

SESSION 2009

---

**CONCOURS EXTERNE  
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGRÉGÉS**

**Sections : GÉNIE MÉCANIQUE / MÉCANIQUE**

**ÉPREUVE D'AUTOMATIQUE-INFORMATIQUE INDUSTRIELLE**

Durée : 6 heures

---

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

# UNITÉ DE FABRICATION DE PROFILÉS

## Contexte de l'étude

Au sein du groupe international Alcan, plusieurs sites spécialisés en Europe dans les produits extrudés permettent de produire des profilés en alliages d'aluminium doux, des profils et des pièces en alliages durs ainsi que de grands profilés. Les marchés sont nombreux : bâtiment, automobile, transports de produits, applications industrielles.

Le site français concerné par l'étude produit plusieurs dizaines de milliers de tonnes de profilés dont plus de la moitié sont parachevés (traitement de surface, usinage, coupure thermique). Le sujet porte sur une unité de fabrication automatisée de profilés en alliages d'aluminium doux équipée d'une presse à filer de 4300 tonnes.

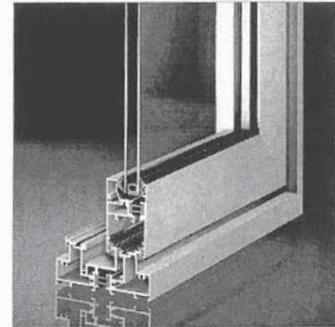
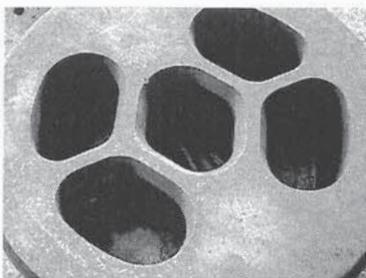


FIGURE 1 – Exemple de profils de fenêtre.

## Le filage

Le filage est une méthode de mise en forme des métaux par forgeage. Elle consiste à pousser un matériau ductile (éventuellement rendu ductile par chauffage) à travers une filière (Annexe 3).



(a) Exemple d'une filière montée vue côté alimentation du métal



(b) Exemple d'une filière montée vue côté sortie du profil

FIGURE 2 – Filière

Le matériau de base pour les filières est un acier spécial de haute qualité, travaillé à chaud. Le processus d'usinage est exigeant et demande un savoir-faire et une précision des plus élevés. Un filage d'essai est effectué avec la matrice ainsi fabriquée. Les déformations des profilés sont corrigées par une dernière rectification.

Les principales caractéristiques du procédé utilisé sont les suivantes :

- longueur des blocs d'alliage d'aluminium obtenus à partir des billettes : 600 mm à 1 400 mm,
- température du bloc introduit dans la presse : 400°C à 500°C,
- pression spécifique générée en extrémité du bloc pour le filage : 400 à 700 MPa,
- effort développé par la presse : 1 500 à 4 000 tonnes,

- diamètre du conteneur<sup>1</sup> : 150 à 250 mm,
- vitesse de filage du profilé obtenu : 5 à 50 m · min<sup>-1</sup>,
- température du profilé en sortie de presse : 500 à 560 °C.

## L'unité de fabrication

Les billettes coulées et homogénéisées constituent la base de tous les profilés. Elles sont obtenues en fonderie et elles sont stockées à l'entrée de la ligne de fabrication de profilés.

