

Épreuve Spécifique de Sciences Industrielles

(Filière PTSI)

Mardi 18 mai 2010 de 8H00 à 12H00

ENONCE SUJET

Instructions générales :

Vous devez vérifier que les documents remis comprennent :

- | | |
|--|-----------------|
| <input type="checkbox"/> Un énoncé du sujet | pages 1 à 12 |
| <input type="checkbox"/> Les documents annexes | DOCUMENTS 1 à 5 |
| <input type="checkbox"/> Un document réponse | pages 1 à 16 |

L'emploi d'une calculatrice est interdit

Vous devez répondre aux questions en utilisant le document réponse. Aucun autre document ne sera accepté.

Attention : Vous devez impérativement inscrire votre code candidat sur chaque page du document réponse. En fin d'épreuve, vous ne devez rendre que le document réponse sur lequel vous aurez collé l'étiquette correspondant à l'épreuve spécifique de Sciences-Industrielles.

Instructions particulières :

Il est fortement conseillé au candidat de lire la totalité du sujet avant de composer. Toutes les parties sont **indépendantes** (elles peuvent être traitées dans n'importe quel ordre). La répartition du temps à consacrer à chaque partie est environ la suivante :

- | | |
|---|--------|
| <input type="checkbox"/> Lecture du sujet : | 20 min |
| <input type="checkbox"/> Partie B : | 10 min |
| <input type="checkbox"/> Partie C : | 20 min |
| <input type="checkbox"/> Partie D : | 95 min |
| <input type="checkbox"/> Partie E : | 65 min |
| <input type="checkbox"/> Partie F : | 30 min |

(Le nombre de points affectés à chaque partie sera sensiblement proportionnel à sa durée).

AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISE

Remarque importante :

Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

CHAUDIÈRE À BOIS DÉCHIQUETÉ.

A – PRÉSENTATION GÉNÉRALE

(Voir document 1 figures 1 et 2 et document 2 figure 4)

Dans le cadre du « Grenelle de l'environnement » et de la mise en place de la « taxe carbone », l'avenir du chauffage est conditionné au fait que la biomasse est neutre en dégagement de CO₂. HARGASSNER développe la technologie du chauffage au bois déchiqueté et aux granulés de bois dans le but de concilier un chauffage à la fois écologique et confortable d'utilisation.

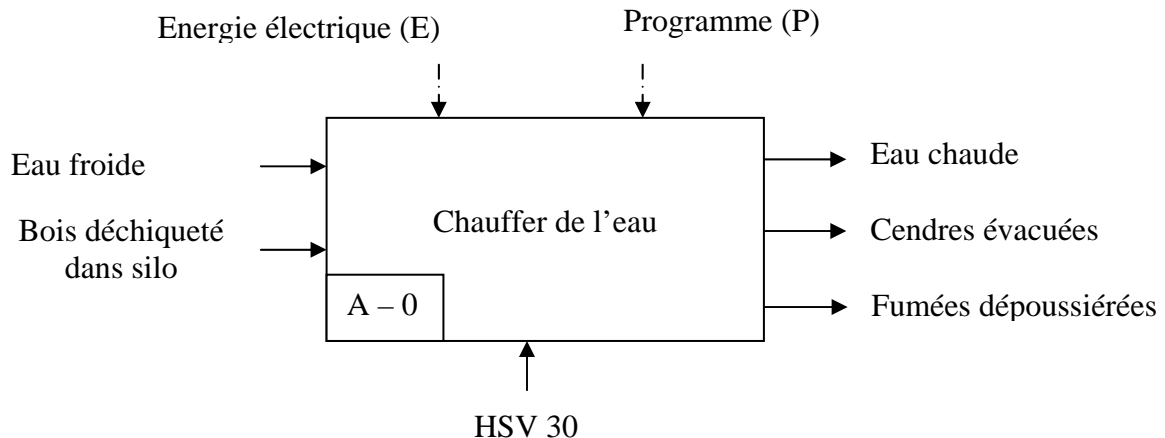
L'entreprise est devenue un leader en matière de technique innovante, de développement, de service, de qualité et de longévité dans le domaine du chauffage au bois.

L'étude porte sur la chaudière HSV 30, alimentée en bois déchiqueté, qui développe une puissance de chauffe de 25 à 35 kW.

Le bois déchiqueté est amené jusqu'à la chaudière dans un premier temps à l'aide d'un extracteur à lames puis de la vis d'extraction et enfin par la vis d'introduction. Il est alors brûlé au sein d'un foyer réfractaire développant des gaz dans la chambre de combustion. Les gaz sont dépoussiérés dans la chambre de détente avant de passer dans un échangeur tubulaire équipé de turbulateurs. Ces turbulateurs augmentent l'efficacité de l'échangeur et permettent son nettoyage automatique. L'échangeur permet le chauffage de l'eau à partir des fumées. Une vis de dépoussiérage et une vis de décendrage, associées aux turbulateurs évacuent automatiquement les cendres et les suies dans un cendrier.

B – ANALYSE DU SYSTÈME

Le diagramme **SADT A – 0** de la chaudière HSV 30 est proposé ci-dessous



Question B1 : Compléter le diagramme SADT A0 du document réponse.

