

TD ECHANGES de CHALEUR

BTS AERONAUTIQUE



Chaque TD sera précédé d'une mise en situation avec photo, explication soignée et schéma.

TD 1 Mélange des deux flux en tuyère CFM56-5A

Enoncé : Considérer les deux débits massiques Froid et chaud de ce réacteur au point fixe.

$$q_{mch} = 62 \text{ kg/s et } q_{mfr} = 425 \text{ kg/s}$$

Questions : A : Calculer le taux de dilution de ce réacteur.

B : En prenant en compte les températures des deux flux à la sortie de la tuyère, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite. $T^{\circ}_{\text{froid}} = 228\text{K}$ et $T^{\circ}_{\text{chaud}} = 950\text{K}$

TD 2 Dilution refroidissement Chambre de combustion CFM56-5A

Enoncé : Considérer un dosage de 1/55 en combustion et une stoechiométrie de 1/15.

Questions : A : Si $T^{\circ}_{\text{flamme}} = 1750\text{K}$ et $T^{\circ}_{\text{refroidis.}} = 640\text{K}$, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite.

B = Si l'ouverture du Bleed pour la pressurisation de l'aéronef, prélève 20% de la masse d'air dans le compresseur, recalculer le nouveau dosage et la nouvelle T° d'équilibre.

TD 3 Echange thermique Kérosène huile CJ805

Enoncé : Considérer l'échangeur permettant de réaliser simultanément le refroidissement de l'huile de lubrification, et le réchauffement du kérosène provenant des réservoirs.

Le débit de kérosène est 4 fois supérieur à celui de l'huile dans l'échangeur.

Questions : A : Si $T^{\circ}_{\text{huile}} = 530\text{K}$ et $T^{\circ}_{\text{kérosène}} = 260\text{K}$, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite.

B = Si l'homogénéisation ne peut être parfaite et que le rendement de l'échange n'est que de 70%, c'est-à-dire que $IQ_{\text{échange}} = 70\% Q_{\text{précédente}}$ alors calculer les températures de chaque fluide en sortie de l'échangeur.

TD 4 Dégivrage bord d'attaque Nacelle CFM56

Enoncé : On suppose que le bord d'attaque du réacteur et son système de dégivrage libère 3kg/s de glace et que 60% de cette glace pénètre dans le flux chaud du moteur.

Cette glace à -8°C (265K) est liquéfiée puis vaporisée à 850°C lors de la combustion.

Questions : A: Si l'on souhaite maintenir la chaleur de combustion, quelle est la consommation supplémentaire de kérosène à prévoir. (rappel $q_c = 44.10^6$ J/kg)

B: Si l'on ne peut assurer cette injection de carburant supplémentaire, quelle sera la température d'équilibre avec un flux de gaz de 75 kg/s initialement à 1630K lors de la combustion.

TD 5 Pack de conditionnement d'air Airbus-Liebherr

Enoncé : Considérer l'échangeur permettant de réaliser simultanément le refroidissement de l'air de conditionnement cabine et le réchauffement de l'air de la RamAir provenant d'une écope NACA extérieure. Les deux débits sont considérés identiques.

Questions : A : Si $T_{\text{air compressur}} = 673\text{K}$ et $T_{\text{écope NACA}} = 313\text{K}$, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite.

On précise que le débit massique dans la ramair est 7 fois plus élevé que dans l'écoulement destiné à la cabine.

B = Si l'homogénéisation ne peut être parfaite et que le rendement de l'échange n'est que de 65%, c'est-à-dire que $|Q_{\text{échange}}| = 65\%Q_{\text{précédente}}$ alors calculer les températures de chaque fluide en sortie de l'échangeur.

TD 6 Dilution Echappement Miniréacteur P160

Enoncé : Le réacteur JETCAT P160 présent sur le banc d'essai, éjecte des gaz à $T = 860^{\circ}\text{C}$ avec un débit massique $q_{m_{\text{chaud}}} = 2,6$ kg/s.

Afin de garantir un refroidissement conséquent de ce flux d'échappement, il a été prévu deux admissions d'air frais additionnelles au niveau de la sortie tuyère.

Ces deux débits d'air frais sont caractérisés par :

$$Q_{m_{fr1}} = x1 \text{ kg/s à } T_{fr} = 15^{\circ}\text{C} \quad \text{et} \quad Q_{m_{fr2}} = x2 \text{ kg/s à } T_{fr} = 15^{\circ}\text{C}$$

Question : calculer la température d'équilibre T_f dans le conduit d'évacuation après homogénéisation supposée parfaite.

TD 7 Dilution hélice Pegasus et refroidissement

Enoncé : Considérer le débit massique de l'hélice dans un conduit tubulaire.

La température de ce flux froid est modifiée par le contact du moteur qui lui est chaud.

On pose comme hypothèse qu'il fournit une chaleur au flux de l'hélice égal à :

$Q_{ch} = 46\,000 \text{ J/s}$ fournie par les ailettes de refroidissement (cylindre et culasses)

Le flux hélice est quand à lui caractérisé par : $q_{m \text{ air fr}} = 4,25 \text{ kg/s}$ à $T = 288\text{K}$

Question : En prenant en compte la chaleur issue des cylindres et culasses, calculer la température d'équilibre $T_{\text{après hélices}}$ en comptant sur une homogénéisation supposée parfaite.

