

Nombre de pages : 11

Durée : 4 heures

Calculatrices et documents : calculatrices autorisées

**SUJET A RENDRE A LA FIN de
L'EPREUVE**

COMMENCEZ par inscrire vos noms et prénoms, le centre de passage de l'examen et le numéro de votre place sur chaque copie que vous rendrez.

Les surveillants ont pour consigne d'exclure du concours tout candidat qui tente de vouloir copier sur un de ses voisins, d'accéder à des documents quels qu'ils soient, ou d'écrire avant le signal de départ ou après le signal de fin de l'épreuve

Consignes Particulières : L'épreuve de Sciences de l'Ingénieur, divisée en 2 épreuves de 4 heures, comprend 4 sous parties : Thermodynamique, Mécanique, Génie électrique, Automatique. Chacune de ces sous parties est constituée de plusieurs exercices classés par difficulté croissante que tout candidat doit pouvoir résoudre avec un minimum de connaissance, et d'un problème dont la résolution nécessite des connaissances plus approfondies.

A-THERMODYNAMIQUE (1h30 – 15 pts)

Exercice (6 pts)

Soit trois récipients A_1 , A_2 , A_3 contenant respectivement de l'azote, de l'oxygène et de l'hydrogène (les gaz sont supposés parfaits), dans les conditions initiales (p , v , T) suivantes :

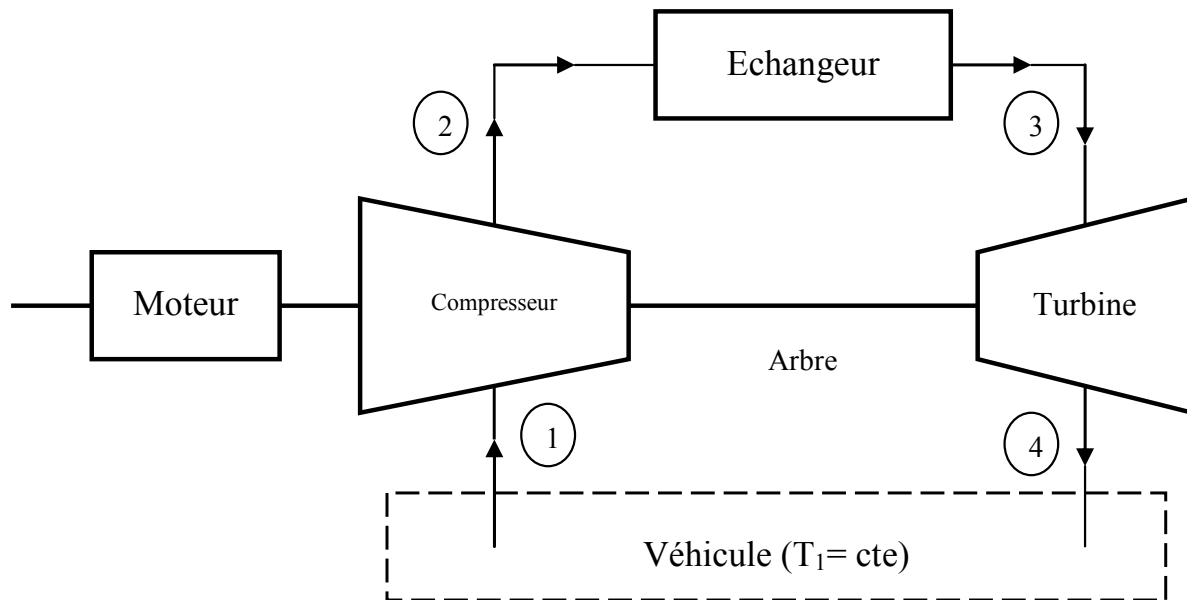
Gaz	Volume (litre)	Pression (atm)	T (K)
N ₂	37,4	2	300
O ₂	41,6	0,8	400
H ₂	16,6	5	250

On met en communication les trois récipients dont les parois sont parfaitement adiabatiques. Lorsque l'équilibre est atteint, déterminer :

1. la température T du mélange gazeux.
2. la pression totale du mélange, ainsi que les pressions partielles de chaque constituant du mélange.

Problème (9 pts)

On désire maintenir une température constante $T_1 = 17^\circ \text{C}$ dans un véhicule grâce au climatiseur schématisé ci-après.



