

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la  
Recherche Scientifique et de la Technologie



الجمهورية التونسية  
وزارة التعليم العالي  
والتكنولوجيا

المناظرات الوطنية للدخول  
إلى مراحل تكوين المهندسين  
دورة 2009

Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs  
Session 2009

Concours Mathématiques et Physique & Physique et Chimie  
Epreuve de Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Date : Vendredi 05 Juin 2009

Heure : 8 H

Durée : 3 H

Barème : Partie A : 3 points

Partie B : 11 points

Partie C : 6 points.

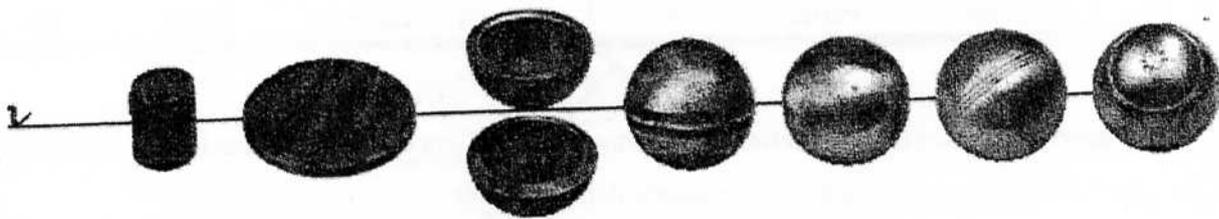
- L'épreuve comporte trois parties : A-Technologie de Conception, B-Mécanique et C-Automatique.
- Le document remis au candidat comporte deux dossiers :  
« **Présentation, Données et Hypothèses** » & « **Document Réponse** ».
- Aucun document n'est autorisé.
- L'utilisation des calculatrices de poche non programmables est autorisée.
- Les différentes parties sont indépendantes et doivent être traitées sur le document réponse.
- Un seul dossier document réponse est fourni au candidat et doit être rendu en totalité, même sans réponses, à la fin de l'épreuve. Le renouvellement de ce dossier est interdit.

## DOSSIER

### PRESENTATION, DONNEES ET HYPOTHESES

Ce dossier comporte 10 pages numérotées de 1 à 10

- **Présentation** : pages 1 à 3
- **Données et hypothèses Partie B** : pages 4 et 5
- **Données et hypothèses Partie C** : pages 6 à 10.



## FABRICATION DES BOULES DE PETANQUE

### Présentation

La fabrication des boules de pétanque doit répondre aux exigences d'un cahier de charge technique élaboré par la Fédération Internationale de Pétanque et de Jeu Provençal (FIPJP). Il exige entre autres un diamètre de 90 à 110mm, un poids de 700 à 1300g et une dureté entre 35 et 70 unités Rockwell (HRC).

Les boules sont généralement fabriquées en acier inoxydable ou en acier au carbone riche en chrome et molybdène avec un traitement de surface approprié comme le zingage, le nickelage et le chromage noir.

Depuis la fabrication de la première boule de pétanque en acier en 1927, le principe de base de fabrication n'a pas évolué mais l'arrivée de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies a permis l'industrialisation de la boule de pétanque et l'amélioration de ses propriétés physiques. Une ligne de production industrielle de ces boules est constituée de :

- **Une cisaille** : qui permet le **cisailage des lopins** à partir des barres cylindriques ;



Figure 1 : (a) Barres d'acier en stock et (b) Lopins.

- **Unité de forgeage** : qui permet d'**aplatir les lopins**, chauffés à plus de 1000°C, en galette sous une pression voisine de 800T;

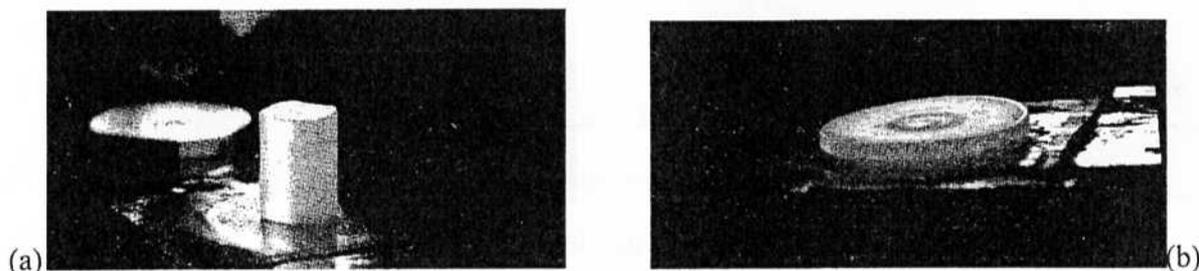


Figure 2 : (a) Lopins chauffés avant forgeage et (b) Lopins après forgeage.

