

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Concours Nationaux d'Entrée
aux Cycles de Formation d'Ingénieurs
Session 2017



الجمهورية التونسية

وزارة التعليم العالي
والبحوث العلمية

المناظرات الوطنية للدخول إلى
مراحل تكوين المهندسين
دورة 2017

Concours Technologie

Épreuve de Sciences & Techniques de l'Ingénieur

Épreuve .1 : Conception & Fabrication Mécanique (C.F.M) : Durée estimée : 3 Heures

Épreuve .2 : Systèmes Techniques Automatisés (S.T.A) : Durée estimée : 2 Heures

Date : Mardi 30 Mai 2017

Heure : 8.00 H

Durée : 5Heures

Les épreuves 1 et 2 sont indépendantes ; chaque épreuve comporte deux parties :

**Conception & Fabrication Mécanique
(C.F.M)**

A- Conception Mécanique (12pts)
B- Fabrication Mécanique (08pts)

**Systèmes Techniques Automatisés
(S.T.A)**

A- Mécanique des Solides Indéformables
& RDM (13pts)
B- Automatique (07pts)

Le sujet des épreuves remis au candidat comporte trois dossiers :

1- Mise en situation, Données et Hypothèses

2- Document Réponses Épreuve 1 - C.F.M

3- Document Réponses Épreuve 2 - S.T.A

Et des documents techniques : (DT-01, DT -02, DT- 03, DT- 04, DT- 05, DT- 06, DT- 07, DT- 08, DT-09)

NB : Le document technique **DT-04** est intégré dans le Document Réponses de l'épreuve C.F.M

Attention :

- Aucun autre document n'est autorisé.
- Seules les calculatrices de poche non programmables sont autorisées.
- Les deux épreuves sont indépendantes et doivent être traitées sur les documents réponses appropriés.
- Il n'est fourni au candidat qu'une seule et unique copie des « dossiers document réponses » CFM & STA qui doivent être rendu en totalité, à la fin des épreuves, même sans réponses.

Dossier

Mise en situation, Données et Hypothèses

Ce dossier comporte 17 pages numérotées de 1 à 17

- **Mise en situation** : Page 1 à 3
 - Document Technique* : DT-01
- **Données et hypothèses de l'épreuve C.F.M** : Page 4 à 7
 - ★ *A- Conception Mécanique* : Page 4 et 5
 - Document Technique Conception* : DT-02 à DT-04 & DT-09
 - ★ *B- Fabrication Mécanique* : Page 6 et 7
 - Document Technique Fabrication* : DT-05 à DT-08
- **Données et hypothèses de l'épreuve S.T.A** : Page 8 à 16
 - ★ *A- Mécanique des solides indéformables & RDM* : Page 8 à 11
 - ★ *B- Automatique* : Page 12 à 16

NB : Le document technique **DT-04** est intégré dans le Document Réponses de l'épreuve C.F.M

ÉTUDE DE PALETTISEUR

1- Mise en situation

La palettisation fait partie des techniques de manutention qui ont connu un développement spectaculaire au cours des trois dernières décennies. Elle consiste à grouper un certain nombre de paquetages sur un support appelé « palette » ; l'opération de groupage est réalisée par un palettiseur.

Actuellement, la palettisation couvre la majorité des secteurs d'activités industrielles. La diversification des produits, les quantités fabriquées et les processus de production ont poussé les constructeurs à inventer et à développer une multitude de palettiseurs.

Le système proposé à l'étude fait partie des modèles de palettiseurs conçus, fabriqués et commercialisés par l'entreprise SANZ, spécialisée dans la recherche de solutions de conditionnement pour l'industrie (Voir DT-01 et **figure. 1**). L'étude consistera en l'analyse de quelques sous-systèmes d'un palettiseur installé sur une ligne de palettisation de sacs de 5 kg garnis de litière pour chats.

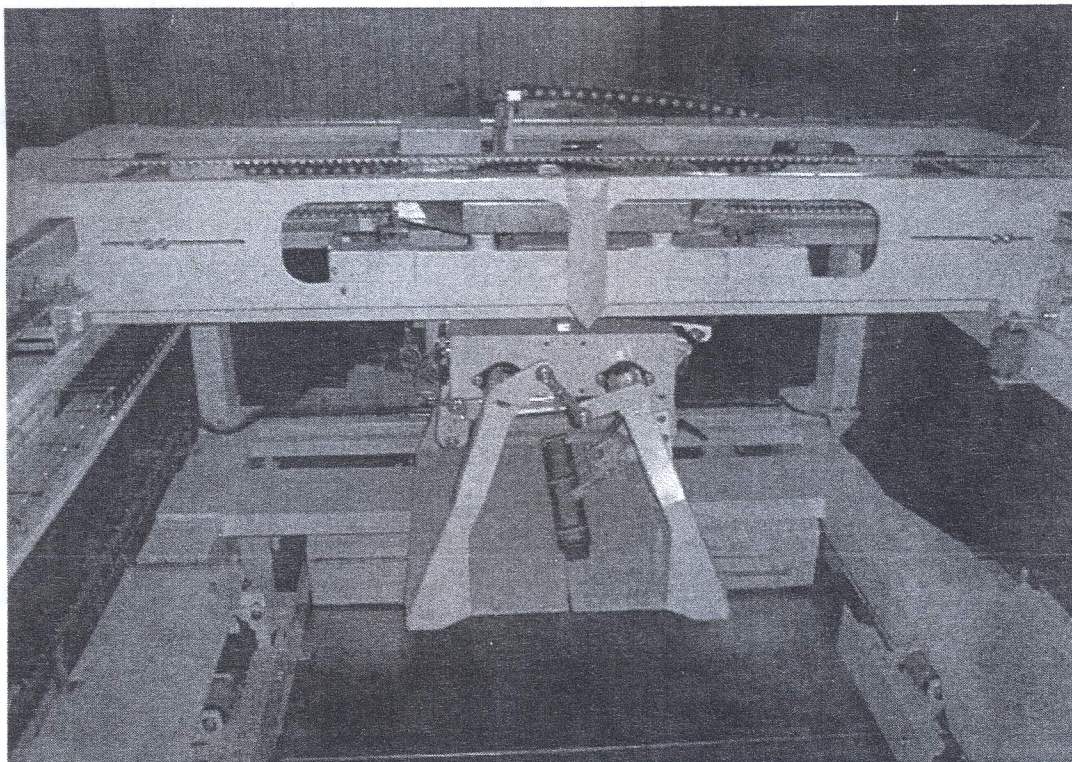


Figure 1. Vue partielle de l'unité de dépose du système de palettisation

2- Unités du palettiseur

La palettisation est réalisée avec un ensemble rigidifié par une palette en bois sur laquelle sont posées 10 couches de sacs croisés et regroupés. En se basant sur les tâches qu'il effectue, on peut répartir l'espace d'implantation du palettiseur en 8 unités, comme l'illustre le document technique DT-01.

Remarques

1. L'acheminement des sacs est assuré par un tapis roulant.
2. Le stockage des sacs permet d'éviter le temps mort en aval.
3. Un fardeau est constitué par 2 ou 3 sacs mis côte à côte.
4. Un système gère ses regroupements afin que le tapis lanceur (Unité V) envoie successivement les fardeaux dans la tête de dépose (Unité VI) jusqu'au l'empilement total d'une palette.
5. La prise et le positionnement d'un fardeau sont assurés par la tête de dépose. Après réception d'un fardeau pris par la pince, la tête se déplace dans un plan horizontal et pivote autour de son axe vertical, afin de placer le fardeau à la position désirée, au-dessus de la palette. Il y a ensuite ouverture rapide de la pince (dépose du fardeau) puis retour en position initiale.

3- Rôle de l'unité de dépose

L'unité de dépose VI, illustrée par le diagramme des inter-acteurs (**figure. 2**) est l'élément de la chaîne de palettisation qui permet le remplissage d'une palette suivant un ordre bien précis est commandée par l'automate du système.

