

EPREUVE E4

Analyse fonctionnelle et structurelle des mécanismes

SOUS-EPREUVE

Modélisation des éléments de mécanismes. Calcul des grandeurs caractéristiques. (UNITE U 41)

Durée 3 heures
Coefficient : 2

Aucun document n'est autorisé

Ce sujet contient 4 dossiers :

- .Présentation** (PR1 à PR4)
- .Questionnaire** (Q1 à Q4)
- .Dossier technique** (DT1 à DT9)
- .Documents réponses** (R1 à R4)

Matériel autorisé :

***Calculatrice de poche alpha numérique ou
à écran graphique à fonctionnement
autonome sans imprimante.
(circulaire 99-186 du 16-11-1999)***

Brevet de Technicien Supérieur
MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Session 2006

SOUS-EPREUVE
Analyse fonctionnelle et structurelle
Représentation des mécanismes
(UNITE U 41)

Présentation

Ce dossier contient les documents :

PR1 à PR4

1) Activité de l'entreprise

PR1

L'activité de l'entreprise SIRAGA est articulée autour de deux pôles :

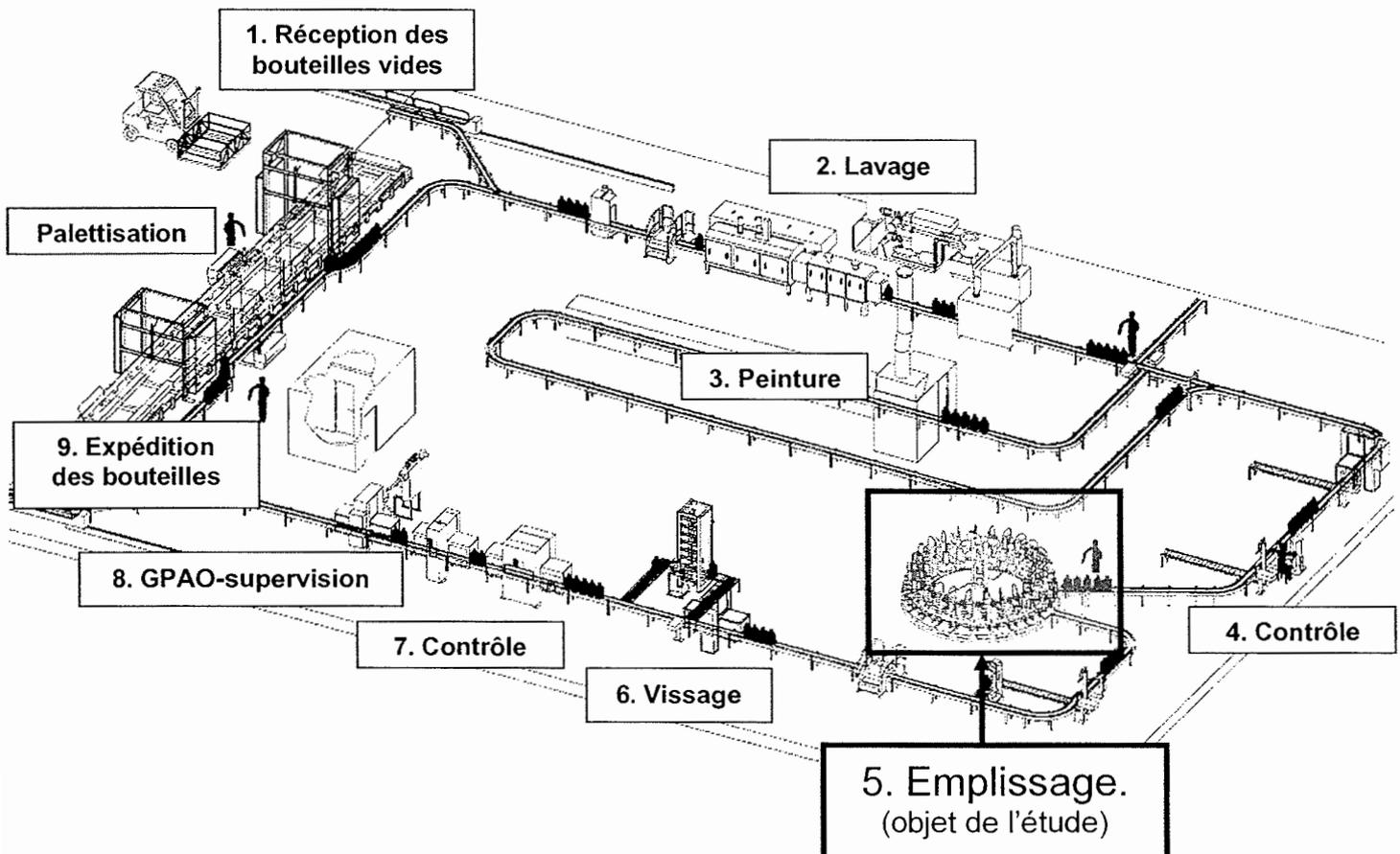
- Production d'équipements aéroportuaires sur les sites de Parthenay (79) et Chauvigny (86).
- Production d'équipements GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) sur le site de Buzançais (36).

Ce dernier pôle a deux activités :

- Conception, fabrication et installation de machines pour la maintenance des bouteilles de gaz. (contrôle d'étanchéité, essais sous pression, etc.).
- Conception, production et installation d'une large gamme de matériel pour l'emplissage des bouteilles de gaz (butane, propane) et le contrôle du processus. Les lignes d'emplissage évoluent avec des capacités qui varient de **20 à 2500 bouteilles par heure**. Différentes technologies sont utilisées : pneumatique/mécanique ou électronique utilisant un automate ULIS développé par l'entreprise.



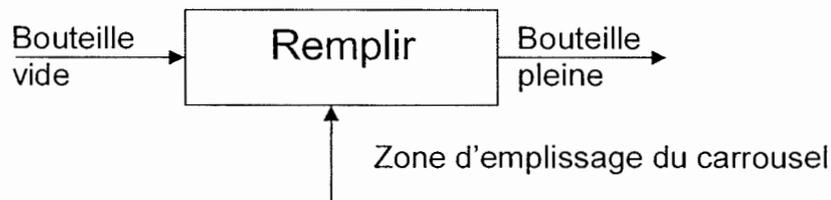
Exemple d'une usine d'emplissage de bouteilles de gaz.



2) Zone d'étude.

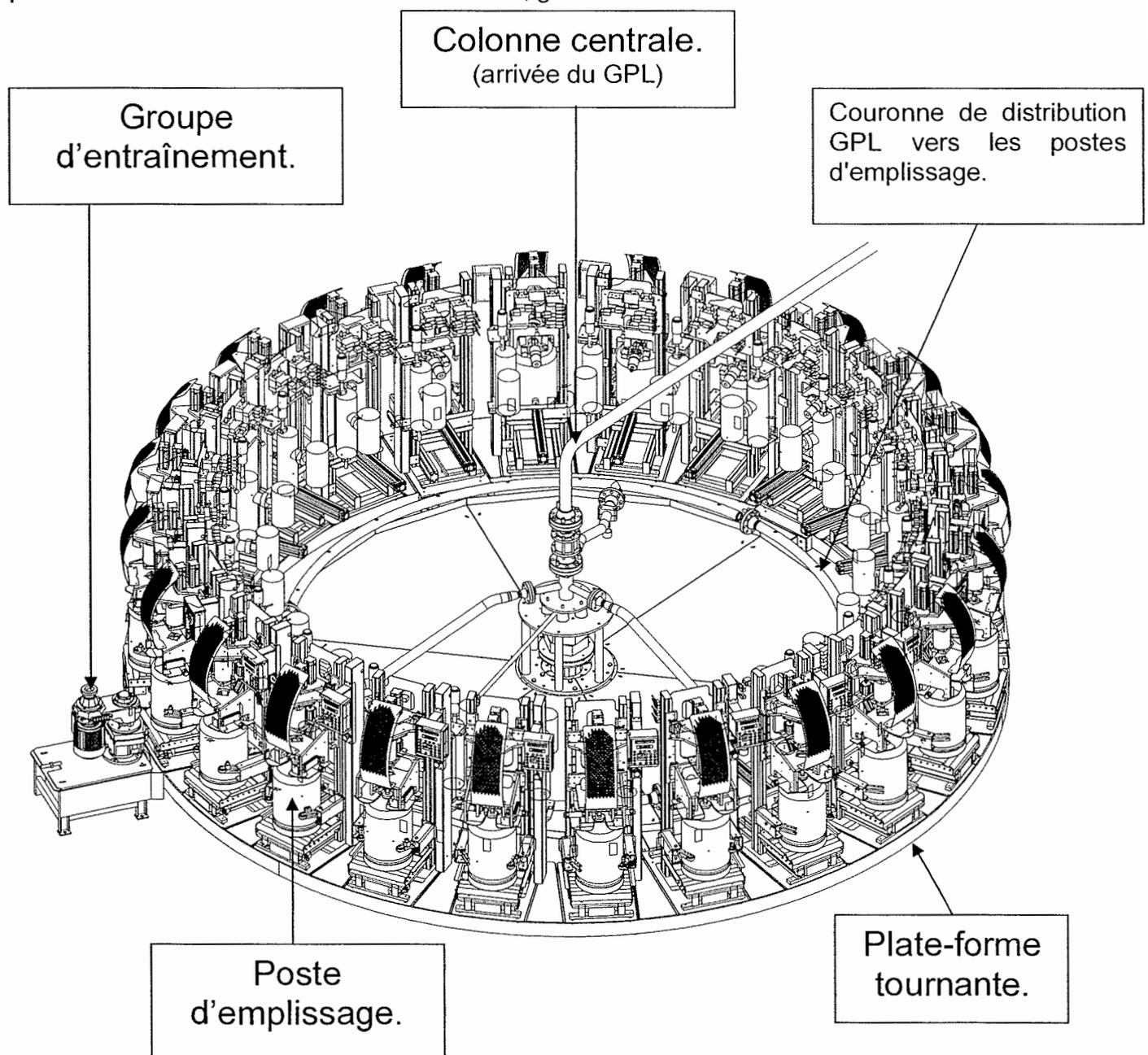
PR2

L'étude proposée porte sur la **zone d'emplissage** de bouteilles de gaz butane destinées à un client français par utilisation d'un nouveau carrousel électronique entièrement automatisé.



3) Constitution d'un carrousel d'emplissage électronique.

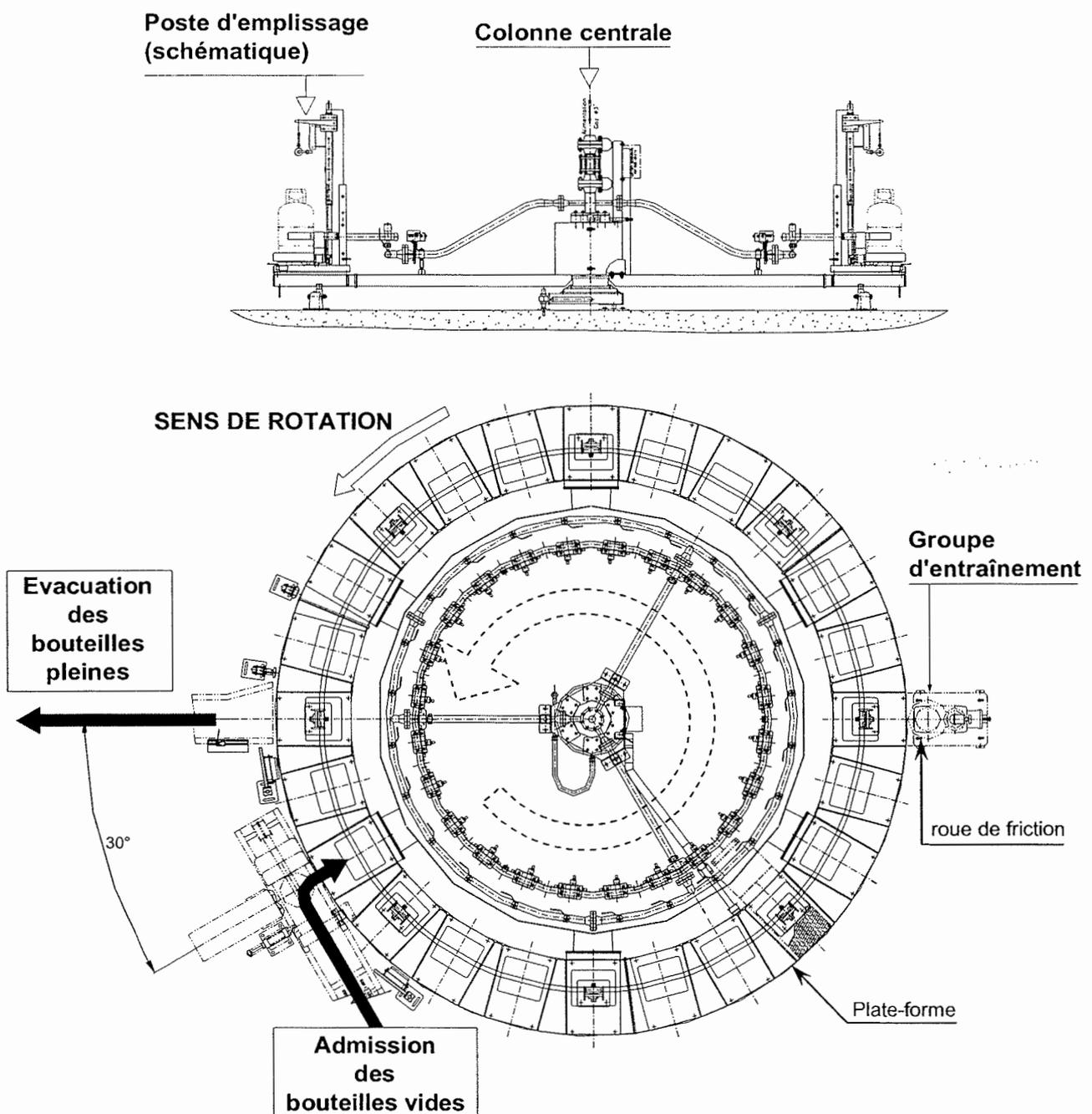
Un carrousel d'emplissage électronique SIRAGA est composé de 10 à 36 postes d'emplissage électroniques disposés sur une structure mécano-soudée tournante. L'ensemble est entraîné par un ensemble moteur-variateur-réducteur, grâce à une roue de friction.