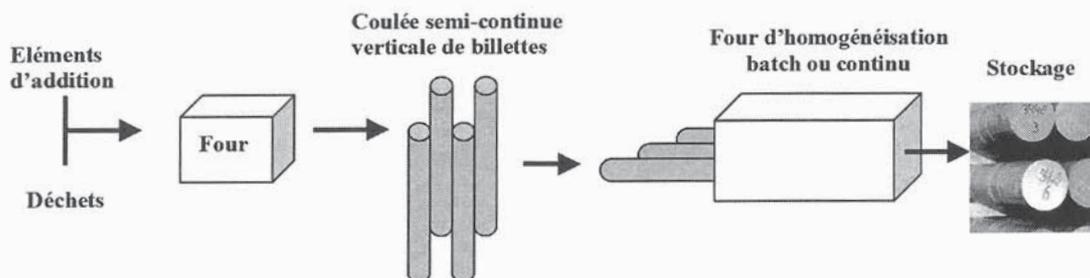


FIGURE 3 – Fonderie, fabrication des billettes

À l'entrée de la ligne de préparation des blocs et d'alimentation de la presse à filer (figure 4 et Annexe 1), les billettes sont d'abord préchauffées à une température d'environ 130°C avant d'être sciées en blocs d'une longueur qui permettra leur chargement dans la presse de filage.

Chaque bloc est alors transféré sur un chariot guidé par un convoyeur (convoyeur d'amenée). Ce chariot permet d'amener le bloc dans la zone de travail du robot portique à deux pinces indépendantes.

Chaque bloc ainsi amené est saisi par le robot portique avant d'être déposé sur le convoyeur du four 1 ou le convoyeur du four 2 selon leur disponibilité. Chaque bloc est alors chauffé à une température d'environ 500°C.

Les blocs chauffés sont ensuite rapidement transportés jusqu'à une zone tampon permettant le transfert des blocs vers un chariot d'approvisionnement de la presse à filer.

Le chariot de chargement des blocs introduit chaque bloc dans la presse à filer hydraulique de 4300 tonnes pour l'opération de filage.

A la sortie de la presse, le(s) profilé(s) obtenu(s) subit(subissent) un premier traitement thermique dans un tunnel de trempe.

Les profilés sont guidés sur une table à rouleaux et tractés par un Puller pour éviter leur déformation.

Les profilés ainsi obtenus sont encore chauds et malléables. Ils sont découpés à chaud à une longueur d'environ 50 m.

Après une opération de traction pour étirer ce long profilé, ils sont refroidis et découpés à la longueur marchande.

Enfin, ils sont déposés sur des praticables pour subir des traitements thermiques (et éventuellement des traitements de surface) avant d'être emballés et expédiés aux clients.

1. le conteneur assure le guidage du bloc de métal à filer dans la presse lors de l'opération de filage.

## Recyclage

La fabrication de produits semi-finis en aluminium s'accompagne d'une perte d'environ 25% de la matière utilisée (chute des profilés, restes de billettes, culots de blocs, copeaux, etc.) qui est intégralement recyclé. L'aluminium est en effet recyclable à 100 %, avec une économie d'énergie de 95 % par rapport à celle nécessaire à la fabrication de l'aluminium primaire.

