

SESSION 2026

**AGRÉGATION
CONCOURS EXTERNE**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
ET INGÉNIERIE MÉCANIQUE**

**CONCEPTION PRÉLIMINAIRE D'UN SYSTÈME,
D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE ORGANISATION**

Durée : 6 heures

Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.

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

Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire

Tournez la page S.V.P.

A

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAE	1414A	103	1268

Présentation du système

Bigorre Ingénierie, société située dans le sud-ouest de la France, est spécialisée dans la réalisation d'équipements ferroviaires, d'équipements d'accès pour travaux en hauteur et de machines spéciales. Ce bureau d'études a été sollicité par une société française spécialiste des parafoudres de moyenne et haute tensions servant à la protection des réseaux électriques contre les surtensions, afin de concevoir et fabriquer une ligne de production ayant pour objectifs le déchargement automatique et la palettisation de varistances de parafoudre. Ces varistances, composants électroniques utilisés pour protéger les circuits contre les surtensions, sont fabriquées à partir d'oxyde de zinc (ZnO) compacté puis fritté. La ligne de production étudiée s'installe entre la sortie de la presse et les fours de frittage. Elle doit permettre d'augmenter la productivité tout en limitant les risques de troubles musculosquelettiques.

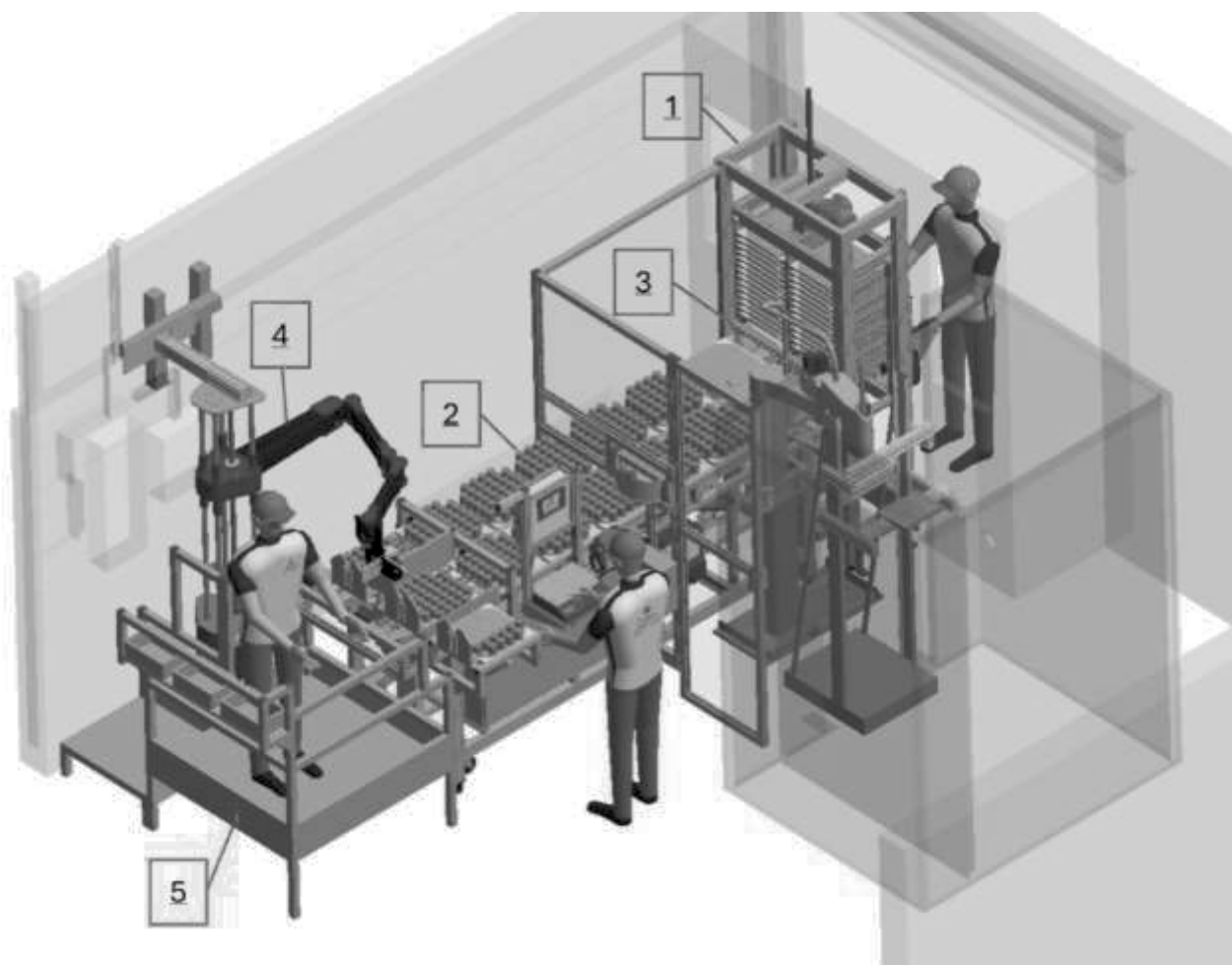


Figure 1: Système de déchargement et palettisation de varistances

Le système de déchargement est composé physiquement de cinq sous-ensembles (Figure 1) :

- **Magasin (1)** : ascenseur dans lequel l'opérateur place les plaques supports vides pour alimenter le système transfert. Le chargement du magasin s'effectue par un opérateur hors local presse. Sa capacité est de 2 x 15 plaques. La charge peut être complétée à tout moment du cycle sans nécessiter l'arrêt du système.

- **Transfert (2)** : mécanisme assurant le transfert linéaire des plaques vides. Le transfert est constitué d'un châssis supportant deux unités de translation et supporte la charge de douze plaques pleines et de deux plaques vides en même temps.
- **Poste de chargement (3)** : mécanisme assurant la récupération des pièces dans la presse, et leur dépose sur les plaques. Un robot récupère la pièce directement dans une presse DORST, puis assure sa dépose soit sur la plaque en zone de palettisation, soit sur le plateau qui reçoit les échantillons à tester.
- **Manipulateur (4)** : système d'assistance à la manutention des plaques. Le manipulateur assure une assistance à la manutention des plaques pleines en bout de transfert aussi bien lors de la prise des plaques, que lors de leur dépose sur la table élévatrice mobile. Une fois chargée, la table élévatrice emmène les plaques vers le poste de cuisson.
- **Poste d'empilage (5)** : poste auquel l'opérateur effectue l'empilage des plaques pleines. Le poste d'empilage est équipé d'une plateforme sur laquelle l'opérateur prend place pour réaliser les opérations suivantes :
 - récupération des plaques pleines en bout de transfert, avec l'assistance du manipulateur,
 - dépose des plaques pleines sur la table élévatrice pour la confection des piles, avec l'assistance du manipulateur. Le rajout d'entretoises entre deux plaques est fait manuellement par l'opérateur.

L'ensemble des opérations de gestion et de surveillance de la presse, chargement en poudre d'oxyde de zinc, analyse des échantillons de varistances en sortie de presse, constitution des piles doit être réalisé par une seule et même personne et peut durer jusqu'à 15 minutes.

L'ensemble des contraintes que doit respecter le système est décrit dans le diagramme des exigences (DT 1).

Ce sujet comporte trois parties qui peuvent être traitées de manière indépendante.

Chacune des parties vise des objectifs spécifiques :

- la première partie s'intéresse au respect des cadences de production ;
- la deuxième partie permet de dimensionner et d'asservir le système de transfert ;
- dans la dernière partie, les candidats étudient le poste de chargement.

Les documents DR 1 à DR 7 sont à rendre avec la copie.

Partie I : Respect des cadences de production

Problématique : valider les choix technologiques du système de transfert vis à vis des cadences de production attendues tout en assurant l'intégrité des varistances.

D'après le cahier des charges initial, le système de transfert composé d'une unité de translation doit permettre de :

- sortir les plaques vides du magasin (position 1 de la Figure 2) ;
- stocker une plaque vide en sortie de magasin ;
- déplacer les plaques vers la zone de chargement des varistances, devant le poste de chargement (position 2 de la Figure 2) ;
- constituer un stock de plaques chargées de varistances avant la zone d'empilage, devant le manipulateur (position 3 de la Figure 2).

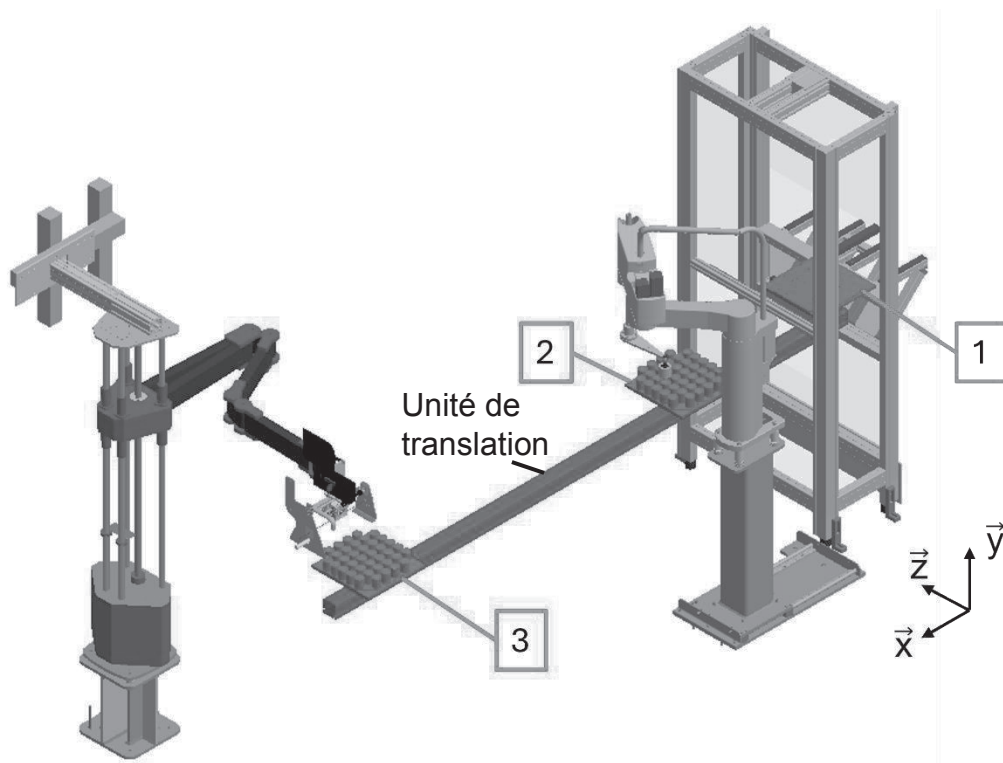


Figure 2 : Vue simplifiée du système de déchargement avec une unité de translation

Hypothèses :

- la conception doit tenir compte du local existant et de la position de la presse dans le local. Le plan de la zone aménagée est présenté en Figure 3 et Figure 4 ;
- le temps complet alloué à la récupération d'une plaque pleine par l'opérateur pour la déposer sur une pile sur la table élévatrice doit être de 1 minute ;
- les dimensions des plaques et des varistances sont données dans le DT 2. Afin d'éviter tout choc entre les plaques, ces dernières doivent être espacées de 3 cm sur le système de transfert.
- les surfaces des plaques sont très abrasives. Un glissement sur la surface d'une pièce du système entraînerait une usure prématurée de celle-ci.

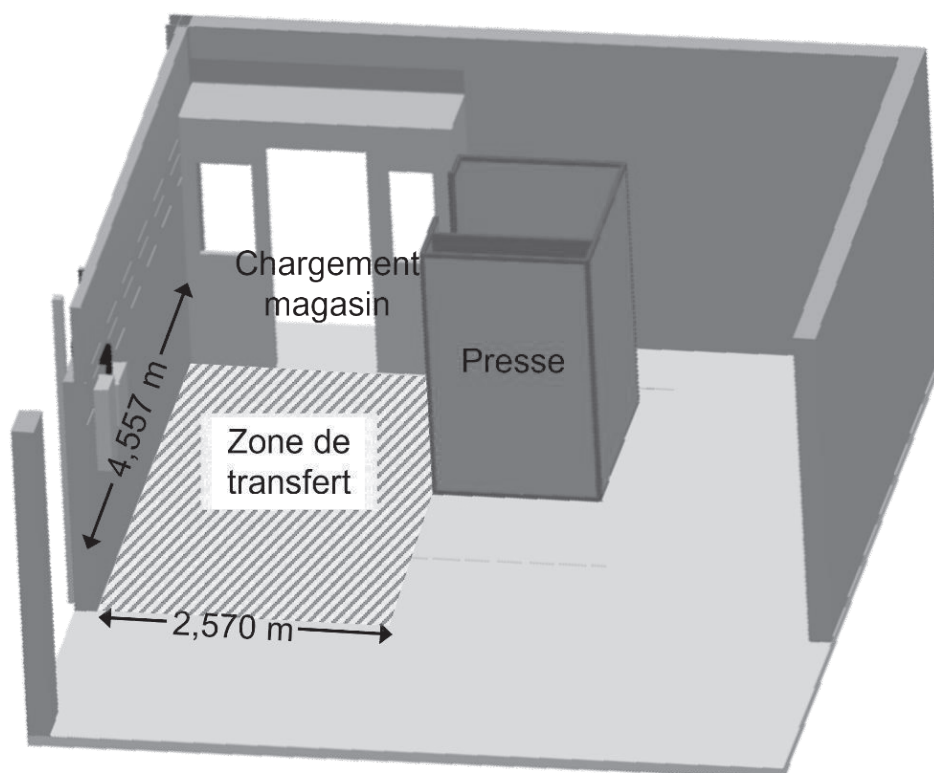


Figure 3 : Vue 3D de la zone d'implantation du système de transfert

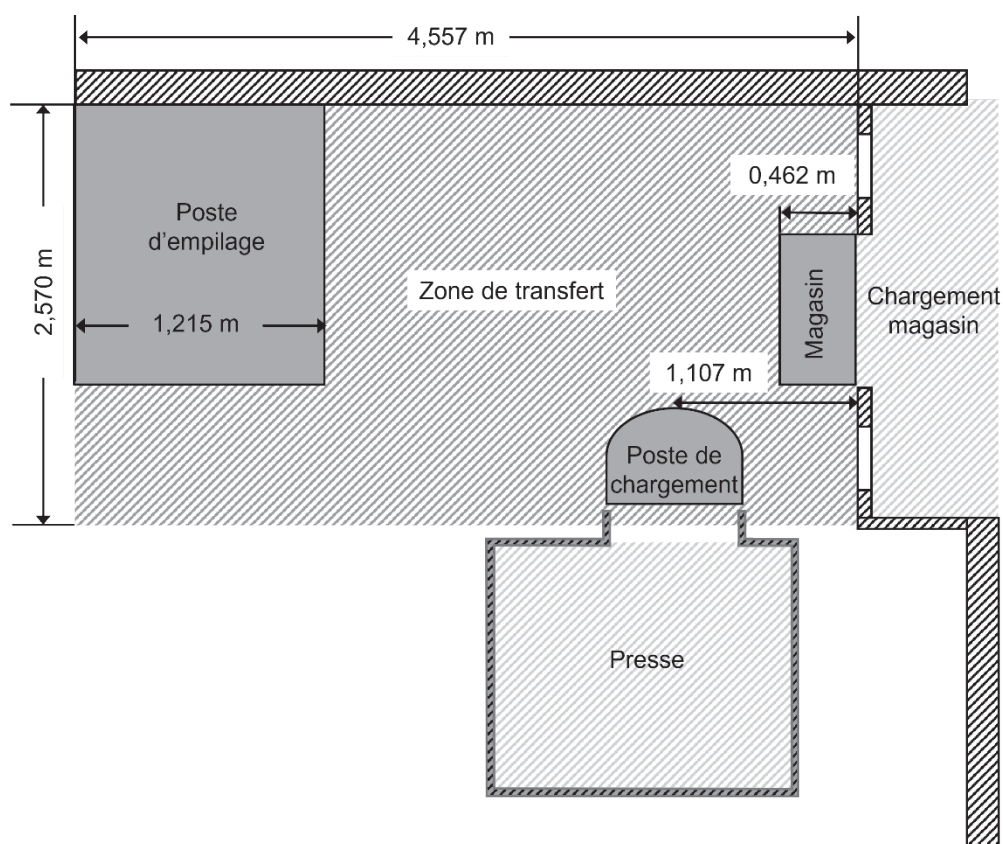
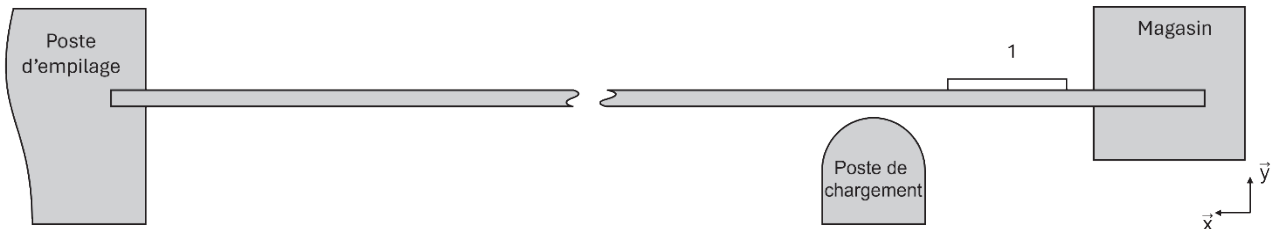


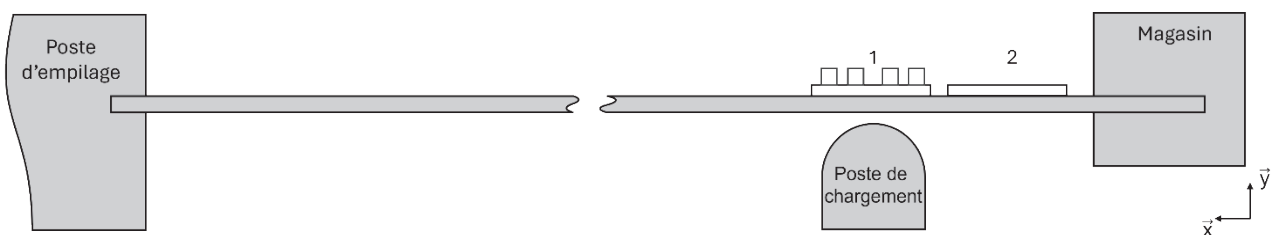
Figure 4 : Vue 2D de la zone d'implantation du système de transfert

Question 1 - En considérant que le système de transfert ne comporte qu'une unité de translation comme sur la Figure 2, et en tenant compte des contraintes dimensionnelles, déterminer le nombre de plaques qui peuvent être stockées sur la zone de transfert, c'est-à-dire de la zone de sortie du magasin à la zone de stockage.

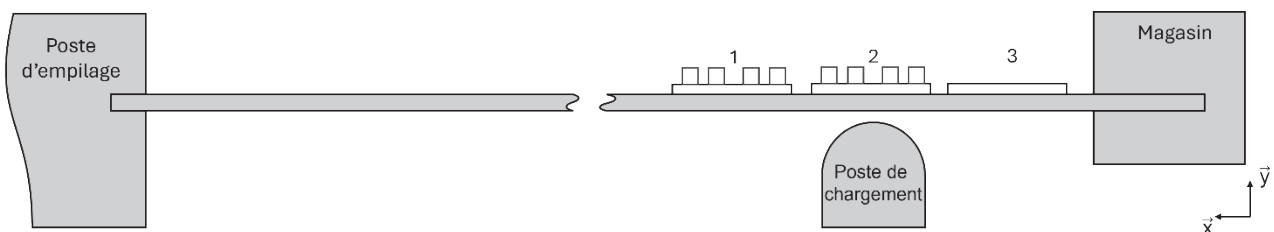
$T1 = 0 \text{ s}$



$T2$



$T3$



Tn

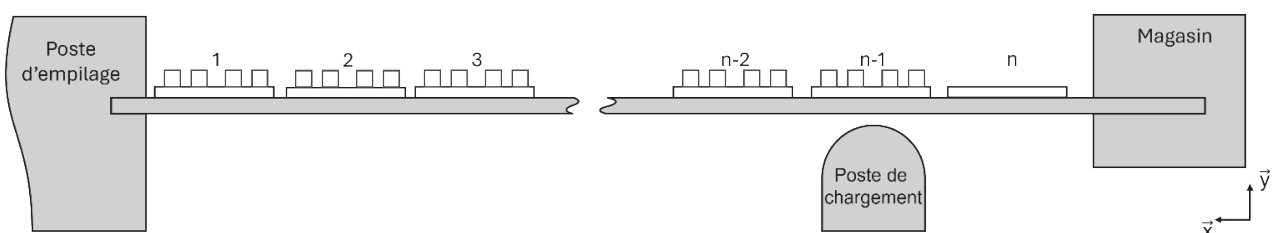


Figure 5 : Séquencement des étapes de transfert pour un convoyeur à bande

Question 2 - Le cahier des charges indique que la presse permet la production de 10 varistances par minute. En supposant le temps de déplacement des plaques d'une position à l'autre comme négligeable devant le temps de production et de placement des varistances devant le poste de chargement, quantifier (en seconde) les temps T de chaque étape du transfert des plaques sur le convoyeur à bande décrit en Figure 5.

Question 3 - Déterminer le temps que l'opérateur pourra allouer à l'ensemble des opérations de gestion et de surveillance de la presse entre le chargement de deux plaques dans le cas où l'opérateur décharge les plaques au fur et à

mesure de leur arrivée au niveau du poste d'empilage. Conclure quant à l'efficacité de cette méthode et son adéquation avec le cahier des charges.

Question 4 - Si l'opérateur décharge entièrement les plaques présentes sur le convoyeur, déterminer le temps qu'il pourra allouer à l'ensemble des opérations de gestion et de surveillance de la presse avant que la zone de stockage soit de nouveau remplie. Conclure quant à l'efficacité de cette méthode et son adéquation avec le cahier des charges.