- **Unité d'emboutissage** : permettant d'obtenir des coquilles parfaitement régulières ;

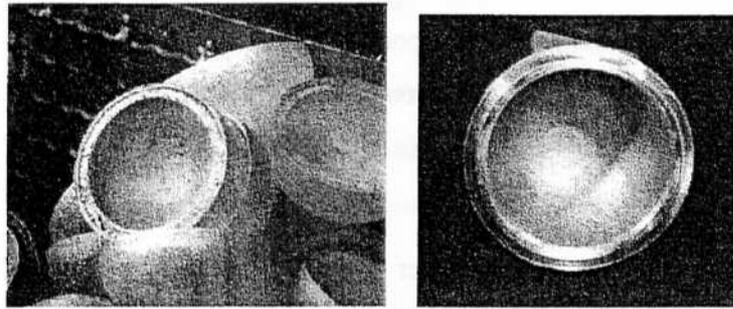


Figure 3 : Demi-boules (coquilles) obtenues par emboutissage.

- **Unité de soudage** : qui permet d'assembler les coquilles deux par deux pour obtenir la première mouture (version) d'une boule;

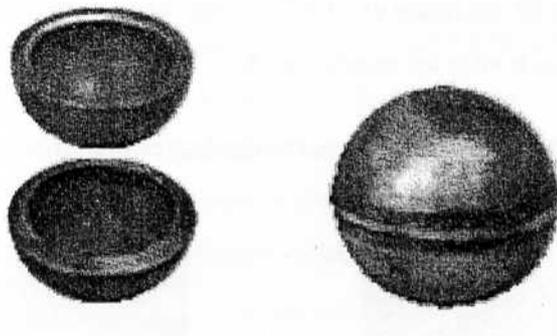


Figure 4 : Demi-boules (a) avant soudage (b) après soudage.

- **Unité de tournage** : permet d'usiner la boule obtenue : enlever les traces de soudure, effectuer l'équilibrage, obtenir le diamètre et le poids prévus et faire les gravures.

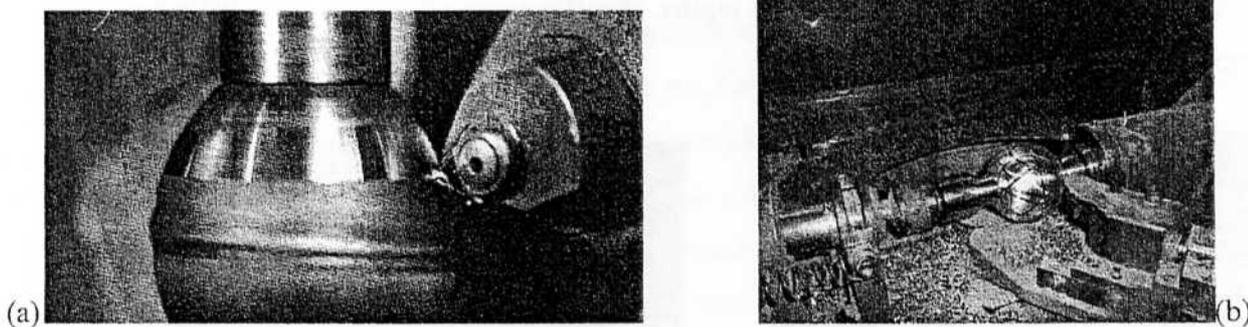


Figure 5 : (a) élimination des traces de soudure et (b) gravure.

- **Unité de traitement thermique** : permet d'effectuer les traitements thermiques nécessaires : trempe (à l'huile ou à l'eau froide salée après un maintien de 30 à 35 mn à une température de 960°C ou de 850°C) puis revenu (maintien entre 260 et 450°C suivi d'un refroidissement lent).

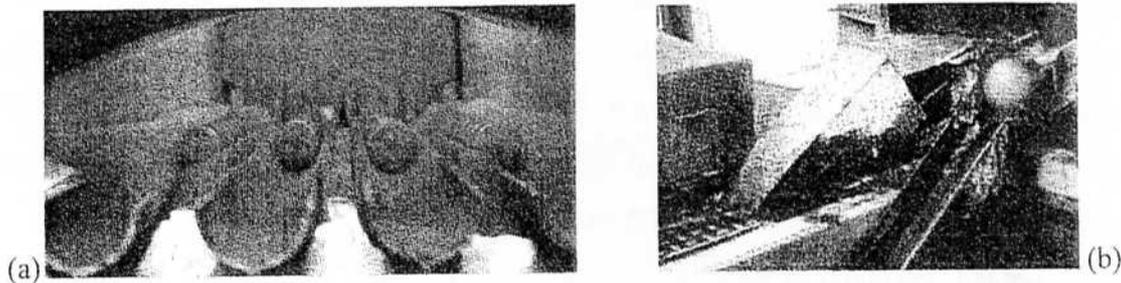


Figure 6 : (a) Four tunnel pour traitement thermique (b) Système de transfert après revenu.