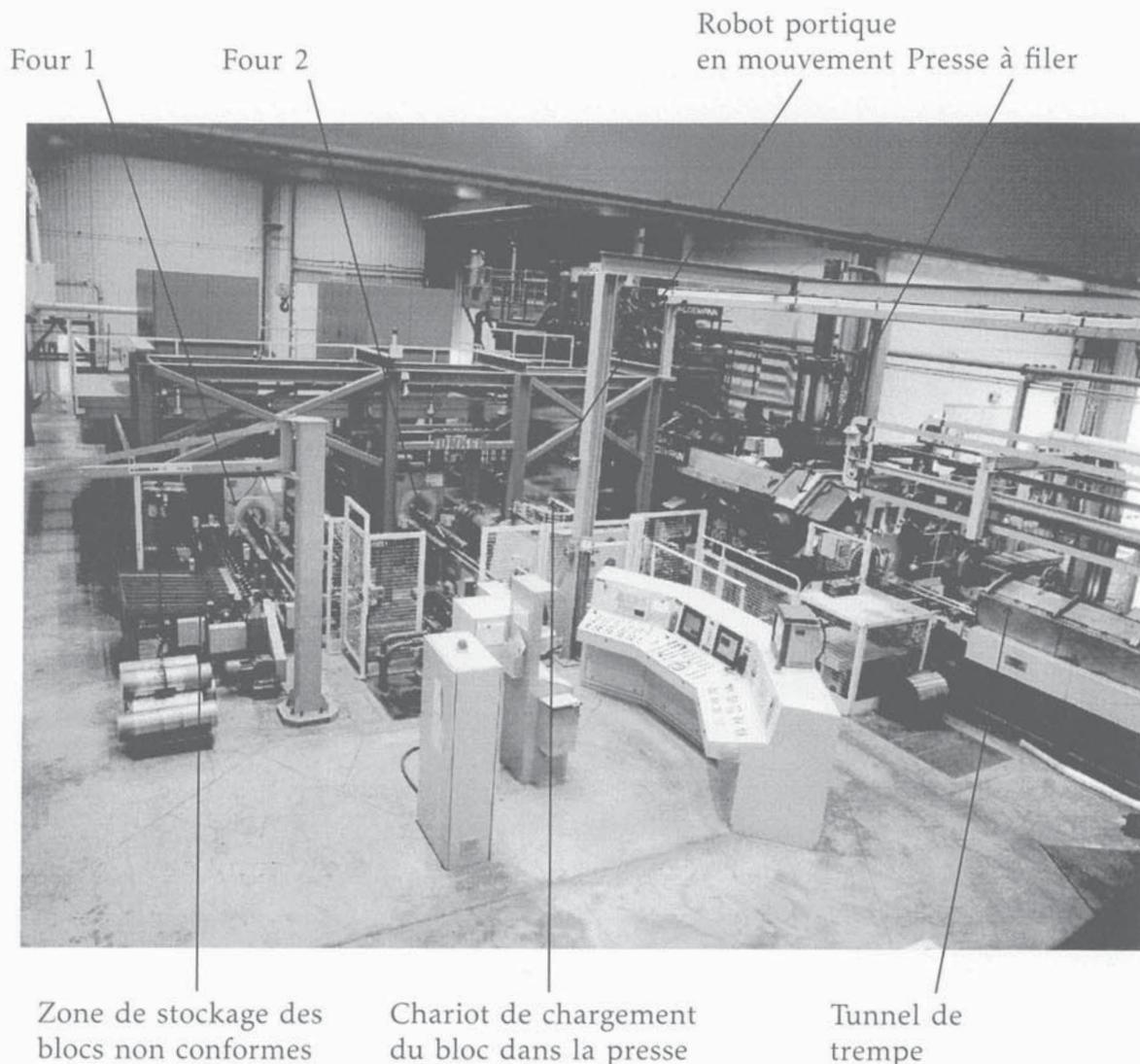


FIGURE 4 – Vue générale de la ligne de préparation des blocs et d'alimentation de la presse à filer

## TRAVAIL DEMANDÉ

Remarques importantes :

1. Le sujet comporte deux parties indépendantes, elles-mêmes constituées de nombreuses questions qui peuvent être traitées séparément :

**La première partie** est consacrée à l'étude du comportement séquentiel d'une partie de l'unité de fabrication des profilés, à l'étude du circuit de puissance hydraulique du vérin de la presse à filer et au passage de la spécification comportementale à la réalisation programmée (durée conseillée : 3h).

**La seconde partie** concerne l'étude de la commande asservie du Puller (durée conseillée : 3h).

2. Chaque partie sera traitée sur des copies séparées. Les documents réponses 1 et 2, même vierges, seront obligatoirement rendus avec les copies relatives à la seconde partie du sujet.
3. Tous les développements de calculs seront réalisés sous forme littérale avant de passer à l'application numérique. Les résultats seront encadrés sur la copie.

## Première partie

# Cycle de fabrication des profilés

## 1.1 Le filage

Pour quantifier la sévérité de filage, plusieurs coefficients peuvent être utilisés. Le rapport de filage est le coefficient de déformation le plus souvent utilisé. Il caractérise le rapport entre la surface d'une section perpendiculaire à l'axe de symétrie du bloc de métal cylindrique avant filage et la section droite du(es) profilé(s) obtenu(s) après filage.

