Banque PT, France

Session 2018, filière PT

Sciences industrielles B

Durée : 6 heures

Ce que traite le sujet

- I. Présentation du système
- II.1 : étude de la phase de montée et descente des lames
- II.2 : étude du guidage en translation horizontale du racleur
- II.3 : étude de la motorisation du racleur
- III. Dessin d'étude en construction mécanique

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/banque-pt/pt/2018/si-b

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

Epreuve de Sciences Industrielles B

Durée 6 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est interdit.

Composition du sujet :

- 1 cahier de 30 pages de texte (+ 2 de couverture) contenant le sujet (page **1** à **17**) ainsi que les documents ressources dans les Annexes A et B (pages **19** à **30**).
- 1 cahier réponse de 8 pages (+ 2 de couverture) numérotées **R1** à **R8**, **à rendre à la fin de l'épreuve.**
- **1 calque** format A3, **à rendre à la fin de l'épreuve**.

Remarque : à la fin des documents annexes, se trouve un tableau (Annexe B) récapitulatif des données et des notations principales utilisées dans l'épreuve.

Matériel autorisé : tous instruments usuels du dessinateur sont autorisés. Les tablettes à dessiner permettant de travailler sur des documents de dimension A3 sont autorisées.

Toutes les calculatrices sont interdites, quel qu'en soit le type, ainsi que les agendas électroniques et les téléphones portables.

Gestion du temps :

En admettant une durée de 30 min pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer entre 2h30 et 3h00 au maximum à la réponse aux questions de la notice et 2h30 à 3h00 au tracé des dessins.

Il est demandé au candidat de formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour répondre aux questions posées.

La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. L'ensemble des réponses sera rédigé sur le cahier réponse dans les espaces libres proposés pour chaque question.

Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

PRÉSENTATION

Étude du système d'étalement de pâte sur une machine de stéréolithographie pour pièces céramiques

I.1 — Contexte

I.1.1 — Principe de la stéréolithographie

La société *3DCeram* propose depuis deux ans à son catalogue une machine de stéréolithographie pour pièces céramiques nommée « Ceramaker ». La stéréolithographie, basée sur le principe de photopolymérisation, est le premier procédé de prototypage rapide à avoir été développé dans les années 1980. Le nom de SLA (pour StereoLithography Apparatus) lui a alors été donné. Ce procédé repose sur les propriétés qu'ont certaines résines de se polymériser sous l'effet de la lumière et de la chaleur.

La résine utilisée comme matière première est généralement un mélange de monomères et d'un photo-initiateur. Le rôle du photo-initiateur est, comme son nom l'indique, d'initier la polymérisation du matériau sous l'effet de la lumière. Celui-ci forme alors un radicalaire et les monomères sont instantanément pontés entre eux formant un polymère solide. Dans le cas de la « Ceramaker », la matière première est un mélange de résine photosensible et de matériau céramique (alumine, zircone ou hydroxyapatite).

Les composants souhaités sont réalisés par couches successives. Chaque couche a une épaisseur de quelques dizaines de microns. Une pâte est étalée sur un plateau de fabrication de manière uniforme par un système d'étalement de pâte. Elle est polymérisée par un faisceau laser aux endroits où il doit y avoir de la matière. La pâte située aux endroits où le laser ne passe pas n'est pas polymérisée et sera éliminée de la pièce finale. Le procédé de fabrication consiste ainsi en une série de cycles de dépose puis de polymérisation de la pâte selon la séquence suivante :

- une couche de pâte est déposée sur le plateau de fabrication par le système d'étalement utilisant un racleur pour étaler la pâte ;
- pour chaque couche, le faisceau laser balaie la surface supérieure de la pâte sur le plateau de fabrication en fonction de la forme de la pièce dans chaque couche. Le contrôle de la direction du faisceau laser s'effectue à l'aide de miroirs montés sur des galvanomètres. L'utilisation de deux de ces dispositifs intégrés dans une tête de focalisation permet de diriger le faisceau en n'importe quel point du plateau de fabrication de manière à polymériser la pâte aux endroits désirés ;
- le plateau de fabrication descend ensuite d'une hauteur de couche (la hauteur de couche est la résolution qui a été choisie pour la production de l'objet) pour permettre la dépose de la couche suivante.