Les bouteilles vides arrivent sur un transporteur à rouleaux et sont admises sur le carrousel.

Elles se remplissent de gaz en moins d'un tour de carrousel, sont ensuite éjectées, puis évacuées par un deuxième transporteur à rouleaux.

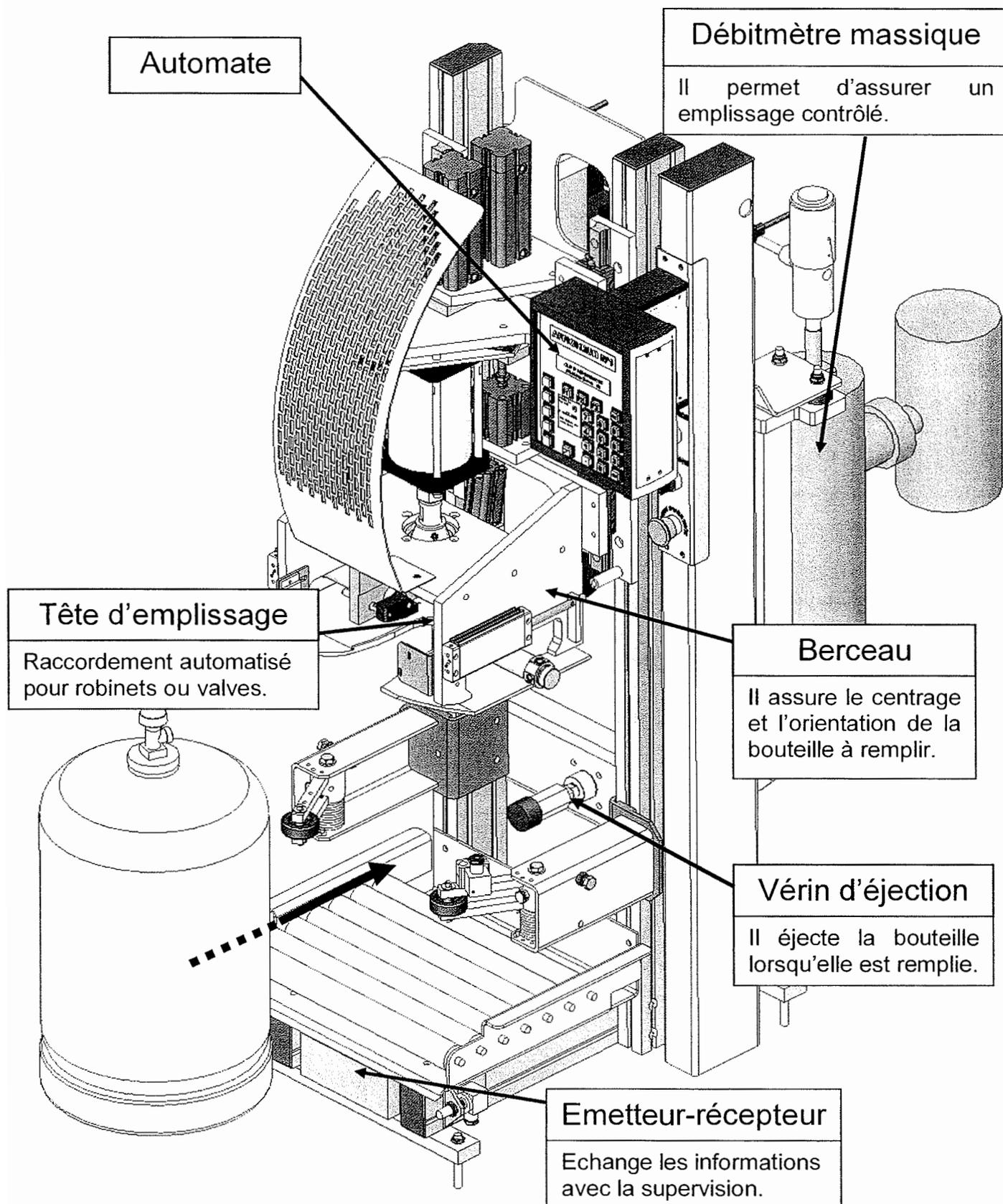
Le carrousel **tourne continûment à la vitesse constante** choisie pour la cadence de production désirée, et n'est stoppé et redémarré qu'en cas d'incident ou de changement de production. (gaz différent ou autre format de bouteille).



Poste d'emplissage à débitmètre massique.

Il se compose de :

- un ensemble de composants électro-pneumatiques de puissance.
- une vanne pneumatique de coupure GPL avec système double débit. Ce dispositif permet d'effectuer un emplissage à deux vitesses assurant ainsi une grande précision.
- des composants indiqués ci-dessous.



Brevet de Technicien Supérieur
MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Session 2006

SOUS-EPREUVE
Modélisation des éléments de mécanismes
Calcul des grandeurs caractéristiques
(UNITE U 41)

Questionnaire

Ce dossier contient les documents :

Q1 à Q4

Partie de l'étude	Barème	Temps conseillé
lecture du sujet		10 min
1	14 points	1 h
2	14 points	1 h
3	4 points	15 min
4	8 points	35 min
TOTAL	40 points	3 h

1. Vérification du moto-variateur d'entraînement du carrousel.

Q1/4

Documents à consulter : DT1, DT2 et DT3.

Barème : 14 points / 40

Durée de travail conseillée : 1h

On choisit d'entraîner le prototype d'un nouveau carrousel 24 postes à l'aide d'un moto-variateur utilisé jusqu'alors pour les carrousels 16 postes. La fréquence de rotation N_c du carrousel, pour la cadence de production envisagée, est fixée à **1,7 tour/min**, alors que les modèles plus anciens tournent à un maximum de 1,2 tour/min. D'autre part, la masse du prototype étant plus importante, on souhaite vérifier que la phase accélérée du démarrage s'effectue au maximum sur **15°**, angle entre deux postes d'emplissage.

Caractéristiques du moteur : $P_m = 1,1 \text{ kW}$ à $N_m = 1\,500 \text{ tours/min}$

Plage disponible de fréquence de rotation de la roue d'entraînement : $6,7 < N_e < 39 \text{ tours/min}$.

Le rendement global de la transmission, depuis le moteur jusqu'à la plate-forme, est estimé à $\eta = 0,8$.

Le couple résistant M_r du support fixe sur la plate-forme est évalué à **100 N.m**

Q1.1 Fréquence de rotation de la roue d'entraînement.

Document à consulter : DT1

Répondre sur **feuille de copie**.

1.1.1. Déterminer la fréquence de rotation N_e que doit avoir la roue d'entraînement pour que la plate-forme tourne à 1,7 tours/min.

1.1.2. Le moto-variateur, pour ce seul critère, convient-il ?

Les questions Q1.2 à Q1.4 vont permettre de vérifier que la puissance du moteur utilisé convient bien.

Q1.2 Puissance et couple nécessaires pour entraîner la plate-forme.

Document à consulter : DT1

Répondre sur **feuille de copie**.

1.2.1. Déterminer la puissance utile maximale P_c transmissible à la plate-forme.

1.2.2. Calculer le couple d'entraînement M_c exercé sur la plate-forme, à $N_c = 1,7 \text{ tour/min}$.

Q1.3 Moment d'inertie du carrousel.

Documents à consulter : DT2 et DT3

Répondre sur **document R1**.

Lors de la conception au bureau d'études, certains des composants (vérins, débitmètre massique et bouteille de gaz) ont été téléchargés sur le site des fournisseurs et ne sont représentés que par leur enveloppe. Leur moment d'inertie ne peut pas être calculé par le modèle volumique utilisé.

On considère, dans cette étude, que le démarrage s'effectue après un incident de fonctionnement, et qu'alors 24 bouteilles pleines se trouvent sur le carrousel.

1.3.1. A partir du modèle représenté document DT3, déterminer le moment d'inertie d'un poste d'emplissage par rapport à l'axe de rotation z du carrousel.

1.3.2. Définir alors le moment d'inertie I_z du carrousel équipé de ses 24 postes.

Q1.4 Validation du moto-réducteur utilisé.

Document à consulter : DT1

Répondre sur **feuille de copie**.

On prendra $I_z = 37500 \text{ kg.m}^2$ et on supposera que le couple exercé au démarrage est $M_c = 4900 \text{ N.m}$.

On rappelle que le couple résistant M_r du support fixe sur la plate-forme est évalué à **100 N.m**

1.4.1. Calculer l'accélération angulaire ω' prise par le carrousel, lors du démarrage.

1.4.2. Quel est l'angle décrit par le carrousel pour passer de l'arrêt à $N_c = 1,7 \text{ tour/min}$? Convient-il ?

2. Vérification du vérin d'éjection .

Q2/4

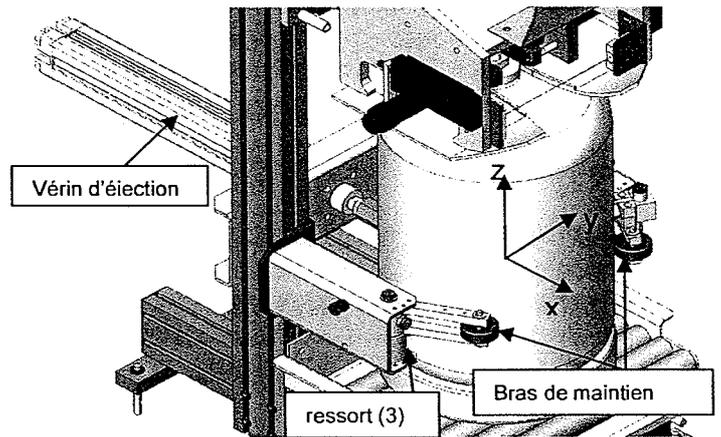
Documents à consulter : DT2, DT4, DT5 et DT6.

Barème : 14 points / 40

Durée de travail conseillée : 1h

Les bouteilles sont maintenues sur les postes d'emplissage par deux bras (4+5) qui participent également à leur centrage. Deux ressorts de torsion (3) maintiennent les bras (4+5) en appui sur la bouteille. La rupture fréquente, par fatigue, d'un ressort (3), entraîne une diminution de la production, le poste d'emplissage concerné n'étant alors plus utilisé jusqu'au moment de la réparation. On décide d'implanter de nouveaux ressorts (3) de diamètre de fil plus important, qui exerceront, en B, sur chaque bras de maintien, un effort de 800 N. On admettra que cet effort reste constant lors de l'éjection d'une bouteille de gaz.

Le vérin d'éjection actuel est un vérin pneumatique, alimenté à la pression de 5 bars (0,5 MPa), référencé : **NORGREN PRA/182050/M/400**. On souhaite vérifier que ce vérin pourra être conservé, malgré l'augmentation de l'effort fourni par les nouveaux ressorts.



Q2.1 Détermination de l'effort exercé par un bras de maintien.

Documents à consulter : DT2, DT4 et DT5

Répondre sur **document R2** et (ou) sur **feuille de copie**.

Hypothèses :

- la masse des pièces 4 et 5 est négligé
- toutes les liaisons sont parfaites.

2.1.1. Réaliser l'**inventaire complet** des actions extérieures appliquées au bras de maintien (4+5).

2.1.2. Déterminer l'intensité de l'effort exercé en A par la bouteille (2) sur le bras de maintien (4+5). (résolution graphique ou analytique).

Q2.2 Poussée minimale à assurer par le vérin d'éjection.

Documents à consulter : DT2, DT4 et DT5.

Répondre sur **feuille de copie**.

Données et hypothèses:

- quel que soit le résultat précédent, on prendra $\|\vec{A}_{5-2}\| = \|\vec{E}_{5-2}\| = 180 \text{ N}$

- le poids d'une bouteille de gaz pleine est $\|\vec{P}_2\| = 240 \text{ N}$.