TD 8 Echangeur Air-Huile Liebherr

Enoncé : Considérer l'échangeur permettant de réaliser simultanément le refroidissement de l'huile de lubrification, et le réchauffement de l'air provenant d'une écope extérieure.

Questions : A : Si $T_{\text{huile}}^{\circ} = 530\text{K}$ et $T_{\text{air}}^{\circ} = 320\text{K}$, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite.

Pour cela considérer : $q_{m \text{ air froid}} = 1,8 \text{ kg/s}$ et $q_{m \text{ huile chaude}} = 0,84 \text{ kg/s}$

B = Si l'homogénéisation ne peut être parfaite et que le rendement de l'échange n'est que de 76%, c'est-à-dire que $I_{Q_{\text{échange}}} = 76\% Q_{\text{précédente}}$ alors calculer les températures de chaque fluide en sortie de l'échangeur.

TD 9 Dosage air HPTCC CFM56 (stage 5 et 9)

Enoncé : Le système HPTCC permet de réchauffer le carter turbine HP afin de le dilater et de réguler le jeu en tête de pale. Pour cela on dispose d'un doseur mélangeant deux écoulements d'air:

On considèrera la situation de mise en sécurité "Fail Safe".

Le premier flux prélevé au 5^e étage du compresseur HP $\rightarrow q_{m5} = 5,6 \text{ kg/s}$ à 430K

Le deuxième flux prélevé au 9^e étage $\rightarrow q_{m9} = 4,8 \text{ kg/s}$ à 560K

Questions : calculer la température d'équilibre T_f après homogénéisation supposée parfaite.

TD 10 Echange thermique Kérosène huile CFM56-5A

Enoncé : Considérer l'échangeur permettant de réaliser simultanément le refroidissement de l'huile de lubrification, et le réchauffement du kérosène provenant des réservoirs.

Questions : A : Si $T_{\text{huile}}^{\circ} = 630\text{K}$ et $T_{\text{kérosène}}^{\circ} = 230\text{K}$, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite.

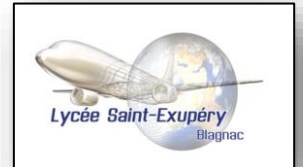
Utiliser $q_{m \text{ huile}} = 4,5 \text{ kg/s}$ et $q_{m \text{ kérosène}} = 1,4 \text{ kg/s}$

B = Si l'homogénéisation ne peut être parfaite et que le rendement de l'échange n'est que de 70%, c'est-à-dire que $I_{Q_{\text{échange}}} = 70\% Q_{\text{précédente}}$ alors calculer les températures de chaque fluide en sortie de l'échangeur.

TD 1

Chapitre Chaleur

BTS AERONAUTIQUE



Chaque TD sera précédé d'une mise en situation avec explication soignée et schéma.

TD 1 Mélange des deux flux en tuyère CFM56-5A

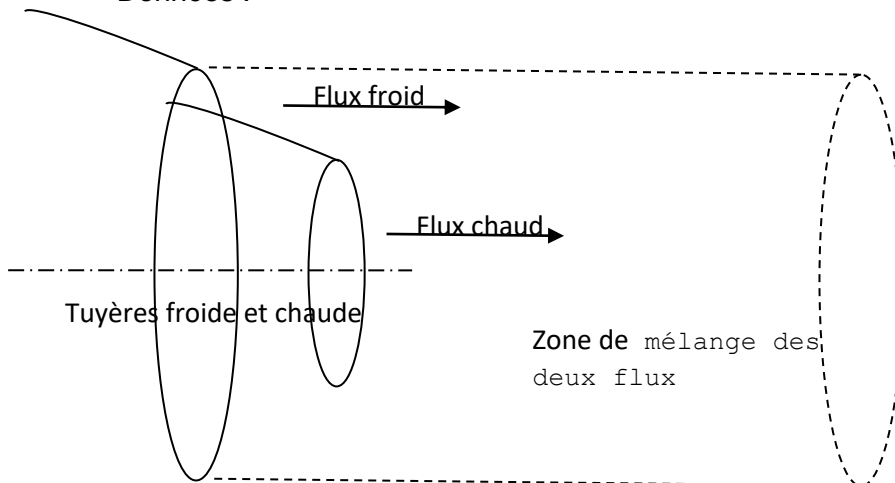
Enoncé : Considérer les deux débits massiques Froid et chaud de ce réacteur au point fixe.

$$q_{mch} = 62 \text{ kg/s} \text{ et } q_{mfr} = 425 \text{ kg/s}$$

Questions : A : Calculer le taux de dilution de ce réacteur.

B : En prenant en compte les températures des deux flux à la sortie de la tuyère, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite. $T_{\text{froid}} = 228\text{K}$ et $T_{\text{chaud}} = 950\text{K}$

Données :



On pose l'hypothèse que les turbulences à la sortie des deux tuyères sont modérées et que la dilution (le mélange) entre le flux froid et chaud est parfaite.

On suppose que la dilution s'opère sans "sortir" du cylindre en pointillé et que donc l'air ambiant extérieur ne se mélange pas encore au flux des deux tuyères. Seuls nos deux flux sont donc à traiter.