Le processus est répété jusqu'à la dernière couche. À ce stade, la pièce n'est que partiellement durcie. Elle est séparée du plateau métallique de fabrication et nettoyée. Elle est ensuite soumise à un traitement thermique qui élimine la pâte non polymérisée et densifie la céramique à 100%.

Les pièces céramiques ainsi obtenues ont les mêmes propriétés que celles produites par pressage ou injection.

I.1.2 — Présentation du système

La **figure 1** (p.2) présente les principaux éléments du système de stéréolithographie. Le bâti de la machine supporte la source laser ainsi que la tête de focalisation dans laquelle sont intégrés les miroirs qui orientent le faisceau laser. Sur ce même bâti se trouve le dispositif supportant le plateau de fabrication, qui lui permet également de se déplacer verticalement par rapport au plan de travail pour abaisser la pièce en cours de réalisation après chaque couche. Enfin le système d'étalement de la pâte est guidé en translation horizontale selon un seul axe par rapport au plateau de fabrication. **C'est ce système d'étalement de la pâte qui constitue**

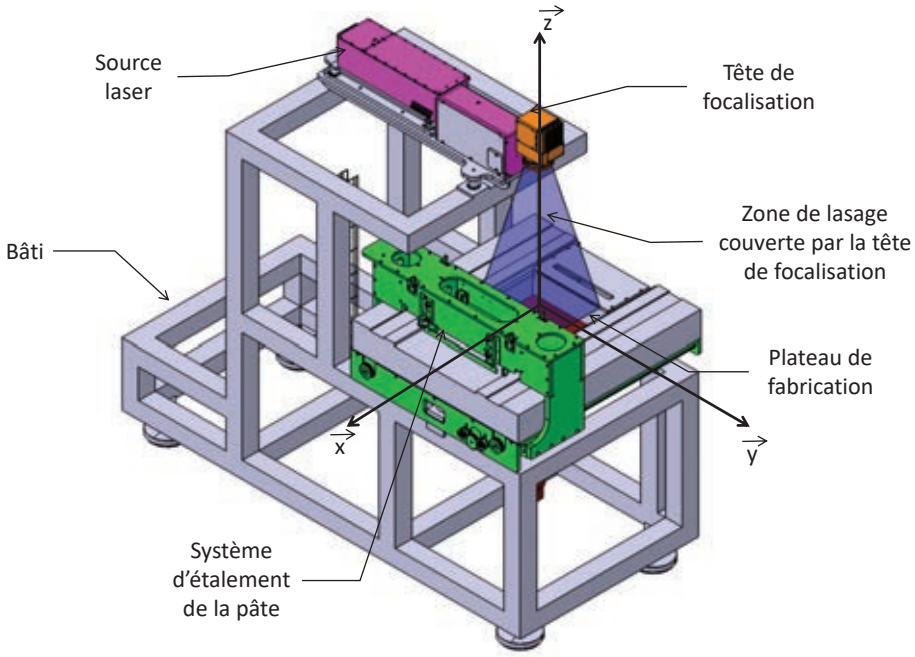
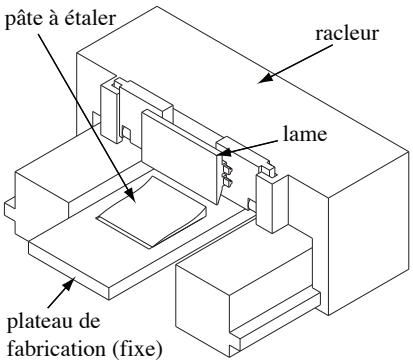


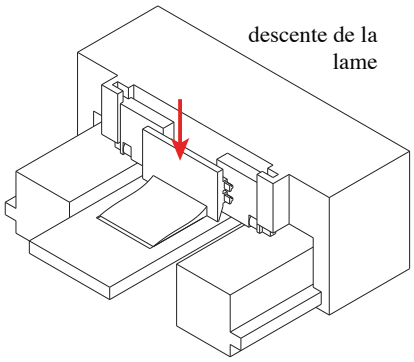
Figure 1 • Présentation du système.

le sujet de la présente étude. Son rôle est de racler la pâte pour la disposer en une couche dont l'épaisseur est de 30 μm sur la totalité de la surface du plateau de fabrication, avant qu'elle ne soit polymérisée par le laser.