- toutes les liaisons sont parfaites, excepté celle des roulements (15) sur la bouteille (2) qui peut être modélisée, en J, par le torseur suivant :

$$\left\{ \mathcal{C}_{15/2} \right\}_J = \left\{ \begin{array}{c|c} -20 & L_J \\ 0 & M_J \\ Z_J & 0 \end{array} \right\}_{(J, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Force exprimée en Newton
Moment exprimé en N.m

2.2.1. Réaliser, sous forme de torseurs, l'**inventaire complet** des actions extérieures appliquées à la bouteille de gaz (2).

2.2.2. Déterminer la poussée minimale en C que doit fournir le vérin (6) lors de l'éjection de la bouteille. (l'équation de la résultante suffit pour résoudre).

Q2.3 Comparaison des poussées minimale et effective.

Documents à consulter : DT6

Répondre sur **feuille de copie**.

2.3.1. Calculer l'effort théorique fourni par le vérin **NORGREN PRA/182050/M/400**, la pression d'alimentation étant de 5 bars (0,5 MPa).

2.3.2. Pourra-t-on conserver le vérin actuel? Justifier succinctement la réponse.

3 . Modification du support de la tête d'emplissage.

Q3/4

Document à consulter : DT7, voir aussi DT8 et DT9

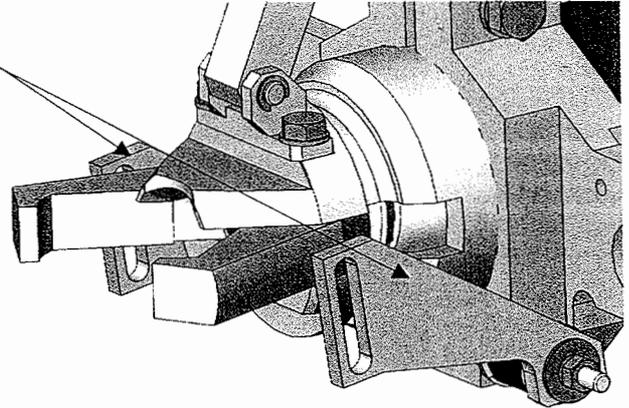
Barème : 4 points / 40

Durée de travail conseillée : 15 min

Lors des premiers essais effectués par le service maintenance sur le prototype de bascule, les pièces (12) qui supportent la tête d'emplissage sont entrées dans une zone de déformation permanente non acceptable pour un fonctionnement correct des postes d'emplissage.

On doit donc effectuer quelques modifications des dimensions et formes de ces pièces, aidé en cela par un logiciel de résistance des matériaux par éléments finis associé au logiciel de conception 3D. (voir DT7).

pièces 12

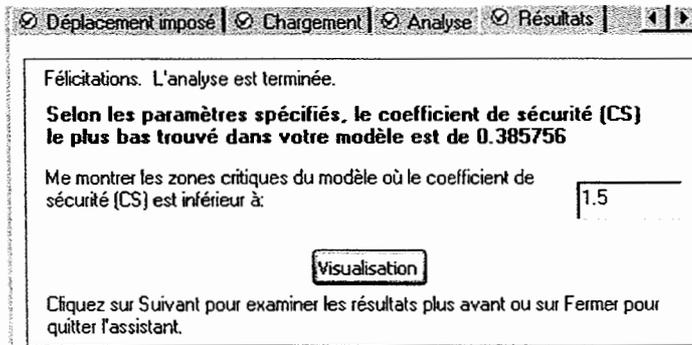
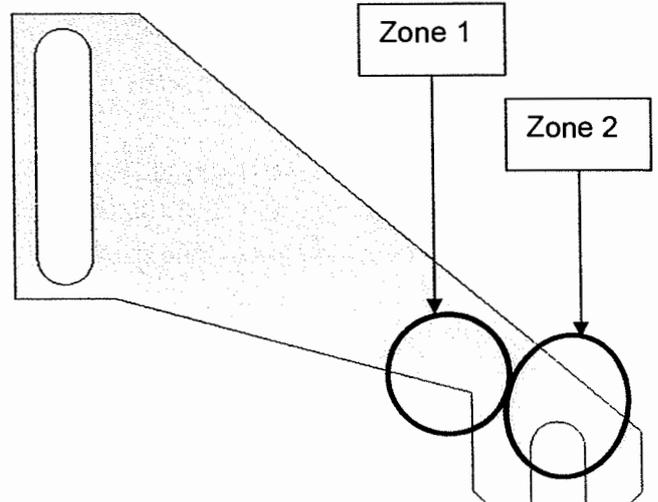


Résultats :

Après analyse, le logiciel de résistance des matériaux fournit les résultats suivants :

Le plus petit coefficient de sécurité calculé sur la pièce est de 0.385

Le bureau d'étude ayant demandé de ne pas travailler avec un coefficient de sécurité inférieur à 1.5, le logiciel fait apparaître deux zones critiques ($s < 1.5$ en blanc sur le dessin ci-dessous).



La contrainte varie de $5.8 \cdot 10^3$ à $1.96 \cdot 10^8$ N/m²

Q3 Exploitation des résultats de résistance des matériaux.

Répondre sur **document R3**.

En utilisant les renseignements donnés ci-dessus, proposer trois modifications uniquement de dimension ou de forme permettant de diminuer les contraintes dans les zones 1 et 2 repérées ci-dessus. Les trois solutions qui seront proposées ne modifieront chacune qu'une forme ou une dimension. Elles affecteront soit la zone 1, soit la zone 2, soit les deux à la fois.

Une solution 0 concernant le matériau est donnée en exemple.

Les cotes de position et les dimensions des deux trous oblongs ne seront pas modifiées.

Les solutions 1, 2 et 3 devront être :

- tracées et repérées sur l'esquisse de la pièce (cote a, cote b, forme c, etc.).
- commentées succinctement littéralement. (par exemple : remplacer la cote de 150 par la cote d).

On barrera d'une croix les cotes supprimées.

4. Modification du vérin de relevage .

Q4/4

Documents à consulter : DT8 et DT9.

Barème : 8 points / 40

Durée de travail conseillée : 35 min

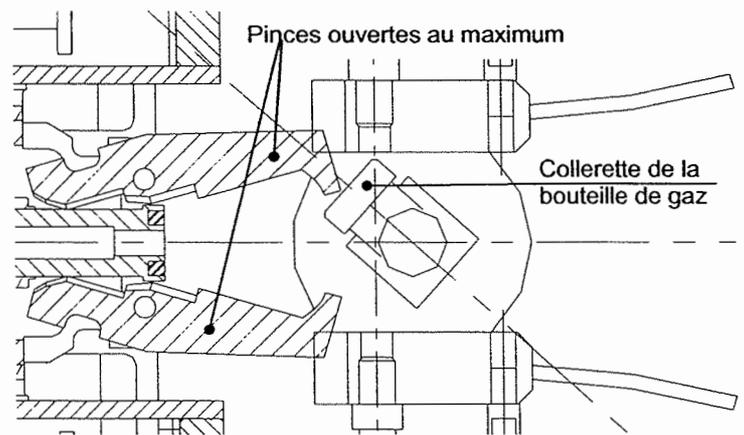
Malgré un pré-positionnement avant l'admission sur le carrousel, on constate que les bouteilles qui entrent plus ou moins bien orientées heurtent parfois les pinces de la tête d'emplissage. Cela entraîne naturellement une baisse de la production, le poste concerné n'étant alors plus utilisé jusqu'à l'arrêt du cycle.

L'escamotage des pinces est pourtant prévu, grâce au vérin de relevage. (voir plan d'ensemble document DT8 et cycle d'orientation des bouteilles, document DT9).

On dispose, à l'atelier, du plan DT8.

La liaison élastique entre la tête d'emplissage (8) et le support (12) (en liaison complète avec le bâti (0)), sera considérée comme un pivot (voir DT8).

La liaison entre le vérin (9,10,11) et le support (0) est un pivot.(voir DT8)



Q4.1 Analyse des liaisons.

Documents à consulter : DT8 et DT9.

Répondre sur **document R4**.

4.1.1. Quelle est la nature du mouvement, par rapport au support (0), que prend la tête d'emplissage (8) lors de son relevage ? (Préciser le nom du mouvement, un axe et un point).

4.1.2. Quelle est la nature des trajectoires des différents points de la tête d'emplissage (8) pendant ce mouvement ?

4.1.3. Quelle est la nature du mouvement, par rapport au support (0), du corps (9) du vérin de relevage ? (préciser le nom du mouvement, un axe et un point).

Q4.2 Tracé de la pince en position « relevée ». Modification à envisager.

Documents à consulter : DT8 et DT9.

Répondre sur **document R4**.

4.2.1. Tracer, sur le dessin du document R4, la trajectoire du point A appartenant à la pince de la tête d'emplissage (8) par rapport au support (0). La repérer sur le dessin par $T_{A,8/0}$.

4.2.2. Tracer, en couleur (en vert, par exemple), la position du point A (qui sera repérée A') correspondant à la position « vérin de relevage rentré ». On s'aidera de la figure 1 du document R4. Justifier le tracé, succinctement et clairement.

4.2.3. Tracer, de la même couleur (verte, par exemple), **uniquement le contour grisé e'f'g'h'** de la pince de la tête d'emplissage (8) correspondant à la position « vérin de relevage rentré ». Pourquoi peut-on affirmer que la collerette de la bouteille peut parfois heurter les pinces ?

4.2.4. Tracer la nouvelle position du point A (qui sera repérée A'') et celle **du contour grisé e''f''g''h''** de la pince (8), d'une autre couleur (bleue, par exemple) qui assurera qu'aucune bouteille ne vienne heurter les pinces. Pour choisir cette nouvelle position, on optera pour un **espacement minimal de 3 mm** entre la partie g''h'' de la pince de la tête d'emplissage (8) et les zones les plus proches de la collerette de la bouteille de gaz.

4.2.5. La course du vérin de relevage (9,10,11) n'étant pas utilisée dans sa totalité dans la configuration actuelle, proposer une modification simple d'une pièce qui permette de respecter la position définie à la question 4.2.4.

Brevet de Technicien Supérieur
MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Session 2006