On considère un temps de fonctionnement de 1s, ce qui équivaut à écrire que le débit massique correspond à la masse.

Les conditions du mélange sont isobares : $C_{p_{\text{air}}} = 1000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

TD 2

Chapitre Chaleur

BTS AERONAUTIQUE



Chaque TD sera précédé d'une mise en situation avec explication soignée et schéma.

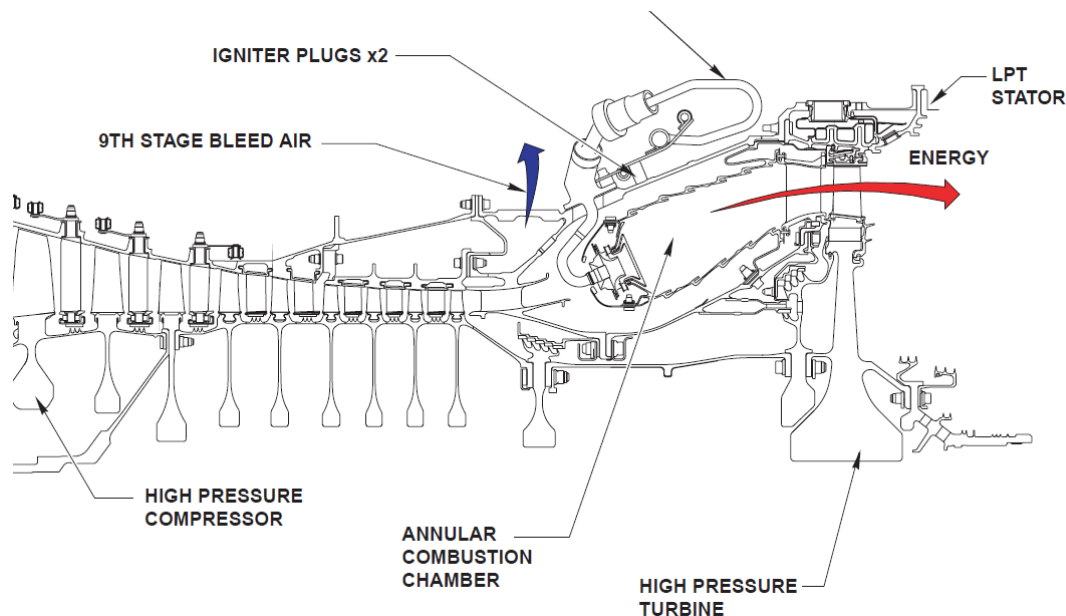
TD 2 Dilution refroidissement Chambre de combustion CFM56-5A

Enoncé : Considérer un dosage de 1/55 en combustion et une stoechiométrie de 1/15.

Questions : A : Si $T^{\circ}_{\text{flamme}} = 1750\text{K}$ et $T^{\circ}_{\text{refroidis}} = 640\text{K}$, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite.

B = Si l'ouverture du Bleed pour la pressurisation de l'aéronef, prélève 20% de la masse d'air dans le compresseur, recalculer le nouveau dosage et la nouvelle T° d'équilibre.

Données :



Rappel : La masse d'air est séparée en deux écoulements au niveau de la combustion.

Le premier correspond au 15 unités qui "brûlent" au niveau de la flamme.

Le deuxième correspond aux 40 unités restantes ($55 = 15 + 40$) qui assurent le refroidissement.

En sortie de chambre, dans le stator de turbine, les deux flux se trouvent mélangés et homogénéisés. La situation est isobare ($C_{p_{\text{air}}} = 1000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

Il vous reste à déterminer la température d'équilibre atteinte par le mélange à la sortie de la chambre.

TD 3



Chapitre Chaleur

BTS AERONAUTIQUE

Chaque TD sera précédé d'une mise en situation avec explication soignée et schéma.

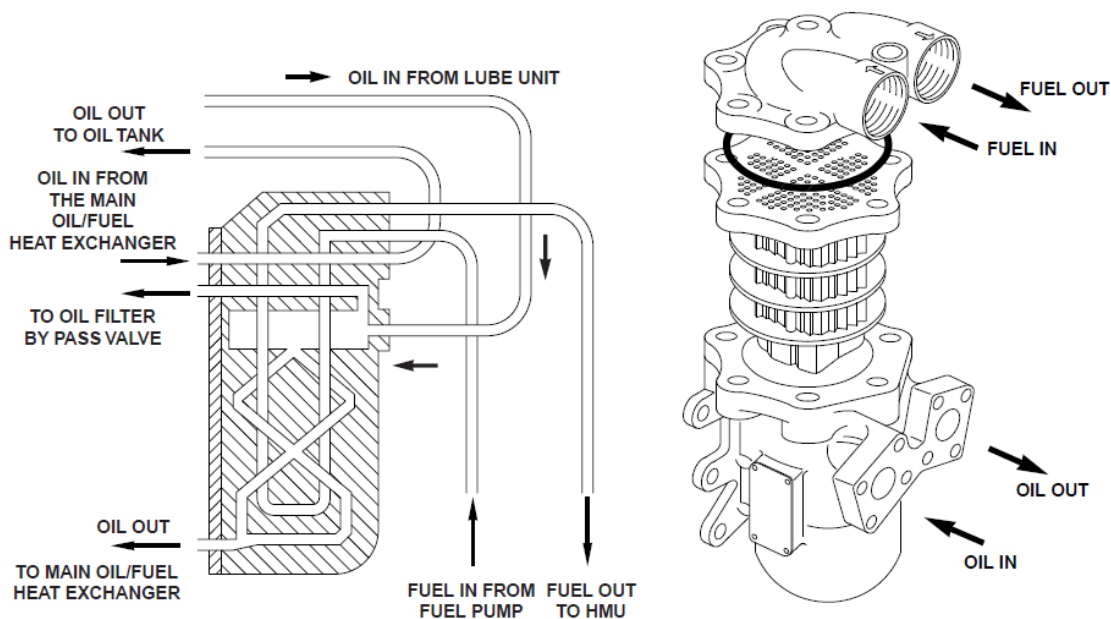
TD 3 Echange thermique Kérosène huile CJ805