Afin de créer une zone de stockage indépendante de la zone de chargement en varistances et ainsi permettre à l'opérateur le déchargement de plusieurs plaques successivement sans arrêter la production, nous proposons d'étudier le système de transfert à une unité de translation avec deux convoyeurs successifs indépendants (Figure 6) :

- un premier convoyeur permet la sortie des plaques vides du magasin et leur transfert vers la zone de chargement des varistances devant le poste de chargement. Cette zone contiendra une plaque vide en sortie de magasin et une plaque en zone de chargement ;
- un second convoyeur assurant le déplacement des plaques sur la zone de stockage avant le poste d'empilage.

Question 5 - Décrire schématiquement le cycle de transfert de douze plaques entre le magasin et la table élévatrice.

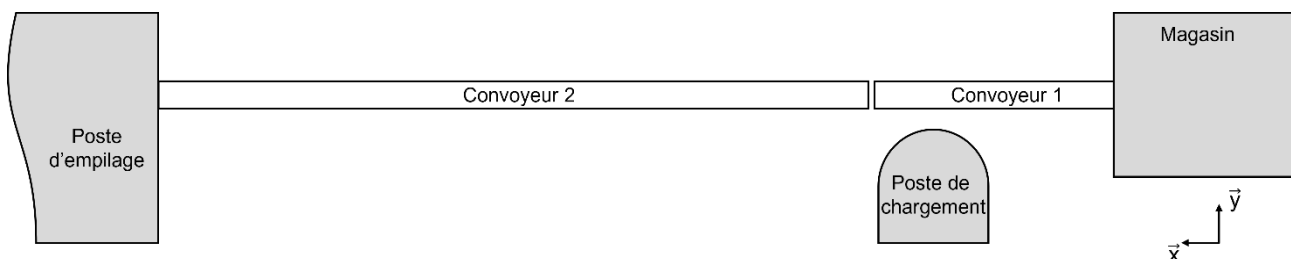


Figure 6 : Système de transfert avec deux convoyeurs indépendants

Le choix technologique s'est porté sur un système composé d'un axe linéaire central posé sur deux vérins. Le principe de fonctionnement est décrit sur la Figure 7 :

- à l'état initial, la plaque (4) chargée de varistances (5) est posée sur le châssis fixe (0). L'axe linéaire (2) est en position basse et le chariot (3) peut se positionner sous la plaque à déplacer ;
- durant la première étape, les vérins (1) vont permettre la translation verticale suivant $\vec{y}$ de l'axe linéaire (2), pour que la plaque (4) soit soulevée et posée sur le chariot (3) et ne soit plus en contact avec le châssis (0) ;
- lors de la seconde étape, le chariot (3) déplace la plaque (4) le long de l'axe linéaire (2), dans la direction $\vec{x}$ vers sa position finale ;
- en étape 3, les vérins (1) vont permettre la translation verticale suivant $-\vec{y}$ de l'axe linéaire (2), pour que la plaque (4) soit déposée sur le châssis (0) ;
- enfin, le chariot se déplace suivant $-\vec{x}$ pour se positionner sous une autre plaque.

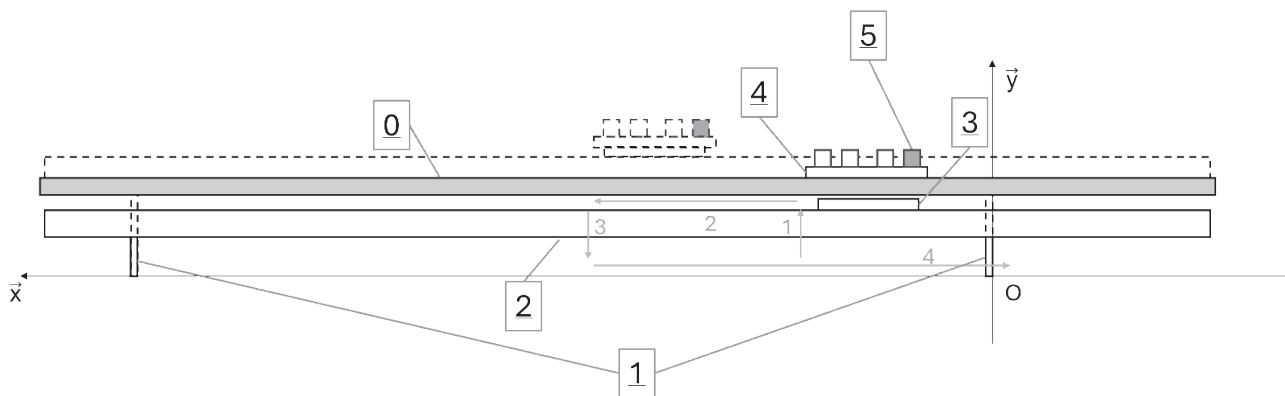


Figure 7 : Principe de fonctionnement du système avec axe linéaire

A. Étude dynamique du système de transfert

Objectif : vérifier que le système de transfert retenu permet de respecter les cadences imposées sans déplacement des varistances sur les plaques.

Hypothèses :

- les varistances sont fabriquées par compactage à 60% de poudre d'oxyde de zinc et sont considérées comme des solides indéformables ;
- un plateau en polyamide recouvert d'un film élastomère est fixé sur le chariot pour faciliter la stabilisation des plaques lors des déplacements sur l'axe ;
- on suppose dans un premier temps que chaque mouvement de translation de la plaque suit une loi de vitesse trapézoïdale ;
- la cadence de sortie de la presse est de dix pièces par minute ;
- la zone de stockage doit contenir dix plaques chargées de varistances.

Données :

- la hauteur du chariot et son plateau en polyamide (3) est $h_c = 40$ mm ;
- les varistances sont composées d'oxyde de zinc dont la densité est $d = 5,5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Leurs hauteur (h_v) et rayon (R) sont donnés dans le DT 2 ;
- la masse de la plaque seule (4) est $m_p = 4,6$ Kg ;
- le coefficient de frottement entre la plaque et les varistances est $f_{vp} = 0,45$. Le coefficient de frottement entre la plaque et le plateau du chariot est $f_{cp} = 0,6$;
- la vitesse maximale de l'axe linéaire est $v_{m_axe} = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. La vitesse maximale d'un vérin est $v_{m_vérin} = 0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- l'accélération maximale de l'axe linéaire est $a_{cv} = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. L'action de la gravité est modélisée par $\vec{g} = -g \cdot \vec{y}$ avec $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.
- le centre de gravité de la plaque chargée de varistances (4U5) est G_{pv} , défini par $\overrightarrow{BG_{pv}} = h_p \vec{y}$, le point B étant le centre de la surface de contact entre la plaque (4) et le chariot (3).

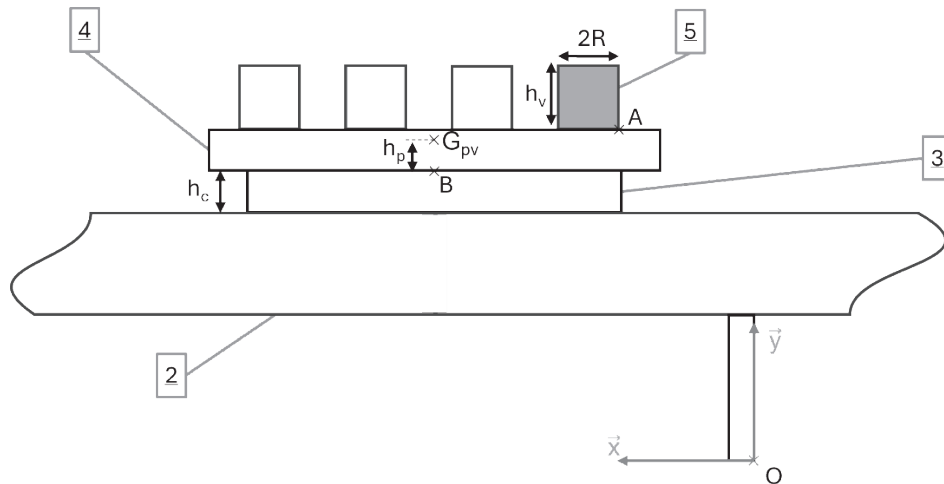


Figure 8 : Plan d'une plaque chargée de n varistances sur le convoyeur

Étude du mouvement d'une varistance (5) dans le plan $(O, \vec{x}, \vec{y})$ du repère galiléen $R(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ lié au bâti (0) lors de l'étape de translation suivant $\vec{x}$ à accélération constante (Figure 7) d'une plaque uniformément chargée de n varistances.

Question 6 - Déterminer au point A, situé à la base d'un cylindre schématisant une varistance (en gris sur la Figure 8), le torseur dynamique d'une varistance dans son mouvement par rapport au bâti (0). On utilise le paramétrage de la Figure 8.

Question 7 - Déterminer au point B, situé au centre de la face inférieure de la plaque (Figure 8), le torseur dynamique de la plaque chargée de n varistances (4U5) dans son mouvement par rapport au bâti (0).

Question 8 - En appliquant le principe fondamental de la dynamique au système matériel (4U5) correspondant à la plaque chargée dans son mouvement par rapport au bâti (0), déterminer l'expression littérale et la valeur numérique de l'accélération maximale $a_{2-p-gliss}$ du chariot (3) pour que la plaque ne glisse pas sur le chariot.

Question 9 - En appliquant le principe fondamental de la dynamique à une varistance dans son mouvement par rapport au bâti (0), déterminer l'expression littérale et la valeur numérique de l'accélération maximale $a_{2-v-gliss}$ du chariot (3) pour que la varistance (5) ne glisse pas sur la plaque (4).

Question 10 - Déterminer l'expression littérale et la valeur numérique de l'accélération maximale $a_{2-v-basc}$ du chariot (3) pour que la varistance (5) ne bascule pas sur la plaque (4).

B. Calcul des temps de cycle

On définit le cycle étudié par les actions suivantes (Figure 9) :

- décaler d'un cran vers la zone de stockage la plaque 1 placée en zone de chargement des varistances ;
- transporter la plaque vide 2 vers la zone de chargement des varistances.

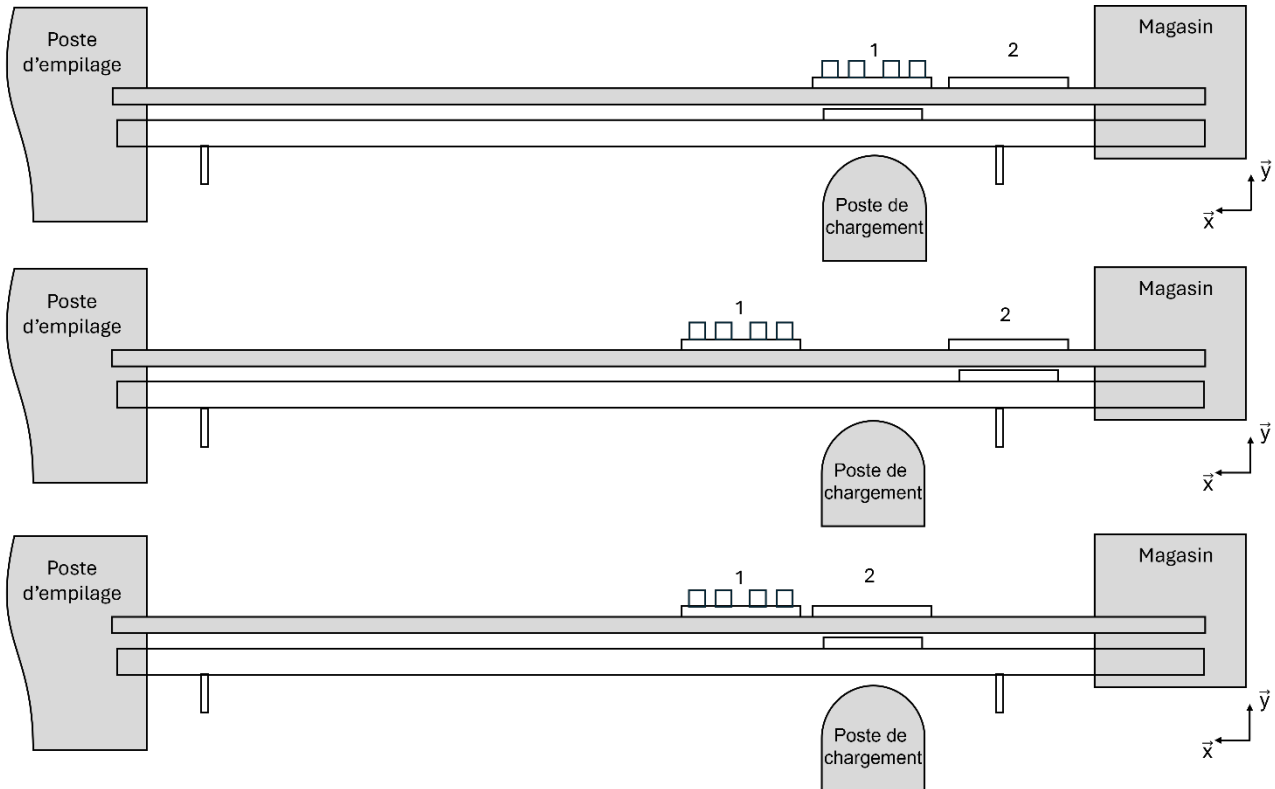


Figure 9 : Schématisation du cycle étudié

Hypothèses :

- pour chaque action du cycle, le système d'axe linéaire fonctionne comme indiqué en Figure 7.
- chaque étape de montée ou descente de l'axe linéaire (étapes 1 et 3 de la Figure 7) sera découpée en deux parties :
 - une partie lorsque le chariot est vide et se trouve sous le châssis, la plaque est posée sur ce dernier (Figure 10 (a)) ;
 - une partie lorsque la plaque est posée sur le chariot et ce dernier se trouve plus haut que le châssis (Figure 10 (b)).
- pour chacune de ces étapes, il est possible que la vitesse maximale de sortie des vérins ne soit pas atteinte lors de la phase de montée ou de descente. Dans ce cas, il n'y a pas de palier à vitesse constante ;
- les dimensions des plaques et des varistances sont données dans le DT 2. Afin d'éviter tout choc entre les plaques, ces dernières doivent être espacées de 3 cm sur le système de transfert.

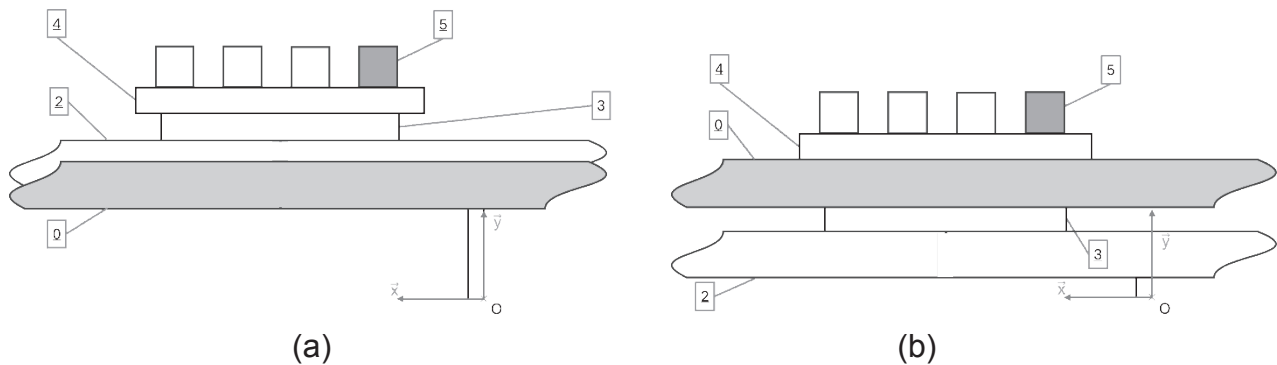


Figure 10 : Positionnement de l'axe lors des phases de montée et descente

Question 11 - En conservant une écriture littérale des variables en jeu, tracer les graphes accélération-temps, vitesse-temps et espace-temps d'un cycle complet sur le document réponse DR 1.

Étude de l'étape de translation du chariot portant la plaque suivant $\vec{x}$ et détermination de sa durée.

Question 12 - En se plaçant en limite de glissement du système, déterminer la durée d'un mouvement de translation du chariot portant la plaque pleine (Figure 7) (Étape 2 du cycle étudié (Figure 9)). Calculer les valeurs numériques des vitesses et déplacements horizontaux.

Question 13 - En veillant à maintenir la stabilité des varistances et à conserver une durée de cycle équivalente, analyser la pertinence du choix de la loi de mouvement. Proposer et justifier une alternative possible.

La montée de l'axe grâce aux vérins doit d'abord se faire à vide sur une course de 0,0295 m (tant que le chariot se trouve sous le châssis), puis le châssis vient en contact avec la plaque et la soulève sur une distance de 0,0105 m. Le choix des concepteurs s'est porté sur des vérins pneumatiques pour lesquels l'accélération est difficilement contrôlable. Des tests préliminaires ont permis de régler la vitesse de sortie des vérins à $v_{\text{vérin}} = 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. La durée de montée ou de descente de l'axe linéaire est alors de 0,5 s.

De plus, en vue d'assurer la stabilité des varistances et d'optimiser la durée de vie de l'axe linéaire, l'accélération de l'axe linéaire est réduite à $a_{\text{cv}} = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ lorsque le chariot est vide, et $a_{\text{cc}} = 2,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ lorsqu'une plaque est posée sur le chariot.

Détermination du temps de cycle complet et soutenabilité de la cadence de production.

Question 14 - En déduire la durée totale d'un cycle. Cette durée est-elle compatible avec la cadence de production imposée par le cahier des charges ?

Question 15 - En tenant compte des résultats obtenus et de la contrainte sur le nombre de plaques chargées de varistances qui doit être stocké sur le système de transfert, une seule unité de translation serait-elle suffisante ?

Le choix est fait de doubler l'unité de translation pour permettre le transfert des plateaux sur 2 voies en parallèle (Figure 11).

Question 16 - Expliquer comment l'opérateur doit s'organiser pour travailler en temps masqué. Est-ce réalisable ? Justifier la réponse à l'aide des résultats de l'étude précédente.

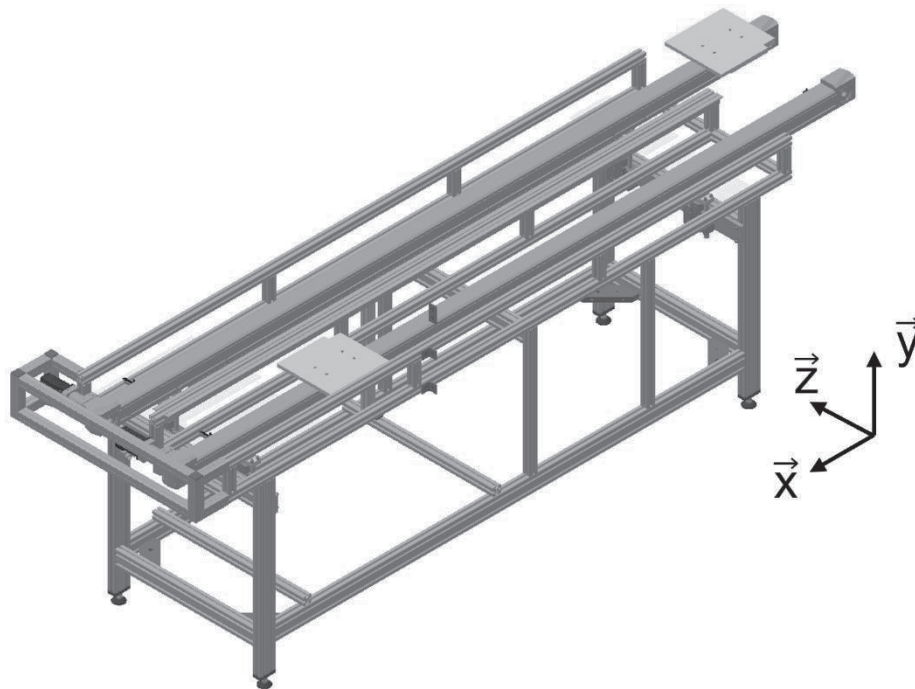


Figure 11 : Configuration finale du système de transfert

Partie II : Dimensionnement du système de transfert

Problématique : Dans cette partie, il s'agit de dimensionner les différents ensembles qui composent le système de transfert.

A. Étude de l'axe linéaire

Objectif : quantifier les charges et établir les conditions limites d'une simulation par la méthode des éléments finis, dont les résultats nous permettront d'identifier le comportement en flexion de l'axe linéaire.

L'axe linéaire, dont les données techniques sont fournies dans les DT 3, DT 4, DT 5 et DT 6, se compose d'un profilé aluminium (avec une limite d'élasticité de 35 MPa) et d'un chariot de type 1. Le détail de la liaison entre l'axe et le système de levage est donné dans le DT 7.

Dans un premier temps, les conditions limites en déplacements à appliquer dans la simulation doivent être définies.