La tête de dépose fait partie de l'unité VI, elle constitue l'élément principal de ladite unité. Elle est composée comme le montre la **figure 3** par :

- Un caisson faisant office d'un bâti, il est mobile en translation dans le plan horizontal (X, Y) et en rotation autour d'un axe vertical Z . Ces déplacements sont pilotés grâce à des ensembles formés de motoréducteurs et de systèmes poulie courroie,
- Trois vérins ($V1$), ($V2$) et ($V3$),
- Deux pattes d'ouverture et de fermeture de la pince,
- Une plaque de rive gauche pour le calage des fardeaux (celle de droite étant inutile dans le cas présent),

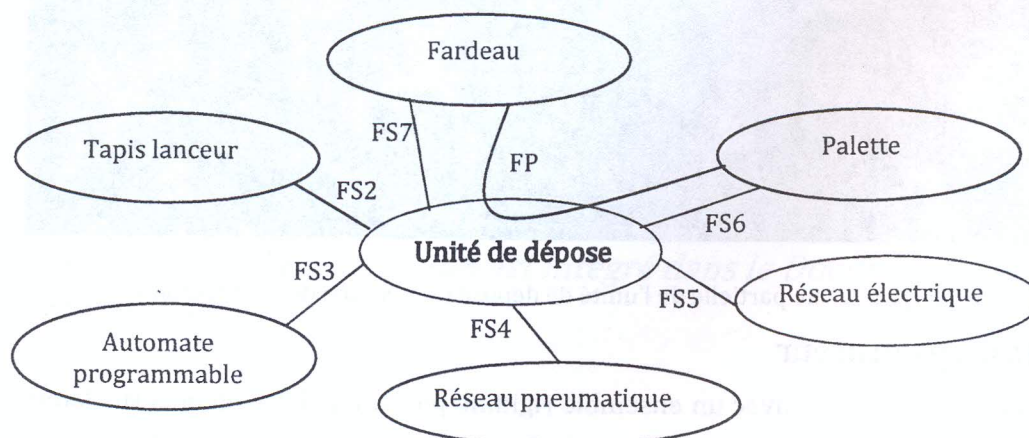


Figure 2. Diagramme des inter-acteurs de l'unité de dépose

FP : Déposer le fardeau sur la palette	FS5 : Alimenter les actionneurs en énergie électrique
FS2 : Lancer le fardeau à l'intérieur de la pince	FS6 : S'adapter à la palette
FS3 : Piloter la tête de dépose et ses vérins	FS7 : S'adapter à la forme du fardeau
FS4 : Alimenter en énergie pneumatique les actionneurs	

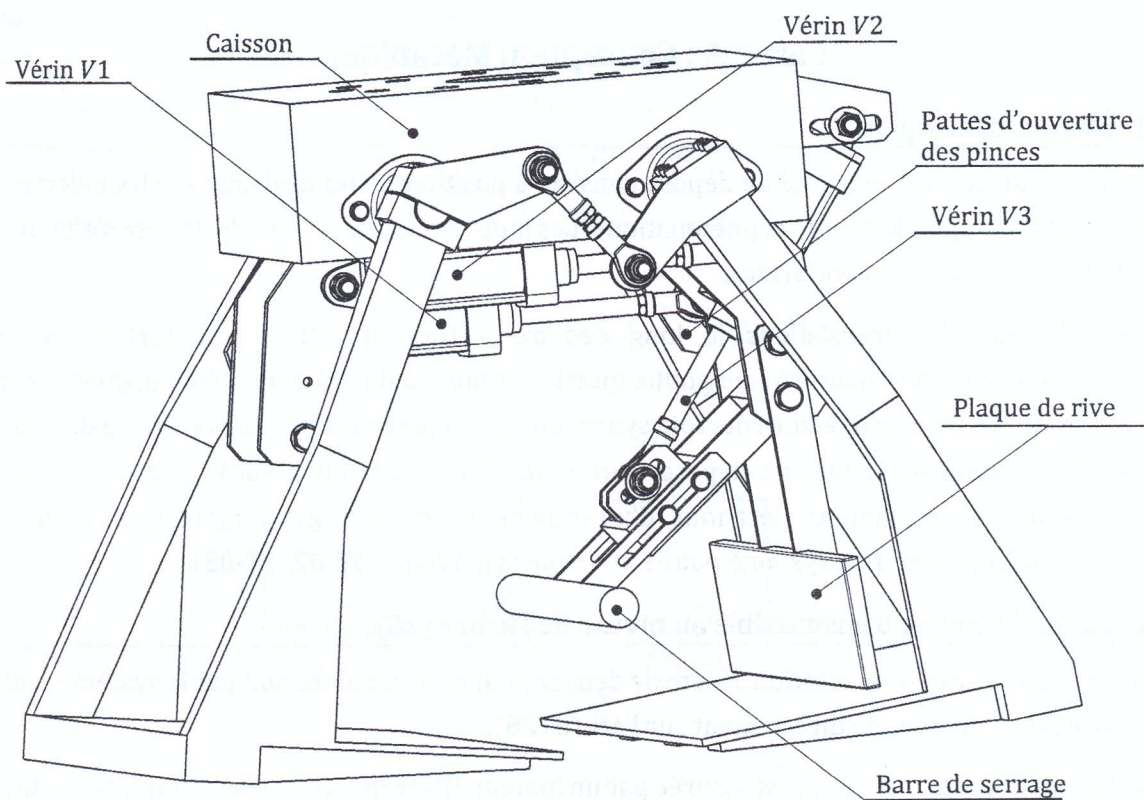
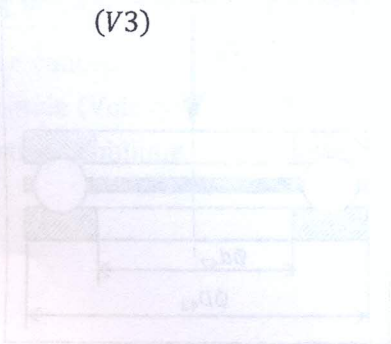


Figure 3. Tête de dépose

Le rôle de la tête de dépose consiste en la prise, le positionnement et la mise en place des fardeaux sur une palette : les sous fonctions de cet ensemble se présentent comme suit :

- i. l'ouverture et la fermeture des pinces réalisées par les pattes d'ouverture et le vérin (V1)
- ii. le calage latéral des fardeaux obtenu par la plaque de rive et le vérin (V2)
- iii. le serrage vertical des fardeaux assuré par la barre de serrage, le bras presseur et le vérin (V3)



1. Données et hypothèses de l'épreuve C.F.M

Partie A : Conception Mécanique

A.1- Étude technologique

La fonction principale de l'unité de dépose consiste à **positionner les fardeaux** sur les palettes en utilisant les énergies électrique et pneumatique. Les mouvements de la tête de dépose s'effectuent simultanément à vitesses uniformes.

- Chacune des **translations** le long des axes (OX) et (OY) est motorisée par un motoréducteur associé à une poulie motrice et une poulie folle de même diamètre entre lesquelles est tendue une courroie synchrone sur laquelle est montée la tête de dépose.
- La **rotation** de la tête de dépose, autour de l'axe (OZ) , est assurée par un ensemble composé d'un moteur électrique, d'un réducteur à deux étages (engrenages conique et cylindrique) et d'un système poulie-courroie synchrone (DT-02, DT-03).

A.2- Calcul du couple transmissible au niveau de l'arbre (26)

Pour changer la vitesse de rotation, la tête de dépose peut être entraînée soit par le système poulie – courroie ou bien montée directement sur l'arbre (26).

La rotation de la tête de dépose est assurée par un moteur électrique et un réducteur à deux étages comme l'illustre le document (DT-02). Dans cette partie, on se propose d'évaluer le couple transmissible à la sortie de l'arbre (26). Le moteur utilisé admet une vitesse $N_m = 750 \text{ tr/min}$ et une puissance $P = 1,1 \text{ KW}$. Au démarrage, l'accélération angulaire du moteur atteint 9 rd/s^2 . Le couple de démarrage est défini par : $C_d = 2 \cdot C_n$ où C_n représente le couple nominal.