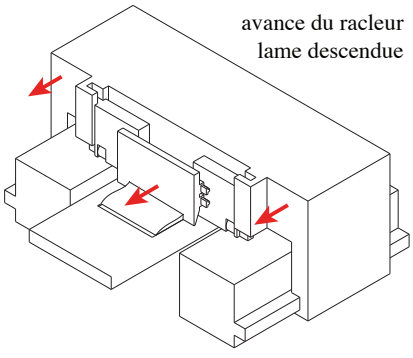
La **figure** suivante détaille les étapes d'une opération de raclage.

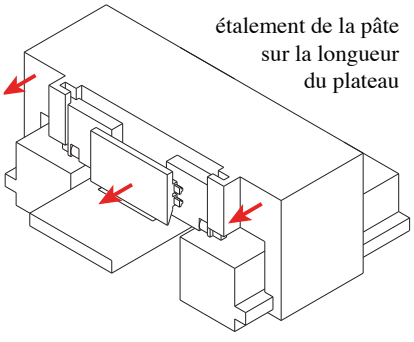


Etape 1 : Position repos

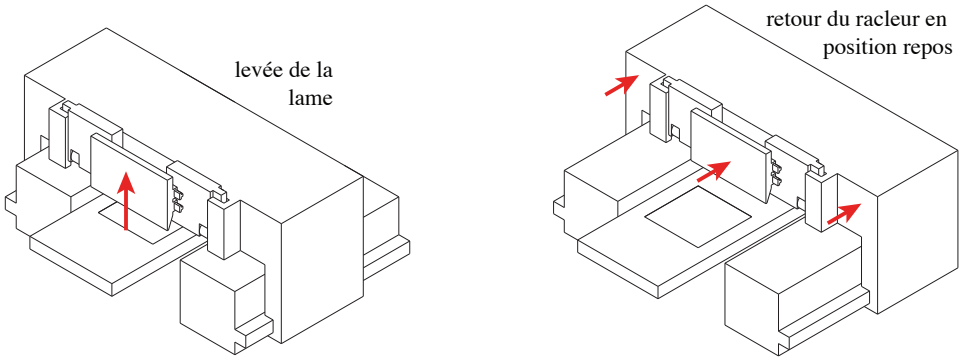


Etape 2 : Préparation de l'étalement de la pâte





Etape 3 : Etalement de la pâte



Etape 4 : Retour en position repos

I.1.3 — Contexte de l'étude

Les machines actuellement commercialisées possèdent un plateau de travail d'une surface de 300 *x* 300 mm^2. La société *3DCeram* souhaite cependant enrichir sa gamme de machines en proposant une surface de travail de 1000 *x* 1000 mm^2. Pour cela il est nécessaire d'augmenter la zone couverte par la tête de focalisation en la rehaussant mais aussi d'élargir la largeur et la longueur de la zone de travail.

L'objectif de l'étude est d'étudier la conception d'un système de raclage, appelé dans la suite du sujet **racleur**, possédant une largeur de travail de 1000 *mm* au lieu des 300 *mm* actuellement proposés. De même la longueur de travail doit permettre une longueur de pièce de 1000 *mm* au lieu des 300 *mm* actuels. Afin de pouvoir dégager complètement la couche lors de la phase de polymérisation de la pâte par le laser (appelée phase de *lasage*), le racleur doit pouvoir avoir une course totale de 1200 *mm*. Enfin la hauteur maximale d'une pièce sur cette machine est estimée à 300 *mm*.

I.1.4 — Cahier des charges partiel du système d'étalement de pâte

L'environnement principal du système d'étalement de pâte pour machine de stéréolithographie est présenté à l'aide du diagramme de contexte de la **figure 2** (p.3). Les exigences fonctionnelles associées à ce mécanisme sont ensuite présentées sur la **figure 3** (p.4).