C – ÉTUDE DE LA FONCTION « ALIMENTER EN BOIS »

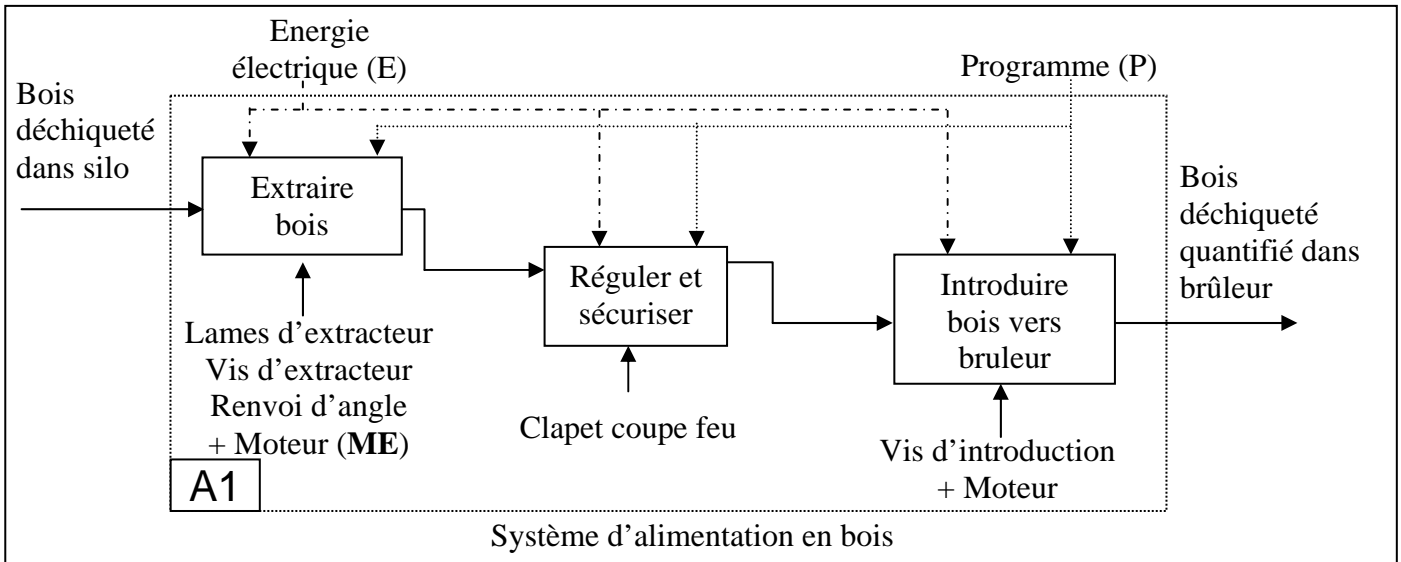
(Voir document 1 figures 1, 2 et 3)

Le cahier des charges conduit au fonctionnement suivant :

L'extracteur de silo rotatif est actionné par le moteur d'extraction (ME). Ce moteur (ME) actionne simultanément la vis d'extraction et l'extracteur à lames grâce à un renvoi d'angle (mécanisme permettant de transformer la rotation de la vis en une rotation perpendiculaire utilisable par l'extracteur). Il autorise la marche arrière de la vis d'extraction si nécessaire. (Pour information, quelque soit le sens de rotation de la vis d'extraction, l'extracteur et ses lames tournent toujours en marche avant grâce à un système mécanique à engrenage implanté dans le renvoi d'angle).

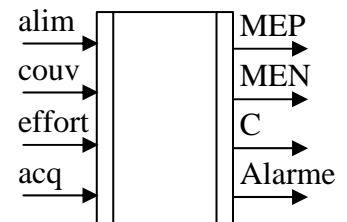
La vis d'introduction est actionnée par le moteur d'introduction.

La vis d'extraction et la vis d'introduction sont séparées par un boîtier de liaison avec un « clapet coupe feu » à fermeture automatique par manque de courant (ce système est donc *monostable*). Ce boîtier de liaison est équipé dans sa partie supérieure d'un « couvercle de sécurité » permettant de détecter le trop plein de bois grâce à un capteur. Les deux moteurs de vis sont équipés d'un contrôle d'effort qui déclenche la marche arrière automatiquement en cas de dépassement du seuil d'effort programmé.



Le graphe partiel des Entrées-Sorties relatif à cette étude est donné à titre indicatif ci-contre.

La mise en rotation dans le sens positif du moteur de la vis d'extraction (**MEP**) est commandée par la demande d'alimentation (**alim**). Cette rotation n'est possible que si le capteur du « couvercle de sécurité » (**couv**) est à l'état 1 et que le capteur d'effort (**effort**) sur le moteur n'a pas atteint le seuil programmé, il est donc à l'état 0.



La suite du fonctionnement est conditionnée par :

- Une extraction trop importante de bois provoque l'ouverture du « couvercle de sécurité », commandant uniquement l'arrêt du moteur d'extraction jusqu'à la fermeture du couvercle.
- OU : lorsque le seuil d'effort programmé est atteint sur le moteur d'extraction, celui ci tourne en sens inverse (sens négatif **MEN**) pendant 5 secondes puis se remet à tourner dans le sens positif si les conditions de fonctionnement sont vérifiées.
- OU : de plus, sans demande d'alimentation, le moteur de vis d'extraction (**MEP**) se met à l'arrêt.

Question C1 : Compléter la séquence du GRAFCET d'« alimentation en bois ».

Le cahier des charges stipule que pour des raisons de sécurité, il est nécessaire que l'actionneur du clapet coupe feu (**C**) ait le mode de fonctionnement suivant :

- Il doit être ouvert durant une alimentation normale : **C = 1.**
- Il reste ouvert lors d'une extraction trop importante : **C = 1.**
- Il doit être fermé lors de la rotation en sens inverse de la vis d'extraction : **C = 0.**

Question C2 : Compléter le GRAFCET de la question C1.

Le cahier des charges stipule que lorsque le seuil d'effort programmé est atteint 2 fois consécutives sur un intervalle de temps d'une minute, la chaudière se met en défaut (arrêt de la chaudière, la variable **alim** passe à 0) et actionne une alarme (**Alarme**). Pour permettre le redémarrage, l'utilisateur doit appuyer sur le bouton acquittement (**acq**) qui permettra la remise en fonctionnement normal de la chaudière.

