

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Concours Nationaux d'Entrée
aux Cycles de Formation d'Ingénieurs
Session 2018



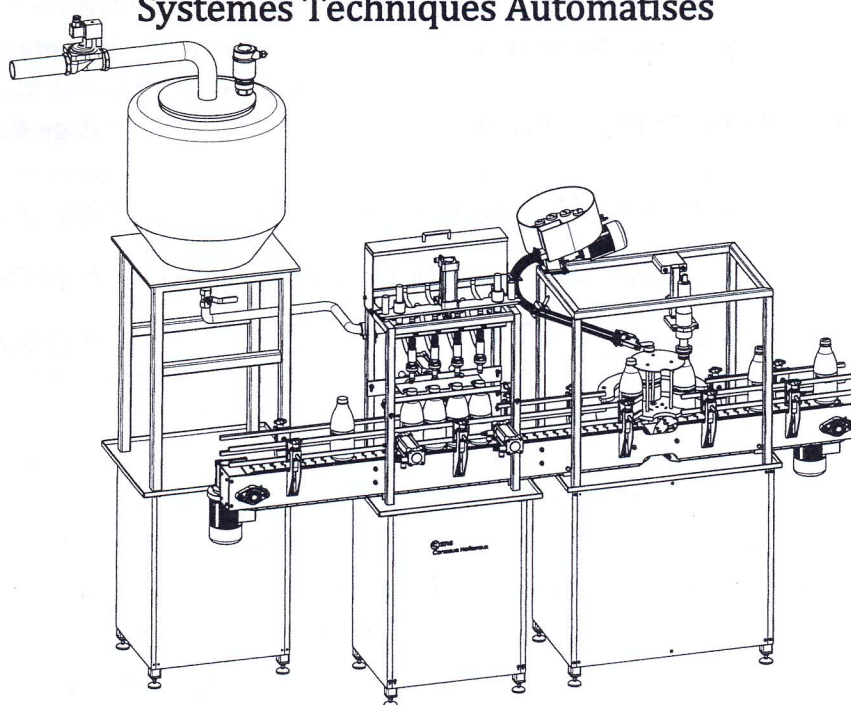
الجمهورية التونسية

وزارة التعليم العالي
والبحوث العلمية

المناظرات الوطنية للدخول الى مراحل تكوين المهندسين
دورة 2018

Concours Mathématiques – Physique & Physique - Chimie

Épreuve de
Systèmes Techniques Automatisés



Date : Mardi 05 Juin 2018

Heure : 8.00 H

Durée : 3 Heures

L'épreuve comporte trois parties :

- | | |
|--|----------|
| A- Conception Mécanique | (03 pts) |
| B- Mécanique des Solides Indéformables (M.S.I) | (09 pts) |
| C- Automatique | (08 pts) |

Le sujet de l'épreuve remis au candidat comporte trois dossiers :

- 1- Mise en situation, Données et Hypothèses
- 2- Document Réponses
- 3- Documents Techniques : DT-01 & DT-02

Important :

- Aucun autre document n'est autorisé.
- Seules les calculatrices de poche non programmables sont autorisées.
- Il n'est fourni au candidat qu'une seule et unique copie du «Dossier document réponses » qui doit être rendu en totalité, à la fin de l'épreuve, même sans réponses.
- Le document réponses doit être rendu en intégralité (**aucune feuille ne doit être supprimée**). Cet acte est considéré comme étant une tentative de fraude.

Dossier

Mise en situation, Données et Hypothèses

Ce dossier comporte **13** pages numérotées de **1 à 13** et deux documents techniques **DT-01 & DT-02**

- ◆ **Mise en situation** : Page 1 à 3
 - Documents techniques* : DT-01 & DT-02
- ◆ **Données et hypothèses** : Page 4 à 13
 - ★ *Conception Mécanique* : Page 4
 - ★ *Mécanique des Solides Indéformables (M.S.I)* : Page 5 à 7
 - ★ *Automatique* : Page 8 à 13

ÉTUDE D'UNE LIGNE DE REMPLISSAGE ET DE BOUCHAGE DE BOUTEILLES

1- Mise en situation

Le système proposé à l'étude représente une chaîne de conditionnement de produits liquides. Il est constitué, comme l'illustre le document technique **DT-01**, de trois unités ayant pour fonctions respectives : le stockage et l'alimentation en produit, le remplissage du produit dans des bouteilles et le bouchage des bouteilles.

La première unité (**Unité I**) comporte la cuve de stockage, l'électrovanne **A**, la vanne **B** et un ensemble de tubes assurant le transfert du produit vers l'unité de remplissage (**Unité II**).

Les éléments constituant l'**unité II** sont principalement :

- Un convoyeur linéaire (**CL1**) formé par le tapis (**T1**) entraîné en mouvement par l'intermédiaire du motoréducteur (**M1**). Il assure le transfert des bouteilles remplies vers l'unité de bouchage (**Unité III**),
- Un dispositif de remplissage formé de 4 buses,
- Un ensemble composé de 4 vérins **V1**, **V2**, **V3** et **V4**, assurant le mouvement d'approche des buses ainsi que le maintien en position des bouteilles durant la phase de remplissage.

L'**unité III** est formée des éléments suivants :

- Un convoyeur linéaire (**CL2**) formé du tapis (**T2**) qui est entraîné en mouvement par l'intermédiaire du motoréducteur (**M2**). Il assure l'évacuation des bouteilles bouchées,
- Un ensemble constitué d'un magasin de stockage de bouchons, d'une goulotte et d'un mécanisme de pose de bouchons,
- Un mécanisme de transfert des bouteilles, formé d'un motoréducteur (**M3**), d'un mécanisme à croix de Malte solidaire d'une étoile de transfert (**DT-02**),
- Un dispositif pneumatique formé principalement par le vérin **V5** équipé d'un moteur (**M5**) ayant pour rôle le vissage des bouchons.

2. Fonctionnement du système

Le convoyeur linéaire d'alimentation (**CL1**) emmène les bouteilles au poste de remplissage. Les vérins **V1**, **V2** et **V3** actionnent un dispositif pour bloquer les bouteilles, en position face aux buses d'injection du produit. Le vérin **V4** assure le mouvement d'approche des buses d'injection vers les cols des bouteilles.

Après remplissage, les bouteilles sont guidées vers l'étoile de transfert, celle-ci est liée à un mécanisme à croix de Malte composé, comme l'indique les **Figures 1** et **2**, du maneton (**1**), du galet (**3**) et de l'ensemble (**2**) (croix de Malte + étoile de transfert). Le maneton (**1**), mis en mouvement par un motoréducteur à courant continu, est en rotation autour de l'axe vertical et entraîne dans son mouvement le galet (**3**). Au cours d'un tour du maneton (**1**), le galet (**3**) s'engage dans une rainure de la croix de Malte (ensemble (**2**)) puis s'en dégage comme le montre la **Figure 3**. L'ensemble (**2**) est donc entraîné en rotation autour de son axe de façon intermittente par le maneton (**1**).