Figure 12 : Vue d'ensemble en perspective de l'axe linéaire dans son environnement

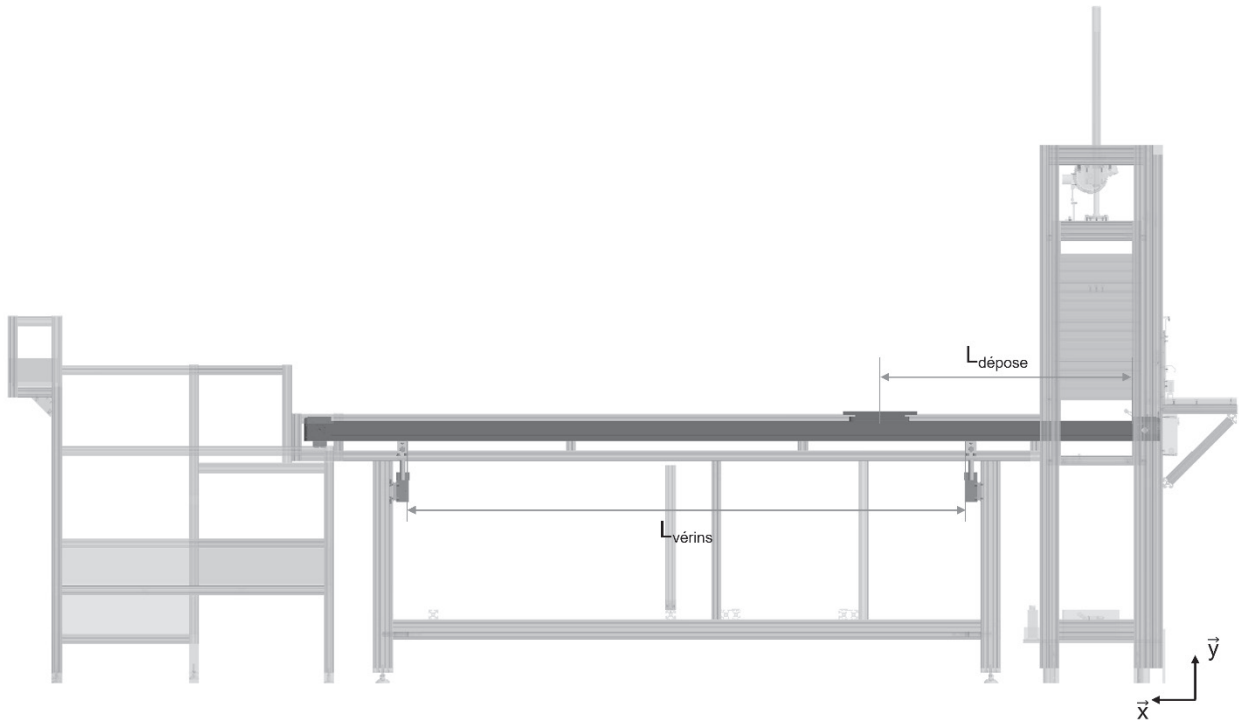


Figure 13 : Vue d'ensemble 2D de l'axe linéaire dans son environnement

Données (Figure 13) :

- $L_{\text{dépose}}=1,025$ m. $L_{\text{vérins}}=2,276$ m ;
- La masse de l'axe linéaire hors chariot est $m_r=35$ kg. La masse du chariot est $m_c=1,9$ kg. La masse du plateau est $m_p=1,6$ kg. La masse de l'ensemble plaque et varistances est $m_{pv}=16,5$ kg ;
- La gravité est $\vec{g}=-g\cdot\vec{y}$ avec $g=9,81$ m·s⁻².

Question 17 - Expliquer et justifier la ou les condition(s) limite(s) en déplacements à mettre en place dans une simulation éléments finis de l'axe linéaire et la ou les surface(s) concernée(s). Représenter ces conditions sur le document réponse DR 2.

Dans un second temps, il faut définir les efforts à appliquer à la simulation.

Hypothèses :

- Quatre cas de chargement statique sont considérés dans un premier temps en fonction de la position du chariot :
 - axe linéaire soumis à son propre poids et une plaque vide en fin de course dans le magasin ;
 - axe linéaire soumis à son propre poids et une plaque pleine de varistances devant le poste de chargement ;
 - axe linéaire soumis à son propre poids et une plaque pleine de varistances au niveau de la position de la flèche maximale de l'axe lorsque l'axe est soumis uniquement à son propre poids ;
 - axe linéaire soumis à son propre poids et une plaque pleine de varistances en fin de course au niveau de la zone d'empilage.

Question 18 - Pour chaque cas traité dans cette partie, calculer la ou les valeur(s) de chargements à appliquer. Expliquer et justifier la ou les surface(s) concernée(s). Représenter ces chargements sur le document réponse DR 2.

L'ensemble des résultats obtenus par ces différentes modélisations est présenté dans le DT 8 et DT 9.

Question 19 - En analysant les résultats présentés dans le DT 9, parmi les quatre cas traités, préciser le cas pour lequel le chargement génère les contraintes les plus élevées. Conclure quant à l'influence de cet effort sur l'intégrité de l'axe linéaire.

Question 20 - En analysant les résultats présentés dans le DT 8, parmi les quatre cas traités, préciser le cas pour lequel le chargement génère une flèche maximale. Discuter les résultats obtenus avec les données fournies par la documentation DT 6.

Question 21 - Proposer une piste de modification(s) permettant de limiter la flèche de l'axe linéaire en fonctionnement. Détailler sur la copie cette piste en l'illustrant à l'aide de schéma(s) lorsque c'est nécessaire.

Question 22 - Compte tenu de la géométrie de l'axe, des efforts sollicitant la structure et des conditions aux limites, discuter l'exploitation des simulations pour conclure sur le dimensionnement en flexion de l'axe linéaire.

B. Validation de la motorisation des axes linéaires

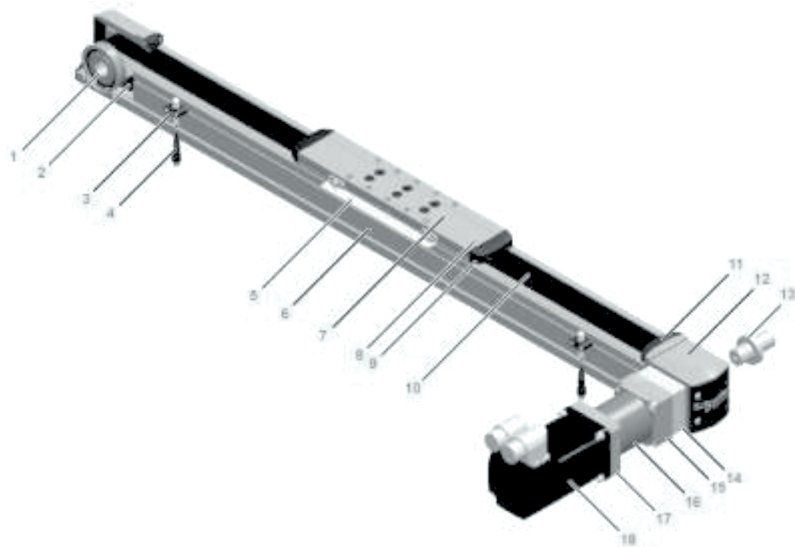
Objectifs : valider le choix des moteurs et des réducteurs des axes linéaires.

L'axe linéaire (Figure 14) se compose d'un profilé et d'un chariot entraîné par une courroie crantée. Il peut être équipé de trois chariots pour déplacer des charges multiples ou longues. Mais, dans le cas du système de transfert étudié, un seul chariot équipe l'axe. L'axe linéaire est piloté par un motoréducteur.

Données :

- accélération maximale du chariot et du plateau à vide : $a_{cv}=5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- accélération maximale du chariot et du plateau chargé de la plaque et des varistances : $a_{cc}=2,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- vitesse maximale du chariot : $v_{\max}=1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- diamètre primitif de la poulie crantée d'entraînement : $D_p=65,254 \text{ mm}$;
- masse du chariot : $m_c=1,9 \text{ kg}$;
- masse du plateau : $m_p=1,6 \text{ kg}$;
- masse de l'ensemble plaque et varistances : $m_{pv}=16,5 \text{ kg}$.

Hypothèse : les frottements sont négligés devant les autres actions mécaniques.



- | | |
|--|---|
| 1 Poulie de courroie crantée | 11 Blocage de la bande de recouvrement (équipement en option) |
| 2 Courroie crantée | 12 Bloc d'extrémité |
| 3 Support de capteur (équipement en option) | 13 Extension d'arbre (équipement en option) |
| 4 Capteur avec câble et connecteur (équipement en option) | 14 Boîtier de couplage avec pièces d'accouplement (équipement en option) |
| 5 Plaque de détection (équipement en option) | 15 Adaptation réducteur (équipement en option) |
| 6 Profilé d'axe | 16 Réducteur (équipement en option) |
| 7 Chariot | 17 Adaptation moteur (équipement en option) |
| 8 Déviateur de bande (équipement en option) | 18 Moteur (équipement en option) |
| 9 Amortisseur en caoutchouc | |
| 10 Bande de recouvrement (équipement en option) | |

Figure 14 : Les composants de l'axe linéaire (extrait de la documentation constructeur)

Remarque : dans toutes les questions de cette partie, les termes « en fonction des données ci-dessus » désignent l'utilisation des données a_{cv} , a_{cc} , v_{max} , D_p , m_c , m_p ou m_{pv} .

Question 23 - Déterminer l'expression littérale du couple d'entraînement, à appliquer à la poulie crantée d'entraînement de l'axe linéaire pour atteindre l'accélération maximale du chariot et du plateau vide, et pour atteindre l'accélération maximale du chariot et du plateau chargé de la plaque et des varistances, en fonction des données ci-dessus. Faire l'application numérique. En déduire, la valeur maximale du couple d'entraînement, noté C_{e_max} , appliqué à la poulie crantée d'entraînement.

Question 24 - Déterminer l'expression littérale de la vitesse de rotation maximale, notée ω_{max} en rad.s^{-1} , de la poulie crantée d'entraînement en fonction des données ci-dessus. Faire l'application numérique.

La documentation du fabricant fournie dans les DT 4 et DT 5 donne les informations suivantes concernant les moments d'inertie de l'axe linéaire ramenés sur l'axe de la poulie crantée d'entraînement :

- moment d'inertie de l'axe linéaire à course 0 mm : $J_o = 29,3 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$;
- moment d'inertie de l'axe par mètre de course : $J_c = 2,5 \text{ (kg}\cdot\text{cm}^2)\cdot\text{m}^{-1}$.

Ici le terme course se rapporte à la distance que le chariot peut parcourir grâce à l'axe linéaire. Le moment d'inertie total de l'axe ramené sur l'axe de la poulie crantée

d'entraînement, noté J_{axe} , se compose ainsi du moment d'inertie de l'axe linéaire à course 0 mm, auquel se rajoute le moment d'inertie proportionnel à la course de l'axe linéaire. Dans le contexte de cette étude, la course de l'axe linéaire est $l_c = 3000$ mm.

De plus, il faut rajouter à ces moments d'inertie celui lié à la charge déplacée sur le chariot. Cette charge est fonction de la masse du plateau, de la masse de la plaque et de la masse des varistances.

Question 25 - Déterminer l'expression littérale du moment d'inertie lié à la charge ramené sur l'axe de la poulie crantée d'entraînement, noté J_{ch} , en fonction de m_p , m_{pv} et D_p .

Question 26 - Déterminer l'expression littérale du moment d'inertie total de l'axe ramené sur l'axe de la poulie crantée d'entraînement, noté J_{axe} , en fonction J_o , J_c , J_{ch} et l_c . Faire l'application numérique. Exprimer le résultat en $kg \cdot cm^2$.

Connaissant C_{e_max} et ω_{max} , un moteur fabriqué par Schneider Electric de référence BMH0701P a été retenu. C'est le moteur le moins puissant de la gamme. Le moment d'inertie du rotor est donné par le fabricant : $J_{rotor} = 0,59 \text{ kg} \cdot cm^2$.

On envisage à présent l'ajout d'un réducteur entre le moteur et l'axe de la poulie crantée d'entraînement (Figure 15).

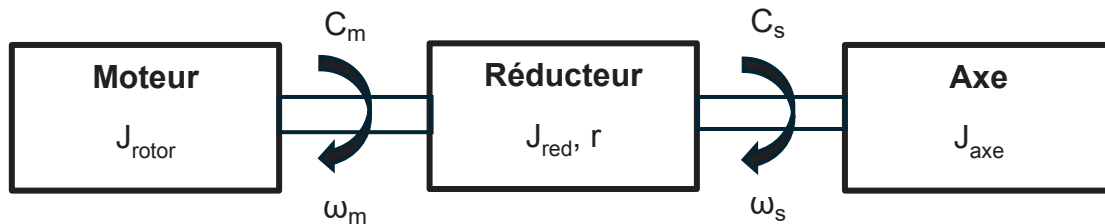


Figure 15 : Schéma de principe de la transmission de puissance

Le moteur d'inertie J_{rotor} fournit un couple C_m à la vitesse ω_m sur l'arbre d'entrée du réducteur.

$J_{red} = 0,118 \text{ kg} \cdot cm^2$ est le moment d'inertie du réducteur ramené sur l'axe de l'arbre moteur.

Soit $r = \frac{\omega_s}{\omega_m}$ le rapport de transmission du réducteur. Le couple C_s et la vitesse ω_s sont respectivement le couple et la vitesse de rotation appliqués à la poulie crantée d'entraînement. On pose $\omega_m = \dot{\theta}_m$ et $\omega_s = \dot{\theta}_s$.

Les déterminations de C_{e_max} et ω_{max} ne sont pas suffisantes pour optimiser le comportement dynamique de l'axe linéaire. Aussi l'objectif des deux questions suivantes est de démontrer que l'accélération de l'axe linéaire peut être maximisée, donc que $\ddot{\theta}_s$ peut-être maximisée, lorsque le moment d'inertie de l'axe linéaire ramené sur l'axe de l'arbre moteur est égal à la somme des moments d'inertie du rotor et du réducteur ramenés sur l'axe de l'arbre moteur.

Question 27 - Déterminer l'expression littérale du moment d'inertie de l'axe linéaire ramené sur l'axe de l'arbre moteur, noté J'_{axe} , en fonction J_{axe} et r . Déterminer ensuite l'expression littérale du moment d'inertie équivalent ramené sur l'axe de l'arbre moteur, noté J_{eq} , en fonction de J_{rotor} , J_{red} , J_{axe} et r .

Question 28 - Déterminer l'expression littérale de l'accélération angulaire $\ddot{\theta}_s$ en fonction de J_{eq} , r et C_m . En étudiant la dérivée par rapport à r de $\ddot{\theta}_s$, démontrer que $\ddot{\theta}_s$ est maximale lorsque $\frac{J'_{axe}}{J_{rotor} + J_{red}} = 1$. Faire l'application numérique afin de déterminer le rapport de transmission optimal, noté r_{opt} , qui maximise $\ddot{\theta}_s$.

Quel que soit le résultat trouvé précédemment, le rapport de transmission du réducteur retenu par le concepteur est $r = \frac{1}{12}$. Le moment d'inertie du réducteur n'est pas changé. Le moteur retenu alimenté en 230 Vac a une vitesse de rotation nominale $N_{nom} = 3000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$. Le couple nominal du moteur est $C_{m_nom} = 1,34 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Le ratio optimal $\frac{J'_{axe}}{J_{rotor} + J_{red}} = 1$ n'est pas toujours atteignable. Dans la pratique, l'encadrement suivant est considéré acceptable : $\frac{1}{5} \leq \frac{J'_{axe}}{J_{rotor} + J_{red}} \leq 5$.

Question 29 - Calculer $\frac{J'_{axe}}{J_{rotor} + J_{red}}$. Calculer la vitesse de rotation nominale en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$, notée ω_{nom} , de la poulie crantée d'entraînement. Calculer le couple nominal disponible au niveau de la poulie crantée d'entraînement. Conclure vis-à-vis des caractéristiques cinématiques que l'axe linéaire peut atteindre par rapport à celles attendues.

C. Étude du système de levage d'un axe linéaire

Objectif : pré-concevoir un système de levage d'un axe linéaire, isostatique.

Le système de levage d'un axe linéaire est présenté en annexe DT 7. Il se compose de deux vérins guidés munis chacun d'une chape, pour chaque axe linéaire.

On se propose de modéliser les liaisons entre un axe linéaire et le châssis comme présenté sur la Figure 16.

Question 30 - À partir de l'annexe DT 7, justifier la modélisation des liaisons entre l'axe linéaire et les pistons des vérins guidés par des liaisons pivots. Le cas échéant, préciser les hypothèses à poser (jeux, ajustements...). Calculer le degré d'hyperstatisme h de ce modèle. Commenter le résultat.

Question 31 - Proposer une modification de la liaison en B permettant de rendre le modèle isostatique. Dessiner le schéma cinématique ainsi modifié. Représenter, à l'aide d'un croquis en perspective à main levée, les modifications à apporter à la partie mâle constituant la chape (cf. annexe DT 7), afin de réaliser la modification de la liaison en B. Justifier.

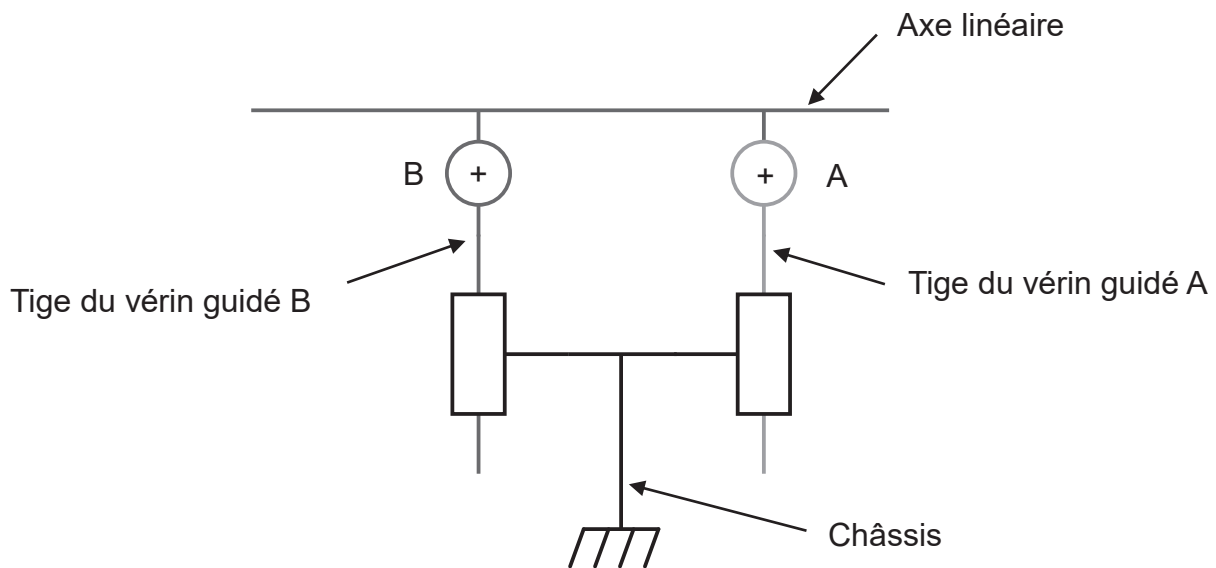


Figure 16 : Schéma cinématique du système de levage d'un axe linéaire

Partie III : Étude du poste de chargement

Le poste de chargement (Figure 17) se compose pour l'essentiel d'un robot de type SCARA monté sur son support. Le robot saisit la varistance en sortie de presse et la dépose sur une des deux plaques présentes dans la zone de chargement. À la demande de l'opérateur, le robot peut déposer la varistance saisie en sortie de presse dans la zone dédiée au contrôle. Les varistances ayant fait l'objet d'un contrôle sont traitées à part. Leur déplacement après dépose dans la zone de contrôle n'est pas abordé dans ce sujet.

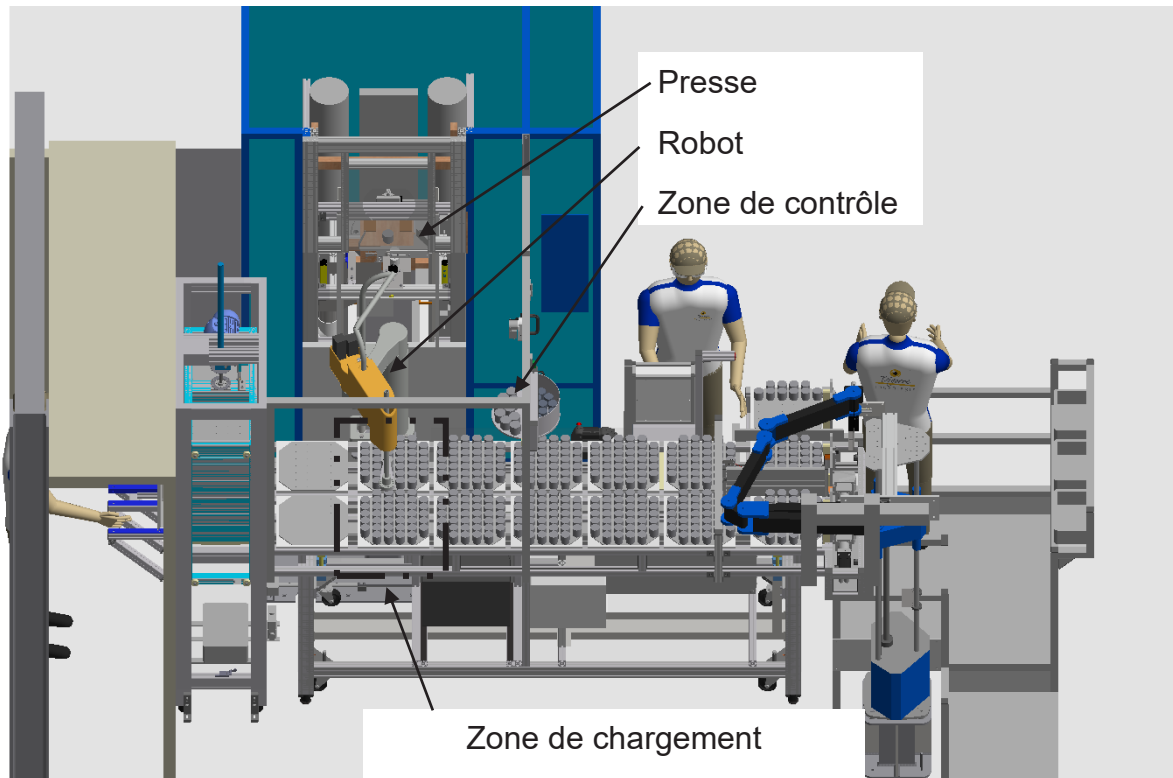


Figure 17 : Poste de chargement

A. Dimensionnement et choix de matériau

Objectifs : valider le choix du robot ainsi que les dimensions et le matériau de son outil de préhension des varistances.

