



SESSION 2009

**CONCOURS EXTERNE DE RECRUTEMENT
DE PROFESSEURS DE L'ENSEIGNEMENT PROFESSIONNEL
ET CONCOURS D'ACCÈS À LA LISTE D'APTITUDE**

**Section : GÉNIE MÉCANIQUE
Option : CONSTRUCTION**

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME TECHNIQUE
ET/OU D'UN PROCESSUS TECHNIQUE**

Durée : 8 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Dossier présentation

Ce dossier contient les documents PR1 à PR4.

Mise en situation.

PR1

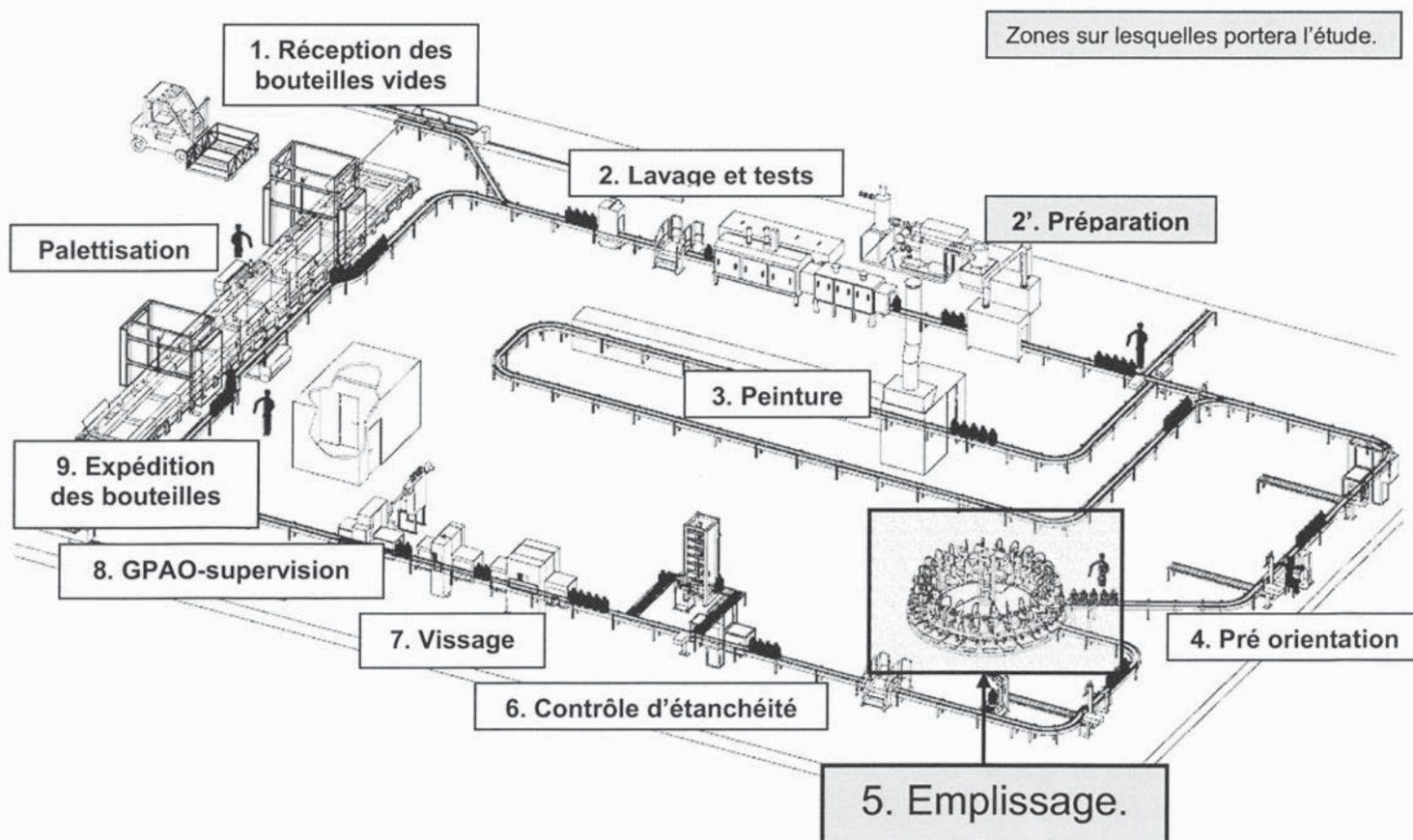
L'activité de l'entreprise SIRAGA est centrée sur la production d'équipements GPL (Gaz de Pétrole Liquéfié) :

- 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 ou propane) et le contrôle du processus. Les lignes d'emplissage évoluent avec des capacités qui varient de **20 bouteilles à plus de 3000 bouteilles par heure**. Les machines doivent être modulables, pour prendre en compte la grande diversité mondiale des formats et contenances des bouteilles de gaz.

Ci-contre, quelques formats de bouteilles utilisées en France.