Dans la suite de l'étude, le diamètre du bloc d'alliage d'aluminium à filer est de 250 mm. La filière permet d'obtenir simultanément deux profilés (matériau : 6351, profilé : ouvert) dont les caractéristiques sont décrites en document Annexe 2. Les dimensions retenues sont :  $L = 80\text{ mm}$ ,  $H = 18\text{ mm}$  avec  $E1 = E2 = E3$ .

### Question 1

A l'aide du document Annexe 2, les tolérances dimensionnelles étant négligées :

- préciser l'épaisseur  $E1$  du profilé (avec  $E1 = E2 = E3$ ), la valeur retenue sera le nombre entier immédiatement supérieur,
- exprimer le rapport de filage  $\delta R = \frac{S}{s}$ , où «  $S$  » est la section droite du bloc et «  $s$  » la section du produit filé (deux profilés dans cette étude).

L'entreprise souhaite réaliser des profilés d'une longueur comprise entre 50 m et 52 m à l'aide d'un seul bloc d'alliage d'aluminium. Une scie circulaire permet la découpe à cette longueur dans la zone du Puller. Ces grands profilés sont alors évacués latéralement sur un convoyeur, puis ils sont étirés à l'aide d'un système d'ancrage et de traction durant le refroidissement pour éviter les déformations. Une zone de 30 cm à chaque extrémité est nécessaire pour effectuer cette tâche, cette zone déformée étant découpée et recyclée par la suite.

25 profilés de longueur marchande 2 m seront obtenus après découpe à l'aide d'une scie circulaire d'épaisseur 3 mm.

Pour éviter des raccords inesthétiques, la soudure réalisée par le filage de deux blocs successifs doit se situer dans la zone d'ancrage et de traction.

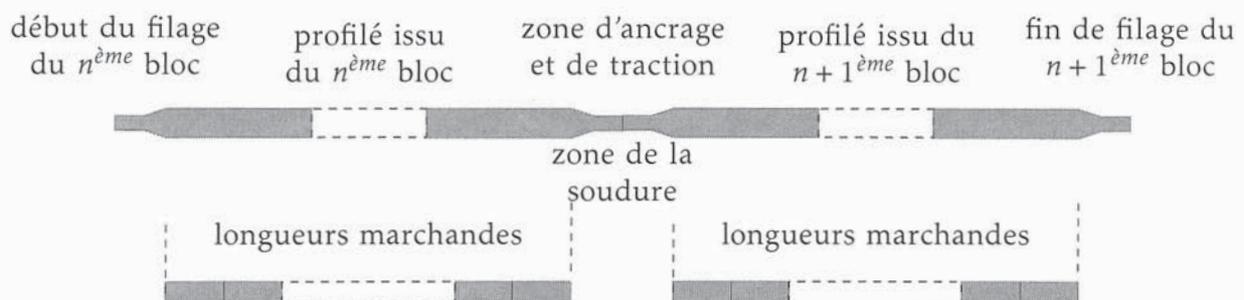


FIGURE 5 – Obtention des longueurs marchandes à partir des profilés filés

## Question 2

- Compte tenu des tolérances dimensionnelles données document Annexe 2, calculer la longueur minimale du bloc nécessaire pour produire un grand profilé dans lequel pourront être découpées 25 longueurs marchandes de 2m. Le volume du culot (document Annexe 3) découpé à la fin du cycle de filage dans la presse ne sera pas pris en compte

## 1.2 La presse à filer hydraulique

### 1.2.1 Le cycle de la presse

Le cycle de la presse à filer peut se décomposer en quatre phases décrites en document Annexe 3.

