}_C .
- 3) Les températures réelle et isentropique au point 4.
- 4) Le rapport de compression du diffuseur R_{CD} , et celui de la détente de la turbine, $R_{DT} = P_3 / P_4$.

Une postcombustion est amorcée par l'injection du carburant dans les gaz chauds sortant de la turbine, avec un débit du carburant $\dot{m}_{c_{pc}} = 0.4 \text{ kg/s}$, un rendement de postcombustion $\eta_{pc} = 0.9$ et une perte de pression 5%.

Calculer :

- 5) La température des gaz à la fin de la postcombustion, T_5 .
- 6) La vitesse d'éjection des gaz et la force de traction développée.
- 7) Le taux de participation de tuyère à la traction.

Données :

On ne néglige pas le débit du carburant devant le débit d'air pour tout l'exercice.

$\dot{m}_a = 33 \text{ kg/s}$; $\dot{m}_c = 0.53 \text{ kg/s}$; $P_{ci} = 43 \text{ MJ/kg}$; $C_{p_a} = 1005 \text{ J/kgK}$; $C_{p_g} = 1150 \text{ J/kgK}$; $\gamma_a = 1.4$; $\gamma_g = 1.33$.

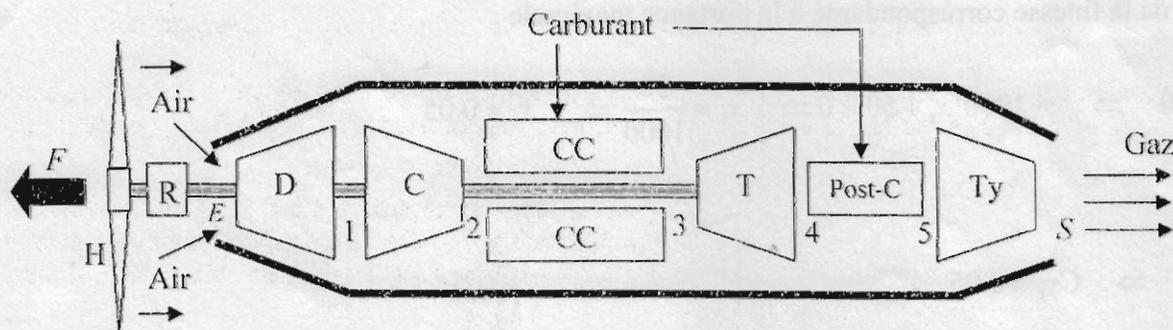


Fig. 1 : Turbopropulseur.

Bechir. M

Mécanique de Propulsion
Corrigé Type de l'Examen N° 1

Exercice 1

1- Calcul de la finesse maximale

$$C_z = -500Cx^2 + 50Cx - 0.4 \Leftrightarrow f(x) = -500x^2 + 50x - 0.4$$

$$\Rightarrow f'(x) = -1000x + 50$$

et pour la droite tangente à la parabole, nous pouvons écrire :

$$\frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} = f'(x_0) \Rightarrow f(x) = f'(x_0)x - f'(x_0)x_0 + f(x_0)$$

parce que la droite passe par l'origine, on peut écrire :

$$-f'(x_0)x_0 + f(x_0) = 0 \Rightarrow -(-1000x_0 + 50)x_0 - 500x_0^2 + 50x_0 - 0.4 = 0 \Rightarrow 500x_0^2 - 0.4 = 0$$

$$\Rightarrow x_0^2 = \frac{0.4}{500} \Rightarrow x_0 = 0.0283$$

on a

$$x_0 \equiv Cx_0 \Rightarrow Cx_0 = 0.0283.$$

Alors, on calcule la finesse, f_0 :

$$f_0 = \frac{C_{z_0}}{Cx_0} \Rightarrow f_0 = \frac{-500Cx_0^2 + 50Cx_0 - 0.4}{Cx_0} \Rightarrow f_0 = \frac{-500 \times 0.0283^2 + 50 \times 0.0283 - 0.4}{0.0283}$$

$$\Rightarrow f_0 = 21.7. \quad (3pts)$$

2- Calcul de la finesse correspondante à la portance maximale

$$f'(x_1) = 0 \Rightarrow -1000x_1 + 50 = 0 \Rightarrow x_1 = \frac{50}{1000} \Rightarrow x_1 = 0.05$$

on a

$$x_1 \equiv Cx_1 \Rightarrow Cx_1 = 0.05.$$

Alors, on calcule la finesse, f_1 :

$$f_1 = \frac{Cz_1}{Cx_1} \Rightarrow f_1 = \frac{-500Cx_1^2 + 50Cx_1 - 0.4}{Cx_1} \Rightarrow f_1 = \frac{-500 \times 0.05^2 + 50 \times 0.05 - 0.4}{0.05}$$

$$\Rightarrow f_1 = 17 \quad (2pts)$$

3- Calcul de la poussée nécessaire au vol

$$Fz = Mg \Rightarrow Fz = 90000 \times 10 \Rightarrow Fz = 9 \times 10^5 \text{ N} \quad (1pts)$$

