

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 4 300 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.

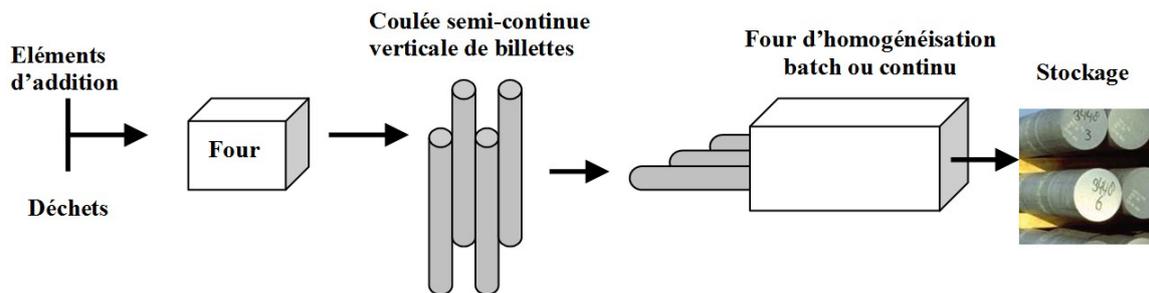


FIGURE 3 – Fonderie, fabrication des billettes

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.

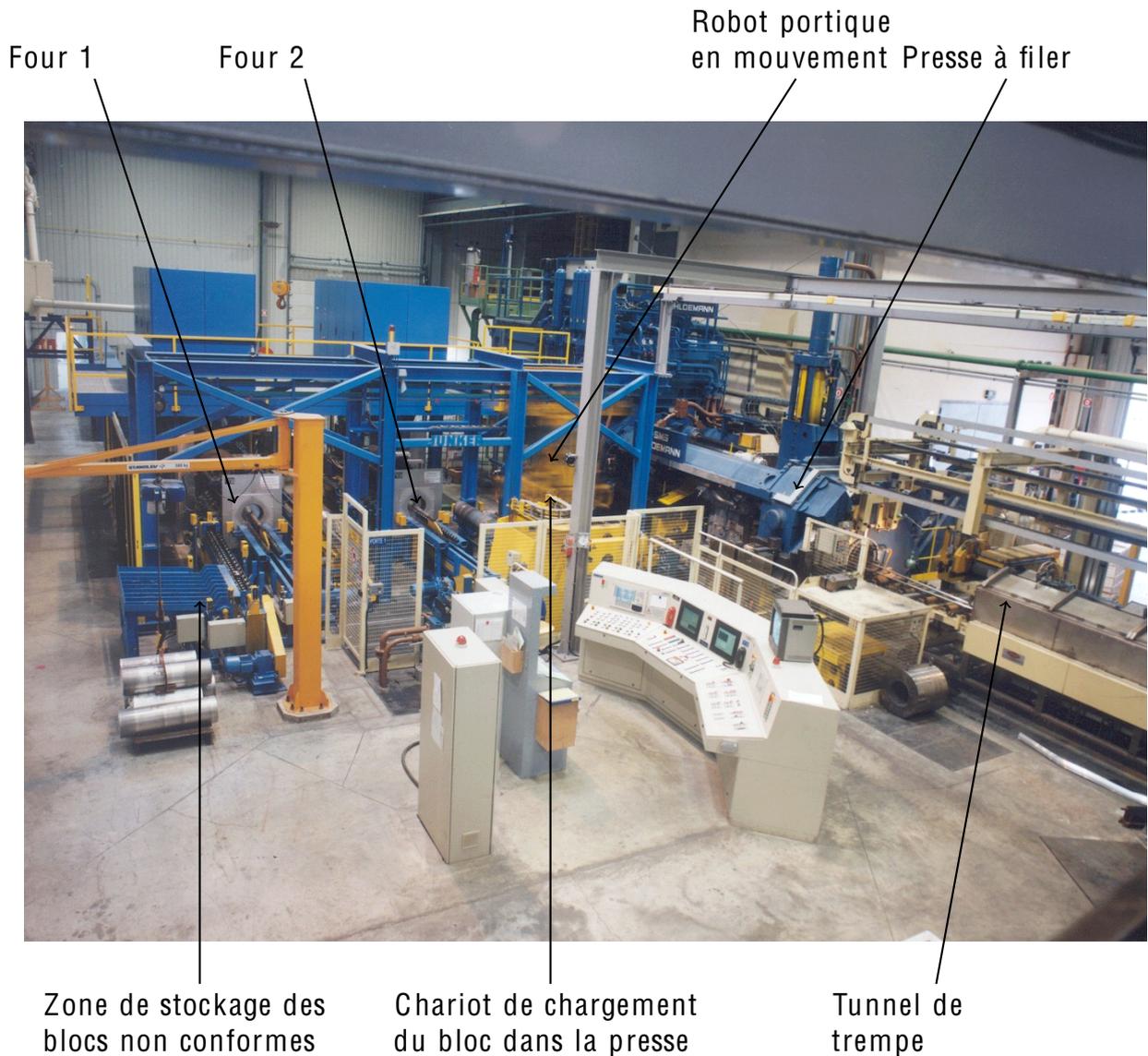


FIGURE 4 – Vue générale de la ligne de préparation des blocs et d'alimentation de la presse à filer

## 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.

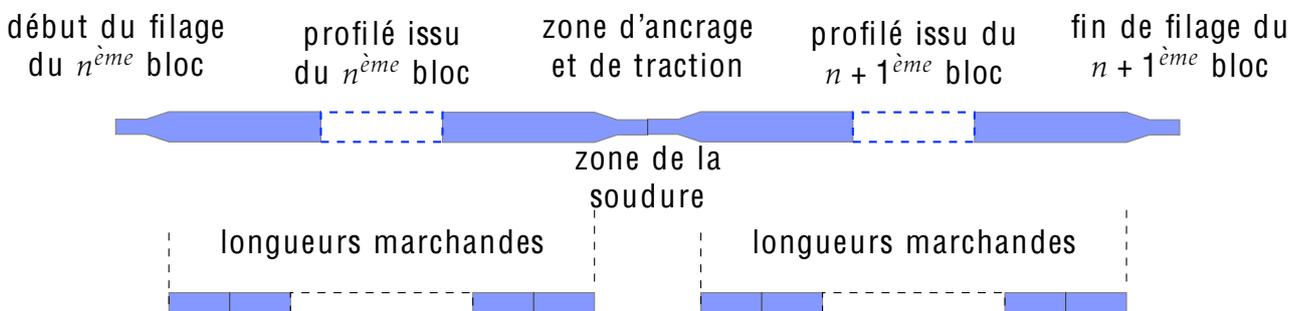


FIGURE 5 – Obtention des longueurs marchandes à partir des profilés filés

## 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 Grafcet 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 :

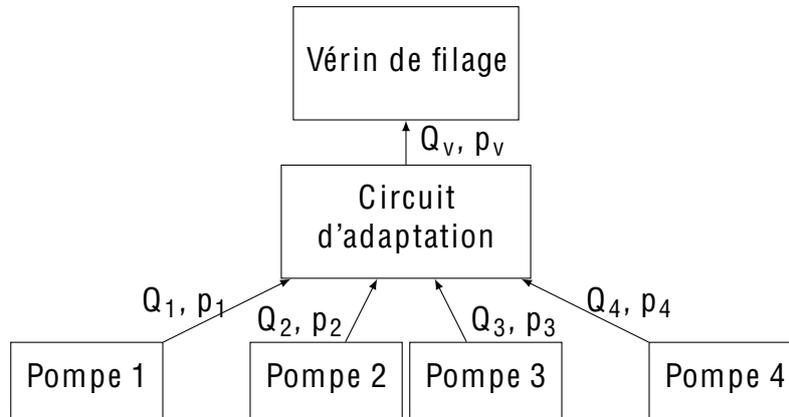


FIGURE 6 – Structure du circuit de puissance hydraulique

### 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 l · min <sup>-1</sup>	100 bar
R2	480 l · min <sup>-1</sup>	280 bar
R3	440 l · min <sup>-1</sup>	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 :  $F_{filage} = \pi \cdot R^2 \cdot \rho \cdot \ln(\delta R)$

– R = 125 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 °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.

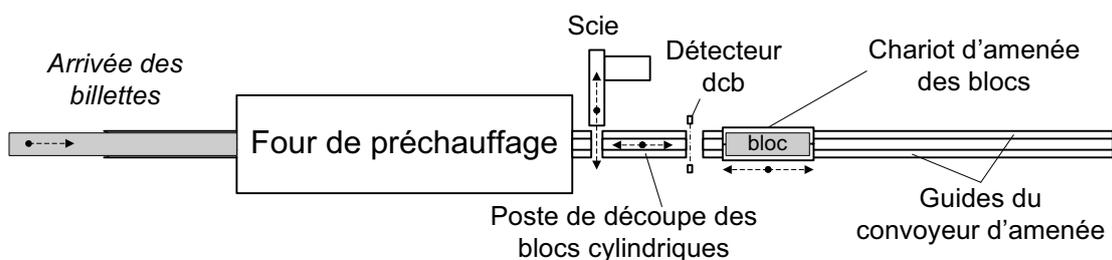


FIGURE 7 – Ensemble de préchauffage des billettes, de découpe et de transfert des blocs

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 grafcet 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 grafset 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 pousseur, 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

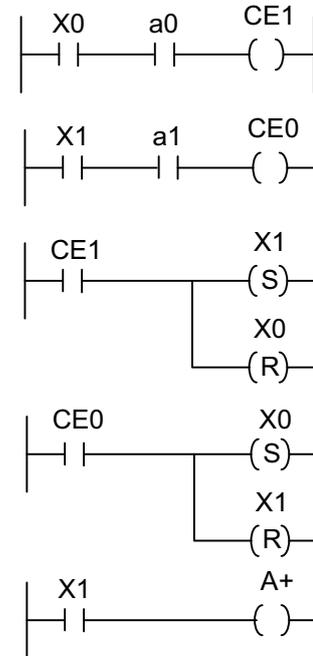
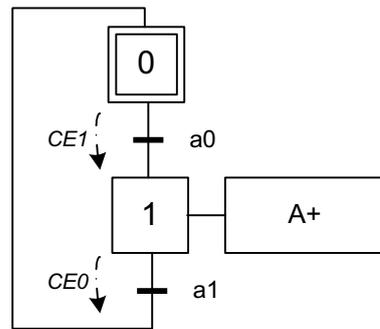
- En vue d'une implantation de la spécification comportementale dans un automate programmable, traduire les contraintes exprimées ci-dessus en logigramme ou en langage structuré.

## 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 le 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 ».

## Deuxième partie

# Étude du puller

### Description

À la sortie de la filière, le profilé sort à une température d'environ 500°C et avec une vitesse  $\vec{v}_f$  pouvant varier entre  $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  et  $50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Afin que celui-ci ne se déforme pas lors du filage, un effort de traction doit lui être appliqué pendant tout le filage. Cet effort sera obtenu grâce à un système asservi appelé « puller ».