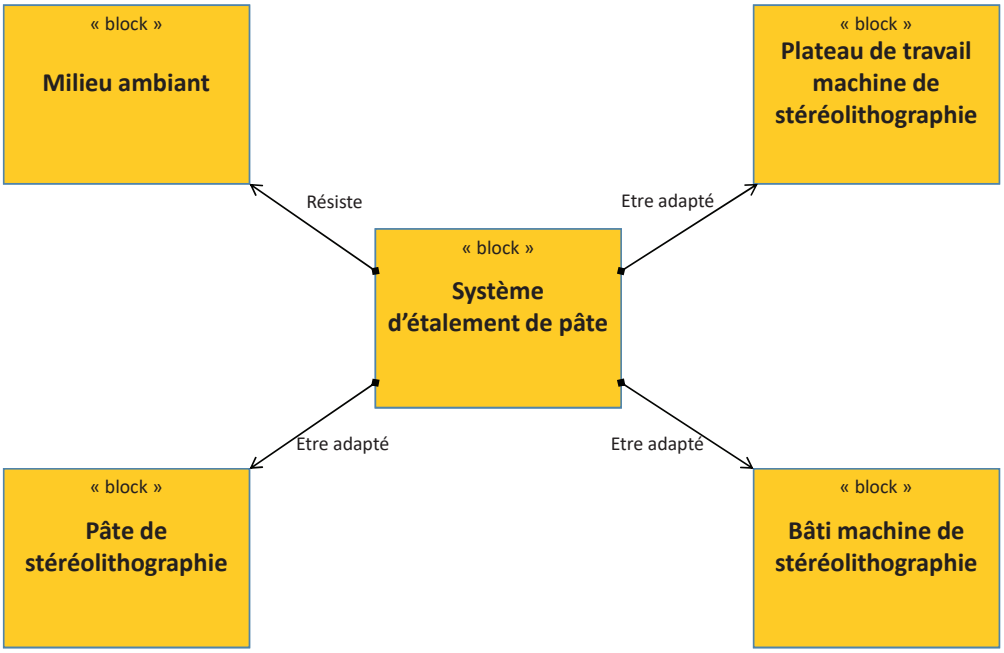


Figure 2 • Diagramme de contexte.