Dans son mouvement, l'ensemble (2) entraîne l'étoile de transfert, la bouteille (Bt_i) est alors amenée par la rainure (j), sous le système de pose de bouchon. La bouteille (Bt_{i+1}) prend place dans la rainure (j + 1). Dans son mouvement vers le poste de bouchage, le bouchon est posé sur le col de la bouteille (Bt_i) via une languette élastique assurant sa stabilité. Sous la tête de bouchage, la bouteille est immédiatement bloquée par le vérin de serrage (V5). Lorsque le bouchon est vissé, le maneton (1) entraîne à nouveau l'ensemble (2), la bouteille (Bt_i) est dirigée vers l'évacuation par le convoyeur linéaire (CL2) et la bouteille (Bt_{i+1}) est conduite à son tour sous la tête de vissage.

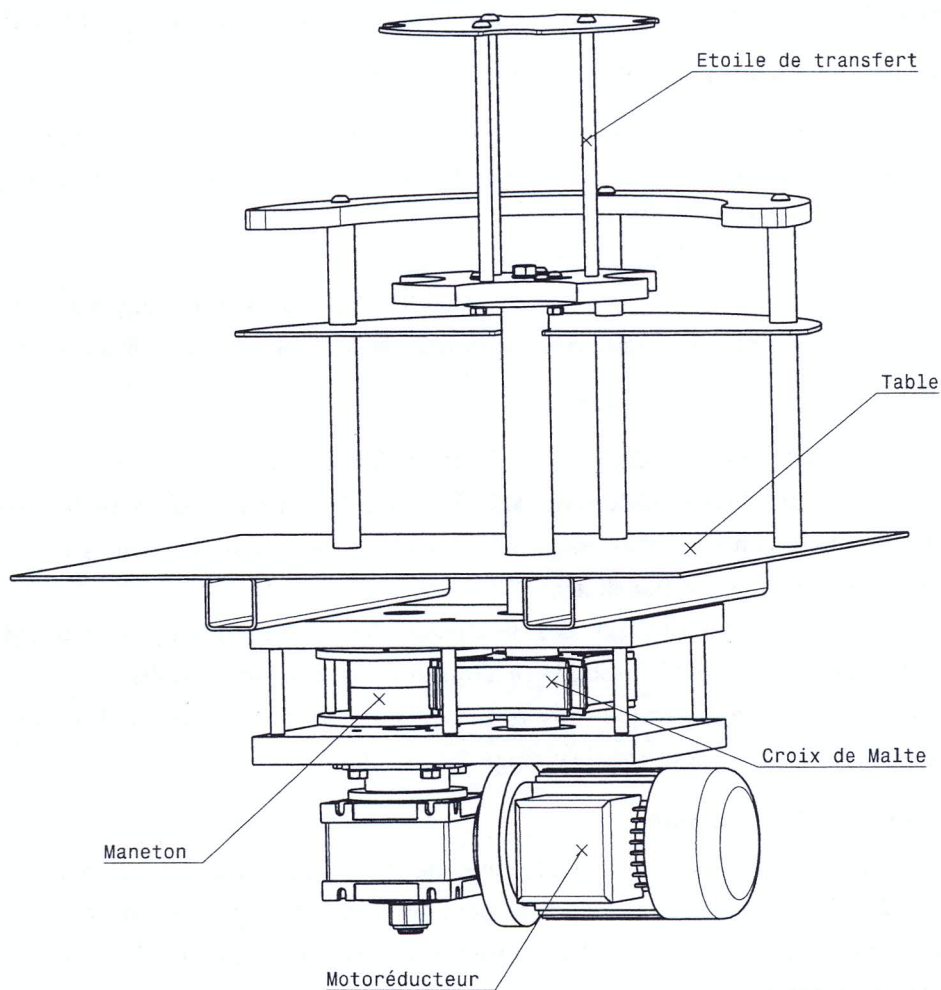


Figure 1- Mécanisme de guidage et de transfert de bouteilles de l'unité III

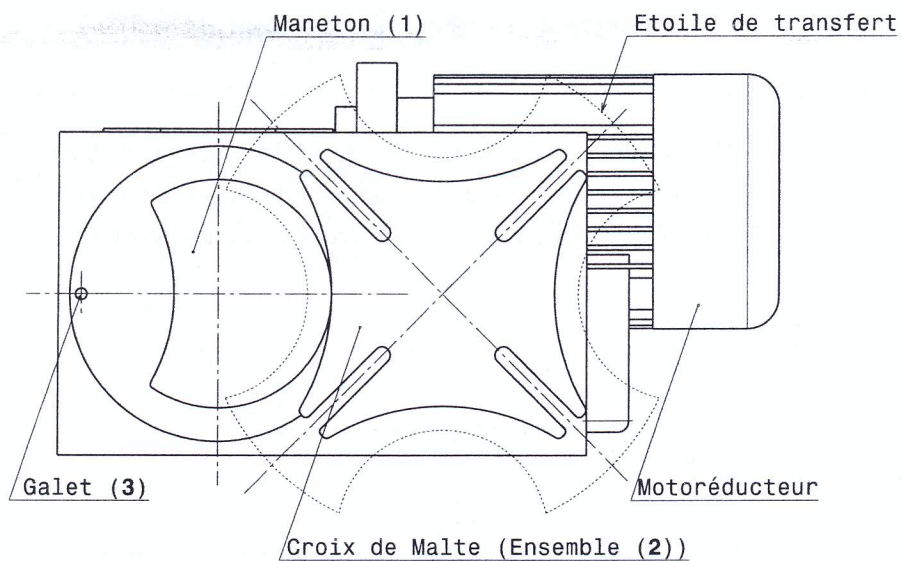


Figure 2- Schéma de principe du mécanisme de croix de Malte

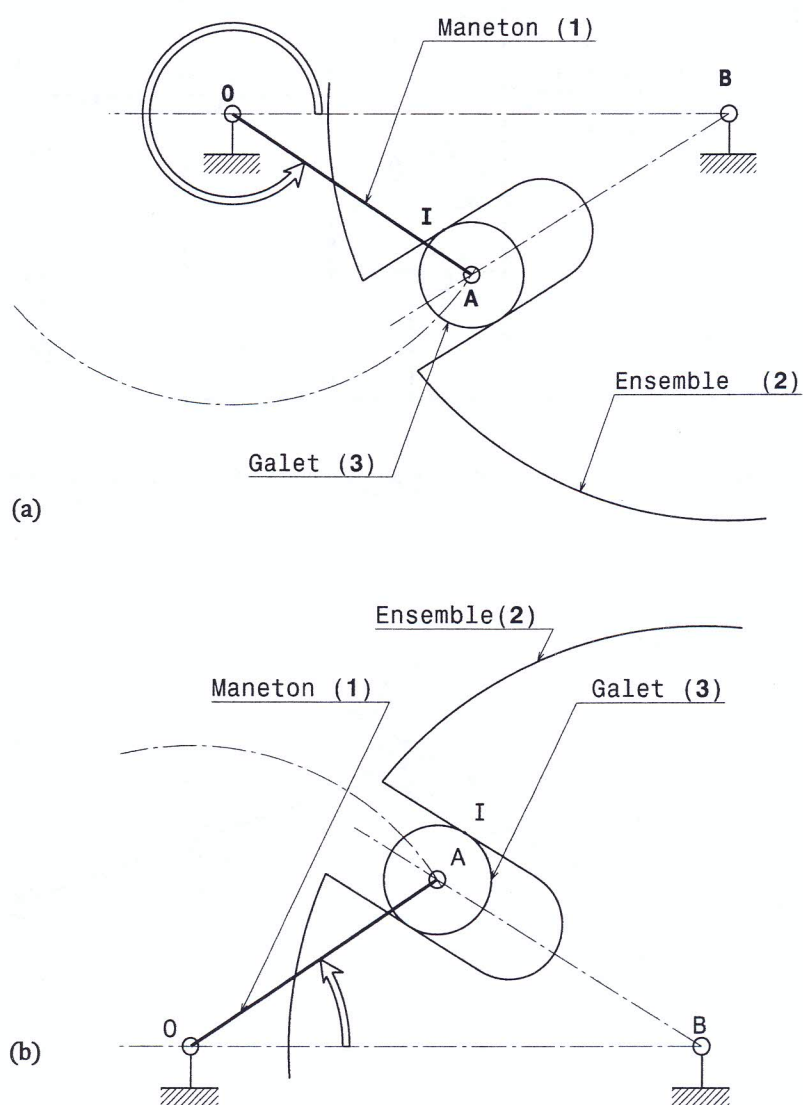


Figure 3- (a) Maneton en position d'engagement, (b) Maneton en position de dégagement

Partie A : Conception Mécanique