Enoncé : Considérer l'échangeur permettant de réaliser simultanément le refroidissement de l'huile de lubrification, et le réchauffement du kérosène provenant des réservoirs.

Questions : A : Si $T^{\circ}_{\text{huile}} = 530\text{K}$ et $T^{\circ}_{\text{kérosène}} = 260\text{K}$, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite.

B = Si l'homogénéisation ne peut être parfaite et que le rendement de l'échange n'est que de 70%, c'est-à-dire que $IQ_{\text{échange}} = 70\%Q_{\text{précédente}}$ alors calculer les températures de chaque fluide en sortie de l'échangeur.

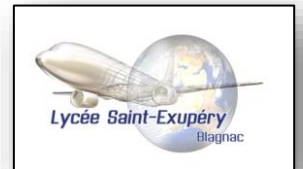
Données :



Les écoulements d'huile et de kérosène constituent les sources "chaudes" et "froides" qui échangent de la chaleur au travers de fines canalisations en aluminium. Ce matériau est choisi pour sa bonne capacité à transmettre la chaleur.

La question A permet de supposer que toute la chaleur amenée par l'huile chaude est transmise au kéro froid jusqu'à atteindre l'équilibre, alors que la question B caractérise une situation plus proche du réel ou seulement un pourcentage de cette chaleur a pu être échangée.

TD 4



Chapitre Chaleur

BTS AERONAUTIQUE

Chaque TD sera précédé d'une mise en situation avec explication soignée et schéma.

TD 4 Dégivrage bord d'attaque Nacelle CFM56

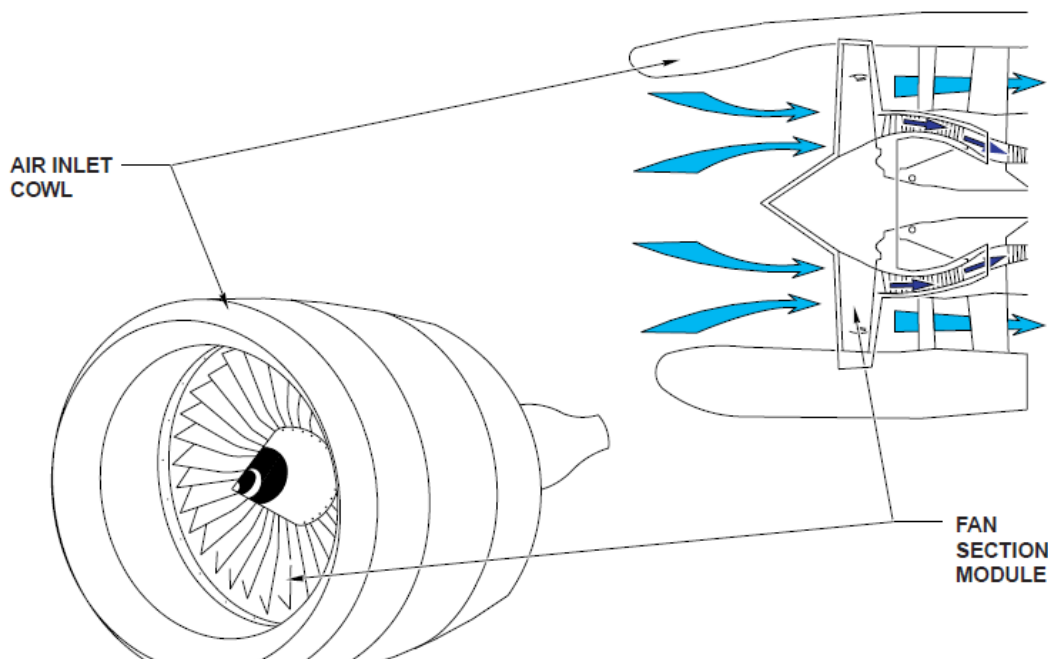
Enoncé : On suppose que le bord d'attaque du réacteur et son système de dégivrage libère 3kg/s de glace et que 60% de cette glace pénètre dans le flux chaud du moteur.

Cette glace à -8°C (265K) est liquéfiée puis vaporisée à 850°C lors de la combustion.

Questions : A: Si l'on souhaite maintenir la chaleur de combustion, quelle est la consommation supplémentaire de kérosène à prévoir. (rappel $q_c = 44.10^6$ J/kg)

B: Si l'on ne peut assurer cette injection de carburant supplémentaire, quelle sera la température d'équilibre avec un flux de gaz de 75 kg/s initialement à 1630K lors de la combustion.

