CONCOURS COMMUN 2002

DES ÉCOLES DES MINES D'ALBI, ALES, DOUAI, NANTES

Épreuve spécifique de Sciences Industrielles

(filière PCSI, option PSI)

Mercredi 22 mai 2002 de 8h00 à 12h00

DOCUMENT RÉPONSE

Instructions générales

Attention – Vous devez impérativement inscrire votre code candidat sur chaque page du DOCUMENT RÉPONSE. En fin d'épreuve, vous aurez à rendre une feuille de composition sur laquelle vous aurez collé l'étiquette correspondante et dans laquelle vous aurez inséré vos documents réponses, même vierges.

Instructions particulières

Les 5 parties sont indépendantes.

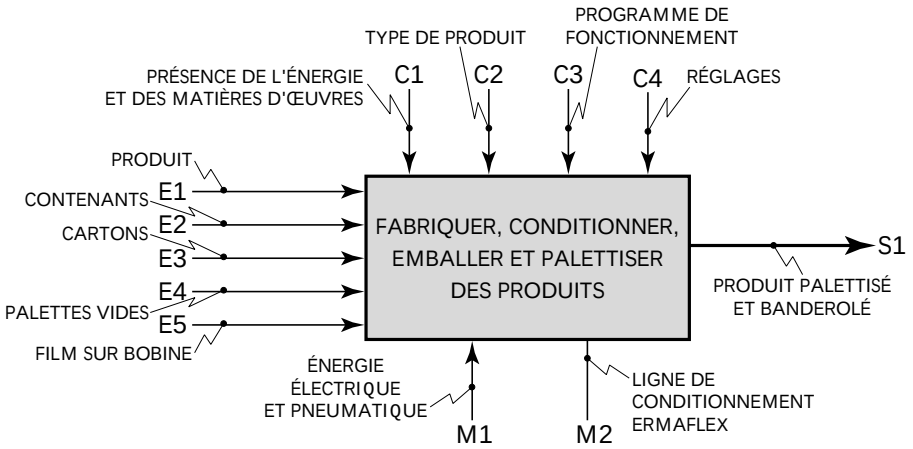
Temps approximatif à prévoir par partie :

- lecture du sujet . . . . . .20 minutes
- partie A . . . . . .10 minutes
- partie B . . . . . .30 minutes
- partie C . . . . . .40 minutes
- partie D . . . . . .1 heure 20 minutes
- partie E . . . . . .1 heure

AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISÉ

A. Mise en situation, constitution et caractéristiques

A.1. Diagramme SADT de niveau A–0 de la ligne de conditionnement ERMAFLEX



B. Approche fonctionnelle et structurelle de la banderoleuse

B.1. Mise en évidence de la boucle d'asservissement de déroulement du film

Voir le diagramme de la page suivante.

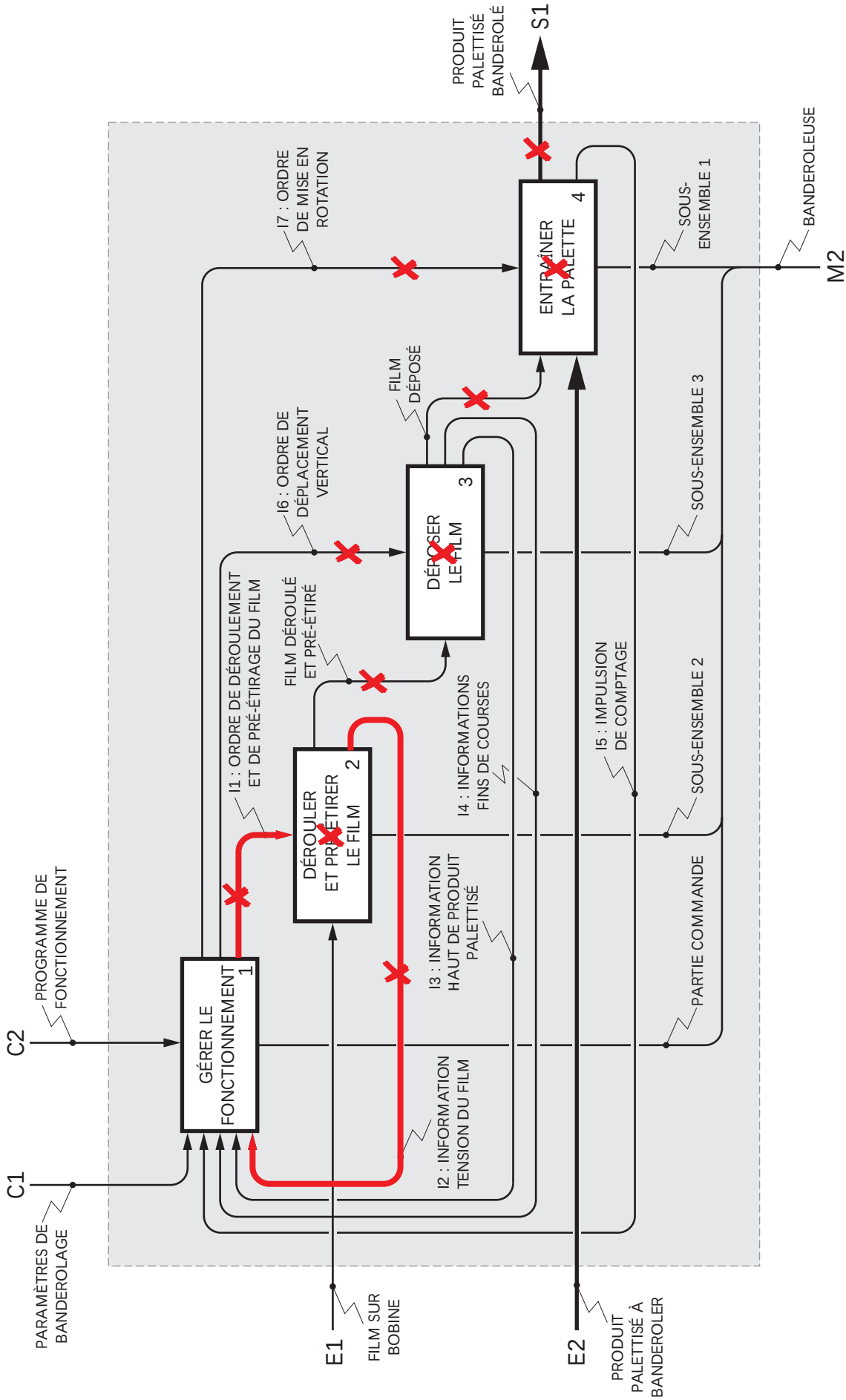
B.2. Nature des informations I1 à I7

Repère de l'Information	Nature de l'information	
	logique (binaire)	analogique
I1		✓
I2		✓
I3	✓	
I4	✓	
I5	✓	
I6	✓	
I7	✓	

B.3. Justification de l'utilisation de la cellule de détection du haut du produit palettisé

La hauteur des produits palettisés pouvant varier (720 à 760 mm), il est nécessaire de détecter à l'aide de la cellule l'endroit précis où le chariot doit s'arrêter afin que le banderolage ne s'effectue pas dans le vide. Par contre, en cas de non fonctionnement de cette cellule, il faut limiter la course du chariot vers le haut, ce qui est réalisé grâce au détecteur de fin de course haut. La cellule ne fait donc pas double usage avec le capteur de fin de course.