L'air extérieur est à la température uniforme $T_0 = 32^\circ \text{C}$. L'installation qui fonctionne en régime permanent, comprend (figure) :

- **un compresseur** (entraîné par un moteur) qui aspire l'air du véhicule dans **l'état 1** ($P_1 = 1 \text{ bar}$; $T_1 = 17^\circ \text{C}$) avec un débit massique $D_m = 0,30 \text{ kg/s}$ et le comprime par voie adiabatique réversible jusqu'à **l'état 2** ($P_2 = 1,8 \text{ bar}$; T_2),

- **un échangeur** où l'air qui sort du compresseur subit un refroidissement isobare en cédant de la chaleur à l'air extérieur; à la sortie de cet échangeur, l'air est dans **l'état 3** ($P_3 = P_2$; T_3)

- **une turbine** où l'air subit une détente isotropique avant d'être éjecté dans le véhicule dans **l'état 4** ($P_4 = 1 \text{ bar}$; $T_4 = -4^\circ \text{C}$).

On donne pour l'air (supposé parfait) : masse molaire $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ et $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5}$; constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}\text{mole}^{-1}$.

1. Calculer les températures de l'air : T_2 à l'entrée de l'échangeur et T_3 à la sortie de l'échangeur.
2. Calculer la puissance thermique P_{th} de cette climatisation.
3. a) Calculer la puissance mécanique P_c absorbée par le compresseur.
b) Calculer la puissance mécanique P_T produite par la turbine.
c) Calculer la puissance mécanique P_M fournie par le moteur, si on admet que la puissance mécanique fournie par la turbine est intégralement récupérée sur l'arbre moteur du compresseur.
d) En déduire l'efficacité e de ce climatiseur.

4. On arrête le fonctionnement de ce climatiseur; au bout du temps $t_0 = 3$ mn, la température du véhicule qui était initialement $T_1 = 17^\circ$ C augmente jusqu'à $T'_1 = 24^\circ$ C.

En admettant que le transfert thermique de l'air extérieur (de température T_0) vers l'air du véhicule (de température T) pendant la durée dt est (loi de Newton) :

$$\delta Q = \alpha C(T_0 - T)dt$$

où $C = 3 \cdot 10^6$ J.K⁻¹ est la capacité thermique du véhicule, et α une constante qui caractérise l'isolation du véhicule.

- a) Établir la loi d'évolution $T(t)$ de la température du véhicule au cours du temps t , pendant l'arrêt de la climatisation.
- b) Calculer le coefficient d'isolation α de ce véhicule.

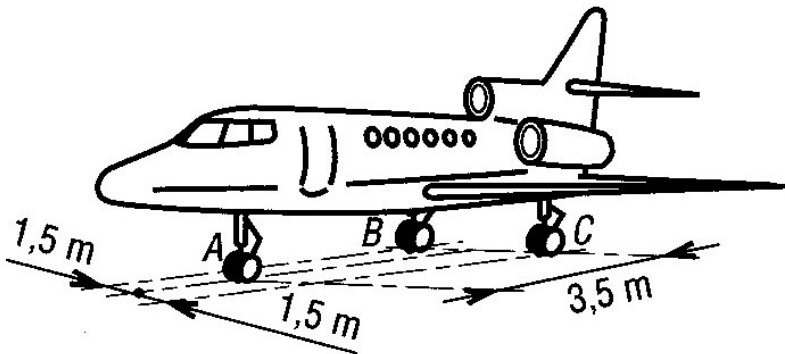
B-MECANIQUE (2 heures – 25 pts)

Exercice 1 (2,5 pts)

L'avion proposé est au repos sur une piste plane et horizontale. Les roues de l'appareil sont en contact avec le sol en A, B et C (ABC triangle isocèle). (Voir figure)

Les actions exercées par le sol sur les roues sont mesurées à l'aide d'une bascule. Les valeurs mesurées sont $A=2350$ daN, $B=3600$ daN et $C=3550$ daN.

Déterminer le poids \vec{P} de l'avion et la position de ce vecteur.