Cette partie comporte :

- l'analyse fonctionnelle de la ligne de remplissage et de bouchage de bouteilles,
- l'analyse technique du mécanisme d'entraînement de l'étoile de transfert illustré par le schéma cinématique de la **Figure 4** et du Document Technique **DT-02**.

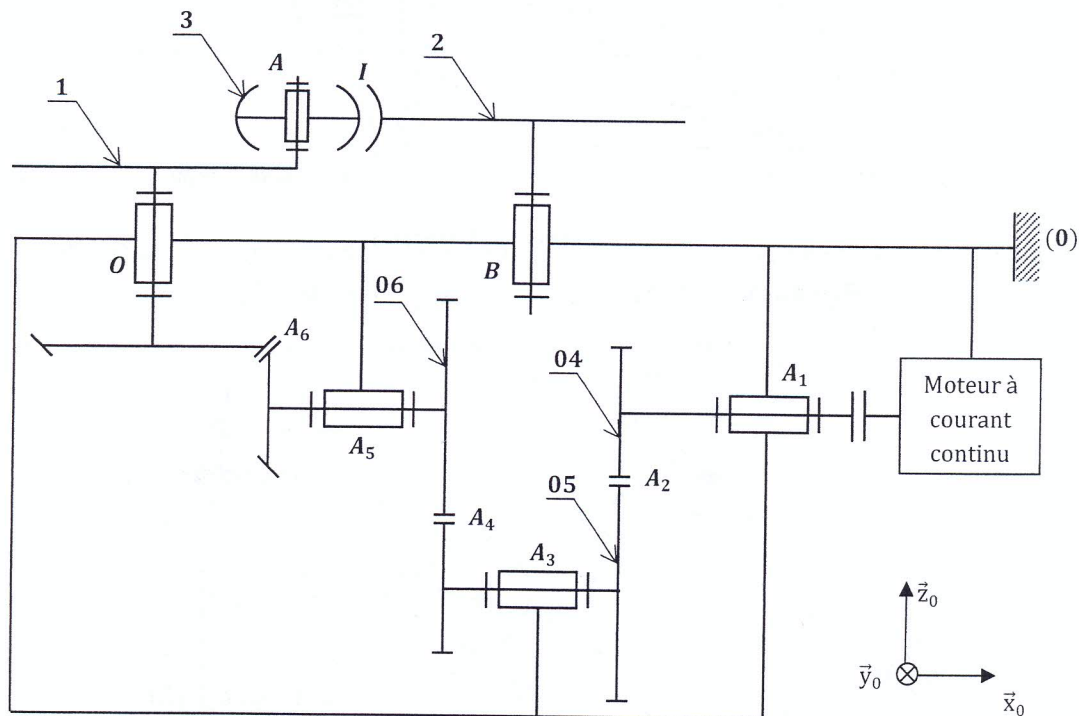


Figure 4- Schéma cinématique du motoréducteur **M3** (Mécanisme d'entraînement de l'étoile de transfert)

Partie B : Mécanique des Solides Indéformables (M.S.I)

Dans cette partie, on s'intéresse à l'étude mécanique du sous-système formé du maneton (1), de l'ensemble (2) et du galet (3). Ce mécanisme permet de transformer le mouvement de rotation continu du maneton (1), à vitesse angulaire constante ω , en un mouvement intermittent de l'étoile de transfert via la croix de Malte qui lui est solidaire. La **Figure 2** illustre l'emplacement du mécanisme par rapport au motoréducteur à courant continu. La **Figure 5** schématise le principe de fonctionnement du mécanisme d'entraînement de l'étoile de transfert. La **Figure 6** présente le schéma cinématique minimal de ce mécanisme.