B.1. et B.4.


C1
PARAMÈTRES DE BANDEROLAGE
C2
PROGRAMME DE FONCTIONNEMENT
GÉRER LE FONCTIONNEMENT 1
E1
FILM SUR BOBINE
E2
PRODUIT PALETTISÉ À BANDEROLER
I1 : ORDRE DE DÉROULEMENT ET DE PRÉ-ÉTIRAGE DU FILM
DÉROULER ET PRÉ-ÉTIRER LE FILM 2
FILM DÉROULÉ ET PRÉ-ÉTIRÉ
I2 : INFORMATION TENSION DU FILM
I3 : INFORMATION HAUT DE PRODUIT PALETTISÉ
I4 : INFORMATIONS FINS DE COURSES
I5 : IMPULSION DE COMPTAGE
I6 : ORDRE DE DÉPLACEMENT VERTICAL
DÉPOSER LE FILM 3
FILM DÉPOSÉ
I7 : ORDRE DE MISE EN ROTATION
ENTRAÎNER LA PALETTE 4
PRODUIT PALETTISÉ BANDEROLÉ
S1
PARTIE COMMANDE
SOUS-ENSEMBLE 2
SOUS-ENSEMBLE 3
SOUS-ENSEMBLE 1
BANDEROLEUSE
M2

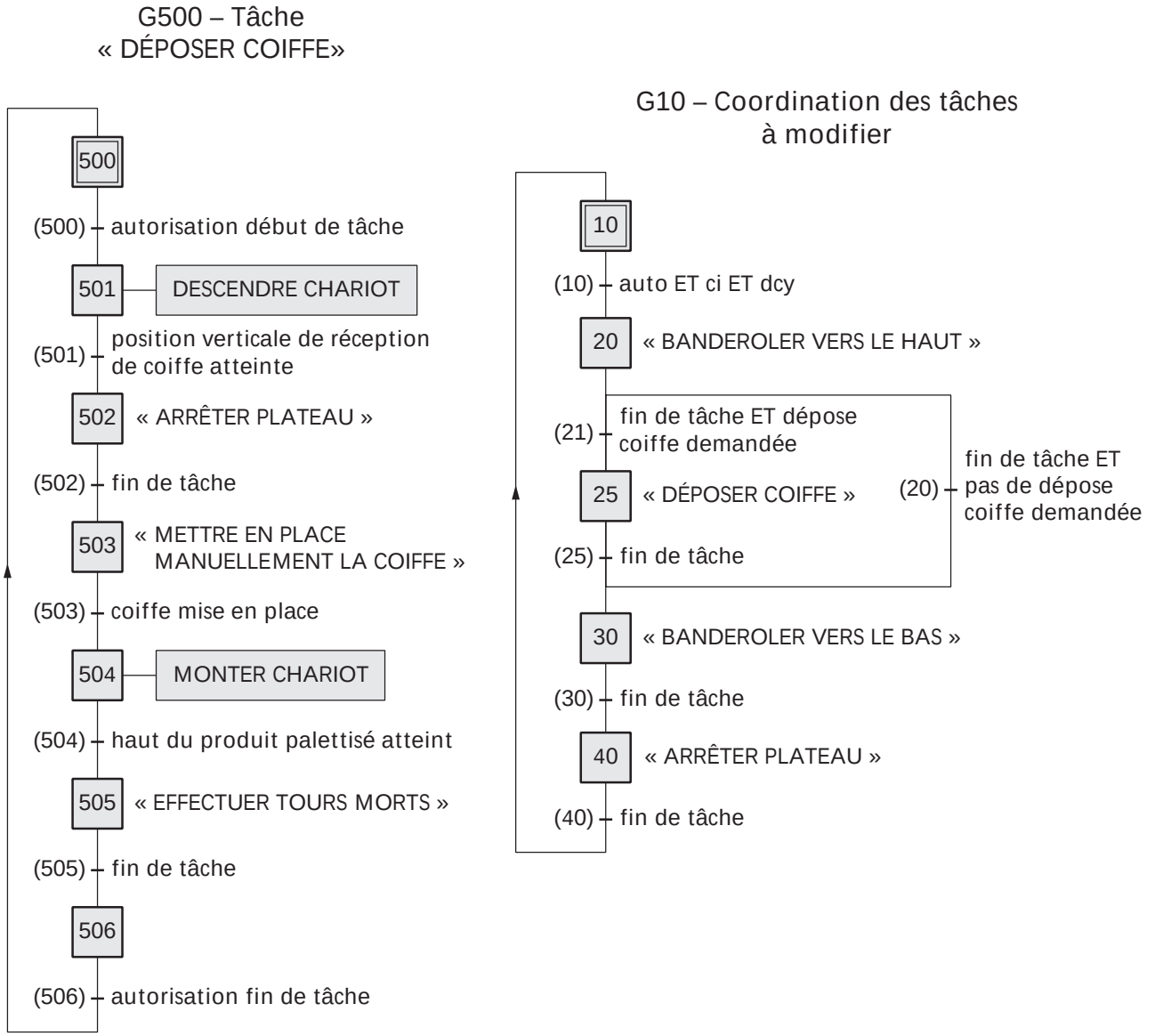
B.4. Données et fonctions mises en cause en cas de rupture du film

Voir le diagramme de la page précédente.

JUSTIFICATION – En cas de rupture du film, l'information I2 (tension du film) n'est plus transmise à la partie commande qui ne génère donc plus les ordres I1 (ordre de déroulement du film), I6 (ordre de déplacement vertical) et I7 (ordre de mise en rotation). Les fonctions 2, 3 et 4 ne sont plus assurées, le film n'est plus pré-étiré ni déroulé, ni déposé et le produit palettisé n'est plus banderolé. Par contre, la fonction 1 (gérer le fonctionnement) reste active.

C. Fonctionnement séquentiel de la banderoleuse

C.1. Modification du tracé du grafcet G10 permettant de prendre en compte ou non la pose d'une coiffe



C.2. Expression booléenne traduisant la commande de mise en rotation du plateau

La rotation du plateau s'effectue en permanence sauf :

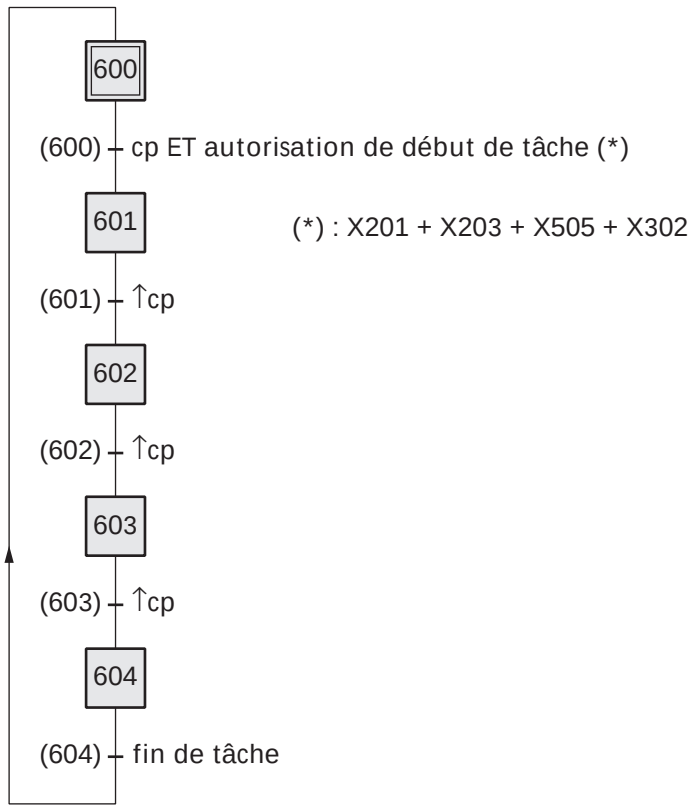
– lorsque le système n'est pas démarré (attente à l'étape 10) ;

– lorsque l'arrêt est explicitement demandé (étapes 40 et 502).