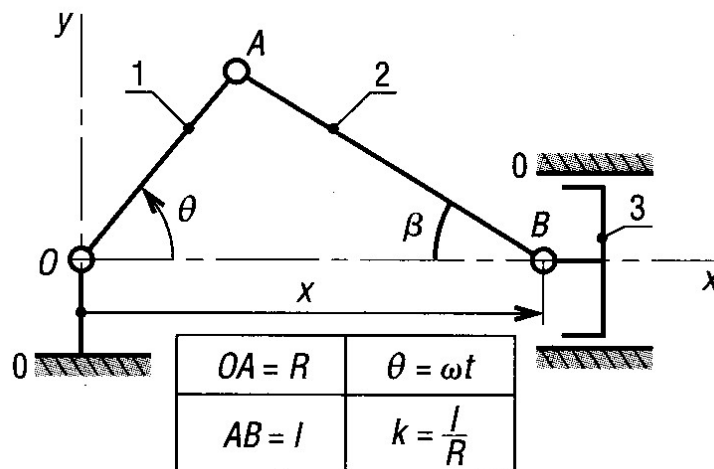


Exercice 2 (2,5 pts)

Le système bielle-manivelle sert de base à de multiples appareils (moteurs, thermiques, compresseurs, presses, etc.).

Le mécanisme se compose d'une manivelle OA (1) articulée en O sur bâti (0) et en A sur la Bielle AB (2). La bielle est articulée en B sur le piston (3) animé d'un mouvement de translation rectiligne par rapport au bâti (direction x ou OB). Les liaisons en O, A et B sont des liaisons pivots.

Ecrire les équations générales du mouvement de translation du piston.



Problème : Conditionnement linéaire de pots de yaourt (20 pts)Présentation de la conditionneuse linéaire :

- Fonction :

Conditionner le crème de yaourt en pots de 20 cl ou 50 cl. Cadences de 7500, 8100 ou 10 800 pots à l'heure.

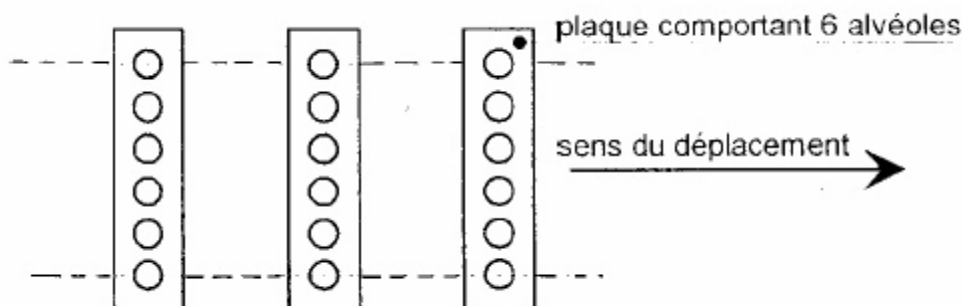
- Présentation :

L'alimentation des pots préformés, des opercules et des couvercles est assurée par des magasins (non représentés) approvisionnés par l'opérateur.

Le mécanisme assurant le fonctionnement des différents postes est situé le long de la machine. La commande mécanique est constituée d'un unique arbre à cames actionnant des balanciers, des manivelles, des bielles et des biellettes. Le tout est entraîné par un seul motoréducteur. Puissance motrice nominale : 5,5 kW.

L'ossature est constituée de barres ($\varnothing 30$ à $\varnothing 80$) en acier inoxydable. La structure est modulable et évolutive. La protection par parois vitrées permet une visualisation totale du mécanisme.

Le convoyeur assurant le transfert des pots d'un poste à l'autre n'est pas représenté sur les schémas. Il met en mouvement des plaques comportant chacune une rangée de 6 alvéoles dans lesquelles sont placés les pots (voir figure ci-dessous) :