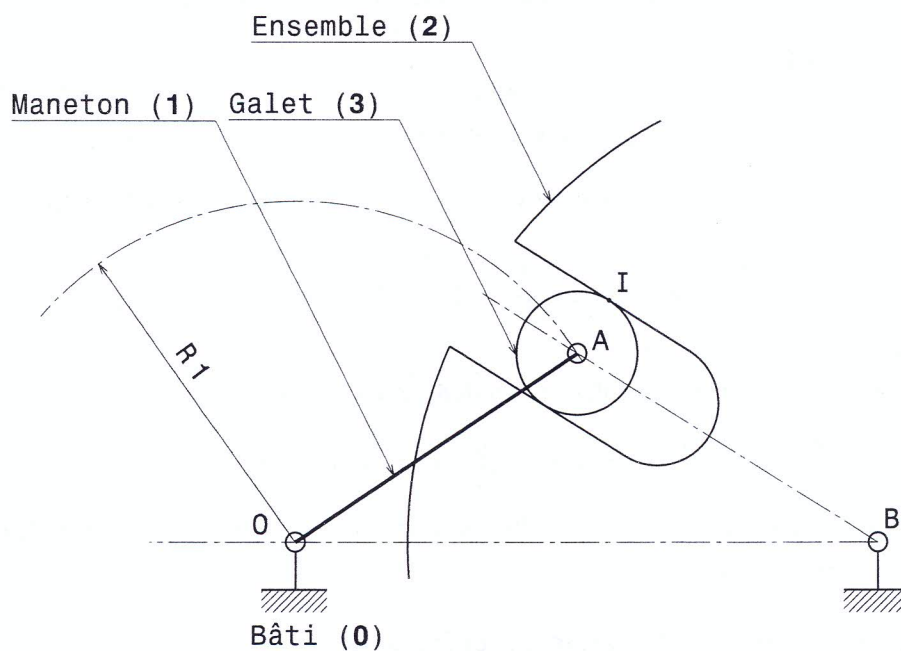


Figure 5- Schéma de principe du maneton et de la croix de Malte

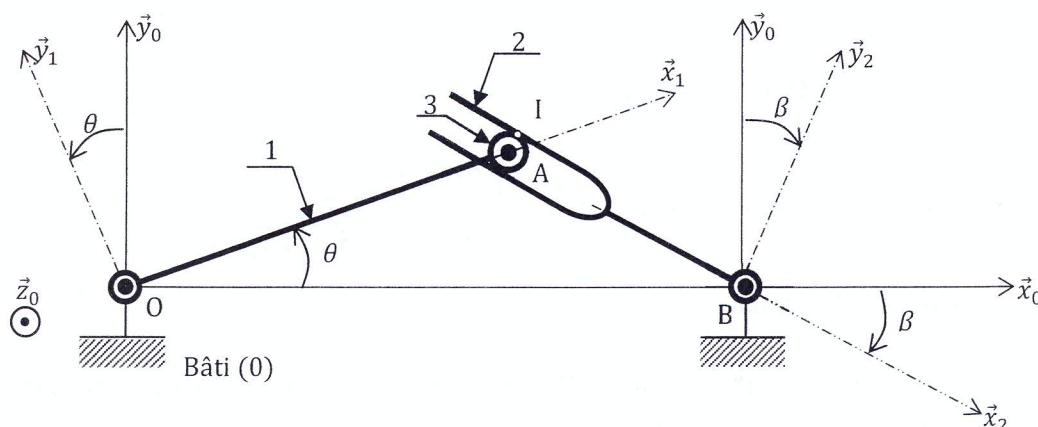


Figure 6- Schéma cinématique minimal du mécanisme de la croix de Malte

B.1- Repères et paramètres

Repères

- $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$: Repère lié au bâti (0), il est pris pour un repère galiléen avec (O, \vec{z}_0) comme axe vertical ascendant,
- $R_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$: Repère lié au maneton (1),
- $R_2(B, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$: Repère lié à l'ensemble (2),

Avec $\vec{z}_0 = \vec{z}_1 = \vec{z}_2$ et $\overrightarrow{OB} = D\vec{x}_0$ (D est une constante dimensionnelle du mécanisme).

Paramètres géométriques

Les paramètres du mécanisme se présentent comme suit :

- La rotation du maneton (1) autour de l'axe (O, \vec{z}_0) est représentée par l'angle θ , il est tel que : $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$
- La rotation de l'ensemble (2) autour de l'axe (B, \vec{z}_0) est représentée par l'angle β , il est tel que : $\beta = (\vec{x}_0, \vec{x}_2) = (\vec{y}_0, \vec{y}_2)$
- La position du centre A du galet (3) est définie par les vecteurs :

$$\overrightarrow{OA} = R_1\vec{x}_1 \text{ et } \overrightarrow{AB} = \lambda\vec{x}_2, (\lambda \text{ est variable})$$

où R_1 est une dimension constante liée au maneton et λ la distance séparant le centre A du galet (3), du point B .

B.2- Données relatives à l'étude dynamique et énergétique

Caractéristiques d'inertie

L'ensemble (2) formé par la croix de Malte et l'étoile de transfert admet pour :

- masse : m_2
- centre d'inertie G_2 avec $\overrightarrow{BG_2} = r_2\vec{x}_2 + h\vec{z}_0$
- matrice d'inertie au point B : $[I_2]_B = \begin{bmatrix} A_2 & 0 & -E_2 \\ 0 & A_2 & 0 \\ -E_2 & 0 & C_2 \end{bmatrix}_{(B, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)}$

Efforts appliqués à l'ensemble (2)

Le galet (3), de masse supposée négligeable, est un composant intermédiaire entre le maneton (1) et l'ensemble (2). Son rôle consiste à réduire les frottements au niveau de son contact en I avec la croix de Malte (ensemble (2)).

En fonctionnement normal, cet ensemble est soumis aux actions mécaniques suivantes :

- poids propre de l'ensemble (2) (accélération de la pesanteur $\vec{g} = -g\vec{z}_0$),
- action du bâti (0) au point B transmise par la liaison pivot d'axe (B, \vec{z}_0) supposée parfaite,
- couple résistant représentant les frottements des bouteilles appuyées sur la table, il est modélisé par : $\vec{C}_f = C_f \vec{z}_0$ avec $C_f > 0$,
- action ponctuelle du galet (3) au point I : $\vec{F}_I = F_I \vec{y}_2$ avec $F_I > 0$ et $\vec{AI} = r_3 \vec{y}_2$ où r_3 est le rayon du galet.

Données relatives à l'étude énergétique

Le motoréducteur (M3), schématisé par la **Figure 4**, est formé d'un réducteur et d'un moteur à courant continu. À l'entrée du réducteur, le moteur développe, à vitesse de rotation constante $\vec{\Omega} = \omega_m \vec{x}_0$, un couple $\vec{C}_m = C_m \vec{x}_0$.

Compte tenu du faible diamètre du galet (3) ; le point de contact I de l'ensemble (2) avec le galet (3) sera supposé confondu avec le centre A du galet. Le réducteur est caractérisé par son rendement η_r et son rapport de réduction ρ_r défini par : $\rho_r = \left| \frac{\omega}{\omega_m} \right|$

On se propose de déterminer le couple moteur C_m nécessaire à l'entraînement de l'ensemble (2), dans son mouvement par rapport au bâti (0).

Partie C : Automatique

L'objet de cette partie est l'étude de l'automatisation du système d'embouteillage constitué de trois unités comme le montre le document technique DT-01.

C-1. Étude séquentielle de l'unité de remplissage des bouteilles

Cette unité, présentée par la **Figure 7**, permet de remplir des bouteilles par lot de quatre qui seront ensuite déplacées devant l'unité III afin de les boucher.