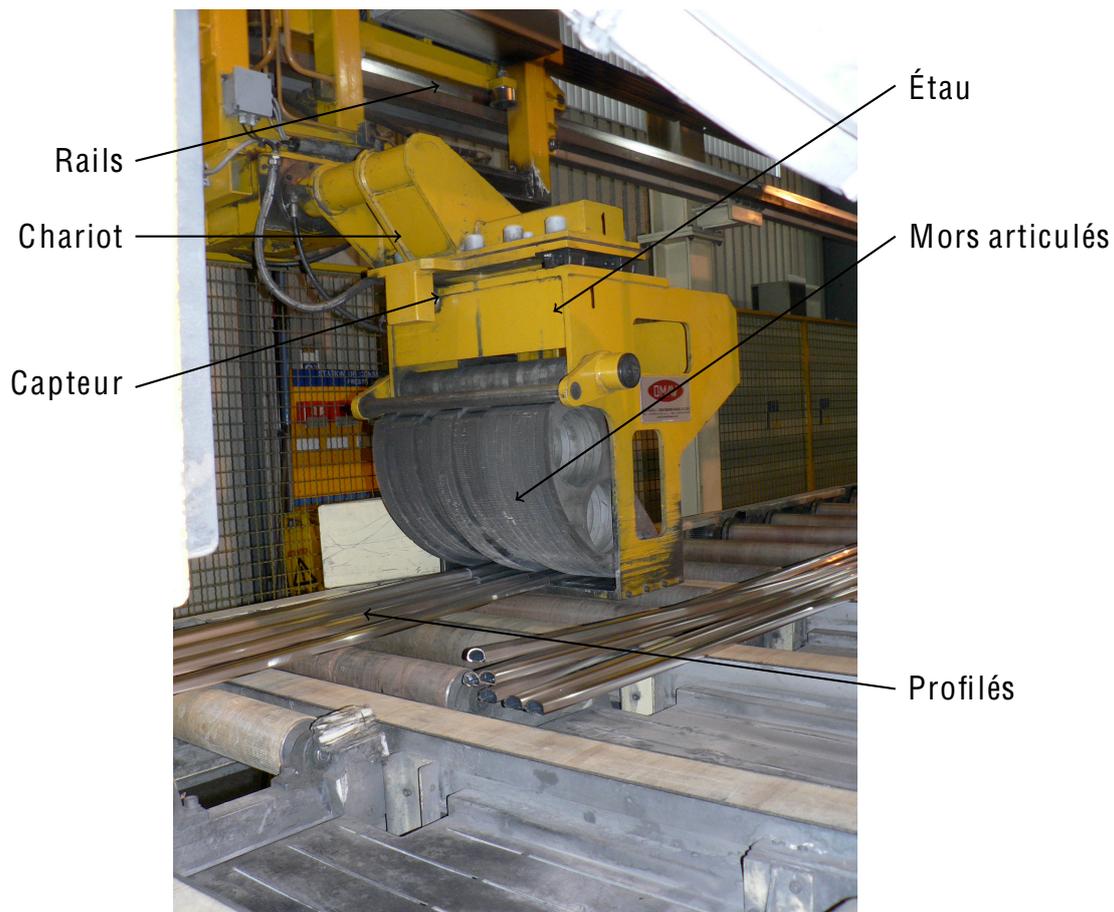


FIGURE 9 – Puller

Cette partie porte sur l'étude de l'asservissement du puller (de *to pull* tirer).

### Constitution

Le puller est constitué de deux sous-systèmes identiques travaillant en alternance pour maintenir le profilé en traction pendant tout le cycle de filage.

Chaque sous-système de traction se compose (Annexe 12) :

- d'un chariot entraîné en translation par une chaîne coulissant sur des rails ;
- d'un bras basculant en pivot avec le chariot ;
- d'un étau coulissant légèrement par rapport au bras ;
- de mors articulés en pivot avec l'étau.

On trouve aussi :

- un moteur à courant continu Siemens 1GG5 132 (non représenté) de 16,7 kW associé à un réducteur de rapport de réduction  $\lambda = 22,7$  qui entraîne la chaîne grâce à la poulie motrice ;
- deux vérins hydrauliques (non représenté) qui permettent de faire pivoter respectivement le bras support de l'étau et les mors ;
- un capteur d'effort placé entre l'étau et le bras.

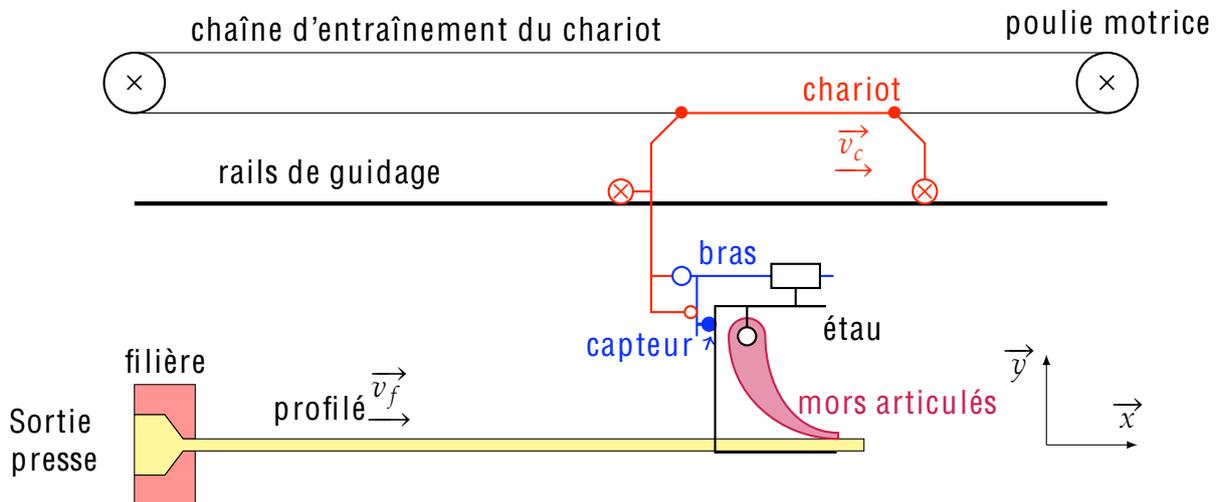


FIGURE 10 – Schéma de principe du Puller

## Description du filage

Le puller comporte deux chariots travaillant en alternance (Annexe 12).

### Première longueur

**Début du filage :** Au début du filage d'une nouvelle série de profilés, le chariot (le chariot 1 sur la figure 22 du document Annexe 12) du puller vient se placer à la sortie de la filière en position haute, puis dès que le profilé est suffisamment sorti, la presse s'arrête, l'étau pivote en position basse et les mors viennent serrer le profilé. Le profilé est mis en traction ( $T_f = 2000 \text{ N}$ ).

**Filage :** Le filage reprend (la matière est poussée par la presse à travers la filière), le profilé se déplace à la vitesse  $V_f$ . Pendant tout le déplacement, l'effort de traction est maintenu constant.

**Découpe :** La longueur de débit étant atteinte, le filage est stoppé (arrêt de la presse), le profilé est bridé puis découpé.

**Evacuation :** Le profilé découpé est évacué en bout de chaîne par le chariot puis transféré vers le poste de rangement (non présenté sur le schéma). Le chariot attend en position haute et en bout chaîne le cycle suivant.

### Seconde longueur

**Préparation :** Pendant le filage de la première longueur, le second chariot se déplace (en position haute) vers le poste de découpe et attend la fin du filage de la première longueur.

**Début du second filage :** À la fin de la découpe, le profilé est saisi (basculement de l'étau puis serrage des mors) avant d'être mis en traction.

**Filage :** Le filage reprend, le profilé se déplace à la vitesse  $V_f$ . Pendant tout le déplacement, l'effort de traction est maintenu constant.

**Découpe :** La longueur de débit étant atteinte, le filage est stoppé, le profilé est bridé puis découpé.

**Longueurs suivantes** Pendant le filage d'une longueur, l'autre chariot se déplace au niveau du poste de découpe. Les deux chariots ne peuvent se croiser que si l'un est en position basse (celui qui tire) et l'autre en position haute. Dès la découpe effectuée, le filage de la nouvelle longueur redémarre pendant que la longueur précédente est évacuée. Ce cycle se répète autant de fois que nécessaire.

## 2.1 Modélisation

Il s'agit dans cette partie d'établir un modèle de connaissance du système asservi de traction.

### Hypothèses et données complémentaires

On se place pendant la phase de filage, les mors sont serrés sur le profilé, la vitesse relative entre l'ensemble {mors, étai} et le profilé est supposée nulle. On note :

- $\vec{T}_f = -T_f \cdot \vec{x}$ , l'action mécanique du profilé sur l'étai ;
- $\vec{T}_c = T_c \cdot \vec{x}$ , l'action mécanique du capteur sur l'étai ;
- $\vec{v}_f = v_f \cdot \vec{x}$ , la vitesse de filage du profilé imposée par la presse.
- $\vec{v}_c = v_c \cdot \vec{x}$ , la vitesse de déplacement du chariot ;
- $x_c$  et  $x_f$  respectivement la position du chariot et de l'étai.
- $c_m$ , le couple moteur exercé sur l'arbre d'entrée du réducteur ;
- $\omega_m$ , la vitesse de rotation du moteur ;

Caractéristiques massiques et dimensionnelles :

- $m_c = 250$  kg, masse du chariot ;
- $m_e = 200$  kg, masse de l'étai et des mors ;
- $m_\lambda = 2,3$  kg · m<sup>-1</sup>, masse linéique de la chaîne (longueur totale  $L_c = 210$  m) ;
- $J_m = 0,09$  kg m<sup>2</sup>, moment d'inertie de l'arbre moteur ;
- $J_r$ , moment d'inertie du réducteur ramené sur l'arbre d'entrée ;
- $R_p = 15$  cm, rayon des roues dentées.

### Question 13

- Écrire l'équation différentielle de mouvement de l'ensemble {étai + mors}.

### Question 14

- Écrire l'équation différentielle de mouvement du chariot en fonction du couple moteur et de  $T_c$ , on précisera le moment d'inertie équivalent  $J_e$  en fonction des masses et inerties du mécanisme.

On note  $p$  la variable de Laplace et  $\mathcal{L}x_c(t) = X_c(p)$  la transformée de Laplace de  $x_c(t)$  de même :

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| - $\mathcal{L}(x_f(t)) = X_f(p)$ | - $\mathcal{L}(T_c(t)) = T_c(p)$           |
| - $\mathcal{L}(v_f(t)) = V_f(p)$ | - $\mathcal{L}(c_m(t)) = C_m(p)$           |
| - $\mathcal{L}(v_c(t)) = V_c(p)$ | - $\mathcal{L}(\omega_m(t)) = \Omega_m(p)$ |

### Question 15

- En déduire la relation dans le domaine de Laplace donnant  $X_c(p)$  en fonction de  $C_m(p)$  et  $T_c(p)$ . Tracer le schéma bloc correspondant.

Le capteur d'effort (Annexe 13) peut être modélisé comme un ressort de raideur  $k_c$  (fig 11) pour lequel le signal est proportionnel à la déformation.

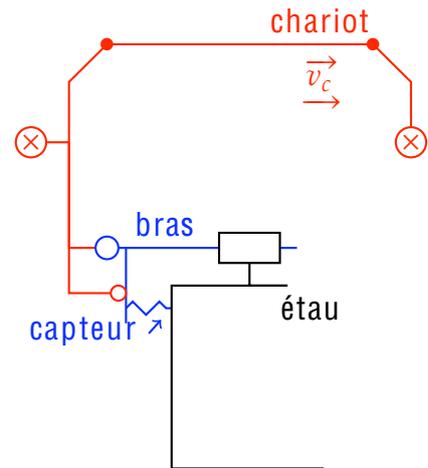


FIGURE 11 – Modélisation du capteur d'effort

### Question 16

- Quelle est la technologie utilisée pour ce capteur ?

### Question 17

- Déterminer la relation entre la mesure  $T_c$  de l'effort et les positions  $x_c$  et  $x_f$ . Vous préciserez toute hypothèse complémentaire.

### Question 18

- Tracer le schéma bloc correspondant donnant  $T_c(p)$  en fonction de  $X_c(p)$  et  $V_f(p)$ .

### Question 19

- Déduire des questions précédentes, le schéma bloc donnant  $T_c(p)$  en fonction de  $C_m(p)$  et  $V_f(p)$ .

On rappelle les équations électriques d'un moteur à courant continu

$$u = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + e(t) \quad (6)$$

$$C_m = k_t \cdot i \quad (7)$$

$$e(t) = k_e \cdot \omega_m \quad (8)$$

avec  $L = 11 \text{ mH}$ ,  $R = 0,928 \Omega$  et  $k_e = k_t = 1,77 \text{ SI}$ .

### Question 20

- À partir de ces équations et du schéma bloc précédent, mettre le schéma bloc donnant  $T_c$  en fonction de  $U(p)$  et  $V_f(p)$  sous la forme du schéma ci-dessous.

