

CONCOURS INTERNE DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGRÉGÉS

SECTION GÉNIE ÉLECTRIQUE

DEUXIÈME ÉPREUVE D'ADMISSION

Option B : ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

BAIN DE TREMPE: SUJET 1

Ce sujet comporte deux parties :

- ➔ une expérimentation imposée (durée maximale 4 heures),
- ➔ une séquence pédagogique à caractère expérimental, proposée et réalisée par le candidat (durée maximale 3 heures).

Ces deux parties seront rédigées sur des copies différentes et clairement repérées.

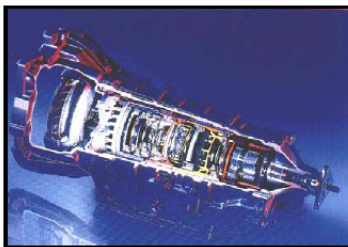
- ➔ La rédaction des comptes rendus mettra clairement en évidence les principes, méthodes et modes opératoires retenus en dégagant les concepts auxquels ils se rattachent.

ÉTUDE D'UN BAIN DE TREMPE

LE CONTEXTE INDUSTRIEL :

Le **four de type « AICHELIN »** est utilisé dans la société **GENERAL MOTORS** à Strasbourg. Il permet de réaliser des opérations de traitement thermique sur les pignons d'engrenage utilisés dans les différents produits fabriqués (boîtes de vitesses, transmissions automatiques 5 rapports à pilotage électronique...).

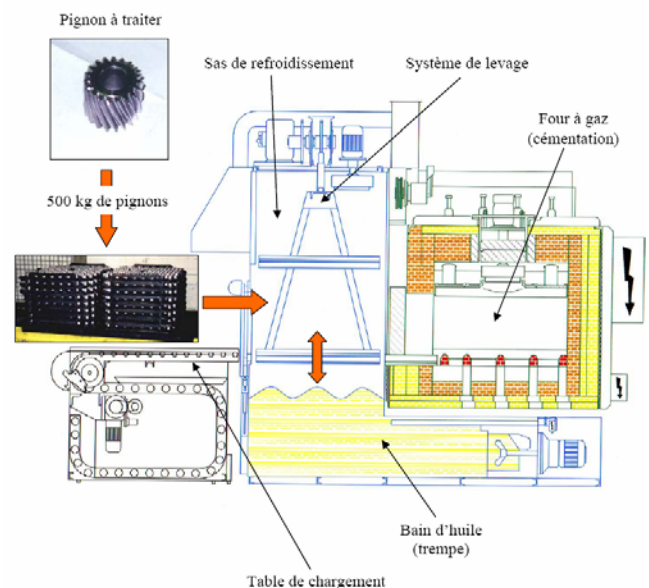
VUE EN COUPE DU FOUR « AICHELIN »



Transmission automatique 5L40-E



Four « AICHELIN »



Ces opérations sont pratiquées dans le but d'augmenter la résistance à la rupture et la dureté d'une pièce en acier (résilience).

Le cycle de traitement thermique est le suivant :

- **Cémentation** : apport de carbone en surface par réaction chimique,
- **Trempe** : refroidissement brutal par immersion dans l'huile pour durcir la pièce,
- **Revenu de détente** : supprimer les contraintes provenant du changement de structure de l'acier lors de la trempe.

Cycle de fonctionnement du four

- Chargement des plateaux de pièces à traiter,
- Cémentation à 870 °C / 240 mn dans le four à gaz,
- Trempe à 160 °C / 15 mn dans le bain d'huile,
- Egouttage des pièces pendant 5 mn dans le sas,
- Déchargement des plateaux.

CARACTÉRISTIQUES DU BAIN DE TREMPE A HUILE

La chauffe du bain est assurée par deux groupes de thermoplongeurs triphasés associés à des unités de puissance de type gradateur triphasé.