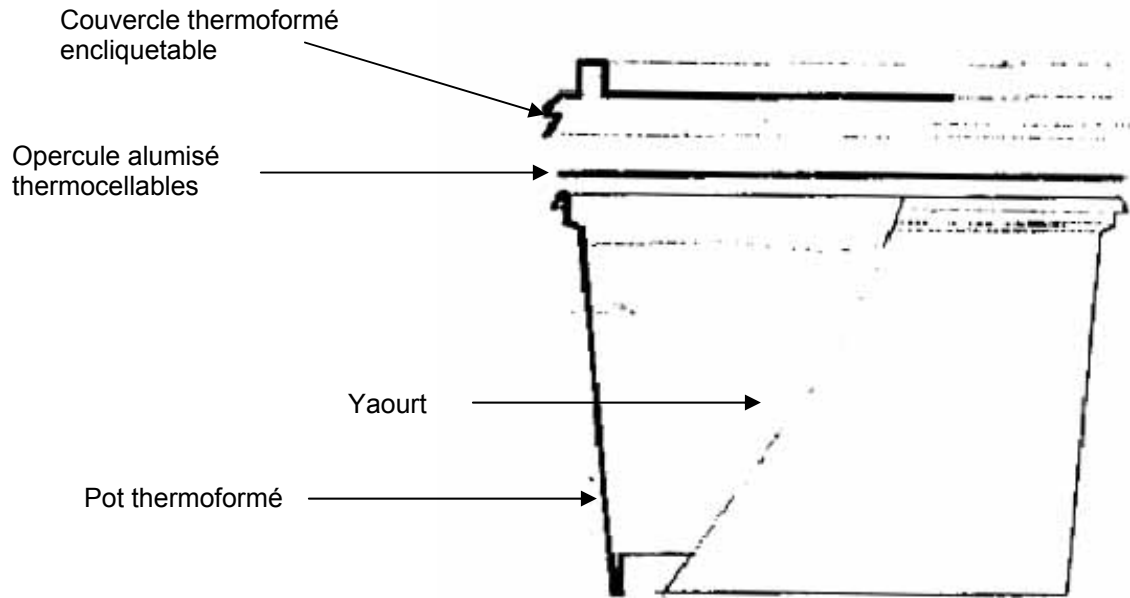


Un doseur volumétrique à 6 pistons permet le remplissage simultané d'une rangée de 6 pots. Les 6 pistons et le dispositif de refoulement du yaourt sont situés au-dessus du convoyeur de pots. Un moto réducteur de 1,5 kW commande le mécanisme du doseur par l'intermédiaires de cames, balanciers, et bielles.

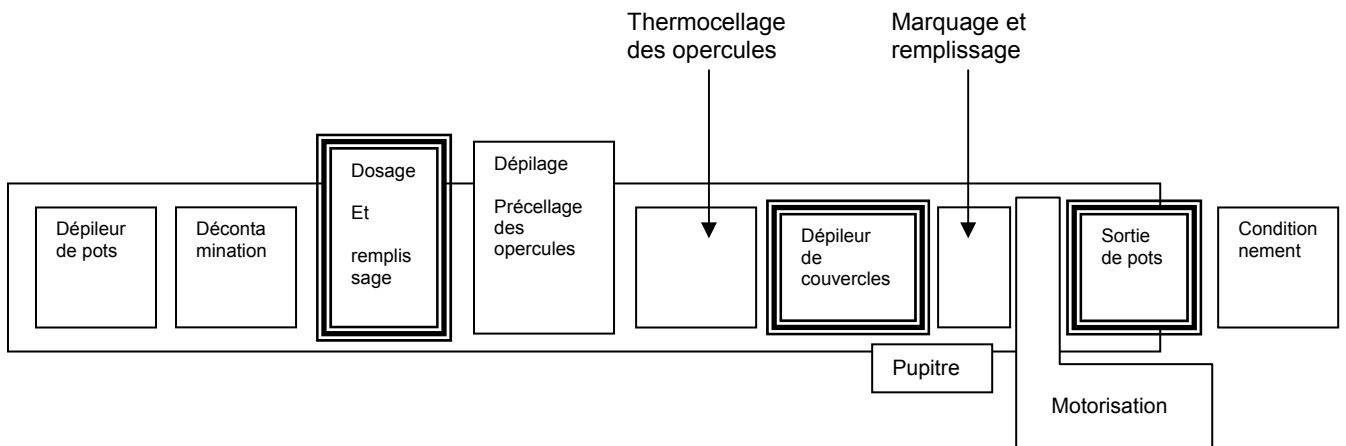
La conduite de la machine s'effectue à partir d'un pupitre équipé d'un terminal de dialogue avec visualisation.

Remarque : seuls les postes représentés en gras font l'objet de l'étude.

Schéma d'un pot de yaourt :



Disposition des différents postes de la conditionneuse linéaire :



ETUDE 1 : Etude du dépileur de couvercles

Objectif : Calcul des actions sur l'axe 15 en situation dynamique afin de vérifier le choix des coussinets.