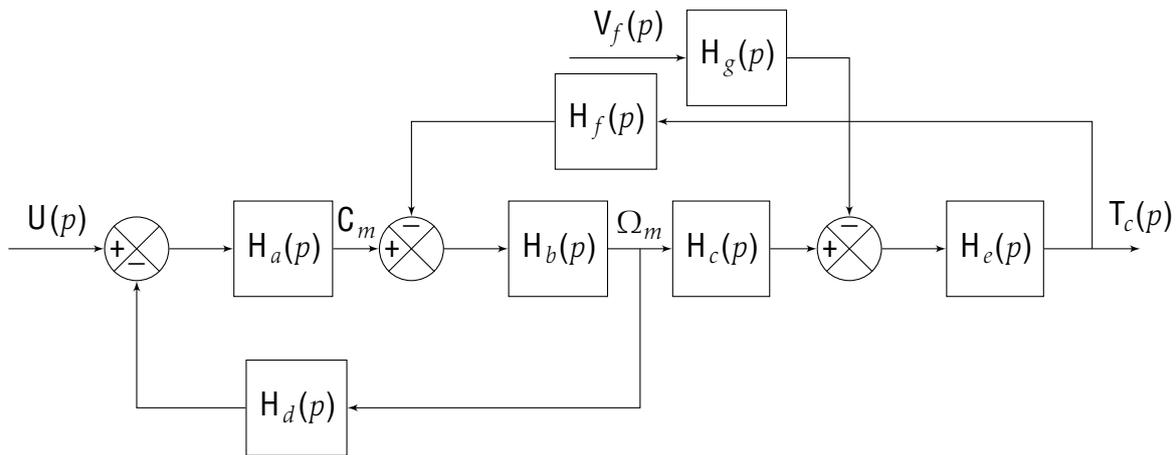


FIGURE 12 – Modèle électromécanique du puller

### Question 21

- Expliciter les deux fonctions  $G_1(p)$  et  $G_2(p)$  telles que  $T_c(p) = G_1(p) \cdot U(p) - G_2(p) \cdot V_f(p)$  en fonction des  $H_i(p)$ .

L'inductance d'un moteur à courant électrique est souvent négligée, nous allons maintenant préciser dans quelles limites on peut faire cette hypothèse.

Compte tenu des caractéristiques du moteur et des différents constituants, la fonction de transfert s'écrit si :

- l'inductance n'est pas négligée :  $G_1(p) = G_{1a}(p) = \frac{3,19 \cdot 10^7}{110 \cdot p^3 + 5000 \cdot p^2 + 258000 \cdot p + 59500}$
- l'inductance est négligée :  $G_1(p) = G_{1b}(p) = \frac{3,19 \cdot 10^7}{10 \cdot p^2 + 513 \cdot p + 119}$

La figure 13 présente les diagrammes de Bode de la fonction de transfert  $G_1(p) = G_{1a}(p)$  dans le cas où l'inductance n'est pas négligée, le tableau 4 précise quelques valeurs.

Fréquence [rad/s]	0,0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	2,3
Amplitude [dB]	56,0	55,0	53,0	49,9	45,3	41,8	34,7
Phase [°]	-2,9	-26,7	-45,2	-60,7	-73,8	-79,8	-87,6
Fréquence [rad/s]	3,5	10,0	23,1	35,1	48,1	53,4	100,0
Amplitude [dB]	31,1	22,2	15,7	12,7	8,9	6,9	-9,8
Phase [°]	-90,7	-100,4	-120,0	-145,6	-180,0	-192,6	-239,6

TABLE 4 – Module et argument de  $G_1$

### Question 22

- Mettre  $G_{1b}(p)$  sous forme canonique préciser ces paramètres caractéristiques.

### Question 23

- Tracer les diagrammes Bode de  $G_{1b}(p)$  sur le Document Réponse 1. Comparer puis préciser quelles sont les hypothèses à faire si on souhaite négliger l'inductance.

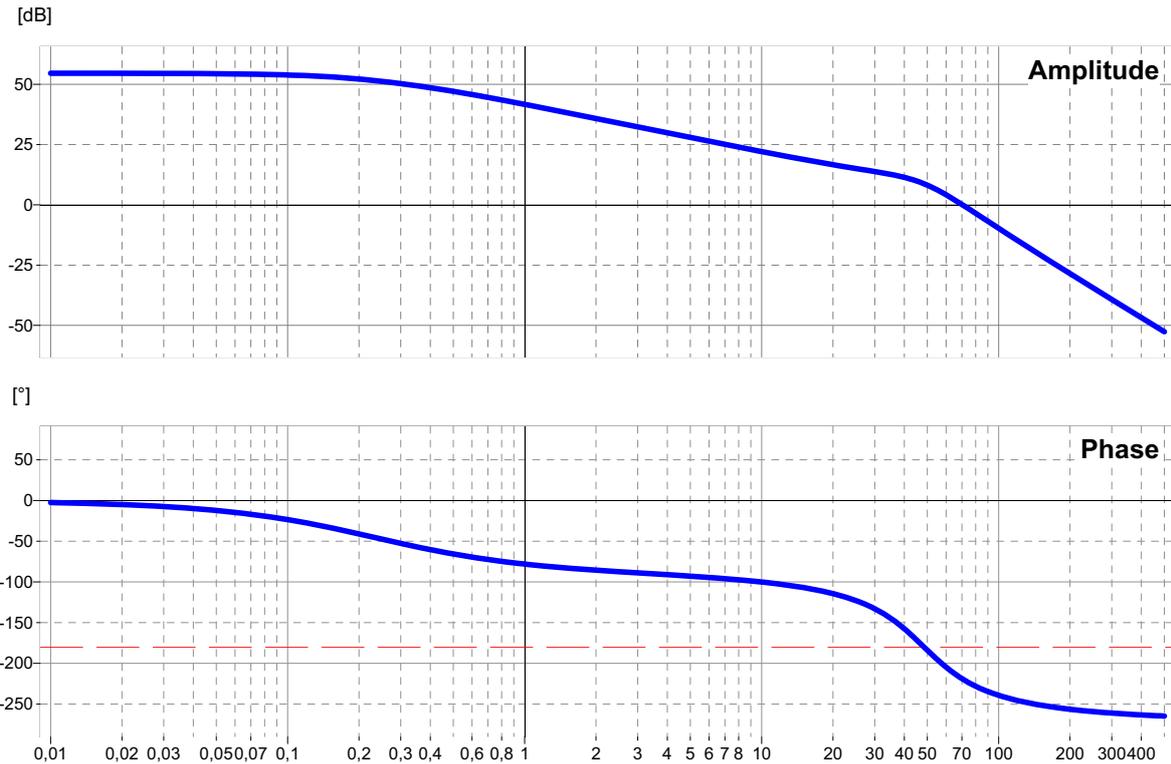


FIGURE 13 – Diagramme de Bode  $G_1(p)$

## 2.2 Régulation de l'effort de traction

Le cahier des charges précise :

- Le puller doit assurer un effort de traction  $T_f$  pendant les différentes phases du filage :
  - maintien de l'effort à l'arrêt ;
  - montée en vitesse ;
  - filage à vitesse constante.
- L'erreur statique  $\varepsilon_s$  doit être inférieure à 100 N dans toutes les phases de fonctionnement à vitesse constante.
- La réponse temporelle ne doit pas présenter d'oscillations.

Pour cela, on choisit de mesurer l'effort  $T_c$  et de comparer celui-ci à la consigne  $F_c$ . Un régulateur permet de générer la tension de commande  $u(t)$ . Le schéma bloc figure 15 précise le modèle d'étude.

Pour cette partie, on choisit le modèle complet pour  $G_1$ , les deux fonctions de transfert s'écrivent compte tenu des caractéristiques mécaniques et électriques et quelques simplifications :

$$G_1(p) \approx \frac{2,90 \cdot 10^5}{(p + 0,232) \cdot (p^2 + 45,2 \cdot p + 2330)} \quad (14)$$

$$G_2(p) \approx \frac{150000}{1 + 4 \cdot p} \quad (15)$$

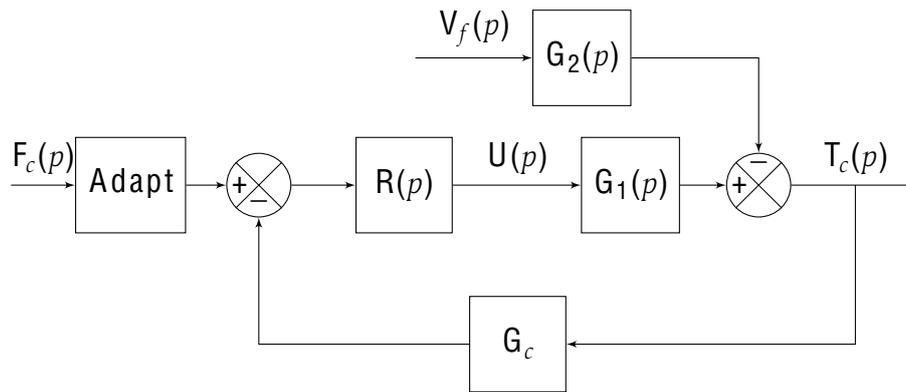


FIGURE 15 – Régulation de l’effort de traction

Le gain du capteur et du circuit associé est de  $G_c = \frac{1}{1000} \text{V} \cdot \text{N}^{-1}$ . Le bloc *Adapt* est un bloc d’adaptation que vous évaluerez si nécessaire.

### Question 24

- Pourquoi avoir choisi de réguler  $T_c$  plutôt que  $T_f$  ? À quelles conditions ce choix est-il valide ?

La consigne de traction est  $F_c = 2000 \text{ N}$ . Les phases de fonctionnement sont les suivantes :

1. presse à l’arrêt  $v_f(t) = 0$ , mise en tension  $F_c = 2000 \text{ N}$  ;
2. rampe de vitesse  $v_f(t) = a \cdot t$  avec  $a = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , maintien de la consigne de traction ;
3. vitesse constante  $v_f(t) = v_3$  ( $v_3 = 6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ), maintien de la consigne de traction.

#### 2.2.1 Régulation proportionnelle

On se propose de vérifier maintenant si une régulation proportionnelle permet de respecter le cahier des charges, on choisit  $R(p) = R_0$ , un gain constant.

On se place pendant la première phase de fonctionnement, presse à l’arrêt  $v_f(t) = 0$  et  $F_c = 2000 \text{ N}$ .

### Question 25

- Préciser la valeur du gain *Adapt*.
- Déterminer par le critère de Routh ou une autre méthode, la valeur maximale du gain  $R_0$  pour que le système reste stable.
- Déterminer la valeur minimale du gain  $R_0$  respectant la condition sur l’erreur statique.

On se place maintenant dans la troisième phase de fonctionnement avec une vitesse de filage vitesse constante  $v_f(t) = v_3$  ( $v_3 = 6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) et le maintien de la consigne de traction  $F_c = 2000 \text{ N}$ .

### Question 26

- Déterminer l’erreur indicielle durant cette phase de fonctionnement en fonction de  $R_0$ ,  $F_c$  et  $v_3$ . Est-il possible alors de respecter le cahier des charges ?

### Question 27

- Le cahier général précise que la vitesse de filage peut varier de  $5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  à  $50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , un simple correcteur proportionnel est-il toujours envisageable ?

### 2.2.2 Correction

On se propose maintenant d'améliorer le comportement du système en choisissant un nouveau régulateur.

$$R(p) = R_0 \left( 1 + \frac{1}{T_0 \cdot p} \right) \text{ avec } T_0 = 5 \text{ s} \quad (25)$$

### Question 28

- Quelles sont les caractéristiques de ce régulateur ?
- Tracer l'allure des diagrammes de Bode de  $R(p)$  pour  $R_0 = 1$ .

### Question 29

- À partir du tracé précédent et du tableau 4, tracer sur le Document Réponse 2, le diagramme de Black de la fonction de transfert en boucle ouverte du système ( $V_f(p) = 0$  et  $R_0 = 1$ ). Le système est-il stable ?

### Question 30

- Déterminer l'erreur indicielle durant cette phase de fonctionnement en fonction de  $R_0$ ,  $F_c$  et  $v_3$ . Est-il possible alors de respecter le cahier des charges avec ce régulateur ?
- La figure 18 précise l'évolution temporelle de la vitesse de filage et de la consigne de traction, reproduire cette figure sur votre copie et tracer (qualitativement) l'allure de la réponse temporelle de  $T_c(t)$  et conclure.