Données :



Vous devez considérer la chaleur produite pour chacune des 5 phases suivantes :

- 1- Echauffement de la glace de -8°C à 0°C
- 2- Fusion complète de la glace à 0°C
- 3- Echauffement de l'eau de 0°C à 100°C
- 4- Evaporation complète de la glace à 100°C
- 5- Echauffement de la vapeur jusqu'à 850°C

Habituez-vous à effectuer tous les calculs avec des températures exprimées en K.

Rappel : La combustion de 1kg de kérosène fournit : $P_{ci} = 44.10^6$ J/kg

TD 5



Chapitre Chaleur

BTS AERONAUTIQUE

Chaque TD sera précédé d'une mise en situation avec explication soignée et schéma.

TD 5 Pack de conditionnement d'air Airbus-Liebherr

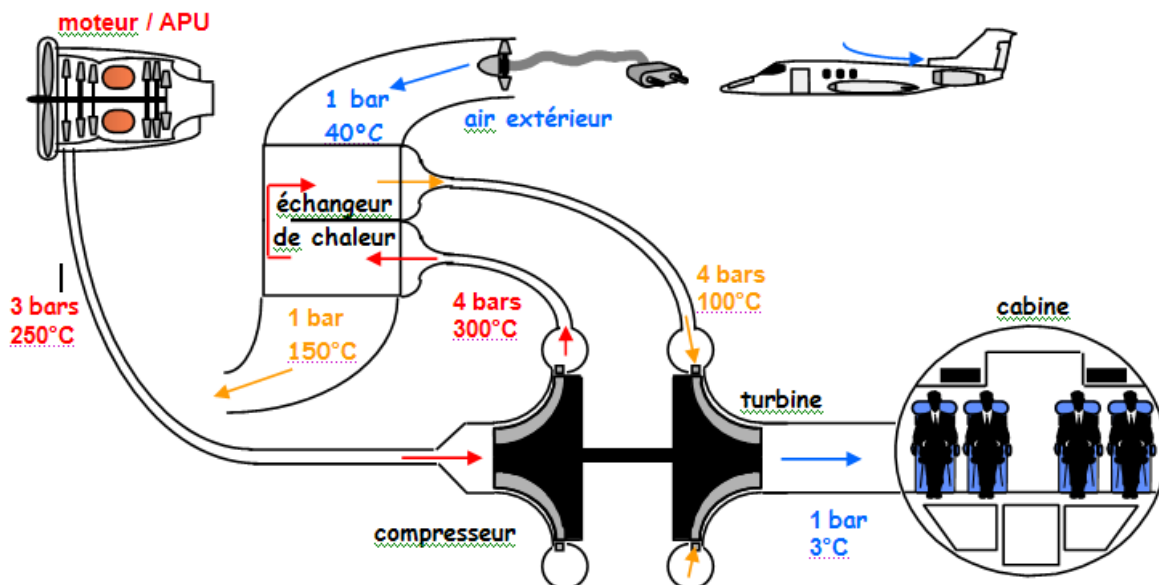
Enoncé : Considérer l'échangeur permettant de réaliser simultanément le refroidissement de l'air de conditionnement cabine et le réchauffement de l'air de la RamAir provenant d'une écope NACA extérieure.

Questions : A : Si $T_{\text{air compressur}} = 673\text{K}$ et $T_{\text{écope NACA}} = 313\text{K}$, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite.

On précise que le débit massique dans la ramair est 7 fois plus élevé que dans l'écoulement destiné à la cabine.

B = Si l'homogénéisation ne peut être parfaite et que le rendement de l'échange n'est que de 65%, c'est-à-dire que $|Q_{\text{échange}}| = 65\% Q_{\text{précédente}}$ alors calculer les températures de chaque fluide en sortie de l'échangeur.

Données :



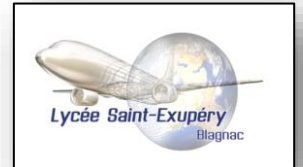
Les écoulements dans la ramair et dans le circuit "cabine" constituent les sources "froide" et "chaude" qui échangent de la chaleur au travers de fines canalisations en aluminium. Ce matériau est choisi pour sa bonne capacité à transmettre la chaleur.

La question A permet de supposer que toute la chaleur amenée par l'air chaud est transmise à l'air froid jusqu'à atteindre l'équilibre, alors que la question B caractérise une situation plus proche du réel ou seulement un pourcentage de cette chaleur a pu être échangée.

TD 6

Chapitre Chaleur

BTS AERONAUTIQUE



Chaque TD sera précédé d'une mise en situation avec explication soignée et schéma.

TD 6 Dilution Echappement Miniréacteur P160

Enoncé : Le réacteur JETCAT P160 présent sur le banc d'essai, éjecte des gaz à $T = 860^{\circ}\text{C}$ avec un débit massique $q_{m_{\text{chaud}}} = 2,6 \text{ kg/s}$.