- **Unité de Finition** : permet de polir la surface. Les boules en acier au carbone subissent en plus un traitement anticorrosion et un vernissage.

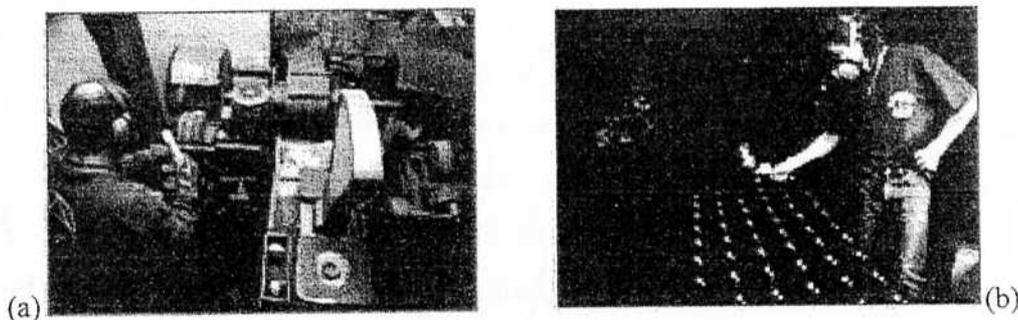


Figure 7 : (a) Polissage et (b) Vernissage.

Le système de transfert (Figure 6-b) implanté entre l'unité de traitement thermique et l'unité de finition permet de récupérer, moyennant un dispositif de Vé-came commandé par un vérin pneumatique, les boules sortant du four de revenu, une à une, et les transférer vers une gouttière inclinée. Cette gouttière joue le rôle d'une file d'attente dans laquelle les boules seront refroidies lentement à l'air libre et au bout de laquelle les boules seront récupérées sous forme des lots de cinq boules pour effectuer des opérations de finition (polissage, vernissage, contrôle qualité, etc.).

## A - TECHNOLOGIE DE CONCEPTION

Les questions relatives à cette partie se trouvent sur le dossier document réponse : Pages 1-3.

## B - MECANIQUE

### Données et hypothèses :

Dans cette partie on s'intéresse au système de transfert implanté entre l'unité de traitement thermique et l'unité de finition. Il est constitué d'un sélecteur mono-boule et d'une gouttière inclinée de récupération (Figure B.1). Le procédé de transfert d'une boule ( $S_4$ ), sortant du four tunnel de revenue, s'effectue par élévation d'un injecteur sous forme d'une vé-came ( $S_3$ ). Cette opération est assurée par un vérin pneumatique ( $S_1$  et  $S_2$ ).

Le sélecteur (Figure B.1) est composé de :

- Un bâti fixe ( $S_0$ ) auquel est attaché le repère  $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z})$  supposé galiléen ;
- Un cylindre du vérin ( $S_1$ ) auquel est attaché le repère  $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z})$ . Il est en liaison pivot d'axe  $(O, \vec{z})$  avec ( $S_0$ ) tel que  $\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$ .
- Une tige du vérin ( $S_2$ ) à laquelle est attaché le repère  $R_2(B, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z})$ . Il est en liaison supposée glissière d'axe  $(A, \vec{x}_1)$  avec ( $S_1$ ) tel que  $\overrightarrow{OA} = L\vec{x}_1$  et  $\overrightarrow{OB} = \lambda\vec{x}_1$  où  $L$  est une constante positive et  $\lambda$  est un paramètre variable en fonction de temps.
- Une vé-came ( $S_3$ ) sous forme d'un secteur cylindrique d'axe  $(D, \vec{z})$  à laquelle est attaché le repère  $R_3(D, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z})$ . ( $S_3$ ) est d'une part en liaison pivot d'axe  $(C, \vec{z})$  avec ( $S_0$ ) tel que  $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{y}_0, \vec{y}_3)$  et d'autre part en liaison pivot d'axe  $(B, \vec{z})$  avec ( $S_3$ ). On pose  $\overrightarrow{OC} = a\vec{x}_0 + b\vec{y}_0$  ;  $\overrightarrow{BD} = \overrightarrow{DC} = e\vec{y}_3$  où  $a, b$  et  $e$  sont des constantes positives.
- La boule à déplacer ( $S_4$ ), de centre  $G_4$  et de rayon  $r$ , supposée au départ fixe dans la vé-came ( $S_3$ ) tel que  $\overrightarrow{DG_4} = c\vec{x}_3$  ( $c$  est une constante positive) puis elle devient indépendante lorsqu'elle atteint une gouttière inclinée ( $S_5$ ).
- Une gouttière inclinée ( $S_5$ ), qui possède une rainure en forme de vé à  $90^\circ$ , à laquelle est attaché le repère  $R_5(E, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z})$  tel que l'axe  $(E, \vec{y}_5)$  soit dirigé suivant la ligne de plus grande pente et  $\gamma = (\vec{x}_0, \vec{y}_5) = (\vec{y}_0, \vec{x}_5)$  où  $\gamma$  est une constante positive inférieure à  $\frac{\pi}{2}$ .