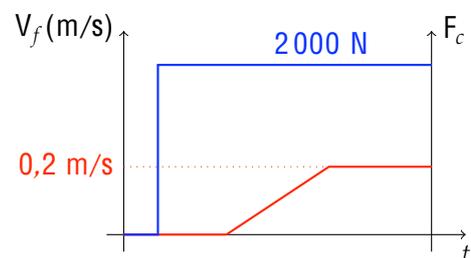


FIGURE 18 – Réponse temporelle

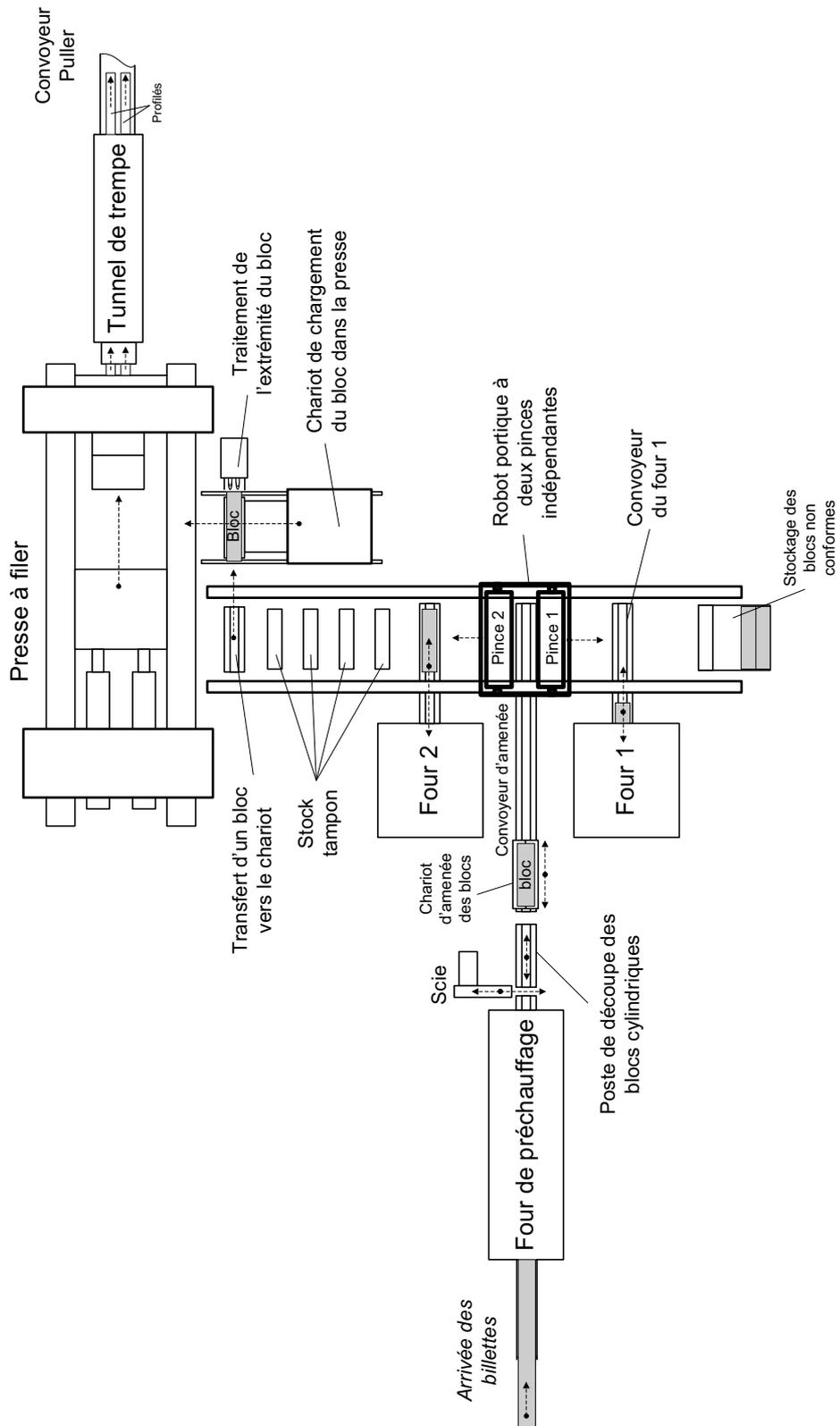
### Question 31

- Proposer un critère pertinent de réglage permettant de respecter le dernier item du cahier des charges « La réponse temporelle ne doit pas présenter d'oscillations », en déduire une valeur de réglage pour  $R_0$ .

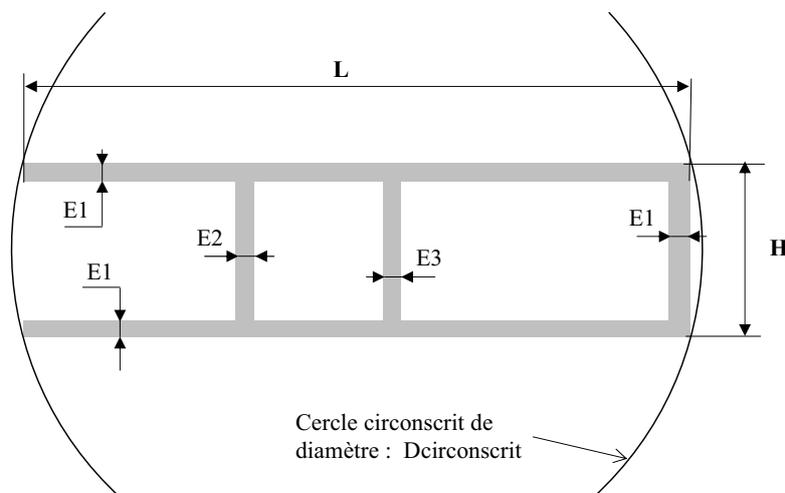
... Fin du sujet ...

# Annexes

## Annexe 1 Schéma d'implantation de la ligne de préparation des blocs et d'alimentation de la presse à filer



## Annexe 2 Caractérisation des profilés



Valeur spécifiée H (mm)		Tolérances pour côte H
>	≤	
-	10	±0,20
10	20	±0,25
20	35	±0,30
35	50	±0,40
50	70	±0,50
70	100	±0,60
100	150	±0,80
150	200	±1,00
200	250	±1,20
250	300	±1,40

Valeur spécifiée $E_p$		Épaisseur $E_1$ (partie ouverte)	Épaisseur $E_2$ (partie creuse)	Épaisseur $E_3$ (interaiguille)
>	≤			
1	1,5	±0,15	±0,20	±0,30
1,5	2,5	±0,15	±0,25	±0,40
2,5	4	±0,20	±0,30	±0,50
4	6	±0,20	±0,40	±0,60
6	10	±0,25	±0,60	±0,80

TABLE 5 – Tolérances dimensionnelles accessibles

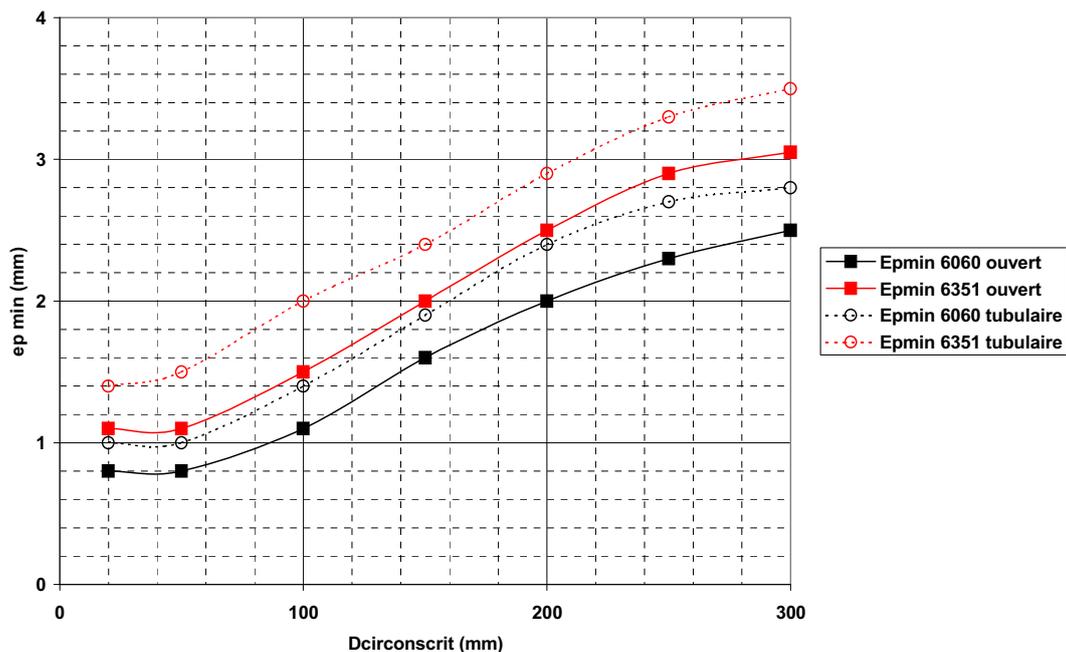


FIGURE 19 – Épaisseurs

## Annexe 3 Cycle de filage

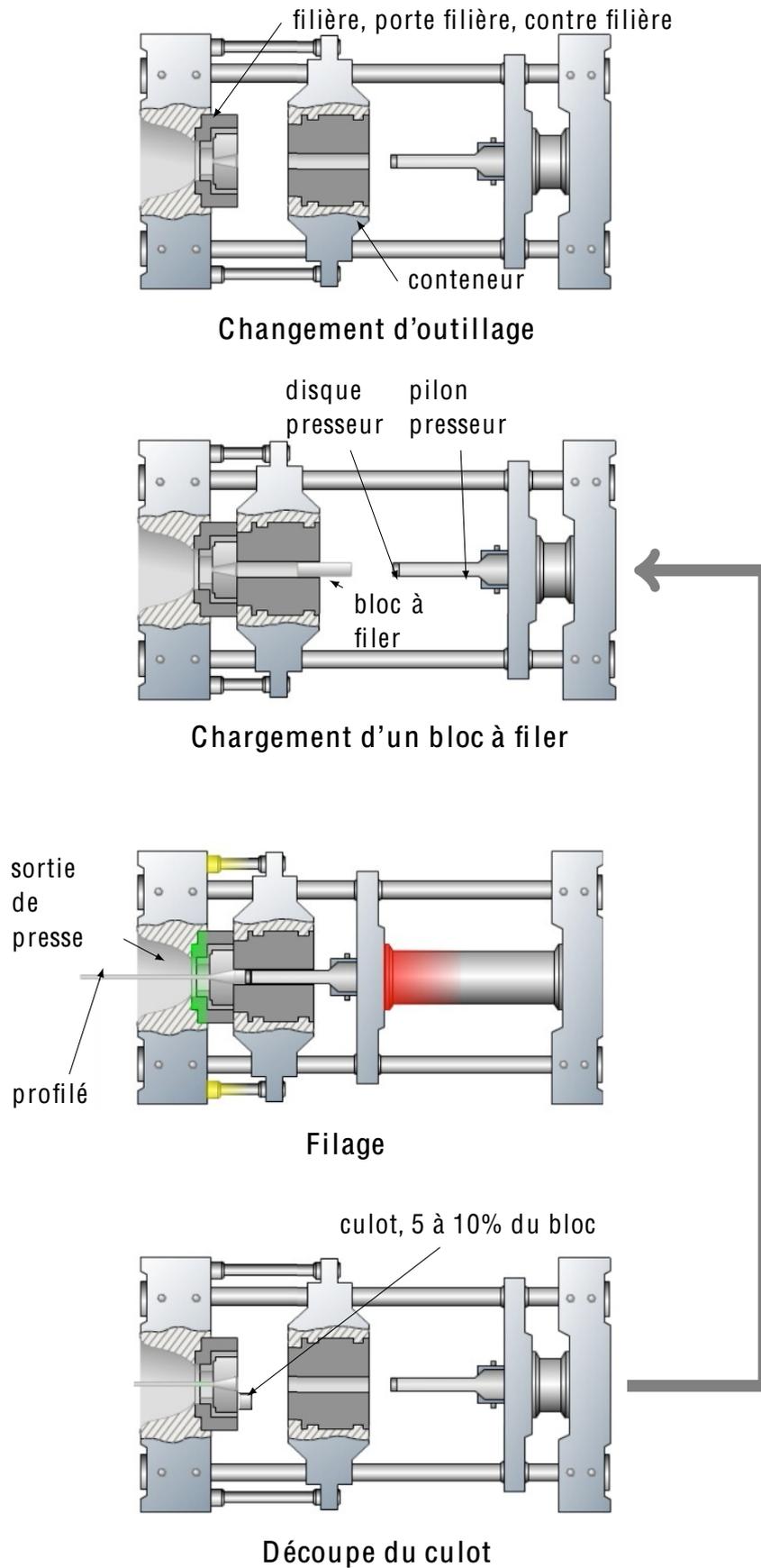
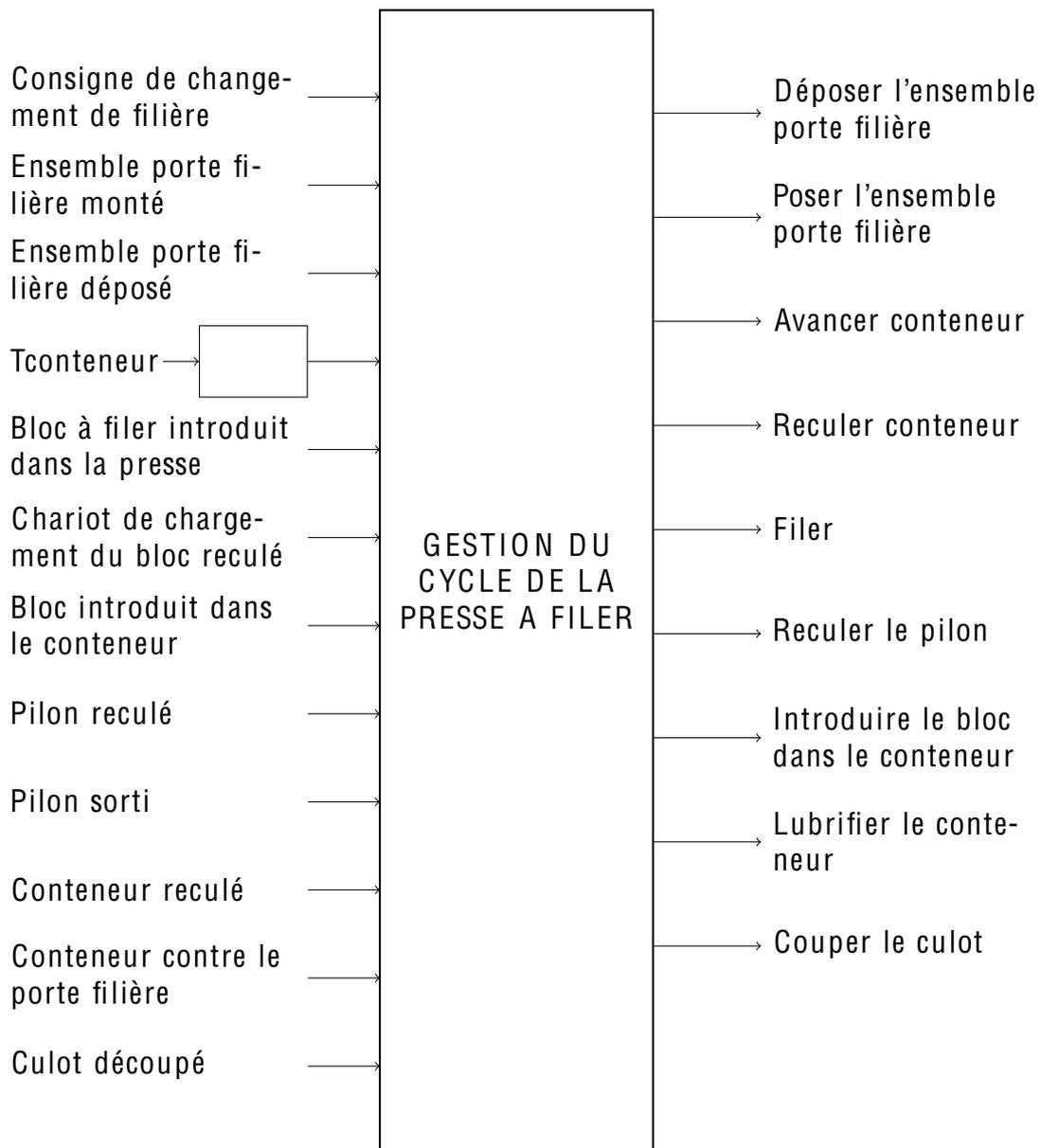