La condition se traduit donc par la condition booléenne suivante :

$$\overline{X10} \,.\, \overline{X40} \,.\, \overline{X502} \,.\, \overline{X503}$$

C.3. Description du sous-programme G600 « EFFECTUER TOURS MORTS »



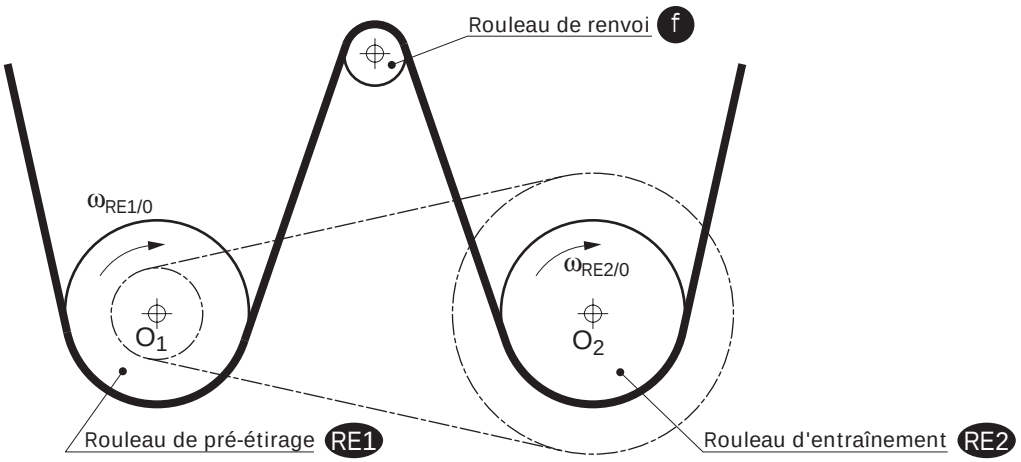
C.4. Tableau des réceptivités

Transition	(30)	(40)	(300)	(303)	(400)	(402)
Réceptivité d'un « point de vue système »	Fin de tâche	Fin de tâche	Autorisation début de tâche	Autorisation fin de tâche	Autorisation début de tâche	Autorisation fin de tâche
Réceptivité d'un « point de vue grafcet »	X303	X402	X30	X40	X40 + X502	X10 + X503

D. Étude de la chaîne fonctionnelle [1] de pré-étirage et de déroulement du film

D.2. Phase de pré-étirage du film

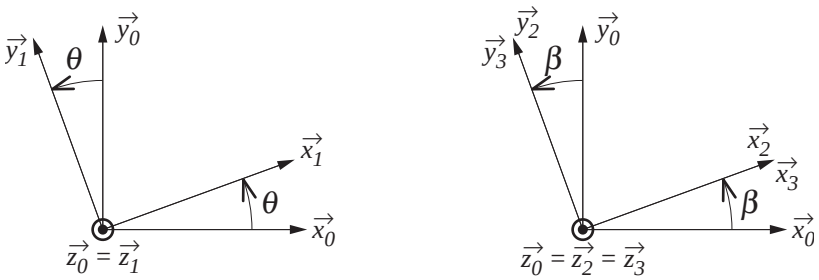
D.2.1. Rapports de réduction du réducteur, coefficient et taux d'allongement du film



Rapport de réduction	Coefficient d'allongement du film	Taux de pré-étirage du film
$\frac{125,3}{31,3} \approx 4$	4	400 %
$\frac{121,8}{34,9} \approx 3,5$	3,5	350 %
$\frac{117,5}{39,2} \approx 3$	3	300 %
Caractéristique annoncée par le constructeur :		
☒ Satisfaite		☐ non satisfaite

D.3. Phase d'enroulement du film sur le produit palettisé

D.3.1. Représentation plane des rotations relatives des différentes bases et vecteurs rotations



$$\overrightarrow{\Omega_{1/0}} = \dot{\theta}\,\vec{z_0} = \omega_{1/0}\,\vec{z_0} \quad \text{et} \quad \overrightarrow{\Omega_{2/0}} = \overrightarrow{\Omega_{3/0}} = \dot{\beta}\,\vec{z_0}$$

D.3.2. Torseur cinématique $\{\mathcal{V}_{1/0}\}_{S,\vec{x_1},\vec{y_1},\vec{z_1}}$ du solide (1) par rapport au solide (0) en S

Par définition, $\{\mathcal{V}_{1/0}\}_S = \begin{Bmatrix} \overrightarrow{\Omega_{1/0}} \\ \overrightarrow{V_{S,1/0}} \end{Bmatrix}_S$

avec $\overrightarrow{V_{S,1/0}} = \overrightarrow{V_{O,1/0}} + \overrightarrow{\Omega_{1/0}} \wedge \overrightarrow{OS}$

$= \vec{0} + \dot{\theta}\,\vec{z_0} \wedge \dfrac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\,\vec{x_1}$

$= \dot{\theta}\,\dfrac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\,\vec{y_1}$ d'où $\boxed{\{\mathcal{V}_{1/0}\}_S = \begin{Bmatrix} \overrightarrow{\Omega_{1/0}} = \dot{\theta}\,\vec{z_0} \\ \overrightarrow{V_{S,1/0}} = \dot{\theta}\,\dfrac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\,\vec{y_1} \end{Bmatrix}_{S,\,\mathbf{R_1}}}$

D.3.3. Condition de non glissement en S de (3) par rapport à (1)

Cette condition se traduit par $\overrightarrow{V_{S,3/1}} = \vec{0}$

La composition des mouvements en S entre 0, 1 et 3 donne $\overrightarrow{V_{S,3/0}} = \overrightarrow{V_{S,3/1}} + \overrightarrow{V_{S,1/0}}$

soit $\overrightarrow{V_{S,3/0}} = \overrightarrow{V_{S,1/0}}$ et $\boxed{\overrightarrow{V_{S,3/0}} = \dot{\theta}\,\dfrac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\,\vec{y_1}}$

D.3.4. Vitesse de défilement du film $v_d = \overrightarrow{V_{S,3/0}} \cdot \vec{x_2}$ en fonction de a, b, θ, β et $\dot{\theta}$

$v_d = \overrightarrow{V_{S,3/0}} \cdot \vec{x_2}$

$= \dot{\theta}\,\dfrac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\,\vec{y_1} \cdot \vec{x_2}$

Or $\vec{y_1} \cdot \vec{x_2} = \|\vec{y_1}\|\,\|\vec{x_2}\| \cos\left(-\dfrac{\pi}{2} - \theta + \beta\right)$