Aussi,

$$\begin{cases} Fx = T \\ f = \frac{Fz}{Fx} \end{cases} \Rightarrow T = \frac{Fz}{f} \Rightarrow T = \frac{9 \times 10^5}{17} \Rightarrow T = 52941 \text{ N} \quad (1pts)$$

4- Calcul de la vitesse de vol

$$Fx = \frac{1}{2} \rho S V^2 Cx \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2Fx}{\rho S Cx}} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2 \times 52941}{0.9 \times 200 \times 0.05}} \Rightarrow V = 108.5 \text{ m/s} \quad (1pts)$$

Exercice 2

1/ Les températures réelles et isentropiques aux points 1, 2, et 3.

$$\# \dot{m}_a C p_a (T_1 - T_E) - \frac{1}{2} \dot{m}_a V_E^2 = 0 \Rightarrow T_1 = \frac{V_E^2}{2C p_a} + T_E \Rightarrow T_1 = \frac{196^2}{2 \times 1005} + 253 \Rightarrow T_1 = 272.1 \text{ K} \quad (1)$$

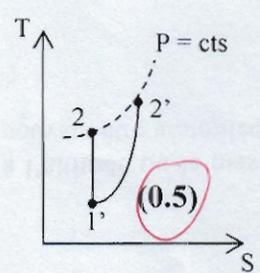
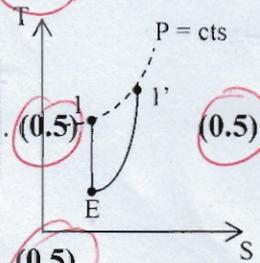
$$\# \eta_D = \frac{T_1 - T_E}{T_1' - T_E} \Rightarrow T_1' = \frac{T_1 - T_E}{\eta_D} + T_E \Rightarrow T_1' = \frac{272.1 - 253}{0.88} + 253 \Rightarrow T_1' = 274.7 \text{ K} \quad (0.5)$$

$$\# \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma_a}{\gamma_a - 1}} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma_a - 1}{\gamma_a}} \Rightarrow T_2 = T_1' R_{CC}^{\frac{\gamma_a - 1}{\gamma_a}} = 272.1 \times 10^{\frac{1.4 - 1}{1.4}} \Rightarrow T_2 = 530.4 \text{ K} \quad (0.5) \quad (0.5)$$

$$\# \eta_C = \frac{T_2 - T_1'}{T_2' - T_1'} \Rightarrow T_2' = \frac{T_2 - T_1'}{\eta_C} + T_1' \Rightarrow T_2' = \frac{530.4 - 274.7}{0.91} + 274.7 \Rightarrow T_2' = 555.7 \text{ K} \quad (0.5)$$

$$\# \eta_{ChC} = \frac{(\dot{m}_a + \dot{m}_c) C p_g T_3 - \dot{m}_a C p_a T_2'}{\dot{m}_c P c i} \Rightarrow T_3 = \frac{\eta_{ChC} \dot{m}_c P c i + \dot{m}_a C p_a T_2'}{(\dot{m}_a + \dot{m}_c) C p_g} \quad (0.5)$$

$$\Rightarrow T_3 = \frac{0.98 \times 0.53 \times 43 \times 10^6 + 33 \times 1005 \times 555.7}{(33 + 0.53) 1150} \Rightarrow T_3 = 1057.2 \text{ K} \quad (0.5)$$



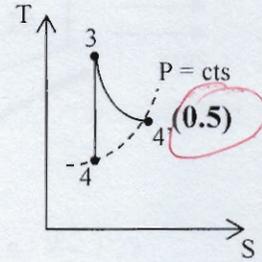
2/ La puissance du compresseur, \dot{W}_C .

$$\# \dot{W}_C = \dot{m}_a C_{p_a} (T_2' - T_1') \Rightarrow \dot{W}_C = 33 \times 1005 (555.7 - 274.7) \Rightarrow \dot{W}_C = 9.318 \text{ MW} \quad (0.5)$$

3/ Les températures réelles et isentropiques aux points 4 et 5.

$$\# \begin{cases} \dot{W}_T = (\dot{m}_a + \dot{m}_c) C_{p_g} (T_4' - T_3) \\ |\dot{W}_T| = \dot{W}_C + \dot{W}_H \end{cases} \Rightarrow T_4' = T_3 - \frac{\dot{W}_C + \dot{W}_H}{(\dot{m}_a + \dot{m}_c) C_{p_g}} \quad (0.5)$$

$$\Rightarrow T_4' = 938.6 - \frac{(9.318 + 4.7) \times 10^6}{(33 + 0.53) \times 1150} \Rightarrow T_4' = 667.7 \text{ K} \quad (0.5)$$



$$\# \eta_T = \frac{T_3 - T_4'}{T_3 - T_4} \Rightarrow T_4 = T_3 - \frac{T_3 - T_4'}{\eta_T} \Rightarrow T_4 = 1057.2 - \frac{1057.2 - 667.7}{0.91} \Rightarrow T_4 = 629.2 \text{ K} \quad (0.5)$$

4/ Le rapport de compression du diffuseur R_{CD} , et celui de la détente de la turbine, $R_{DT} = P_3 / P_4$.