FIGURE 20 – Cycle de filage

## Annexe 4 Boite fonctionnelle de caractérisation des E/S de la commande de la presse à filer



# Annexe 5 Pompe hydraulique A4VSO - 750

**Rexroth**  
Bosch Group

## Pompe à cylindrée variable A4VSO

séries 1, 2 et 3, circuit ouvert  
construction à pistons axiaux et plateau incliné

calibres 40...1000

pression nominale 350 bar

pression maxi 400 bar

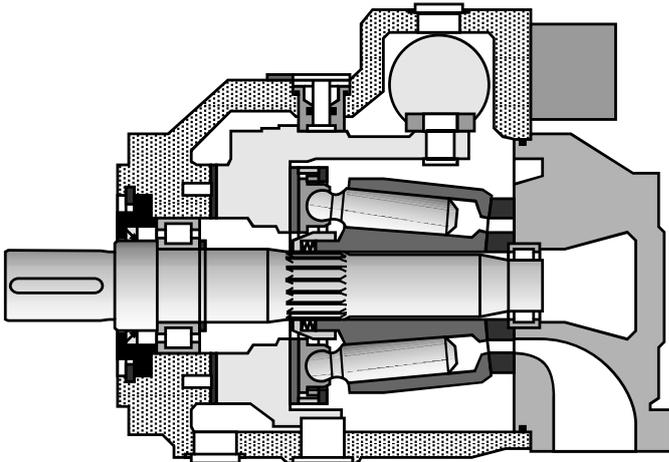
**RF**  
**92050/09.97**

remplace 11.95

### Haute pression

Description des dispositifs de réglage,  
voir notices séparées :

RF 92055, RF 92060, RF 92064,  
RF 92072, RF 92076, RF 92080



La pompe à cylindrée variable A4VSO à pistons axiaux et plateau incliné est conçue pour les transmissions hydrostatiques en circuit ouvert.

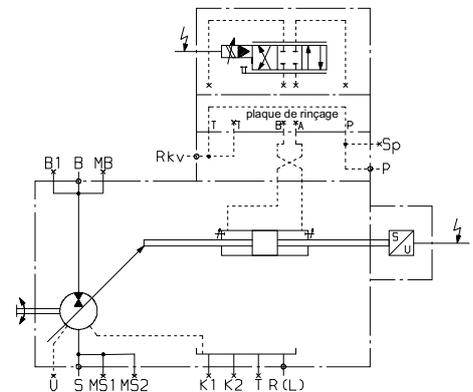
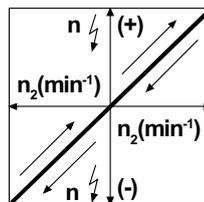
Le débit est proportionnel à la vitesse d'entraînement et à la cylindrée. Le réglage du plateau incliné permet une modification en continu du débit.

- construction à plateau incliné, distribution par lumières
- cylindrée réglable en continu
- bonne caractéristique d'aspiration
- pression nominale admissible 350 bar
- faible niveau sonore
- grande longévité
- capacité de charge radiale et axiale de l'arbre
- puissance massique élevée
- construction modulaire
- temps de réglage courts
- possibilité de prise de force et de pompe combinée
- indicateur de position de la pompe
- position de montage indifférente
- possibilité d'utilisation avec fluide HF, avec réduction des caractéristiques

### Aperçu des dispositifs de réglage

#### Régulation de vitesse, secondaire, DS1

La régulation DS1 agit sur l'unité secondaire de façon à ce que le couple de rotation nécessaire pour atteindre la vitesse désirée soit disponible. Ce couple est proportionnel à la cylindrée, donc à l'angle d'inclinaison de la pompe, le circuit ayant une pression déterminée.



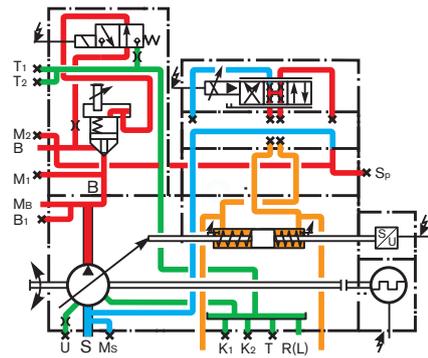
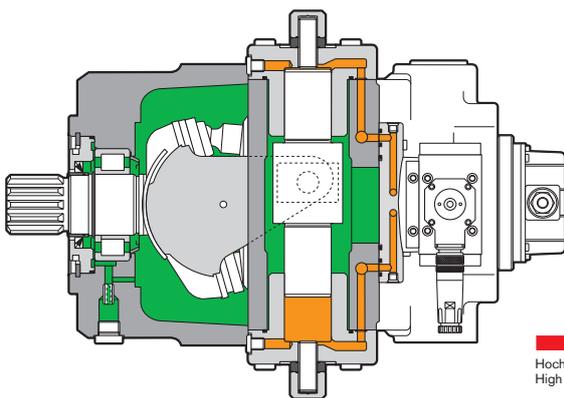
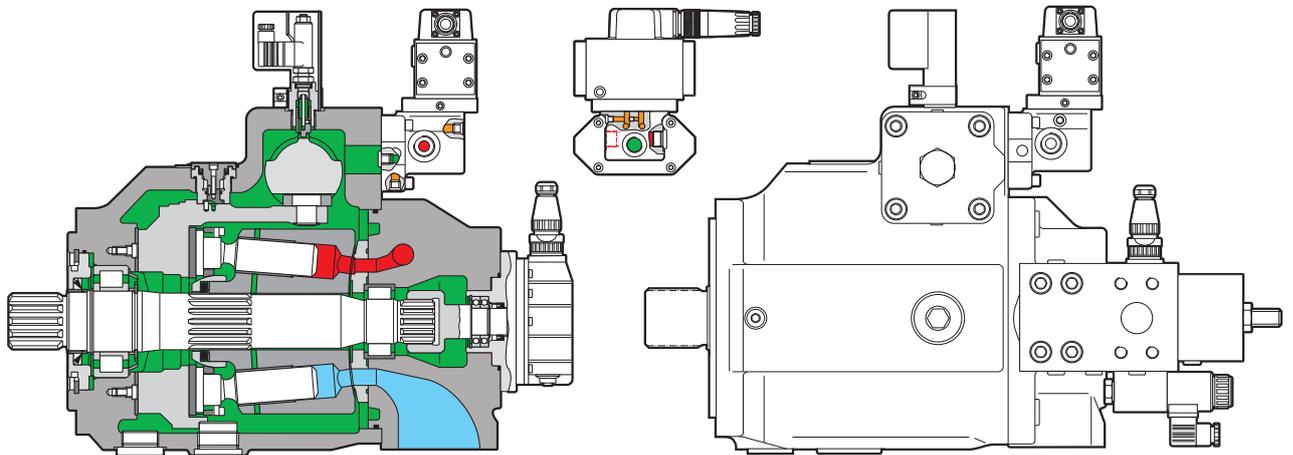
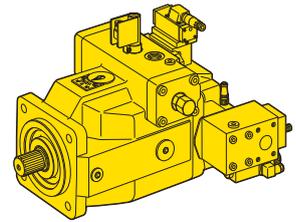
Annexe 5.1 Circuit hydraulique interne de la pompe A4VS0

