

BTS Mécanique & Automatismes Industriels

EPREUVE E4

CONCEPTION DETAILLEE DE LA PARTIE OPERATIVE

Sous-épreuve 41

Dimensionnement et validation des parties opératives

Durée : 3 heures

Coefficient : 2

SYSTEME DE SECURITE PARACHUTE

AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISE

MOYENS DE CALCUL AUTORISES : Calculatrice électronique de poche, y compris calculatrice programmable et alphanumérique à fonctionnement autonome.

DOCUMENTS REMIS AUX CANDIDATS :

- **PRESENTATION GENERALE** (feuilles blanches) pages 1 à 4
- **TRAVAIL DEMANDE** (feuilles jaunes) pages 5 à 12

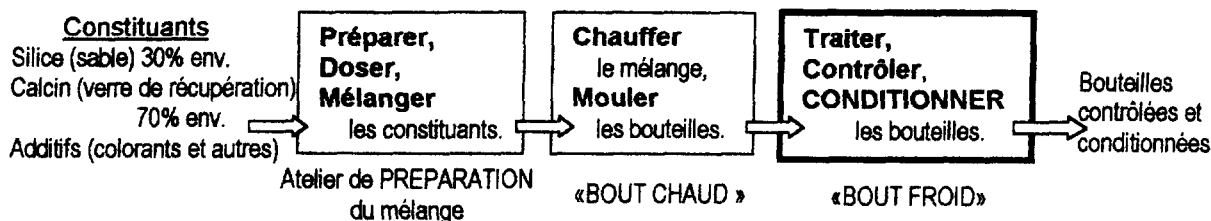
Compétence CP 33 - Dimensionner, évaluer les performances d'une solution opérative et choisir un constituant ou un composant opératif.
- **DOCUMENTS RESSOURCE** (feuilles vertes) pages 13 à 15

Chaque partie du travail demandé sera traitée sur une feuille de copie séparée.

PRESENTATION GENERALE

Cette étude a pour support l'une des lignes de production d'une entreprise de fabrication de produits verriers : bouteilles, fioles, flacons,...

Organisation du processus

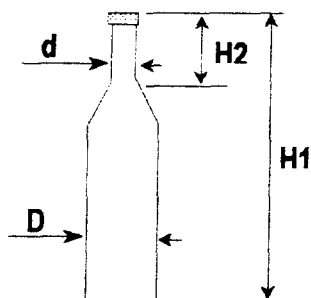


Le produit

Les types de bouteilles produits par cette entreprise sont caractérisés par la forme, la contenance, la couleur et la qualité de verre.

Nous limiterons la présentation des produits aux types de bouteilles ci-dessous :

Type de bouteille	Code	Contenance en cl	Dimensions en mm				Masse théorique en grammes
			H1	D	d	H2	
Bordelaise tradition	042.012	76.7	300.5	76.6	28.7	69.5	540
Bordelaise évolution	402.002	76.7	300.5	76.3	28.7	76.5	450
Bordelaise allégée	226.005	77.0	279	76.5	28.5	66	370
Bourgogne tradition	195.109	76.7	296	82	28.7	55	580
Bourgogne grande tradition	415.601	76.7	293.8	86.6	28.7	56	660
Bourgogne allégée	110.005	77.0	272	81.3	28.7	60	380



Le code permet d'identifier les caractéristiques du verre :

- composition chimique,
- traitement de surface et qualité,
- couleur : transparent, vert clair, vert sombre, ...
- la variété des formes.

D et H1 : Diamètre et hauteur de la bouteille.

d et H2 : Diamètre et hauteur du goulot.

Son conditionnement

Le conditionnement en **palettes** des produits est très varié et découle de la diversité dimensionnelle des bouteilles fabriquées :

- voir Figure 1 et Figure 2 de la page 2.

La caractéristique principale de palettisation est le nombre total de bouteilles qui dépend :

- du nombre de bouteilles par rangée,
- du nombre de rangées par couche (appelée lit),
- du nombre de lits par palette.