Le robot du poste de chargement est muni d'un outil monté à son extrémité (Figure 18). Cet outil se compose d'un support et d'un système de préhension à ventouse. Le robot saisit l'objet en plaçant la ventouse au centre de la face supérieure de la varistance éjectée par la presse. Puis il dépose la varistance sur une des deux plaques de la zone de chargement.

Hypothèses :

- Une pré-étude a permis de retenir un robot de type SCARA fabriqué par STAUBLI référence RS80.
- Le robot est muni d'un outil de préhension à ventouse tel que présenté sur la Figure 18.
- Pour toute cette partie, la masse de l'ensemble constitué du système de préhension à ventouse et de la varistance est $m = 1 \text{ kg}$.

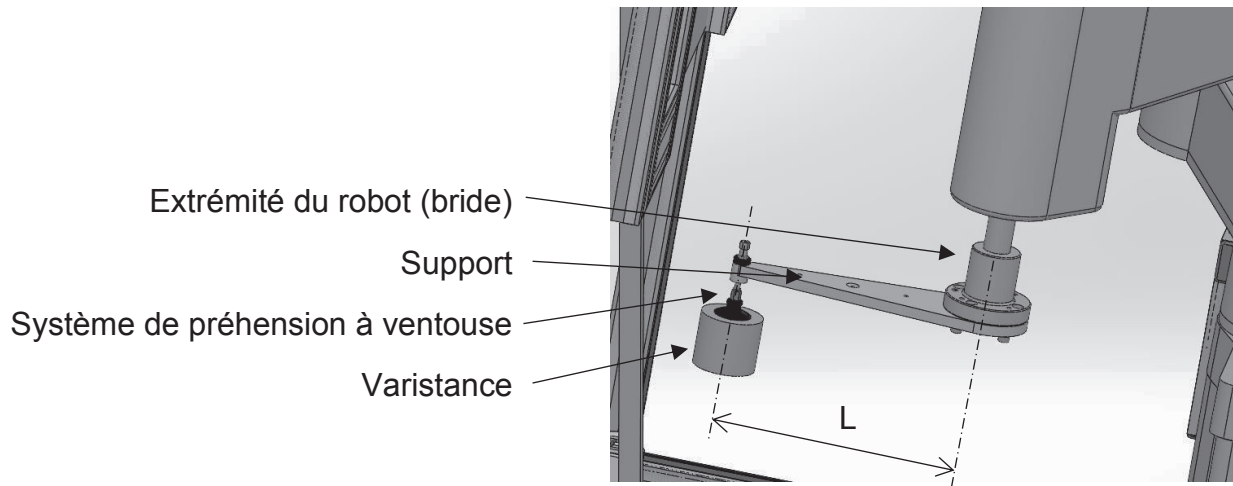


Figure 18 : Outil de préhension des varistances

Notation :

On appelle L la distance entre l'axe de la bride et l'axe du système de préhension à ventouse (Figure 18).

Dimension du support

La position de la varistance en sortie de presse ainsi que les positions des varistances dans la zone de dépose sur les deux plaques et sur la zone de contrôle sont précisées sur le DR 3. La présentation générale et les caractéristiques dimensionnelles du robot RS80 sont fournies en annexe DT 10.

Question 32 - Représenter sur le DR 3 la position optimale de l'axe A1 du robot permettant l'utilisation de l'outil de préhension ayant la longueur L la plus petite. Tous les tracés utiles à la compréhension devront apparaître sur la construction graphique et seront justifiés. Donner la longueur minimale de l'outil notée $L_{\min}$.

Déformation du support

Quels que soient les résultats trouvés à la question précédente, la dimension retenue pour l'outil de préhension à ventouse est $L=230$ mm. La Figure 19 représente le modèle poutre retenu pour modéliser le support de l'outil de préhension à ventouse.

Hypothèses :

- Le poids de la varistance et du système de préhension, noté F , est appliqué sur le support en A (son extrémité).
- Les hypothèses relatives à l'étude d'un modèle poutre sont validées (hypothèses géométriques, hypothèses sur les déformations, hypothèses sur les matériaux, hypothèse de Navier-Bernouilli, principe de Barré de Saint-Venant).

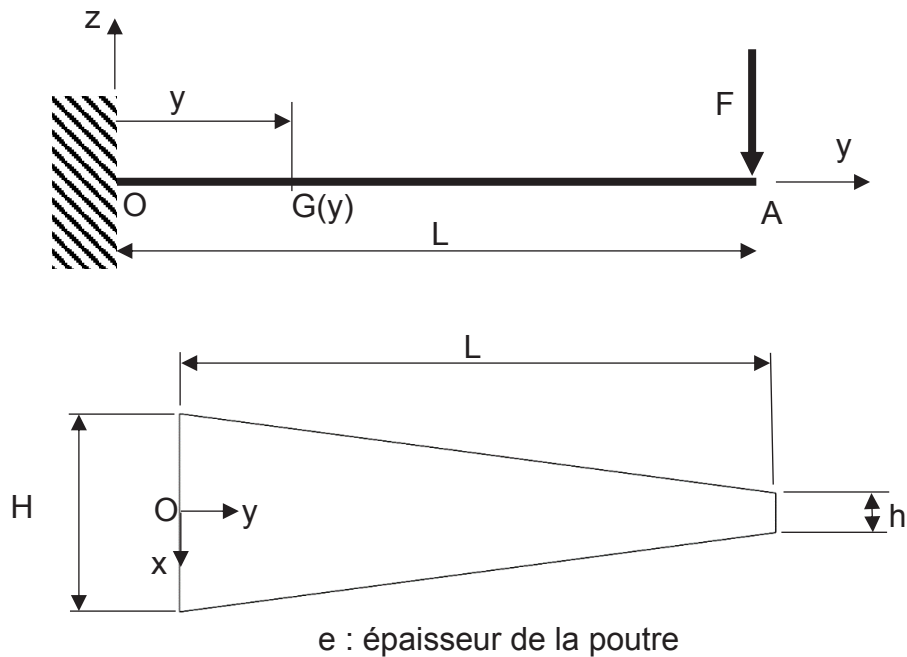


Figure 19 : Modèle poutre du support

Question 33 - Déterminer l'expression littérale du torseur des actions mécaniques de cohésion en $G(y)$ dans la base locale, en respectant la convention des efforts à droite, noté $\{T_{coh}\}$. Identifier la nature de la sollicitation.

Question 34 - Déterminer l'expression littérale du moment quadratique selon l'axe $(G, \vec{x})$ d'une section d'abscisse y de la poutre, noté $IG_x(y)$, en fonction de H , h , L , e et y .

Question 35 - On note E le module de Young du matériau de la poutre. Donner l'expression de la dérivée seconde de la déformée de la poutre selon z , notée $z''(y)$, en fonction de E , F , L , y et $IG_x(y)$.

Question 36 - Justifier, sans détailler les calculs, que l'expression littérale de la flèche de la poutre, notée f ($f = z(L)$), peut s'exprimer sous la forme $f = \frac{K}{E \cdot e^3}$ avec K une constante déterminée à partir des dimensions de la poutre (L , H et h) ainsi que de la charge constante F .

Choix du matériau du support

Quels que soient les résultats obtenus précédemment, on considèrera à partir de maintenant que la flèche de la poutre est $f = \frac{K}{E \cdot e^3}$ avec K une constante déterminée à partir des dimensions de la poutre (L , H et h) ainsi que de la charge constante F . On cherche à déterminer le meilleur matériau permettant de minimiser la masse de la poutre, notée m_p , à flèche f constante.

Question 37 - En raisonnant à flèche f constante, montrer que la masse de la poutre m_p peut être mise sous la forme $m_p = K' \times \frac{\rho}{\sqrt[3]{E}}$ avec K' constante.

Question 38 - À l'aide du diagramme de propriétés « masse volumique – module d'Young » fourni dans le DR 4, déterminer, en justifiant par un tracé, le matériau permettant de minimiser la masse de la poutre à flèche constante, compatible avec une production unitaire du support et minimisant la maintenance de ce dernier.

Quels que soient les résultats trouvés à la question précédente, on retient comme matériaux pour le support les alliages de magnésium et les alliages d'aluminium.

Question 39 - A l'aide de l'annexe DT 11, déterminer le pourcentage noté $\%_{\text{prix Mg/Al}}$ correspondant au ratio $\frac{\text{prix de la pièce en alliage de magnésium}}{\text{prix de la pièce en alliage d'aluminium}}$ pour deux pièces ayant la même flèche.

Question 40 - Proposer des critères supplémentaires à prendre en compte pour choisir le matériau.

Charge et inertie

Hypothèses :

- Pour les questions suivantes, le support est constitué d'un alliage d'aluminium dont la masse volumique est $\rho = 2700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- On donne des dimensions correspondant à la Figure 19 : $H = 80 \text{ mm}$, $h = 16 \text{ mm}$, $L = 230 \text{ mm}$, $e = 10 \text{ mm}$.
- L'ensemble constitué par le système de préhension à ventouse et la varistance est considéré comme une masse ponctuelle $m = 1 \text{ kg}$ placée en A (Figure 19).

Question 41 - Le support est modélisé comme présenté sur la Figure 19. Déterminer la masse m_c supportée par le poignet du robot. Réaliser l'application numérique.

Question 42 - A partir du modèle proposé en Figure 19, déterminer le moment d'inertie selon l'axe Oz du support, noté JOz . L'exprimer sous la forme $JOz = \text{Lep}(D_1 H^3 + D_2 H^2 h + D_3 H L^2 + D_4 H h^2 + D_5 h L^2 + D_6 h^3)$ où les termes D_1 , D_2 , D_3 , D_4 , D_5 et D_6 sont des constantes à déterminer.

Question 43 - Donner l'expression du moment d'inertie autour de l'axe Oz de l'ensemble support, système de préhension à ventouse et varistance, noté I_c , en fonction de JOz et m ainsi que des paramètres dimensionnels du support.

Question 44 - On donne $JOz = 0,0036 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$. Conclure sur le respect des spécifications du constructeur concernant la charge transportable par le robot

RS80 (charge et inertie sont données dans l'annexe DT 12, le robot retenu possède une vis à billes de 25 mm de diamètre).

B. Étude du système de préhension

Objectifs : déterminer les références de la ventouse ainsi que de la pompe à vide et valider la solution technologique utilisée pour réaliser la liaison encastrement entre le système de préhension et le support.

Les critères de choix des ventouses sont donnés en annexes DT 13 à DT 15. On rappelle que :

- les varistances sont réalisées à partir d'un matériau poreux et abrasif ;
- l'effort de préhension à créer grâce à la ventouse est de 9 N ;
- les varistances sont saisies par leur face plane et horizontale supérieure (Figure 18).

Question 45 - Quelle est la plage de vide en % adaptée à la saisie des varistances ? Quel est le niveau de vide, noté $V_{\%}$, qui maximise les économies d'énergie ? Quelles matières de ventouse sont conseillées pour la saisie des varistances ?

Question 46 - Déterminer l'expression littérale du diamètre, noté d_v et exprimé en mm, d'une ventouse plate standard de type VP permettant de déplacer les varistances (prise horizontale), en fonction de $V_{\%}$ et du coefficient de sécurité noté s , en faisant l'hypothèse que l'effort de préhension pratique est 50% moins important que l'effort de préhension théorique. Faire l'application numérique et déterminer la référence de la ventouse juste suffisante pour la préhension d'une varistance. Attention à la matière de la ventouse choisie.

On s'intéresse à présent au défaut angulaire acceptable entre la ventouse et la surface plane de la varistance lors de la saisie.

Hypothèses :

- la ventouse s'écrase lors de l'aspiration d'une hauteur $f=3$ mm (Figure 20 a) ;
- la condition optimale de saisie d'une surface plane avec une ventouse est obtenue lorsque l'axe de la ventouse est perpendiculaire à la surface à saisir (cas où $\theta=0$ sur la Figure 20 b). Toutefois la préhension reste fonctionnelle lorsque la ventouse est appliquée sur une surface plane si $\theta \leq \theta_{\max}$. $\theta_{\max}$ est atteint dans le cas où, avant aspiration, un côté de la ventouse est en contact sans écrasement avec la surface plane à saisir alors que l'autre côté de la ventouse est déjà écrasé d'une longueur égale à $f/2$, (Figure 20 b).

Donnée :

Quel que soit le résultat obtenu précédemment, le diamètre de la ventouse est $d_v=40$ mm.

Question 47 - Déterminer l'expression littérale de l'angle $\theta_{\max}$ en fonction de d_v et de f . Faire l'application numérique. Donner le résultat en degrés.

Question 48 - En prenant en compte le résultat de la question précédente, justifier la solution technologique retenue pour réaliser la liaison encastrement entre le système de préhension et le support. Voir DT 16 et DT 17.

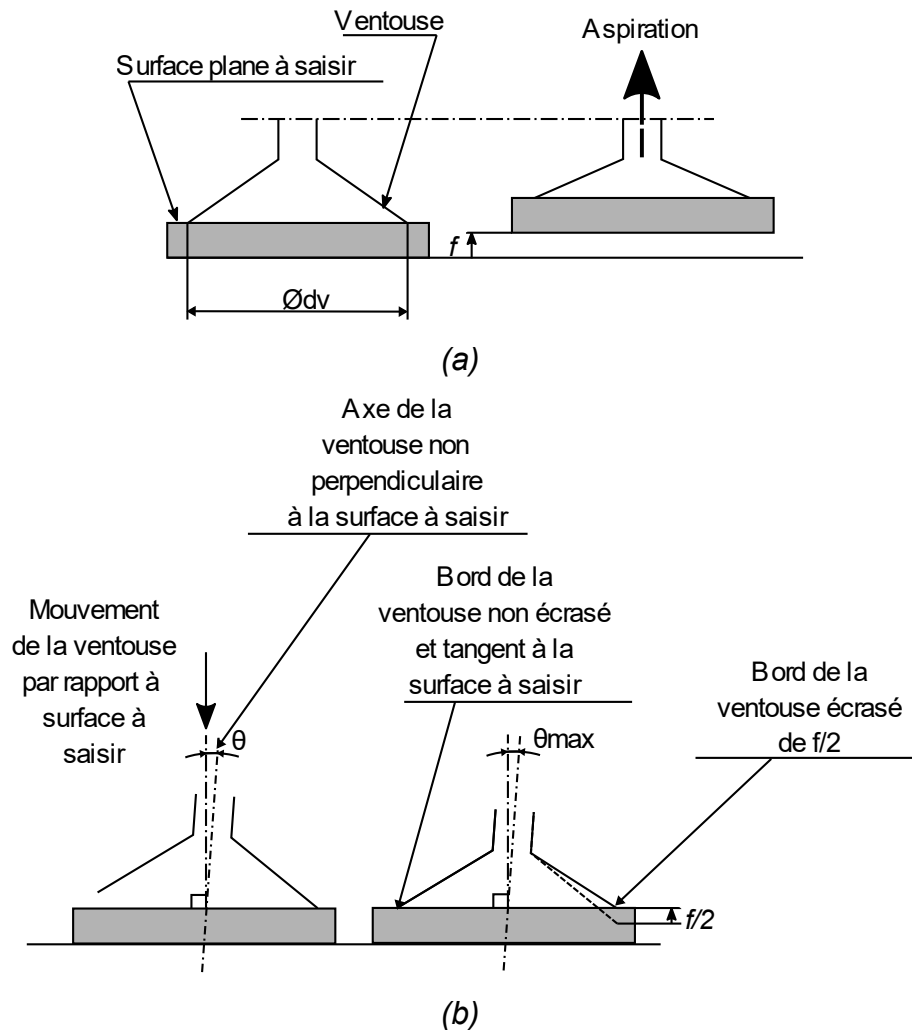


Figure 20 : Préhension par ventouse

C. Fabrication et contrôle du support

Objectifs : Définir le procédé de fabrication du support et contrôler les spécifications de ce dernier.

Le dessin de définition partiellement coté du support de l'outil de préhension des varistances est donné en annexe DT 17.

Procédé de fabrication : fraisage

On envisage la production d'un seul support à partir de l'usinage d'une plaque d'alliage d'aluminium laminée AW-6061P-T651 (AlMg1SiCu).

Question 49 - Selon la norme NF EN 515, l'état métallurgique T651 de l'alliage d'aluminium est défini ainsi : métal à durcissement structural mis en solution puis revenu ayant subi après trempe une déformation par traction contrôlée. Définir la « traction contrôlée » et donner sa fonction principale.

Question 50 - Le fabricant annonce une dureté HB 88. Décrire le principe de cette mesure de dureté.

L'usinage du support est réalisé sur une fraiseuse à commande numérique 3 axes d'une puissance disponible de coupe de 18,5 kW et dont la vitesse maximale de la broche est de 12000 tours/min. L'ensemble des outils classiques est disponible (fraises à surfacer 1 taille et 2 tailles, fraises à détourer, fraises à aléser, fraises à rainurer, fraises à chanfreiner, forets...)

Une gamme d'usinage du support est partiellement fournie en DR 5. Elle présente l'état de la pièce en fin de phase. Cette gamme cherche à minimiser le nombre de phases tout en respectant la cotation partielle de la pièce (DT 17). Les faces usinées dans les phases respectent la désignation donnée en DT 18. Les taraudages ne sont pas pris en compte dans la gamme. Le « brut », de forme prismatique, a subi un cubage aux dimensions 282 x 84 x 20 mm.

Question 51 - Compléter le DR 5 :

- Représenter la mise en position isostatique de la pièce pour les phases 10 et 30.
- Préciser les outils utilisés pour les surfaces usinées K, H, I, M et D de la phase 10.

Optimisation du surfacage

Afin de choisir l'outil et les conditions de coupe permettant d'optimiser le temps d'usinage, nous étudierons une situation volontairement simplifiée. L'objectif est de surfacer une surface rectangulaire de 80 x 230 mm ayant une surépaisseur de 2 mm.

La matière et les capacités de la machine restent inchangées. On envisage deux outils : un outil à surfacer et une fraise 2 tailles.

Outil 1 : Outil à surfacer	Outil 2 : Fraise 2 tailles
 Fraise à plaquettes de diamètre de coupe $D_1 = 100$ mm et de nombre de dents $Z_1 = 10$. Profondeur de coupe maximale de l'outil $APMX_1 = 6$ mm. L'engagement max de l'outil est de 80% du diamètre de coupe. La pression spécifique de coupe est $kc_1 = 808$ N·mm⁻². Les paramètres de coupe sont : En ébauche : vitesse de coupe $V_{c1} = 906$ m/min et avance par dent $f_{z1} = 0,242$ mm En finition : vitesse de coupe $V_{c1} = 953$ m/min et avance par dent $f_{z1} = 0,184$ mm	 Fraise de diamètre de coupe $D_2 = 25$ mm et de nombre de dents $Z_2 = 3$. Profondeur de coupe maximale de l'outil $APMX_2 = 37,5$ mm. L'engagement max de l'outil est de 80% du diamètre de coupe. La pression spécifique de coupe est $kc_2 = 654$ N·mm⁻². Les paramètres de coupe sont : En ébauche : vitesse de coupe $V_{c2} = 942$ m·min⁻¹ et avance par dent $f_{z2} = 0,322$ mm En finition : vitesse de coupe $V_{c2} = 932$ m·min⁻¹ et avance par dent $f_{z2} = 0,307$ mm

La profondeur de la passe de finition est de 0,5 mm.

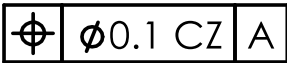
Question 52 - En ébauche, calculer pour l'outil 1 ainsi que pour l'outil 2 les vitesses de rotation de la broche, notées respectivement N_{e1} et N_{e2} en tr/min, les vitesses d'avance de la fraise, notées respectivement $V_{f_{e1}}$ et $V_{f_{e2}}$ en mm/min, et la puissance de coupe P_{c1} et P_{c2} . Conclure vis-à-vis des capacités machines.

Question 53 - En ébauche, calculer pour l'outil 1 ainsi que pour l'outil 2 les débits de copeaux en cm³·min⁻¹, notés respectivement Q_1 et Q_2 . Quel cas maximise le débit de copeaux ? Conclure sur le choix d'outil le mieux adapté.

Contrôle

Les exigences dimensionnelles et géométriques du support sont partiellement définies sur le DT 17.

Question 54 - Décoder la spécification suivante sur le document réponse DR 6 :

4 x $\varnothing 6,3$ H11


Question 55 - Expliquer la spécification « Ra 3,2 ». Quel outil de mesure peut être utilisé pour vérifier cette spécification ? Expliquer en quelques mots comment le mettre en œuvre.

D. Reconception de la liaison support-bride

Objectif : reconcevoir la liaison entre le support et la bride du robot.

Consignes spécifiques aux travaux graphiques

Il est attendu une traduction univoque des intentions de conception dans le respect des codes de représentation, ainsi que toute précision jugée utile pour faciliter la compréhension des solutions (annotations concises, perspectives à main levées, sections sorties, ...).

La bride du robot est définie en annexe DT 19. La liaison entre le support actuel et la bride du robot est présentée en annexe DT 16.

Question 56 - Analyser et critiquer la liaison encastrement entre le support et la bride du robot (MIP / MAP / transmission des actions mécaniques).

Problématique : Lors de la maintenance annuelle du système, l'outil est démonté puis remonté sur la bride du robot. À la suite de ces entretiens, il est régulièrement constaté des défauts de positionnement du système de préhension à ventouse lors des phases de prise/dépose des varistances. Cela oblige le service maintenance de l'entreprise à reconfigurer les repères utilisateurs.