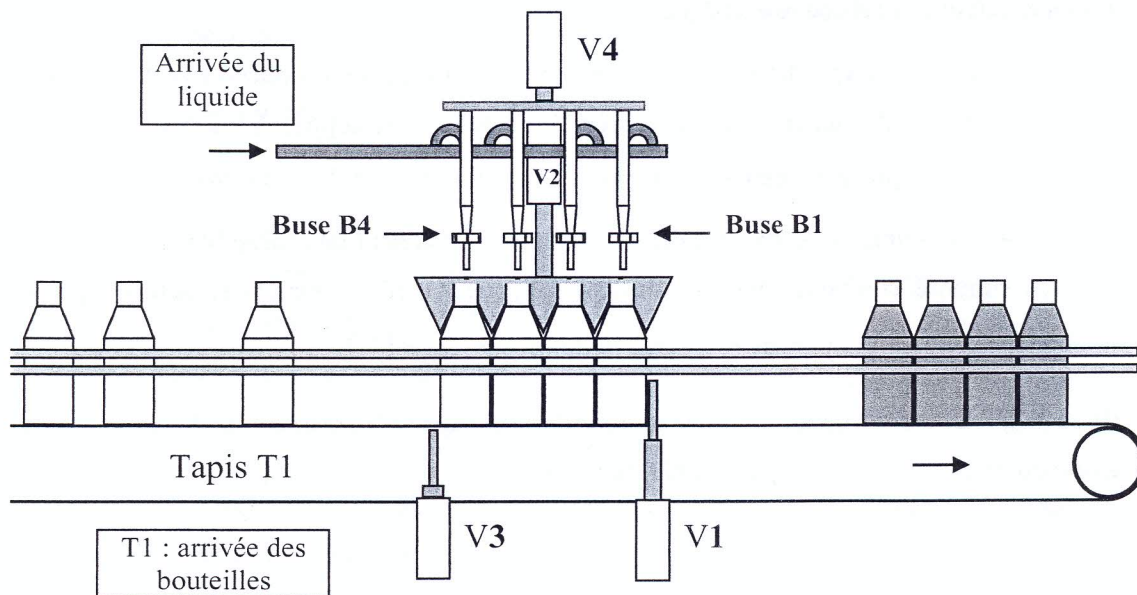


Figure 7- Unité de remplissage (Unité II)

Description du fonctionnement de l'unité de remplissage

L'action sur un commutateur à deux positions (Marche /Arrêt), sur la position marche « m », met le tapis **T1** en fonctionnement par action du moteur **M1**. Ce tapis **T1** permet d'amener les bouteilles vides devant le poste de remplissage (**T1** restera en fonctionnement tant que l'arrêt du système n'est pas demandé). Dès qu'une bouteille arrive devant la buse **B1**, détectée par un capteur b_1 , la tige du vérin **V1** sort bloquant ainsi le passage des bouteilles ($a_{11} = 1$). Lorsque quatre bouteilles sont présentes devant les quatre buses de remplissage, un signal **S1** autorise la sortie de la tige du vérin **V2** pour assurer le maintien des bouteilles lors du remplissage, actionnant ainsi le capteur a_{21} ($a_{21} = 1$) qui, à son tour, autorise le vérin **V4** pour faire descendre les quatre buses ($a_{41} = 1$) pendant cinq secondes (temps nécessaire pour le remplissage des bouteilles). Lorsque les cinq secondes sont écoulées, on aura la montée de la tige du vérin **V4** ($a_{40} = 1$), ensuite la rentrée de la tige du vérin **V2** ($a_{20} = 1$), suivie par la rentrée de la tige du vérin **V1** ($a_{10} = 1$) autorisant l'évacuation des bouteilles remplies et la sortie de la tige du vérin **V3** ($a_{31} = 1$) bloquant l'avancement des bouteilles vides jusqu'à ce que les quatre bouteilles remplies soient évacuées. Un signal **S2** indiquant l'évacuation des quatre bouteilles, commande

la rentrée de la tige du vérin **V3** ($a_{30} = 1$) autorisant ainsi un nouveau cycle de remplissage si l'arrêt de l'unité n'est pas demandé.

L'action sur la position arrêt « Ar », du commutateur à deux positions (Marche /Arrêt), permet d'arrêter le système lorsque le cycle de remplissage est terminé.

Le **Tableau-1** résume les différentes abréviations à utiliser dans la présente partie.

Tableau -1 : Abréviations adoptées pour l'unité étudiée

Abréviation	Description
m (Ar)	Commutateur à 2 positions : marche (Arrêt)
b_1	Présence bouteille devant la Buse B1
S1	Signal de commande de la sortie de la tige du vérin V2
S2	Signal de commande de la rentrée de la tige du vérin V3
a_{10} (resp. a_{11})	Présence en position limite rentrée (resp. sortie) du vérin V1
a_{20} (resp. a_{21})	Présence en position limite rentrée (resp. sortie) du vérin V2
a_{30} (resp. a_{31})	Présence en position limite rentrée (resp. sortie) du vérin V3
a_{40} (resp. a_{41})	Présence en position limite rentrée (resp. sortie) du vérin V4
V1	Vérin à double effet pour bloquer les bouteilles avant le remplissage
V2	Vérin à double effet pour maintenir les bouteilles pendant le remplissage
V3	Vérin à double effet pour bloquer les bouteilles vides lors de l'évacuation des bouteilles remplies
V4	Vérin à double effet permettant le mouvement d'approche des buses de remplissage
KM1	Contacteur moteur du tapis T1

NB : Pour l'activation d'un actionneur bistable **Vn**, on utilise la notation **Vn** : = 1

Pour la désactivation d'un actionneur bistable **Vn**, on utilise la notation **Vn** : = 0

C-2. Étude du circuit combinatoire générant les signaux **S1** et **S2**

L'objectif de cette partie est l'étude d'un circuit combinatoire permettant de générer les deux signaux **S1** et **S2** comme l'illustre la **Figure 8**.

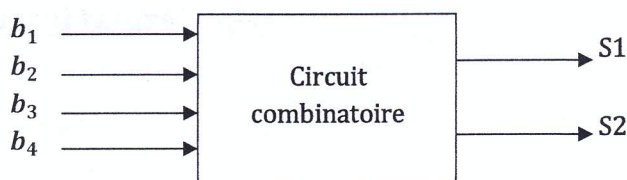


Figure 8- Schéma synoptique du circuit gérant les signaux **S1** et **S2**

Principe de fonctionnement

Afin de s'assurer que les quatre bouteilles soient en position de remplissage $S1 = 1$, de même pour s'assurer de l'évacuation de ces bouteilles après remplissage $S2 = 1$ on a placé quatre capteurs (b_4, b_3, b_2 et b_1) qui permettent de détecter le passage ou la présence de bouteille respectivement devant les buses **B4, B3, B2** et **B1**.