PALETTISEUR DE BOUTEILLES VIDES

Figure 1 : Exemples de rangements en lit

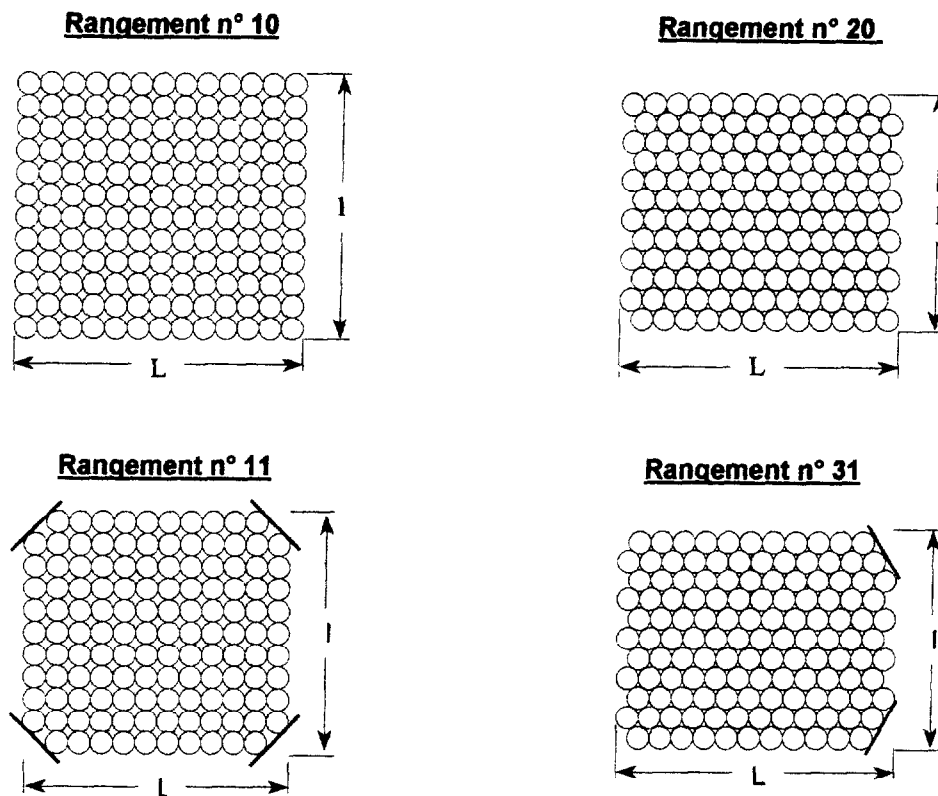
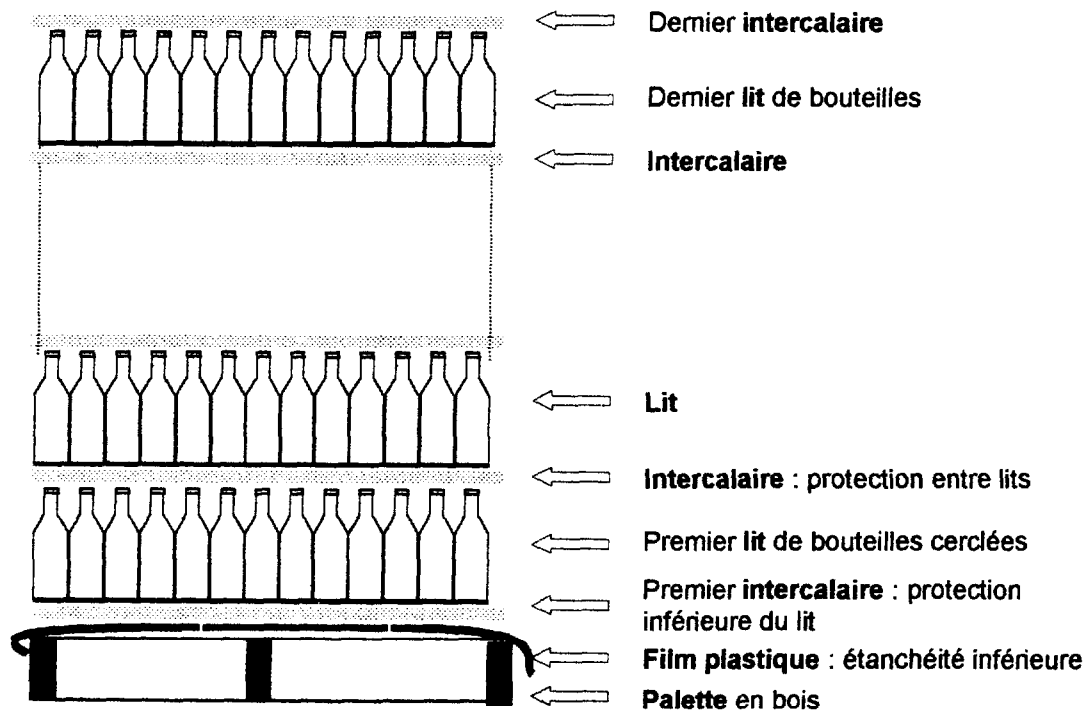


Figure 2 : Exemple de palettisation des lits cerclés



PALETTISEUR DE BOUTEILLES VIDES

Quelques éléments du cahier des charges fonctionnel (selon normes NF X50-150 à 151)