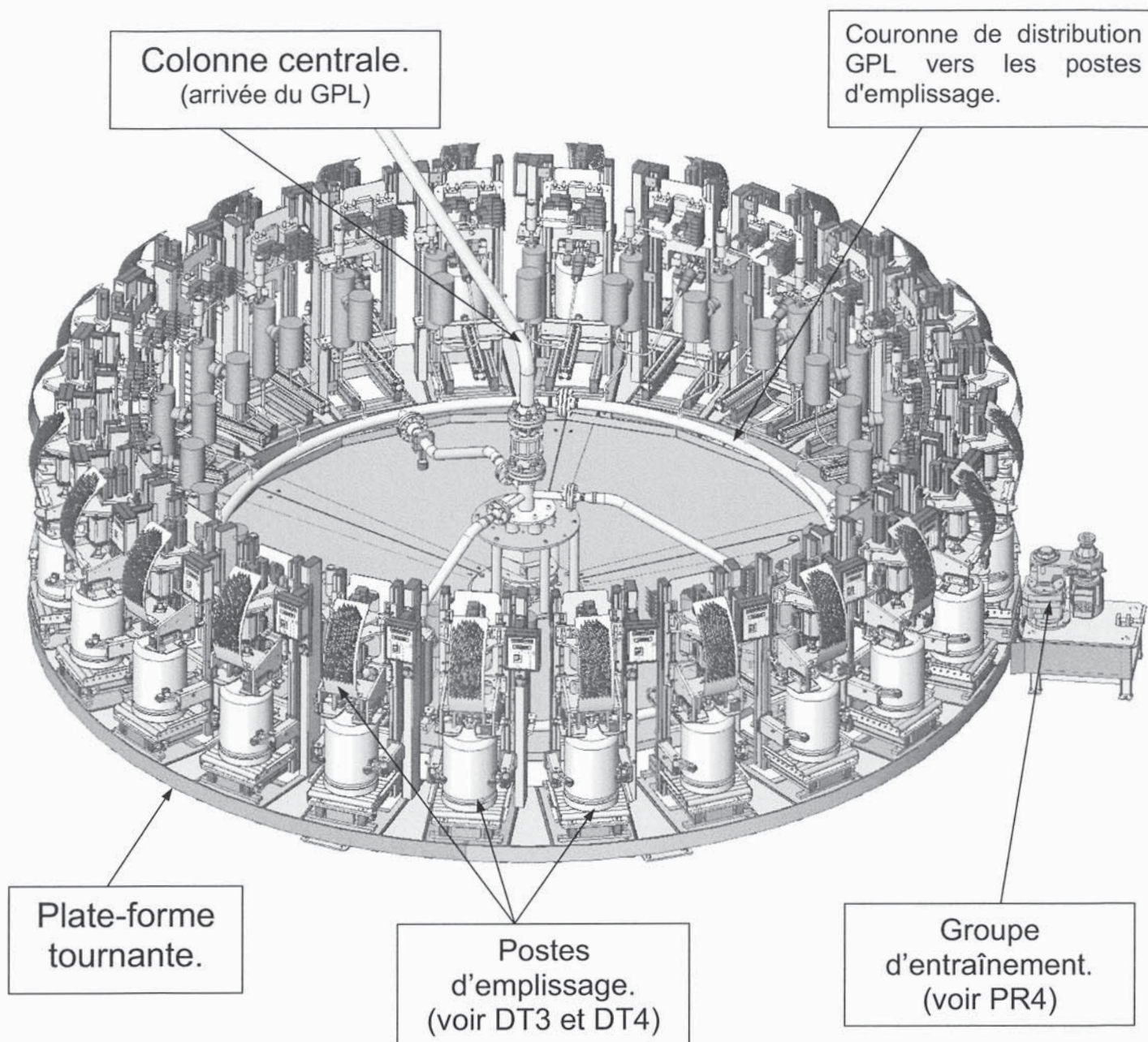


Agencement d'une usine d'emplissage de bouteilles de gaz.



Constitution d'un carrousel d'emplissage.

Un carrousel d'emplissage SIRAGA est un transfert circulaire composé de 3 à 36 postes d'emplissage disposés sur une structure mécano-soudée tournante. L'ensemble est entraîné par un ensemble moteur-variateur-réducteur, grâce à une roue de friction.