**Phase 1 - Changement d'outillage :** Chaque changement de forme de profilé nécessite le remplacement de l'ensemble porte filière (porte filière, contre filière et filière). Le chariot de chargement du bloc (Annexe 1), le conteneur et le pilon sont alors en position reculée. L'ancien ensemble porte filière est alors déposé puis le nouvel ensemble porte filière est monté dans la presse. Si ce montage est effectué et que la température du conteneur ( $T_{\text{conteneur}}$ ) est comprise entre 500 et 550°C, le cycle de production des nouveaux profilés peut commencer.

**Phase 2 - Chargement d'un bloc à filer :** Le conteneur, chauffé et maintenu à température en permanence, est avancé contre l'ensemble porte filière. Dès que le chariot de chargement d'un bloc à filer a introduit un bloc dans la presse, le bloc est introduit dans le conteneur puis le chariot recule. Le filage peut alors commencer (avance du pilon). L'introduction du bloc dans la presse et le filage sont accompagnés de la lubrification du conteneur.

**Phase 3 - Filage :** Le filage terminé, le pilon rentre puis le conteneur recule en position de référence.

**Phase 4 - Découpe du culot :** Le pilon et le conteneur reculés, la découpe du culot peut s'effectuer. Elle facilite la soudure avec le bloc suivant en garantissant un meilleur contact entre les surfaces en contact de deux blocs successifs.

## Question 3

- L'information  $T_{\text{conteneur}}$  étant de type analogique, quel opérateur doit être utilisé pour la rendre logique et respecter la contrainte de température extraite du cahier des charges ?
- Décrire le cycle de la presse à l'aide du langage de spécification Grafset en intégrant un changement d'outillage et en utilisant uniquement les entrées/sorties décrites en document Annexe 4. L'état initial de la partie opérative est illustré sur le document Annexe 3 par la figure associée à la phase changement d'outillage.

### 1.2.2 Étude du circuit de puissance du vérin hydraulique de la presse

Le circuit de puissance hydraulique du vérin de la presse est alimenté par l'intermédiaire de quatre pompes hydrauliques A4VS0 750 (Annexe 5 et Annexe 5.1) qui sont mises en

route en fonction de la puissance nécessaire au filage. Le schéma hydraulique d'une pompe est fourni en document Annexe 6, celui du vérin de presse en Annexe 7.

Le circuit hydraulique de puissance de la presse est structuré de la façon suivante :

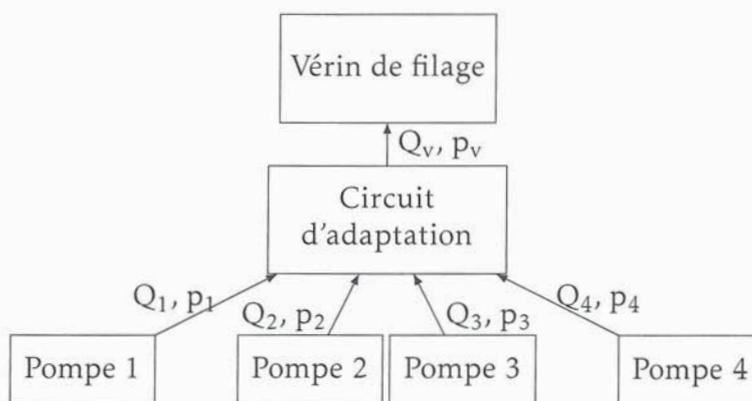


FIGURE 6 – Structure du circuit de puissance hydraulique

### Question 4

- Décrire le fonctionnement de la pompe A4VS0.
- Préciser, sous la forme d'une décomposition fonctionnelle type FAST, la fonction des principaux constituants du schéma de puissance de la pompe (Annexe 6). On se limitera : au moteur, à la pompe, au vérin et à son pré-actionneur.

Le schéma de puissance de la pompe précise trois réglages usuels de celle-ci, reproduits dans le tableau 1.

Réglage	débit	pression
R1	$725\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$	100 bar
R2	$480\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$	280 bar
R3	$440\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$	305 bar

TABLE 1 – Réglages de la pompe

### Question 5

Compléter le tableau ci-dessous en précisant pour chacun des réglages, le débit, la pression et la puissance disponible à l'entrée du vérin de filage.