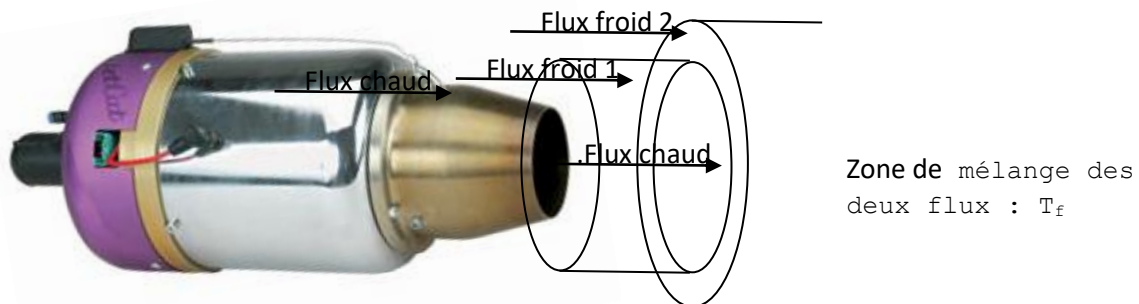
Afin de garantir un refroidissement conséquent de ce flux d'échappement, il a été prévu deux admissions d'air frais additionnelles au niveau de la sortie tuyère.

Ces deux débits d'air frais sont caractérisés par :

$$Q_{m_{fr1}} = x1 \text{ kg/s à } T_{fr} = 15^{\circ}\text{C} \quad \text{et} \quad Q_{m_{fr2}} = x2 \text{ kg/s à } T_{fr} = 15^{\circ}\text{C}$$

Question : calculer la température d'équilibre T_f dans le conduit d'évacuation après homogénéisation supposée parfaite.

Données :



Vous devrez calculer $x1$ et $x2$ en mesurant les sections (prendre un pied à coulisse ou un réglet) et en considérant une vitesse d'introduction de l'air frais de 70 m/s .

Après avoir obtenu les deux débits massiques froids, écrire l'équation d'échange de la chaleur telle que $Q_{ch} = - Q_{fr1} - Q_{fr2}$ En déduire T_f

Rappel : $\rho_{\text{air ISA}} = 1,225 \text{ kg/m}^3$

La situation est isobare ($C_{p_{\text{air}}} = 1000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

TD 7

Chapitre Chaleur

BTS AERONAUTIQUE



Chaque TD sera précédé d'une mise en situation avec explication soignée et schéma.

TD 7 Dilution hélice Pegasus et refroidissement

Enoncé : Considérer le débit massique de l'hélice dans un conduit tubulaire.

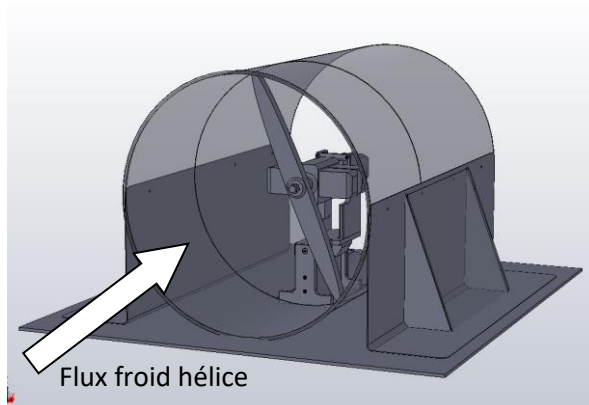
La température de ce flux froid est modifiée par le contact du moteur qui lui est chaud.

On pose comme hypothèse qu'il fournit une chaleur au flux de l'hélice égal à :

$Q_{ch} = 46\,000 \text{ J/s}$ fournie par les ailettes de refroidissement (cylindre et culasses)

Le flux hélice est quand à lui caractérisé par : $q_{m \text{ air fr}} = 4,25 \text{ kg/s}$ à $T = 288\text{K}$

Question : En prenant en compte la chaleur issue des cylindres et culasses, calculer la température d'équilibre $T_{\text{après hélices}}$ en comptant sur une homogénéisation supposée parfaite.



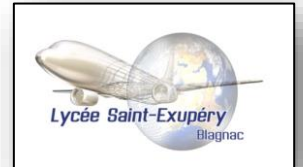
Cylindres et culasses
fournissant 26000 J/s

Remarque : La chaleur de combustion dans les cylindres doit normalement se traduire par une énergie mécanique sous forme de couple au niveau du vilebrequin.

Malheureusement le rendement est loin d'être parfait et une part de cette énergie se traduit par des pertes de chaleur. Les ailettes de refroidissement extérieures des cylindres et culasses permettent d'obtenir un échange avec la veine d'air froid circulant autour du moteur.

Il vous est demandé de déterminer la température finale du flux froid après qu'il ai "récupéré" les 46000 J/s issus du moteur.

TD 8



Chapitre Chaleur

BTS AERONAUTIQUE

Chaque TD sera précédé d'une mise en situation avec explication soignée et schéma.