Question 57 - Expliquer l'origine des défauts de positionnement du système de préhension à ventouse lors des phases de prise/dépose des varistances en vous restreignant à l'étude de la liaison entre le support et la bride du robot (voir DT 16).

La Figure 21 représente les deux positions extrêmes du support lors de son montage sur la bride dues aux jeux entre les passages de vis et les vis. On suppose que le support présente un débattement angulaire autour de l'axe de la goupille et on néglige les jeux au niveau des liaisons bride/goupille et goupille/support.

Question 58 - Déterminer l'expression littérale de l'angle $\alpha_{\max}$, puis l'expression littérale de l'erreur maximale de positionnement de la ventouse $\delta_{\max}$ en fonction des paramètres fournis sur la Figure 22. Faire l'application numérique à partir des cotes nominales fournies sur DT 17 et DT 19, puis conclure sur le respect de l'exigence « 1.1.2.3 » (voir DT 1).

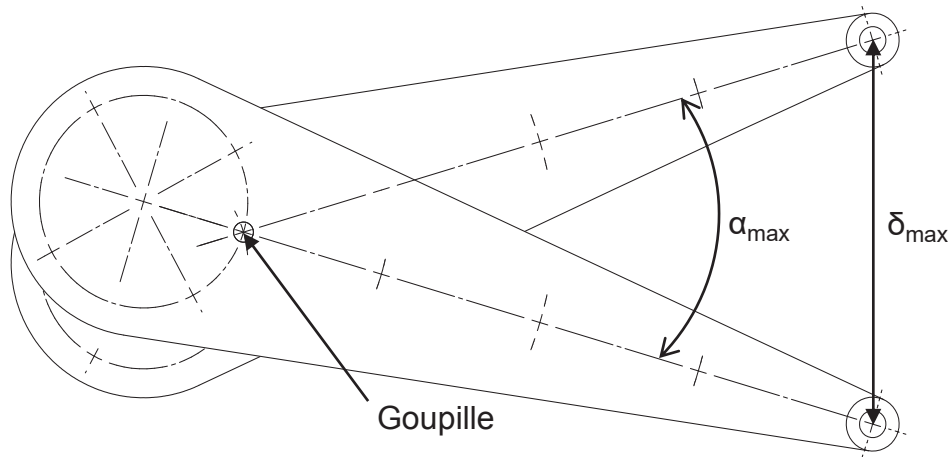


Figure 21 : Positions extrêmes du support monté sur la bride

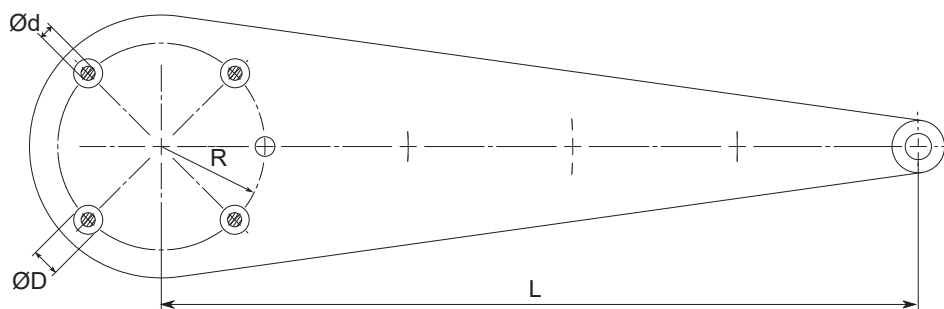


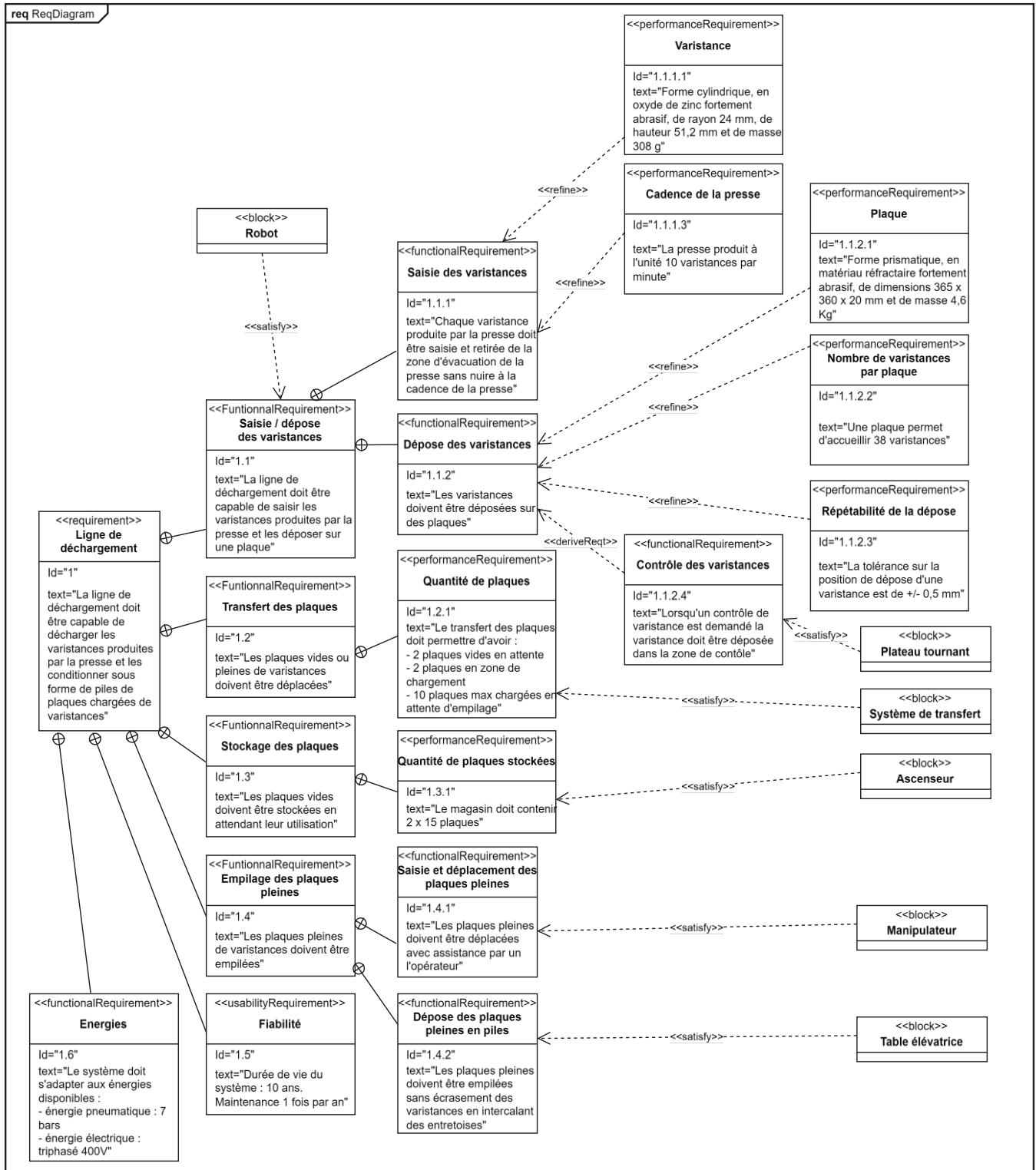
Figure 22 : Paramètres à utiliser pour l'étude des positions extrêmes du support (d : diamètre nominal des vis M6, D diamètre du trou de passage des vis)

Question 59 - Proposer une ou des modifications à apporter à la liaison entre le support et la bride du robot. Puis représenter la solution proposée en complétant les deux vues du dessin d'ensemble DR 7. La solution proposée ne doit pas empêcher le passage du tuyau pneumatique du système de préhension à ventouse au travers de l'alésage coté $B = 18 \text{ mm}$ sur l'annexe DT 19. Les vis d'assemblage ainsi que la goupille sont à représenter. Indiquer les ajustements pertinents.

DOCUMENTS TECHNIQUES

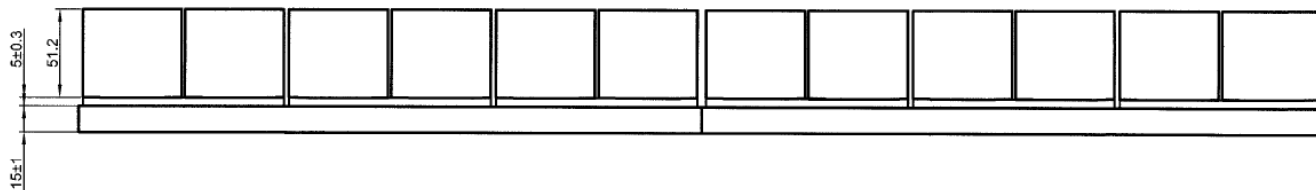
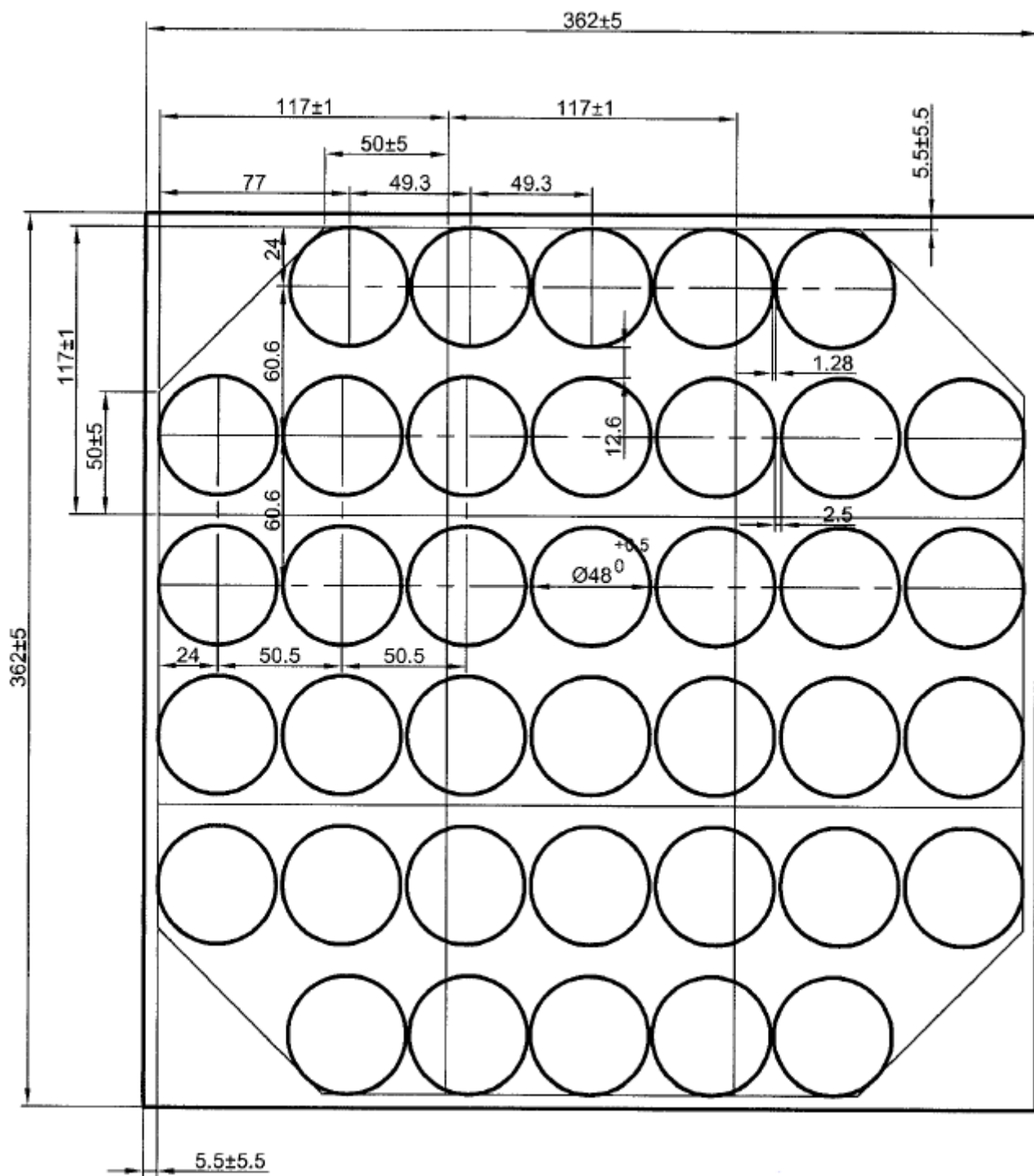
- DT 1. Diagramme des exigences
- DT 2. Plaque et position des varistances
- DT 3. Schéma coté des produits Lexium PAS43BR
- DT 4. Données mécaniques des produits Lexium PAS43BR (Part1)
- DT 5. Données mécaniques des produits Lexium PAS43BR (Part2)
- DT 6. Données mécaniques des produits Lexium PAS43BR (Part3)
- DT 7. Systèmes de levage des axes linéaires
- DT 8. Déplacements ascendants (en m) obtenus par une modélisation par éléments finis
- DT 9. Contraintes de Von Mises (en Pa) obtenues par une modélisation par éléments finis
- DT 10. Présentation générale et caractéristiques dimensionnelles du robot RS80 de STAUBLI
- DT 11. Caractéristiques des alliages de magnésium et d'aluminium
- DT 12. Caractéristiques des charges transportables par les robots STAUBLI de la gamme RS
- DT 13. Préhension par le vide (1/3)
- DT 14. Préhension par le vide (2/3)
- DT 15. Préhension par le vide (3/3)
- DT 16. Liaison bride / support
- DT 17. Dessin de définition partiellement coté du support
- DT 18. Désignation des surfaces à usiner
- DT 19. Bride du robot RS80

DT 1. Diagramme des exigences

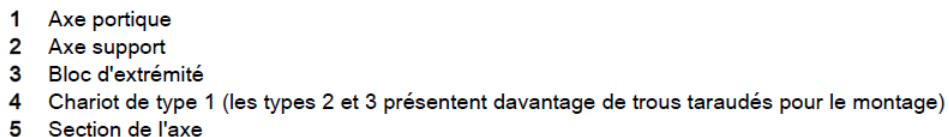


DT 2. Plaque et position des varistances

Dimensions en mm



Extrait du Guide de référence du matériel - Lexium série PAS4•B - Schneider Electric

4

DT 4. Données mécaniques des produits Lexium PAS43BR (Part1)

Extrait du Guide de référence du matériel - Lexium série PAS4•B - Schneider Electric

NOTE : Les forces et couples maximum sont calculés pour une durée de vie de 30 000 km

Paramètre	Unité	Valeur Lexium PAS43BR					
		Chariot de type 1		Chariot de type 2		Chariot de type 4	
		sans bande de recouvrement	avec bande de recouvrement	sans bande de recouvrement	avec bande de recouvrement	sans bande de recouvrement	avec bande de recouvrement
Courroie crantée	–	30HTD5 largeur : 30 mm (1.18 in), profilé : HTD, pas : 5 mm (0.197 in)					
Type de guidage	–	Guidage à galets					
Longueur du chariot	mm (in)	244 (9.6)	364 (14.3)	314 (12.4)	434 (17)	454 (18)	574 (22.6)
Constante d'avance	mm/tour (pouces/ tour)	205 (8)					
Diamètre primitif poulie de courroie crantée	mm (in)	65,254 (2.57)					
Force d'avance maximum $F_{x_{max}}$ ⁽¹⁾	N (lbf)	1100 (247)					
Vitesse maximum ⁽²⁾	m/s (ft/s)	8 (26)					
Accélération maximum ⁽²⁾	m/s ² (ft/s ²)	20 (66)					
Couple d'entraînement maximum M_{max} ⁽¹⁾	Nm (lbf-in)	36 (319)					
Couple de décollement - axe à course 0	Nm (lbf-in)	2,5 (22)					
Couple de décollement par chariot supplémentaire	Nm (lbf-in)	0,3 (2.66)					
Moment d'inertie - axe à course 0	kg•cm ² (lb•in ²)	29,3 (10)	33,7 (11.5)	34,1 (11.7)	38,5 (13)	43,7 (15)	48,1 (16.4)
(1) Les couples et forces maximum admissibles diminuent lorsque la vitesse augmente. Reportez-vous aux courbes caractéristiques qui suivent ce tableau. (2) En fonction de la charge et de la course. (3) Pour plus d'informations sur les courses supérieures, contactez votre contact Schneider Electric local. (4) Nécessaire pour la lubrification du guide linéaire.							

DT 5. Données mécaniques des produits Lexium PAS43BR (Part2)

Extrait du Guide de référence du matériel - Lexium série PAS4•B - Schneider Electric

NOTE : Les forces et couples maximum sont calculés pour une durée de vie de 30 000 km

Paramètre	Unité	Valeur Lexium PAS43BR					
		Chariot de type 1		Chariot de type 2		Chariot de type 4	
		sans bande de recouvrement	avec bande de recouvrement	sans bande de recouvrement	avec bande de recouvrement	sans bande de recouvrement	avec bande de recouvrement
Moment d'inertie par chariot supplémentaire	kg•cm ² (lb•in ²)	20,1 (6.9)	24,4 (8.3)	24,9 (8.5)	29,2 (10)	34,6 (11.8)	38,9 (13.3)
Moment d'inertie par mètre (pouce) de course	kg•cm ² (lb•in ²)	2,5 (0.85)					
Moment d'inertie par kg (lb) de charge utile	kg•cm ² (lb•in ²)	10,7 (3.66)					
Force Fy maximum ⁽¹⁾	Nm (lbf•in)	1760 (395.66)					
Force Fz maximum ⁽¹⁾	Nm (lbf•in)	1040 (233.80)					
Couple maximum chariot Mx ⁽¹⁾	Nm (lbf•in)	29 (257)					
Couple maximum chariot My ⁽¹⁾	Nm (lbf•in)	51 (451)		87 (770)		160 (1434)	
Couple maximum chariot Mz ⁽¹⁾	Nm (lbf•in)	86 (761)		148 (1310)		271 (2399)	
Masse - axe à course 0	kg (lb)	8,9 (19.6)	10,6 (23.4)	9,9 (22)	11,6 (25.6)	11,9 (26)	13,6 (30)
Masse par chariot supplémentaire (avec profilé d'axe)	kg (lb)	3,8 (8.4)	5,2 (11.5)	4,8 (10.6)	6,2 (13.7)	6,8 (15)	8,2 (18)
Masse par mètre (pouce) de course	kg (lb)	8 (17.6)					
Masse mobile chariot	kg (lb)	1,9 (4.2)	2,3 (5.1)	2,4 (5.3)	2,8 (6.2)	3,3 (7.3)	3,7 (8.2)
Course maximum ⁽³⁾	mm (in)	5600 (220)	5450 (215)	5530 (218)	5380 (208)	5390 (212)	5240 (206)
Course minimum ⁽⁴⁾	mm (in)	175 (6.9)					
Répétabilité de position ⁽²⁾	mm (in)	+/- 0,05 (0.00197)					

(1) Les couples et forces maximum admissibles diminuent lorsque la vitesse augmente. Reportez-vous aux courbes caractéristiques qui suivent ce tableau.

(2) En fonction de la charge et de la course.

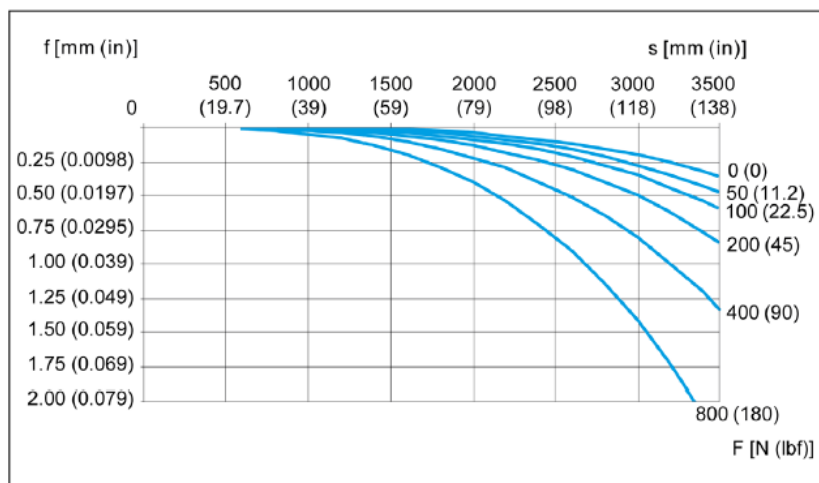
(3) Pour plus d'informations sur les courses supérieures, contactez votre contact Schneider Electric local.

(4) Nécessaire pour la lubrification du guide linéaire.