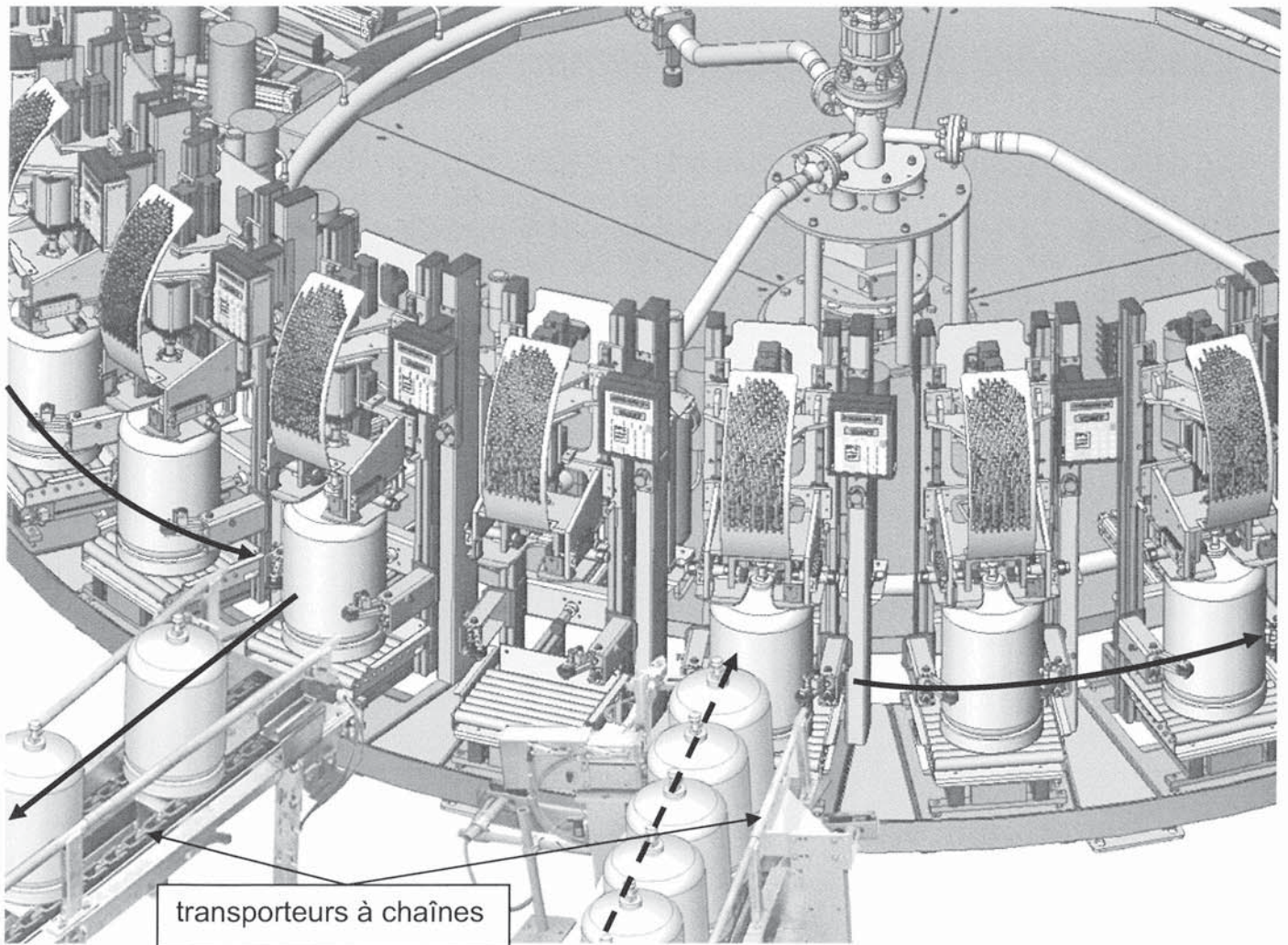
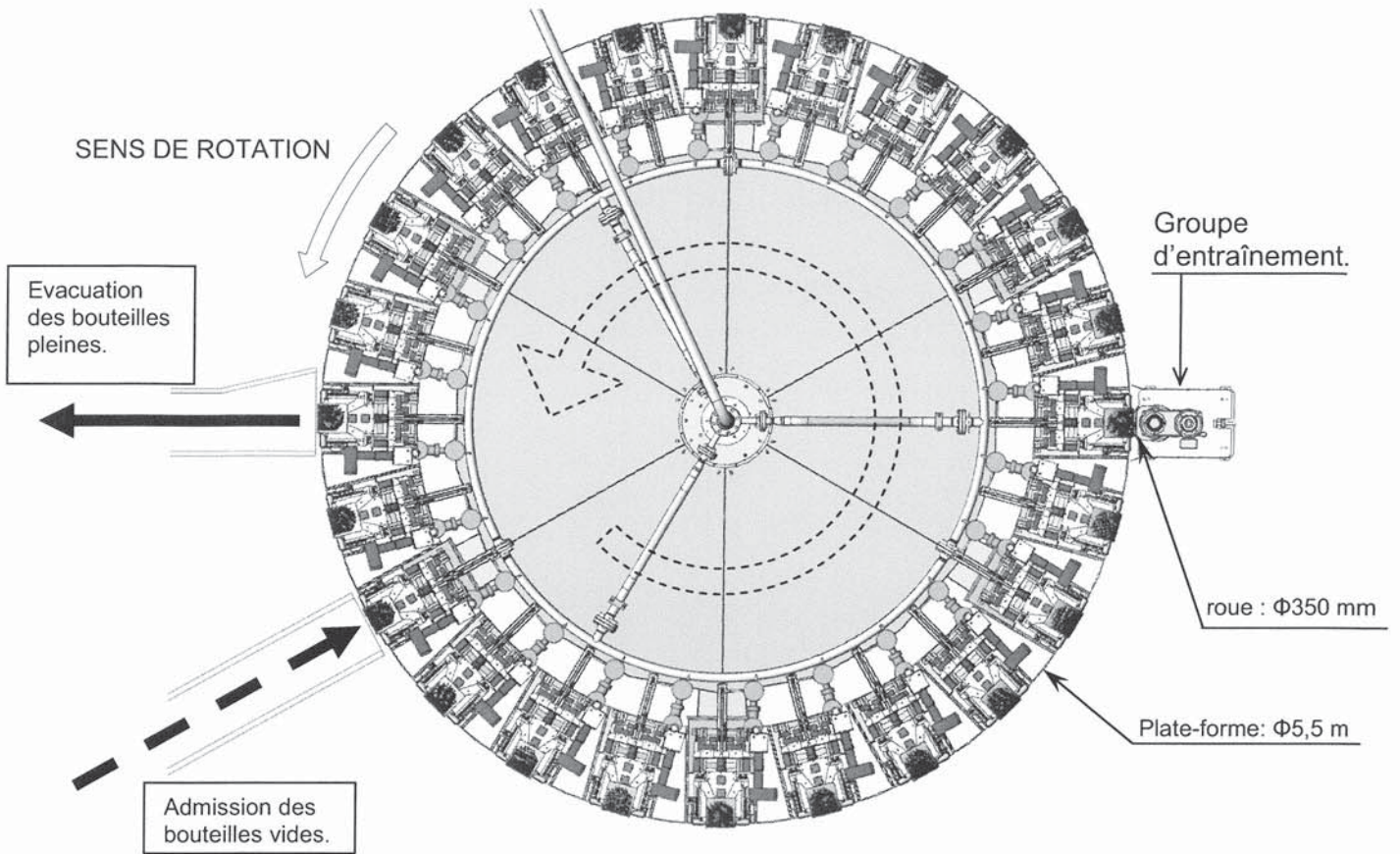
Les bouteilles vides arrivent sur un transporteur à chaînes et sont admises sur le carrousel. (voir PR3)

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

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).