Le signal $S1$ prend la valeur 1 si et seulement si les quatre bouteilles sont présentes en position de remplissage (lors de leur arrivée, la distance entre les bouteilles est aléatoire).

Le signal $S2$ prend la valeur 1 si et seulement si les quatre bouteilles sont évacuées de l'unité de remplissage (pendant l'évacuation, les bouteilles sont forcément équidistantes).

C-3. Régulation du niveau du liquide dans la cuve de stockage alimentant les bouteilles

On considère la régulation automatique du niveau du liquide dans une cuve de stockage, de section $S = 0.5 \text{ m}^2$, schématisée par la Figure 9.

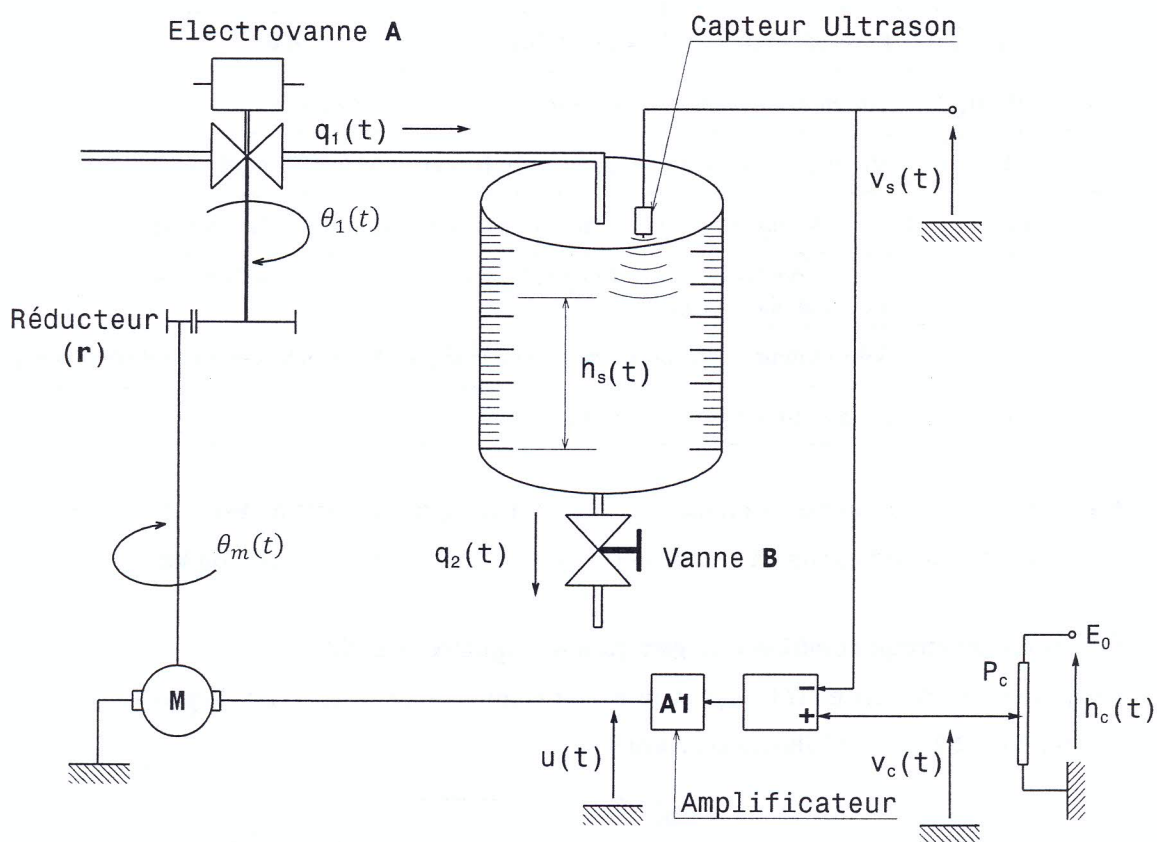


Figure 9- Schéma de l'asservissement

Modélisation de la chaîne d'asservissement

Le débit q_1 (m^3/s) est réglé par une électrovanne **A** motorisée ; il est proportionnel à l'angle θ_1 (rad) d'ouverture de cette électrovanne :

$$q_1(t) = k_1 \cdot \theta_1(t) \text{ avec } k_1 = 0.1 \text{ m}^3/(s \cdot \text{rad}) \quad (1)$$

q_2 représente le débit de sortie lié à l'utilisation du liquide de la cuve de stockage, commandée manuellement par la vanne **B**.

Le moteur (**M**) est alimenté par une tension $u(t)$, créée par un comparateur suivi d'un amplificateur de gain A_1 :

$$u(t) = A_1 [v_c(t) - v_s(t)], A_1 > 0 \quad (2)$$

Le moteur (**M**) tourne à la vitesse ω_m , son modèle (entrée tension, sortie vitesse) est un premier ordre de fonction de transfert $T_m(p)$ ayant un gain statique K_m et une constante de temps τ_m ; la position angulaire de son arbre est $\theta_m(t)$. Les courbes de Bode caractérisant la fonction harmonique $T_m(j\omega)$ du moteur sont représentées par la **Figure 10**.

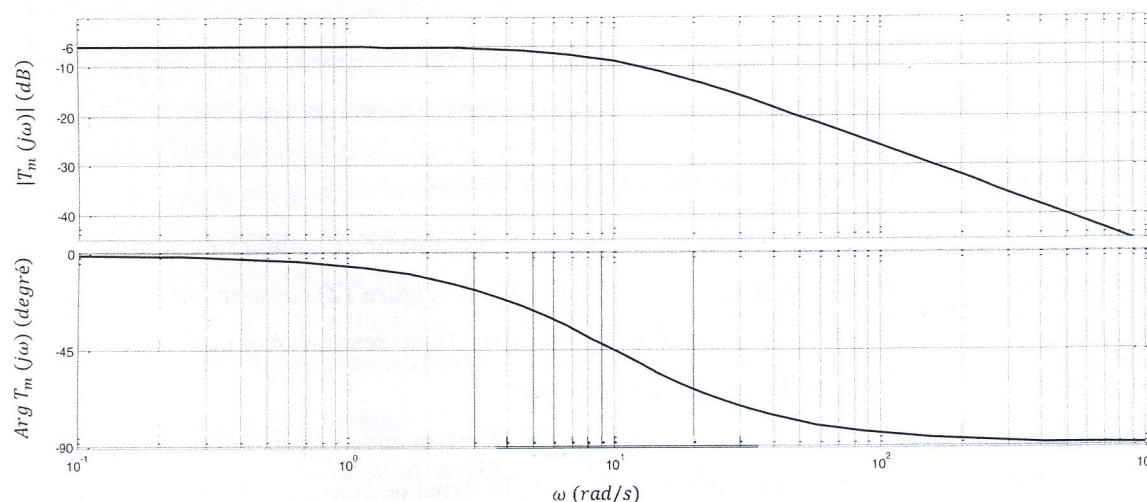


Figure 10- Courbes de Bode caractérisant la fonction $T_m(j\omega)$

- Le moteur (**M**) ouvre ou ferme l'électrovanne **A** par l'intermédiaire d'un réducteur (**r**).