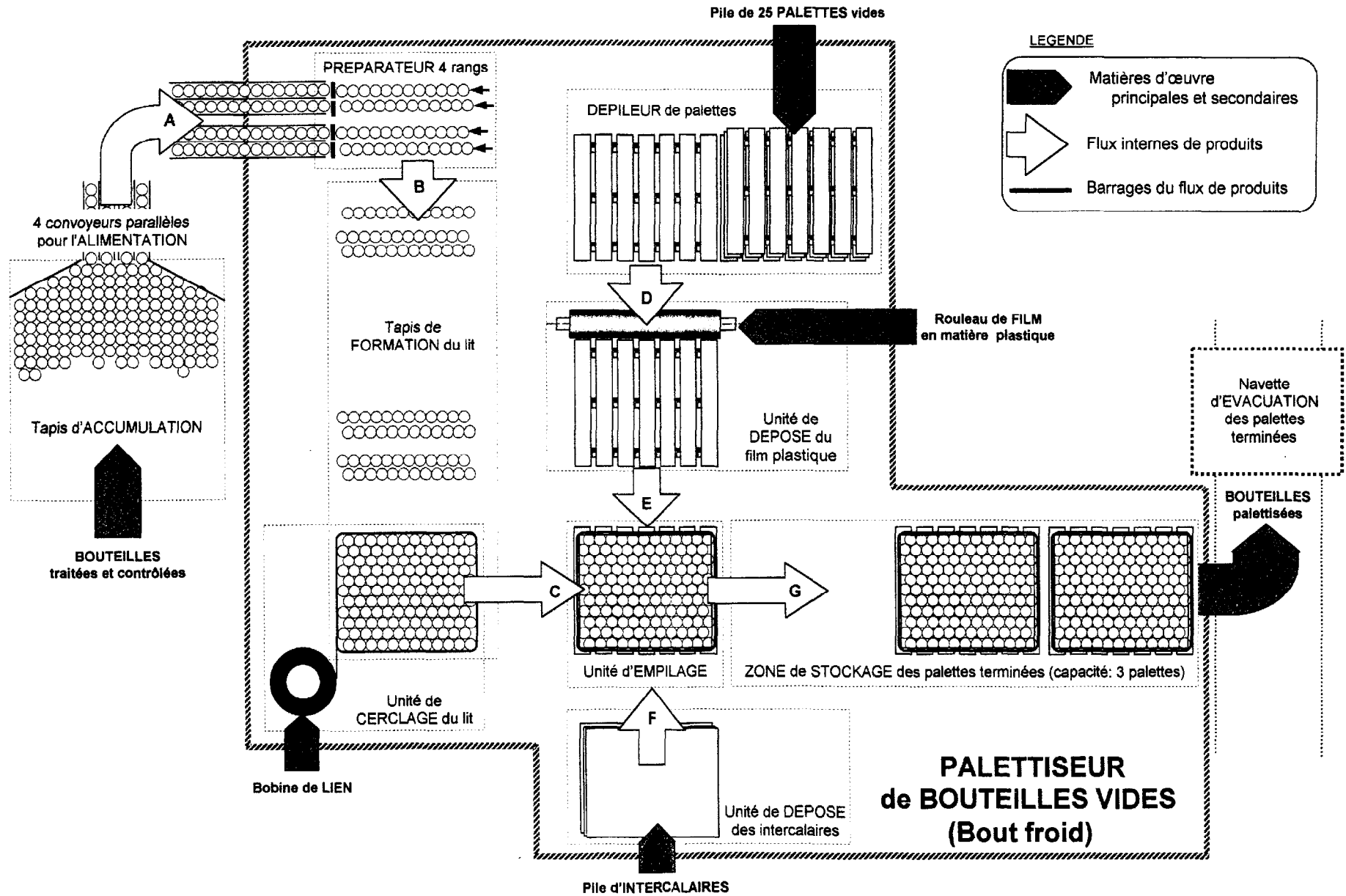
	Fonction	Critères d'appréciation	Niveau	Flexibilité
FS1	PALETTISER des bouteilles vides.	Type de bouteilles : dimensions, poids... Nombre de bouteilles par palettes : - nombre de bouteilles par rangée, - nombre de rangées par lit, - nombre de lit par palette. Cadence minimum : Temps de production : - journalier, - hebdomadaire. Disponibilité :	Voir page 1. Voir figure 1 et figure 2. 180 bouteilles par minute. 3 fois 8 heures. 7 jours sur 7. 90%	F0 F0 F0 F1 F1
FS2	EXPLOITER et MAINTENIR de façon aisée.	Nombre d'opérateurs : - en exploitation. - en maintenance.	1 opérateur sur 2 lignes. 2 opérateurs.	F0 F1
FS3	ASSURER la sécurité des personnes.	Risques sur cas de défaillance. Intervention de maintenance sécurisée.	Normes NF EN 292-1 et 2.	F0
FS4	PROTEGER les biens et matériels sur défaillance énergétique ou mécanique.	Pas de chute d'organes machine.	Temps d'immobilisation par verrouillage mécanique fonction de l'organe sécurisé.	F1

Fonctionnement du palettiseur de bouteilles

Le principe de fonctionnement du palettiseur est décrit à la page 4 et complété par le tableau ci-dessous.

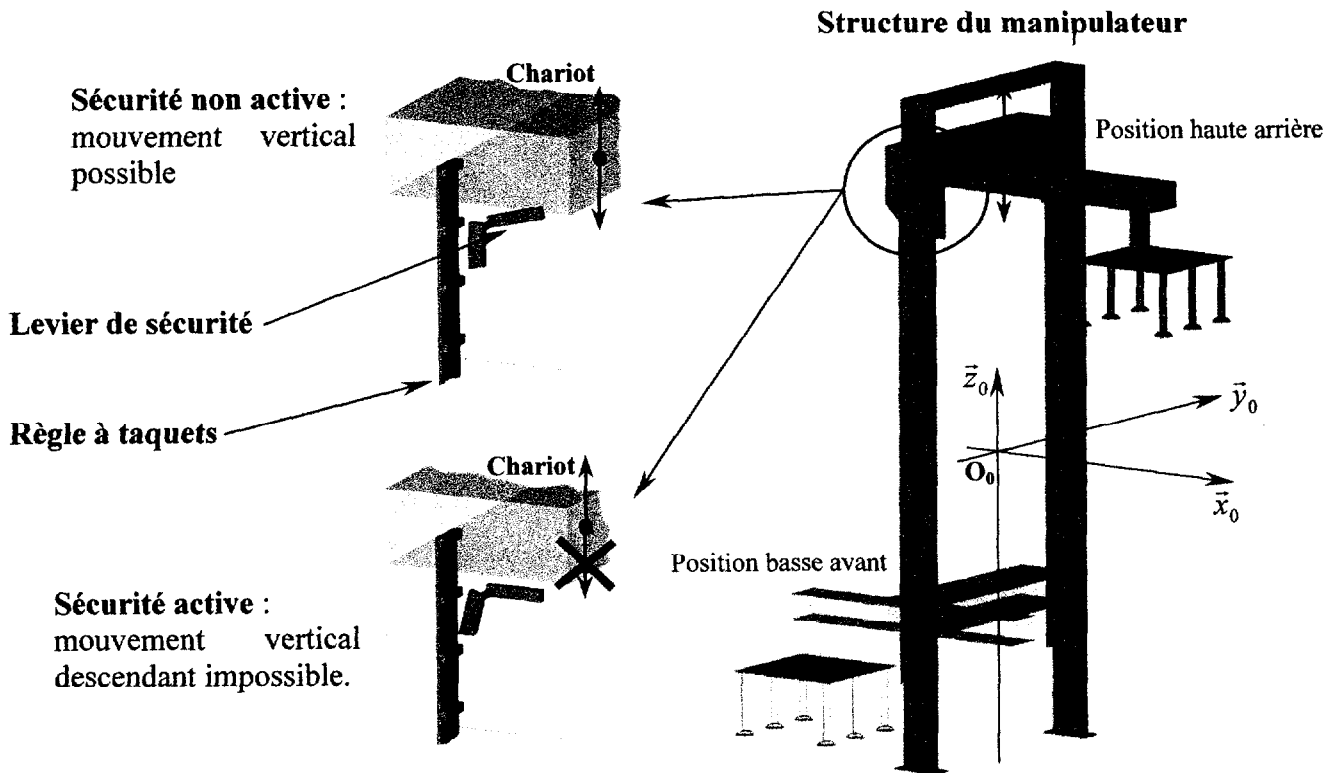
Déplacement	Fonction	Sous-ensembles opératifs	Observations
A	ALIMENTER en bouteilles traitées et contrôlées.	Quatre convoyeurs parallèles.	Fonctionnement continu. Vitesse : 15 à 30 m/min.
B	PREPARER et TRANSFERER une à quatre rangées de bouteilles selon le besoin.	Quatre barrières d'interruption de flux. Quatre butées automatiques. Préhenseur pneumatique à quatre rangées.	Non représenté.
C	FORMER, LIER et TRANSFERER le lit de bouteilles.	Tapis de formation du lit. Unité de cerclage. Préhenseur pneumatique à boudins.	Vitesse : 12 à 20 m/min. Non représenté.
D et E	DEPILER, COUVRIR d'un film et AMENER les palettes vides.	Convoyeur et poussoir.	Non représentés.
F	DEPOSER les intercalaires lors du montage de la palette.	Préhenseur à ventouses.	Non représenté.
G	EVACUER et STOCKER la palette terminée.	Convoyeurs à rouleaux motorisés indépendants.	Trois palettes peuvent être stockées en attente de la navette.