Question C3 : Compléter le GRAFCET de « sécurité d'alimentation ».

D – VÉRIFICATION DE LA FONCTION « DÉPOUSSIÉRER, DÉCENDRER »

D – 1. Mise en situation.

(Voir document 2 figures 4 et 5)

Le système de décendrage nettoie la chaudière à intervalle de temps régulier. La chambre de détente permet la séparation entre les cendres volatiles et les fumées. Les cendres volatiles de dépoussiérage des fumées sont automatiquement transportées et évacuées avec les cendres de combustion grâce d'abord à la vis de dépoussiérage puis à la vis de décendrage, vers le cendrier.

Le nettoyage de l'échangeur à partir des turbulateurs fait tomber les suies sur la vis de dépoussiérage. Celle-ci évacue les suies et les poussières de fumées au dessus de la vis de décendrage. La vis de décendrage évacue les suies, les poussières et les cendres du foyer dans le cendrier. Toutes ces opérations sont réalisées à partir d'un seul motoréducteur (MD).

ETUDE DU POINT DE VUE DES MOUVEMENTS

Le but de cette partie est d'étudier la relation entre la vitesse de rotation du moteur de décendrage (MD) et la vitesse de translation des turbulateurs. En effet cette vitesse est un élément déterminant pour un nettoyage optimum de l'échangeur qui contribue au bon rendement de la chaudière.

Le cahier des charges stipule que la vitesse maximum des turbulateurs par rapport à l'échangeur soit comprise entre 0,15 m/s et 0,25 m/s.

(Voir document 2 figure 6 et document 3 figures 7 à 10)

D – 2. Étude de la relation entre la rotation du moteur et le mouvement de la tringle de commande 4.

On considère le mécanisme plan (dans le plan (\vec{x}_0, \vec{y}_0)), dans la situation proposée sur le schéma cinématique du document 3 figure 7, à l'échelle 1/3, et dans le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z})$.

- La manivelle d'entraînement **1** est mise en rotation par le motoréducteur de décendrage (MD), lié au bâti **0**, à partir d'une liaison pivot d'axe $O\vec{z}$ à la vitesse de rotation $\omega_{10} \vec{z}$, tel que l'angle $\theta_{10} = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$ et $\vec{OA} = r \vec{x}_1$.
- Le repère $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z})$ est lié à la manivelle d'entraînement **1**.
- La bielle **2** est liée à la manivelle d'entraînement **1** par une liaison pivot d'axe $A\vec{z}$.
- Le repère $R_2(A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z})$ est lié à la bielle **2**. On note l'angle $\theta_{20} = (\vec{x}_0, \vec{x}_2)$.
- L'accouplement **3** est lié à la bielle **2** par une liaison pivot d'axe $B\vec{z}$.
- Le repère $R_3(B, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z})$ est lié à l'accouplement **3**. On note $\vec{AB} = \ell \vec{y}_2$.
- L'accouplement **3** est lié au bâti **0** par une liaison pivot d'axe $C\vec{z}$.
- On note l'angle $\theta_{30} = (\vec{x}_0, \vec{x}_3)$ et $\vec{BC} = -R \vec{x}_3$.
- On note $\vec{CO} = L \vec{x}_0$.

Question D2-1 : Écrire la fermeture géométrique pour les centres de liaison O, A, B et C. En déduire une relation entre θ_{30} et θ_{10} uniquement en fonction de r, R, L et ℓ . Cette relation permettrait d'obtenir θ_{30} en fonction de θ_{10} .

Question D2-2 : Quelle méthode faudrait-il appliquer pour en déduire la relation entre la vitesse de rotation ω_{10} de la manivelle **1** par rapport au bâti **0**, et la vitesse de rotation ω_{30} de l'accouplement **3** par rapport au bâti **0** (il n'est pas demandé de calcul).

L'accouplement **3** est formé de deux bras décalés l'un de l'autre d'un angle $\alpha = (\vec{x}_3, \vec{x}_3^*)$

(**document 3 figure 7**). La tringle de commande **4** est en liaison pivot d'axe $D\vec{Z}$ avec

l'accouplement **3** au point D et tel que $\vec{CD} = d \vec{x}_3^*$.

Question D2-3 : Déterminer la vitesse du point D appartenant à l'accouplement **3** dans son mouvement par rapport au bâti **0** notée $\vec{V}_{D \in 3/0} = V_{D30} \vec{y}_3^*$ en fonction de la vitesse de rotation ω_{30} et en projection dans le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z})$.

Pour la suite, dans l'étude du mouvement simplifié, on ne tiendra pas compte de la composante sur \vec{x}_0 .

D – 3. Étude du mouvement entre la tringle de commande 4 et les turbulateurs 8 et 9.

On considère le mécanisme plan (dans le plan (\vec{y}_0, \vec{z})), **du document 3 figures 9 et 10**, dans la situation telle que modélisée schématiquement sur le document réponse, à l'échelle 1/2, dans le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z})$.

L'axe de commande **5** est mis en rotation par la tringle de commande **4**, telle que la vitesse du point E lié à l'axe de commande **5** par rapport au bâti **0** est : $\vec{V}_{E \in 5/0} = V_{E50} \vec{y}_5$.

L'axe de commande **5** est en liaison pivot avec le bâti **0** d'axe $G \vec{x}_0$.

Les plaques support **6** et **7**, sont en liaison sphérique avec l'axe de commande **5** respectivement de centre F et H.