	1 pompe	2 pompes	3 pompes	4 pompes
R1	débit			
	pression			
	puissance			
R2	débit			
	pression			
	puissance			
R3	débit			
	pression			
	puissance			

TABLE 2 – Débit, pression et puissance disponible

La force de filage permet de connaître la force nécessaire pour obtenir la déformation du bloc d'aluminium à filer. Le coefficient de frottement entre le bloc d'aluminium et la paroi du conteneur est négligé compte tenu de la lubrification et du niveau des efforts de filage.

La force de filage s'exprime de la façon suivante :  $F_{\text{filage}} = \pi \cdot R^2 \cdot \rho \cdot \ln(\delta R)$

–  $R = 125 \text{ mm}$  : rayon du conteneur,

–  $\rho = 18 \text{ daN} \cdot \text{mm}^{-2}$  : résistance à la déformation de la matière à la température de de formation,

–  $\delta R$  : rapport de filage (la valeur retenue dans cette étude est de 60).

La vitesse de filage retenue est de  $20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  (en sortie de filière).

### Question 6

- Calculer l'effort de filage.
- Calculer la puissance nécessaire au filage.
- En déduire le nombre de pompes à utiliser sous une pression de 100 bar.

## 1.3 Gestion de l'amenée des blocs

Des billettes d'une longueur supérieure à 6 mètres sont stockées à l'entrée de l'unité de fabrication des profilés. Dès que le four de préchauffage est libre, une billette est introduite dans le four pour la préchauffer à une température d'environ  $130^\circ\text{C}$ . Lorsque cette température est atteinte sur l'ensemble de la longueur de la billette, celle-ci est transférée jusqu'à une position (détecteur dcb figure 7) permettant la découpe à longueur d'un bloc d'aluminium. Une scie circulaire réalise alors la coupe. Le bloc ainsi obtenu est transféré grâce au poste de découpe sur le chariot d'amenée des blocs. Cette tâche ne sera réalisée qu'à la condition où la tâche T11 : « Reculer le chariot d'amenée » est terminée. Cette information est caractérisée par la variable fin T11.

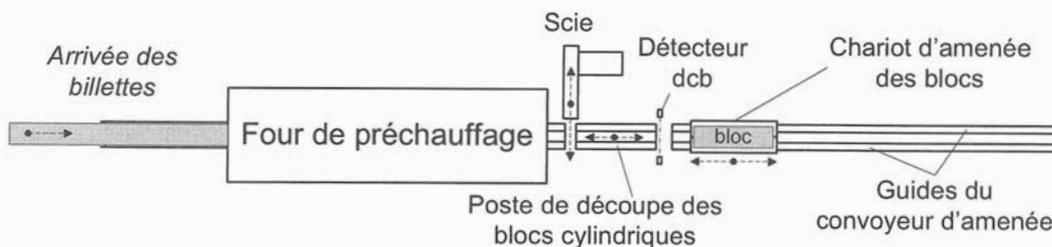


FIGURE 7 – Ensemble de préchauffage des billettes, de découpe et de transfert des blocs

La longueur des billettes permet la découpe de 6 blocs successifs. Après la découpe des 6 blocs, le résidu de coupe est transféré jusqu'à la position dcb puis évacué grâce à un robot portique non représenté sur la figure 7.

Une analyse préliminaire a permis de proposer le découpage fonctionnel décrit dans le tableau 3 page suivante.

### Question 7

- Élaborer le grafct GCamenée décrivant la coordination des tâches T1 à T6 avec un objectif d'optimisation du temps de cycle. La situation initiale ne sera pas obligatoirement précisée. Seules les entrées/sorties identifiées en document Annexe 8 et dans le tableau 3 seront utilisées.