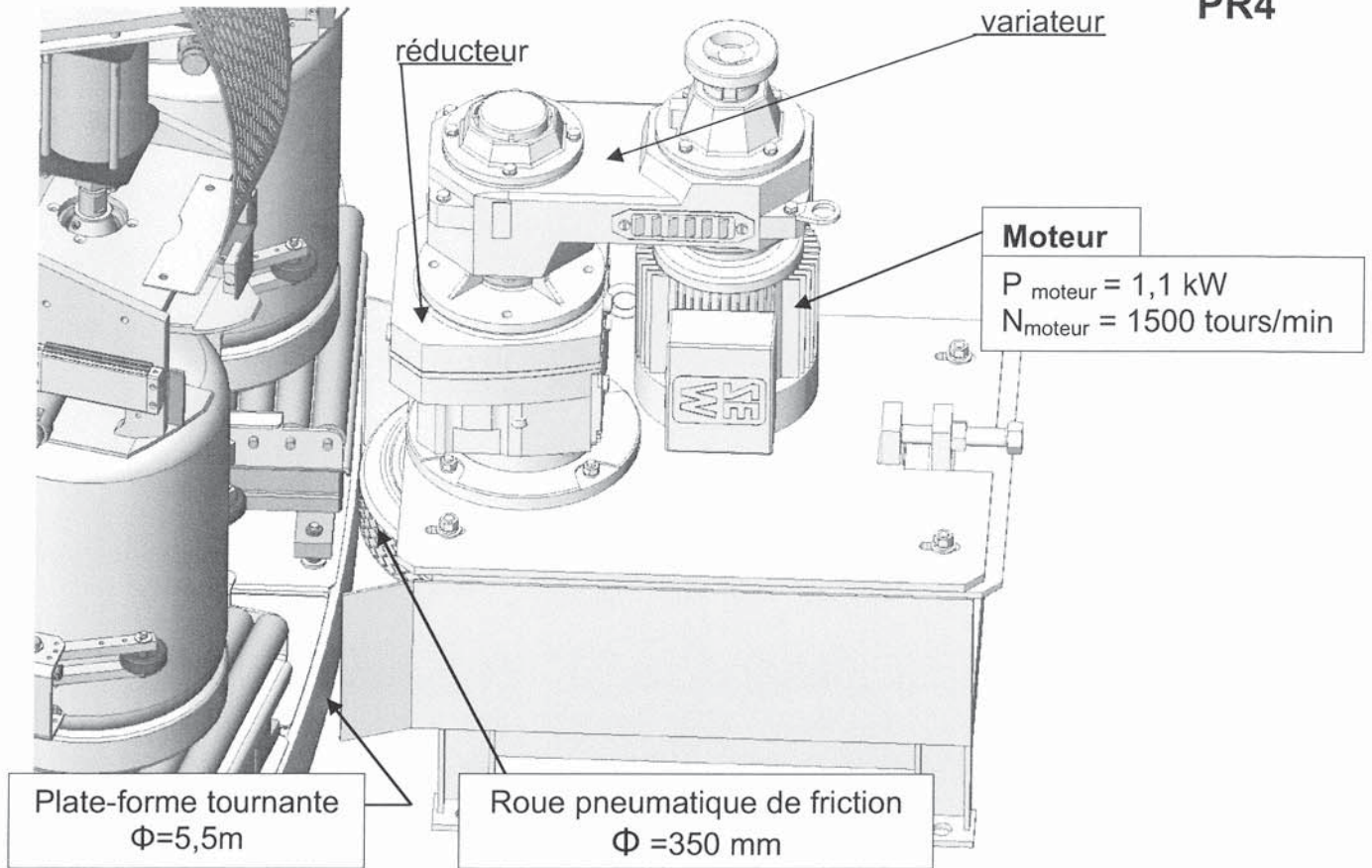
Carrousel à 24 postes d'emplissage.