$$\theta_1(t) = r \theta_m(t) \text{ avec } r = \frac{1}{20} \quad (3)$$

- Le potentiomètre d'entrée P_c délivre une tension $v_c(t)$ proportionnelle au niveau de consigne $h_c(t)$ demandé.

$$v_c(t) = k_c h_c(t) \text{ avec } k_c = 20 \text{ V/m} \quad (4)$$

- Le capteur ultrason mesure le niveau $h_s(t)$ dans la cuve de stockage. Il délivre une tension $v_s(t)$ proportionnelle à $h_s(t)$ obéissant à la loi suivante :

$$v_s(t) = k_s h_s(t) \quad (5)$$

On prendra $k_s = k_c$

- Les fonctions de transfert de la cuve de stockage sont :

$$\frac{H_s(p)}{Q_1(p)} = \frac{1}{s \cdot p} \quad \text{et} \quad \frac{H_s(p)}{Q_2(p)} = \frac{1}{s \cdot p} \quad (6)$$

L'asservissement de la **Figure 9** peut être représenté par le schéma fonctionnel de la **Figure 11**.

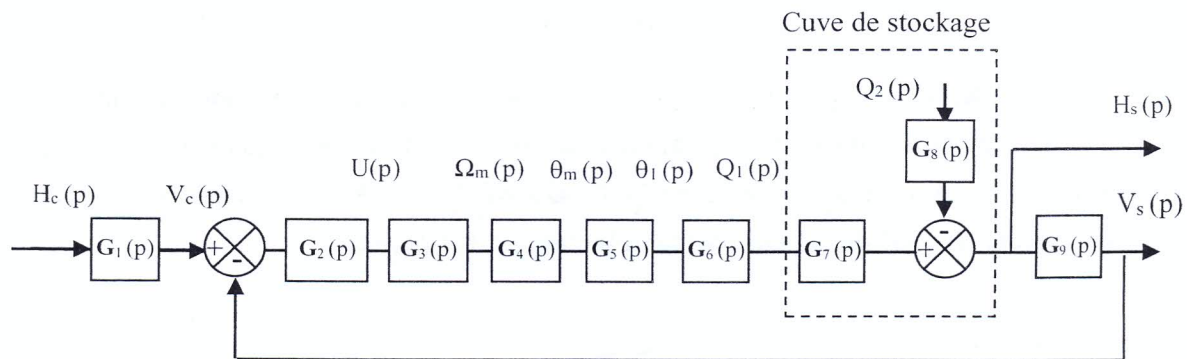


Figure 11- Schéma fonctionnel de l'asservissement à étudier

Amélioration des performances de la chaîne d'asservissement

La régulation par une simple boucle ne permet pas de garantir la stabilité du système. Par conséquent, on propose d'utiliser une structure en cascade (**Figure 12**) comportant deux boucles imbriquées. Une boucle interne qui contrôle l'ouverture de l'électrovanne **A** et une boucle externe de régulation de niveau $h_s(t)$ dans la cuve de stockage.

On mesure avec un autre potentiomètre la position de l'électrovanne ; celui-ci délivre une tension $v_m(t)$ telle que $v_m(t) = b \cdot \theta_1(t)$ avec $b = 20 \text{ V/rad}$; le signal de commande est élaboré grâce à un comparateur et un amplificateur de gain A_2 .