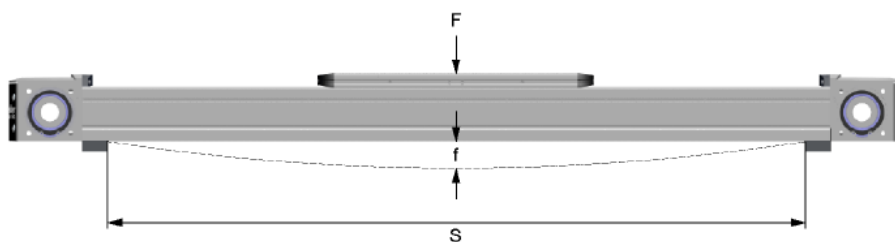
DT 6. Données mécaniques des produits Lexium PAS43BR (Part3)

Extrait du Guide de référence du matériel - Lexium série PAS4•B - Schneider Electric

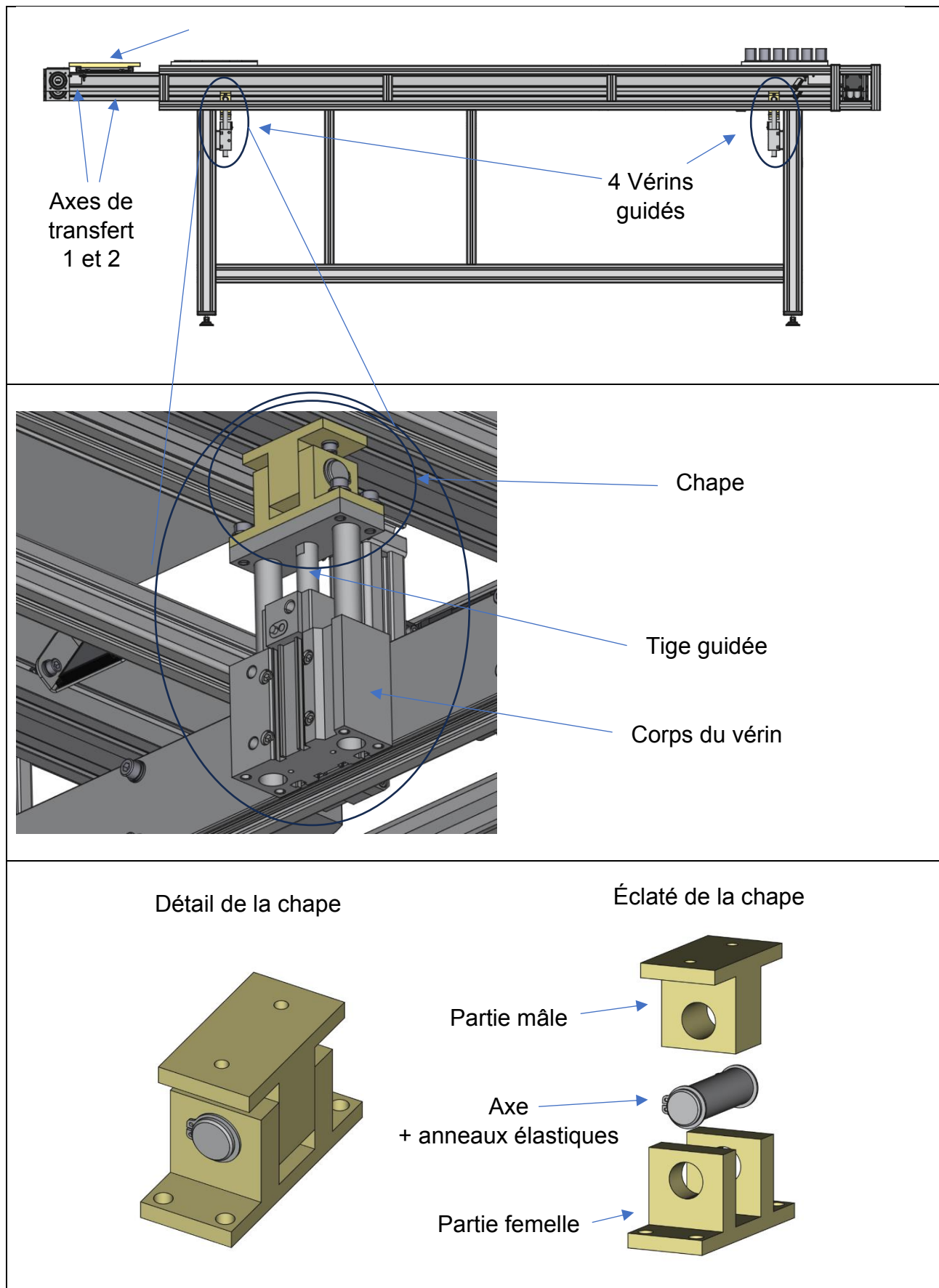
Déviatiun maximum



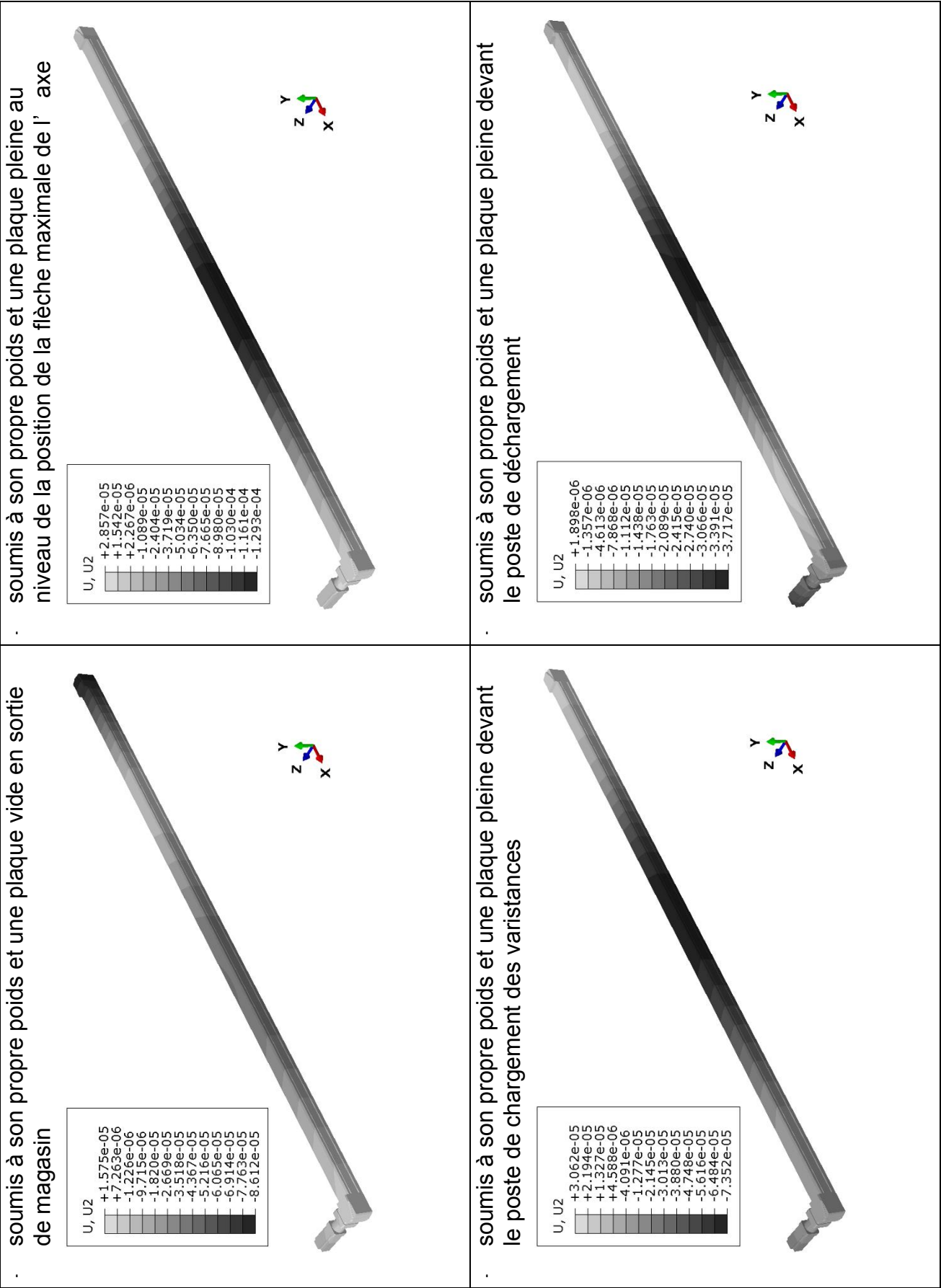
Pour limiter la déviation de l'axe lors de courses longues, il convient de soutenir l'axe. Le diagramme suivant indique la déviation f [mm (in)] de l'axe par rapport à la distance du support S [mm (in)] et à la force en oeuvre F [N (lbf)]. Une déviation excessive diminue la durée de vie de l'axe.



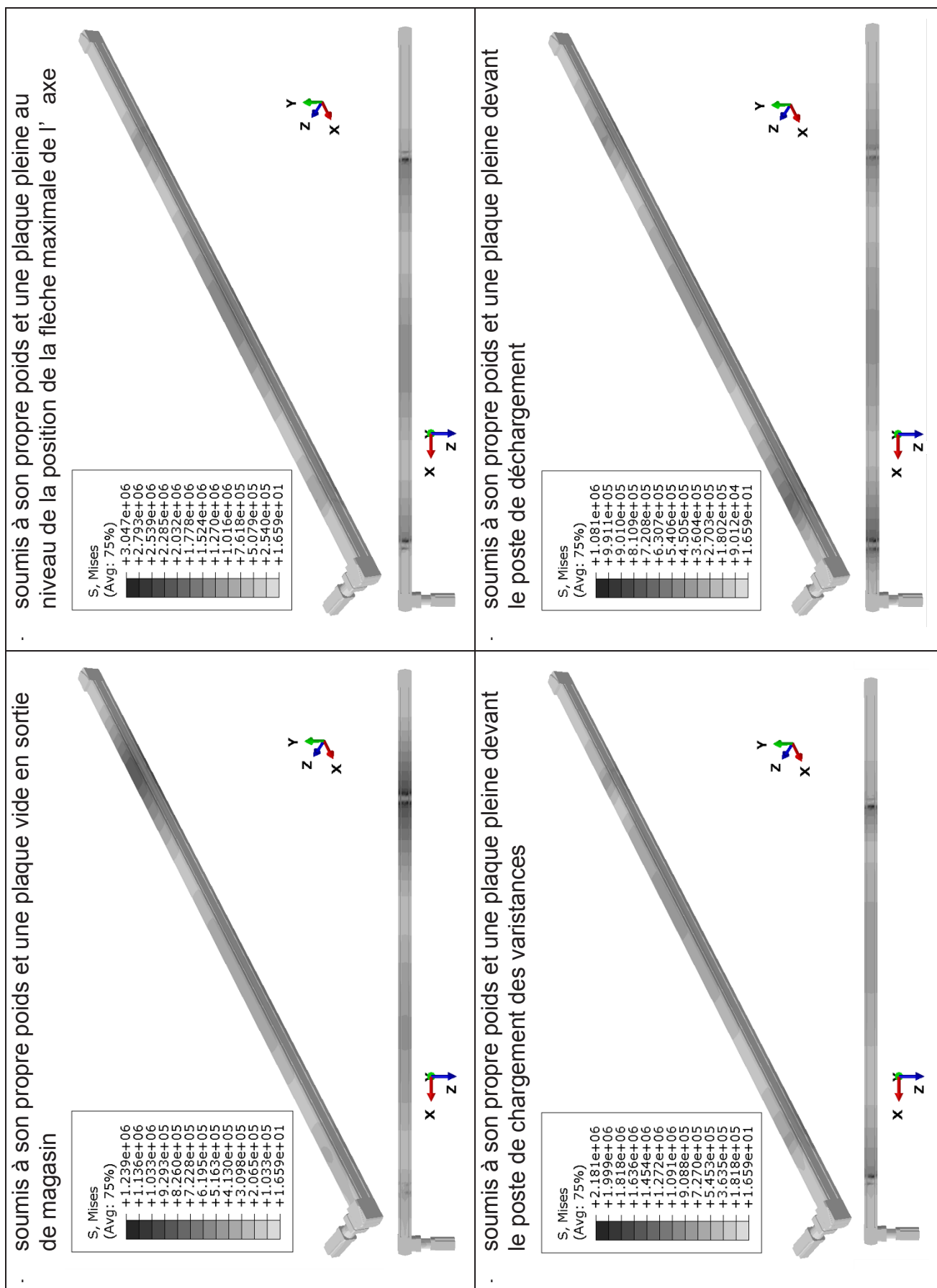
DT 7. Systèmes de levage des axes linéaires



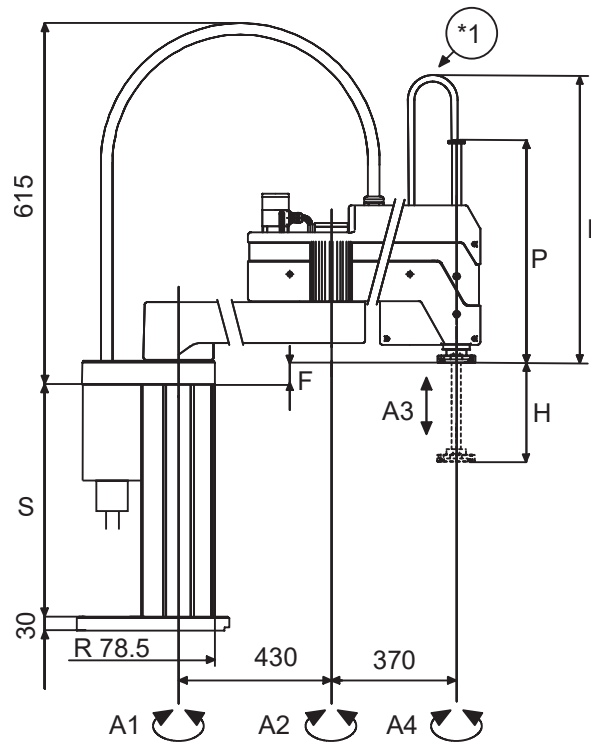
DT 8. Déplacements ascendants (en m) obtenus par une modélisation par éléments finis



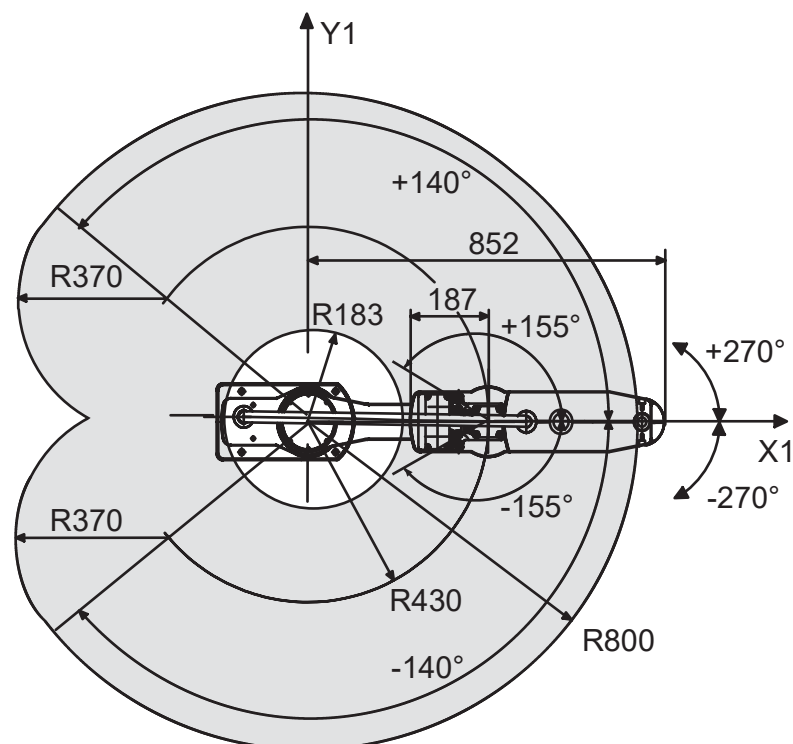
DT 9. Contraintes de Von Mises (en Pa) obtenues par une modélisation par éléments finis



Extrait de la documentation constructeur



Axe A1 (°)	+/- 140
Axe A2 (°)	+/- 155
Axe A3 (mm)	400
Axe A4 (°)	+/- 270



DT 11. Caractéristiques des alliages de magnésium et d'aluminium

	Alliages de magnésium	Alliages d'aluminium
Densité (Kg/m ³)	1750 – 1870	2500 – 2900
Prix (€/Kg)	* 2,42 – 2,61	* 1,75 – 1,88
Module de Young (GPa)	42 – 47	72 – 89
Energie grise (MJ/Kg)	* 297 – 328	* 191 – 211
Empreinte CO2 (Kg/Kg)	* 34,1 – 37,6	* 11,5 – 12,7

Les valeurs marquées * sont estimées.

DT 12. Caractéristiques des charges transportables par les robots STAUBLI de la gamme RS

Extrait de la documentation constructeur

Charge transportable	RS40B	RS60	RS80
Charge nominale	2 kg	2 kg	2 kg
Charge maximale (vis à bille Ø20 mm)	5 kg	5 kg	5 kg
Charge maximale (vis à bille Ø25 mm)	-	8 kg	8 kg

	Inerties nominales (kg.m ²)			Inerties maximales (kg.m ²) ⁽¹⁾		
	RS40B	RS60	RS80	RS40B	RS60	RS80
Par rapport à l'axe 4	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1

(1) Dans les conditions de vitesse et accélération réduites.

Généralement : VEL = 60%, ACC = 60%, DEC = 60% (nous consulter)

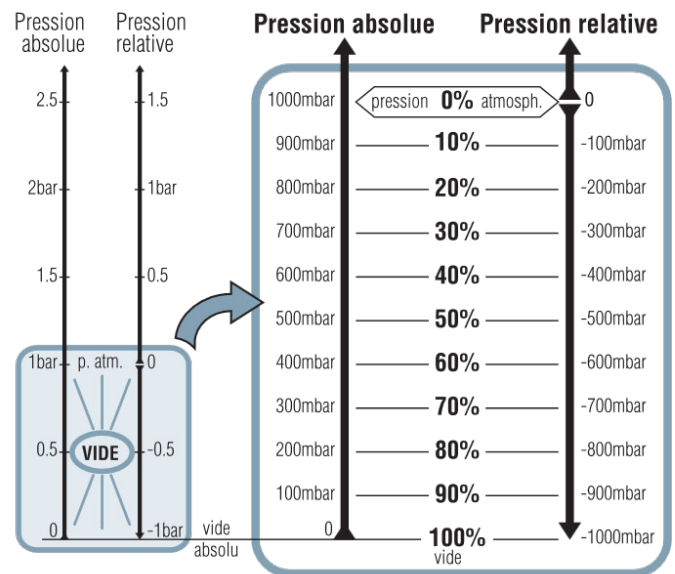
DT 13. Préhension par le vide (1/3)

Extrait du catalogue Coval

LA MESURE DU NIVEAU DE VIDE

En préhension, le vide n'est efficace que par sa différence avec la pression atmosphérique. Mais la pression atmosphérique varie légèrement avec l'altitude du lieu de mise en œuvre. C'est pourquoi il est pratique d'exprimer un niveau de vide en % de la pression atmosphérique.

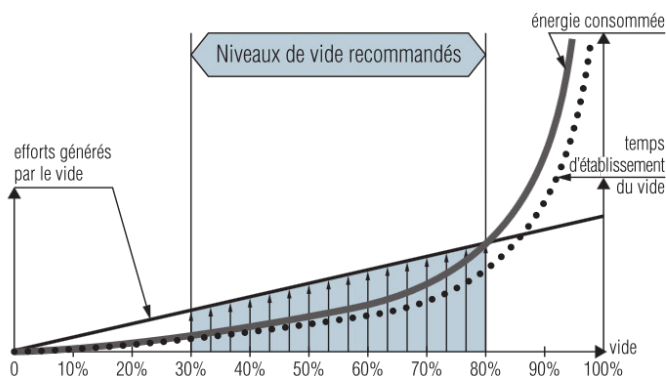
Les échelles ci-contre expriment la correspondance entre les pressions exprimées en bar et mbar, et les niveaux de vide exprimés en % de la pression atmosphérique. Cette correspondance est rigoureuse pour un emploi à une altitude de 100 m. Nous l'utiliserons pour le dimensionnement des ventouses, car elle est pratique et convient pour les altitudes les plus courantes des sites industriels.



LES NIVEAUX DE VIDE RECOMMANDÉS

La préhension met en œuvre des efforts proportionnels au niveau de vide qui les génère (courbes ci-dessous). Pour profiter d'efforts maximum, on est tenté d'utiliser un niveau de vide maxi. Cependant, les courbes montrent aussi qu'un vide poussé : - coûte cher en énergie. - est long à s'établir.

C'est pourquoi les niveaux de vide pratiqués doivent rester limités, de 30 % lorsque le débit de vide à maintenir est important, à 80 % en circuit étanche (débit de maintien nul).



1. Matériaux poreux

La zone 30 à 55 % de vide s'avère à la fois efficace et économique, compte tenu des débits de vide à assurer. Pour obtenir les efforts de maintien voulus, les ventouses sont dimensionnées en conséquence.

2. Surfaces étanches

Dans ce cas, la zone 55 à 80 % de vide donne d'excellents résultats. Les efforts résultants sont plus importants (courbes ci-contre) et permettent d'utiliser des ventouses plus compactes.

DT 14. Préhension par le vide (2/3)

Extrait du catalogue Coval

CALCUL DE FORCE D'UNE VENTOUSE

La force de la ventouse est proportionnelle à sa surface sous vide et fonction, également, de sa forme générale, de sa souplesse, de sa matière... et surtout de la profondeur de vide atteinte dans la chambre interne de la ventouse.

La force théorique

$$F(\text{DaN}) = S (\text{cm}^2) \times V (\%) \times 0,01013$$

S = Surface de la ventouse (cm²)

V = Niveau de vide (%)

La force pratique

Comme son nom l'indique, cette force représente la force effective de la ventouse lors de son utilisation. Elle est, en général, 50% moins importante qu'une force théorique calculée. Cette différence s'explique par la déformation de la ventouse pendant la manipulation qui réduit la surface de prise et par l'état de surface de la pièce manipulée.

Le coefficient de sécurité

Toutes les forces indiquées dans les tableaux des différentes gammes de ventouses sont des **forces pratiques à 65% de vide**, calculées avec un coefficient de sécurité de :

- 2 pour des prises horizontales (1),
- 4 pour des prises verticales (2).