$= -\sin(\theta - \beta)$

En définitive, $\boxed{v_d = -\dot{\theta}\,\dfrac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\,\sin(\theta - \beta)}$

D.3.5. Valeur de la tangente de l'angle β en fonction de a, b, c et θ

Écrivons la fermeture géométrique de chaîne entre les solides 0, 1 et 3 :

$$\overrightarrow{OA} + \overrightarrow{AS} + \overrightarrow{SO} = \vec{0}$$

$$c\,\vec{x_0} - \lambda\,\vec{x_2} - \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\,\vec{x_1} = \vec{0}$$

En projetant sur le repère R_0, on obtient :

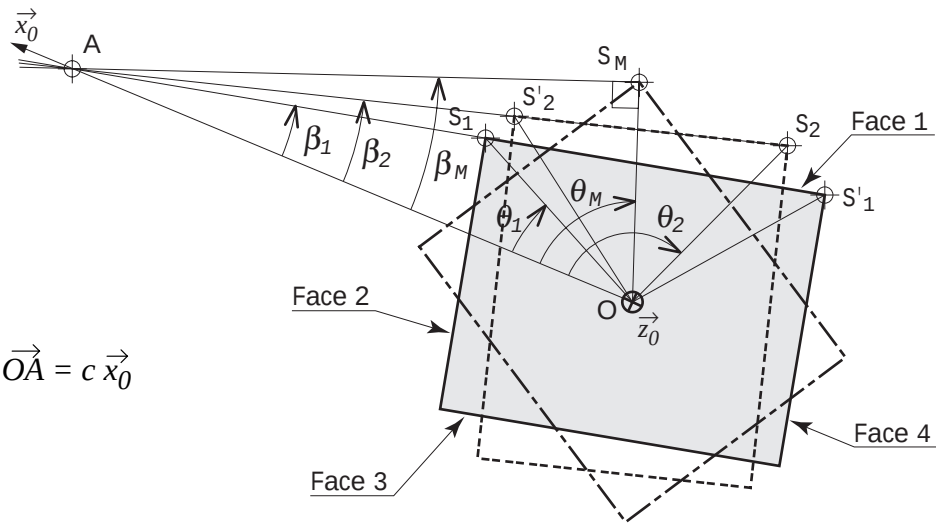
$$c\,\vec{x_0} - \lambda\left(\cos(\beta)\,\vec{x_0} + \sin(\beta)\,\vec{y_0}\right) - \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\left(\cos(\theta)\,\vec{x_0} + \sin(\theta)\,\vec{y_0}\right) = \vec{0}$$

Ce qui donne

$$\begin{cases} c - \lambda\cos(\beta) - \dfrac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\cos(\theta) = 0 & \Rightarrow \quad \lambda\cos(\beta) = c - \dfrac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\cos(\theta) \\ -\lambda\sin(\beta) - \dfrac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\sin(\theta) = 0 & \Rightarrow \quad \lambda\sin(\beta) = -\dfrac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\sin(\theta) \end{cases}$$

En faisant le quotient des deux quantités, on trouve $\boxed{\tan(\beta) = -\dfrac{\sqrt{a^2+b^2}\,\sin(\theta)}{2\,c - \sqrt{a^2+b^2}\cos(\theta)}}$

D.3.6. Justification et expression de β_1, β_2 et β_M, valeurs numériques (en degré)



RAPPEL : $\overrightarrow{OA} = c\,\vec{x_0}$

L'angle β_1 correspond à l'angle que fait le film lorsqu'il est aligné avec le grand côté de la palette.

$$\sin(\beta_1) = -\frac{\frac{a}{2}}{c} = -\frac{a}{2\,c} = -0{,}15 \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{\beta_1 = -8{,}62°}$$

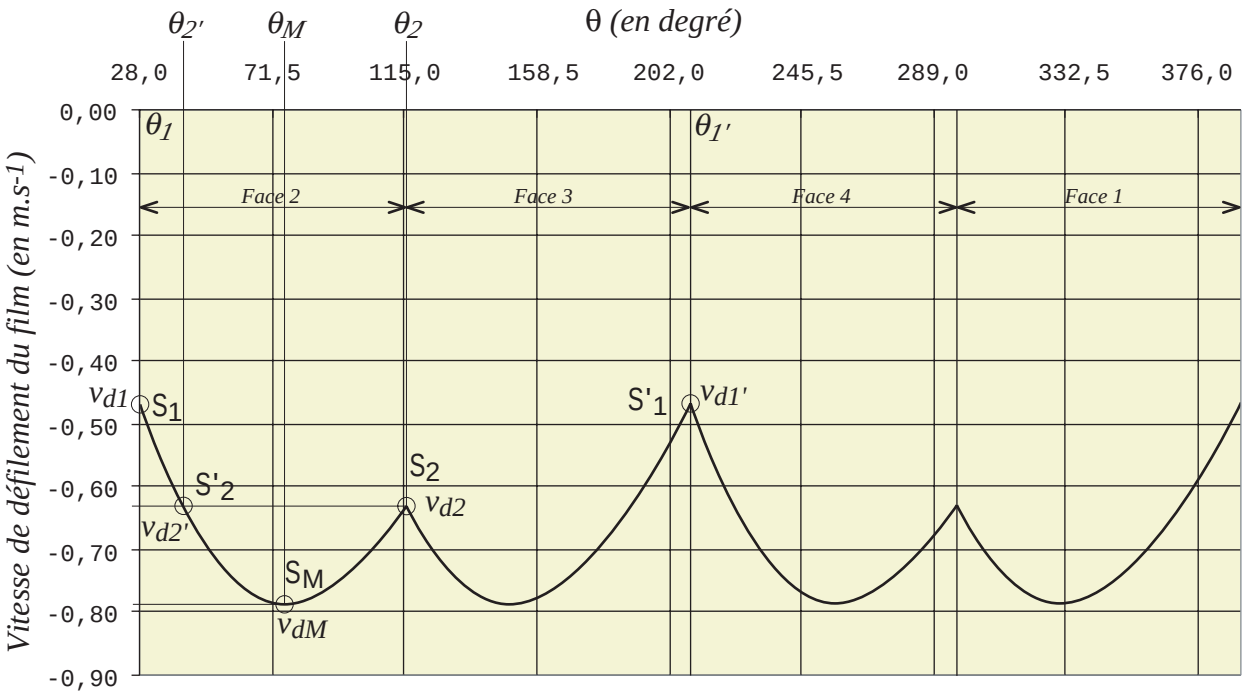
L'angle β_2 correspond à l'angle que fait le film lorsqu'il est aligné avec le petit côté de la palette.

$$\sin(\beta_2) = -\frac{b}{2\,c} = -0{,}2 \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{\beta_2 = -11{,}54°}$$

L'angle β_M correspond à l'angle maximal que peut faire le film lorsque le point S est le plus éloigné du point O.

$$\sin(\beta_M) = -\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2\,c} = -0{,}25 \qquad \Rightarrow \qquad \boxed{\beta_M = -14{,}48°}$$

D.3.7. Valeurs v_{d1} , v_{d2} et v_{dM} et graphique correspondant



$$v_d = -\dot{\theta}\,\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{2}\,\sin\left(\theta-\beta\right) = -\,0{,}785\,\sin\left(\theta-\beta\right)$$