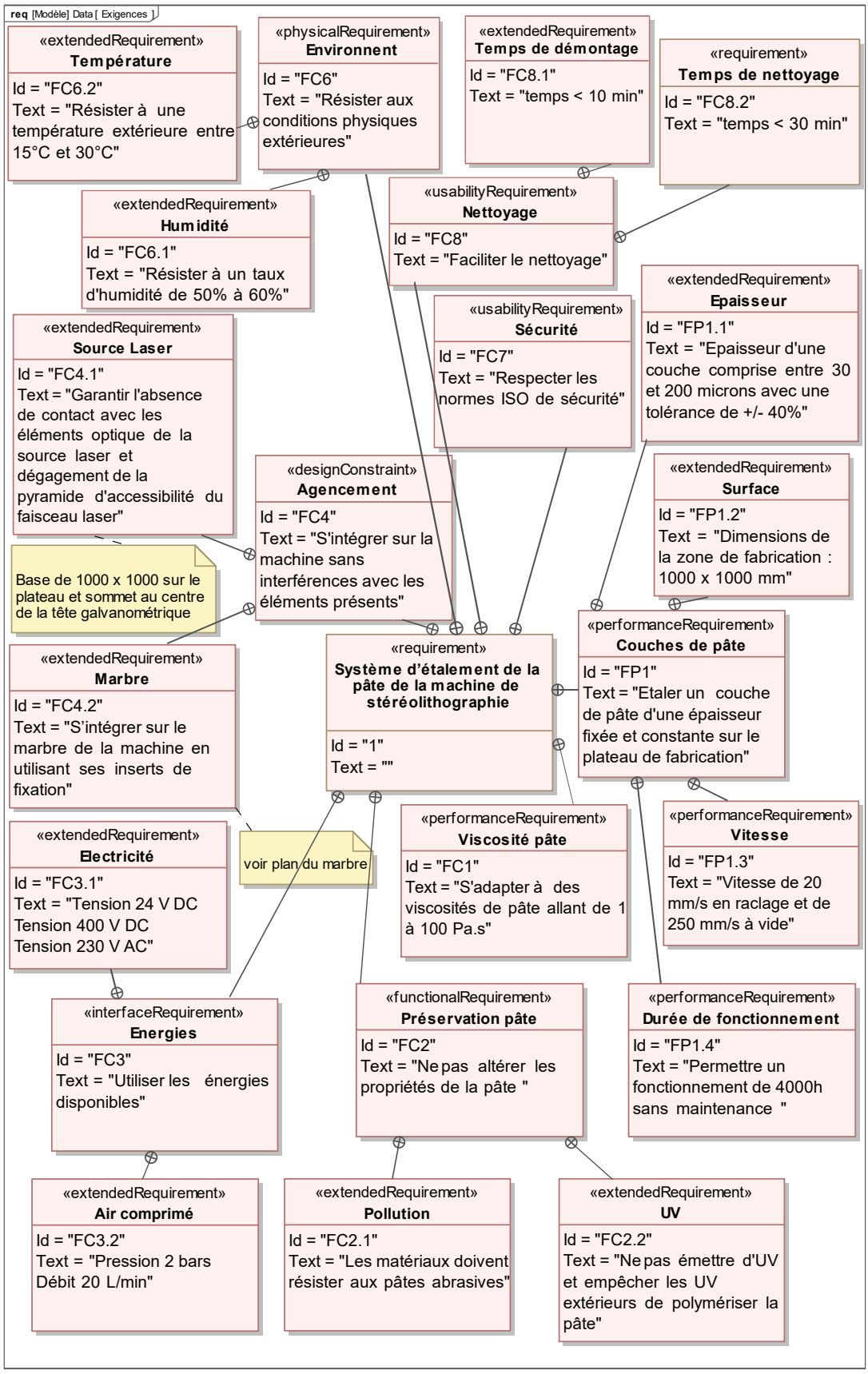


Figure 3 • Diagramme des exigences.

I.1.5 — Présentation du travail à rendre

Comme indiqué en première page, en admettant une durée d'une demi-heure pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer entre 2h30 et 3h00 au maximum à la réponse aux questions de la *notice justificative* et 2h30 et 3h00 au tracé des *dessins d'étude de construction*.

Les réponses seront fournies uniquement sur les deux documents présentés ci-dessous :

1. **Notice justificative** (partie II, 50% de la note globale) :

   Fournir les réponses sur le **cahier réponse**, de format A3 horizontal, plié, pré-imprimé recto verso.

   Les réponses sur feuilles de copies additionnelles ou sur papier de brouillon ne seront pas acceptées.

2. **Dessin d'étude de construction mécanique** (partie III, 50% de la note globale) :

   Il est à tracer sur le **calque 1 pré-imprimé de format A3**, horizontal, joint au sujet, et qui sera à rendre **non plié**.

PRÉSENTATION

II Notice justificative

Consignes spécifiques

Sur le cahier réponse, les réponses seront fournies dans les limites des cadres prévus pour chaque question. Compte tenu de l'interdiction d'utiliser toute calculatrice, les calculs seront réalisés de manière approchée. Il sera tenu compte, dans la notation, de la clarté et de la concision des réponses. Les schémas doivent être lisibles, précis, et respecter la normalisation en vigueur. Les écritures au crayon ne seront pas acceptées. La qualité de l'écriture, de l'orthographe et de la syntaxe sera prise en compte dans l'évaluation.

II.1 — Étude de la phase de montée-descente des lames

II.1.1 — Dimensionnement des vérins suite à l'augmentation du poids de l'ensemble {lame + porte-lame} - (exigences FP1.2 et FC3.2)

Sur la machine initiale, d'une largeur de travail de 300 *mm*, la montée et la descente de la lame de raclage (**étape 2** (p.2), et **étape 4a** (p.3)) étaient assurées par un actionneur pneumatique. L'ensemble {lame + porte-lame}, assurant le raclage sur la largeur utile de 300 *mm*, est représenté sur la **figure 5** (p.19, voir Documents Ressources en **Annexe A**). Noter que la largeur d'étalement de 300 *mm* est assurée par une lame d'une largeur de 350 *mm*, soit une marge de 50 *mm* prévue pour les fixations. Sur cette figure, la masse de la lame de 350 *mm*, en acier, est de 0.2 *kg* tandis que celle du porte-lame, en alliage d'aluminium, est de 1.4 *kg*.

Afin d'assurer l'**exigence FP1.2** de la nouvelle conception, il est souhaité une largeur de travail de 1000 *mm*, à laquelle il faut ajouter la marge de 50 *mm* qui est conservée. Les matériaux de la lame et du porte-lame sont conservés. On fait de plus l'hypothèse que l'ensemble {lame + porte-lame} devant racler une largeur utile de 1000 *mm* conserve la même géométrie :

- pour la partie centrale, la section est conservée à l'identique (coupe A-A sur la **figure 5** p.19) ;
- pour la partie externe, la géométrie reste rigoureusement la même afin de conserver les mêmes spécificités de fixation.