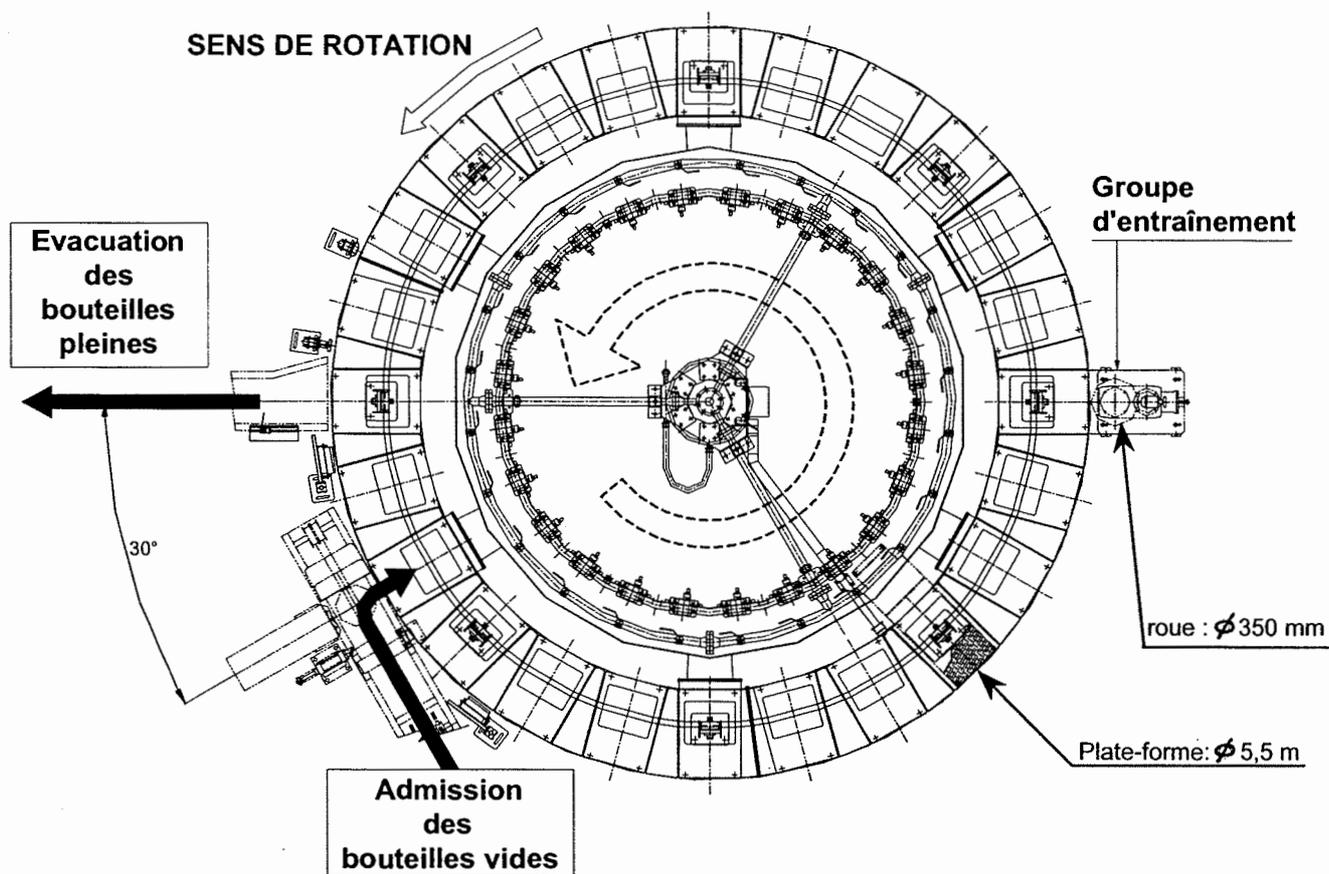
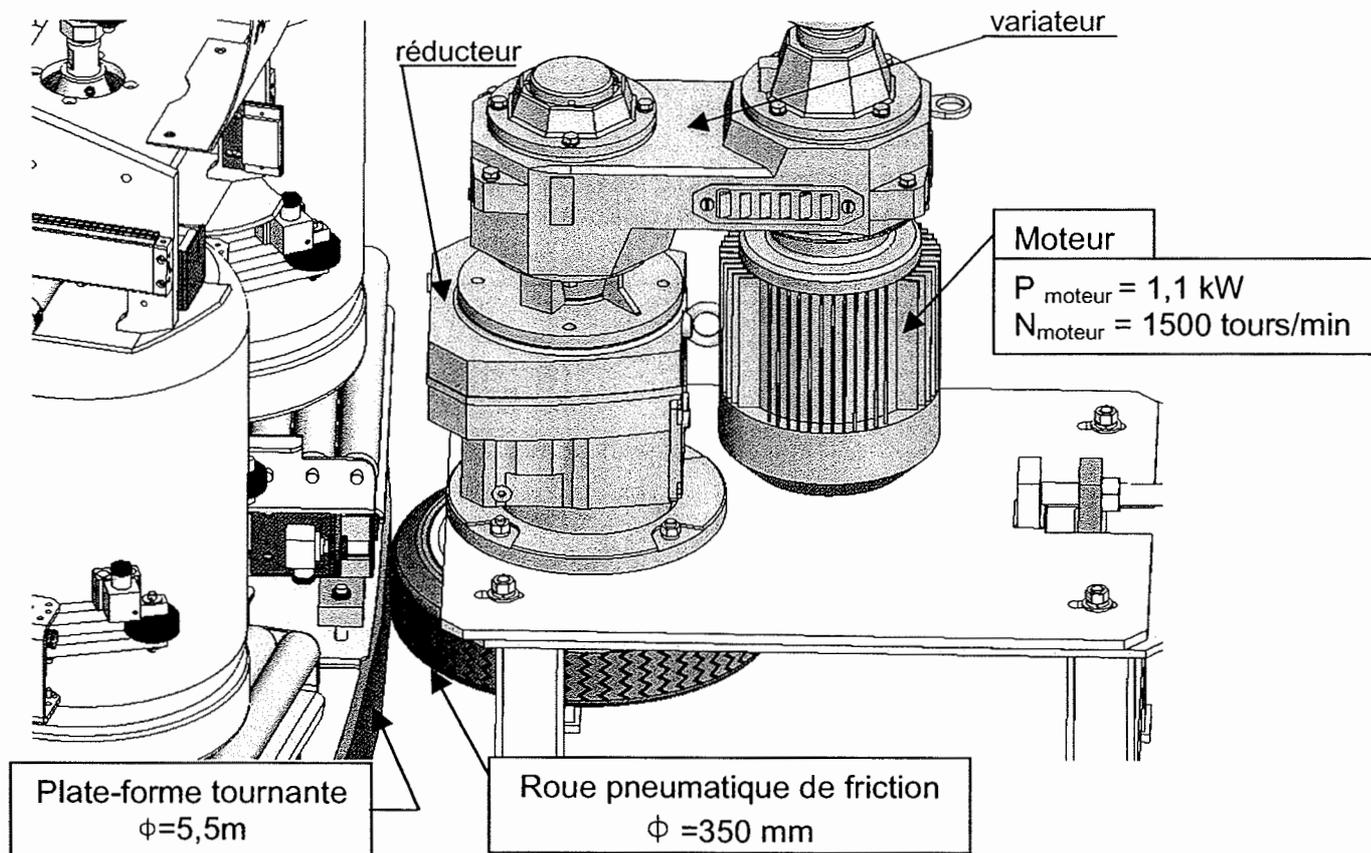
SOUS-EPREUVE
Modélisation des éléments de mécanismes
Calcul des grandeurs caractéristiques
(UNITE U 41)

Dossier technique

Ce dossier contient les documents :

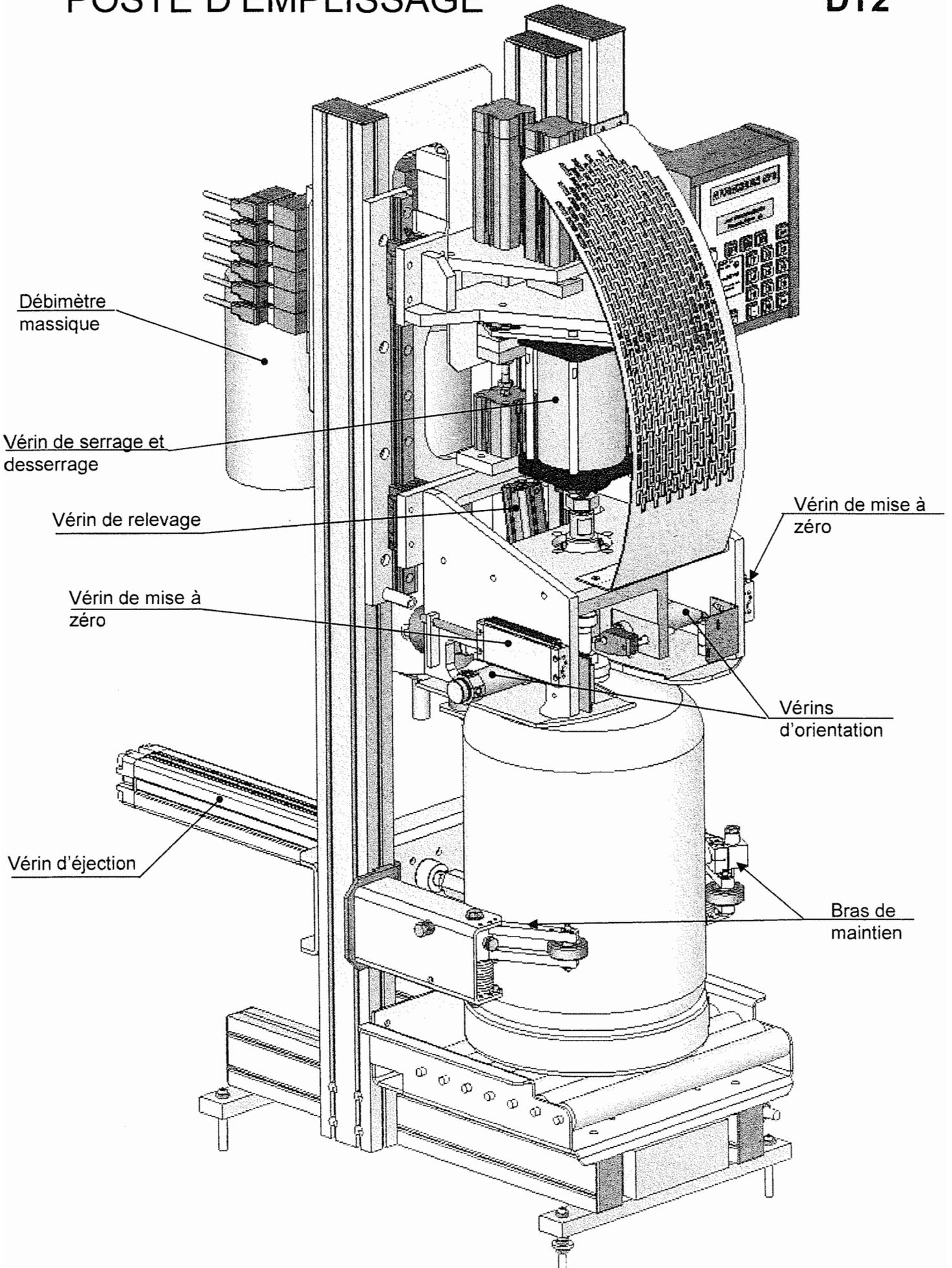
DT1 à DT9

Entraînement de la plate-forme



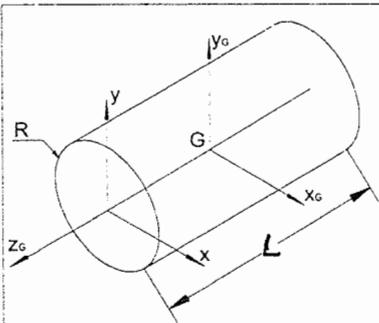
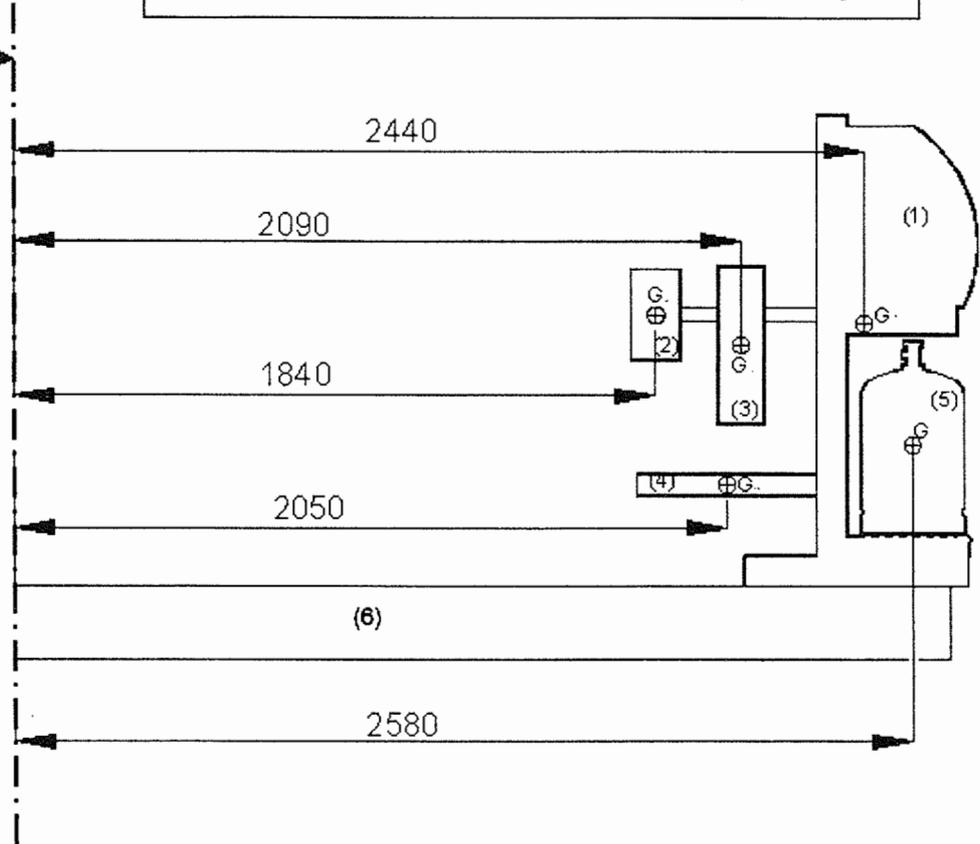
POSTE D'EMPLISSAGE

DT2



Modèle retenu pour un poste d'emplissage.

axe z de rotation du carrousel.



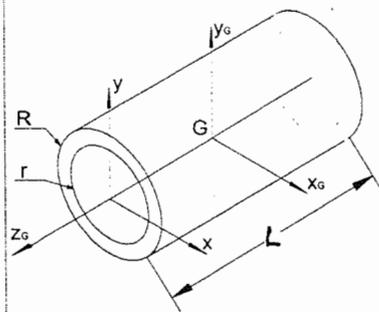
Cylindre plein.

M: masse du solide

$$I_{xG}=I_{yG}=\frac{M.R^2}{4} + \frac{M.L^2}{12}$$

$$I_x=I_y=\frac{M.R^2}{4} + \frac{M.L^2}{3}$$

$$I_{zG}=\frac{M.R^2}{2}$$



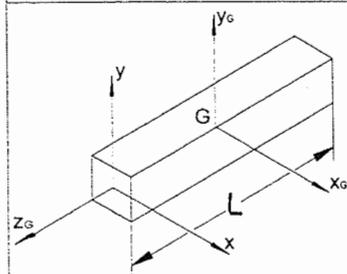
Tube cylindrique.