A4VS0 ... DS1

Baureihe / Series 30

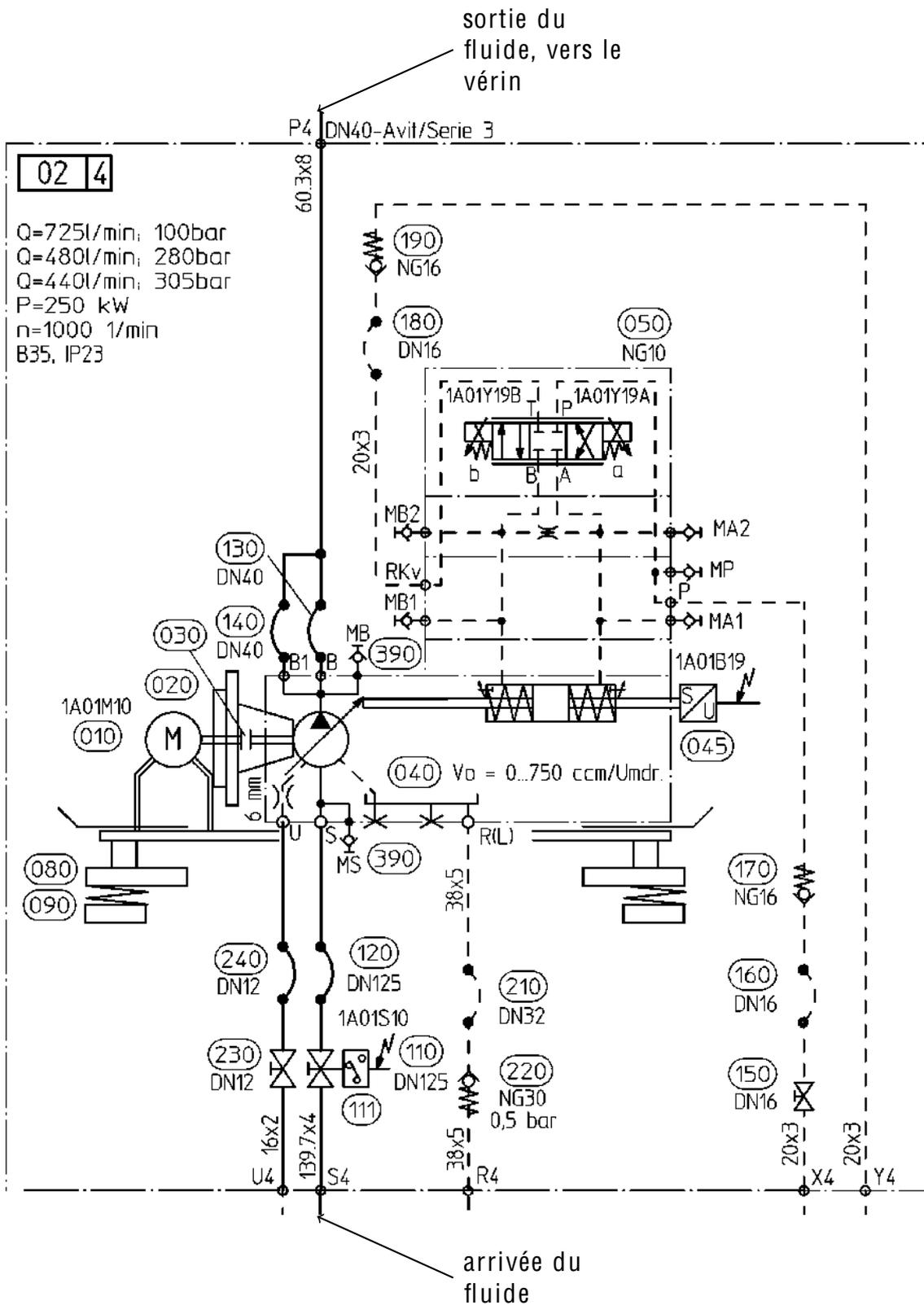
Verstellpumpe  
Variable displacement pump

**Rexroth**  
Bosch Group



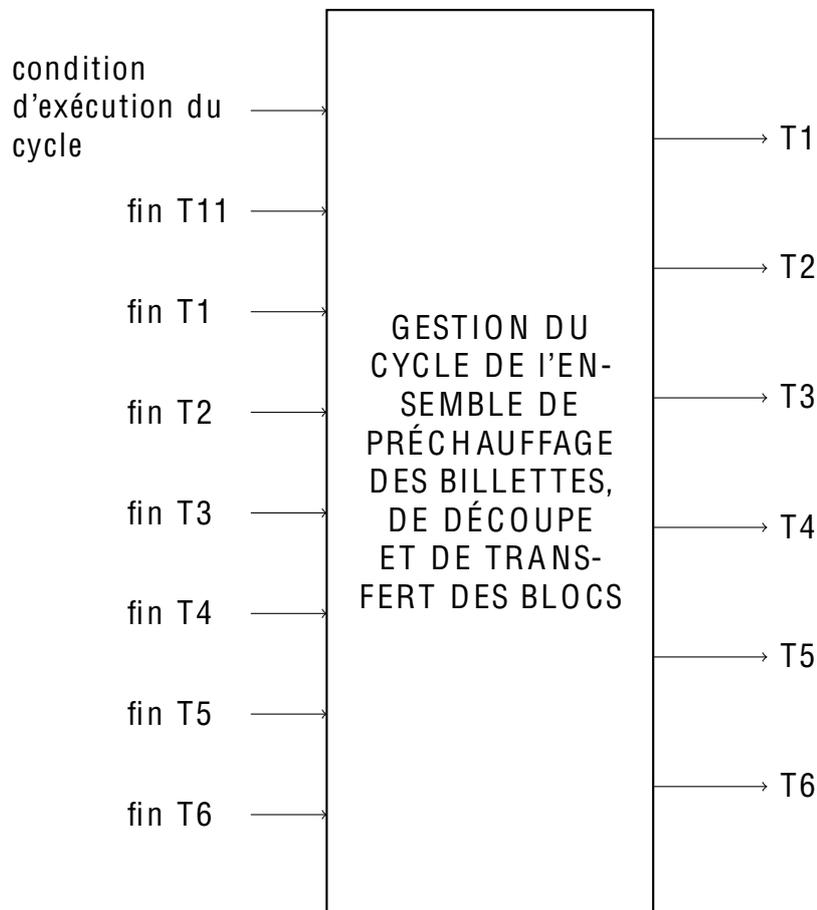
Hochdruck High pressure	Niederdruck Return line press.	Saugdruck Suction pressure	Lecköldruck Case drain press.	Steuerdruck Pilot pressure	Stelldruck Control press.

# Annexe 6 Schéma hydraulique de la pompe A4VS0





## Annexe 8 Boite fonctionnelle de caractérisation des E/S de la commande de l'ensemble de préchauffage des billettes, de découpe et de transfert des blocs



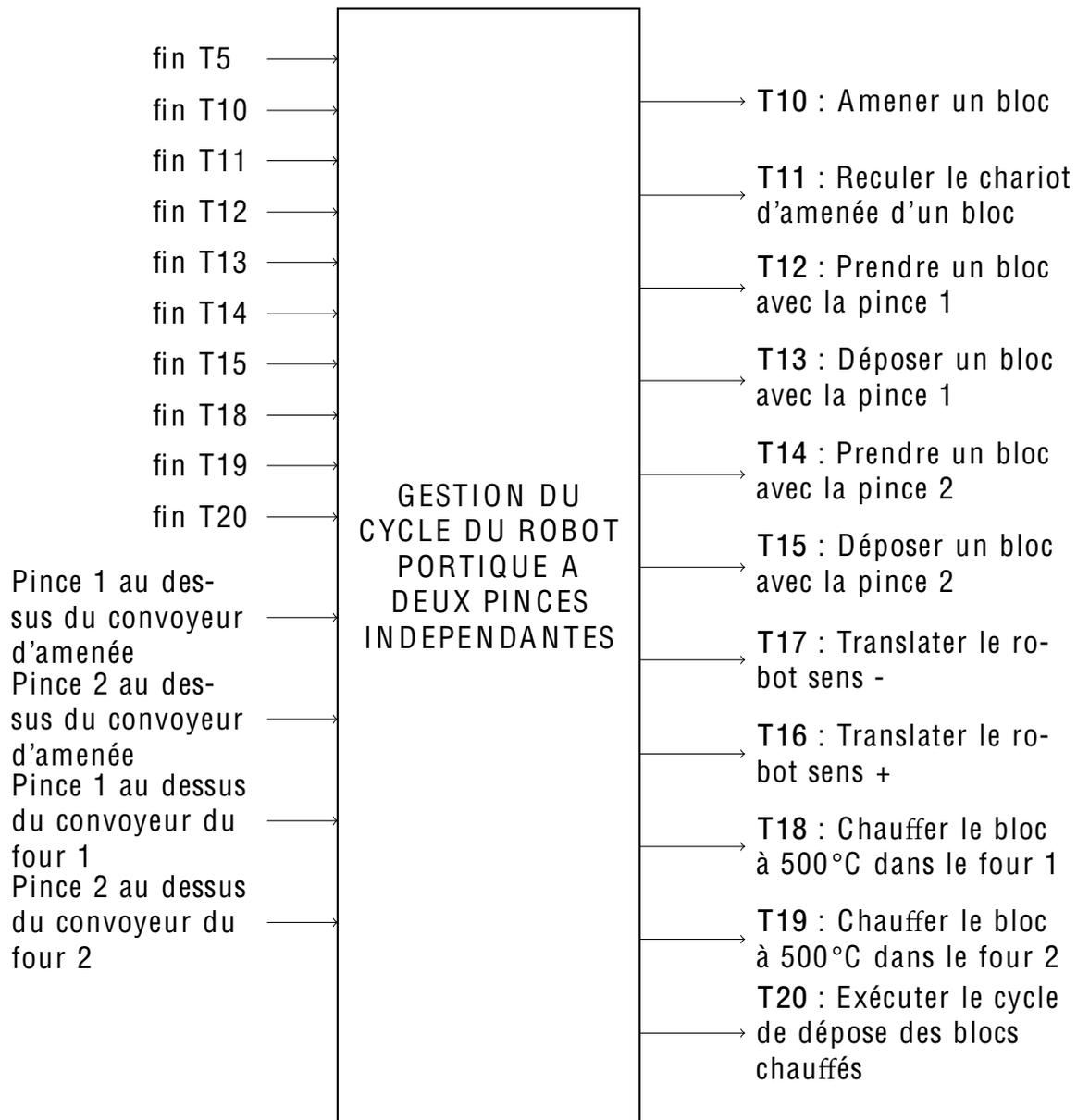
Information	Description
Fin T11	Le chariot d'amenée des blocs est revenu vide en position de référence à l'extrémité des guides près du poste de découpe
Fin T1	La billette est dans le four et la porte d'entrée du four est fermée
Fin T2	La température de l'ensemble de la billette a atteint 130°C (le four maintient cette température)
Fin T3	La billette a atteint la position dcb
Fin T4	La scie est revenue en position de référence après sciage de la billette
Fin T5	Le poste de découpe a complètement terminé de transférer le bloc sur le chariot d'amenée
Fin T6	Le résidu a été évacué

TABLE 6 –

En sortie Ti signifie « exécuter la tâche Ti ».

## Annexe 9 Robot portique

### Annexe 9.1 Boite fonctionnelle de caractérisation des E/S de la commande du robot portique à deux pinces indépendantes



**Remarques :**

- Fin T5 : Le poste de découpe a complètement terminé de transférer le bloc sur le chariot d'amenée.
- Tâches T16 et T17 - Translation du robot : le sens + caractérise un déplacement du robot dans le sens « stock des blocs non conformes vers stock tampon ». Le sens - caractérise un déplacement dans le sens inverse.

## Annexe 9.2 Tâches associées au cycle du robot portique

Tâche	Intitulé	Commentaire
T10	Amener un bloc	Le chariot d'amenée amène le bloc sous la zone de prise du robot portique
T11	Reculer le chariot d'amenée d'un bloc	Le chariot d'amenée revient vide en position de référence (près du poste de découpe)
T12	Prendre un bloc avec la pince 1	La pince 1 descend, saisit le bloc sur le chariot d'amenée et remonte
T13	Déposer un bloc avec la pince 1	La pince 1 descend le bloc sur un convoyeur ou sur une zone tampon, libère le bloc et remonte
T14	Prendre un bloc avec la pince 2	
T15	Déposer un bloc avec la pince 2	
T16	Translater le robot sens +	Le robot translate dans le sens « stock des blocs non conformes vers stock tampon »
T17	Translater le robot sens -	Le robot translate dans le sens « stock tampon vers stock des blocs non conformes »
T18	Chauffer le bloc à 500°C dans le four 1	Le convoyeur du four 1 introduit le bloc dans le four, le four chauffe le bloc à 500°C et le bloc est ramené à sa position de départ
T19	Chauffer le bloc à 500°C dans le four 2	
T20	Exécuter le cycle de dépose des blocs chauffés	Le robot translate jusqu'au stock tampon, exécute le cycle de dépose des blocs et revient dans la position : pince 1 au dessus du convoyeur d'amenée. La(es) position(s) de dépose des blocs est définie en fonction des emplacements disponibles dans le stock tampon et sur le convoyeur de transfert