PALETTISEUR DE BOUTEILLES VIDES



SYSTEME DE SECURITE PARACHUTE

L'ensemble des problèmes techniques abordés se situe au niveau du dispositif de sécurité anti-chute du système de dépose d'intercalaires et de coiffes décrit dans le dossier de présentation. La structure simplifiée du manipulateur réalisant cette opération est donnée ci-dessous. Le but de l'étude est de dimensionner les éléments constituant ce dispositif de sécurité.



Il y a un système de sécurité identique de part et d'autre du chariot.

Problèmes techniques abordés :

- 1^{ère} partie - Vérifier les composants du guidage du levier de sécurité
- 2^{ème} partie - Dimensionner les constituants d'assemblage des éléments du levier
- 3^{ème} partie - Choisir le ressort de rappel

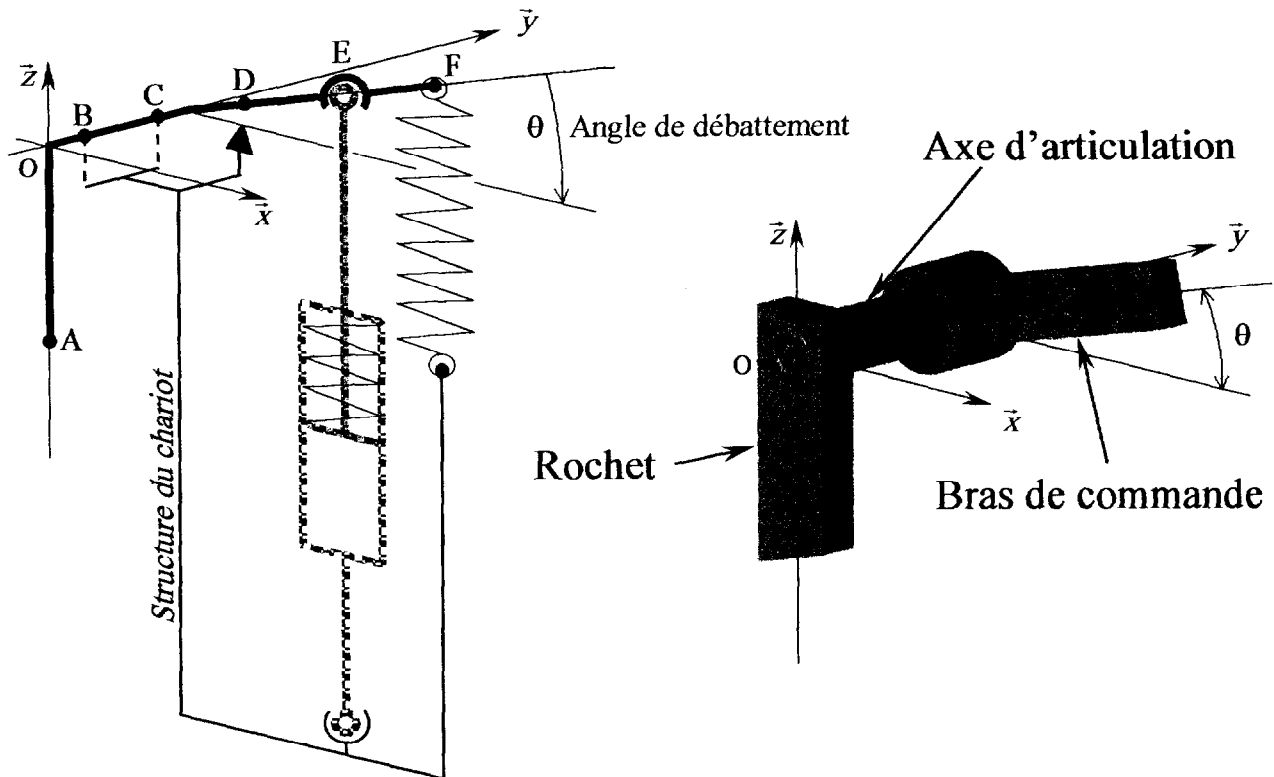
Les trois problèmes sont indépendants et peuvent être traités séparément.