M: masse du solide

$$I_{xG}=I_{yG}=\frac{M.(R^2+r^2)}{4} + \frac{M.L^2}{12}$$

$$I_x=I_y=\frac{M.(R^2+r^2)}{4} + \frac{M.L^2}{3}$$

$$I_{zG}=M.R_{\text{moy}}^2$$



Tige pleine.

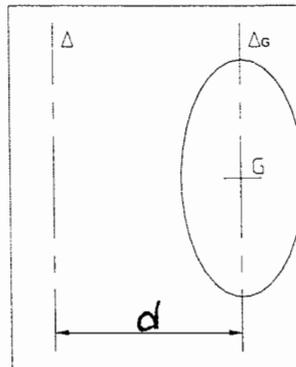
M: masse du solide

$$I_{xG}=I_{yG}=\frac{M.L^2}{12}$$

$$I_x=I_y=\frac{M.L^2}{3}$$

$$I_{zG}=0$$

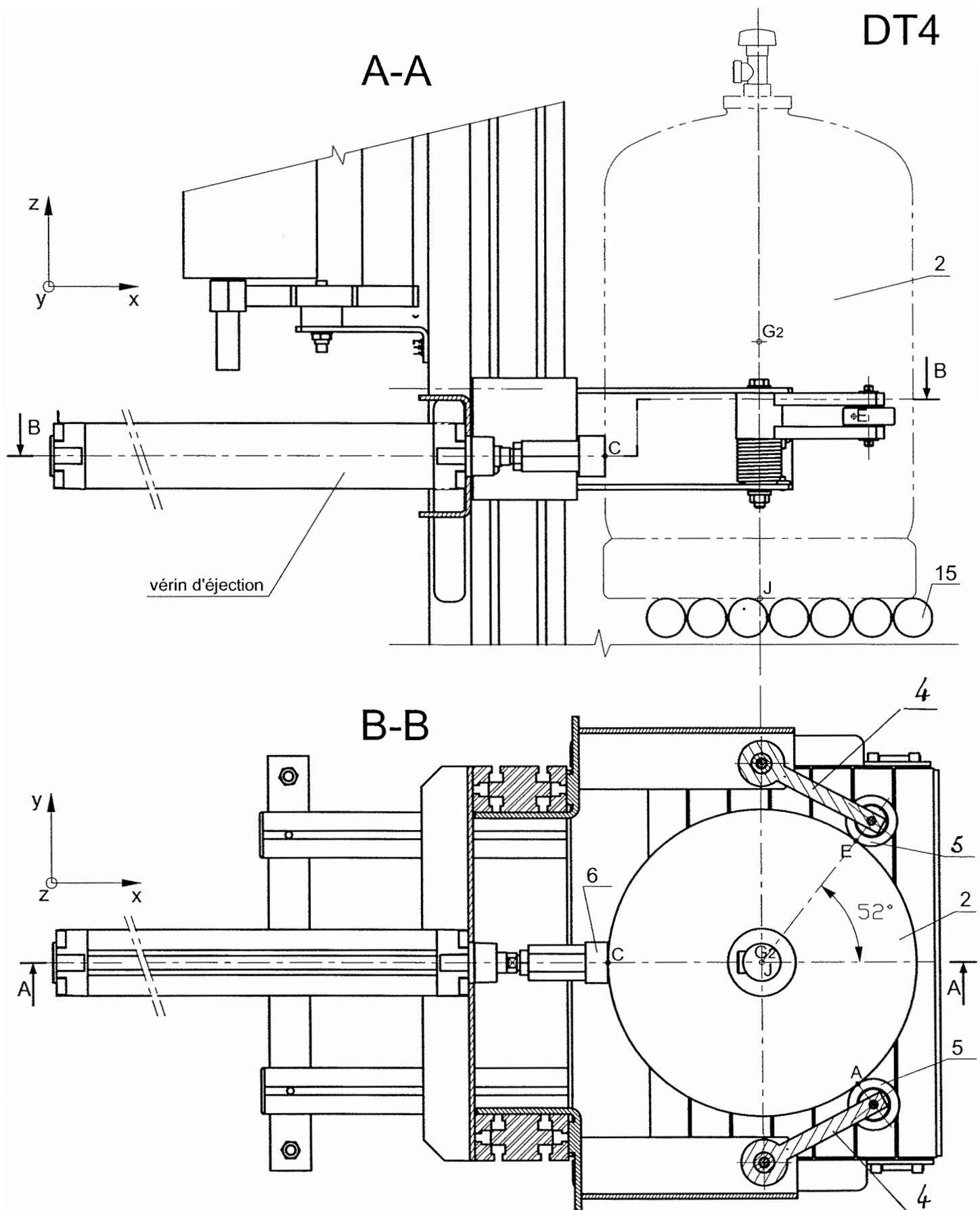
nom	repère	modèle simplifié	dimensions	Masse M
châssis	1	calculé dans SolidWorks	calculées dans SolidWorks	175 kg
Débitmètre (interpréteur)	2	Tube cylindrique	$\phi_{\text{moy}}=140$ mm	8 kg
Débitmètre (capteur)	3	Tube cylindrique	$\phi_{\text{moy}}=130$ mm	13 kg
vérin d'éjection	4	Tige pleine	L=500 mm	4 kg
bouteille de gaz	5	Cylindre plein	$\phi 300$ mm	24 kg
Plate forme et tuyaux	6	calculé dans SolidWorks	calculées dans SolidWorks	1620 kg



Pour un solide de masse M,

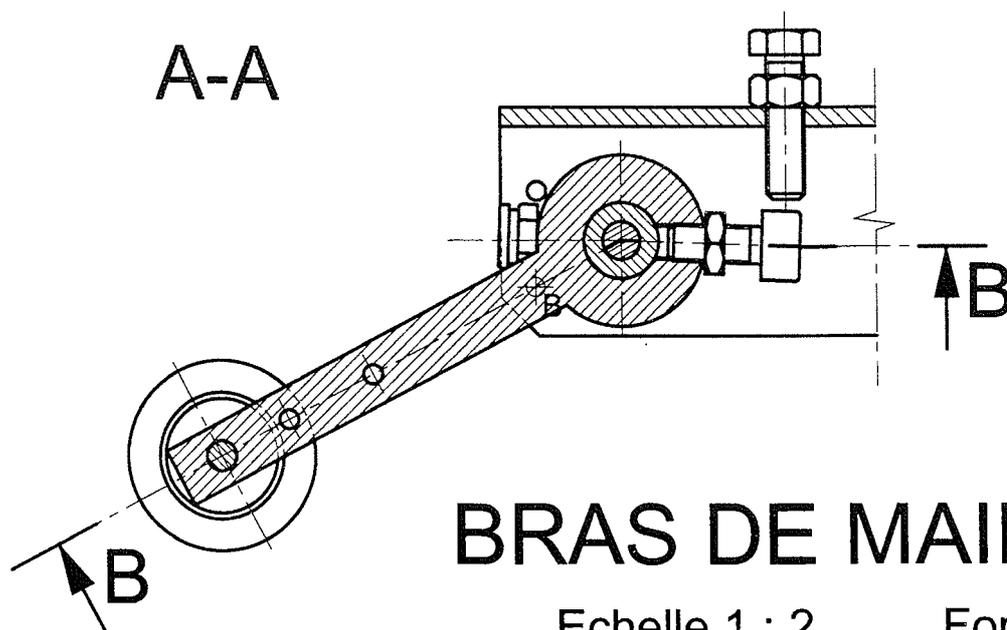
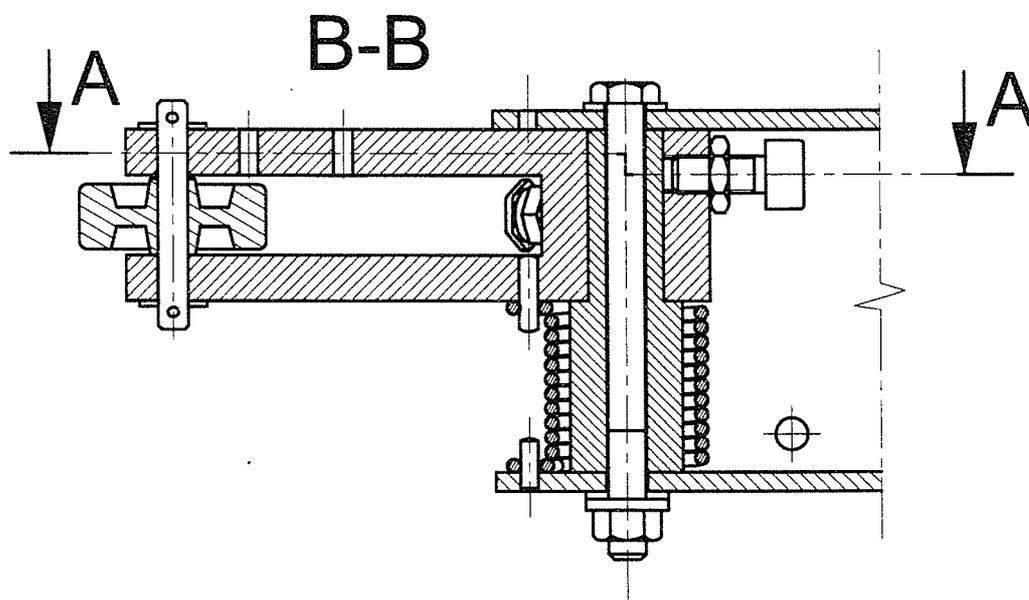
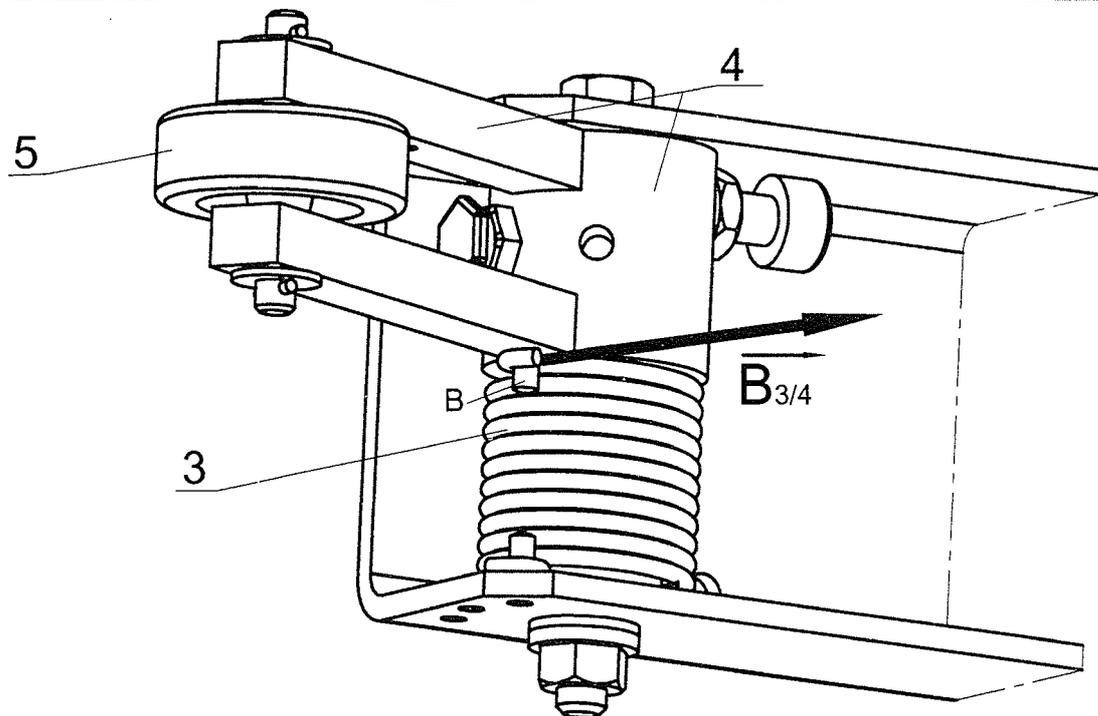
Théorème d'Huygens:

$$I_{\Delta}=I_{\Delta G}+M.d^2$$



Poste d'emplissage - Maintien d'une bouteille

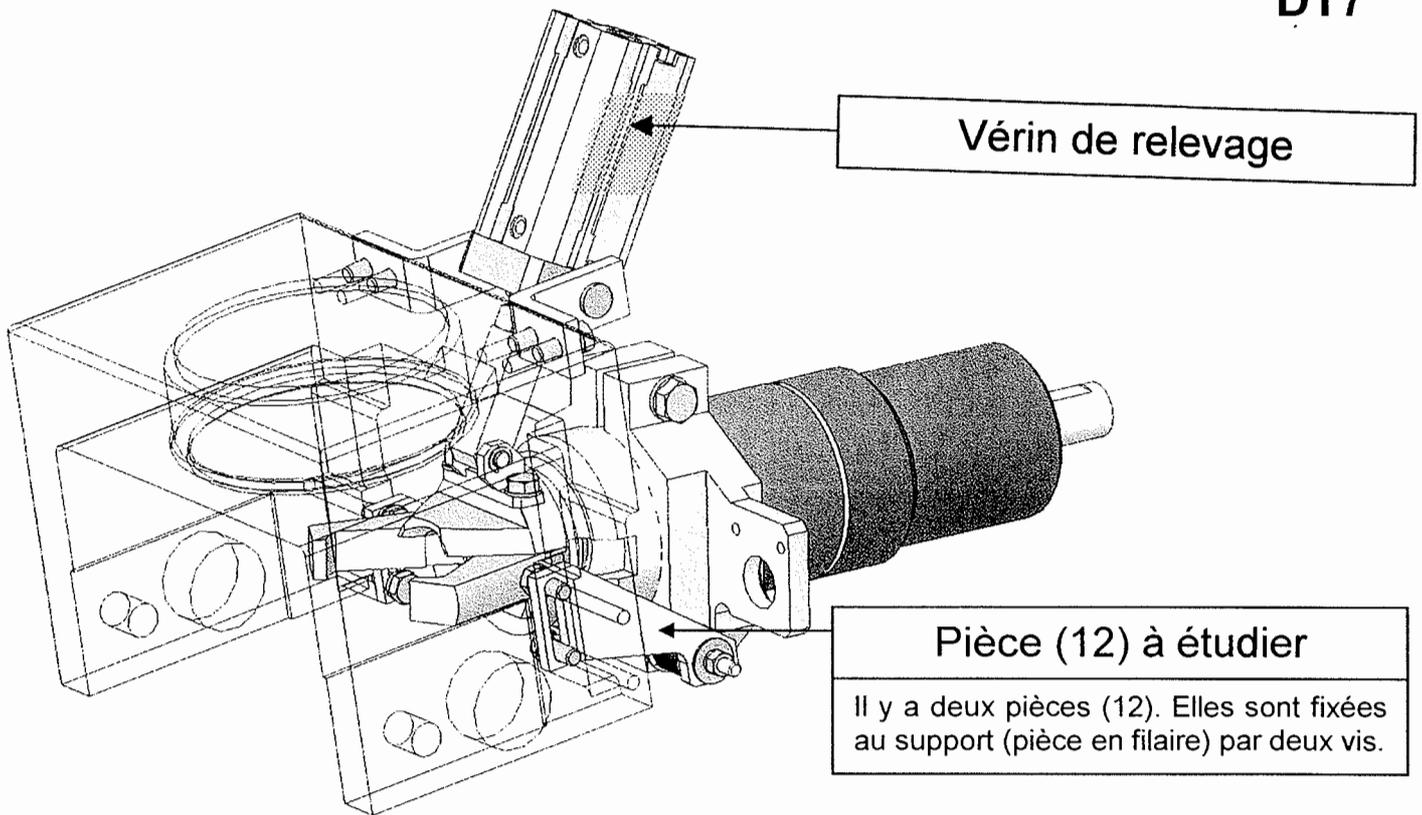
DT5



BRAS DE MAINTIEN

Echelle 1 : 2

Format A4



Vérin de relevage

Pièce (12) à étudier

Il y a deux pièces (12). Elles sont fixées au support (pièce en filaire) par deux vis.

Charges appliquées :

Lors de la phase où l'effort appliqué sur la pièce est maximal, la tête d'emplissage se trouve en position horizontale et engendre un effort de 600N. On considère donc que la charge appliquée sur la pièce étudiée est normale à la surface indiquée sur le dessin ci-dessous et possède un module de 300N.

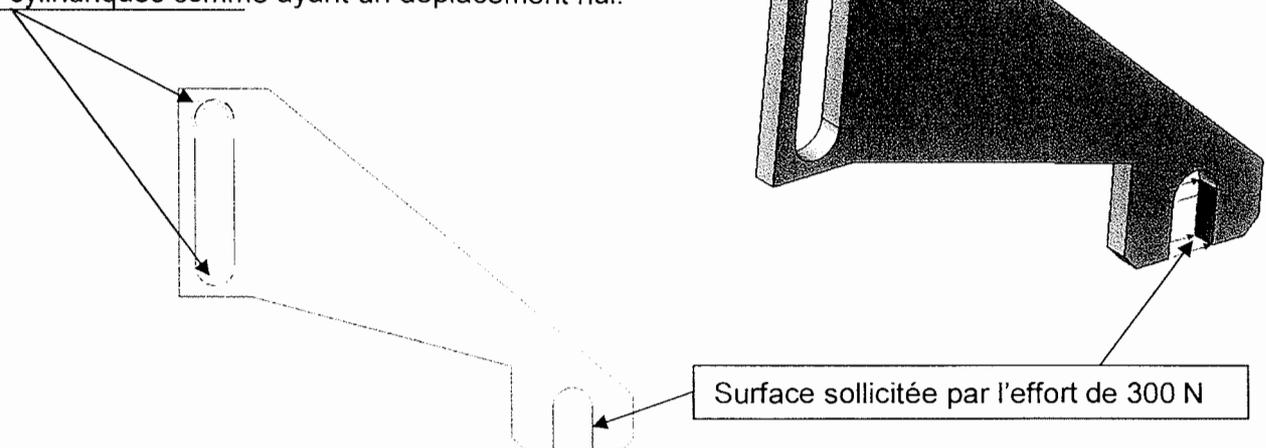
Propriété	Description	Valeur	Unités
EX	Module d'élasticité	7.3072e+010	N/m ²
NUXY	Coefficient de Poisson	0.33	NA
SIGYLD	Limite d'élasticité	75829000	N/m ²
DENS	Masse volumique	2778.1	kg/m ³

Matériau de la pièce : AlCu4Mg1

Le tableau ci-contre, extrait du logiciel de résistance des matériaux, précise les caractéristiques du matériau employé.

Modélisation des fixations :

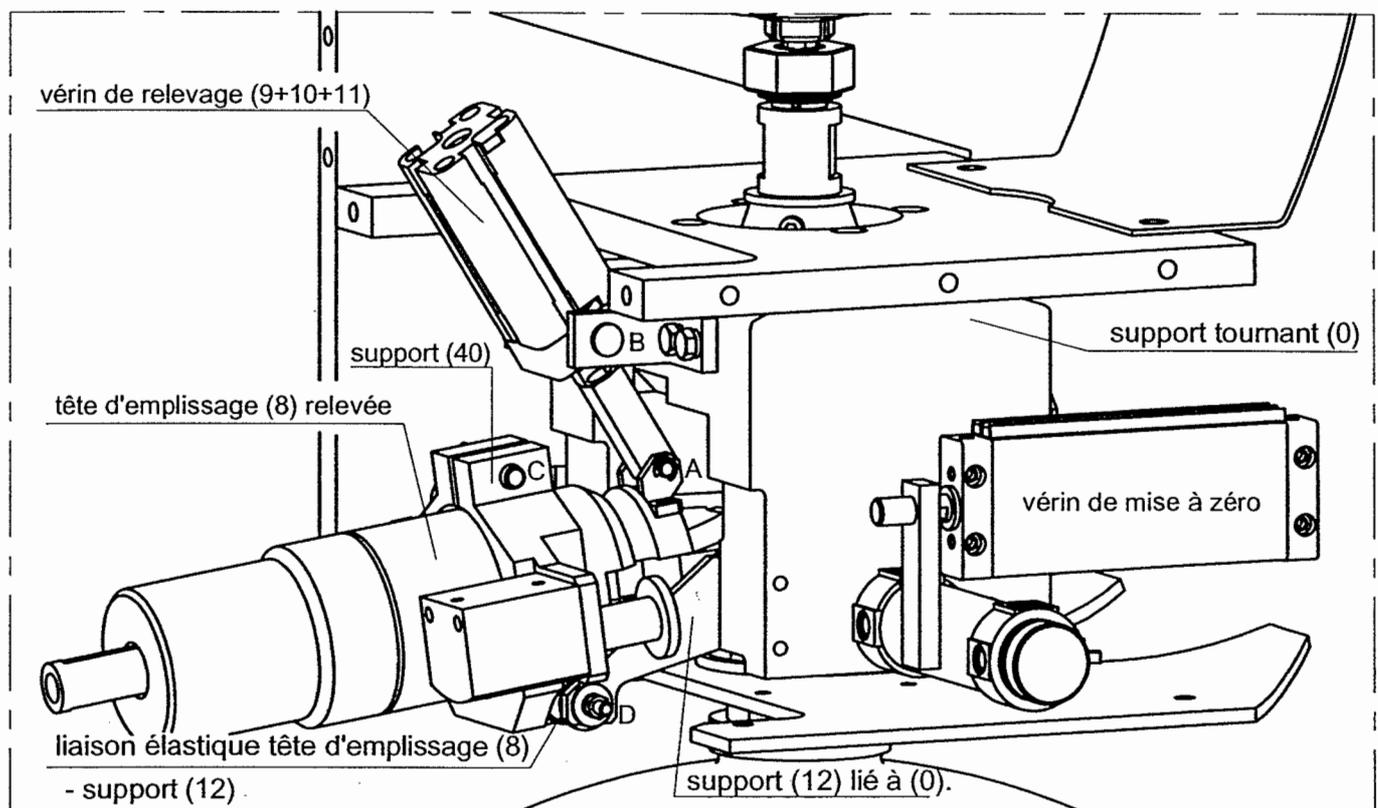
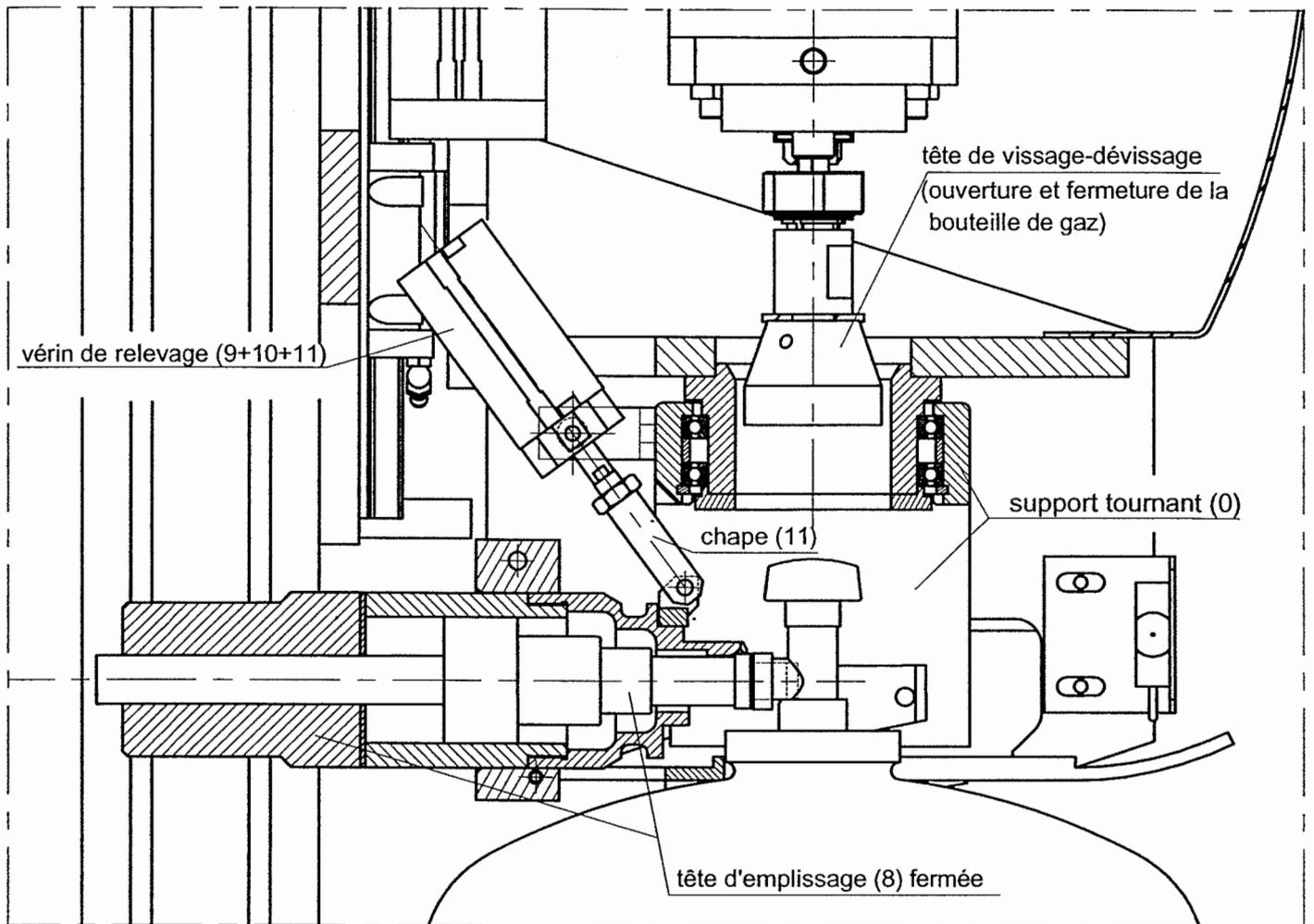
La pièce étant fixée au bâti par deux vis, on choisit ces deux surfaces cylindriques comme ayant un déplacement nul.