Les turbulateurs **8** et **9** sont en liaison sphérique avec les plaques support **6** et **7** respectivement de centre I et J, et en liaison glissière avec l'échangeur lié au bâti **0** d'axe respectif $I \vec{y}_0$ et $J \vec{y}_0$.

A partir d'une étude cinématique graphique et dans la position définie sur le document réponse, donner les rapports qui existent entre $\vec{V}_{E \in 5/0} = V_{E50} \vec{y}_5$ et :

Question D3-1 : d'une part la vitesse du point I appartenant au turbulateur **8** dans son mouvement par rapport au bâti **0** $\vec{V}_{I \in 8/0} = V_{80} \vec{y}_0$;

Question D3-2 : d'autre part la vitesse du point J appartenant au turbulateur **9** dans son mouvement par rapport au bâti **0** $\vec{V}_{J \in 9/0} = V_{90} \vec{y}_0$.

Justifier les constructions.

D – 4. Étude du mouvement simplifié de la tringle de commande 4.

Nota : les deux schémas proposés dans cette partie sur le document réponse D4-1 et D4-2 définissent la géométrie du système pour un même instant, lorsque les turbulateurs se déplacent aux vitesses maximum (déterminé au cours d'une autre étude).

Les dimensions des mécanismes sont telles que :

- DE = 1 150 mm sur la tringle de commande **4** (**voir document 2 figure 6**) ;
- CD = d = 120 mm sur l'accouplement **3** ;
- EG = 92 mm sur l'axe de commande **5**.

Question D4-1 : A partir du schéma fourni à l'échelle 1/3 sur le document réponse, tracer les deux positions extrêmes du point D appartenant à l'accouplement **3** dans son mouvement par rapport au bâti **0** : D_0 et D_1 . Préciser la méthode.

Question D4-2 : En comparant la longueur de la tringle de commande **4** par rapport aux autres dimensions, quelle approximation peut-on faire quant au mouvement de la tringle de commande **4** par rapport au bâti **0**.

Question D4-3 : A partir des positions extrêmes obtenues dans la question précédente, du schéma fourni à l'échelle 1/2 sur le document réponse et de l'approximation précédente, tracer les deux positions extrêmes approximatives du point E appartenant à l'axe de commande 5 dans son mouvement par rapport au bâti 0 : respectivement E₀ et E₁.

D – 5. Étude de la relation entre la rotation du moteur et la translation des turbulateurs 8 et 9.

Dans la position du système donnée pour l'étude de cinématique graphique et les épures, la relation entre ω₃₀ et ω₁₀ est telle que ω₃₀ = K₁ ω₁₀ avec ω₁₀ = 4 rd/s, θ₃₀ = 95°, et α = 70°.

Dans les applications numériques, pour un angle compris entre 160° et 180°, on prendra son cosinus équivalent à -1.

Question D5-1 : En déduire de manière littérale la composante sur \vec{y}_0 de la vitesse de la tringle de commande 4 par rapport au bâti 0 : V₄₀ en fonction de K₁, ω₁₀, et d.

Question D5-2 : Vérifier que les valeurs absolues approchées des vitesses maximum de translation des turbulateurs 8 et 9 sont conformes au cahier des charges. Pour cela K₁ = -1/2, cette valeur ayant été obtenue à partir d'une étude annexe.

ETUDE DU POINT DE VUE DES EFFORTS.

(Voir document 2 figure 6 et document 3 figures 7 à 10)

Le motoréducteur de décendrage (MD) permet à la fois la mise en rotation de la vis de décendrage en prise directe, la mise en rotation de la vis de dépoussiérage à partir d'un système pignons chaîne, la mise en mouvement de la grille de décendrage et enfin la mise en mouvement des turbulateurs.

L'étude porte sur les actions nécessaires à la mise en mouvement des turbulateurs.

On note :

$$\{S_{i \rightarrow j}\}_P = \begin{Bmatrix} X_{i \rightarrow j} & L_{i \rightarrow j} \\ Y_{i \rightarrow j} & M_{i \rightarrow j} \\ Z_{i \rightarrow j} & N_{i \rightarrow j} \end{Bmatrix}_{(\vec{x}_n, \vec{y}_n, \vec{z}_n)}$$

le torseur des actions transmissibles associé à une liaison L_{ij} de la pièce i sur la pièce j écrit en P en projection dans la base ($\vec{x}_n, \vec{y}_n, \vec{z}_n$) ;

On suppose que :

- les liaisons sont parfaites ;
- le poids des différentes pièces est négligeable, sauf pour les turbulateurs dont le poids est inclus dans les actions définies ci-dessous.

Le nettoyage de l'échangeur se fait à partir de 4 couples de turbulateurs identiques travaillant de façon identique. Les différents couples de pièces, actions et liaisons seront différenciés par un indice k allant de 1 à 4 :

- Les 4 couples de turbulateurs transmettent au travers des plaques support 6_k et 7_k des actions que l'on considère identiques sur l'axe de commande 5.
- Les liaisons entre l'axe de commande 5, les plaques support 6_k et 7_k et les turbulateurs 8_k et 9_k seront modélisées par des liaisons sphériques.

L'équilibre des turbulateurs a permis de mettre en évidence les relations qui existent entre :

- l'effort dû au nettoyage par les turbulateurs associé au poids des turbulateurs, $\vec{F}_{8k} = -F_{8k} \vec{y}_0$, $\vec{F}_{9k} = -F_{9k} \vec{y}_0$, avec F_{8k} > 0, F_{9k} > 0 ;
- et l'action créée respectivement par les plaques support sur les turbulateurs 8_k, 9_k : $\vec{F}_{(6 \rightarrow 8)k}, \vec{F}_{(7 \rightarrow 9)k}$ avec $\|\vec{F}_{(6 \rightarrow 8)k}\| = \frac{F_{8k}}{\cos \theta_{60}}$, $\|\vec{F}_{(7 \rightarrow 9)k}\| = \frac{F_{9k}}{\cos \theta_{70}}$, telle que les deux plaques soient toujours tendues (soumises à de la traction).