Lors de la trempe, l'immersion des 500 kg de pièces d'acier à 870°C dans le bain d'huile doit permettre de faire chuter leur température à 160°C en environ 15 minutes. Cette durée de trempe n'est possible que grâce à la mise en œuvre d'un échangeur de chaleur huile/eau à courants parallèles (anti-méthodique).

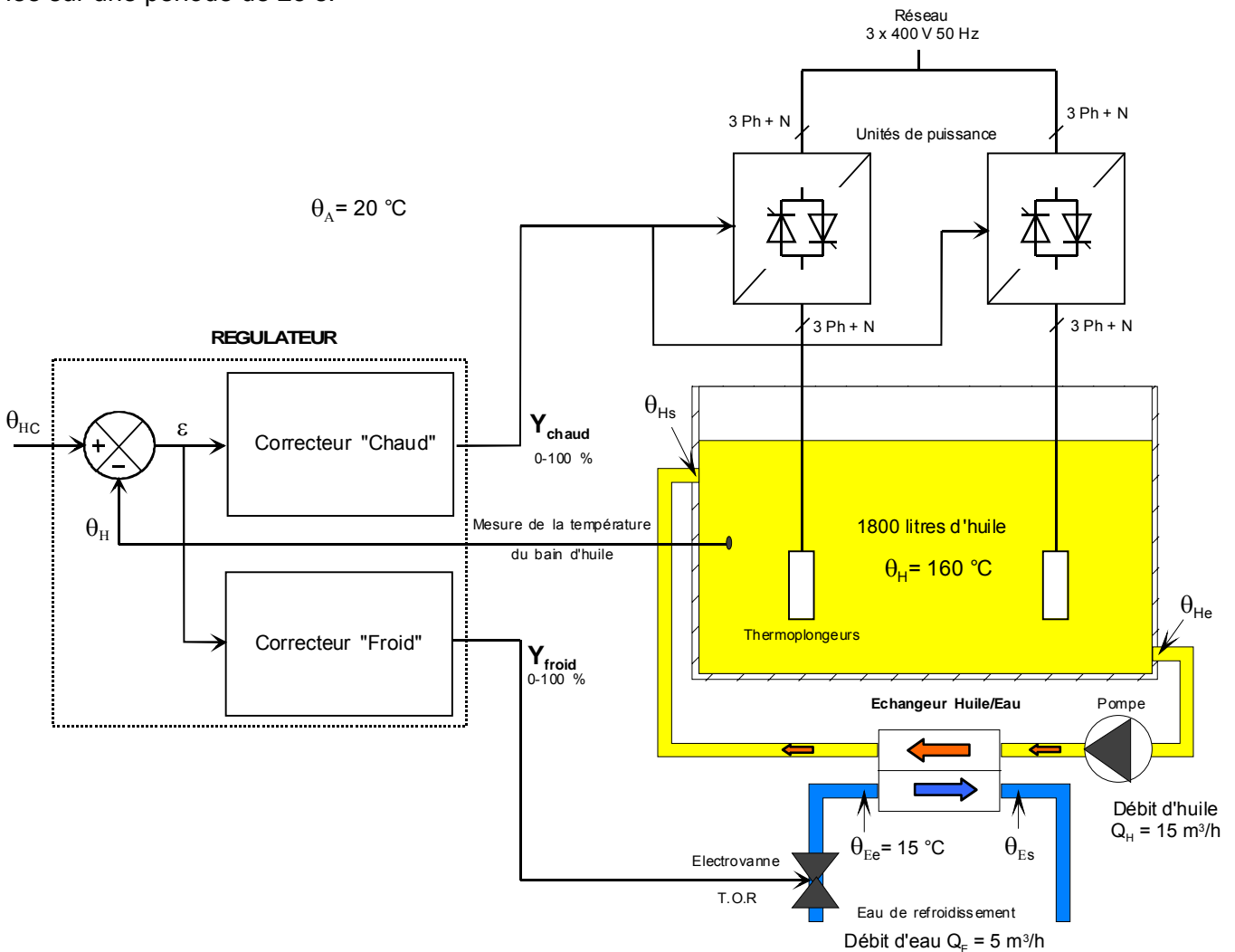
Le débit d'eau est de $Q_E = 5 \text{ m}^3/\text{h}$. Le débit d'huile est de $Q_H = 15 \text{ m}^3/\text{h}$. La température de l'eau à l'entrée de l'échangeur est de $\theta_{Ee} = 15^\circ\text{C}$.