Dans cette phase de pré-dimensionnement, la masse supplémentaire apportée par l'ajout de vis de maintien en position de la lame sera négligée. On donne la masse volumique des matériaux utilisés :

- acier : $\rho_{acier} = 7800\ kg/m^3$;
- aluminium : $\rho_{alu} = 2700\ kg/m^3$.

L'ensemble {lame + porte-lame} est en liaison glissière par rapport au racleur pour permettre le mouvement de levée/descente de lame. Ce mouvement est piloté par deux vérins pneumatiques double effet. Afin de pouvoir régler correctement le parallélisme entre la lame et le plateau de travail, le porte-lame possède deux vis de réglage micrométrique venant en contact avec le bâti lorsque la lame est baissée. Dans cette position, qui correspond à la position de travail du racleur, les deux vérins exercent chacun un effort assurant le maintien en position basse de la lame quelles que soient la direction et l'intensité de l'effort de raclage. Les deux vis de réglage micrométrique sont représentées sur les vues de l'ensemble {lame + porte-lame} en **figure 6** (p.19).

Les notations utilisées pour répondre à la question suivantes sont (voir **figure 5** p.19) :

- Hauteur du porte-lame : H_{PL} ;
- Hauteur du trou du porte-lame : T_{PL} ;
- Épaisseur du porte-lame : E_{PL} ;
- Longueur de la lame : L_{La} ;
- Hauteur de la lame : H_{La} ;
- Épaisseur de la lame : E_{La}.

Question 1 Calculer la masse du porte-lame du fait de sa nouvelle dimension (en tenant compte de la marge proposée). Effectuer l'application numérique.
Calculer la masse de la nouvelle lame. Effectuer l'application numérique.
En déduire la masse du nouvel ensemble {lame + porte-lame}.

Quels que soient les résultats trouvés à la question précédente, **la suite du dimensionnement s'effectuera avec une masse de l'ensemble {lame + porte-lame} de 3.6 kg**.

Question 2 Sur la machine initiale de 300 *mm*, la levée de l'ensemble {lame + porte-lame} est effectuée par deux vérins pneumatiques. Pour quelle raison le constructeur n'a-t-il pas opté pour une architecture avec un seul vérin ?

Question 3 Pour quelle raison peut-on se contenter d'actionneurs tout ou rien double effet sur le système initial ?

On considère une pression pneumatique utile de 2 bars dans chacun des vérins (**exigence FC3.2**). On suppose également que le frottement entre le piston et le corps d'un vérin génère des forces résistantes égales à 10% de la force exercée par la pression sur le piston.

Question 4 En admettant qu'on utilise deux vérins identiques, donner l'expression de la section minimale utile de chacun des vérins.
Effectuer l'application numérique.

L'orientation des vérins est telle que ces derniers relèvent l'ensemble {lame + porte-lame} lors de la rentrée de leur tige. La **figure 7** (p.20) présente un document d'un fournisseur d'actionneurs afin d'effectuer un choix de vérins pneumatiques à tige non traversante.

Question 5 Compte tenu de ce choix, déterminer à partir du document présenté en **figure 7** (p.20) le vérin le plus adapté et de taille minimale, et donner son diamètre de piston et son diamètre de tige.

II.1.2 — Vérification de la déformation de la lame (exigences FP1 et FC1)

Selon le réglage le plus précis, la machine est conçue pour déposer une couche de pâte de 30 μm à chaque passe (**exigence FP1.1**). La qualité de la pièce finale, tant esthétique que sur le plan de ses caractéristiques dimensionnelles et mécaniques, dépend du respect de cette épaisseur sur l'ensemble du plateau de fabrication. Cette épaisseur, très faible, nécessite de vérifier que la lame ne se déforme pas trop car la déformation pourrait entraîner le non-respect de la consigne sur l'épaisseur de couche déposée. En phase de pré-dimensionnement, il est proposé d'effectuer un calcul de type "poutre" pour obtenir un ordre de grandeur de la flèche maximum de la lame du fait de sa nouvelle dimension. Cette flèche maximum ne doit pas excéder l'épaisseur d'une couche.

Question 6 Faire le bilan des actions mécaniques extérieures exercées sur la lame en phase de raclage.