DONNEES GENERALES

Une étude d'avant projet a permis de déterminer une architecture globale du mécanisme de sécurité. Les solutions constructives retenues sont les suivantes :

- Actionneur → vérin pneumatique simple effet.
- Guidage en rotation du levier par 2 coussinets autolubrifiants.
- Structure du levier mécano-soudé.
- Blocage de l'ensemble sur une règle à taquets.

La géométrie, la terminologie et une partie de la modélisation du levier de sécurité sont données ci-dessous :



Avec respectivement :

- A point de contact, lors du blocage, entre le taquet et le rochet.
- B centre géométrique du premier élément de guidage de l'axe d'articulation.
- C centre géométrique du deuxième élément de guidage de l'axe d'articulation.
- D point de contact, lors du blocage, entre le bras de commande et la butée limitant son débattement
- E centre géométrique de la liaison entre le vérin et le levier.
- F point d'accrochage du ressort de rappel.

Il y a deux types de fonctionnement possibles de ce dispositif de sécurité :

- En activité de maintenance : lors de toute intervention à l'intérieur du périmètre de sécurité le système doit être actif.
- En fonctionnement normal : lors d'un incident technique occasionnant la chute du chariot vertical du manipulateur.

1^{ère} partie – Vérifier les composants du guidage répondre sur feuille(s) de copie distincte(s)

Nota : les questions soulignées sont indépendantes (exemple : Q1.3.1)

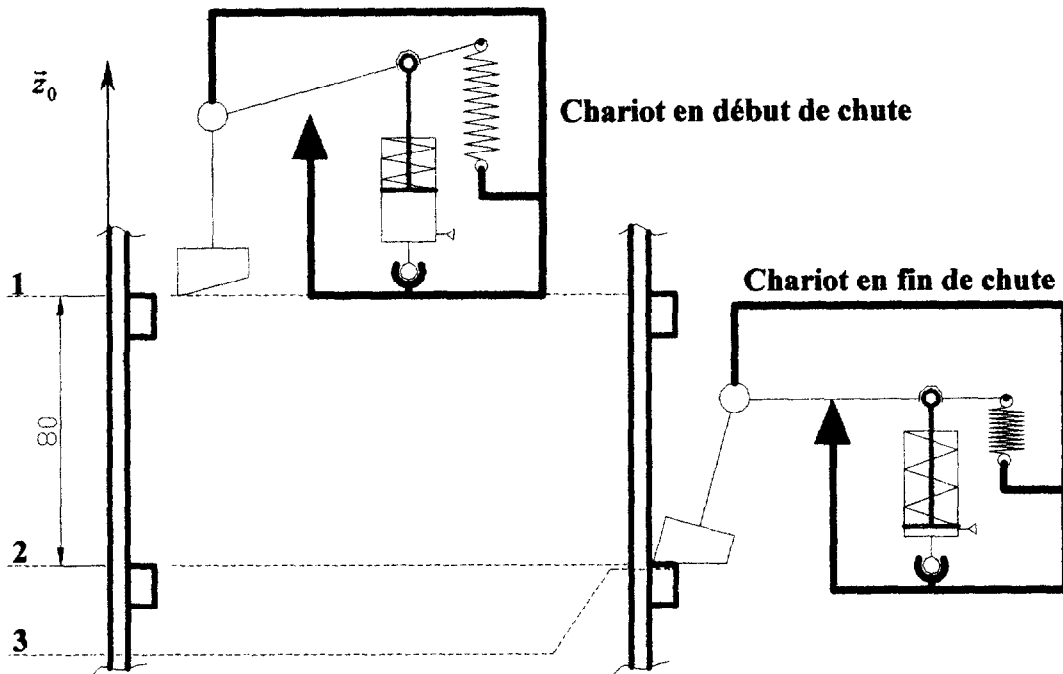
Problème technique rencontré

Pour vérifier la tenue mécanique des composants du guidage ainsi que les dimensions caractérisant la résistance du levier de sécurité, il est nécessaire de déterminer les efforts maximaux qu'ils devront supporter au cours du fonctionnement. Ces composants sont le plus sollicités lors d'un incident technique (rupture d'un élément de transmission, coupure d'énergie, etc.) occasionnant une chute du chariot vertical du manipulateur.

1.1 - DETERMINATION DE L'EFFORT D'IMPACT SUR LE ROCHET

Hypothèses et Données

- Le repère $\mathcal{R}_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ lié au sol est supposé galiléen. Le repère $\mathcal{R}(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, lié au chariot vertical est en translation rectiligne d'axe (O_0, \vec{z}_0) par rapport au bâti.
- Le problème possède un plan de symétrie vertical $(O_0, \vec{x}_0, \vec{z}_0)$.
- Les liaisons seront supposées parfaites.
- La masse totale du chariot est de 300 kg.
- g accélération de la pesanteur = $9,81 \text{ m/s}^2$, avec (O_0, \vec{z}_0) axe vertical ascendant.
- Les actions mécaniques de contact des taquets sur les leviers ont pour direction l'axe (O_0, \vec{z}_0) . Ces efforts sont considérés comme constants lors du choc entre levier et taquet.
- On étudie la chute dans la configuration suivante :



En 1 → à la date $t_1 = 0$, lâché sans vitesse initiale du chariot.

↓ chute libre sur 80 mm

En 2 → à la date t_2 , les rochets des deux leviers entrent en contact avec les taquets de chaque coté.

↓ déformation de la structure (taquet + règle+bâti)
évaluée à 5 mm

En 3 → à la date t_3 , arrêt du chariot.

Questions

Q1.1.1 Calculer la durée de la chute $t_{12} = t_2 - t_1$ de 1 à 2.

Q1.1.2 Calculer la vitesse du chariot v_2 en 2.