Documents techniques à utiliser : *documents techniques DT3, DT4, DT5 et DT7.*

Hypothèses :

- L'effet du poids propre des pièces 2, 5, 6 et 7 est négligeable par rapport à l'intensité des autres actions.
- Les frottements sont considérés comme négligeables dans toutes les liaisons.
- La rotation de l'ensemble mobile (5 + 18 + 4' + 4) s'effectue sur 150° en 0,23 secondes.
- L'arbre support de ventouse 18 et les supports de ventouse sont en acier inoxydable (masse volumique 7,8 kg/dm³) pour des raisons sanitaires (nettoyage à la vapeur)
- La longueur de l'arbre 18 est de 1100 mm et son diamètre 80 mm.
- Les 12 supports des ventouses en acier inox seront assimilés en première approximation à des disques de diamètre 140 mm et d'épaisseur e=20 mm dont le centre de gravité est placé à 65 mm de l'axe de rotation (voir le document technique 7/9 fig 2 et fig 3)
- Le centre de gravité de l'ensemble mobile est sur l'axe de rotation G₀Y (masse de 5 négligée)
- Lors du démarrage, l'accélération angulaire instantanée maximale absolue de l'ensemble (4+4'+5+18) par rapport au bras 3 a pour valeur $\theta''_{18/3} = 800 \text{ rad/s}^2$ (valeur obtenue par simulation numérique)
- Dans l'étude demandée, on négligera les effets d'inertie appliqués à l'ensemble (5 + 18 + 4' + 4) dans le mouvement de 3 par rapport au bâti.

L'altération des coussinets 16 est due essentiellement aux actions mécaniques engendrées par les effets dynamiques de la mise en rotation de l'ensemble (4, 4', 5, 18) par rapport à un repère (G₀, X₁, Y₁, Z₁) (voir *document technique DT4*). On négligera l'inertie du levier par rapport à l'axe G₀Y.

Question 1.1

L'objectif de la question est de déterminer le moment d'inertie de l'ensemble en rotation par rapport à l'axe G₀Y (voir figure 2 et 3 sur le *document technique DT7*). Pour cela :

- a) Déterminer la masse de 18 M_{18}
- b) Déterminer le moment d'inertie de 18 JG_{OY18}
- c) Déterminer la masse de 4 M_4
- d) Déterminer le moment d'inertie de 4 JG_{4Y4}
- e) En déduire le moment d'inertie de 4 par rapport à l'axe 18 $JG_{4O4/18}$

Rappel : $J\Delta = JG_Y + Md^2$

G_Y est un axe passant par le centre de gravité du solide

Δ est un axe parallèle au précédent et distant de d

- f) En déduire le moment d'inertie total par rapport à l'axe 18 $JG_{OY} \text{ total}$

Question 1.2

Déterminer le moment $M_{G_{OY}}$ minimal nécessaire pour provoquer la rotation de l'ensemble (4 + 4' + 5 + 18).

Rappel de la loi générale : $J_{\Delta}\theta'' = \Sigma M_{\Delta}$.