LES MATIÈRES

Propriétés des matières

Matières	Abréviation	Dureté Shore A (+/- 5 Shore A)	Couleur	Souplesse	Résistance à l'abrasion	Résistance aux U.V. & Intempéries	Résistance aux huiles minérales	Résistance aux températures en continu		Compatibilité alimentaire	
								en °C	en °F	FDA CFR 21 177.2600	CE 1935/2004
Nitrile	NBR	60	Noir	+	++	+	++	0 à 90	32 à 194		
Silicone	SI	35	Translucide	++++	-	+++	-	-40 à 220	-40 à 428	■	■
	SI3	35	Rouge	++++	-	+++	-	-40 à 220	-40 à 428	■	
	SI5	50	Translucide	+++	-	+++	-	-40 à 220	-40 à 428	■	■
	SIB	35	Blanc	++++	-	+++	-	-40 à 220	-40 à 428	■	■
	SIBL3	35	Bleu clair	++++	-	+++	-	-40 à 220	-40 à 428	■	■
	SIBL5	50	Bleu foncé	+++	-	+++	-	-40 à 220	-40 à 428	■	■
	SIB5BD (détectable)	50	Bleu foncé	+++	-	+++	-	-40 à 220	-40 à 428	■	■
	SIT3	35	Translucide	++++	-	+++	-	-40 à 220	-40 à 428	■	■
	SIT5	50	Translucide	+++	-	+++	-	-40 à 220	-40 à 428	■	■
	SIT6	60	Translucide	++	-	+++	-	-40 à 220	-40 à 428	■	■
Caoutchouc Naturel	NR	50	Gris - Marron	+++	++	-	-	-20 à 70	-4 à 158		
SITON®	STN	60	Bleu	+	+++	++	++	-20 à 130(*)	-4 à 266(*)		
	STN5	50	Bleu	++	+++	++	++	-20 à 130(*)	-4 à 266(*)		
	STNV6	60	Vert	+	+++	++	++	-20 à 130(*)	-4 à 266(*)		
Polyuréthane	PU	60	Bleu	+	+++	+	+++	-20 à 90	-4 à 194		
	TPU	85	Bleu gris	-	+++	+	+++	-20 à 100	-4 à 212		

(*) Résistance aux températures en contact ponctuel (< 5 s) : 160 °C / 320 °F

++++ Excellent +++ Très bon ++ Bon + Faible - Non adapté ■ Compatible

VP

Ventouses plates Ø 8 à 75 mm

Les ventouses plates série VP sont spécialement recommandées pour la manipulation de produits plats, rigides et lisses.

- Grande force de traction.
- Grande résistance aux efforts latéraux permettant une manipulation verticale.
- Grande précision.

Matières

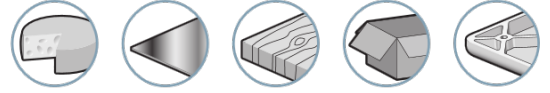
NBR Nitrile

NR Caoutchouc naturel

SIT5 Silicone translucide

STN SITON®

Domaines d'activité



Cas d'emploi



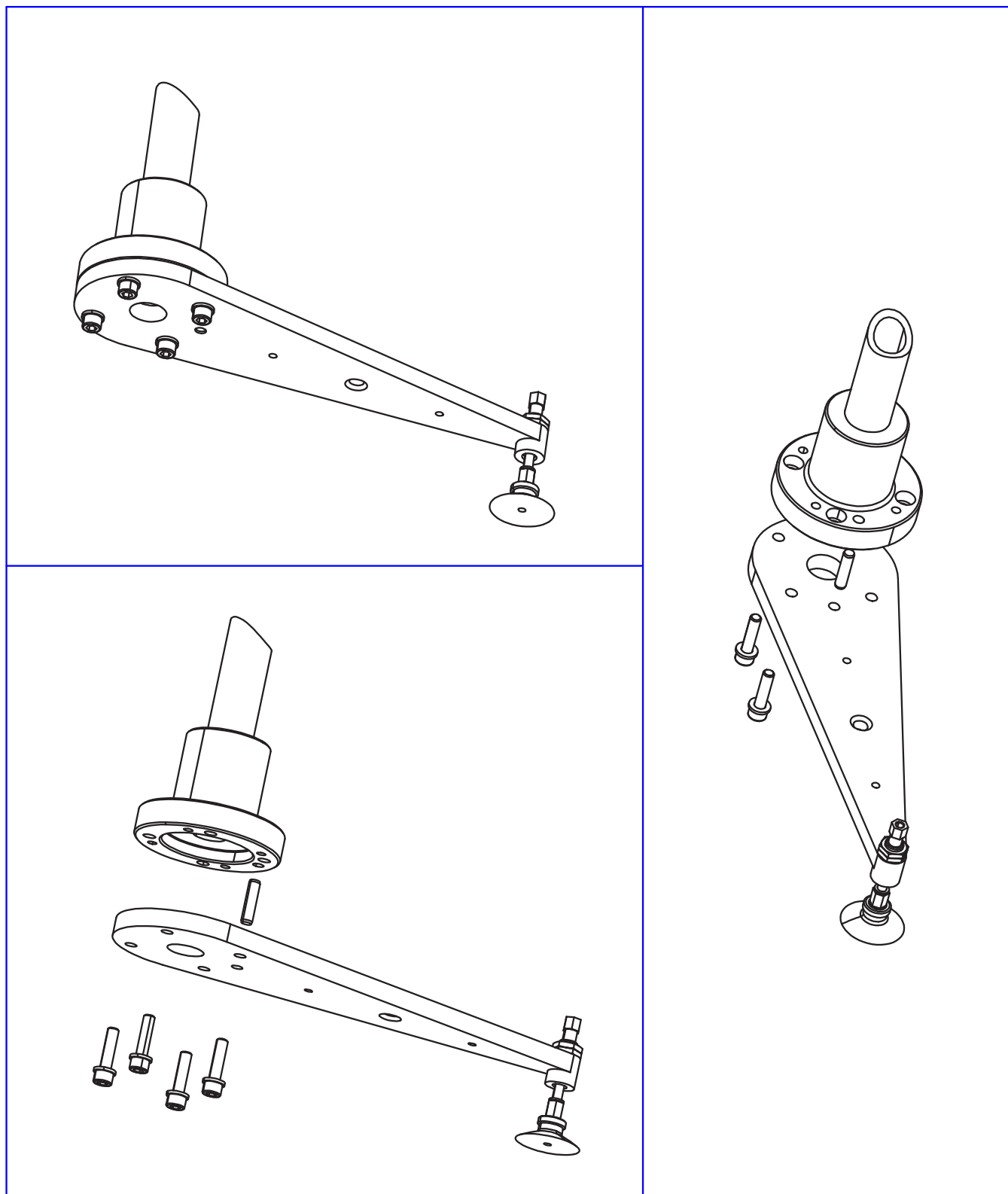
Caractéristiques ventouses

	Ø (mm)	 (cm³)	 (N) ⁽¹⁾	 (N) ⁽¹⁾	 R _{min} (mm)	NBR	SIT5	NR	STN
VP 8	7.5	0.04	1.1	0.5	10	VP8NBR	VP8SIT5	-	VP8STN
VP 10	10	0.05	1.6	0.8	13	VP10NBR	VP10SIT5	-	-
VP 15	15	0.18	3.7	1.8	13	VP15NBR	VP15SIT5	-	VP15STN
VP 20	20	0.44	6.1	3.0	20	VP20NBR	VP20SIT5	-	VP20STN
VP 25	25	0.7	9.4	4.7	25	VP25NBR	VP25SIT5	-	VP25STN
VP 26	26	1.5	11.2	5.6	35	VP26NBR	VP26SIT5	-	-
VP 30	30	2.9	15.9	7.9	40	VP30NBR	VP30SIT5	-	VP30STN
VP 35	35	2.7	23.1	11.6	50	VP35NBR	VP35SIT5	-	-
VP 40	40	4	26.7	13.4	50	VP40NBR	VP40SIT5	VP40NR	VP40STN
VP 50	52	7	38.3	19.1	75	VP50NBR	VP50SIT5	-	VP50STN
VP 60	60	7.3	57.8	28.9	100	VP60NBR	VP60SIT5	-	-
VP 75	75	16	101.1	50.6	130	VP75NBR	VP75SIT5	VP75NR	-

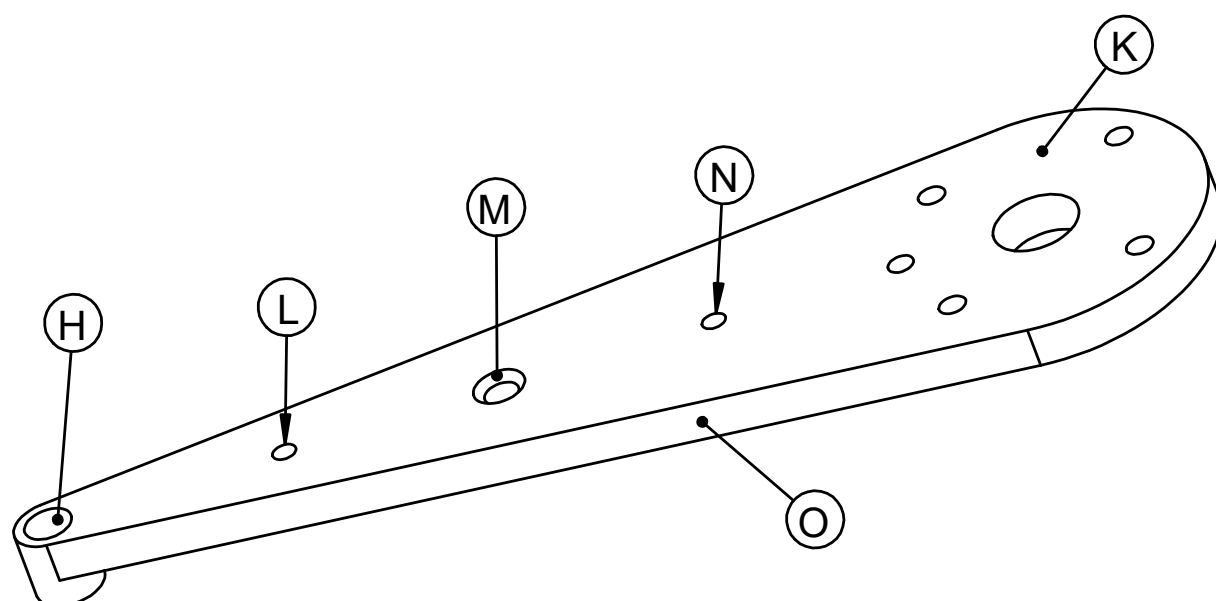
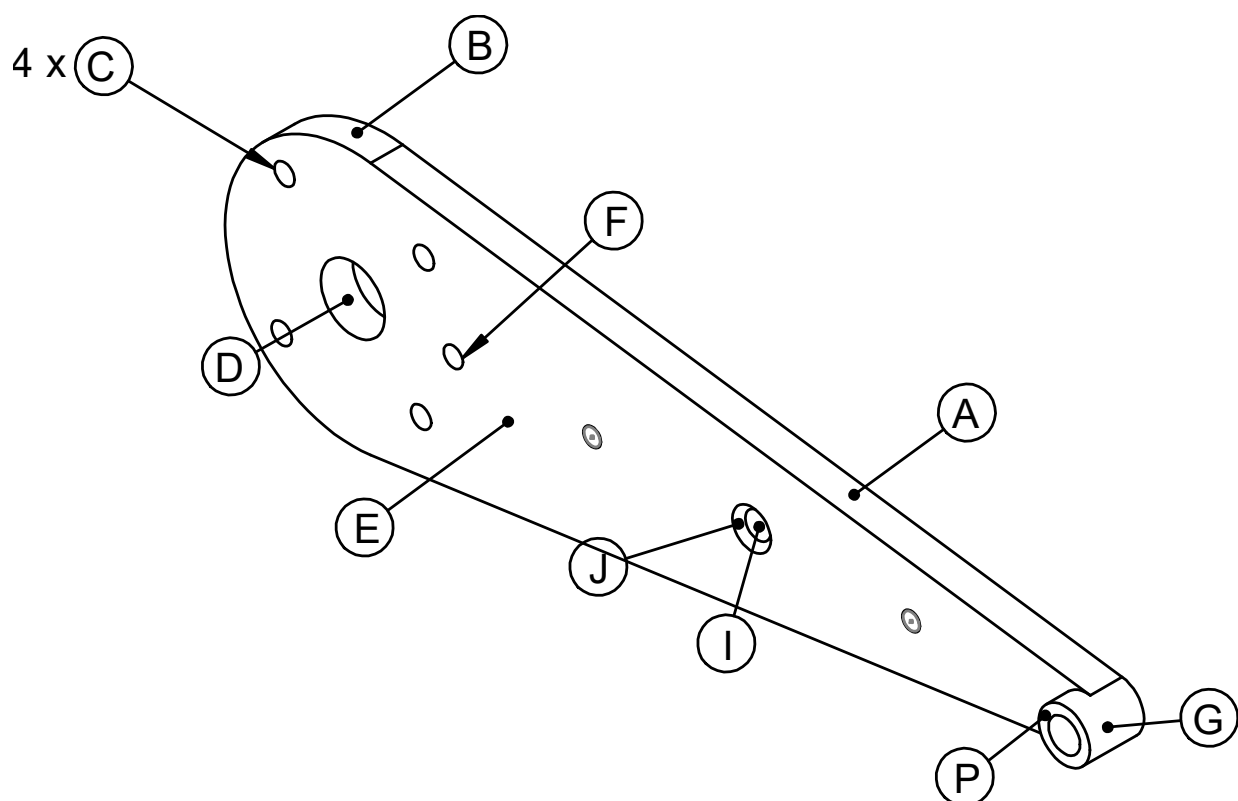
(1) Force pratique de la ventouse avec un vide de 65% et un coefficient de sécurité de 2 inclus pour manipulation horizontale et coefficient de 4 inclus pour manipulation verticale.

R_{min} est le rayon de courbure minimal de la pièce à partir duquel la pièce peut être saisie de manière fiable par la ventouse.

DT 16. Liaison bride / support



DT 18. Désignation des surfaces à usiner



DT 19. Bride du robot RS80

Extrait du catalogue Stäubli

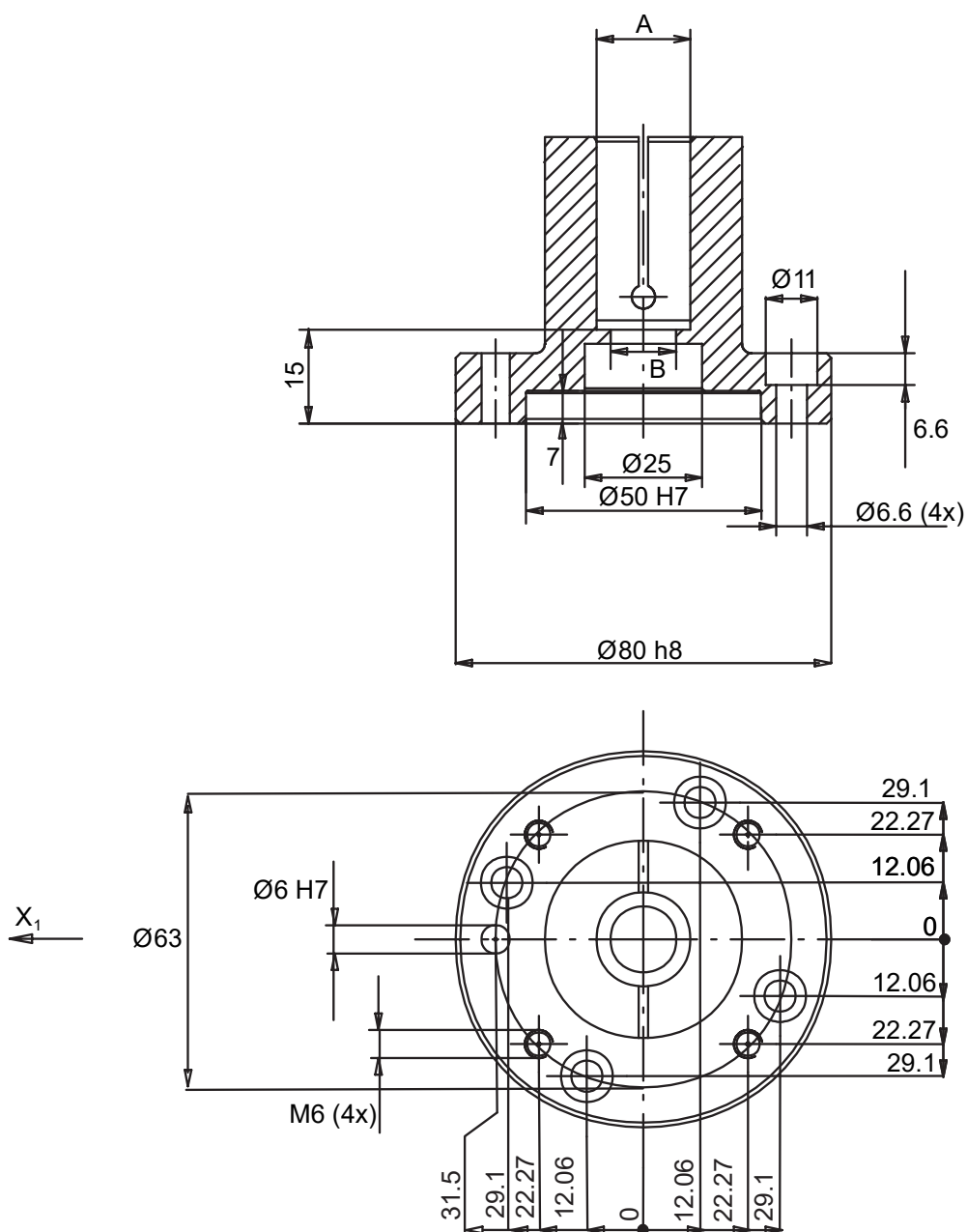


Figure 2.10

	Diamètre vis à bille A (mm)	
	20	25
Diamètre B (mm)	14	18

Diamètre de la vis à billes du robot sélectionné : A = 25 mm.

Fixation de l'outil par 4 vis M6, Classe 12-9, couple de serrage 16,7 N·m ±1.2 N·m.

Indexation par une goupille de diamètre 6.

DOCUMENTS RÉPONSES

- DR 1. Graphes décrivant l'ensemble d'un cycle
- DR 2. Chargement et CL sur un axe linéaire
- DR 3. Position optimale du robot RS80 muni de son outillage
- DR 4. Diagramme de propriétés « masse volumique – module d'Young »
- DR 5. Gamme d'usinage partielle du support
- DR 6. Fiche décodage de spécification géométrique
- DR 7. Re-conception de la liaison bride / support

Modèle CMEN v3

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

 **Prénom(s) :**

Numéro Candidat :

Né(e) le : / /

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : **Option / Section :** **N° d'inscription :**

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

☐ externe ☐ 3^e externe ☐ externe spécial ☐ interne ou 1^{er} interne ☐ 2nd interne ☐ 2nd interne spécial

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : **Série / Spécialité :**

Epreuve - Matière : **Session :**

EAE SIM 3

DR1 - DR2

**Tous les documents réponses sont à rendre,
même non complétés.**

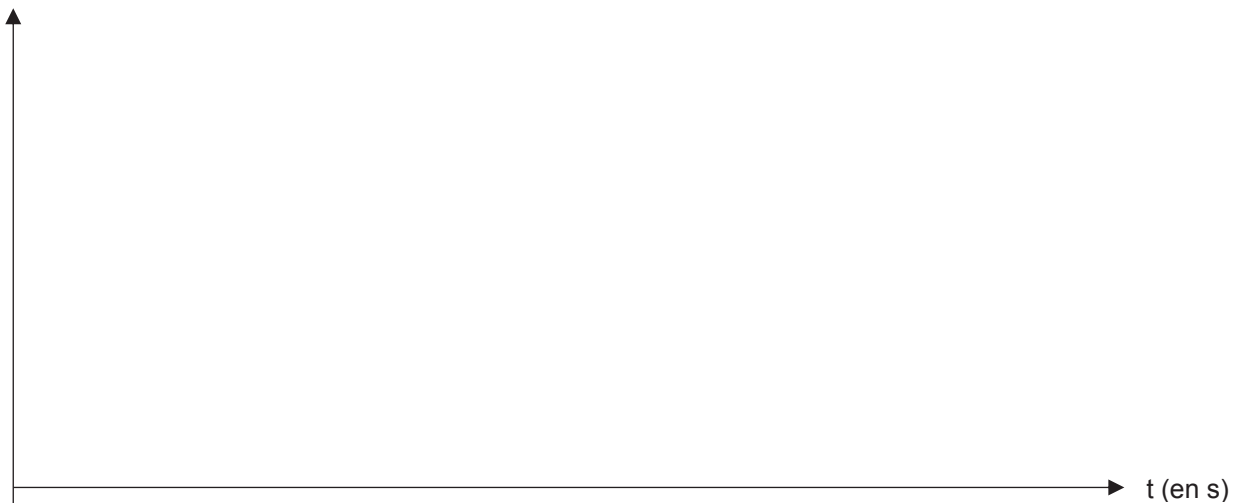
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR 1. Graphes décrivant l'ensemble d'un cycle

Accélérations (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)