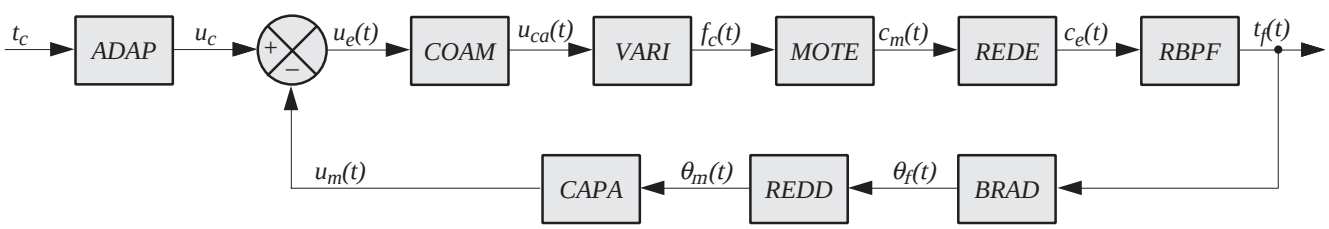
$$v_{d1} = -\,0{,}785\,\sin\left(28{,}2° + 8{,}62°\right) \qquad \boxed{v_{d1} = -\,0{,}47\ m.s^{-1}}$$

$$v_{d2} = -\,0{,}785\,\sin\left(115{,}3° + 11{,}54°\right) \qquad \boxed{v_{d2} = -\,0{,}63\ m.s^{-1}}$$

$$v_{dM} = -\,0{,}785\,\sin\left(75{,}5° + 14{,}48°\right) \qquad \boxed{v_{d1} = -\,0{,}79\ m.s^{-1}}$$

D.4. Asservissement en tension du film

D.4.1. Structure matérielle de la chaîne d'acquisition



D.4.2. Démarche de résolution et ordre des isolements successifs des solides

Pour déterminer l'action $\overrightarrow{A_{b\to e}}$, il faut :

1 – déterminer sa direction en isolant le rouleau (e)

2 – déterminer la direction de l'action du vérin en isolant le vérin ;

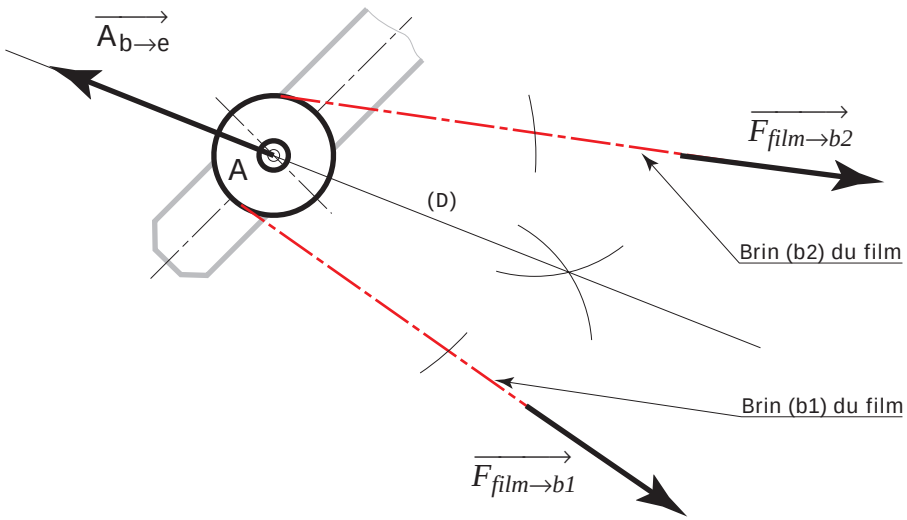
3 – isoler le bras (b) qui est soumis à l'action de 3 glisseurs.

D.4.3. Détermination graphique de l'action $\overrightarrow{A_{b\to e}}$

1 – Isolons le rouleau (e) et les brins b1 et b2 de film.

Il est soumis aux actions du film sur les brins b1 et b2 et à l'action du bras. Cette dernière action est portée par la bissectrice de l'angle formé par les deux brins de film.

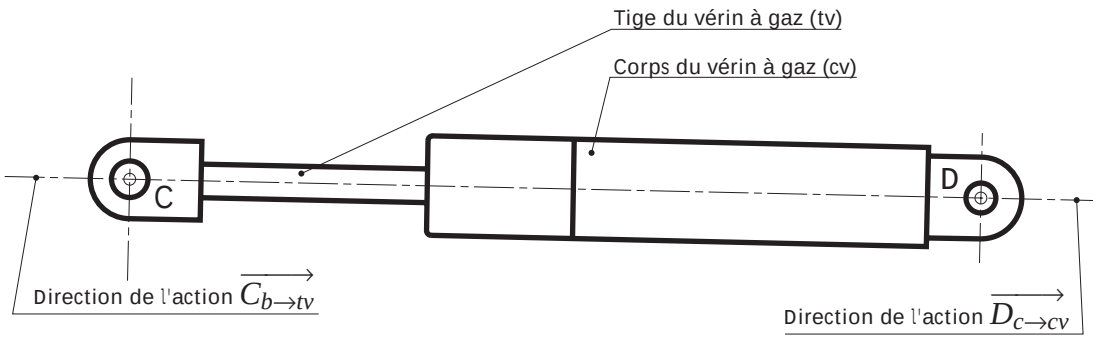
D'où la direction (D) de cette action.



2 – Isolons le vérin {(tv) ; (cv)}.

– Il est soumis aux actions en C du bras et en D du chariot. Son poids est négligé.

– Le vérin est donc soumis à l'action de deux glisseurs égaux et opposés. Les résultantes sont donc portées par la direction (CD).



3 – Isolons le bras (b).

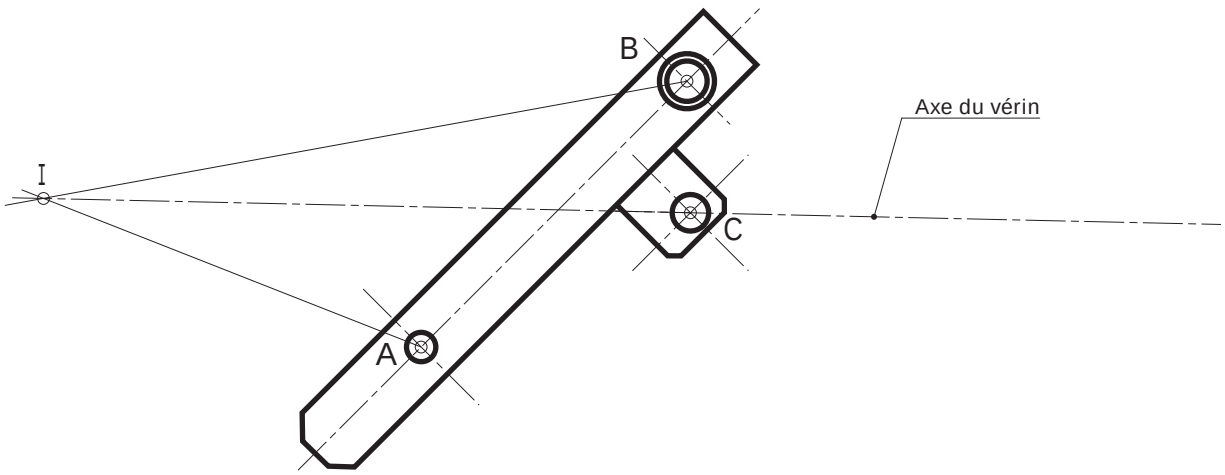
– Il est soumis aux actions de la tige du vérin (tv) en C, du rouleau (e) en A et du chariot (c) en B.