Pour calculer le couple transmissible au niveau de l'arbre (26), tous les mouvements seront supposés bloqués ; cela concerne les translations le long des axes (OX) et (OY) ainsi que les mouvements des vérins.

Le poids total de la tête de dépose y compris celui des fardeaux est estimé à $F_a = 200 \text{ daN}$. Les diamètres de la butée (42) sont respectivement : $D_{42} = 52 \text{ mm}$, $d_{42} = 30 \text{ mm}$.

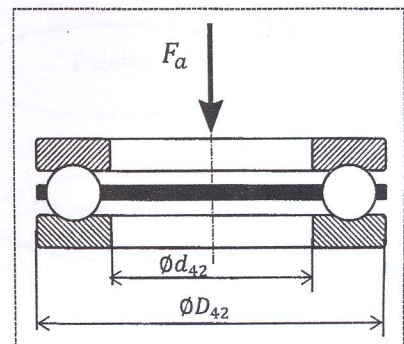
Les différentes résistances internes à la butée génèrent un couple assimilé à un couple de frottement interne équivalent à :

$$C_{feq} = \mu_{eq} \cdot F_a \cdot R_{moy}$$

Où μ_{eq} est le coefficient de frottement interne équivalent de la butée à billes et R_{moy} est le rayon moyen ; $\mu_{eq} = 0,002$.

L'axe (OZ) de la charge est confondu avec celui de l'arbre (26). Le moment d'inertie équivalent des éléments tournants rapporté à cet axe est estimé à : $J = 20 \text{ Kg.m}^2$.

Le rendement de l'engrenage à dentures hélicoïdales (17/24) admet pour valeur $\eta_1 = 0,99$; celui de l'engrenage conique (1/16) est $\eta_2 = 0,98$.



A.3- Théorie des mécanismes

Pour actionner le mécanisme de la pince, présenté par le schéma cinématique (**figure 4**), le constructeur propose de placer un moteur électrique sur la liaison L_1 . Les centres des liaisons placées aux points A, D et E admettent dans le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ les coordonnées respectives : $A(-a, 0, 0)$; $D(-b, 0, -c)$; $E(-e, 0, f)$;

Le torseur cinématique de la liaison (L_i) du solide (j) par rapport au solide (k) en un point arbitraire M sera noté :

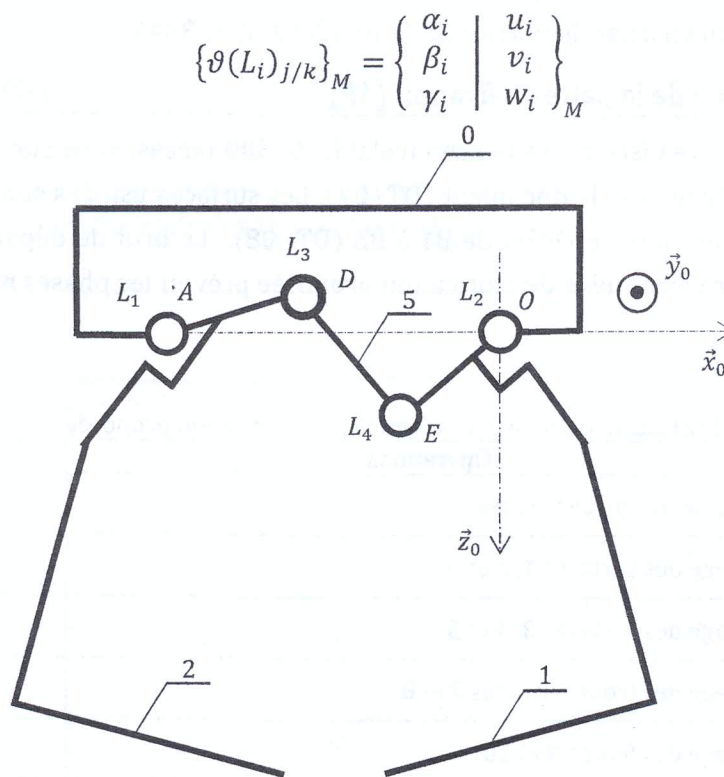


Figure 4. Schéma cinématique de la pince

A.4- Représentation Graphique

Le concepteur propose de remplacer la liaison L_1 qui est un pivot d'axe $(A, \vec{y}_0)$ par une liaison rotule (Voir questions **A.18** et **A.19**, Document Réponse), en utilisant deux roulements à billes à contact oblique.

Partie B : Fabrication Mécanique

Cette partie est dédiée à la fabrication du couvercle (**1F**), de la patte de fixation (**4F**) et de l'entretoise (**9F**) de la tête de dépose (Voir **figure 5**) et (**DT- 05**). Elle se rapporte à une étude du matériau, de mise en forme des tôles, une étude de projet de gamme de fabrication et une étude de la coupe.

1- Étude de fabrication du couvercle (1F)

(DT-05) (DT-06)

Dans cette partie, on s'intéresse à la production du couvercle (**DT- 06**), réalisé à partir d'une tôle mince d'épaisseur 3mm en acier de nuance **X5 Cr Ni 18-10** (AISI 304).

2- Étude de fabrication de la patte de fixation (4F)

(DT-07) (DT-08)

La patte de fixation est réalisée en série renouvelable de 300 pièces/mois sur 2 ans, et dont les spécifications sont définies par le document (**DT- 07**). Les surfaces usinées sont repérées de **1** à **10** et les surfaces brutes sont repérées de **B1** à **B3** (**DT- 08**). Le brut de départ est obtenu par moulage. La gamme prévisionnelle de fabrication proposée prévoit les phases mentionnées dans le **tableau 1**.

Tableau 1. Gamme prévisionnelle de fabrication proposée

Phases	Opérations	Procédés
10	Contrôle des pièces brutes	
20	Usinage des surfaces 1, 2 et 6	Fraisage
30	Usinage des surfaces 3, 4 et 5	Fraisage
40	Usinage des trous taraudés 7 et 8	Fraisage
50	Usinage des fentes 9 et 10	Fraisage
60	Contrôle final	

3- Étude de fabrication de l'entretoise (9F)

L'entretoise est réalisée en série renouvelable de 500 pièces et dont les spécifications sont précisées sur la **figure 5**. Les surfaces à usiner sont représentées en trait fort. Le brut de départ est débité sur une longueur de 44 mm à partir d'une barre de diamètre 100mm. L'usinage nécessite une opération de dressage (surépaisseur de 1 mm) et un alésage des surfaces intérieures.