Une fois transférer, la boule ( $S_4$ ) commence à rouler sans glisser dans la gouttière ( $S_5$ ). Le contact de ( $S_4$ ) avec ( $S_5$ ) est ponctuel en deux points I et J (Figure B.3). On désigne par  $R_4(G_4, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z})$  le repère lié à la boule ( $S_4$ ) tel que  $\varphi = (\vec{x}_5, \vec{x}_4) = (\vec{y}_5, \vec{y}_4)$ . On pose  $\overrightarrow{IG_4} = r\vec{n}_I$ ,  $\overrightarrow{JG_4} = r\vec{n}_J$  où  $\vec{n}_I$  et  $\vec{n}_J$  sont respectivement les vecteurs normaux aux deux plans de contact de la boule avec la gouttière en I et en J tel que  $\vec{n}_I = \frac{\sqrt{2}}{2}(\vec{x}_5 + \vec{z})$  et  $\vec{n}_J = \frac{\sqrt{2}}{2}(\vec{x}_5 - \vec{z})$ .

$\lambda, \alpha, \beta$  et  $\varphi$  sont des paramètres variables en fonction de temps.

Le champ de pesanteur est défini par  $\vec{g} = -g\vec{y}_0$ .

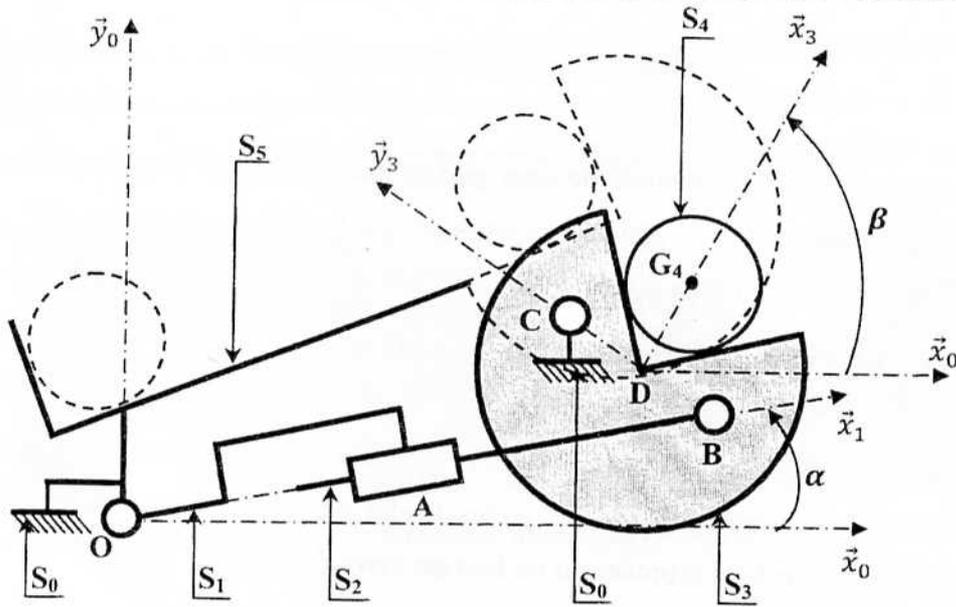


Figure B.1 : Schéma cinématique minimal du système de transfert des boules.