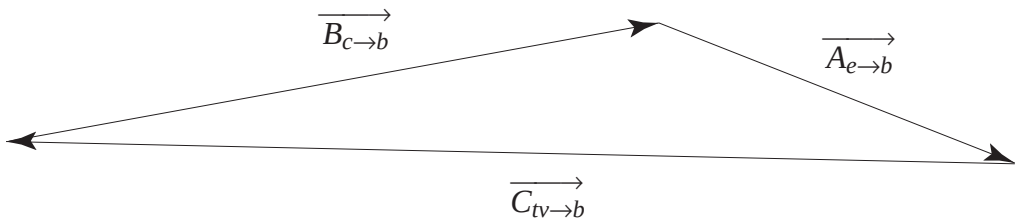
– Il est en équilibre sous l'action de trois glisseurs dont les résultantes sont donc coplanaires et, soit concourantes, soit parallèles.

On connait la direction de deux d'entre elles (direction CD et (D)) qui se coupent en I. La troisième, celle de l'acion en B passe donc par I.

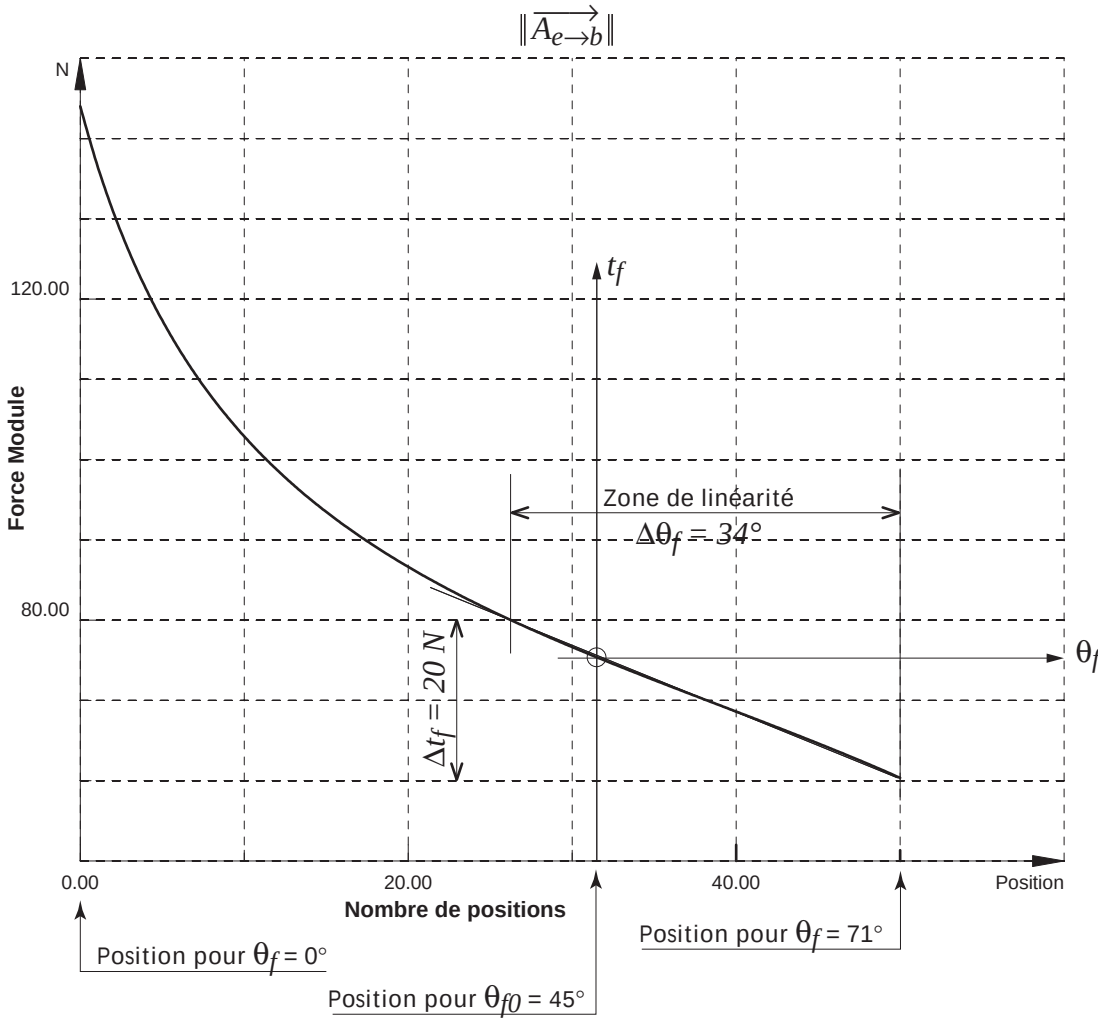
Le tracé du dynamique des forces (à l'échelle 1 cm pour 15 N) nous donne l'action recherchée en A.

On trouve : $\boldsymbol{A_{e\to b}}$ **= 76 N**





D.4.4. Tracé du nouveau repère



D.4.5. Équation de la droite dans le nouveau repère soit $t_f = g_2(\theta_f)$

La droite correspondant à la zone linéarisée a pour pente $-\dfrac{\Delta t_f}{\Delta\theta_f} = -\dfrac{20}{34} = -\dfrac{1}{1{,}7}$

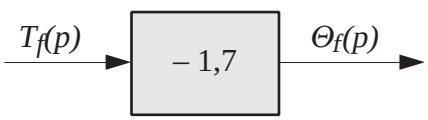
La droite a donc pour équation $\boxed{t_f = -\dfrac{1}{1{,}7}\,\theta_f}$

D.4.6. Traduction de l'équation dans le domaine symbolique et fonction de transfert du bras de détection.

Dans le domaine symbolique de Laplace, cette équation devient $T_f(p) = -\dfrac{1}{1{,}7}\,\Theta_f(p)$

ou encore $\boxed{\Theta_f(p) = -1{,}7\,T_f(p)}$

D'où la fonction de transfert :



D.4.7. Fonction de transfert du réducteur à engrenage entre le bras de détection et le capteur potentiométrique

Dans ce train d'engrenage, le bras de détection est l'élément menant alors que le capteur est l'élé ment mené.

Le rapport de transmission du train, est égal à : $\rho = \dfrac{\omega_{bras/0}}{\omega_{capteur/0}} = \dfrac{\omega_{m/0}}{\omega_{f/0}} = -1^n \dfrac{D_{roue\ menée}}{D_{roue\ menante}}$

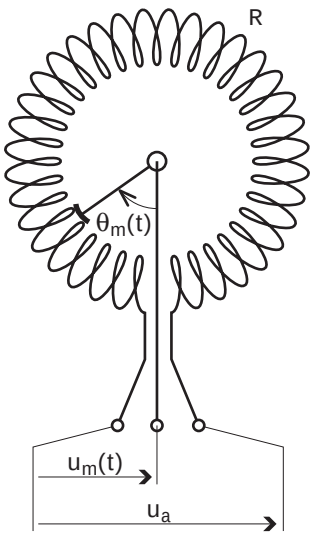
n représente le nombre de contacts externes dans la transmission.