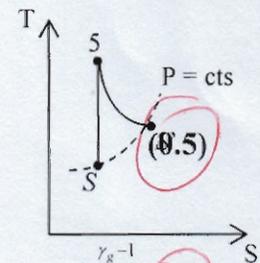
$$\# \frac{P_1}{P_E} = \left(\frac{T_1}{T_E} \right)^{\frac{\gamma_a}{\gamma_a - 1}} \Rightarrow R_{CD} = \left(\frac{T_1}{T_E} \right)^{\frac{\gamma_a}{\gamma_a - 1}} \Rightarrow R_{CD} = \left(\frac{272.1}{253} \right)^{\frac{1.4}{1.4 - 1}} \Rightarrow R_{CD} = 1.29 \quad (0.5)$$

$$\# \frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{T_3}{T_4} \right)^{\frac{\gamma_g}{\gamma_g - 1}} \Rightarrow R_{DT} = \left(\frac{T_3}{T_4} \right)^{\frac{\gamma_g}{\gamma_g - 1}} \Rightarrow R_{DT} = \left(\frac{1057.2}{629.2} \right)^{\frac{1.33}{1.33 - 1}} \Rightarrow R_{DT} = 8.10 \quad (0.5)$$

5/ la température des gaz à la fin de la postcombustion, T_5 .

$$\# \eta_{PC} = \frac{(\dot{m}_a + \dot{m}_c + \dot{m}_{c_{pc}}) C_{p_g} T_5 - (\dot{m}_a + \dot{m}_c) C_{p_g} T_4'}{\dot{m}_{c_{pc}} P_{ci}} \Rightarrow T_5 = \frac{\eta_{PC} \dot{m}_{c_{pc}} P_{ci} + (\dot{m}_a + \dot{m}_c) C_{p_g} T_4'}{(\dot{m}_a + \dot{m}_c + \dot{m}_{c_{pc}}) C_{p_g}} \quad (0.5)$$

$$\Rightarrow T_5 = \frac{0.9 \times 0.4 \times 43 \times 10^6 + (33 + 0.53) 1005 \times 667.7}{(33 + 0.53 + 0.4) 1150} \Rightarrow T_5 = 1056.5 \text{ K} \quad (0.5)$$



6/ La vitesse d'éjection des gaz et la force de traction, V_S et F .

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{P_5}{P_S} &= \frac{P_5}{P_4} \frac{P_4}{P_3} \frac{P_3}{P_2} \frac{P_2}{P_1} \frac{P_1}{P_E} \\ \frac{P_5}{P_S} &= \left(\frac{T_5}{T_S} \right)^{\frac{\gamma_g}{\gamma_g - 1}} \end{aligned} \right. \Rightarrow \left(\frac{T_5}{T_S} \right)^{\frac{\gamma_g}{\gamma_g - 1}} = \frac{0.95 \times 0.97 R_{CC} R_{CD}}{R_{DT}} \Rightarrow T_S = T_5 \left(\frac{R_{DT}}{0.95 \times 0.97 R_{CC} R_{CD}} \right)^{\frac{\gamma_g - 1}{\gamma_g}} \quad (0.5)$$

$$\Rightarrow T_s = 1056.5 \left(\frac{8.10}{0.95 \times 0.97 \times 10 \times 1.29} \right)^{\frac{1.33-1}{1.33}} \Rightarrow T_s = 960.5 \text{ K} \quad (0.5)$$

$$\# V_s = \sqrt{2 C p_g (T_s - T_s)} \Rightarrow V_s = \sqrt{2 \times 1150 (1065.5 - 960.5)} \Rightarrow V_s = 470.1 \text{ m/s} \quad (0.5)$$

$$\# F = \frac{\dot{W}_H}{V_E} + (\dot{m}_a + \dot{m}_c + m_{c_pc}) V_s - \dot{m}_a V_E$$

$$\Rightarrow F = \frac{5.7 \times 10^6}{196} + (33 + 0.53 + 0.4) 470.1 - 33 \times 196 \Rightarrow F = 38561.6 \text{ N} \quad (0.5)$$

$$\# \text{taux} = \frac{(\dot{m}_a + \dot{m}_c + m_{c_pc}) V_s - \dot{m}_a V_E}{F} \Rightarrow \text{taux} = \frac{(33 + 0.53 + 0.4) 470.1 - 33 \times 196}{38561.6}$$

$$\Rightarrow \text{taux} = 0.246 \quad (0.5)$$