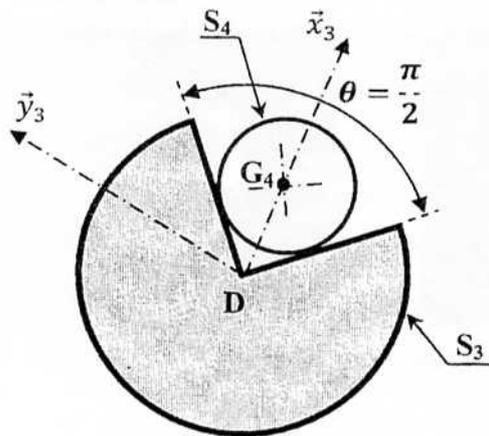
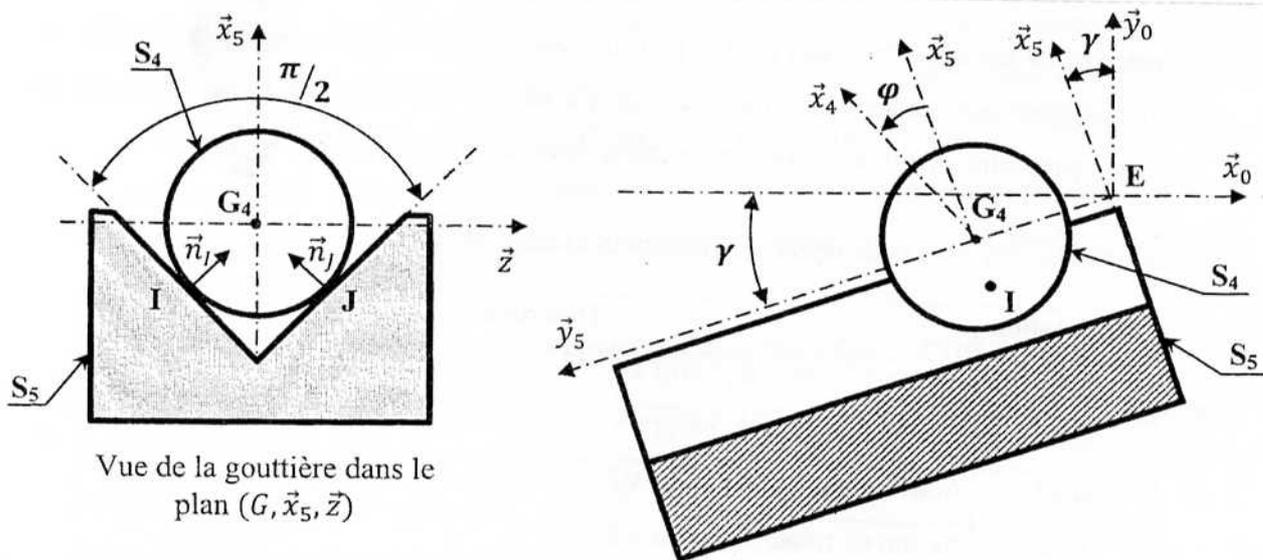


Figure B.2 : Système (S) regroupant la vé-came ( $S_3$ ) et la boule ( $S_4$ ) au cours de l'opération de transfert.



Vue de la gouttière dans le plan  $(G, \vec{x}_5, \vec{z})$

Figure B.3 : Schéma de la boule ( $S_4$ ) en mouvement dans la gouttière ( $S_5$ ) ( $\gamma$  est une constante et  $\varphi$  est un paramètre variable en fonction de temps).

## PARTIE C - AUTOMATIQUE

La présente étude est composée de deux parties indépendantes : Une **Partie C-1** qui porte sur la commande séquentielle du système de transfert des boules et une **Partie C-2** qui traite la régulation de température d'un four tunnel utilisé dans le traitement thermique des boules.

### C.1- Commande séquentielle du système de transfert

L'objectif de cette étude est l'établissement d'une commande séquentielle du système de transfert (Figure C.1). Ce dernier assure, à la fois, le dépôt des boules sortant du four tunnel dans une gouttière et leur chargement dans des portes boules par lots de cinq boules. Pour cela, on suppose que le nombre de boules provenant du four est multiple de cinq.

Le système de transfert est équipé :

- d'un dispositif vé-came commandé par un vérin pneumatique double effet (V1). Les différentes positions du vérin V1 sont détectées à l'aide de capteurs de proximité.
- d'un capteur optique ( $p_1$ ) servant à détecter la présence d'une boule à l'entrée de vé-came.
- d'une gouttière de dépôt légèrement inclinée. Elle joue le rôle d'une file d'attente dans laquelle les boules seront refroidies lentement à l'air libre.
- d'un vérin pneumatique double effet (V2) pour le blocage des boules à l'extrémité de la gouttière. Les positions du vérin V2 sont détectées à l'aide de capteurs de proximité.
- d'un capteur optique ( $p_2$ ) servant à détecter la présence d'une boule à l'extrémité de la gouttière.
- d'une porte boules dont la capacité maximale est de cinq boules.

La capacité de stockage de boules dans la gouttière est largement supérieure à celle dans le four. La température des boules à la sortie du four n'a aucune incidence sur la manipulation des boules et particulièrement leurs contacts mutuels dans la file d'attente.