Q1.1.3 Montrer que l'énergie cinétique du chariot en 2 a pour valeur $E_c \approx 235$ J.

Q1.1.4 Montrer que la force F développée par un taquet sur le chariot de 2 à 3 est $\|\vec{F}\| \approx 25000$ N

1.2 – ETUDE DES EFFORTS SUR LE LEVIER

Hypothèses et Données

- Compte tenu des efforts mis en jeu, le poids du levier, l'effort de rappel du vérin sur le levier au point E ainsi que l'action du ressort de rappel au point F seront négligés.
- Les liaisons seront supposées parfaites.
- Le levier est en position d'équilibre ; il est en contact avec le taquet en A et avec la butée en D. Les torseurs d'actions mécaniques en ces points sont donnés ci-dessous (en N et N.m) :

$$A \left\{ \mathcal{G}(\text{taquet} \rightarrow \text{levier}) \right\}_{\mathcal{R}} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \hline 25000 & 0 \end{array} \right\}_{\mathcal{R}} \quad \text{et} \quad D \left\{ \mathcal{G}(\text{butée} \rightarrow \text{levier}) \right\}_{\mathcal{R}} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \hline Z_D & 0 \end{array} \right\}_{\mathcal{R}}$$

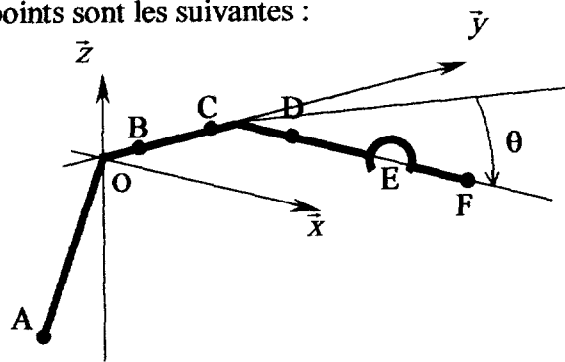
- Les coordonnées en mm dans \mathcal{R} des points sont les suivantes :

$$A (-23, 0, -92)$$

$$B (0, 23, 0)$$

$$C (0, 60, 0)$$

$$D (50, 92, 0)$$



Questions

Q1.2.1 Proposer en B et C des liaisons dont la liaison équivalente est une liaison pivot.

Q1.2.2 Les torseurs d'actions mécaniques de contact en B et C sont donnés ci-dessous :

$$B \left\{ \mathcal{G}(\text{chariot} \rightarrow \text{levier}) \right\}_{\mathcal{R}} = \left\{ \begin{array}{c|c} X_B & 0 \\ Y_B & 0 \\ \hline Z_B & 0 \end{array} \right\}_{\mathcal{R}} \quad \text{et} \quad C \left\{ \mathcal{G}(\text{chariot} \rightarrow \text{levier}) \right\}_{\mathcal{R}} = \left\{ \begin{array}{c|c} X_C & 0 \\ 0 & 0 \\ \hline Z_C & 0 \end{array} \right\}_{\mathcal{R}}$$

Calculer les actions mécaniques (en N) exercées sur le levier en B, C et D.

Q1.2.3 Dédire de l'analyse des efforts ou des résultats précédents le moment de torsion M_t (en N.m) s'exerçant sur l'axe d'articulation du levier de sécurité.

1.3 – VERIFICATION DES ELEMENTS DE GUIDAGE

Hypothèses et Données

- Un calcul préalable a permis de déterminer que l'élément de guidage le plus chargé supporte un effort radial de 30 600 N.
- Lors de l'avant projet, l'élément de guidage retenu avait pour désignation : Coussinet METAFRAM BP 25, C 30 / 38 x 25
Voir document ressource DR 1.

Questions

Q1.3.1 Ce coussinet supporte-t-il la charge imposée ? Justifier votre réponse.

Q1.3.2 Déterminer un nouveau coussinet (le plus proche d'un point de vue du diamètre avec la possibilité de changer de matériau) qui sera capable de satisfaire les conditions du problème. Justifier votre choix et indiquer sa désignation.

2^{ème} partie – Dimensionner les constituants d'assemblage des éléments du levier

répondre sur feuille(s) de copie distincte(s)

Nota : les questions soulignées sont indépendantes (exemple : Q2.3)

Problème technique rencontré

Le levier de sécurité est constitué de trois éléments assemblés par liaison encastrement.

Levier = rocher + axe d'articulation + bras de commande

L'avant projet a permis de retenir deux types de solutions pour réaliser ces liaisons :

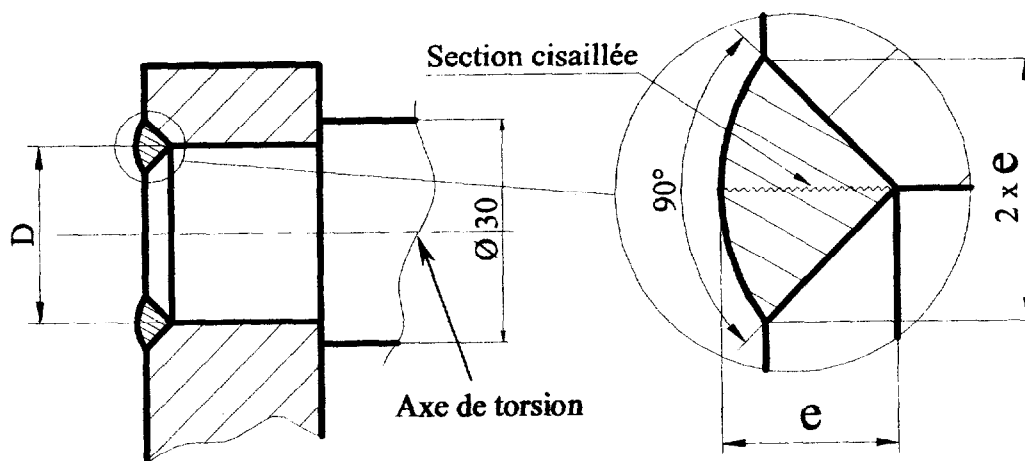
- Pivot glissant comme liaison de base + soudure.
- Pivot glissant comme liaison de base + clavette.