Tâche	Intitulé
T1	Amener une billette dans le four de préchauffage
T2	Préchauffer la billette à 130°C
T3	Transférer la billette préchauffée jusqu'à dcb
T4	Scier
T5*	Transférer le bloc coupé sur le chariot d'amenée
T6	Évacuer le résidu

*\*cette tâche ne peut être exécutée que si la tâche T11 est terminée (fin T11)*

TABLE 3 – Découpage fonctionnel

## 1.4 Gestion du robot portique à deux pinces indépendantes

Le robot portique, selon la tâche à effectuer, peut se déplacer au dessus de toutes les zones de travail situées entre la zone de stockage des blocs non-conformes et le convoyeur de transfert des blocs sur le chariot de chargement. Le robot est muni de deux pinces indépendantes. Chaque pince permet de saisir et de déposer un bloc (documents Annexe 9.1 et Annexe 9.2) grâce à une translation verticale et à un mouvement d'ouverture et de fermeture.

La position de référence du robot est obtenue lorsque le robot est à l'arrêt, pince 1 au dessus du convoyeur d'amenée (Annexe 1).

Dès l'arrivée d'un bloc  $n$  transporté par le chariot d'amenée, la pince 1 peut le saisir et le déposer sur le convoyeur du four 1. À l'arrivée du bloc  $n+1$ , la pince 2 peut le saisir sur le chariot d'amenée et le déposer sur le convoyeur du four 2.

Lorsque le cycle de chauffe du four 1 est terminé, le robot saisit alors le bloc  $n$  avec la pince 1. Le cycle de chauffe du four 2 terminé, la pince 2 saisit le bloc  $n+1$ . Puis, les deux blocs chauffés à 500°C sont transférés vers le stock tampon.

Le robot exécute alors un cycle de dépose des deux blocs et revient dans la position de référence : pince 1 au dessus du convoyeur d'amenée. La(es) position(s) de dépose des blocs est(sont) définie(s) en fonction des emplacements disponibles dans le stock tampon et sur le convoyeur de transfert.

Les tâches allouées au chariot d'amenée sont réalisées en temps masqué. Pour minimiser le temps de cycle, le robot se positionne au dessus des convoyeurs sans attendre la fin des cycles de chauffe ou d'amenée d'un bloc.

### Question 8

- Élaborer le grafcet GCrobot décrivant le cycle du robot avec un objectif d'optimisation du temps de cycle et en utilisant les entrées/sorties définies sur les documents Annexe 9.1 et Annexe 9.2. La situation initiale ne sera pas obligatoirement précisée.
- Compte tenu du temps de chauffe de chaque four (1 ou 2) relativement important par rapport au temps d'amenée d'un bloc et au temps de transfert par le robot, proposer sous forme de phrases structurées la description d'un autre cycle possible pour le robot.
- Préciser les avantages de ce nouveau cycle du robot par rapport au cycle initial.

## 1.5 Détection dans le stock tampon

Afin de minimiser les temps de production et de pouvoir continuer à amener des blocs chauffés lors d'arrêts de courte durée de la presse ou du chariot de chargement, un stock tampon a été prévu. Le stock tampon est constitué de quatre supports (Annexe 1), seul le convoyeur de transfert est muni de rouleaux permettant, grâce à un poussoir, de transférer le bloc vers le chariot de chargement.

Ce stock permet au maximum l'accumulation de 4 blocs chauffés en plus du bloc présent sur le convoyeur de transfert vers le chariot de chargement.

Un détecteur optique de type barrière est utilisé sur chaque support pour détecter la présence d'un bloc.

### Question 9

- Expliquer le principe de fonctionnement du détecteur utilisé pour détecter la présence d'un bloc sur un support.
- Existe-t-il d'autres types de détecteurs optiques ? Auraient-ils pu convenir pour détecter la présence d'un bloc ?

Les détecteurs optiques fonctionnant dans une zone particulièrement exposée aux poussières, l'optique peut s'encrasser. Un signal de défaut est alors généré par le détecteur. Pour éviter des arrêts de production en attendant de traiter le défaut lors d'un arrêt de l'installation, l'information de présence du bloc est doublée.