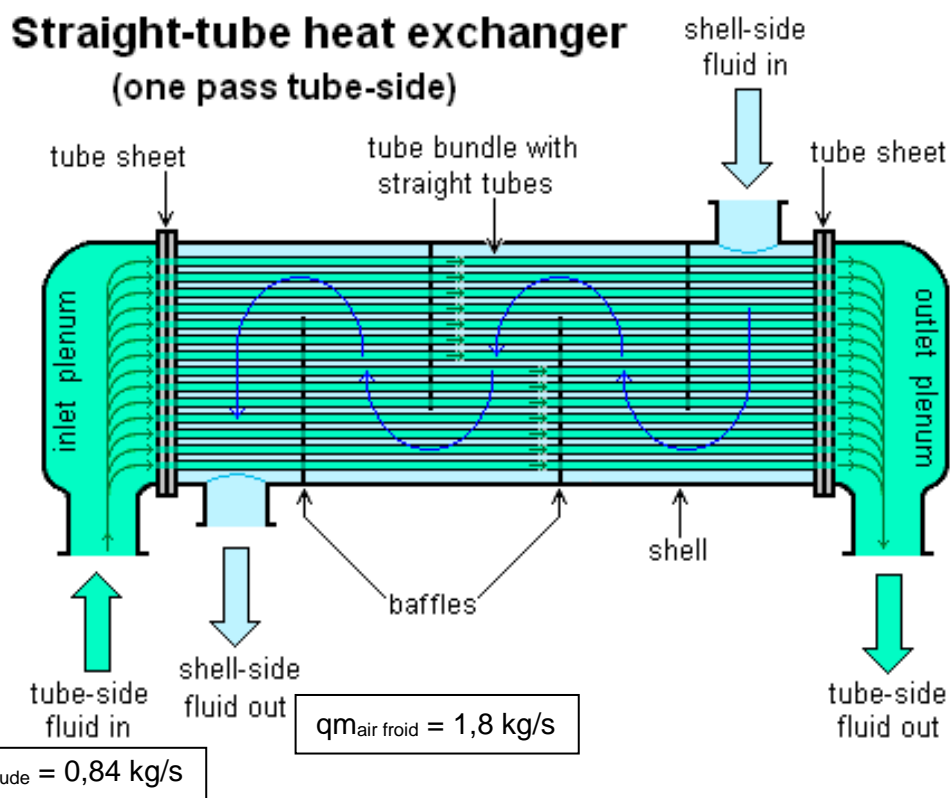
TD 8 Echangeur Air-Huile Liebherr

Enoncé : Considérer l'échangeur permettant de réaliser simultanément le refroidissement de l'huile de lubrification, et le réchauffement de l'air provenant d'une écope extérieure.

Questions : A : Si $T_{\text{huile}}^{\circ} = 530\text{K}$ et $T_{\text{air}}^{\circ} = 320\text{K}$, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite.

Pour cela considérer : $q_{m_{\text{air froid}}} = 1,8 \text{ kg/s}$ et $q_{m_{\text{huile chaude}}} = 0,84 \text{ kg/s}$

B = Si l'homogénéisation ne peut être parfaite et que le rendement de l'échange n'est que de 76%, c'est-à-dire que $IQ_{\text{échange}} = 76\% Q_{\text{précédente}}$ alors calculer les températures de chaque fluide en sortie de l'échangeur.



Ces échangeurs sont très fréquents sur les avions car les frottements mécaniques des systèmes ou l'effet joule des domaines électriques engendrent des quantités de chaleurs à évacuer non négligeables.

Une écope extérieure suffit généralement à fournir la source froide.

TD 9

Chapitre Chaleur

BTS AERONAUTIQUE



Chaque TD sera précédé d'une mise en situation avec explication soignée et schéma.

TD 9 Dosage air HPTCC CFM56 (stage 5 et 9)

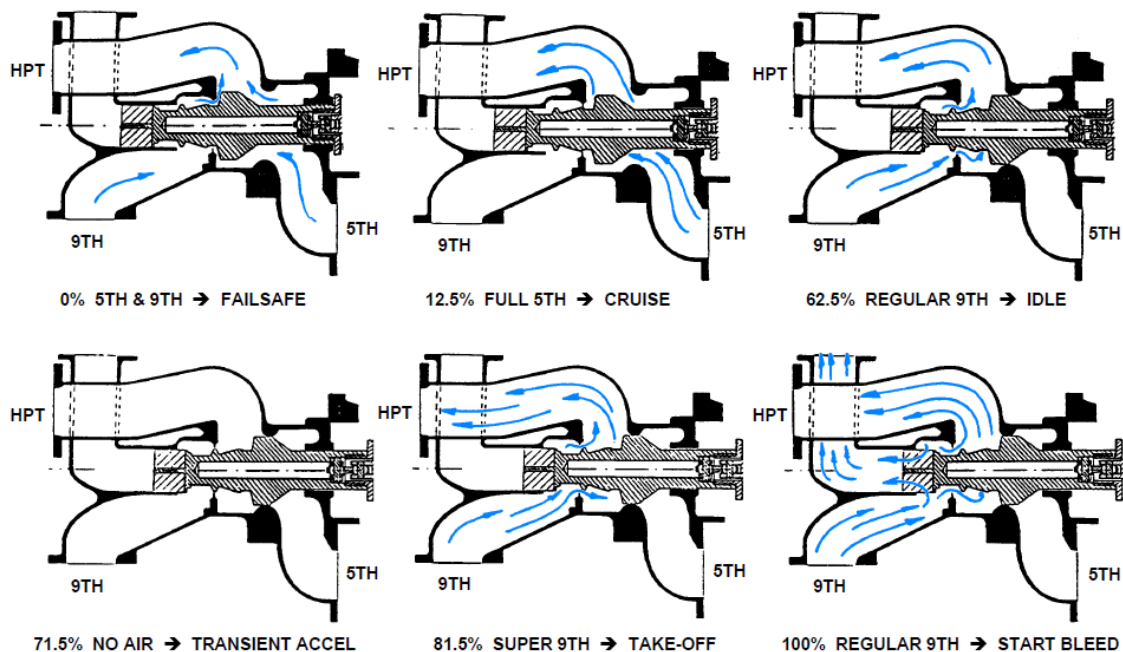
Enoncé : Le système HPTCC permet de réchauffer le carter turbine HP afin de le dilater et de réguler le jeu en tête de pale. Pour cela on dispose d'un doseur mélangeant deux écoulements d'air :

On considèrera la situation de mise en sécurité "Fail Safe".