Les notations utilisées dans cette étude sont résumées comme suit :

Abréviation	Description
AV1	Action d'avance du vérin V1
RV1	Action de retour du vérin V1
AV2	Action d'avance du vérin V2
RV2	Action de retour du vérin V2
VA	Action de mise en marche du voyant d'alarme

Dcy	Appui sur le bouton de départ du cycle
Stop	Appui sur le bouton d'arrêt de chargement de boules
Rep	Appui sur le bouton de reprise de chargement de boules
p1	Détection d'une boule à l'entrée du dispositif vé-came
p2	Détection d'une boule à l'extrémité de la gouttière
a1	Réponse vérin V1 avancé
b1	Réponse vérin V1 reculé
a2	Réponse vérin V2 avancé
b2	Réponse vérin V2 reculé
c	Variable entière de comptage du nombre de boules chargées. Exemple : $([c < 5]=1)$ si le nombre de boules est inférieur à cinq

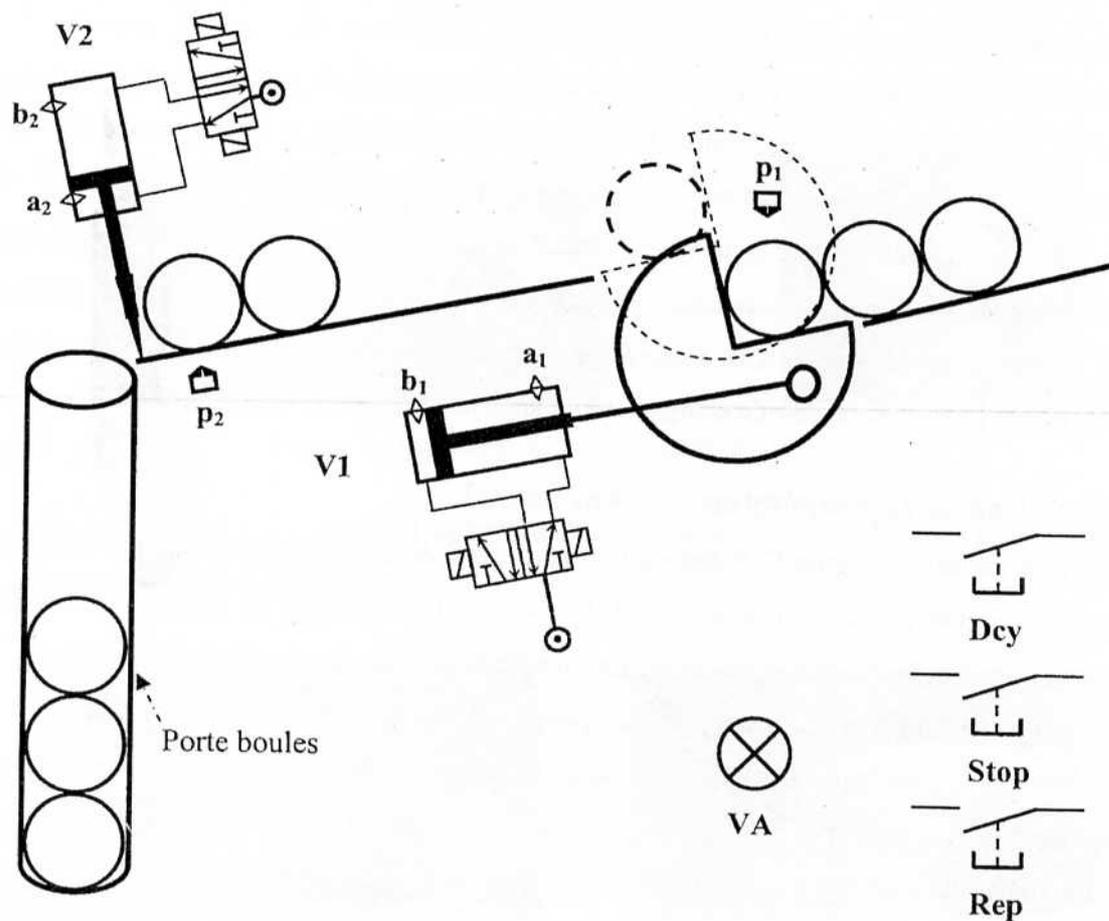


Figure C.1 : Schéma de principe du système de transfert de boules.

Les conditions initiales nécessaires pour l'amorçage du cycle automatique sont:

- Vérin V1 reculé ;
- Vérin V2 avancé ;
- Absence d'une boule dans la gouttière.

### Le fonctionnement du système de transfert de boules est le suivant :

Après avoir placé manuellement une porte-boules vide, l'opérateur met le système en marche en appuyant sur le bouton «*Dcy*», les séquences de dépôt et de chargement seront exécutées simultanément comme suit:

- **Dépôt** : La présence d'une boule à l'entrée du dispositif vé-came, repérée par l'information ( $p_1=1$ ), entraîne l'avance du vérin V1 pour poser la boule dans la gouttière puis le retour du vérin V1. Si aucune boule en provenance du four n'est détectée, la séquence de dépôt s'arrête.
- **Chargement** : Après l'initialisation de la variable de comptage ( $c := 0$ ), la présence d'une boule à l'extrémité de la gouttière, repérée par l'information ( $p_2=1$ ), entraîne l'action de retour du vérin V2, suivie d'une temporisation de 3s correspondant à la durée de passage par gravitation d'une seule boule dans la porte boule. A la fin de cette temporisation, l'avance du vérin V2 est actionnée afin de bloquer la boule suivante. En suite, la variable de comptage est incrémentée ( $c:=c+1$ ). Lorsque le nombre de boules chargées est inférieur à cinq, le chargement d'une autre boule est repris à condition qu'elle soit présente à l'extrémité de la gouttière. Dans le cas où cinq boules ont été chargées ( $[c = 5]$ ), le voyant d'alarme est allumé pour alerter l'opérateur, qui à son tour décide, soit l'arrêt de cette séquence par l'appuie sur le bouton (Stop), soit la reprise du cycle de chargement. Dans ce cas, l'opérateur remplace la porte boule chargée par une autre vide et donne l'ordre de reprise de chargement en appuyant sur le bouton (Rep).

### C.2- Régulation de la température du four tunnel :

Le four industriel (Figure C.2) faisant l'objet de cette étude est un four tunnel de 50 mètres de long et de section carrée (1,6 m x 1,6 m). Ce four est utilisé dans le traitement thermique (Revenue) des boules de pétanque en acier. Le chauffage est assuré par des brûleurs répartis en quinconce, dans la zone de chauffage, sur les parois verticales du four. Tous les brûleurs sont contrôlés par une vanne motorisée dont la valeur du diaphragme peut être ajustée d'une façon continue, réglant ainsi le débit de gaz nécessaire à la combustion. Le contrôle de débit de gaz permet de régler la flamme des brûleurs et par conséquent la modification de la puissance calorifique injectée dans le four. On suppose que l'air nécessaire à la combustion « air primaire » arrive aux brûleurs avec un débit constant.

Une circulation d'air à contre courant « air secondaire » favorise le refroidissement de la charge dans la zone de sortie du four et son préchauffage dans la zone d'entrée. La pompe d'aspiration d'air secondaire fonctionne à vitesse constante, son débit est réglable par l'ouverture du registre des fumées au niveau de la cheminée de soutirage. Les propriétés mécaniques des boules imposées par le cahier de charge ont permis de choisir une température de revenue de 400°C.

La cheminée de soutirage est située à 6 m de la porte d'entrée du four. La sortie du four est ouverte en permanence (entrée d'air secondaire). Le profil de température dans le four est très sensible au débit d'air secondaire. Cette sensibilité est telle que la flamme des brûleurs peut se déplacer de plusieurs mètres selon la valeur de ce débit.

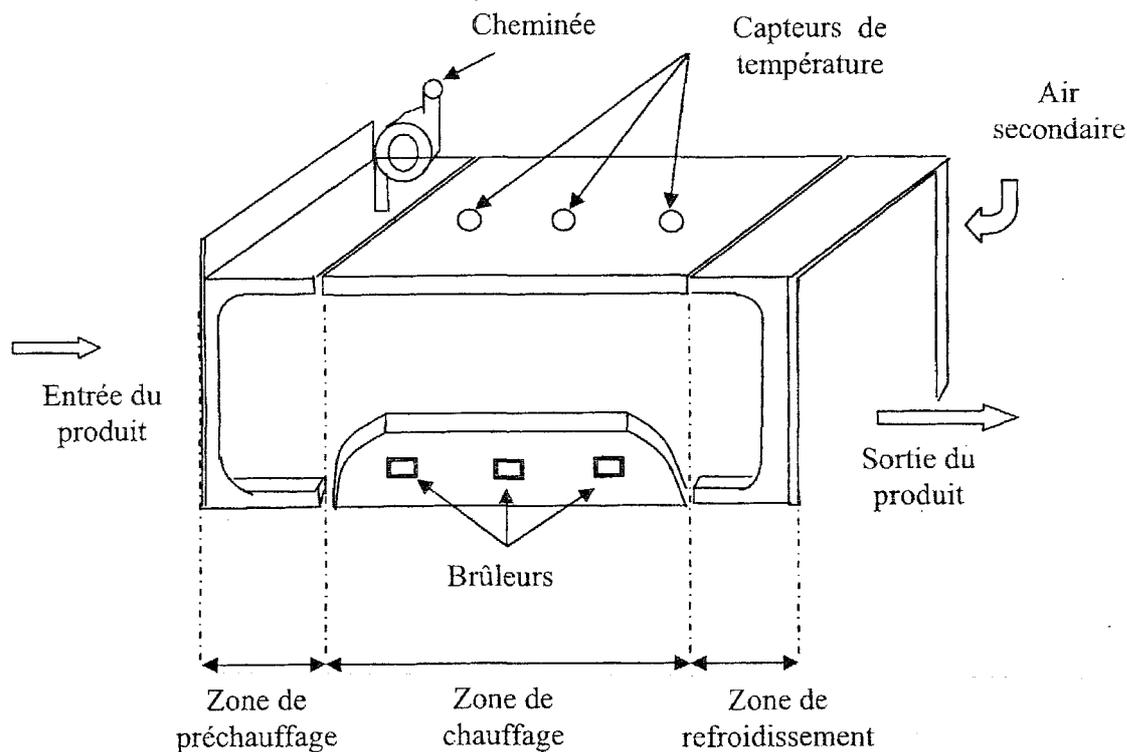


Figure C.2 : Schéma du four tunnel.