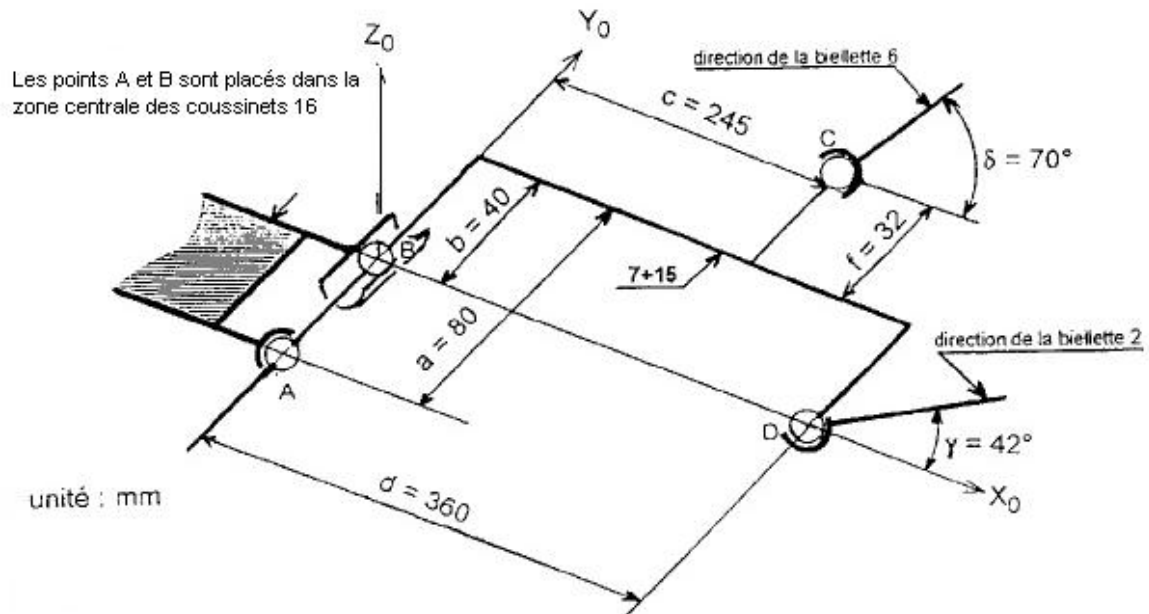
Prendre $JG_{OY} = 0,2 \text{ kg m}^2$

Question 1.3

Déterminer, dans la position initiale, l'action $F_{6/5}$ nécessaire pour provoquer la rotation, les frottements dans la liaison pivot seront négligés. Le levier 5 est représenté dans la position initiale sur la fig 4 du *document technique DT7*.

Question 1.4

Le système isolé (7+15) est modélisé ci-dessous. Donner le nom d'un tel schéma, et le nom des liaisons en A, B, C et D (pivot, rotule, glissière, etc...).

**Question 1.5**

Le *document technique DT5* contient les résultats numériques du calcul informatique relatifs aux actions extérieures du système isolé (7+15) dans la position de démarrage.

- Ecrire sous forme littérale les torseurs des actions extérieures du système isolé (7+15).
- Préciser les composantes qui sont nulles et celles qui sont connues partiellement ou totalement, justifier les réponses.

Données et hypothèses :

Les torseurs seront exprimés par leurs éléments de réduction (X, Y, Z, L, M, N) au centre de la liaison considérée. Prendre $\|\vec{C}_{6/7}\| = 350 \text{ daN}$

Les axes des biellettes 6 et 2 évoluent dans des plans parallèles au plan (G0, X0, Z0)

ETUDE 2 : Etude de la sortie des pots

Objectif : déterminer la vitesse minimale du tapis.

Documents techniques à utiliser : *document techniques DT6 et DT8.*

Hypothèses :

- Masse des pots : 200g ou 500g pour des diamètres respectifs de 90 mm ou 120 mm.
- Cadence maxi : 10800 pots à l'heure.
- Les pots avancent par rangées de six (longueur de la rangée=850 mm) (voir *document technique DT8*).
- Tous les pots doivent être évacués par le tapis avant l'arrivée d'une nouvelle rangée.
- Les barres 4 sont réparties tous les 660 mm.
- La vitesse d'un pot par rapport au tapis est nulle quand il est totalement dessus (quand la barre 4 a fini de le pousser)

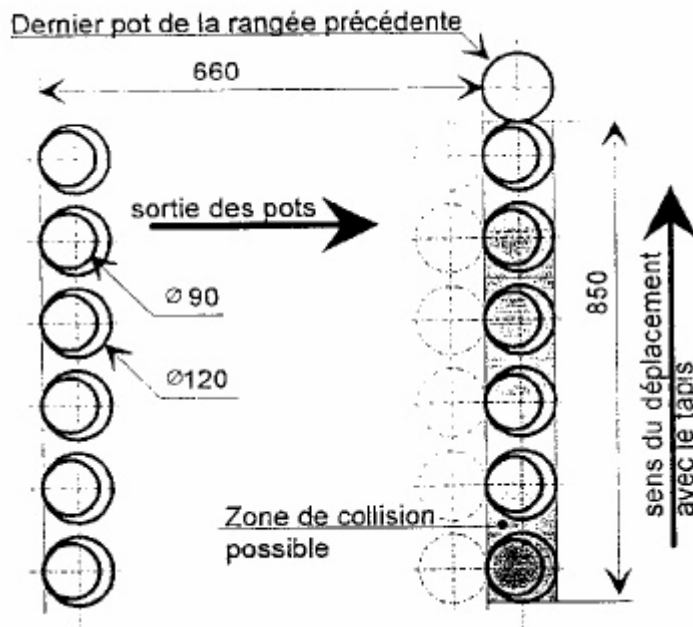
Question 2.1

Calculer le temps (t_1) qui s'écoule entre l'évacuation de deux rangées consécutives de pots.