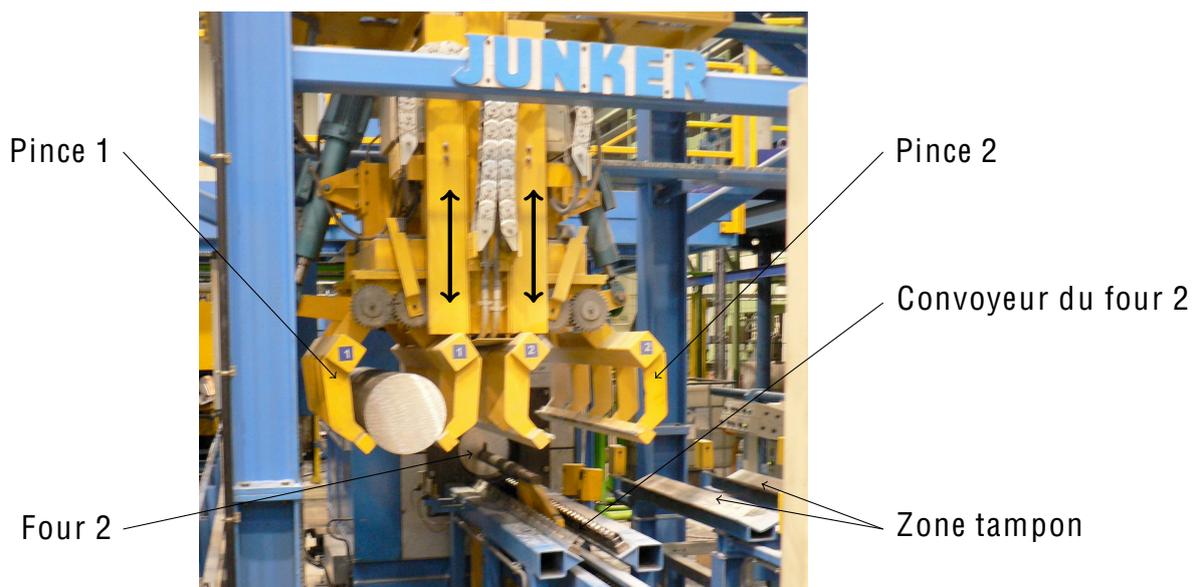
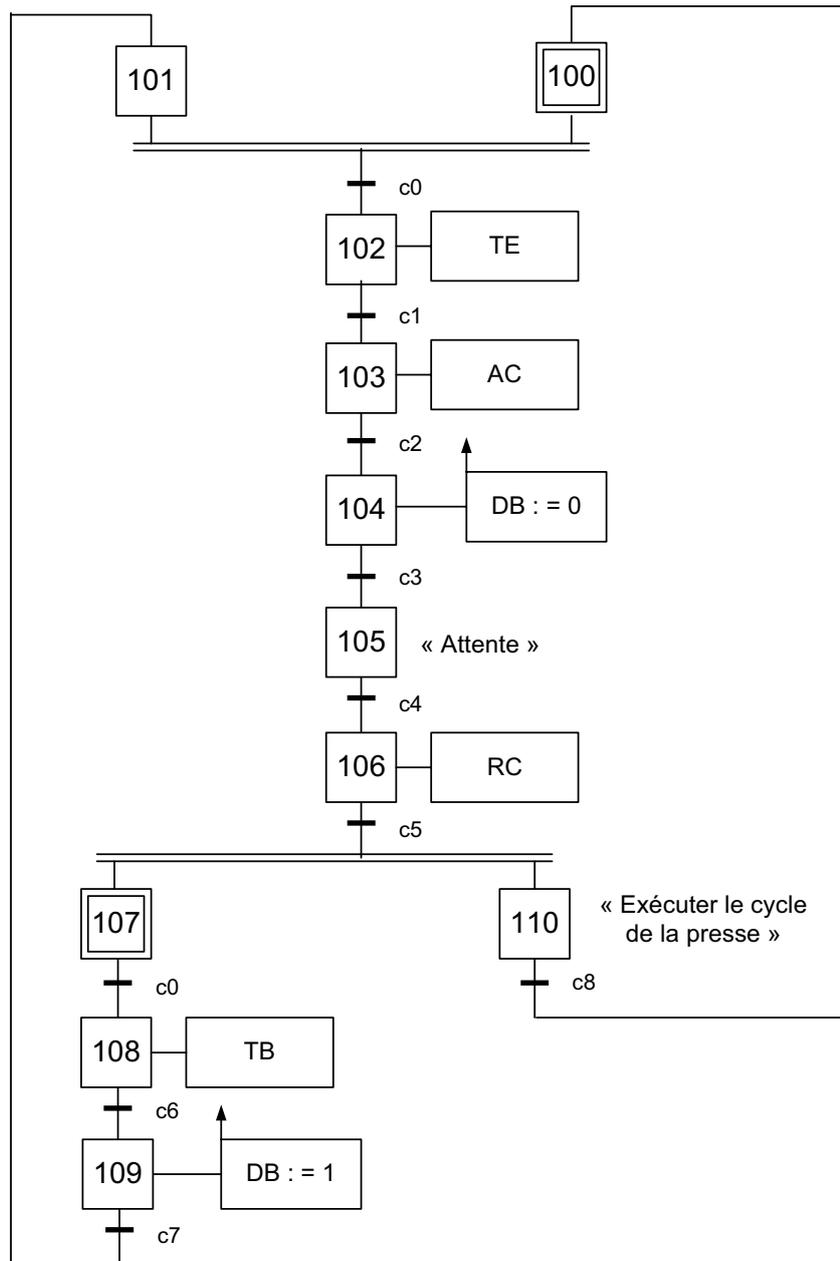


FIGURE 21 – Robot portique à deux pinces indépendantes

## Annexe 10 Cycle du chariot de chargement



Variable d'entrée	Description	Variable de sortie	Description
c0	Conditions de départ de cycle	TE	Traiter l'extrémité du bloc
c1	L'extrémité du bloc est traitée	AC	Avancer le chariot
c2	Le chariot est avancé, le bloc est dans la presse	DB	Variable affectée à la valeur 1 pour brider le bloc, affectée à la valeur 0 pour le débrider
c3	Le bloc est bridé	RC	Reculer le chariot
c4	Le bloc a été introduit dans le conteneur	TB	Transférer un bloc sur le chariot
c5	Le chariot est reculé		
c6	Le bloc est transféré sur le chariot		
c7	Le bloc est bridé		
c8	Le cycle de la presse est terminé		

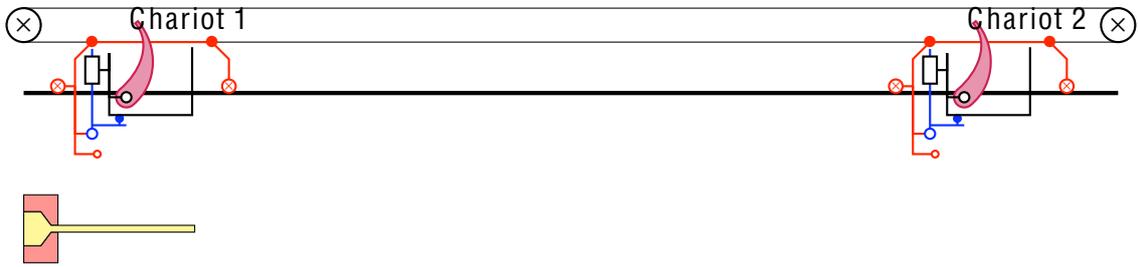
## Annexe 11 Extrait de la norme CEI61131-3

Static contacts		(Contacts)
No.	Symbol	Description
1	*** -   -	<b>Normally open contact (Contact NO)</b> The state of the left link is copied to the right link if the state of the associated Boolean variable (indicated by "***") is ON. Otherwise, the state of the right link is OFF.
3	*** - /  -	<b>Normally closed contact(Contact NF)</b> The state of the left link is copied to the right link if the state of the associated Boolean variable is OFF. Otherwise, the state of the right link is OFF. Transition-sensing contacts
5	*** - P  -	<b>Positive transition-sensing contact(Contact front montant)</b> The state of the right link is ON from one evaluation of this element to the next when a transition of the associated variable from OFF to ON is sensed at the same time that the state of the left link is ON. The state of the right link shall be OFF at all other times.
7	*** - N  -	<b>Negative transition-sensing contact(Contact front descendant)</b> The state of the right link is ON from one evaluation of this element to the next when a transition of the associated variable from ON to OFF is sensed at the same time that the state of the left link is ON. The state of the right link shall be OFF at all other times.
Momentary coils		(Bobines monostables)
No.	Symbol	Description
1	*** -( )-	<b>Coil (Bobine)</b> The state of the left link is copied to the associated Boolean variable and to the right link.
2	*** -( / )-	<b>Negated coil (Bobine active au repos)</b> The state of the left link is copied to the right link. The inverse of the state of the left link is copied to the associated Boolean variable, that is, if the state of the left link is OFF, then the state of the associated variable is ON, and vice versa.
Latched Coils		(Bobine bistable)
3	*** -(S)-	<b>SET (latch) coil (Mise à 1)</b> The associated Boolean variable is set to the ON state when the left link is in the ON state, and remains set until reset by a RESET coil.
4	*** -(R)-	<b>RESET (unlatch) coil (Mise à 0)</b> The associated Boolean variable is reset to the OFF state when the left link is in the ON state, and remains reset until set by a SET coil.

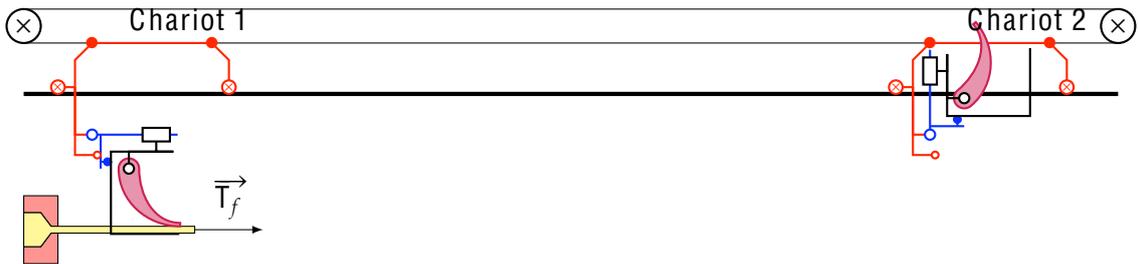
TABLE 7 – Contacts et bobines

## Annexe 12 Fonctionnement du puller

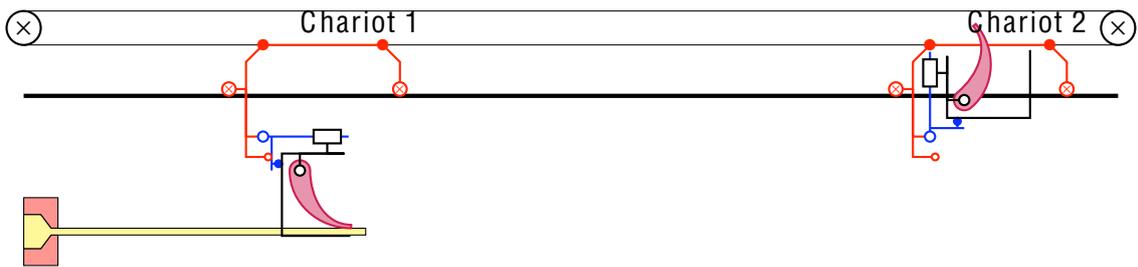
Étape 1 : Début du filage



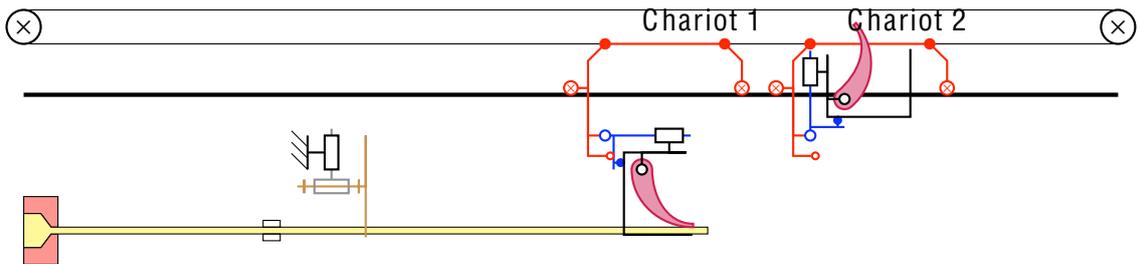
Étape 2 : Prise du profil et mise en traction