PR3



Entraînement de la plate-forme

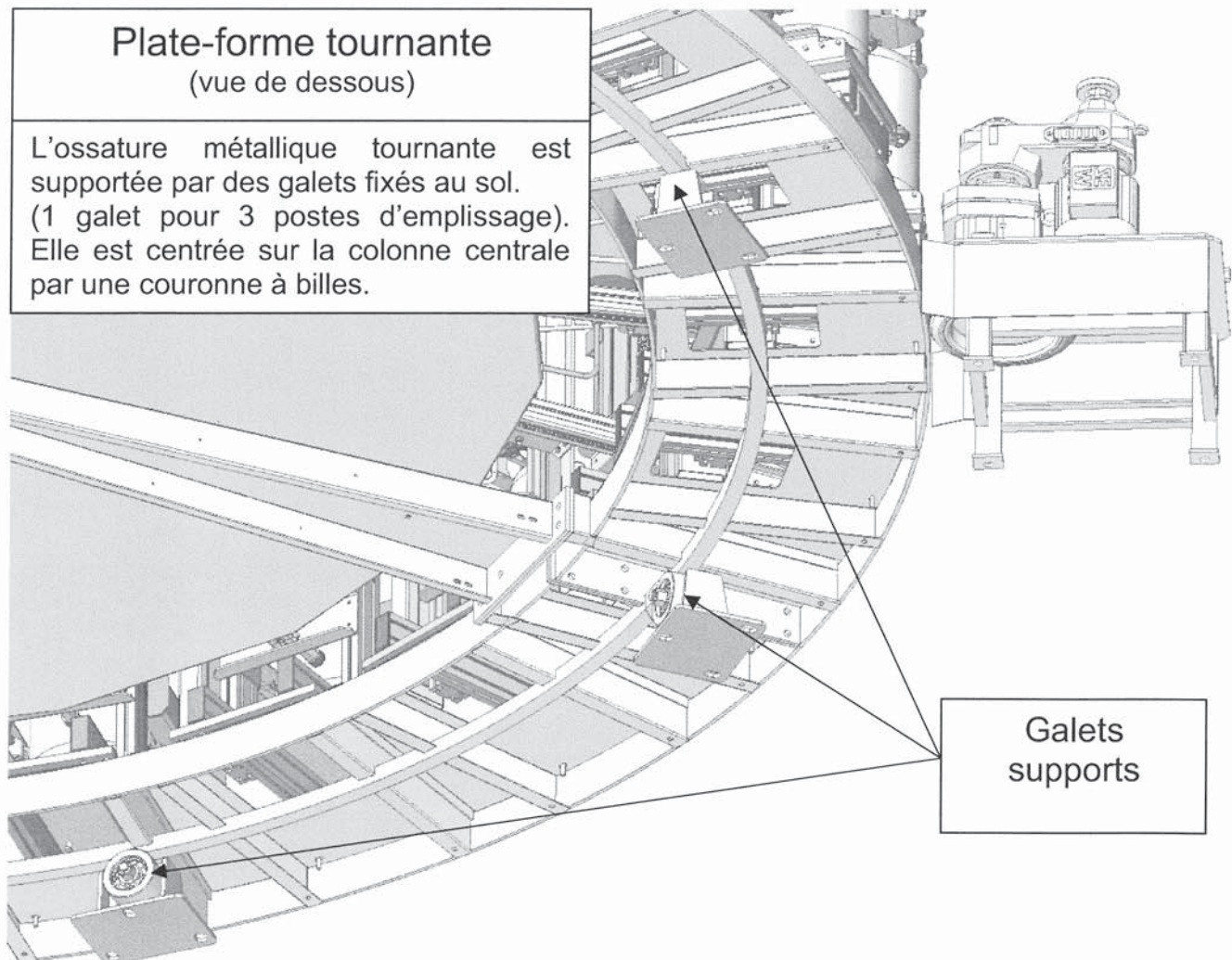
PR4



Liaison de la plate-forme avec le sol.

Plate-forme tournante (vue de dessous)

L'ossature métallique tournante est supportée par des galets fixés au sol. (1 galet pour 3 postes d'emplissage). Elle est centrée sur la colonne centrale par une couronne à billes.



DOSSIER QUESTIONS

Ce dossier contient 6 pages (pages Questions 1/6 à 6/6).

Durées conseillées :

- Lecture du sujet		: 40 min
- Emplir une bouteille de gaz	(questions 1 à 5)	: 30 min
	(questions 6 à 9)	: 20 min
	(question 10)	: 40 min
	(questions 11 à 15)	: 30 min
- Préparation d'une bouteille de gaz neuve	(questions 16 et 17)	: 20 min
- Guider en rotation	(questions 18 à 20)	: 30 min
- Entraîner en rotation	(questions 21 à 26)	: 1h
- Modification des fonctions FC9 et FC 11	(questions 27 et 28)	: 1h20
- Maintenir une bouteille	(questions 29 à 34)	: 30 min
	(questions 35 à 38)	: 30 min
	(questions 39 à 41)	: 30 min
	(question 42)	: 20 min
	(questions 43 et 44)	: 20 min

Les groupes de questions définis ci-dessus sont indépendants.

- **NOTA :** le candidat répondra sur feuille de copie, excepté lorsqu'il est précisé d'utiliser un document réponse.

1. Etude de la fonction FP1 « Emplir une bouteille de gaz ».

1.1. Objectif : déterminer la fréquence de rotation maximale du carrousel pour assurer l'emplissage des bouteilles de gaz. (voir PR3 et DT5)

Un carrousel possède :

- Un poste de chargement.
- Un poste d'évacuation.
- Un poste intermédiaire (théoriquement sans bouteille) entre ces deux premiers.
- 24 postes d'emplissage.

Une fois sur le carrousel, une bouteille doit être complètement remplie entre l'instant où elle est admise au poste de chargement et l'instant où elle est éjectée au poste d'évacuation. (voir PR3).

La cadence de production souhaitée par un client, centre d'emplissage français, est de 2000 bouteilles par heure. Les bouteilles à remplir de gaz Butane ont une masse à vide de 11 kg. La masse de gaz à injecter est de 13 kg.

L'action « remplir petit débit » s'effectue à 0,1 kg/s sur les 0,2 premiers et 0,2 derniers kilogrammes de gaz. L'action « remplir grand débit » peut s'effectuer avec un débit maximal de 0,5 kg/s sur le reste de l'emplissage de la bouteille de gaz. La durée des tâches « admettre » et « éjecter » est de 0,5 s pour chacune d'entre elles.(voir DT5)

Question 1 : Déterminer la fraction de tour sur laquelle doit s'effectuer l'emplissage d'une bouteille.

Question 2 : Calculer le temps d'emplissage d'une bouteille et en déduire le temps nécessaire à la phase admettre-connecter-remplir-déconnecter-éjecter une bouteille.

Question 3 : En déduire la fréquence de rotation maximale du carrousel.

Question 4 : Calculer la production horaire maximale (en bouteilles par heure) du carrousel. Le cahier des charges est-il respecté ?