Calculer la vitesse linéaire moyenne (V_{lx}) de sortie des pots (suivant l'axe x – cf *document technique DT8*).

Question 2.2

L'évacuation des pots est schématisée ci-dessous :



Calculer la durée maximale (t_e) nécessaire à l'évacuation d'une rangée de pots par le tapis (il ne doit pas se produire de collision entre les pots venant de la table de glissement et les pots en cours d'évacuation par le tapis). Indiquer les hypothèses retenues pour le calcul.

Question 2.3

Calculer la vitesse minimale du tapis ($V_{y \text{ tapis}}$) suivant l'axe y en prenant comme base de calcul un temps d'évacuation de 1,4s.

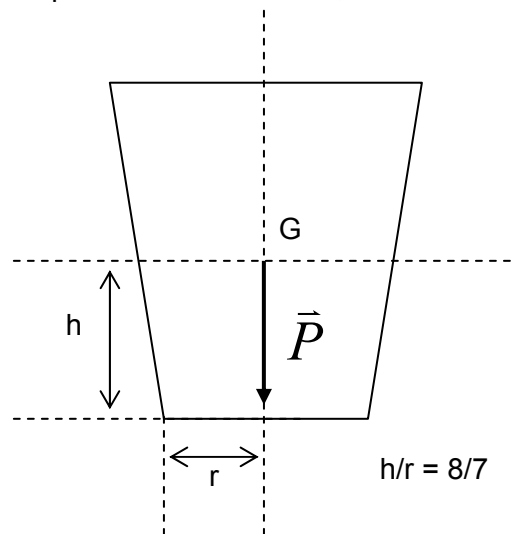
Question 2.4

La mise en mouvement suivant l'axe y se fait progressivement à partir de l'instant où chaque pot entre en contact avec le tapis. Pour simplifier, on considère que la vitesse d'un pot par rapport au tapis est nulle quand il est totalement dessus (prendre $V_{y \text{ tapis}} = 0,75 \text{ m/s}$)... La mise en mouvement sera assimilée à un mouvement uniformément accéléré.

Calculer le temps (t_2) de mise en vitesse d'un pot et l'accélération (a) qui en résulte.

Question 2.5

Un pot peut être représenté par le schéma suivant, G étant son centre de gravité :



Vérifier s'il y a risque de basculement des pots pendant leur phase d'accélération.

Hypothèse simplificatrice : l'étude est conduite lorsque l'action du tapis sur le pot devient prépondérante par rapport à l'action de la barre et à l'action de la table de glissement (l'action de la barre et celle de la table de glissement seront négligées).

NB : le mouvement des pots par rapport au bâti est un mouvement de translation uniformément accéléré d'axe y.

ETUDE 3 : Etude du doseur

Objectif : vérifier les tiges de poussée 13.

Documents techniques à utiliser : *documents techniques DT1 et DT2.*

Question 3.1

Déterminer l'effort maximal appliqué sur les tiges de poussée 13.

Cet effort est du à l'action de la crème de yaourt sur les 6 pistons 32 (Ø 75 mm). La contre-pression sur les membranes d'aspiration est 2,3 bars, c'est également la pression limite de refoulement du yaourt.

Question 3.2

L'objectif est de déterminer l'effort sur les tiges de poussée.

Les hypothèses envisagées, l'étude du mécanisme et l'exploitation des résultats fournis par le logiciel nous donnent un effort sur chaque tige de poussée de 300 daN (pendant la phase de refoulement).

- a) Déterminer la valeur de la charge admissible des tiges de poussée 13 sollicitées au flambage (voir *document technique DT9*)

Données :

Longueur : 700 mm

Diamètre : 25 mm

Matériau : Z15CN18-8 (Re=250 MPa ; Rpe=50 MPa ; E=21.10⁴ MPa)

Rappel : $I_{Gz} = (\pi d^4)/64$

- b) Les deux tiges de poussée 13 sont réglées à une longueur de 700 mm (*document technique DT1*). En cas de dérèglement de la longueur d'une tige, une seule est-elle capable de transmettre l'effort total dans des conditions admissibles ?