La pompe d'huile fonctionne en permanence et assure un brassage de l'huile.

La température de l'huile est mesurée par une sonde de type thermocouple K.

Un régulateur de type « chaud-froid » assure la régulation de la température du bain.

La sortie chaude est de type 4-20 mA, et la sortie froide est de type Tout Ou Rien (T.O.R) modulée sur une période de 25 s.

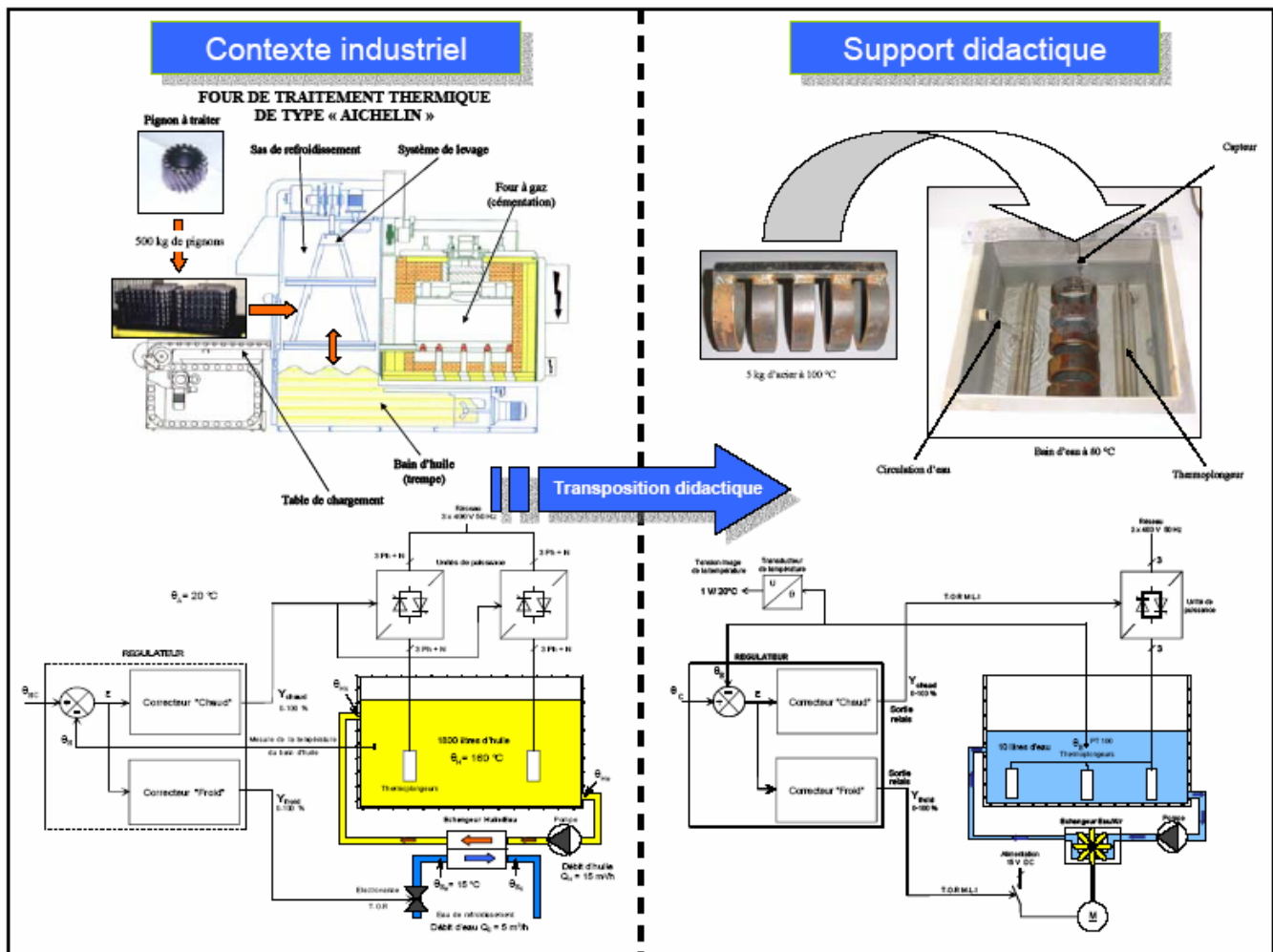


TRANSPPOSITION DIDACTIQUE :

L'opération de trempe du four industriel est transposée sur un support didactique par l'immersion d'une pièce métallique préchauffée, dans un bac rempli d'eau dont la température est régulée.
Le refroidissement du bain est assuré par un échangeur air / eau.

Caractéristiques principales du système didactique :

- Bain d'eau :
 - o Volume total : environ 9 litres,
 - o Chaleur massique : $C_{p \text{ eau}} = 4\ 180 \text{ J/kg.K}$.
- Circulation de l'eau : pompe 5 litres/min,
- Refroidissement de l'eau : échangeur air / eau,
- Thermoplongeurs : $3 \times 2 \text{ kW}$,
- Modulateur d'énergie : 2 contacteurs statiques monophasés,
- Capteur de température de type PT 100
- Régulateur : automate programmable de type TSX 37(Schneider) ou CPU 315 (Siemens) :
 - o Mesure de la température : entrée analogique pour sonde PT100,
 - o Sorties chaude et froide : modulées en M.L.I.
 - o Sortie « recopie mesure » : $1 \text{ V} / 10 \text{ }^\circ\text{C}$,
- Trempe : pièce d'acier de 5 kg préchauffée à $100 \text{ }^\circ\text{C}$ sur une plaque de cuisson à induction.
Chaleur massique de l'acier : $C_{p \text{ acier}} = 500 \text{ J/kg.K}$