D – 6. Étude de l'équilibre des plaques support 6 et 7.

On modélise le mécanisme plan (dans le plan (\vec{y}_0, \vec{z})), tel que schématisé sur le document 3 figure 9 dans le repère $R_0(G, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z})$.

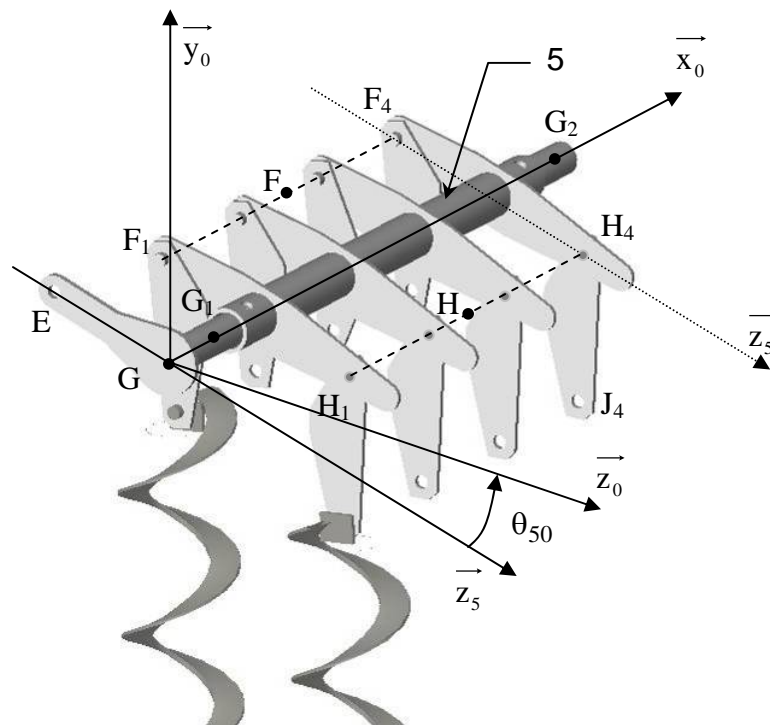
On néglige le poids des plaques support 6 et 7 devant les autres actions.

Question D6-1 : Écrire les équilibres des plaques support 6_k et 7_k pour un couple de turbulateurs. On notera l'action de la pièce i sur la pièce j pour le couple de pièces k : $\vec{F}_{(i \rightarrow j)k}$.

Question D6-2 : En déduire l'action de la plaque support 6_k $\vec{F}_{(6 \rightarrow 5)k}$ en projection sur \vec{y}_6 , ainsi que l'action de la plaque support 7_k $\vec{F}_{(7 \rightarrow 5)k}$ en projection sur \vec{y}_7 , sur l'axe de commande 5 en fonction respectivement de F_{8k} et F_{9k} .

D – 7. Étude de l'équilibre de l'axe de commande 5.

On considère le système spatial ci-dessous :



L'étude du mouvement de la tringle de commande 4 nous a permis de montrer que celle-ci restait dans une position à peu près verticale.

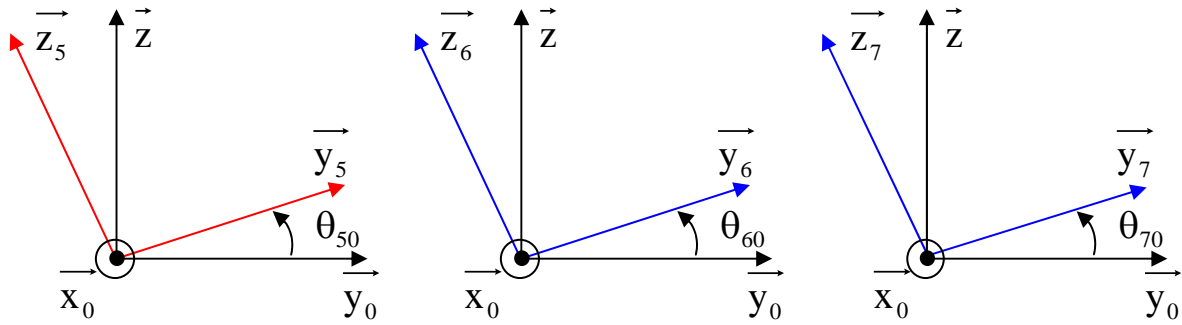
On suppose donc que l'action de la tringle de commande 4 sur l'axe de commande 5 peut être modélisée par un glisseur en E tel que : $\vec{F}_{4 \rightarrow 5} = F_{45} \vec{y}_0$.

On néglige les actions dues au poids de l'axe de commande 5 devant les autres actions.

L'axe de commande 5 est en liaison pivot d'axe $G \vec{x}_0$ par rapport au bâti 0 à partir d'une liaison sphérique en G_1 telle que $\vec{GG}_1 = \lambda \vec{x}_0$ et d'une liaison sphère cylindre en G_2 telle que $\vec{GG}_2 = \mu \vec{x}_0$.

L'axe de commande 5 est en liaisons sphériques avec :

- La tringle de commande 4 en E, tel que : $\vec{GE} = -e \vec{z}_5$;
- Le turbulateur 6_k en F_k , tel que : $\vec{GF}_k \cdot \vec{z}_5 = -f$;
- Le turbulateur 7_k en H_k , tel que : $\vec{GH}_k \cdot \vec{z}_5 = f$.