Ainsi, l'information bsi (bloc présent sur le support de position i) est vraie si et seulement si :

- le détecteur optique monté sur le support dsi a détecté la présence d'un bloc durant au moins 2s et ne génère pas de signal de défaut défdsi,
- ou le robot est situé à la position ip1 au dessus du stock tampon et la pince 1 a terminé de déposer un bloc sur le support (fin T13),
- ou le robot est situé à la position ip2 au dessus du stock tampon et la pince 2 a terminé de déposer un bloc sur le support (fin T15).

L'information bsi est fausse si et seulement si :

- le détecteur optique monté sur le support dsi ne détecte plus la présence d'un bloc,
- ou le robot est situé à la position ip1 au dessus du stock tampon et la pince 1 a terminé de retirer un bloc du support (fin T12),
- ou le robot est situé à la position ip2 au dessus du stock tampon et la pince 2 a terminé de retirer un bloc du support (fin T14).

### Question 10

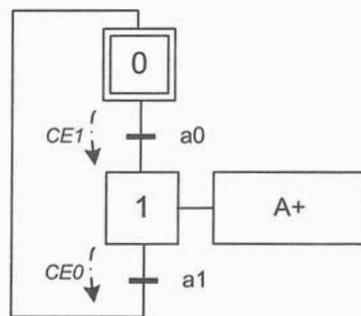
- En vue d'une implantation de la spécification comportementale dans un automate programmable, traduire les contraintes exprimées ci-dessus en logigramme ou en langage structuré.

## 1.6 Réalisation programmée

L'ensemble de l'unité de fabrication des profilées est commandée à l'aide d'un automate programmable conforme à la norme des langages de programmation CEI 61131-3. Le langage retenu est le langage Ladder (LD). Des extraits de la norme sont fournis en document Annexe 11 et un exemple simple est décrit figure 8.

La méthode utilisée pour implanter un grafcet dans l'automate programmable s'appuie sur la structure algorithmique bouclée suivante :

- calcul des conditions de franchissement de toutes les transitions,
- calcul de l'état de chaque étape (activation ou désactivation) en fonction des conditions de franchissement calculées précédemment,
- calcul de l'état des sorties associées aux étapes.



- $X_i$  : variable interne logique caractérisant l'activité de l'étape  $i$
- $CE1$  : condition de franchissement de la transition suivant immédiatement l'étape  $X0$
- $CE0$  : condition de franchissement de la transition suivant immédiatement l'étape  $X1$

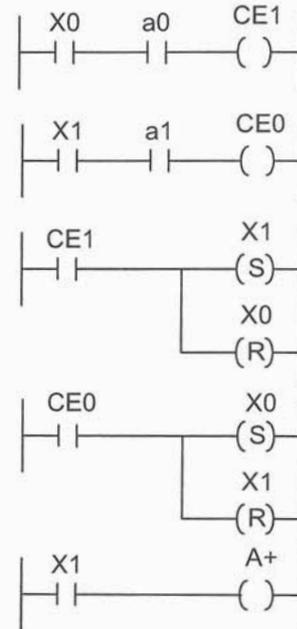


FIGURE 8 – Exemple de programmation d'un grafcet.

### Question 11

- Justifier l'intérêt de la structure algorithmique proposée, notamment le calcul préalable des conditions de franchissement vis à vis des règles d'évolution du Grafcet et du fonctionnement des automates programmables.

### Question 12

- Élaborer en langage LD un programme d'implantation du grafcet décrivant le cycle du chariot de chargement (document Annexe 10). On pourra se limiter : au calcul de l'état des variables associées aux étapes : 100, 101, 102, 106, 107, 110, au calcul des conditions de franchissement pouvant modifier leurs états respectifs, et au calcul de l'état des sorties associées à ces étapes.
- Élaborer en langage LD un programme permettant le calcul de l'état de la variable DB.
- Proposer une solution programmée permettant d'initialiser le grafcet dès que le programmeur appuie sur un bouton poussoir à accès restreint « init ».