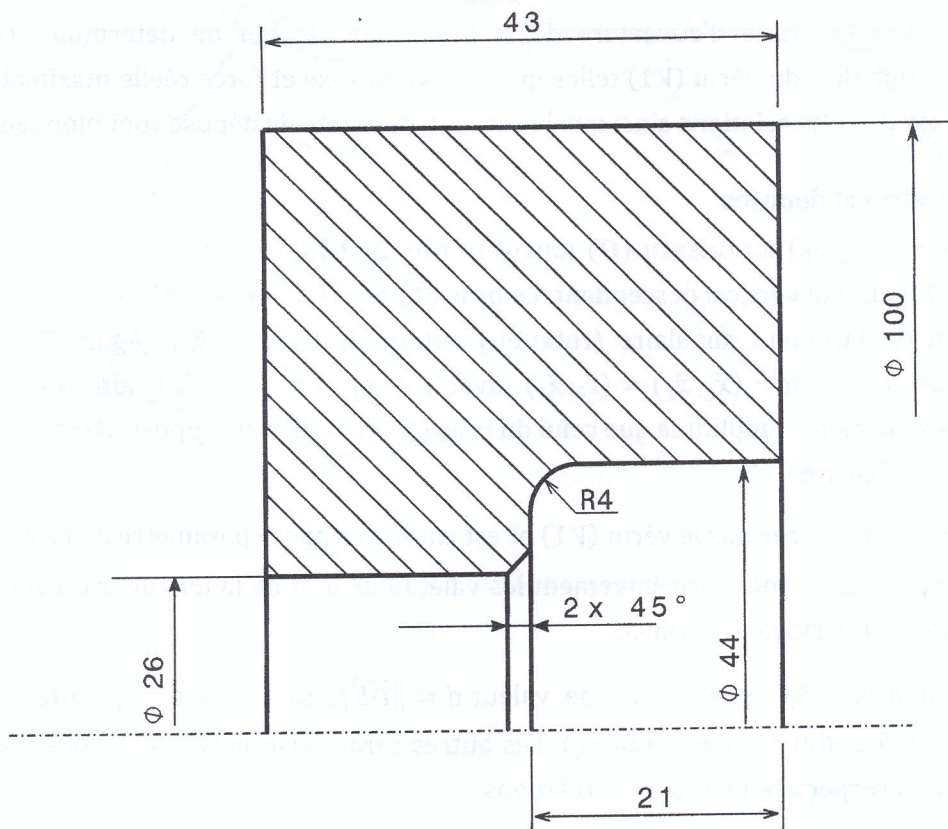
La machine utilisée est un tour à commande numérique, de marque REALMECA type, T20, de puissance 2 KW, de directeur de commande NUM. Les paramètres et les conditions d'usinages de cette pièce sont définis comme suit :

3.1 - Etude de la coupe

- Durée de vie de l'outil de $T = 90 \text{ min}$
- Vitesse de coupe constante : $V_{cc90} = 140 \text{ m/min}$
- Avance par tour : $f = 0,08 \text{ mm/tr}$
- Vitesse maximale de rotation de la broche : $N_{max} = 3000 \text{ tr/min}$
- Loi de Taylor : $V_c \cdot T^n = C$
- Exposant de Taylor : $n = 0,24$
- Nombre de pièces : $N_p = 500 \text{ pièces}$

3.2- Usinage Commande Numérique

- Outil à aléser de finition : $T7 \text{ D7}$
- Vitesse de coupe constante : $V_{cc} = 70 \text{ m/min}$
- Avance par tour : $f = 0,1 \text{ mm/tr}$
- Position de changement d'outil : $X = 160 \text{ mm}$; $Z = 60 \text{ mm}$
- Distance d'approche et de dégagement de l'outil : 2 mm



Tolérances générales ISO 2768 mk

Figure 5. Entretoise à usiner

2. Données et hypothèses de l'épreuve S.T.A

Mécanique des Solides Indéformables & Résistance des Matériaux

A.1- Étude de la phase d'ouverture de la pince

A.1-1. Présentation

La pince est constituée, comme l'illustre le schéma cinématique (**figure 6**), des deux bras (1) et (2) articulés respectivement sur le bâti en O et en A . Ces deux bras sont reliés par le vérin (V1). Le corps (3) du vérin (V1) est articulé en A sur le bras (2) alors que sa tige (4) est articulée en C au bras (1). Les deux bras sont également articulés respectivement au point E et D sur la biellette (5).

On se propose d'étudier la phase d'ouverture de la pince dans le but de déterminer les caractéristiques fonctionnelles du vérin (V1) telles que course, vitesse et force réelle maximale. Pendant cette phase les deux translations ainsi que la rotation de la tête de dépose sont bloquées.

A.1-2. Repères, paramètres et données

On lie le repère $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ au caisson (O) jouant le rôle de bâti, ce repère sera supposé galiléen, ayant $(O, \vec{z}_0)$ pour axe vertical descendant. Le bras (1) est lié au repère $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$, il est généré par un déplacement angulaire (rotation) autour de l'axe $(O, \vec{y}_0)$ (**figure 7**), ce déplacement est défini par : $\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{z}_0, \vec{z}_1)$ avec $\alpha \geq \alpha_0$. Le bras (2) effectue un déplacement angulaire de même amplitude que celui du bras (1) mais de sens opposé. Il est lié au repère $R_2(A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ (**figure 6**).

L'ouverture de la pince est assurée par le vérin (V1) et est contrôlée par le paramètre λ , il est tel que : $\overrightarrow{BC} = (L_0 + \lambda)\vec{x}_0$. α_0 et L_0 sont respectivement les valeurs de α et de la longueur du vérin correspondant à la position fermée de la pince.

La longueur de la biellette (5) est fixée à une valeur $d = \|\overrightarrow{DE}\|$, sa position angulaire est représentée par l'angle θ défini par : $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_5)$. Les autres caractéristiques dimensionnelles des bras sont exprimées respectivement par les relations :

$$\overrightarrow{OA} = -L\vec{x}_0, \overrightarrow{OE} = -r\vec{x}_1, AB = OC = R, AD = r \text{ et } \beta = (\overrightarrow{AD}, -\vec{z}_2)$$

Dans la présente étude, on s'intéresse à la phase d'ouverture durant laquelle la norme de la vitesse angulaire du bras (1) par rapport au bâti (0) est constante et doit vérifier : $\dot{\alpha} = \omega$

En négligeant les effets d'inertie des pattes d'ouverture de la pince, on pourra admettre que $(O, \vec{x}_1, \vec{z}_1)$ est un plan de symétrie, l'étude sera réduite à un problème plan.

La position du centre d'inertie G_1 du bras (1) est définie dans le repère R_1 par le vecteur :

$$\overrightarrow{OG_1} = -a\vec{x}_1 + b\vec{z}_1 \text{ avec } a > 0 \text{ et } b > 0.$$

Le bras (1) est assimilé à un solide homogène de masse m_1 et de moment d'inertie I_1 par rapport à l'axe $(O, \vec{y}_1)$ supposé axe principal d'inertie. Il est soumis à l'action de la pesanteur avec $\vec{g} = g\vec{z}_0$ (accélération de la pesanteur).