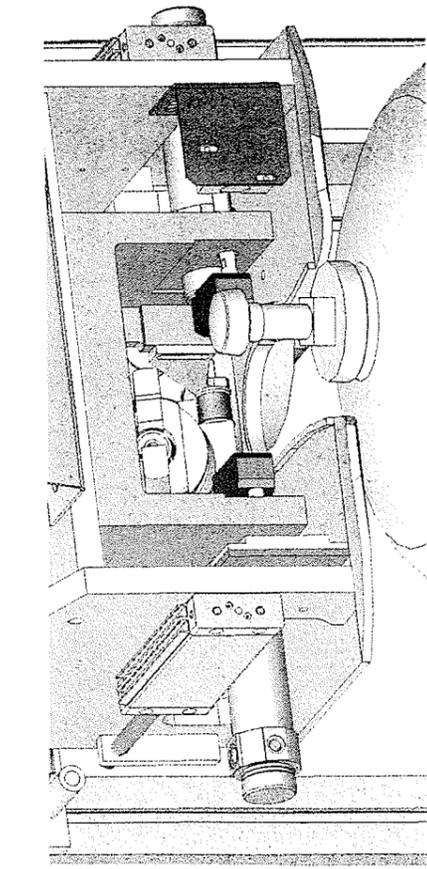
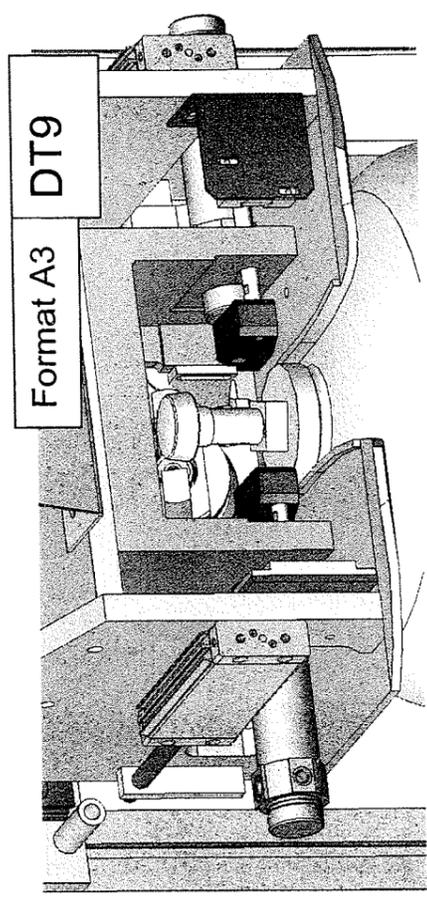


Surface sollicitée par l'effort de 300 N

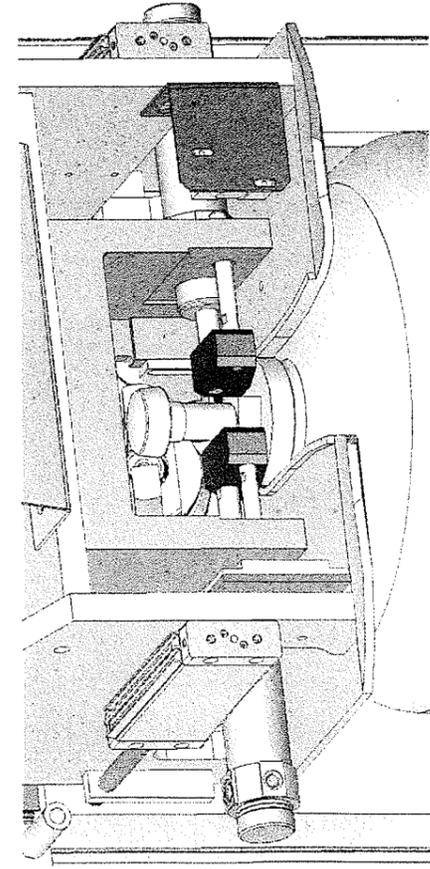
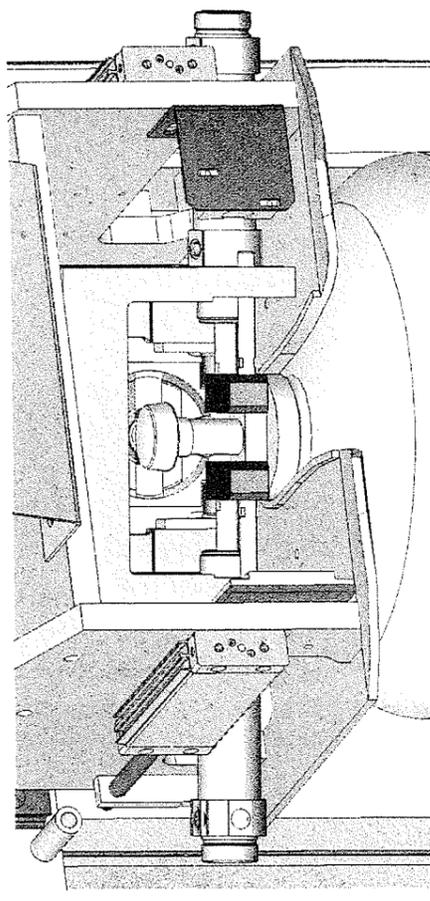
TÊTE D'EMPLISSAGE

DT8



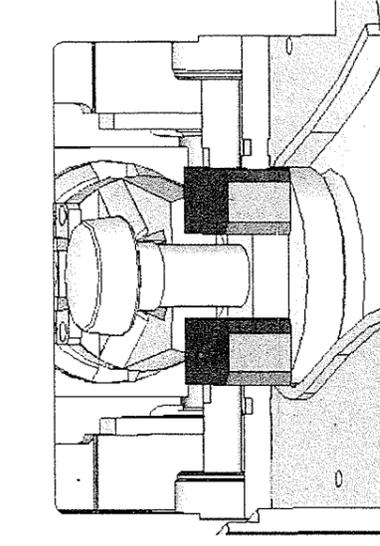
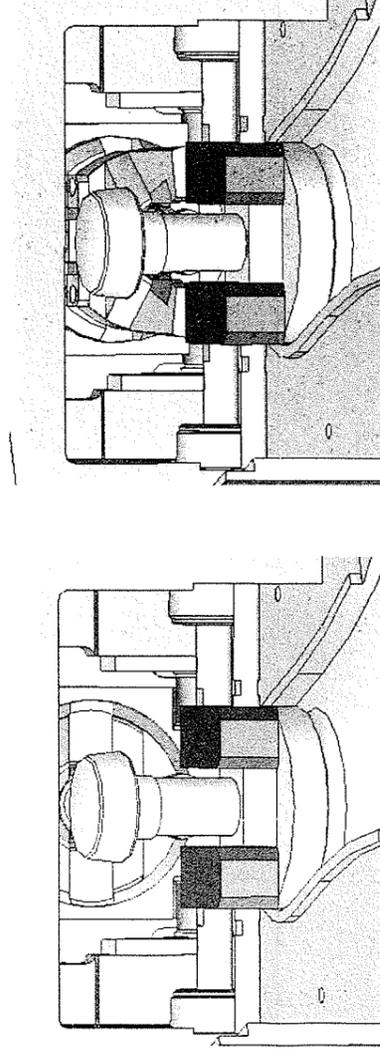


1. Admission de la bouteille sur le poste d'emplissage



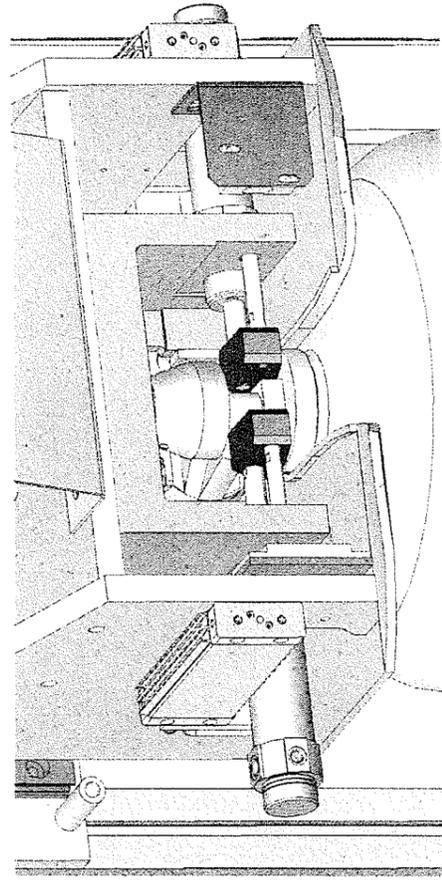
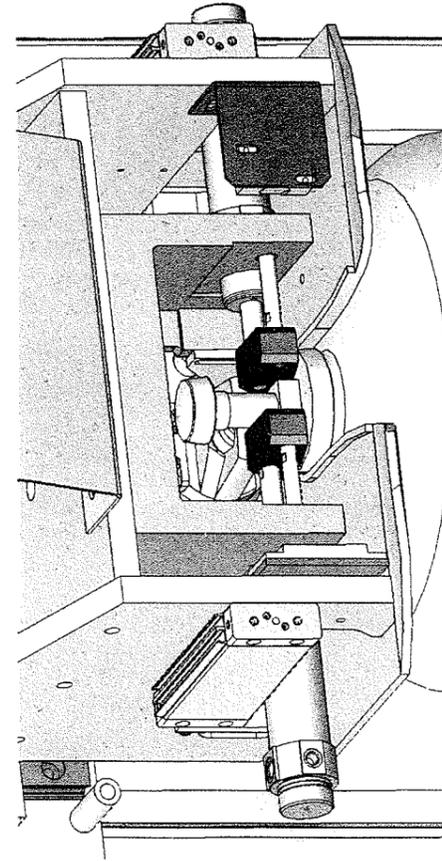
2. Sortie des deux vérins d'orientation.

3. Rotation de l'ensemble vérins d'emplissage, tête d'emplissage et vérin de relevage, par rapport à la bouteille.



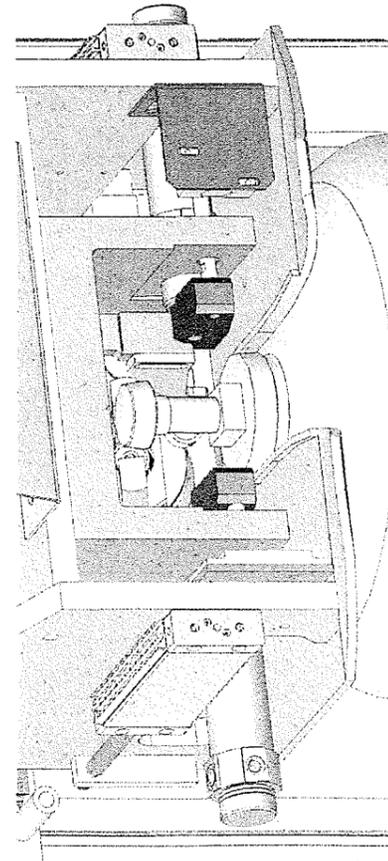
4. Sortie du vérin de relevage provoquant la mise en place de la tête d'emplissage.

5. Fermeture des pinces et maintien de la bouteille de gaz.



6. Rentrée des deux vérins de mise à zéro provoquant la rotation de l'ensemble.

7. Descente de la tête de dévissage. Ouverture de la bouteille. Emplissage.



8. Emplissage terminé. Fermeture de la bouteille. Remontée de la tête de vissage-dévisage. Ouverture des pinces de maintien. Rentrée du vérin de relevage. Retour des vérins de mise à zéro et d'orientation en position initiale.

9. Ejection de la bouteille.

Brevet de Technicien Supérieur
MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Session 2006

SOUS-EPREUVE
Modélisation des éléments de mécanismes
Calcul des grandeurs caractéristiques
(UNITE U 41)

Documents réponses

Ce dossier contient les documents :

R1 à R4

Les documents réponses R1 à R4 et la ou les feuilles de copie sont à rendre en totalité (même vierges) insérés dans cette chemise.