Question D7-1 : Donner les torseurs des actions transmissibles des liaisons suivantes :

- Liaison en G_1 entre le bâti 0 et l'axe de commande 5 $\{S_{0 \rightarrow 5}\}_{G_1}$
- Liaison en G_2 entre le bâti 0 et l'axe de commande 5 $\{S'_{0 \rightarrow 5}\}_{G_2}$
- Liaison en F_k entre la plaque support 6_k et l'axe de commande 5 $\{S_{6_k \rightarrow 5}\}_{F_k}$

Question D7-2 : Compléter le bilan des actions mécaniques extérieures sur l'axe de commande 5 .

On note : au point F milieu de F_1F_4 la résultante $\vec{F}_{6 \rightarrow 5} = \sum_{k=1}^4 \vec{F}_{(6 \rightarrow 5)k} = 4\vec{F}_{(6 \rightarrow 5)k} = F_{65} \vec{y}_6$;

de même : au point H milieu de H_1H_4 la résultante $\vec{F}_{7 \rightarrow 5} = \sum_{k=1}^4 \vec{F}_{(7 \rightarrow 5)k} = 4\vec{F}_{(7 \rightarrow 5)k} = F_{75} \vec{y}_7$.

Question D7-3 : A partir de l'équilibre de l'axe de commande 5 , et de la figure 9 du document 3, en déduire l'équation de moment permettant de donner la relation entre F_{45} et F_{65} , F_{75} .

Question D7-4 : En déduire l'expression de F_{45} en fonction de F_{8k} et F_{9k} .

D – 8. Étude de la transmission entre le motoréducteur de décendrage (MD) et l'axe de commande 5

On modélise le mécanisme plan dans la situation telle que schématisé sur le document réponse dans le repère $R_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z})$. Une autre étude a permis de montrer que le couple maximum transmissible par le moteur est atteint dans la position de cette figure.

On considère que l'accouplement 3 est soumis à une action verticale en D due à la tringle de commande 4 telle que $\vec{F}_{4 \rightarrow 3} = F_{43} \vec{y}_0$ avec $F_{43} = 200$ N

Question D8-1 : En déduire graphiquement $\vec{B}_{2 \rightarrow 3}$, l'action dans la liaison de la bielle 2 sur l'accouplement 3 . On prendra pour échelle de force : $1 \text{ cm} \cong 40 \text{ N}$. Justifiez la méthode.

Question D8-2 : En déduire le couple Maxi instantané que doit fournir le motoréducteur (MD) pour l'action de décendrage, dans la position proposée. Le schéma cinématique de la figure utilisée pour la question précédente étant à l'échelle $1/3$, certaines dimensions pourront être mesurées sur celui-ci.

Question D8-3 : Sachant que le couple nominal en sortie du motoréducteur est de 40 Nm quelle est la raison qui nous amène à utiliser un tel moteur ?

E – ÉTUDE PARTIELLE TECHNOLOGIQUE DE LA FONCTION « DÉPOUSSIÉRER DÉCENDRER »

(Voir document 3 figures 8 et documents 4 et 5)

La transmission de puissance du moteur de décendrage (MD) à l'accouplement 3 est partiellement définie par la figure 8 du document 3 et éventuellement par le dessin de définition de la manivelle 1 sur le document 4 à l'échelle : 1:1. La liaison encastrement de la manivelle 1 sur l'arbre de sortie du motoréducteur de décendrage (MD) est obtenue à partir de l'alésage $\varnothing 19H7$. La liaison pivot entre l'accouplement 3 et l'arbre lié au bâti 0 est réalisée par contact direct.

E – 1. Étude technologique.

Question E1-1 : Donner les ajustements nécessaires au bon fonctionnement de la liaison :

- entre l'arbre de sortie du motoréducteur de décendrage (MD) et la manivelle 1 ;
- entre l'arbre lié au bâti 0 et l'alésage de l'accouplement 3 définie sur la figure 7 du document 3.

La manivelle 1 est réalisée en S235.

L'accouplement 3 est réalisé en EN GJL 200.


Question E1-2 : Donner la signification exacte des deux matériaux précédemment définis. Justifier leur emploi.

Le dessin de définition de la manivelle 1 est donné sur le document 4, à l'échelle 1:1.

On rappelle que le couple maximum réellement transmis par l'arbre moteur est d'environ 15 Nm.

Question E1-3 : Que signifie le symbole : M10 ?

Question E1-4 : Que représente le symbole :

	$\varnothing 0,1$	A	C
---	-------------------	---	---

Question E1-5 : Donner le nom et la fonction du (des) élément(s) à implanter dans la forme désignée par M10.

E – 2. Étude de conception de la liaison entre la manivelle 1 et la bielle 2.

La manivelle 1 est entièrement définie par son dessin de définition document annexe 4. L'étude porte sur la réalisation de la liaison de type sphérique entre la manivelle 1 et la bielle 2.

Question E2-1 : Compléter le dessin du document réponse à l'échelle 1:1 (correspondant à une vue en coupe A-A du dessin de définition de la manivelle 1 permettant de définir complètement cette liaison. Indiquer obligatoirement les ajustements et jeux nécessaires au bon fonctionnement.

La production des chaudières HARGASSNER est en plein essor. Il est donc envisagé d'étudier la faisabilité de la réalisation de la manivelle 1 en moulage au sable à modèle permanent. Cette technique doit permettre d'obtenir l'axe excentré directement brut de moulage solidaire de la manivelle 1. C'est sur cet axe que sera monté, après usinage, l'alésage de la bielle 2.

Question E2-2 : Dessiner à main levée le brut de la manivelle 1 et son moule à partir de la silhouette indicative de la nouvelle pièce finie du document réponse.