Le premier flux prélevé au 5^e étage du compresseur HP $\rightarrow q_{m5} = 5,6 \text{ kg/s}$ à 430K

Le deuxième flux prélevé au 9^e étage $\rightarrow q_{m9} = 4,8 \text{ kg/s}$ à 560K

Questions : calculer la température d'équilibre T_f après homogénéisation supposée parfaite.



HPTCC AIR CONFIGURATIONS

Le flux sortant de ce dosage est destiné au carter turbine HP que l'on réchauffe ou refroidit afin de maîtriser le jeu en tête de pale par une dilatation thermique de ce carter.

TD 10



Chapitre Chaleur

BTS AERONAUTIQUE

Chaque TD sera précédé d'une mise en situation avec explication soignée et schéma.

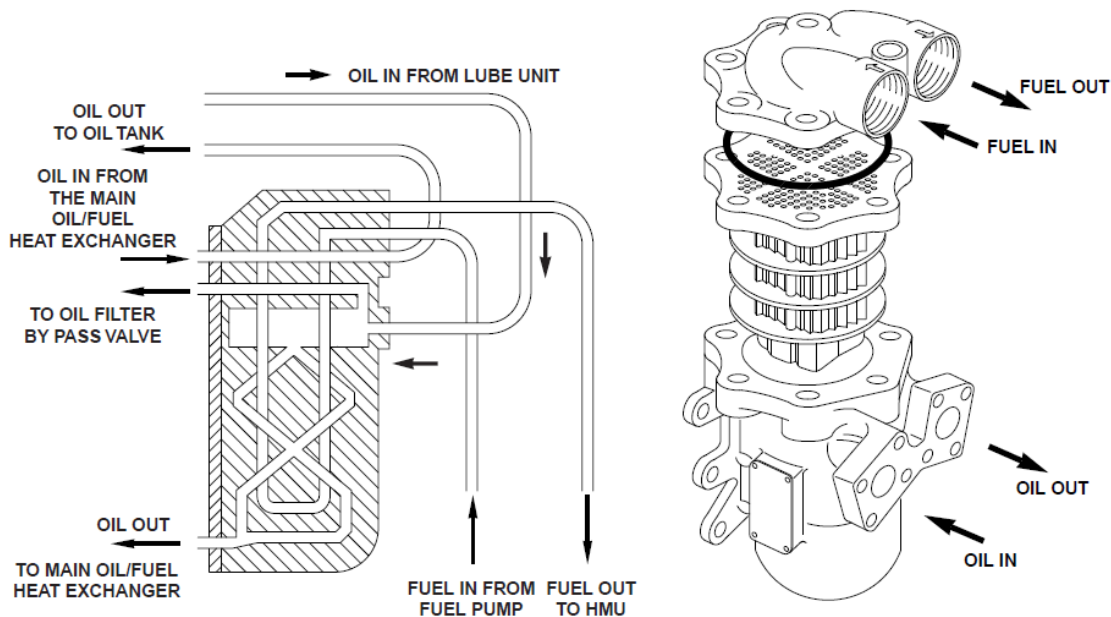
TD 10 Echange thermique Kérosène huile CFM56-5A

Enoncé : Considérer l'échangeur permettant de réaliser simultanément le refroidissement de l'huile de lubrification, et le réchauffement du kérosène provenant des réservoirs.

Questions : A : Si $T^{\circ}_{\text{huile}} = 630\text{K}$ et $T^{\circ}_{\text{kérosène}} = 230\text{K}$, calculer la température d'équilibre après homogénéisation supposée parfaite. Utiliser $q_{m_{\text{huile}}} = 4,5 \text{ kg/s}$ et $q_{m_{\text{kérosène}}} = 1,4 \text{ kg/s}$

B = Si l'homogénéisation ne peut être parfaite et que le rendement de l'échange n'est que de 70%, c'est-à-dire que $|Q_{\text{échange}}| = 70\% Q_{\text{précédente}}$ alors calculer les températures de chaque fluide en sortie de l'échangeur.

Données :



Les écoulements d'huile et de kérosène constituent les sources "chaudes" et "froides" qui échangent de la chaleur au travers de fines canalisations en aluminium. Ce matériau est choisi pour sa bonne capacité à transmettre la chaleur.

La question A permet de supposer que toute la chaleur amenée par l'huile chaude est transmise au kéro froid jusqu'à atteindre l'équilibre, alors que la question B caractérise une situation plus proche du réel ou seulement un pourcentage de cette chaleur a pu être échangée.