PREMIÈRE PARTIE : TRAVAUX PRATIQUES (4 HEURES)

CAHIER DES CHARGES

PERFORMANCES ATTENDUES DU SYSTÈME :

- Température du bain : $\theta_c = 40 \text{ °C}$,
- Précision en régime permanent : **erreur statique nulle**,
- Premier dépassement en réponse indicielle et durant une opération de trempe : **< à 5 %**.

1 - PARTIE THÉORIQUE PRÉPARATOIRE – 1 h

Modélisation du système :

1.1 – Établir le schéma thermique équivalent au bain (par analogie électrique), système du 1^{er} ordre. Repérer sur ce schéma :

- la puissance P nécessaire à l'élévation de la température du bain,
- l'élévation de température $\Delta\theta$,
- la température du bain θ_b et la température ambiante θ_a .

1.2 - Établir l'équation différentielle régissant le fonctionnement du bain soumis à un échelon de puissance P . Résoudre cette équation, afin d'établir la loi d'évolution temporelle de la température du bain. Déterminer l'expression sa valeur finale en régime permanent.

1.3 - Déterminer l'ordre de grandeur de la capacité thermique du bain C_{th} .

En déduire le temps de montée en température approximatif du bain soumis à un échelon de puissance maximale (température initiale de 20 °C).

1.4 - Établir l'équation différentielle régissant le fonctionnement du bain au cours d'un refroidissement ($P = 0$, température initiale θ_i). Résoudre cette équation, afin d'établir la loi d'évolution temporelle de la température du bain.

1.5 - On dispose d'un régulateur de type T.O.R (Tout Ou Rien). Représenter l'allure de l'évolution de la température du bain et de la sortie du régulateur à partir d'une température initiale de 20 °C .