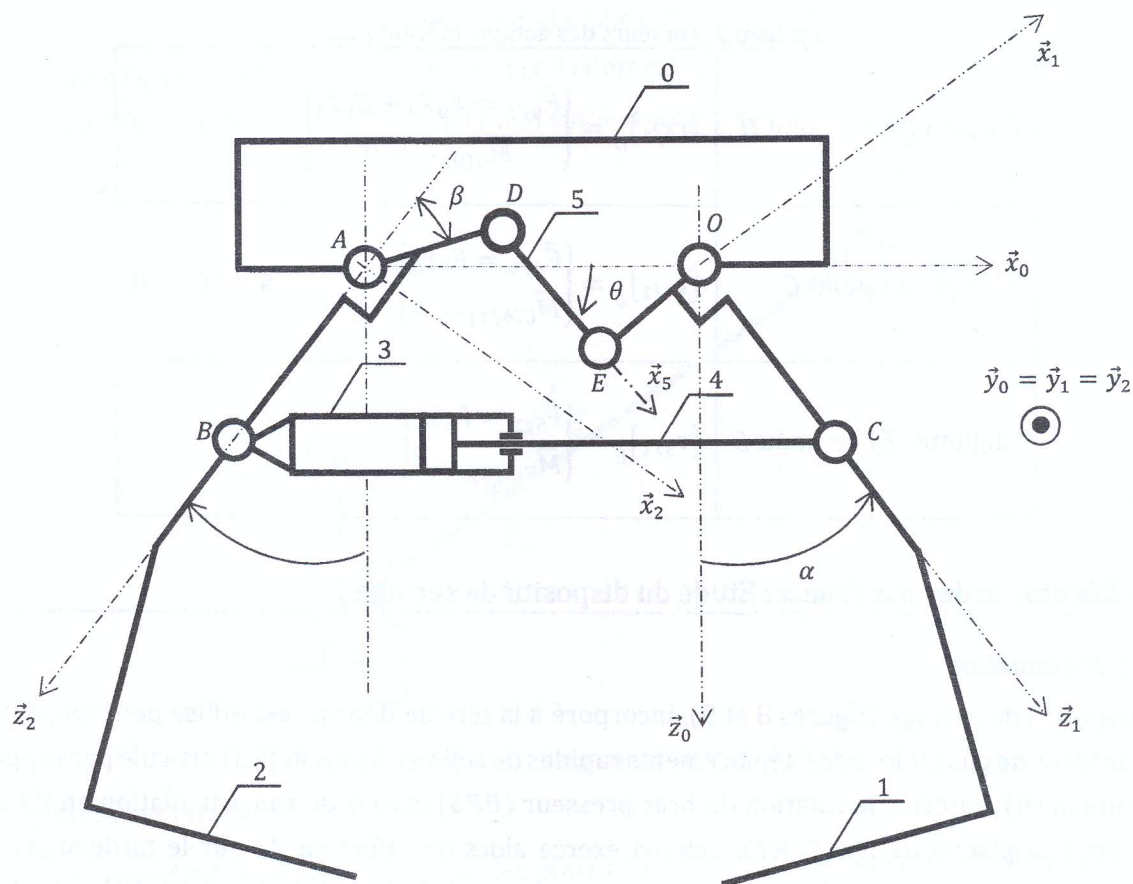


Figure 6. Schéma cinématique de la pince

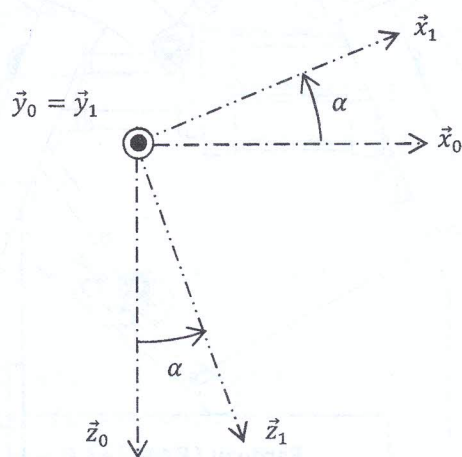


Figure 7. Représentation plane de la rotation du bras (1)

Toutes les liaisons sont supposées parfaites, les actions de liaison s'appliquant au bras (1) peuvent être modélisées par les torseurs définis dans le **tableau 2**.

On précisera enfin que a, b, L, L_0, d, r, R et β sont des constantes liées à la forme géométrique des bras, alors que λ, α et θ sont des paramètres de position (variables) de la pince.

Tableau 2. Torseurs des actions mécaniques

Caisson (0) au point O	$\{\tau_{0/1}\}_O = \begin{cases} \vec{F}_{0/1} = X_0 \vec{x}_0 + Z_0 \vec{z}_0 \\ \vec{M}_{O(0/1)} = \vec{0} \end{cases}$	
Tige (4) au point C	$\{\tau_{4/1}\}_C = \begin{cases} \vec{F}_{4/1} = F_C \vec{x}_0 \\ \vec{M}_{C(4/1)} = \vec{0} \end{cases}$	avec $F_C \geq 0$
Biellette (5) au point E	$\{\tau_{5/1}\}_E = \begin{cases} \vec{F}_{5/1} = F_E \vec{x}_5 \\ \vec{M}_{E(5/1)} = \vec{0} \end{cases}$	

A.2- Résistance des matériaux : Etude du dispositif de serrage

A.2-1. Présentation

Le dispositif de serrage (**figures 8 et 9**), incorporé à la tête de dépose, est utilisé pour empêcher les fardeaux de glisser lors des déplacements rapides de celle-ci. Le vérin (V3) articulé par rapport au caisson (0), autorise la rotation du bras presseur (BP3) autour de son articulation en C3 par rapport à la plaque de rive (PR2). Celui-ci exerce alors un effort en A3 sur le fardeau (FA4). L'expérience montre que cet effort doit être au minimum de 5 daN mais il peut atteindre 10 daN.

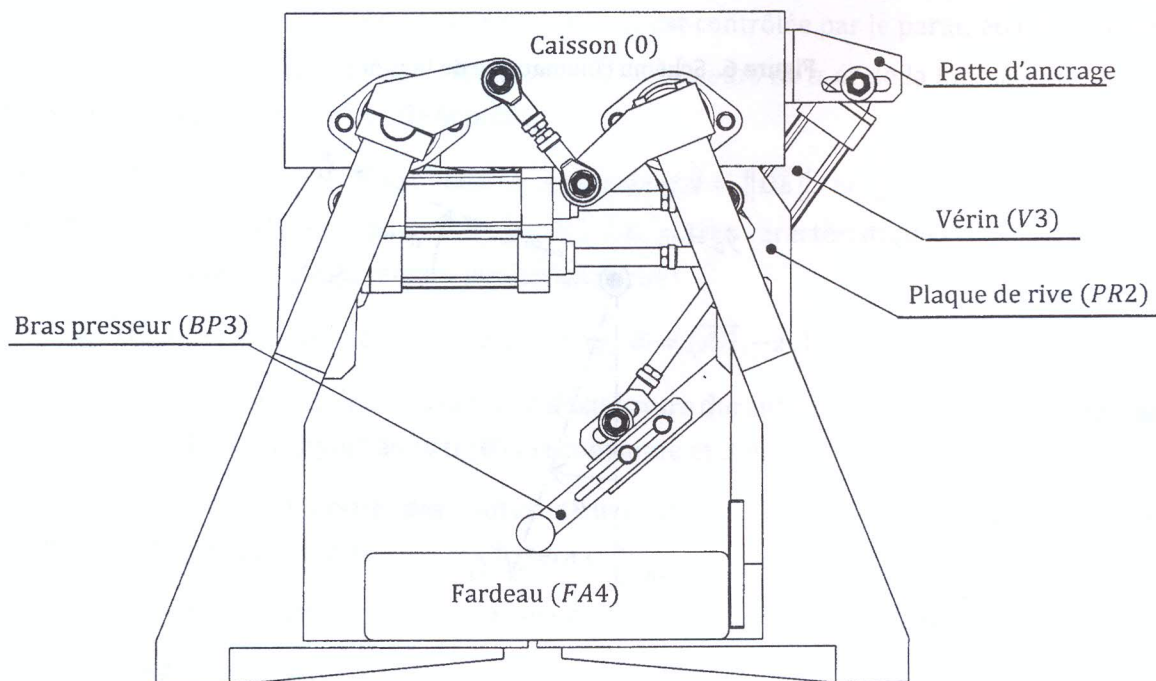


Figure 8. Dispositif de serrage des fardeaux

L'objectif de cette étude de résistance de matériaux consiste en l'analyse du chargement mécanique du bras presseur, au cours du serrage des fardeaux.

A.2-2. Modèle de chargement du bras presseur

Le bras presseur est assimilé à une poutre droite appuyée simplement à une extrémité au point A_3 et est articulée, au point C_3 , à l'autre extrémité. Elle est soumise, de la part des fardeaux (figure 9), à la force $\vec{F}_1$. Au cours du serrage le vérin (V3) doit exercer la force $\vec{F}_2$ au point B_3 , défini par : $\overrightarrow{A_3B_3} = c\vec{x}$. L'action de la plaque de rive (PR2) sur le bras presseur est modélisée par :

$$\vec{F}_3 = X_c\vec{x} + Y_c\vec{y}.$$

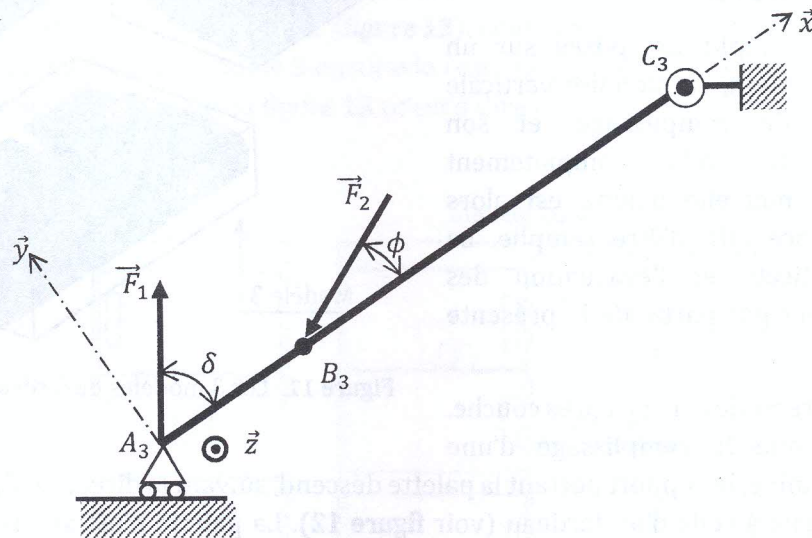


Figure 9. Modèle de chargement du bras presseur

Les hypothèses retenues sont :