- Les tracés des surépaisseurs d'usinage seront spécifiés en rouge ;
- Les tracés des angles de dépouille, si nécessaire, seront exagérés ;
- Le noyau éventuel sera colorié différemment.
- Le plan de joint sera spécifié en vert ;
- Indiquer, par une flèche bleue la direction du démoulage.

E – 3. Étude de fabrication de la manivelle 1.

La manivelle **1** (dans sa première version) est usinée à partir d'une barre étirée de section 30x30 à la tolérance h9. La cadence de fabrication est de 1 000 pièces par an.

On juge que les surfaces C et B ont une qualité suffisante pour être considérées comme finies.

On ne s'intéresse qu'à la réalisation de l'alésage $\varnothing 19H7$, de l'alésage $\varnothing 10H8$ suivi du taraudage M8 et de la partie cylindrique R48. Cet arrondi, en passant devant un capteur, sert lors du comptage du nombre de tour de décendrage (**document 3 figure 8**)

Pour des raisons de cadence et de parc machine au sein de l'entreprise, il est nécessaire de travailler d'une part sur une perceuse-aléuseuse pour réaliser l'alésage $\varnothing 19H7$ en phase 10 et d'autre part sur une fraiseuse à commande numérique pour réaliser l'alésage $\varnothing 10H8$, le taraudage M8 et de la partie cylindrique R48 en phase 20.

Question E3-1 : Phase 10 : Perceuse-aléuseuse (**document réponse page 11**)

Pour la surface repérée sur la manivelle **1** (en traits forts) :

- mettre en place les symboles d'isostatisme pour le positionnement de la pièce à usiner ;
- proposer les outils d'usinage et les noms des opérations d'usinage (dessiner les outils en position de travail) ;
- préciser les cotes fonctionnelles obtenues.

Question E3-2 : Phase 20 : Fraisage Commande Numérique (**document réponse page 12**)

Pour chacune des surfaces repérées sur la manivelle **1** (en traits forts) :

- mettre en place les symboles d'isostatisme pour le positionnement de la pièce à usiner ;
- proposer les outils d'usinage et les noms des opérations d'usinage (dessiner les outils en position de travail) ;
- préciser les cotes fonctionnelles obtenues.

E – 4. Étude de conception de la liaison entre la bielle 2 et l'accouplement 3.

La transmission de puissance du moteur de décendrage aux turbulateurs est réalisée à partir du système 4 barres précédemment étudié. Pour son bon fonctionnement il est nécessaire que l'entraxe sur la bielle **2** soit réglable. Cette bielle **2** a été obtenue à partir d'un rond de $\varnothing 8$ soudé sur un plat de 20x5.

Cette étude est à réaliser en complétant le dessin du document réponse à l'échelle 1:1 correspondant à une vue en coupe C-C du dessin donné à l'échelle 1:2 sur le document 5.

Question E4-1 : Concevoir la liaison d'encastrement réglable entre la tige soudée sur le corps de bielle **2** et la chape.

Question E4-2 : Concevoir la liaison pivot entre la chape de la bielle **2** et l'accouplement **3**. Indiquer obligatoirement les ajustements et jeux nécessaires au bon fonctionnement pour les deux questions.

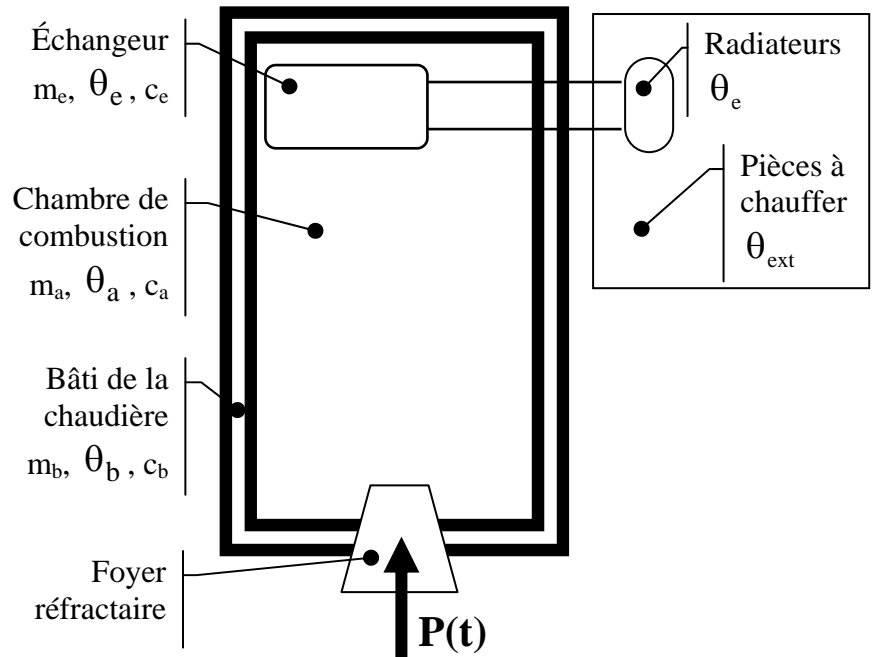
F – ÉTUDE DE LA FONCTION « CHAUFFER L'EAU »

L'étude porte sur la montée en température de l'eau qui sert à chauffer les pièces au travers de radiateurs. Cette température est obtenue à partir d'une puissance calorifique fournie par le bois brûlé au niveau du foyer réfractaire de la chaudière.

F – 1. Modélisation théorique de la chaudière.

On considère que :

- $p(t)$ est la puissance calorifique en Watt fournie par le bois brûlé au niveau du foyer réfractaire. Elle permet la montée en température du bâti de la chaudière.
- L'air situé dans la chambre de combustion permet de monter à la température $\theta_e(t)$ l'eau située dans l'échangeur.
- l'eau chaude, au travers des radiateurs permet de chauffer les pièces à une température $\theta_{ext}(t)$.