Question 5 : Justifier pourquoi, lorsqu'un client souhaite une production horaire supérieure à 2400 bouteilles, on utilise alors un carrousel à 36 postes. Calculer la production horaire maximale possible dans ce cas de figure.

1.2. Objectif: Analyser les solutions retenues pour concevoir une tête d'emplissage.
(voir DT3, DT6 et DT7)

Le vérin de descente de la tête d'emplissage provoque la descente de l'ensemble, puis, une fois le cône (1) en appui sur le corps de la bouteille, comprime successivement les ressorts (17), (16), (15) et (14) jusqu'à ce que (10) ouvre le clapet de la bouteille et autorise l'emplissage de celle-ci. Lorsque la masse de gaz dans la bouteille est de 13 kg, l'automate provoque la rentrée de la tige du vérin de descente et, par conséquent, la fermeture de la bouteille de gaz.

Question 6 : Lorsque le cône (1), puis le cône (2) arrivent en appui sur la bouteille à remplir, les défauts géométriques de cette dernière peuvent imposer un léger déplacement radial de la tête d'emplissage, pour positionner correctement celle-ci. Quelle est la solution retenue par le concepteur pour autoriser cet éventuel mouvement ? Décrire et commenter cette solution.

Question 7 : Compléter votre réponse, en coloriant (en jaune, par exemple), cadre 1, sur le document DR1, les parties de la tête d'emplissage qui se déplacent alors radialement par rapport au châssis.

Question 8 : Quelle solution technologique a été retenue pour autoriser un défaut de forme important du corps de la bouteille à remplir ?

Question 9 : Quelle solution permet, avec certitude, d'assurer l'étanchéité par le joint (28) entre la tête de la bouteille et le cône (2) ?

1.3. Objectif: Préparer un document facilitant l'assemblage des têtes d'emplissage.
(voir DT6 et DT7)

Question 10 : Réaliser la gamme de montage des éléments (1 à 10, 14 à 17, 25 à 29) d'une tête d'emplissage, en faisant abstraction de ceux de la partie supérieure (11 à 13, 18 à 24, 30 à 33). Il est souhaité que cette gamme se présente sous forme de graphe.

1.4. Objectif: Vérifier que le vérin de descente des têtes à emplissage axial exercera un effort suffisant pour assurer l'étanchéité pendant l'emplissage d'une bouteille.
(voir DT3, DT6, DT7 et DT18)

L'effort résistant du clapet de la bouteille, lors de son ouverture, est négligeable.

Le vérin de descente est référencé FESTO DNC-50-320-PPVA et est alimenté à 6 bars (0,6 MPa).

On rappelle les relations de résistance des matériaux appliquées à un ressort de compression :

$$f = \frac{8.n.F.D^3}{G.d^4}$$

$$\tau = \frac{8.F.D}{\pi.d^3}$$

f	: flèche
n	: nombre de spires utiles
F	: effort de compression
D	: diamètre moyen d'enroulement
d	: diamètre du fil
G	: module de Coulomb du matériau
τ	: contrainte tangentielle

Données : l'acier des ressorts a un module de Coulomb de 80 000 MPa et une résistance élastique au cisaillement de 210 MPa.

Le document DT6 représente la tête d'emplissage dans les positions « phase de descente » et « position d'emplissage, clapet de bouteille ouvert ».

Question 11 : Détailler les différentes phases d'approche de la tête d'emplissage, en complétant le document DR1, cadre 2, où on précisera, étape par étape, quels éléments entrent en contact ou se séparent, au fur et à mesure de la descente de la tête d'emplissage.

Question 12 : Calculer la raideur (en N/mm) de chacun des ressorts (14), (15), (16) et (17).

Question 13 : Déterminer la flèche de chacun de ces ressorts, pendant la phase d'emplissage.

Question 14 : En déduire l'effort minimal que doit exercer le vérin de descente.

Question 15 : En considérant un taux de charge de 80% de ce vérin, alimenté à la pression de 6 bars, l'étanchéité est-elle assurée avec certitude ? Sinon, proposer une modification simple qui permette de conserver les ressorts actuels.

2. Etude de la préparation d'une bouteille de gaz neuve, avant son premier emplissage.

Objectif: déterminer la pression de test et la masse minimale de gaz que doit contenir une bouteille neuve, avant son emplissage. (voir PR3 et DT8)

Les bouteilles vides qui sont retournées au centre d'emplissage contiennent toutes encore un peu de gaz Butane ou Propane. Elles nécessitent parfois d'être lavées extérieurement et repeintes (voir PR1, poste 2 de lavage et poste 3 de peinture), puis suivent le cycle normal d'emplissage.

Les bouteilles neuves doivent, elles, être lavées intérieurement (dégraissage) et mises sous pression (test de résistance), puis vidées de l'eau qu'elles contiennent. Elles sont, ensuite, séchées et, alors, pleines d'air. On injecte (poste 2' de préparation) un peu de Butane ou Propane liquide, à la pression de 15 bars, pour chasser, en se détendant, l'air qu'elles contiennent. L'intérieur de la bouteille est, durant cette opération, en communication avec l'atmosphère.

Tournez la page S.V.P.

On se place dans l'hypothèse où la température ambiante est de 20°C et la pression atmosphérique de 1 bar (0,1 MPa).

Les bouteilles considérées ont une capacité de remplissage de 13 kg de Butane ou 11 kg de Propane. Leur capacité volumétrique normalisée est de 26,5 litres mini, avec une tolérance de fabrication de 1 litre (27,5 litres maxi).

Le document DT8 précise quelques caractéristiques des GPL.