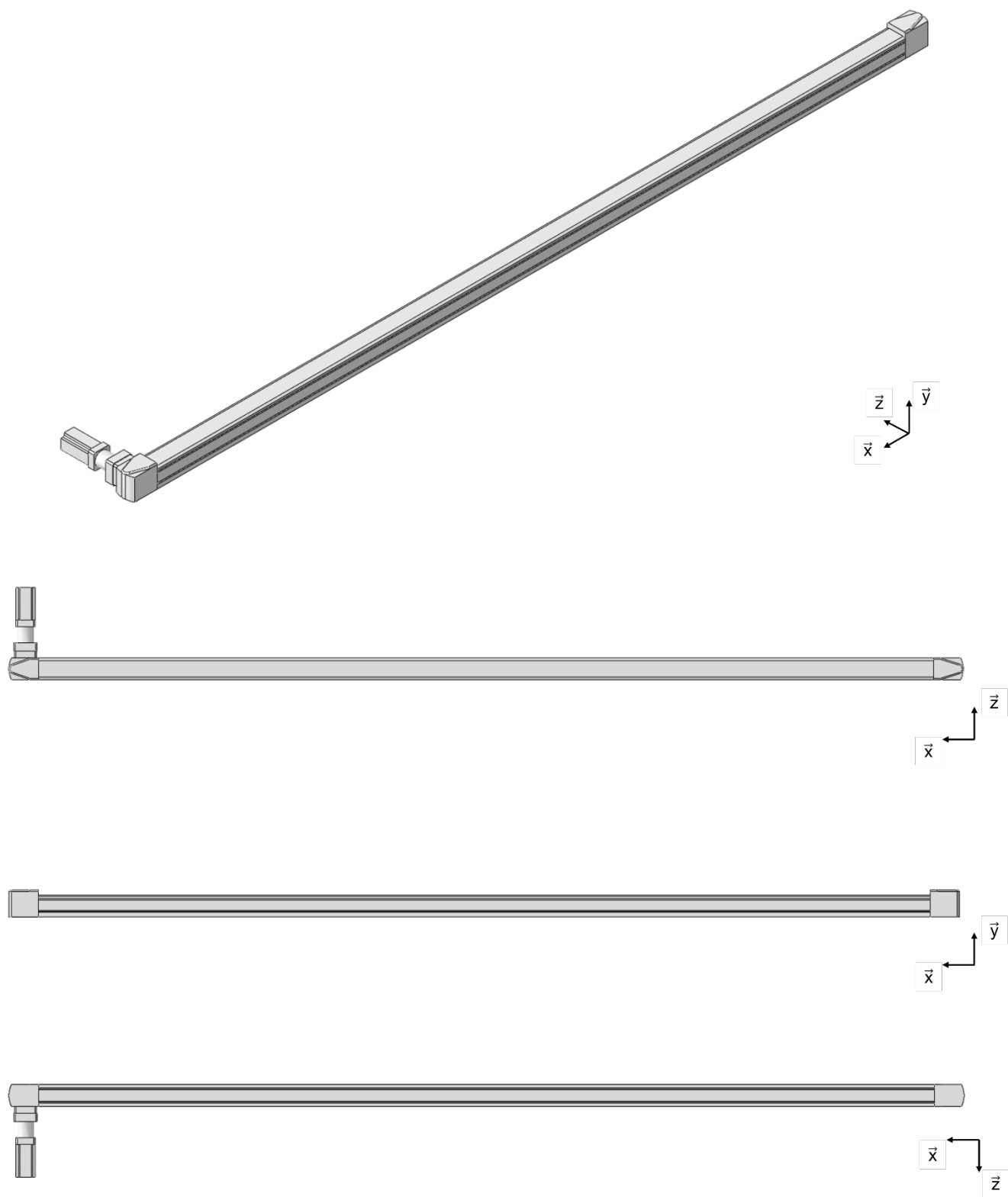
Vitesses (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)



Espaces (en m)



DR 2. Chargement et CL sur un axe linéaire



Modèle CMEN v3

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

 **Prénom(s) :**

Numéro Candidat :

Né(e) le : / /

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : **Option / Section :** **N° d'inscription :**

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

☐ externe ☐ 3^e externe ☐ externe spécial ☐ interne ou 1^{er} interne ☐ 2nd interne ☐ 2nd interne spécial

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : **Série / Spécialité :**

Epreuve - Matière : **Session :**

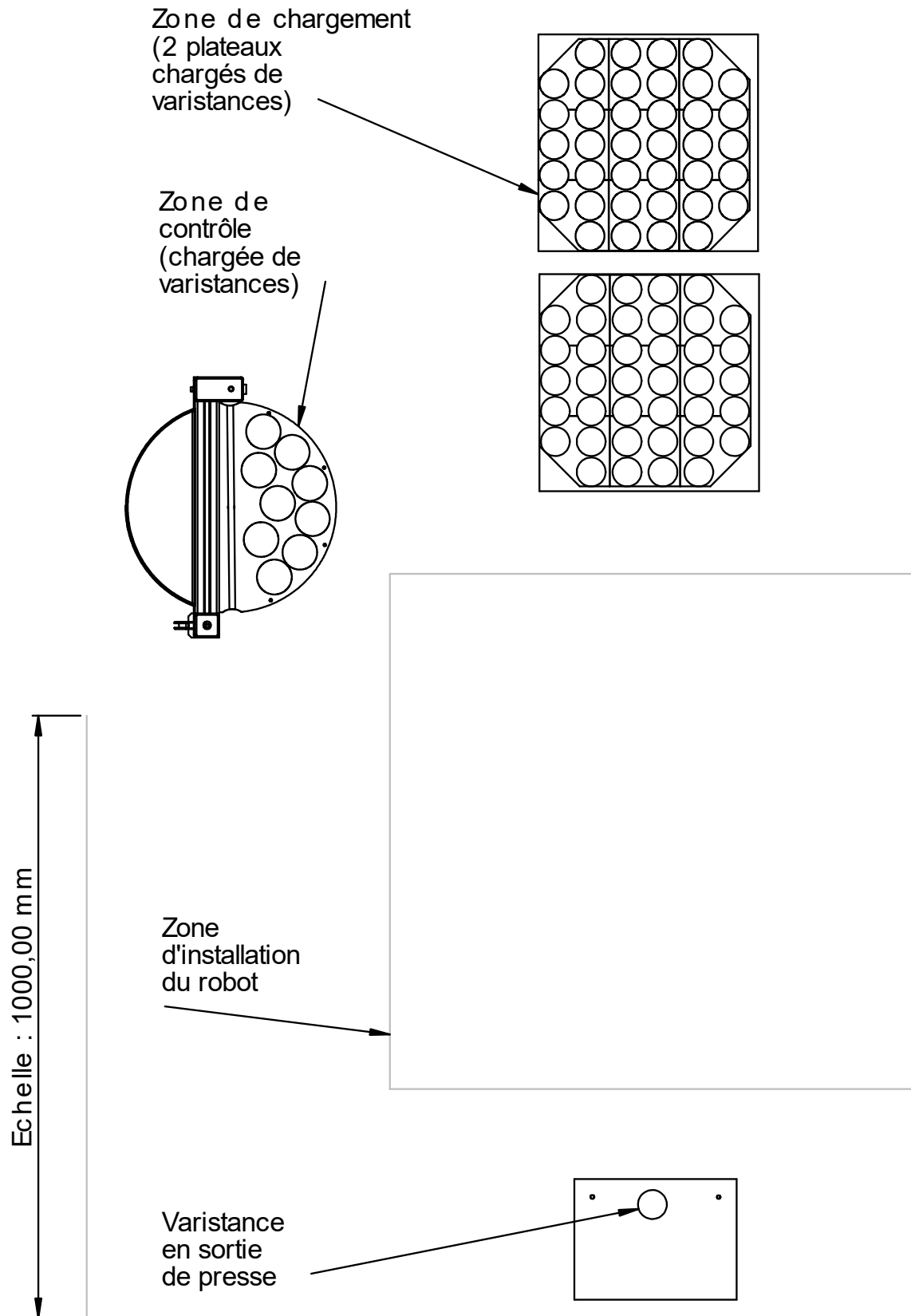
EAE SIM 3

DR3 - DR4

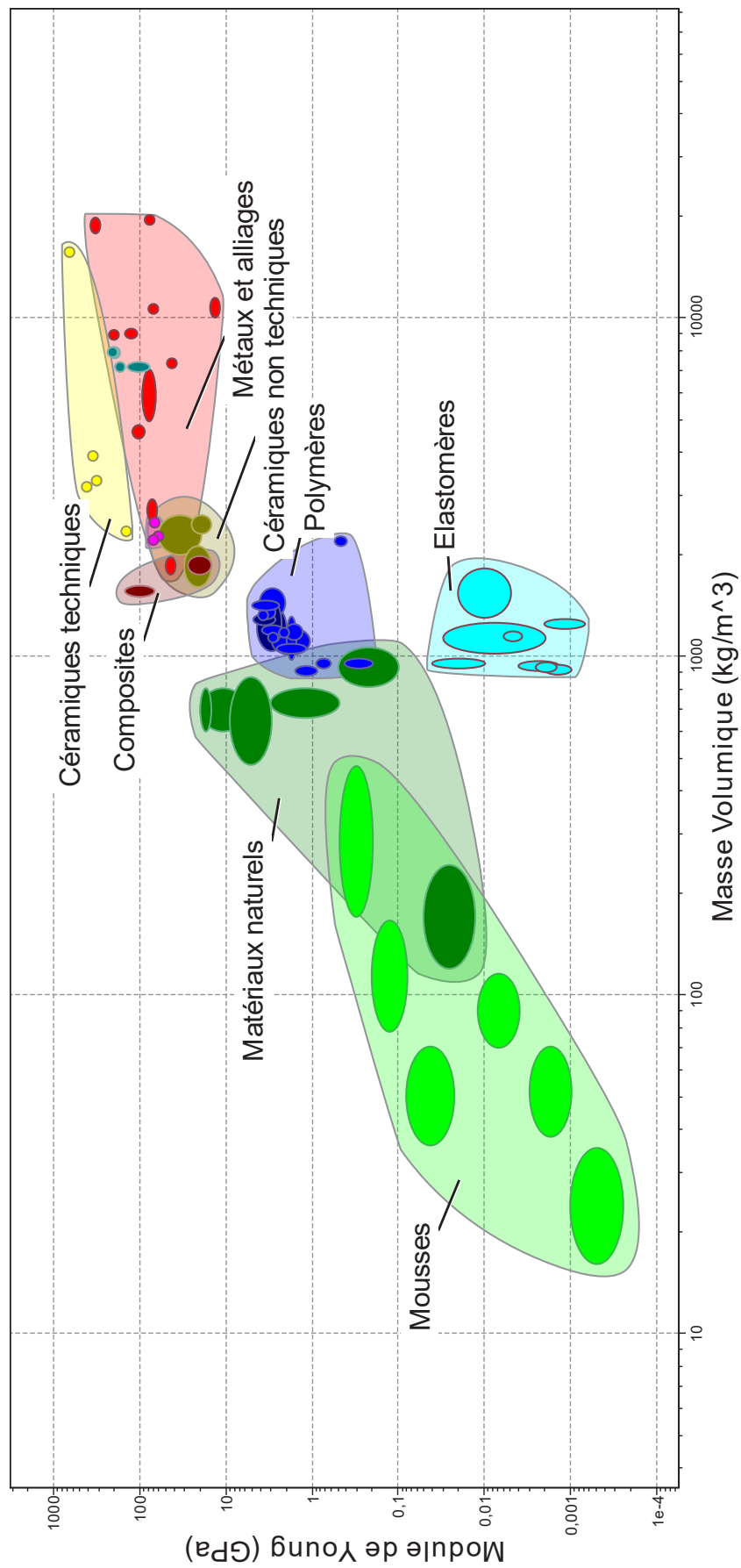
**Tous les documents réponses sont à rendre,
même non complétés.**

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR 3. Position optimale du robot RS80 muni de son outillage



DR 4. Diagramme de propriétés « masse volumique – module d'Young »



Modèle CMEN v3

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

 **Prénom(s) :**

Numéro Candidat :

Né(e) le : / /

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : **Option / Section :** **N° d'inscription :**

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

☐ externe ☐ 3^e externe ☐ externe spécial ☐ interne ou 1^{er} interne ☐ 2nd interne ☐ 2nd interne spécial

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : **Série / Spécialité :**

Epreuve - Matière : **Session :**

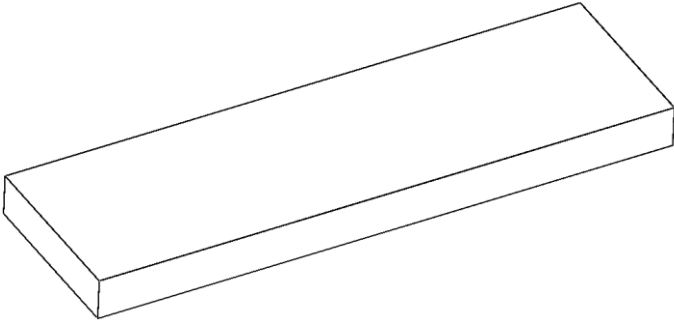
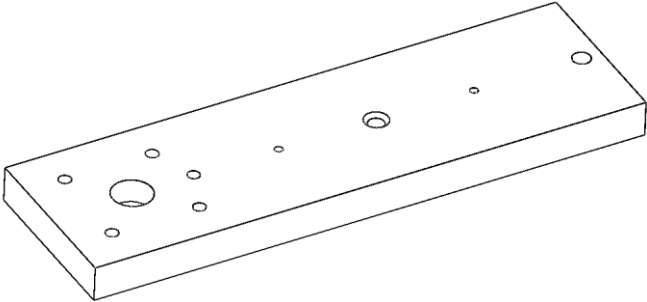
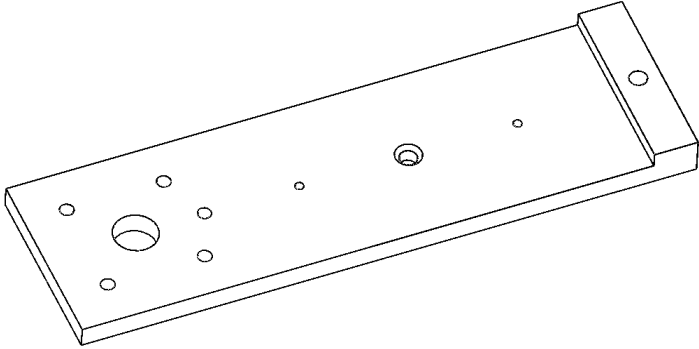
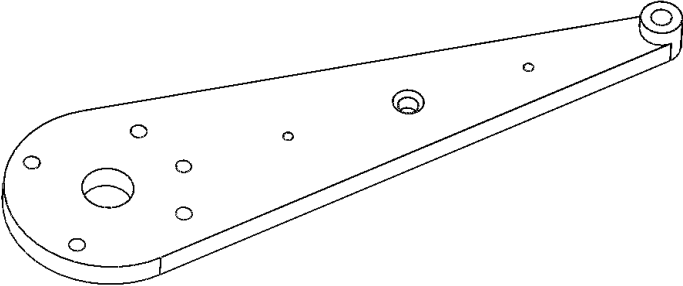
EAE SIM 3

DR5 - DR6

**Tous les documents réponses sont à rendre,
même non complétés.**

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR 5. Gamme d'usinage partielle du support

	Etat de la pièce en fin de phase	Outils utilisés pour usiner les surfaces
Brut		
Phase 10 : Usinage des surfaces K, H, L, N, I, M, 4 x C, D et F	Rajouter la mise en position isostatique 	Décrire les outils K : H : I : M : D :
Phase 20 : Usinage des surfaces P, E et J		
Phase 30 : Usinage des surfaces A, B, O et G	Rajouter la mise en position isostatique 	

DR 6. Fiche décodage de spécification géométrique

TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance						
		Eléments non Idéaux extraits du « Skin Modèle »		Eléments Idéaux				
Type de spécification Forme Orientation Position Battement		Eléments Tolérancé(s) *	Eléments de référence *	Référence(s) spécifiée(s) *	Zone de tolérance *			
					Contraintes orientation position par rapport à la référence spécifiée			
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	Schéma extrait du dessin de définition	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée			
4 x Ø 6,3 H11 <table><tr><td>⊕</td><td>⊕ 0.1 CZ</td><td>A</td></tr></table>		⊕	⊕ 0.1 CZ	A				
⊕	⊕ 0.1 CZ	A						

* Rayer la (les) mention(s) inutile(s)

Modèle CMEN v3

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

 **Prénom(s) :**

Numéro Candidat :

Né(e) le : / /

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : **Option / Section :** **N° d'inscription :**

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

☐ externe ☐ 3^e externe ☐ externe spécial ☐ interne ou 1^{er} interne ☐ 2nd interne ☐ 2nd interne spécial

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : **Série / Spécialité :**

Epreuve - Matière : **Session :**

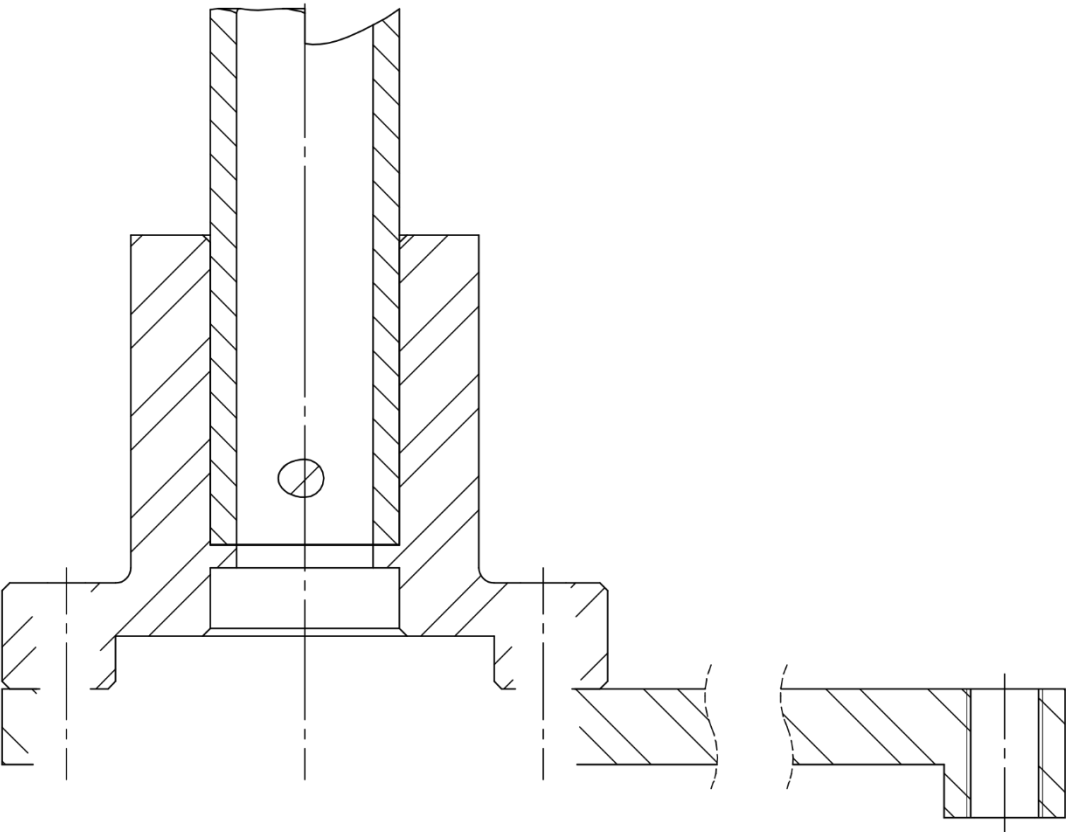
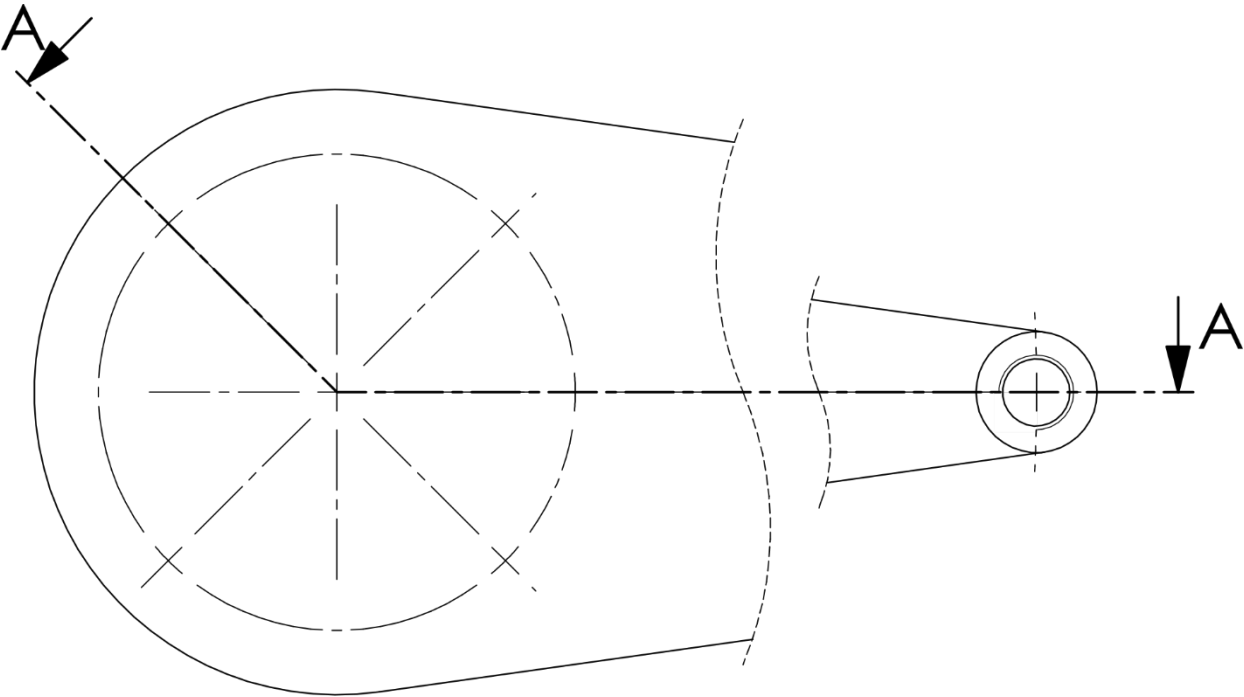
EAE SIM 3

DR7

**Tous les documents réponses sont à rendre,
même non complétés.**

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR 7. Re-conception de la liaison bride / support



COUPE A-A

A4 - ECHELLE 1 : 1