Proposer une méthode d'identification permettant de déterminer :

- la capacité thermique et la résistance thermique du bain, ainsi qu'un éventuel retard.

Modélisation de la trempe :

1.6 – Proposer un schéma thermique équivalent correspondant à l'immersion de la pièce dans le bain. Établir l'allure de la température du bain lors d'une trempe (sans action froide).

Modélisation de l'échangeur :

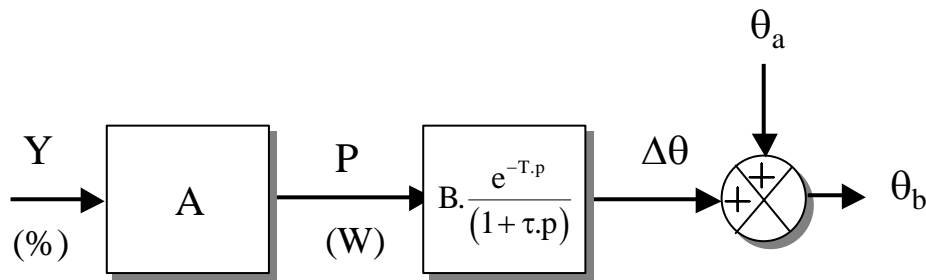
1.7 – Proposer sur le schéma thermique équivalent, une modélisation caractérisant l'effet de l'échangeur de chaleur air/eau. Établir l'allure de la température du bain lors d'une trempe avec l'action froide en service.

2 - PARTIE PRATIQUE – 3 h

ACTION FROIDE A L'ARRÊT :

Modélisation du système :

2.1 – Procéder aux essais et mesures nécessaires à l'identification du modèle équivalent du système à réguler dont le schéma bloc est donné ci-après :



En déduire le volume d'eau total du système.

2.2 – Établir les diagrammes de Bode correspondant.

Régulation proportionnelle du système :

2.3 – Proposer une correction de type proportionnelle pour obtenir une marge de phase de 50° . Valider vos réglages par une mesure. Commenter les résultats obtenus.

Régulation Proportionnelle et Intégrale du système :

2.4 – Proposer un réglage pour une correction de type proportionnelle et intégrale (structure P.I. série). Appliquer ces valeurs dans le programme automate. Valider vos réglages par une mesure. Commenter les résultats obtenus.

Opération de trempe :

2.5 – On immerge une pièce d'acier de 5 kg portée à 100°C , dans le bain à 40°C . Relever l'évolution de la température. Commenter.

Dialogue homme machine :

2.6 - Vous disposez d'un pupitre opérateur multi plateforme, et de son logiciel de programmation. On veut implanter une vue contenant un afficheur de courbe pour visualiser l'évolution de la température sur 10 min et deux afficheurs l'un pour afficher ou modifier la consigne l'autre pour afficher la température, rechercher les mots contenant ces valeurs dans le programme de l'automate et réaliser la programmation de cette vue.

DEUXIÈME PARTIE : EXPLOITATIONS PEDAGOGIQUES (3 heures)

Contexte choisi pour l'exploitation pédagogique :

Opération de trempe lors du traitement thermique des métaux.

Support technique industriel : **four Aichelin** de la société GENERAL MOTORS

TRAVAIL DEMANDÉ :

En rapport avec le contexte proposé,

- Rédiger le texte d'un sujet de travaux pratiques se référant au programme de BTS électrotechnique, avec comme objectifs : « *Mettre en œuvre sur le système didactique proposé, une correction de type PID au moyen d'un automate industriel, en utilisant un bloc fonction prédéfini* ».

Vous devez :

- Procéder aux essais et aux mesurages demandés par votre T.P., réaliser les exploitations et énoncer les conclusions attendues de la part des élèves.
- Rédiger, en 10 lignes maxima, une synthèse sur le T.P. proposé.