Ici n = 1, donc $\rho = \dfrac{\omega_{m/0}}{\omega_{f/0}} = -\dfrac{40}{120} = -\dfrac{1}{3} \quad \Rightarrow \quad \omega_{m/0}(t) = -\dfrac{1}{3}\,\omega_{f/0}(t)$

Dans le domaine symbolique de Laplace, cette équation devient $\boxed{\Theta_{m/0}(p) = -\dfrac{1}{3}\,\Theta_{f/0}(p)}$

D'où la fonction de transfert :

D.4.8. Fonction de transfert du capteur potentiométrique



$u_a = R\,i \quad \Rightarrow \quad i = \dfrac{u_a}{R}$

$u_m(t) = \dfrac{\theta_{m/0}(t)}{360}\,R\,i$

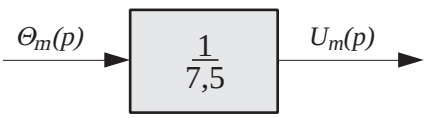
$\quad = \dfrac{\theta_{m/0}(t)}{360}\,R\,\dfrac{u_a}{R}$

D'où $\boxed{u_m(t) = \dfrac{u_a\,\theta_{m/0}(t)}{360}}$ $\quad u_m(t)$ *en Volt*, $\theta_{m/0}(t)$ *en degré*

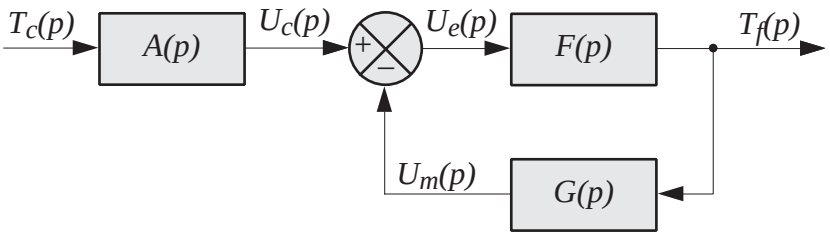
Dans le domaine symbolique de Laplace, cette équation devient :

$U_m(p) = \dfrac{u_a}{360}\,\Theta_{m/0}(p) \qquad$ *avec* $\dfrac{u_a}{360} = \dfrac{48}{360} = \dfrac{1}{7{,}5}$

D'où la fonction de transfert :



D.4.9. Gain statique du système asservi



Pour que la condition T_c - $T_f(p)$ = 0 soit satisfaite, il faut valeur des grandeurs d'entrée et de sortie soient les mêmes. On doit donc avoir :

$$\boxed{K = 1}$$

D.4.10. Fonction de transfert *A(p)*

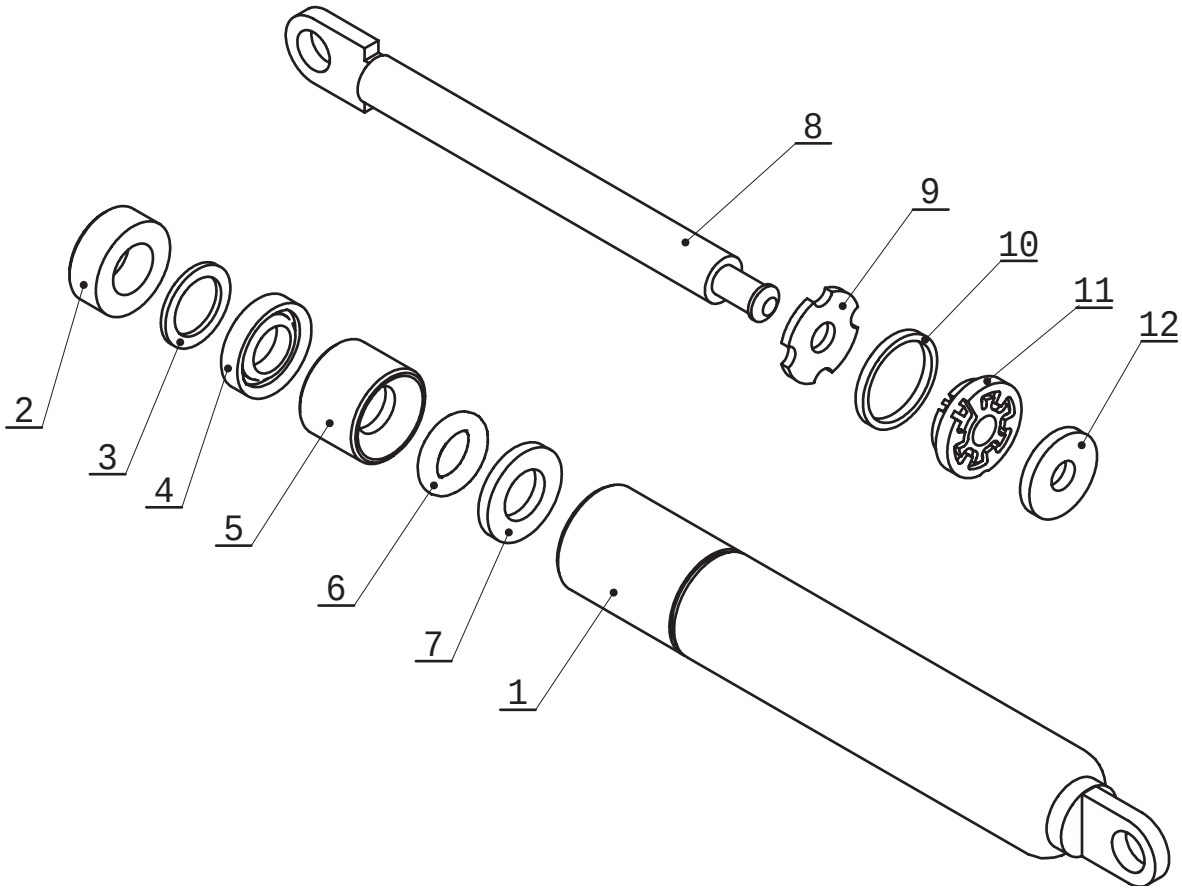
Les grandeurs $U_c(p)$ et $U_m(p)$ à comparer doivent être de même nature et de même grandeur. On doit donc avoir :

$$\boxed{A(p) = G(p)}$$

$$G(p) = (-1{,}7)\times\left(-\frac{1}{3}\right)\times\left(\frac{1}{7{,}5}\right) = 0{,}076\ V.N^{-1} \qquad \boxed{A(p) = 0{,}076\ V.N^{-1}}$$

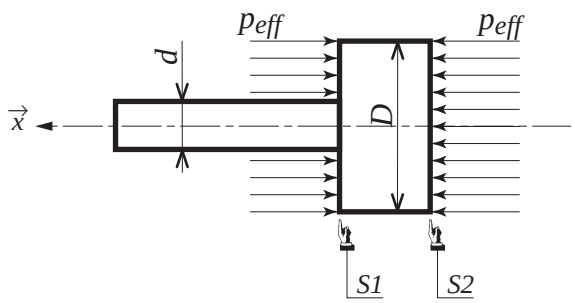
E. Analyse du fonctionnement du vérin à gaz

E.1. Repérage des pièces du vérin à gaz



E.2. Existence d'un effort qui fait sortir le piston et pression nécessaire

Isolons la tige du vérin et mettons en évidence les forces dues aux pressions, selon l'axe $\vec{x}$.