On note :

- $\theta_b(t)$ la température du bâti de la chaudière ;
- m_b la masse du bâti à monter en température ; $m_b = 200\text{kg}$
- c_b la capacité calorifique massique du bâti ; $c_b = 500\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $\theta_a(t)$ la température de l'air dans la chambre de combustion ;
- m_a la masse de l'air à monter en température ; $m_a = 2\text{kg}$
- c_a la capacité calorifique massique de l'air ; $c_a = 700\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $\theta_e(t)$ la température de l'eau dans l'échangeur et les radiateurs ;
- m_e la masse de l'eau à monter en température dans l'échangeur ; $m_e = 50\text{kg}$
- c_e la capacité calorifique massique de l'eau ; $c_e = 4000\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $\theta_{ext}(t)$ la température ambiante des pièces à chauffer.

Le principe de conservation de l'énergie conduit à une modélisation par les équations différentielles suivantes :

$$\textcircled{1} : m_b c_b \frac{d\theta_b(t)}{dt} + K_{ab} [\theta_b(t) - \theta_a(t)] = p(t)$$

$$\textcircled{2} : m_a c_a \frac{d\theta_a(t)}{dt} + K_{ae} [\theta_a(t) - \theta_e(t)] = K_{ab} [\theta_b(t) - \theta_a(t)]$$

$$\textcircled{3} : m_e c_e \frac{d\theta_e(t)}{dt} + K_{ae} [\theta_e(t) - \theta_{ext}(t)] = K_{ae} [\theta_a(t) - \theta_e(t)]$$

Avec :

K_{ab} la conductance thermique entre le bâti et l'air dans la chambre de combustion ;

$$K_{ab} = 40 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

K_{ae} la conductance thermique entre l'air et l'eau au travers de l'échangeur ou des radiateurs.

$$K_{ae} = 400 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

On suppose que le corps de chauffe est parfaitement isolé de l'extérieur.

Les transformées de Laplace seront notées : $\mathcal{L}[\theta_i(t)] = T_i(p)$ et $\mathcal{L}[p(t)] = P(p)$.

Question F1-1 : En supposant que les conditions initiales sont nulles (conditions de Heaviside), donner dans le domaine de Laplace, la transformée des équations différentielles précédentes.

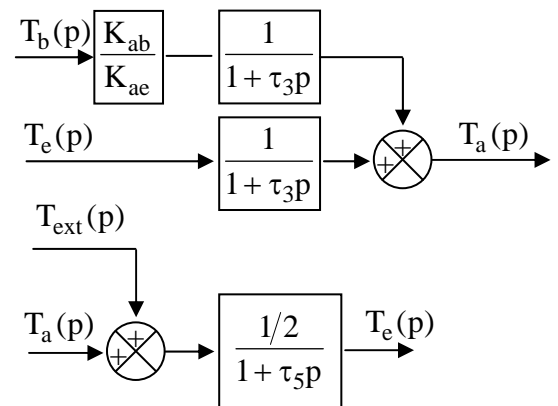
Question F1-2 : Exprimer $T_b(p)$ en fonction de $T_a(p)$ et de $P(p)$ en faisant apparaître les variables m_b , c_b et K_{ab} et mettre $T_b(p)$ sous la forme $T_b(p) = H_1(p)T_a(p) + H_2(p)P(p)$.

Préciser l'ordre du système défini par la fonction de transfert $H_1(p)$, ainsi que, littéralement, ses caractéristiques.

Calculer la valeur numérique approchée de τ_1 , la constante de temps de ce système.

Compléter le schéma bloc du document réponse en n'utilisant que les variables K_{ab} et τ_1 .

Dans la suite de l'étude, on suppose que K_{ae} est très grand devant K_{ab} , ainsi le schéma bloc ayant pour entrées $T_b(p)$ et $T_e(p)$ et pour sortie $T_a(p)$ peut se mettre sous la forme suivante :



Question F1-3 : Tracer, sous forme de schéma bloc, la fonction de transfert du système global ayant pour entrée $P(p)$, pour sortie $T_e(p)$ et comme perturbation $T_{ext}(p)$. A l'intérieur des blocs, on ne fera apparaître que les paramètres suivants : K_{ab} , K_{ae} , τ_1 , τ_3 et τ_5 .

Placer sur ce schéma bloc les grandeurs $T_b(p)$, $T_a(p)$.

F – 2. Réponse de la chaudière à partir d'un modèle simplifié.

A partir des résultats obtenus précédemment, on peut considérer que : $K_{ab} \ll K_{ae}$, $\tau_3 \ll \tau_5$ et que $\tau_3 \ll \tau_1$. De ce fait, dans la suite de cette étude, on pourra utiliser la fonction de transfert simplifiée :

$$\text{simplifiée : } H(p) = \frac{T_e(p)}{P(p)} = \frac{1}{400(1 + 2500p)(1 + 500p)}$$

On considère que le corps de chauffe de la chaudière est soumis à un échelon de puissance de chauffe $p(t) = P_0 \cdot u(t)$ où $u(t)$ est la fonction causale, avec $P_0 = 10 \text{ kW}$.

Question F2-1 : Calculer, à partir de ce modèle simplifié, les valeurs initiales et finales prévisibles pour les températures de l'eau $\theta_e(t)$, préciser les pentes à l'origine et en régime permanent.

Question F2-2 : Tracer, sur la figure du document réponse, l'allure de la réponse $\theta_e(t)$ à une entrée échelon de puissance de 10 kW. Faire figurer sur le graphique tous les éléments remarquables de la réponse.