Le problème consiste maintenant à valider ces solutions constructives.

2.1 – VERIFICATION DE LA SOLUTION « MECANO-SOUDEE »

Hypothèses et Données

- Voir document ressource DR2 : formulaire de résistance des matériaux.
- Le dessin partiel de l'avant projet est donné ci-dessous :



- Seule la sollicitation en torsion autour de l'axe d'articulation sera prise en compte avec $M_t = 570 \text{ N.m}$
- On suppose que tous les éléments sont constitués du même acier dont les caractéristiques sont les suivantes :
 - $R_{\text{mini}} = 590 \text{ MPa}$
 - $R_{\text{e mini}} = 335 \text{ MPa}$
 - $R_{\text{pe mini}} = 223 \text{ MPa}$
 - $R_{\text{eg mini}} = 235 \text{ MPa}$
 - $R_{\text{pg mini}} = 156 \text{ MPa}$

Questions

Q2.1.1 Calculer la contrainte (en MPa) subie par le cordon de soudure pour $e = 3 \text{ mm}$ et $D = 20 \text{ mm}$. Ecrire la condition de résistance. Est-elle vérifiée ?

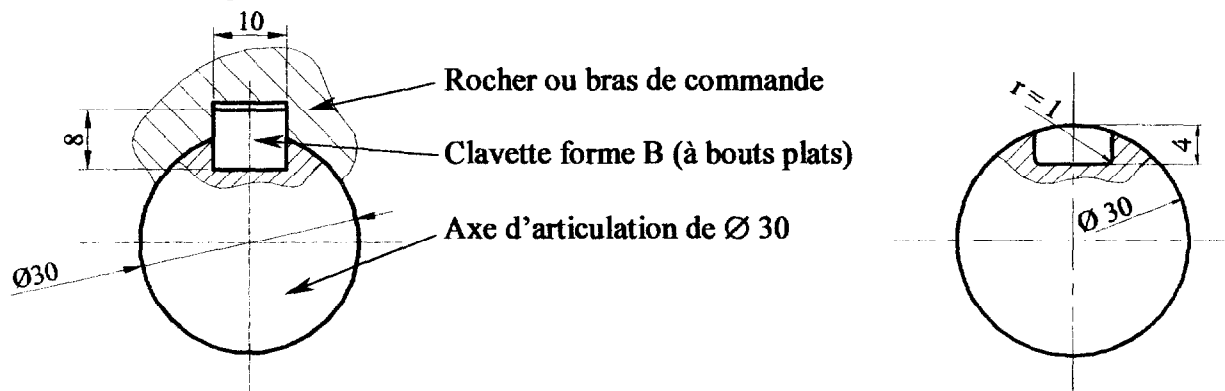
Q2.1.2 Avec $D = 30 \text{ mm}$ correspondant à un axe sans épaulement, déterminer l'épaisseur e (en mm) du cordon de soudure satisfaisant effectivement cette condition.

Q2.1.3 Avec $D = 30 \text{ mm}$, calculer la contrainte maximale (en MPa) de l'axe en torsion. Ecrire la condition de résistance. Est-elle vérifiée ?

2.2 – VERIFICATION DE LA SOLUTION « CLAVETEE »

Hypothèses et Données

- Le dessin partiel de l'avant projet est donné ci-dessous



- Dans ce domaine d'utilisation de la clavette (élément de sécurité) le calcul au cisaillement est prépondérant par rapport au calcul au matage. Donc seule la sollicitation au cisaillement de la clavette sera prise en compte avec comme moment transmis par cet axe $M_t = 570 \text{ N.m}$
- L'acier retenu constituant les divers éléments possède les caractéristiques suivantes :
 - $R_{\text{mini}} = 590 \text{ MPa}$
 - $R_{e \text{ mini}} = 335 \text{ MPa}$
 - $R_{pe \text{ mini}} = 223 \text{ MPa}$
 - $R_{eg \text{ mini}} = 235 \text{ MPa}$
 - $R_{pg \text{ mini}} = 156 \text{ MPa}$

Questions

Q2.2.1 Calculer l'effort tranchant (en N) auquel est soumise la clavette.

Q2.2.2 Déterminer la longueur minimale (en mm) que devra avoir la clavette à partir de la condition de résistance au cisaillement de celle-ci.

Q2.2.3 En vous aidant du document ressource DR 2, calculer la contrainte maximale (en MPa) de l'axe en torsion en tenant compte de la concentration de contrainte localisée autour de la rainure. Ecrire la condition de résistance. Est-elle vérifiée ?

Q2.2.4 Choisir un nouvel acier parmi ceux proposés sur le document ressource DR 2 en tenant compte des critères suivants :

- coefficient de sécurité de 1,5
- axe d'articulation de $\varnothing 30 \text{ mm}$
- contrainte maximale de l'axe en torsion $\tau_{\text{max}} = 335 \text{ MPa}$

3^{ème} partie – Choix du ressort de rappel

répondre sur feuille(s) de copie distincte(s)

Nota : les questions soulignées sont indépendantes (exemple : Q3.3)

Problème technique rencontré

Lorsque le dispositif se déclenche, le levier de sécurité est actionné par un ressort de traction et non par le vérin simple effet. Inversement le vérin ramènera le levier en position d'origine. Le problème posé consiste donc à choisir le ressort.