- pendant le serrage, le caisson, les pinces, la plaque de rive, les vérins (V1) et (V2) sont fixes.
- les fardeaux (FA4) sont considérés rigides.
- les poids propres des pièces et les frottements sont négligés.
- le bras presseur (BP3) est une poutre droite et continue de longueur L_b et de section rectangulaire $e \times h$ (figure 10).

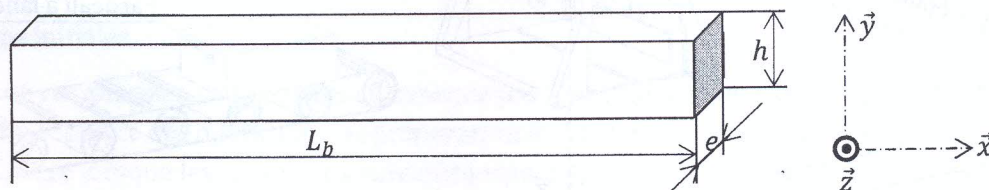


Figure 10. Modèle géométrique du bras presseur

A.2-3. Données

- Effort développé par les fardeaux : $F_1 = 10 \text{ daN}$
- Longueur du bras presseur : $L_b = 0.400 \text{ m}$
- Distance entre A_3 et B_3 : $c = 0.145 \text{ m}$
- Inclinaison de F_1 : $\delta = 60^\circ$
- Inclinaison de F_2 : $\phi = 30^\circ$
- Rapport largeur/hauteur de la section droite du bras presseur : $e/h = 0.25$

Partie B : Automatique

B.1- Étude de la fonction principale FP : Déposer le fardeau sur la palette

Cette partie concerne l'étude de la fonction principale : « Déposer les fardeaux sur la palette ». Notons que ces fardeaux sont de trois modèles dont deux ont la même longueur et un troisième plus long comme le précise la **figure 11**.

La palette à remplir est posée sur un support permettant, sa mobilité verticale en fonction du remplissage, et son évacuation une fois complètement chargée. Une nouvelle palette est alors mise à sa place afin d'être remplie. La mobilité verticale et l'évacuation des palettes ne font pas partie de la présente étude.

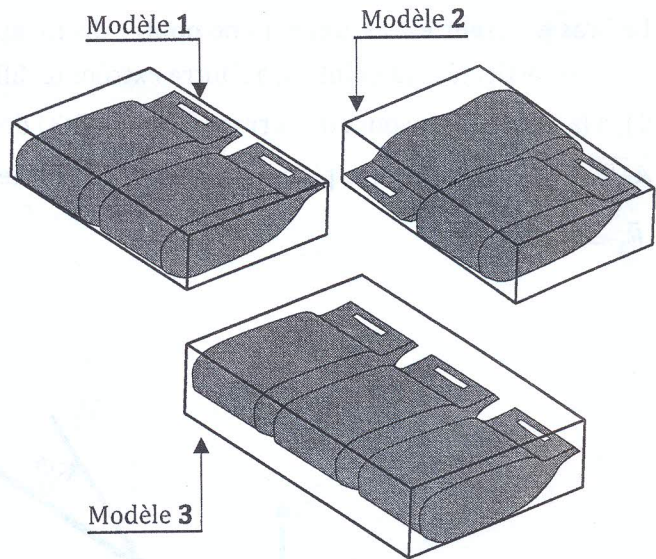


Figure 11. Les 3 modèles de fardeaux à palettiser

La palette est remplie couche après couche. Chaque fois que le remplissage d'une couche est terminé, le support portant la palette descend, suivant la direction $\vec{z}$, d'un incrément de hauteur égale à celle d'un fardeau (voir **figure 12**). La palette n'est animée d'aucun autre mouvement lors du chargement. En effet, le positionnement sur palette des différents fardeaux se fait par la tête de dépose qui est animée de deux mouvements de translation selon les directions $\vec{x}$ et $\vec{y}$ et une rotation autour de l'axe $\vec{z}$ comme le montre la **figure 12**.

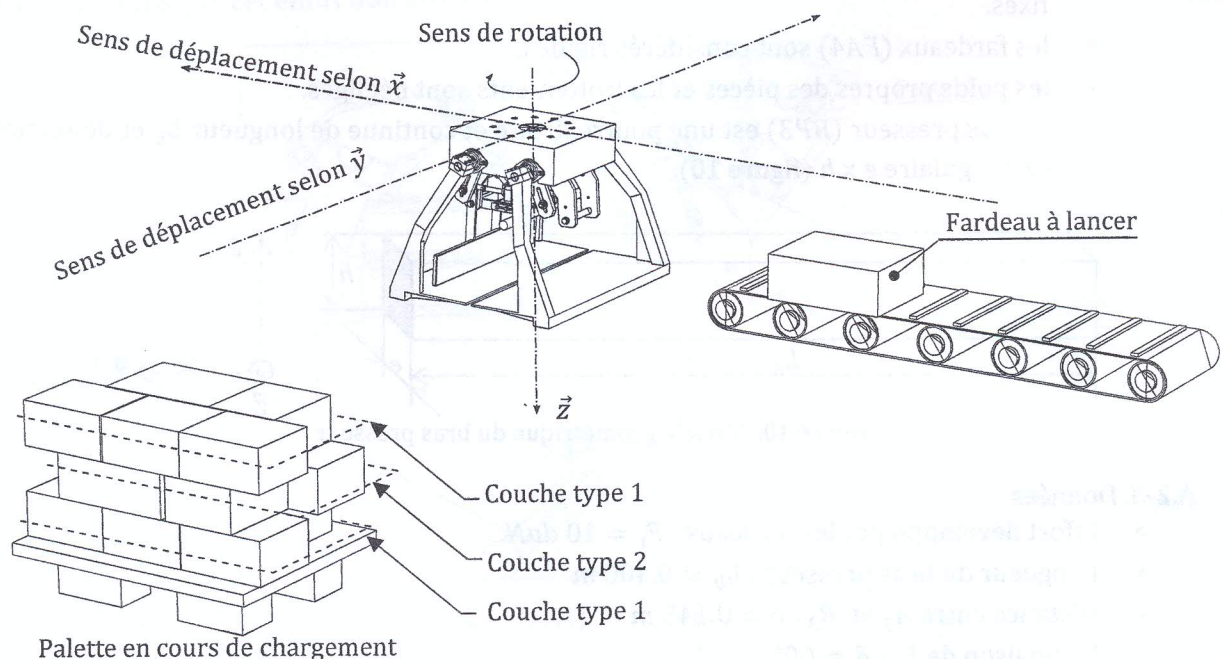


Figure 12. Vue partielle de l'unité de dépose

On rappelle que la tête de dépose est équipée de trois vérins pneumatiques bistables (**figure 14**) munis de capteurs de fin de course pour détecter les positions limites du piston :

- Vérin (V1) pour actionner la fermeture/ouverture de la pince,
- Vérin (V2) de positionnement de la plaque de rive permettant de s'accommoder aux deux gabarits de fardeaux (voir **figure 11**),
- Vérin (V3) assurant le serrage du fardeau contre les plaques de la pince.