Question 16 : Déterminer la masse minimale de Propane à injecter pour qu'il occupe entièrement le volume de la bouteille afin de chasser l'air contenu dans celle-ci. La détente du Propane s'effectue à la pression atmosphérique, à température constante ambiante. Réaliser le même calcul, pour le Butane.

Question 17 : Sachant que les bouteilles remplies doivent résister en toute sécurité à une exposition à des températures ambiantes de 40°C, et en prenant un coefficient de sécurité de 2, préciser la pression de test des bouteilles neuves qu'il faudrait conseiller. Justifier la réponse apportée.

3. Etude de la fonction FC4 « guider en rotation ».

Objectif 1 : remplacer la liaison sur galets et le centrage sur la colonne par une couronne à billes.
(voir PR4, DT1 et DT9 à DT11)

Objectif 2 : réaliser l'entraînement en rotation par un engrenage.

La plateforme est actuellement soutenue par des galets réglables en hauteur (voir PR4). Cette solution présente trois inconvénients majeurs :

- réglages souvent longs, lors de la phase d'installation d'une plateforme,
- réalisation coûteuse de la piste de roulement,
- nuisances sonores importantes dues au roulement des galets sur la piste métallique.

On décide de réaliser l'étude de faisabilité de la liaison pivot de la plateforme par l'intermédiaire d'une couronne à billes référencée 12-25-1455/1-03270, tout en supprimant les galets.

Question 18 : Déterminer la charge axiale maximale de la couronne à 24 postes à empiquage radial.

Question 19 : Justifier l'existence d'un moment de déversement. Pourquoi peut-on, ici, négliger ce dernier ?

Question 20 : Vérifier que la couronne à billes, référencée 12-25-1455/1-03270, choisie convient.

4. Etude de la fonction FC5 « Entraîner en rotation ».

Afin de sécuriser encore plus la zone d'empiquage, on envisage de modifier l'entraînement, en remplaçant le moto-variateur-réducteur anti-déflagrant par un moteur hydraulique.

Objectif : définir le moteur d'entraînement du carrousel. (voir documents PR4, DT9 et DT12 à DT16)

Le pignon d'entraînement de la couronne référencée 12-25-1455/1-03270 comportera 13 dents.

Le choix de l'élément moteur impose, quel qu'il soit, de déterminer le couple nécessaire à l'entraînement en rotation du carrousel. On se place dans la configuration d'un carrousel à 24 postes, à empiquage radial (postes plus lourds que ceux à empiquage axial).

On se place dans le cas d'une fréquence de rotation du carrousel de 1,7 tours/min.

On impose que, lors du démarrage, la mise en rotation à la vitesse de 1,7 tours/min s'effectue sur 15°.

Le couple résistant dû aux frottements et résistances passives est estimé à 90 N.m.

On supposera que 24 bouteilles pleines se trouvent sur le carrousel, après un incident de fonctionnement.

Le moment d'inertie de la plateforme seule (repérée 6 sur le document DT12), par rapport à son axe z_0 de rotation, est de 6 055 kg.m². Celui du châssis (1) d'un poste d'emplissage, par rapport à l'axe G_1z_1 , est de 5,72 kg.m².

Question 21 : Déterminer le moment d'inertie par rapport à l'axe de rotation z_0 du carrousel complet.

Question 22 : Calculer l'accélération angulaire du carrousel, pour passer de l'arrêt à la fréquence de rotation de 1,7 tours/min.

Question 23 : En déduire le couple nécessaire au démarrage de ce dernier.

Question 24 : Déterminer la fréquence de rotation du moteur hydraulique et le couple théorique qu'il doit fournir.

Question 25 : A l'aide de la documentation fournie, définir le moteur hydraulique Parker TG qui convient.

Question 26 : Réaliser un schéma hydraulique faisant apparaître le moteur et l'élément qui permettra d'assurer une vitesse variable de celui-ci.

5. Modification des fonctions FC9 et FC11. (voir DT9 à DT16)

Question 27 : Sur le document réponse DR2, représenter, à règle levée, la nouvelle solution.

- . La couronne à denture intérieure référencée 12-25-1455/1-03270.
- . Le moteur hydraulique modèle TG, code H, arbre de transmission code 46.
- . Le pignon à 13 dents.

Le support lié au sol sera réalisé en construction mécano soudée.

Question 28 : Sur le document réponse DR3, réaliser le dessin de définition du pignon à 13 dents. Réaliser la cotation fonctionnelle dimensionnelle (sans valeurs numériques) et indiquer les spécifications géométriques de ce dernier.

6. Etude de la fonction FC2 « Maintenir une bouteille ».

(voir documents DR4 à DR7, DT3, DT17 à DT22)

6.1. Objectif: vérifier que le dispositif de maintien existant, jusqu'alors utilisé pour des bouteilles de diamètre 240 à 320 mm, peut convenir pour des bouteilles de diamètre 330 à 400 mm.

L'admission d'une bouteille sur le poste d'emplissage s'effectue ainsi :

- translation sur les rouleaux ou la plaque inférieure,
- arrêt sur les butées (6),
- fermeture des bras de maintien et centrage de la bouteille.

Les bouteilles de gaz présentent des dimensions et des contenances différentes d'un pays à l'autre. Il existe, d'autre part, deux modes d'emplissage : dans l'axe de la bouteille, ou perpendiculairement à celui-ci (voir DT3 et DT4). Les postes d'emplissage sont, dans la mesure du possible, modulables, en fonction des formats des séries de bouteilles remplies par le client.

L'étude qui suit porte sur le dispositif de maintien des bouteilles utilisé sur un poste à emplissage axial.