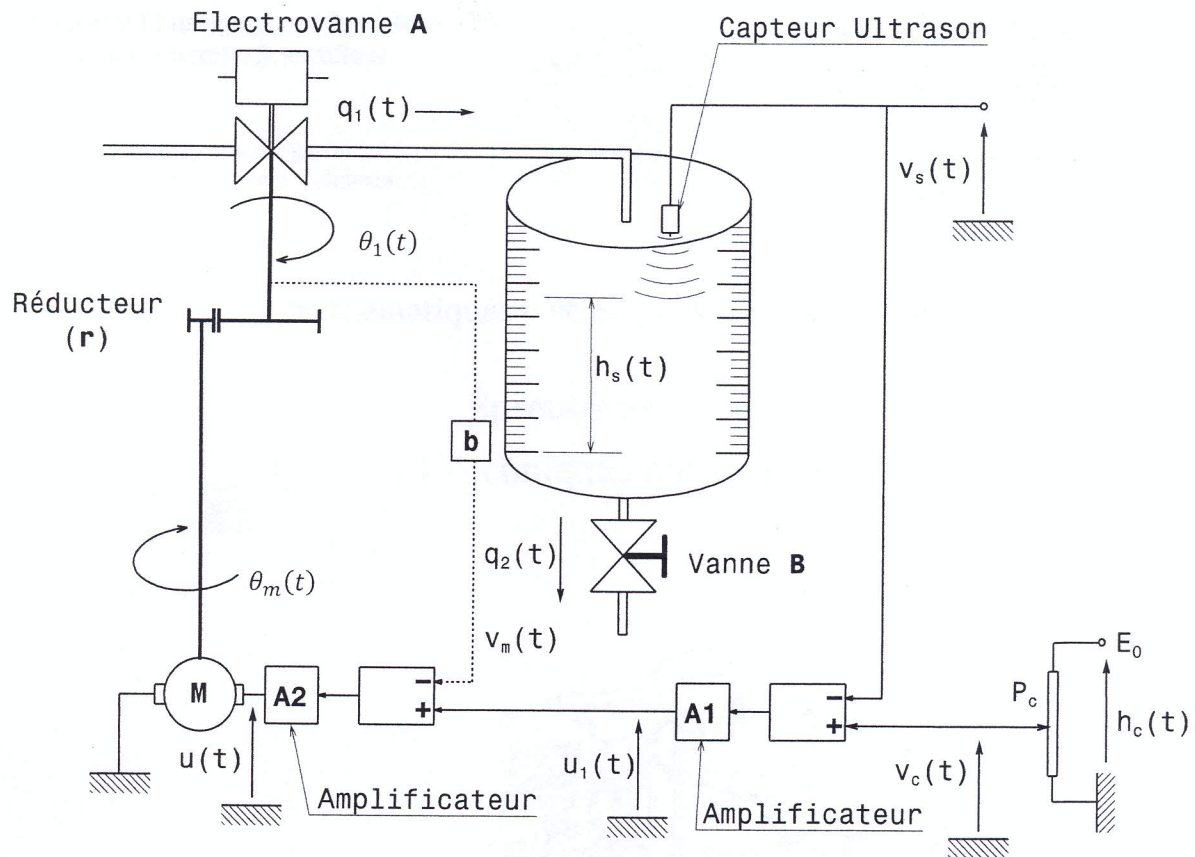
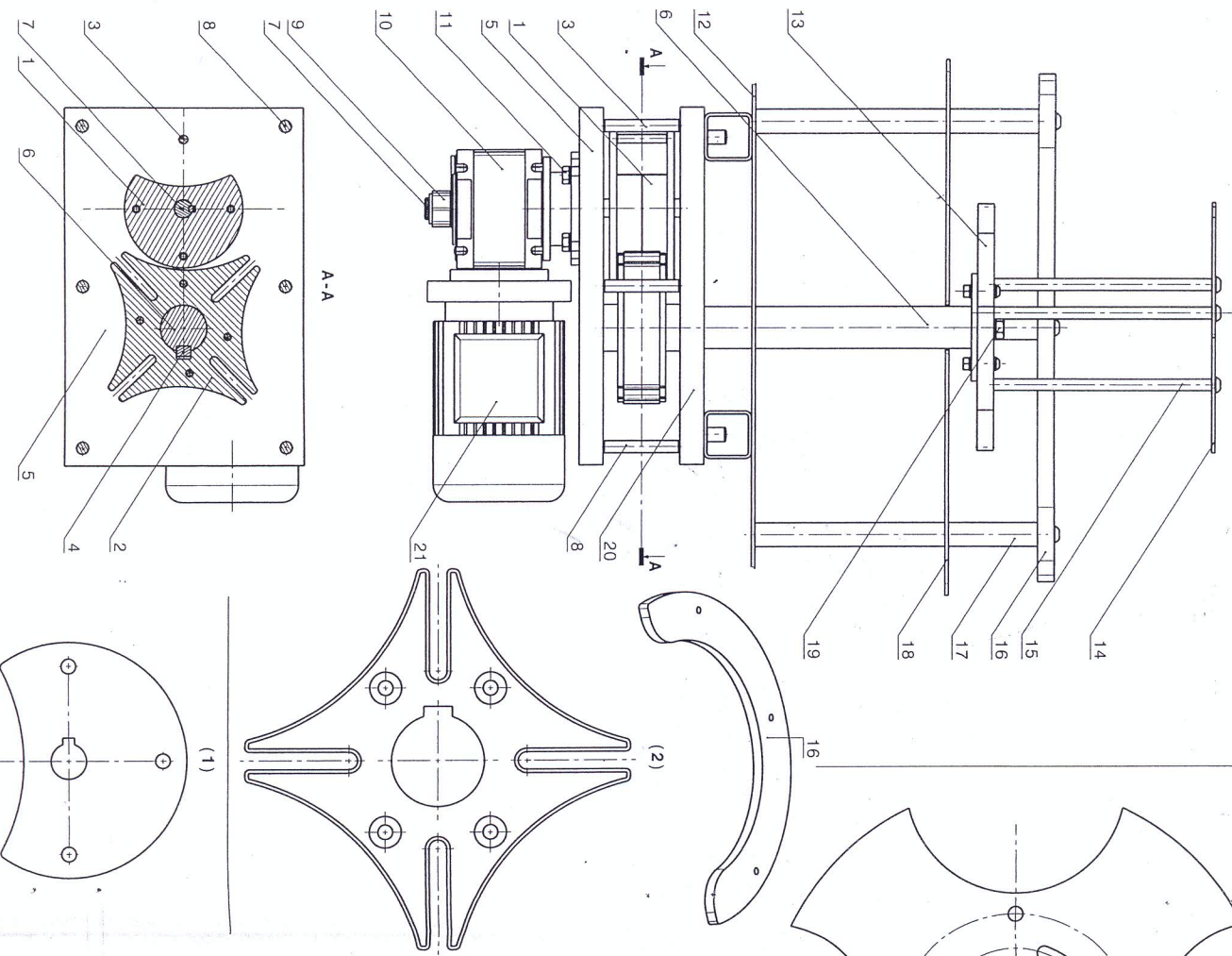
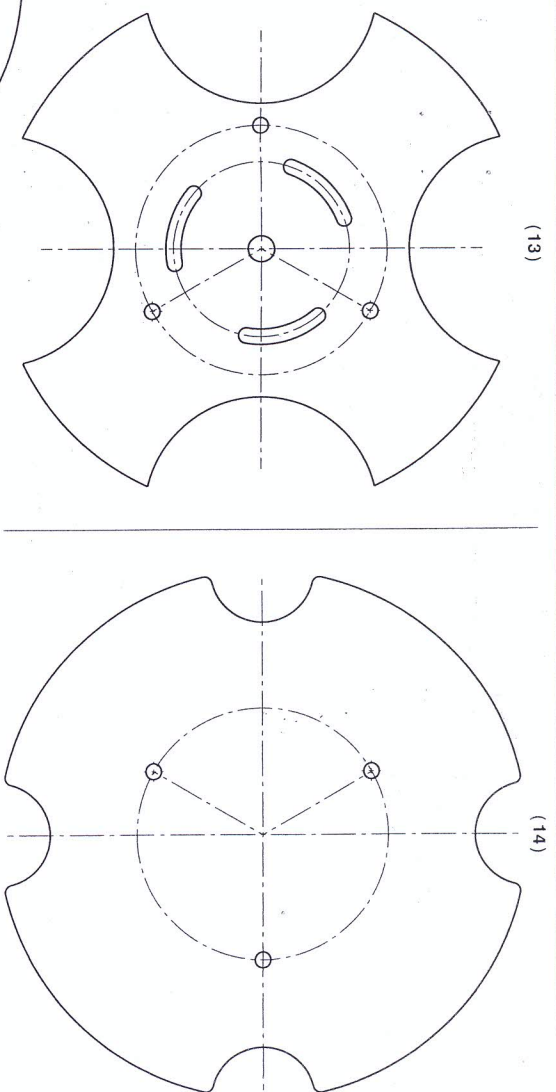


Figure 12- Schéma du nouveau asservissement



21	1	Moteur à courant continu		
20	1			
19	1	Vis de fixation		
18	1	Table de pose de bouteilles		
17	3	Colonne de guidage		
16	1	Guide de bouteilles		
15	3	Tige de fixation		
14	1	Etoile de transfert partie supérieure		
13	1	Etoile de transfert partie inférieure		
12	1	Table de l'unité de bouchage		
11	4	Vis à tête hexagonale		
10	1	Réducteur de vitesse		
9	1	Ecroû		
8	6	Tige de fixation des plateaux		
7	1	Axe de maneton		
6	1			
5	1			
4	1			
3	1	Galet		
2	1			
1	1	Maneton		
Rep	Nbre	Désignation	Matériaux	Observation

Echelle 1:4

Mécanisme à croix de Malte

Sesssion 2018

Format A3