Dans cette étude, des hypothèses simplificatrices ont été considérées :

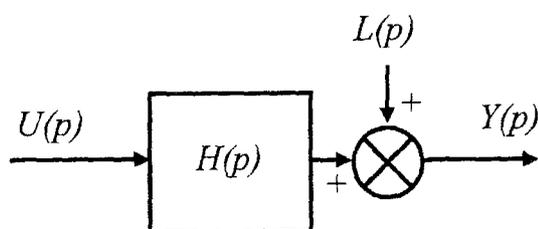
- la charge est homogène ;
- les phénomènes de conduction dans la charge et dans la paroi sont négligeables ;
- la variation temporelle de la température de la paroi est négligeable ;
- l'air secondaire est transparent au rayonnement ;
- la température dans la charge est considérée par sa moyenne dans une section verticale dans le sens de la largeur.
- La transformée de Laplace d'une fonction continue  $f(t)$  est notée  $F(p)$ .

Plusieurs capteurs de température sont utilisés pour mesurer la température dans différents endroits de la zone de chauffage. Chaque capteur délivre à sa sortie une tension proportionnelle à la température mesurée. On considère comme entrée le signal  $u(t)$  appliqué au niveau de la vanne de contrôle de débit du gaz injecté aux brûleurs. La sortie  $y(t)$  est la valeur moyenne des tensions données par les capteurs de température. Les signaux d'entrée et de sortie varient entre 0 et + 10 V.

La sortie est exprimée en fonction de la température mesurée,  $\theta(t)$ , par la relation suivante :  $y(t) = k_2\theta(t)$  avec  $k_2 = 0,02 \text{ V}/^\circ\text{C}$ . La fonction de transfert du système formé par le four tunnel est donnée par :  $G(p) = \frac{\theta(p)}{u(p)} = \frac{k_1}{1+\tau p}$  où  $k_1 = 50^\circ\text{C}/\text{V}$  et  $\tau = 360 \text{ s}$ .

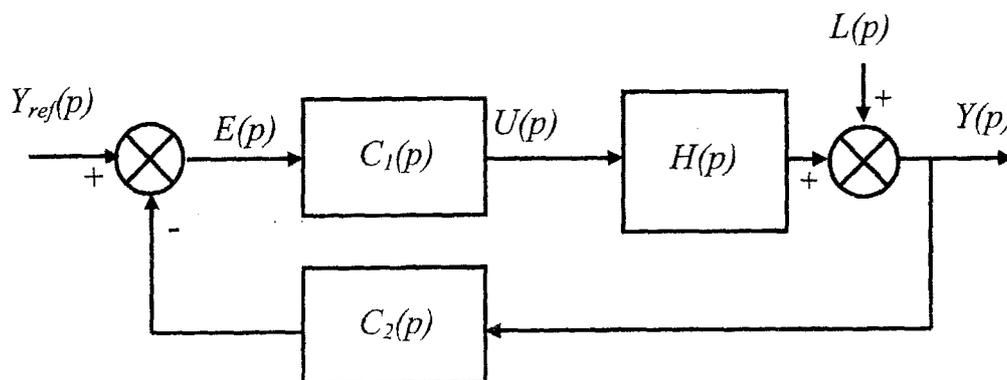
On désigne par  $H(p)$  la fonction de transfert suivante :  $H(p) = \frac{Y(p)}{U(p)}$ .

On suppose qu'il existe une perturbation  $l(t)$ , qui s'ajoute à la sortie du système. Le schéma fonctionnel du système en boucle ouverte est donné par la figure C.3.



**Figure C.3 :** Schéma fonctionnel du système en boucle ouverte avec une entrée de perturbation.

Le schéma du système en boucle fermée est décrit par la figure C.4. Le régulateur est formé d'un bloc dans la chaîne directe de fonction de transfert  $C_1(p)$  et d'un autre dans la chaîne de retour de fonction de transfert  $C_2(p)$ . La transformée de Laplace du signal de référence (ou la consigne) est notée par  $Y_{ref}(p)$ .



**Figure C.4 :** Schéma fonctionnel du système en boucle fermée.