On décide, pour augmenter la capacité d'ouverture des bras, de déplacer le point d'ancrage du vérin de descente (11+12) sur la plaque (1) (voir DT17 et DR4).

Tournez la page S.V.P.

Question 29 : Expliquer le déroulement de la phase d'admission entre les étapes « arrivée en butée » et « fin du serrage », pour une bouteille de diamètre inférieur à celui représenté sur le document DR4.

Question 30 : Déterminer graphiquement, sur le document DR4, l'ouverture maximale des bras de maintien (3). (NOTA : le vérin est représenté en position serrage d'une bouteille de diamètre 320 mm)

Question 31 : Tracer, vue de dessus, sur le document DR4, le contour d'une bouteille de diamètre 400 mm. L'écartement des bras de maintien convient-il? Quel problème se pose, malgré tout ?

Question 32 : Proposer une modification dimensionnelle qui permettra que le serrage d'une bouteille de diamètre 400 mm puisse s'effectuer correctement, sans modifier les butées. Représenter, à main levée, cette modification sur le document DR5, en précisant la cote fonctionnelle qui sera changée.

Question 33 : Après cette modification, quel sera le diamètre minimal des bouteilles qui pourront être admises ? Justifier clairement la réponse.

Question 34 : Quelle modification simple devra impérativement être apportée aux fixations de la tête d'emplissage sur son support, pour assurer la possibilité de remplir des bouteilles de diamètre 330 à 400 mm?

6.2. Objectif: analyser les contraintes de réalisation et d'assemblage du mécanisme.

Chacun des quatre axes support (4) possède trois galets (5). (Ils ne sont pas tous utilisés, selon que la bouteille remplie est plus ou moins haute). D'autre part, les bouteilles présentent des défauts géométriques parfois très importants, selon les pays, et, un seul des trois galets (5) assure alors le serrage.

On se place, pour l'étude qui suit, dans le cas où seuls les deux galets inférieurs (5) de chacun des deux bras (3) sont en contact avec la bouteille. Le vérin (11+12) est alimenté à la pression de 6 bars (0,6 MPa).

Question 35 : Réaliser le schéma cinématique minimal (plan ou spatial) du mécanisme de serrage.

Question 36 : Par un calcul de mobilité, montrer que ce système spatial est hyperstatique.

Question 37 : Le mécanisme articulé constitué par un bras (2+3+4), une biellette à rotule (8), une biellette (9) et l'ensemble fixe (7+12) est-il hyperstatique ? Cela impose-t-il des contraintes particulières dimensionnelles ou (et) géométriques, lors de la réalisation de l'assemblage de ce seul sous-ensemble ? Justifier clairement la réponse.

Question 38 : Déterminer le degré d'hyperstatisme du sous-ensemble constitué par une biellette (9), une biellette (10), l'ensemble fixe (7+12) et la plaque (1). Quelles sont les contraintes dimensionnelles ou (et) géométriques que cela impose lors de la réalisation et de l'assemblage du mécanisme ? Justifier clairement la réponse.

6.3. Objectif: décoder partiellement le dessin de définition de l'axe support de galets. (voir document DT19 et DT20)

Question 39 : Décoder, sur les documents DR6 et DR7, les spécifications géométriques suivantes, portées sur le dessin de définition de l'axe support de galets :

DR6	⊕	$\text{⌀ } 0,2$	A	B
DR7	⊥	$\text{⌀ } 0,1$	A	

Question 40 : Décoder, sur feuille de copie, la spécification $\varnothing 17 f10 \textcircled{E}$

Question 41 : Expliquer, sur feuille de copie, à l'aide d'un croquis par exemple, pourquoi les spécifications $\textcircled{A} \varnothing 0,2 | \textcircled{B}$ et $\textcircled{A} \varnothing 0,1 | \textcircled{A}$ sont compatibles.

6.4. Objectif : s'assurer que les efforts exercés sur les éléments du dispositif de serrage restent acceptables après la modification réalisée.


- Préparation de la détermination des efforts.

L'étude ultérieure des efforts sera conduite à l'aide d'un logiciel de mécanique. Ce dernier impose que le mécanisme étudié soit isostatique. L'objectif de l'analyse qui suit est la préparation de l'étude statique par le logiciel.

Question 42 : On propose le modèle représenté sur le document DT21. Montrer que ce modèle, une fois la bouteille serrée, est isostatique et permet d'obtenir un problème calculable par le logiciel.

NOTA : -On rappelle que la base de la bouteille de gaz est en appui plan sur la plaque inférieure du poste d'emplissage.
-On s'attachera, en particulier, à justifier les mobilités éventuelles du mécanisme.

Signification des symboles spatiaux utilisés :

					
PIVOT	PIVOT GLISSANT	LINÉAIRE ANNULAIRE	ROTULE	PONCTUELLE	

- Préparation de l'étude de résistance des matériaux.

L'étude statique à l'aide du logiciel de mécanique évoqué à la question 42 donne les résultats consignés sur le document DT22.

Question 43 : Dessiner, sur le document réponse DR8, à une échelle appropriée, les vecteurs modélisant les actions mécaniques qui s'exercent sur :

- Une biellette (9).
- Une bielle à rotules (8).
- Une bielle de transmission (10).

Question 44 : Préciser, sur le document DR8, en argumentant la réponse, le mode de calcul (traction, flexion, torsion etc.) qui sera conduit pour vérifier les contraintes dans ces trois éléments.

NOTA : il n'est pas demandé de développer les calculs de résistance des matériaux, ni de préciser les éventuelles formules qui seraient alors utilisées.