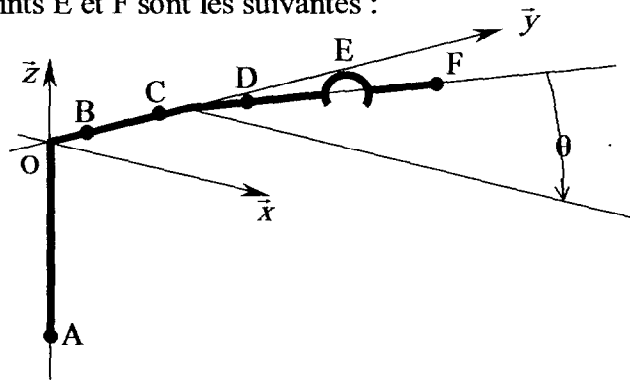
Hypothèses et Données

- Les liaisons seront supposées parfaites.
- Les effets dynamiques dus à la chute de chariot seront négligés.
- L'action du vérin simple effet (en rentrée de tige) est négligeable.
- Les coordonnées en mm dans \mathcal{R} des points E et F sont les suivantes :

$$F (144 , 92 , 36)$$

$$E (92 , 92 , 23)$$

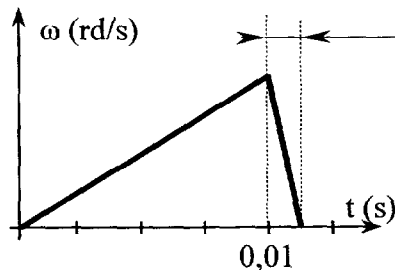
$$\theta \text{ Angle de débattement} = 14^\circ$$



- On donne la forme du torseur d'action mécanique de contact en F du ressort sur le levier :

$$F \left\{ \begin{matrix} \mathcal{J} \\ (ressort \rightarrow levier) \end{matrix} \right\}_{\mathcal{R}} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -Z_F & 0 \end{matrix} \right\}_{\mathcal{R}} \quad \text{avec } Z_F > 0$$

- Par souci d'efficacité on souhaite un basculement du levier en 0,01 s (soit $\approx 1/10^e$ du temps de chute total du chariot vertical sur 80 mm). Le mouvement se modélise de la façon suivante :



Temps d'arrêt négligeable ainsi que d'éventuels rebonds lors du choc entre le levier et la butée en D.

$$\text{A } t = 0 \text{ s } \theta = 14^\circ \quad \text{et à } t = 0,01 \text{ s } \theta = 0^\circ$$

On notera θ , l'angle de rotation (en rd ou $^\circ$) du levier autour de (O, \bar{y}) .

ω , la vitesse angulaire (en rd/s) du levier autour de (O, \bar{y}) .

θ'' , l'accélération angulaire (en rd/s²) du levier autour de (O, \bar{y}) .

- Le logiciel de DAO utilisé nous donne la matrice d'inertie du levier de sécurité, définie en O dans le repère $\mathcal{R}(O, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$:

$$I_0(\text{levier}) = \begin{bmatrix} 5545,599 & -276,023 & 130,025 \\ -276,023 & 834,2299 & -479,435 \\ 130,025 & -479,435 & 5685,360 \end{bmatrix}_{\mathcal{R}} \quad \text{en } \text{kg} \cdot \text{mm}^2$$

Phase sécurité active

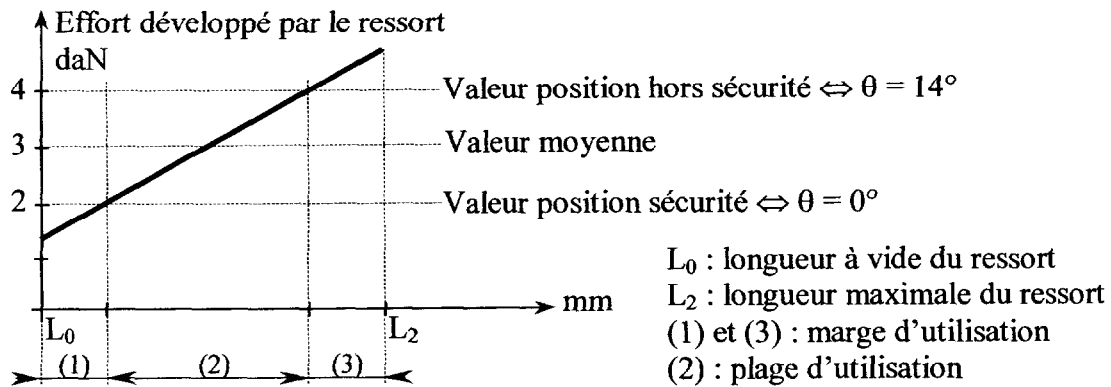
Le vérin n'est plus alimenté, le ressort de traction ramène le levier en position sécurité. Conformément aux consignes du constructeur l'action mécanique au point E du vérin sur le levier est négligeable.

Questions

Q3.1 Ecrire l'équation horaire $\theta = f(t)$ caractérisant le mouvement du levier de $t = 0$ à $t = 0,01$ s. En déduire la valeur de l'accélération angulaire θ'' .

Q3.2 Déterminer l'effort Z_F (en N) supposé constant dans cette phase, que devra exercer le ressort de rappel pour répondre aux exigences demandées. On pourra utiliser le théorème du moment dynamique autour de l'axe (O, \bar{y}) .

Q3.3 Le diagramme théorique d'utilisation du ressort qui conviendrait est donné ci-dessous :



Choisir sur la documentation ressource DR3 un ressort $\varnothing_{\text{ext}} = 16$ mm, le mieux adapté en tenant compte des critères suivants :

- Encombrement longitudinal minimum.
- $(1) + (3) = \text{marge d'utilisation} \geq 36$ mm.
- $(2) : \text{plage d'utilisation} = 36$ mm (\approx course du point F)

Justifier brièvement et donner sa référence.