Étape 3 : Filage, profil en traction



Étape 4 : Longueur de filage atteinte, découpe



Étape 5 : Évacuation du premier profilé - Prise du second profilé



FIGURE 22 – Cycle de fonctionnement du Puller

# Annexe 13 Capteur d'effort

## CELLE DI CARICO A COMPRESIONE / TRAZIONE

### COMPRESSION / TENSION LOAD CELLS

**CL**

#### LISTINO PREZZI

CL Kg 500 *, 1000 *, 2000 *	Euro 500,00
CL Kg 5000 *, 10000 *	Euro 600,00
CL Kg 20000, 30000, 60000	Euro 900,00
CL Kg 100000	Euro 1800,00
CL Kg 150000	Euro 1900,00
CL Kg 200000	Euro 2200,00
Versione ATEX  II 1 G  II 2 D (ATEX version)	Euro 10,00
CERTIFICATO DI RIFERIBILITA' SIT (COMPRESIONE)	Euro 50,00

Realizzate in accordo alle norme OIML R60. *Manufactured according to OIML standards R60.*



- ESECUZIONE IN ACCIAIO INOX 17-4 PH
- BIDIREZIONALE A TRAZIONE E COMPRESIONE
- CLASSE DI PRECISIONE < +/- 0,10 %
- GRADO DI PROTEZIONE IP 67 (\* IP 68 saldata)
- STAINLESS STEEL 17-4 PH CONSTRUCTION
- BIDIRECTIONAL TENSION AND COMPRESSION
- ACCURACY CLASS < +/- 0,10 %
- PROTECTION RATING IP 67 (\* IP 68 welded)

	Kg 500	Kg 5000	Kg 20000			
	Kg 1000	Kg 10000	Kg 30000	Kg 100000	Kg 150000	Kg 200000
A	85	94	136	175	213	254
B	99	109	164	219	249	299
C	38	44	70	94	140	170
D	73	79	106	129	176	210
E	M20 x 1,5	M24 x 2	M48 x 3	M64 x 4	M72 x 4	M90 x 6
F	2	2	5	5	5	5
G	2	2	2	3	3	3
H	30	35	50	70	70	80
I	8,5	8,5	16,5	25,5	25,5	25,5 (12 fori /holes)
Peso kg Weight	1,1	1,4	5	11	16	26

Dimensions (mm)

#### CARATTERISTICHE

#### TECHNICAL FEATURES

ERRORE COMBINATO SENSIBILITA' EFFETTO DELLA TEMPERATURA SULLO ZERO EFFETTO DELLA TEMPERATURA SUL FONDO SCALA COMPENSAZIONE TERMICA CAMPO DI TEMPERATURA DI LAVORO CREEP A CARICO NOMINALE DOPO 30 MINUTI TENSIONE DI ALIMENTAZIONE MAX TOLLERATA RESISTENZA DI USCITA RESISTENZA D'INGRESSO BILANCIAMENTO DI ZERO RESISTENZA D'ISOLAMENTO CARICO STATICO MASSIMO CARICO DI ROTTURA in % sul FONDO SCALA DEFLESSIONE A CARICO NOMINALE	< +/- 0,10 % 2 mV/V +/- 0,3 % 0,005 % / °C 0,005 % / °C - 10°C / + 50°C - 20°C / + 70°C 0,03 % 15 Volt 700 Ohm +/-5 700 Ohm +/-20 +/- 0,5 % > 5.000 MOhm 150 % > 300 % 0,3 mm	COMBINED ERROR SENSITIVITY TEMPERATURE EFFECT ON ZERO TEMPERATURE EFFECT ON SPAN COMPENSATED TEMPERATURE RANGE OPERATING TEMPERATURE RANGE CREEP AT NOMINAL LOAD IN 30 MINUTES MAX SUPPLY VOLTAGE WITHOUT DAMAGE OUTPUT RESISTANCE INPUT RESISTANCE ZERO BALANCE INSULATION RESISTANCE MECHANICAL LIMIT IN SERVICE DESTRUCTIVE LOAD DEFLECTION AT NOMINAL LOAD
---	---	--

#### CAVO

#### CABLE

LUNGHEZZA	5 m	LENGHT	5 m
DIAMETRO	5 mm	DIAMETER	5 mm
FILI CONDUTTORI	6 x 0,14 mm <sup>2</sup>	CORES	6 x 0,14 mm <sup>2</sup>

	SCHERMO	SHIELD
	+ SEGNALE ( VERDE )	+ SIGNAL (GREEN)
	+ ALIMENTAZIONE ( ROSSO )	+ EXCITATION (RED)
	+ SENSE ( BLU )	+ SENSE (BLUE)
	- SEGNALE ( BIANCO )	- SIGNAL (WHITE)
	- ALIMENTAZIONE ( NERO )	- EXCITATION (BLACK)
- SENSE ( MARRONE )	- SENSE (BROWN)	

# Documents Réponses

## Document Réponse 1 Diagrammes de Bode

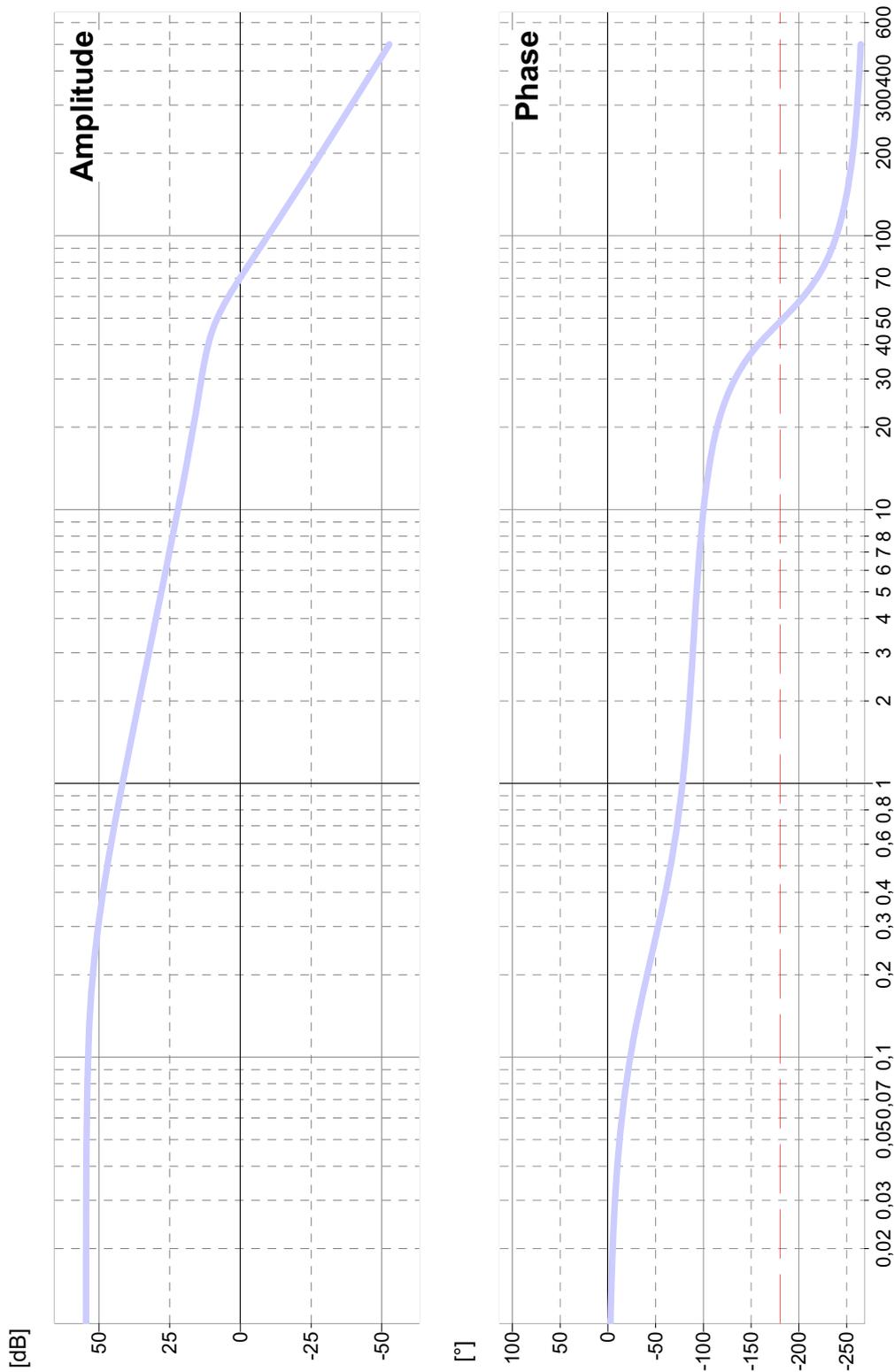


FIGURE 23 – Diagrammes de Bode

# Document Réponse 2 Diagramme de Black

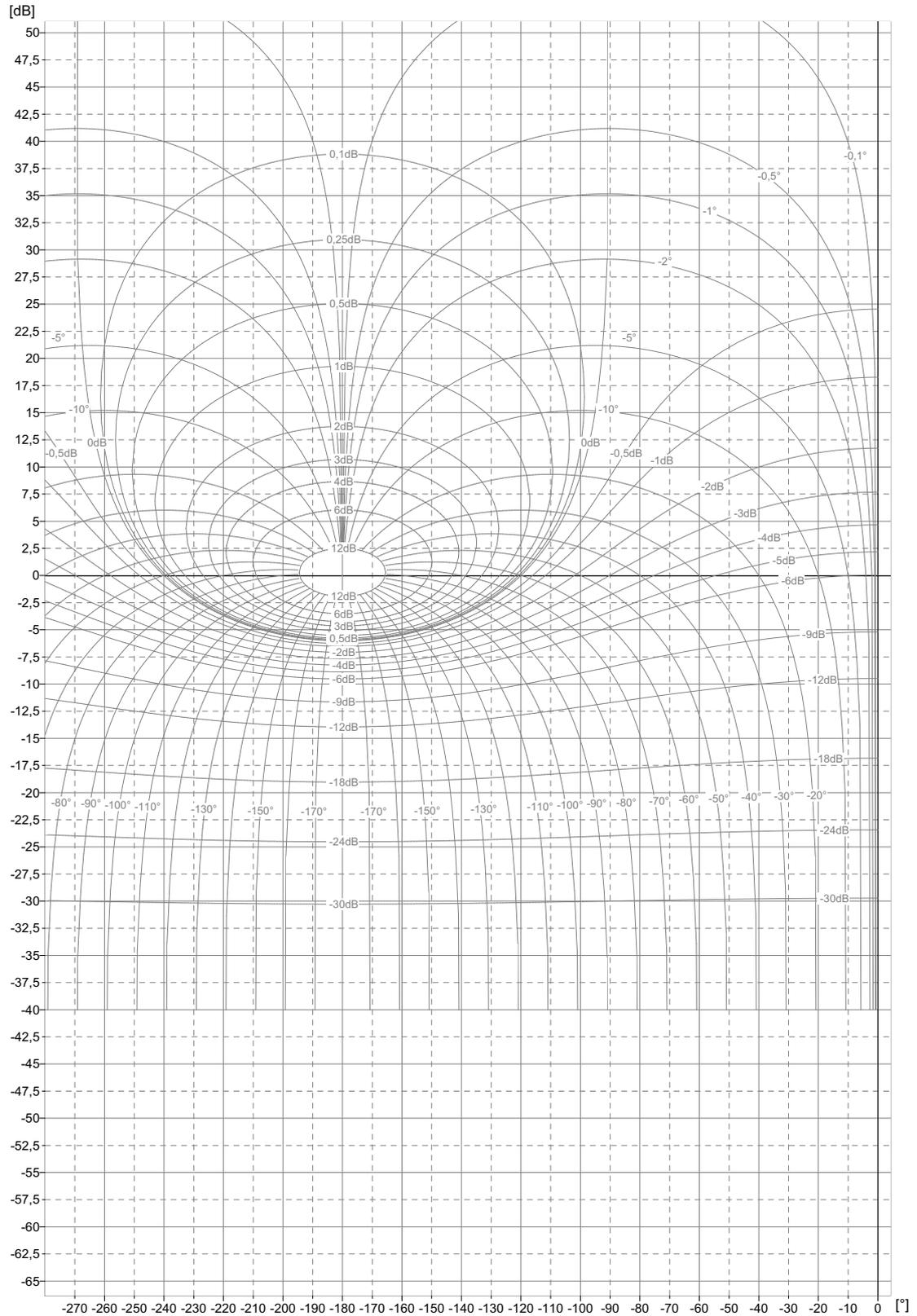


FIGURE 24 – Diagrammes de Black