La disposition des fardeaux sur la palette, à raison de cinq par couche, est choisie de manière à avoir une meilleure stabilité de l'ensemble fini. Pour ce faire, les couches superposées sur la palette sont de deux types : type 1 et type 2 (**figure 13**). Leur remplissage s'effectue toujours en commençant par un fardeau du modèle 3 ensuite le reste des fardeaux, modèles 1 et 2, seront ajoutés dans l'ordre mentionné sur la **figure 13** (c'est à dire dans l'ordre suivant : modèles 3-1-1-2-1).

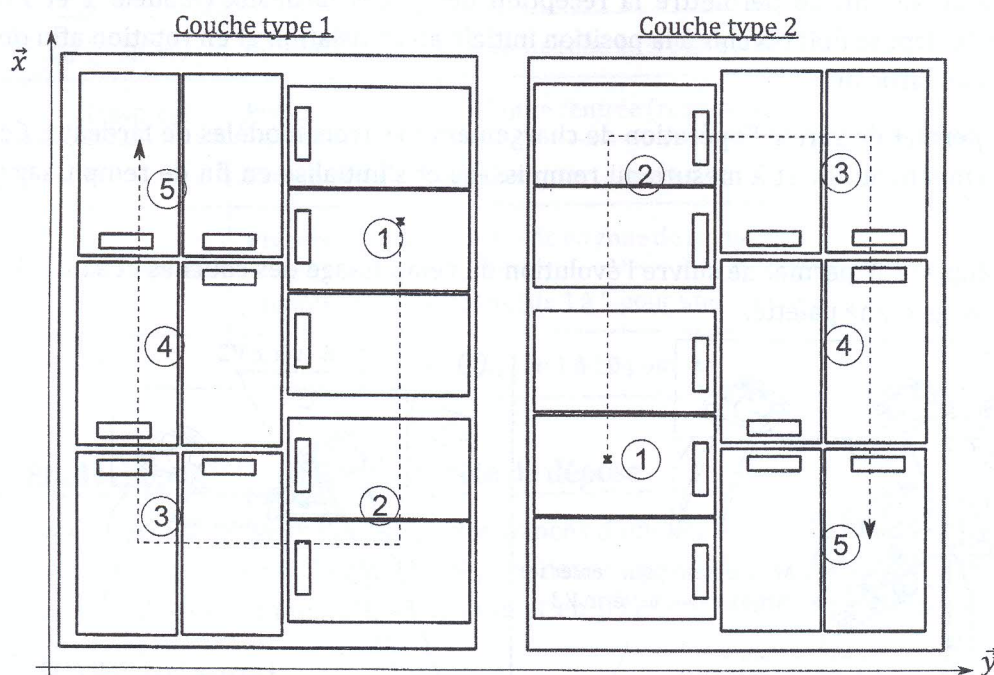


Figure 13. Les deux types de couches à former, les numéros encadrés désignent l'ordre de remplissage pour chaque type

Conditions initiales

Le cycle de remplissage de la palette commence par une consigne de départ cycle "**Dcy**" issue de l'automate à la suite des opérations de préparation et d'ordonnancement des fardeaux. Ainsi, ledit cycle démarre lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

- une palette vide est présente dans la zone de remplissage ($p = 1$),
- la pince est en position fermée,
- le vérin V3 de serrage en position levée.

Déroulement du cycle

La mise en marche du tapis lanceur à commande monostable "**Tap**" permet d'envoyer un premier fardeau du modèle 3 à l'intérieur de la pince et au contact de la plaque de rive déclenchant ainsi le capteur t_1 et arrêtant en même temps le tapis lanceur. La plaque de rive étant préalablement positionnée avec le vérin (V2) à la position ① (correspondant à $b = 1$)

adaptée aux grands fardeaux. Le vérin de serrage (V3) vient ainsi serrer le fardeau $c_1 = 1$ et lancer simultanément les opérations de rotation de l'ensemble tête de dépose (rotation autour de l'axe $\vec{z}$ commandée par les macro-étapes **M30** et **M100**) et le mouvement de positionnement en translation ($\vec{x}$, $\vec{y}$) au-dessus de la palette.

Les macro-étapes **M20** (mouvement d'allée de la tête de dépose) et **M22** (mouvement de son retour) sont relatives à la commande des mouvements de translation ($\vec{x}$, $\vec{y}$) de la tête de dépose entre la position de réception des fardeaux et celle de dépose sur palette. Ces macros-étapes **M20** et **M22** ne seront pas traitées dans la présente étude.

Une fois arrivée au-dessus de la palette, la pince entame son mouvement d'ouverture en même temps que le desserrage du fardeau. Une temporisation de 5 secondes après l'ouverture complète de la pince permet de s'assurer de l'évacuation du fardeau qui va se déposer convenablement à son emplacement sur la palette. La pince se referme et la plaque de rive doit prendre la position $\odot$ afin de permettre la réception des petits fardeaux (modèle 1 et 2). L'ensemble tête de dépose doit revenir à la position initiale en translation et en rotation afin de recevoir le nouveau fardeau.

Un compteur **K** permet de suivre l'opération de chargement des trois modèles de fardeaux. Ce compteur s'incrémente au fur et à mesure du remplissage et s'initialise en fin de remplissage d'une couche.

Un deuxième compteur **N** permet de suivre l'évolution du remplissage des couches et s'initialise en fin de remplissage d'une palette.

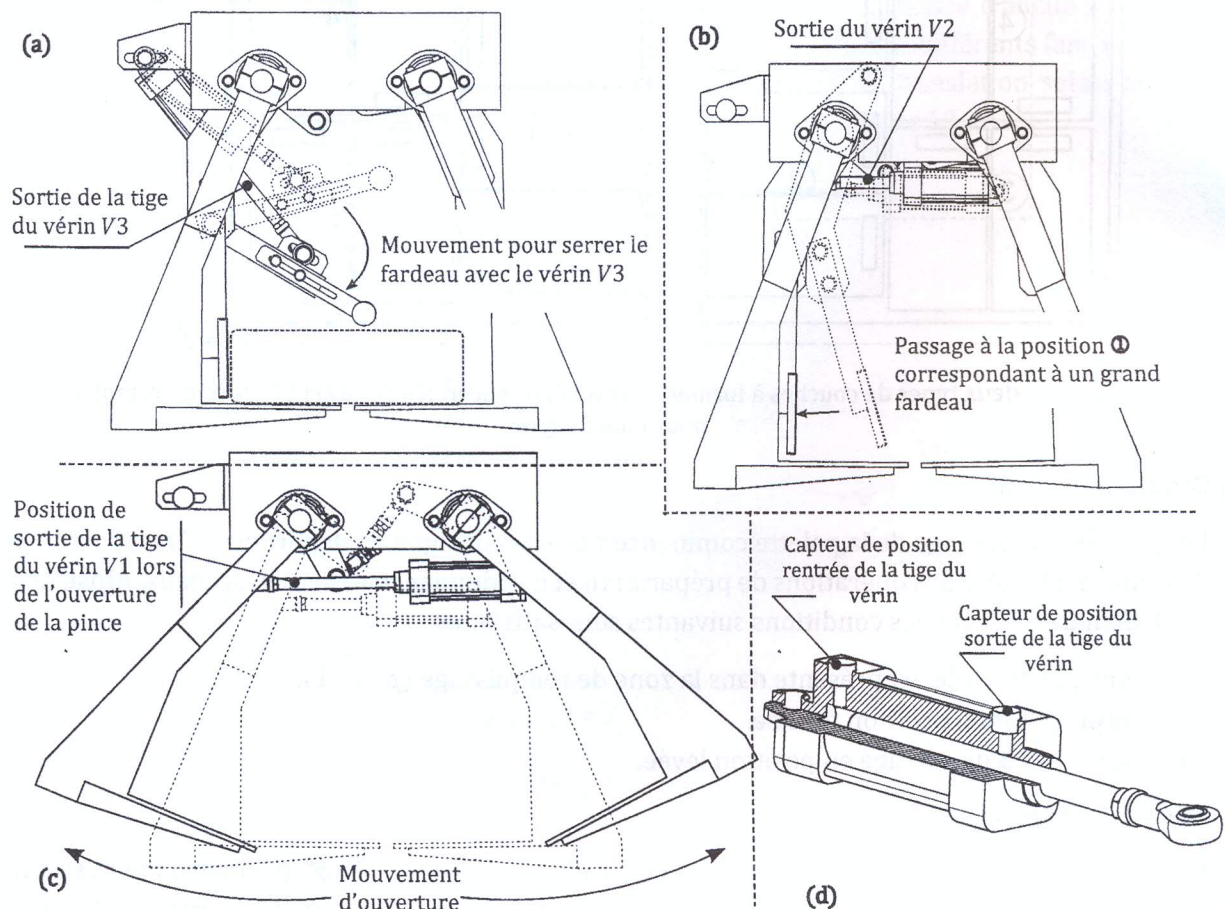


Figure 14. Aperçu partiel de la tête de dépose précisant les mouvements des pièces sous l'action des vérins associés