13. Moment d'inertie I_z du carrousel à 24 postes.**131. Moment d'inertie d'un poste d'emplissage.**

Solide	repère	I_{zG}	$M.d^2$	$I_z = I_{zG} + M.d^2$
châssis	1	5,72 kg.m ²		
Débitmètre (interpréteur)	2	0,0392 kg.m ² (négligeable)	27,08 kg.m ²	27,08 kg.m ²
Débitmètre (capteur)	3			
Vérin d'éjection	4	0,083 kg.m ² (négligeable)		
Bouteille de gaz	5			
UN POSTE D'EMPLISSAGE				

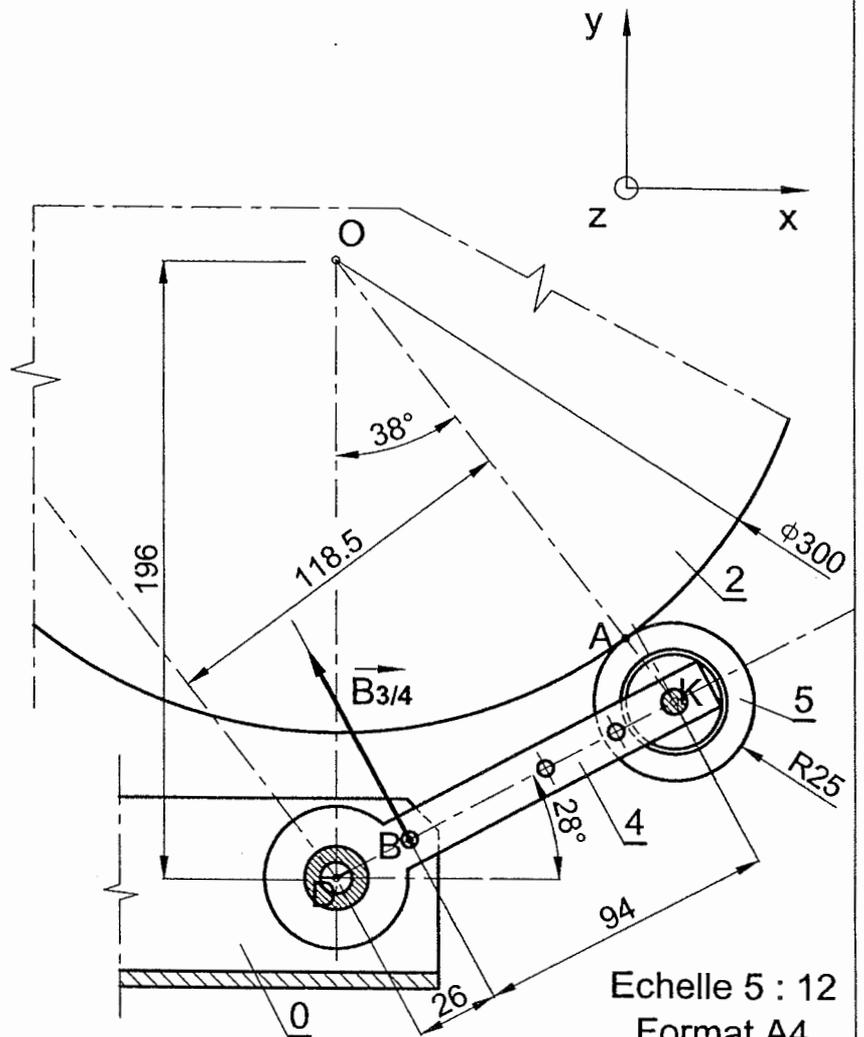
132. Moment d'inertie du carrousel à 24 postes d'emplissage.

Plate forme	6	Fourni par SolidWorks	6055 kg.m ²
Ensemble des 24 postes d'emplissage			
CARROUSEL COMPLET			

Détails des calculs :

2.1. Equilibre du bras (4+5).

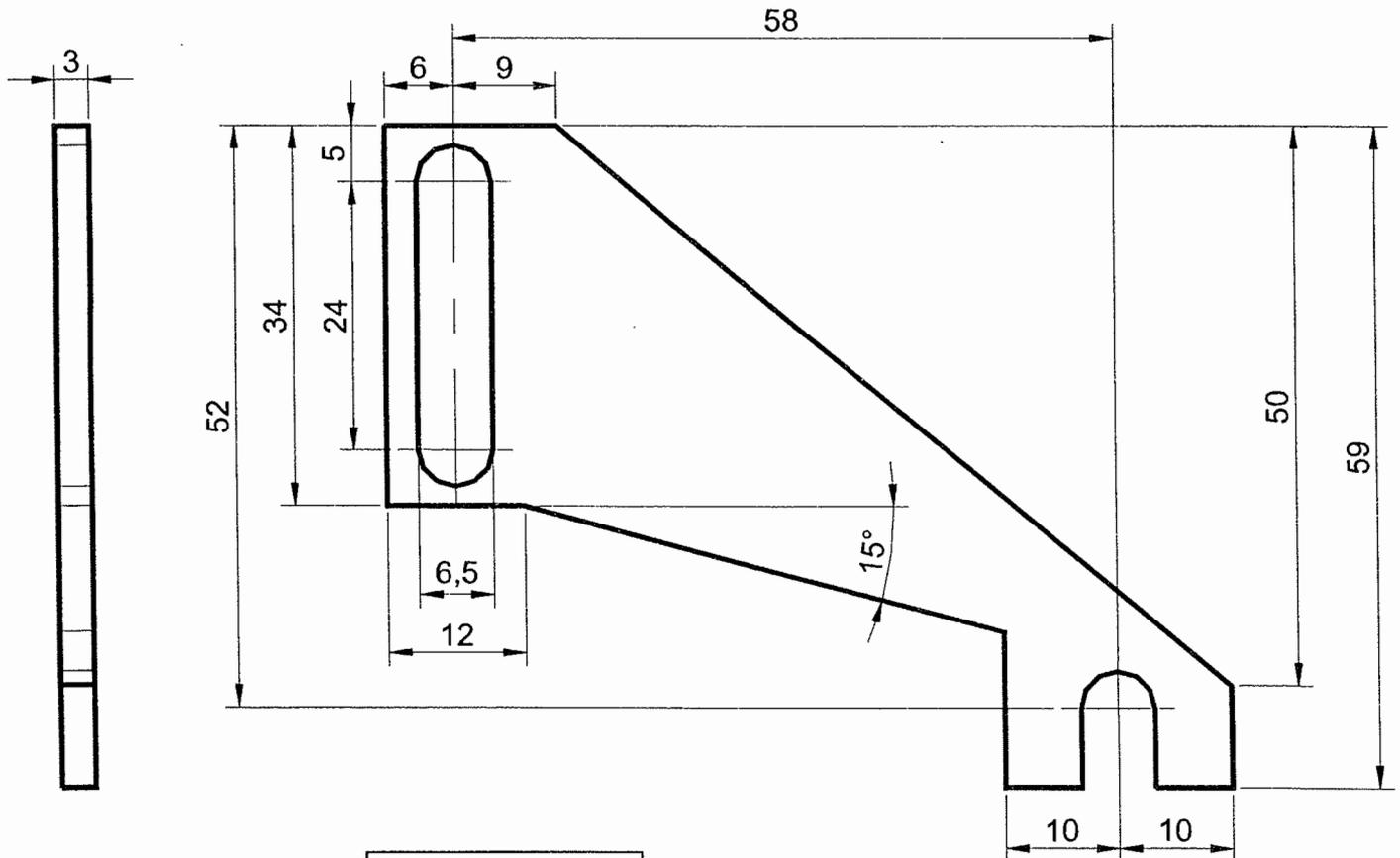
R2



Préciser, par une croix dans le tableau, pour quelle zone (1 ou 2 ou les deux) la modification proposée aura des conséquences.

Tableau des solutions proposées			
Repère solution	Commentaire succinct	Zone 1	Zone 2
<i>Solution 0</i> (exemple)	<i>Utiliser un matériau plus résistant.</i>	X	X
<i>Solution 1</i>			
<i>Solution 2</i>			
<i>Solution 3</i>			

Dessiner, en couleur (verte ou rouge, par exemple), ci-dessous, à main levée, les modifications de cotes et de formes proposées. Barrer, d'une croix, les cotes modifiées.

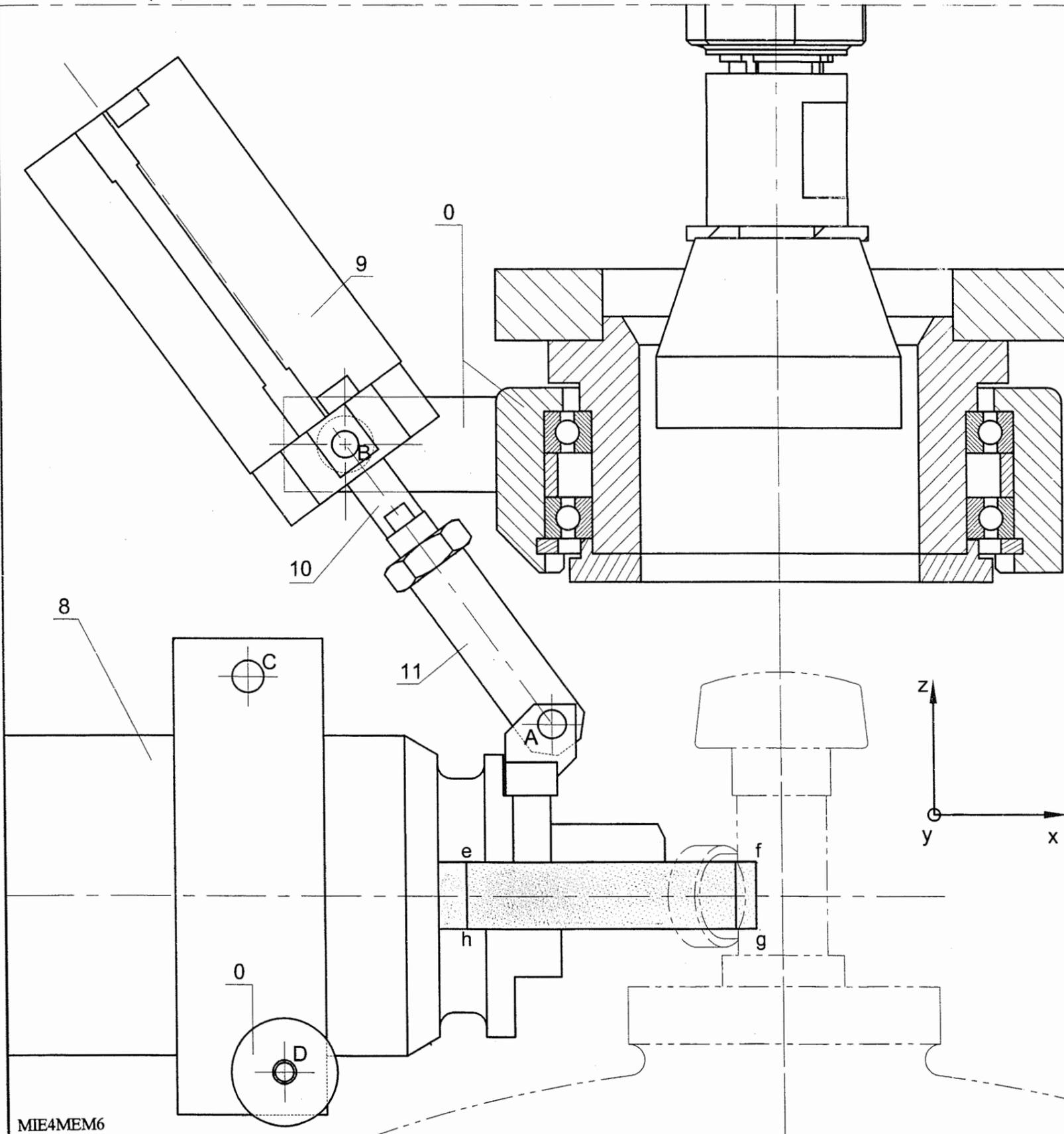


Echelle 1,5 : 1

Dessin simplifié de l'ensemble vérin de relevage - tête d'emplissage.

Echelle 1 : 1

Format A3



MIE4MEM6

Vérin de relevage (9,10,11) tige rentrée. (Echelle 1:1)

R4

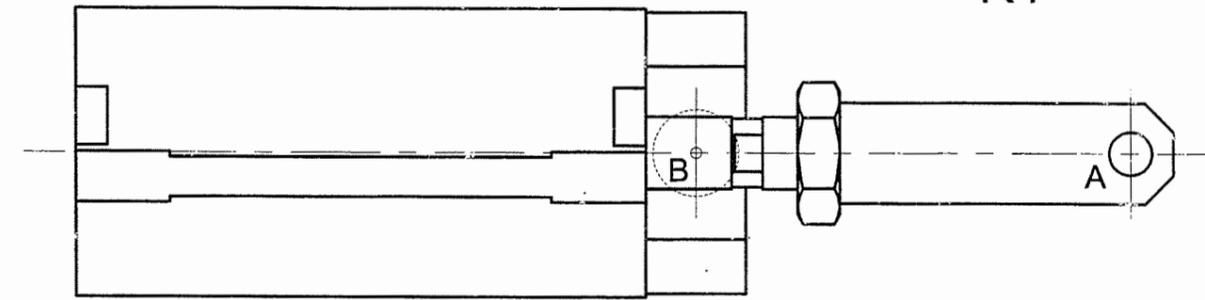


figure 1.

4.1.1. Nature du mouvement de la tête d'emplissage (8) par rapport au support (0)?

4.1.2. Nature des trajectoires des différents points de (8) par rapport au support(0)?

4.1.3. Nature du mouvement du corps de vérin (9) par rapport au support (0)?

4.2.2. Justification du tracé de A'.

4.2.3. Justification de la possibilité d'interférence.

4.2.5. Proposition d'une modification.