Calculons la résultante de ces forces :

$$\vec{F_p} \cdot \vec{x} = -\, p_{eff}\, S1 + p_{eff}\, S2$$

$$= -\, p_{eff} \frac{\pi \left(D^2 - d^2\right)}{4} + p_{eff} \frac{\pi D^2}{4}$$

En définitive, on obtient $\boxed{F_p = \frac{\pi d^2}{4}\, p_{eff}}$

force de même sens que $\vec{x}$ si $p_{eff} > p_{atm}$

Pour que $F_p = 200$ N, il faut que :

$$p_{eff} = \frac{4\, F_p}{\pi\, d^2} = \frac{4 \times 200}{\pi \times 0{,}008^2} \quad \Rightarrow \quad p_{eff} = 39{,}8\ 10^5\ Pa$$

soit $\boxed{p_{eff} = 39{,}8 \text{ bar}}$

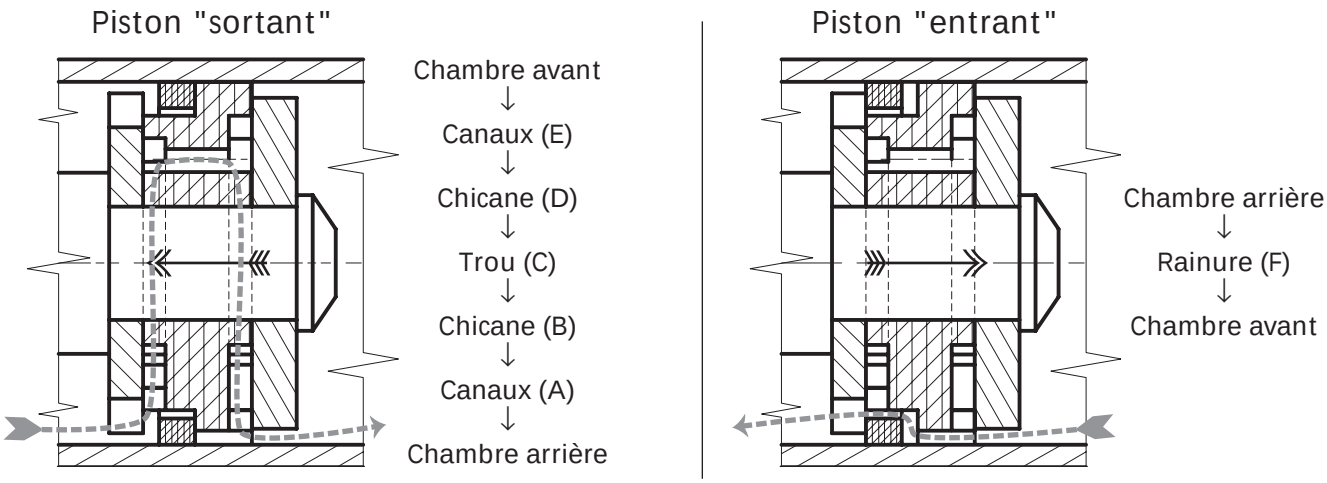
E.3. Variation du volume et conséquences

Le volume à l'avant du piston (côté tige) est amputé du volume de la tige, donc pour un déplacement donné du piston, le volume global à l'intérieur du vérin varie :

– si le piston sort, le volume global augmente, ce qui conduit, à température constante, à une diminution de la pression, donc de l'effort F_p exercé (F_p décroît) :

– si le piston rentre, le volume global diminue, ce qui conduit, à température constante, à une augmentation de la pression, donc de l'effort F_p exercé (F_p croît).

E.4. Circuit emprunté par le gaz lors de la sortie et de la rentrée du piston



***REMARQUE** – Les canaux (A) et (E) ont été ramenés dans le plan de coupe et les chicanes représentées en trait interrompu*

Nom de la forme	Fonction assurée
Canaux radiaux (A) et (E)	Permettre le passage du gaz radialement vers les chicanes.
Chicanes (B) et (D)	Créer une perte de charge dans la circulation du gaz.
Trou débouchant (C)	Permettre la communication entre les deux chicanes.
Rainure (F)	Permettre le passage direct du gaz depuis la chambre arrière jusqu'à la chambre avant.

– Lorsque le piston sort, le clapet est fermé et le gaz doit emprunter les chicanes où il est freiné : la sortie a donc lieu à vitesse régulée et lente.

– Lorsque le piston entre, le clapet est ouvert et le gaz peut passer directement de la chambre arrière à la chambre avant en évitant les chicanes. Il peut donc circuler plus facilement : la rentrée a donc lieu à vitesse plus rapide.

E.5. Ordre d'assemblage des pièces et des opérations à effectuer pour réaliser le montage du vérin

Opération 1 – Montage flottant des pièces 2, {3 ; 4}, 5, 6 et 7 dans cet ordre sur le cylindre de Ø 8 de la tige de piston 8.

Opération 2 – Empilage des pièces 9, 10, 11, 12 dans cet ordre sur le cylindre de Ø 5 de la tige de piston 8.

Opération 3 – Sertissage de l'extrémité de la tige de piston.

Opération 4 – Montage du sous-ensemble piston dans le tube 1, en laissant les pièces flottantes 2 à 7 à l'extérieur du tube.

Opération 4 – Galetage du tube.

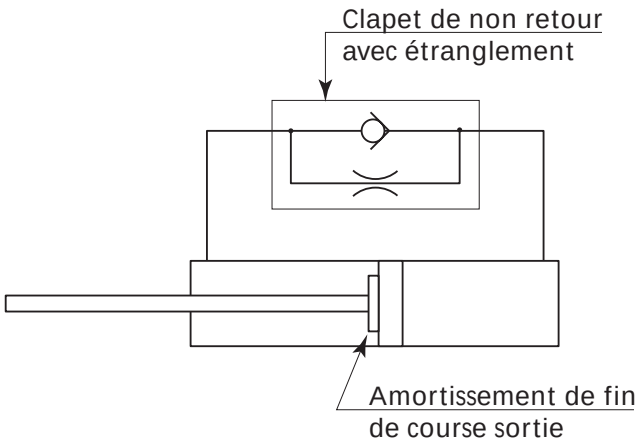
Opération 5 – Montage des pièces 2 à 7 à l'intérieur du tube jusqu'à ce que l'ensemble vienne en butée contre la colerette galetée.

Opération 6 – Repoussage de l'extrémité du tube.

E.6. Utilité du fluide hydraulique

Le fluide hydraulique injecté dans le vérin a deux fonctions :

– lubrifier le vérin ;

– amortir le mouvement en fin de course de sortie du piston. En effet, lorsque tout le gaz situé à l'avant du piston est chassé vers l'arrière du piston, c'est ensuite au fluide de suivre le même chemin. Sa viscosité étant plus grande, l'écoulement est plus lent et le déplacement de la tige aussi. La condition à respecter est que le vérin soit utilisé sensiblement vertical avec la tige vers le bas.

E.7. Schéma pneumatique équivalent