Le **tableau 3** ci-dessous résume les différentes abréviations à utiliser dans la présente partie.

Tableau 3. Abréviations adoptées pour le système étudié

Abréviation	Description
$V1 +$ (resp. $V1 -$)	Sortie (resp. Retour) du vérin $V1$
$V2 +$ (resp. $V2 -$)	Sortie (resp. Retour) du vérin $V2$
$V3 +$ (resp. $V3 -$)	Sortie (resp. Retour) du vérin $V3$
Tap	Avance rapide du tapis lanceur de fardeaux
Dcy	Commande de départ cycle
a_0 (resp. a_1)	Présence en position limite rentrée (resp. sortie) du vérin $V1$
b_0 (resp. b_1)	Présence en position limite rentrée (resp. sortie) du vérin $V2$
c_0 (resp. c_1)	Présence en position limite rentrée (resp. sortie) du vérin $V3$
t_1	Présence du fardeau en contact avec la rive
p	Présence d'une palette vide en zone de remplissage
K	Compteur des fardeaux (de 1 à 5 pour une couche)
N	Compteur des couches (de 1 à 10 pour une palette)

B.2- Étude du positionnement de la tête de dépose

L'étude suivante vise à vérifier les performances d'une structure de commande d'un des deux axes de positionnement de la tête de dépose dans le plan $(\vec{x}, \vec{y})$. Le contrôle des déplacements de celle-ci exige une commande en vitesse et en position avec des performances fixées par le cahier des charges.

Fonction de service	Critère	Niveau
Positionner la tête de dépose dans le plan $(\vec{x}, \vec{y})$	Dépassement	$\leq 1\%$
	Erreur de position	nulle
	Erreur de traînage	$\leq 75\%$

La **figure 15** représente le schéma de principe de l'asservissement et de la régulation de la position selon l'axe $\vec{x}$. On désire que celui-ci puisse atteindre une position linéaire consigne x_c exigée par l'automate en dépit de la variation du poids de l'ensemble tête de dépose + fardeau.

Pour cela, on propose un schéma de commande qui consiste à utiliser une tension d'erreur $v_e(t) - v_s(t)$ amplifiée par un gain A , à l'entrée d'un moteur à courant continu dédié au positionnement de la tête de dépose selon l'axe $\vec{x}$.

Le moteur entraîne une poulie motrice par l'intermédiaire d'un réducteur. Cette poulie est reliée à une courroie sur laquelle on fixe le système de guidage en translation de la tête de dépose de manière à ce que la vitesse de la tête et celle de la courroie soient identiques.

La position linéaire de l'ensemble tête de dépose, notée $x_s(t)$ que le système cherche à atteindre

est reliée à la position angulaire de la poulie motrice par la simple relation $x_s = \theta_s \cdot (d/2)$ avec d diamètre de la poulie motrice. Asservir en position linéaire x_s revient à asservir la position angulaire de cette poulie motrice θ_s . Pour ce faire, un capteur délivrant une tension $v_s(t)$, est inséré dans la chaîne traduisant cette position angulaire θ_s .

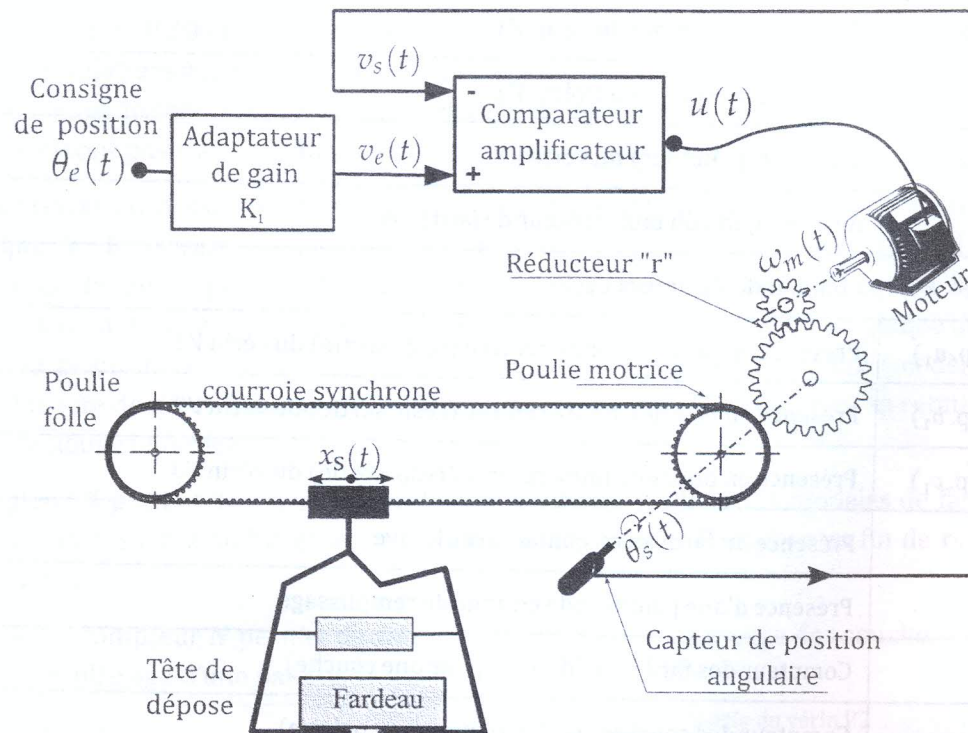


Figure 15. Schématisation de la chaîne de commande d'un moteur de positionnement de la tête de dépose selon l'axe $\vec{x}$

Commande du système simplifié (Inductance $L = 0$)

Le moteur peut être représenté par la mise en série d'une résistance R , d'une inductance L (considérée négligeable dans cette étude) et d'une f.c.e.m E donnée par la relation $E = K \cdot \omega_m$, où ω_m est la vitesse de rotation du moteur. Nous supposons que l'inertie équivalente de l'ensemble en mouvement ramenée à l'arbre du moteur est J et que le couple de frottement est $c_f = f \cdot \omega_m$ (frottement visqueux). Soient :

$$c_m(t) = J \frac{d\omega_m(t)}{dt} + f\omega_m(t) \quad (1) \quad v_e(t) = K_1 \cdot \theta_e(t) \quad (6)$$

$$c_m(t) = K \cdot i(t) \quad (2) \quad r = \frac{\omega_s(t)}{\omega_m(t)} \quad (7)$$

$$u(t) = K \cdot \omega_m(t) + R \cdot i(t) \quad (3) \quad u(t) = A \cdot \varepsilon_1(t) \quad (8)$$

$$\omega_s(t) = \frac{d\theta_s(t)}{dt} \quad (4) \quad \varepsilon_1(t) = v_e(t) - v_s(t) \quad (9)$$

$$v_s(t) = K_1 \cdot \theta_s(t) \quad (5)$$