Question 7 Compte tenu de la forme de la lame, préciser en argumentant votre réponse la direction des efforts exercés par la pâte sur la lame du fait de sa viscosité.
Représenter l'ensemble des actions mécaniques extérieures exercées sur la lame sur le schéma de la **question 7** (p.R2). On utilisera la base $(\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_1})$ présentée sur la **figure 6** (p.19).

Question 8 Dans cette phase de pré-dimensionnement, seuls les efforts selon $\overrightarrow{y_1}$ sont pris en compte. Justifier le fait de ne pas étudier les efforts selon $\overrightarrow{z_1}$.

Compte tenu de la viscosité importante de la pâte (**exigence FC1**), les efforts verticaux (selon $\overrightarrow{y_1}$) lors du raclage de la pâte sont estimés à $F = 192\ N$ pour une largeur raclée de 1000 *mm*. Ils sont modélisés par un effort linéïque selon $\overrightarrow{y_1}$ distribué sur toute la longueur entre les fixations. Pour les calculs de dimensionnement et d'implantation de la lame, on impose à cette valeur $F = 192\ N$ un coefficient de sécurité $s = 2$. Cette largeur de $L = 1000\ mm$ correspond également à la distance entre les fixations de la lame sur le

Tournez la page S.V.P.

porte-lame à ses extrémités. On se propose ainsi d'adopter l'un des modèles présentés sur la **figure 8** (p.21). Dans ce calcul de prédimensionnement, bien que ce ne soit pas la géométrie exacte, la lame est associée à une poutre de section rectangulaire, de hauteur $h = 20\ mm$ et de largeur $b = 6\ mm$ (**figure 8 (droite)**). Le matériau est un acier de module d'Young $E = 200\ GPa$.

La modélisation des conditions aux limites de la poutre (fixations de la lame sur le porte-lame) est délicate. Selon que les fixations permettent un rotulage ou non, on peut considérer que la poutre est bi-appuyée (**figure 8 (haut)**) ou bi-encastrée (**figure 8 (bas)**).

Question 9 Afin de se placer dans le cas le plus défavorable, indiquer parmi ces deux configurations celle qui est la plus souple.
On se place dans le cadre de la configuration choisie précédemment. Indiquer à quelle(s) sollicitation(s) est soumise la lame en remplissant le tableau de la **question 9** (p.R2) du cahier réponse.

Question 10 Indiquer quel est le torseur de cohésion dans la base $(\vec{x_1}, \vec{y_1}, \vec{z_1})$. (Il s'agit uniquement d'indiquer quels sont les termes non nuls dans le torseur de cohésion ; on ne cherchera pas à calculer l'expression de ces termes).

Les calculs, dans lesquels on néglige le poids de la lame, aboutissent à la relation suivante entre la flèche δ au milieu de la poutre et l'effort F vertical imposé par la pâte :

$$\delta = \frac{5\ s\ F\ L^3}{384\ E\ I_{G\,\vec{z_1}}}$$

Question 11 Indiquer l'expression du coefficient $I_{G\,\vec{z_1}}$ de la relation précédente.
Effectuer ensuite l'application numérique donnant δ.
Commenter en calculant le facteur correctif à apporter de manière à respecter le critère de flèche maximale de la lame indiqué précédemment.

Afin de pouvoir respecter ce critère, on se propose d'agir sur l'un des trois paramètres suivant : le matériau, les dimensions de la section et les conditions de fixation.

Question 12 Discuter le choix d'un autre matériau afin de pouvoir respecter le critère sur la flèche maximum.

Afin de rendre la lame plus raide, il est également possible de jouer sur l'épaisseur b ou la hauteur h de la lame.

Question 13 En gardant la valeur de la hauteur $h = 20\ mm$, calculer la valeur de l'épaisseur b permettant de respecter le critère sur la flèche maximum.
Inversement, en gardant la valeur de l'épaisseur $b = 6\ mm$, calculer la valeur de la hauteur h permettant de respecter le critère sur la flèche maximum.
Commenter ces résultats.

Une autre possibilité pour augmenter la rigidité de l'ensemble est d'ajouter des fixations entre la lame et le porte-lame, diminuant ainsi la longueur L entre les liaisons.

Question 14 Proposer un méthode permettant d'obtenir le nombre de fixations à ajouter (en plus des deux fixations aux extrémités initialement existantes) de manière à respecter le critère sur la flèche maximum. (On supposera que les fixations sont équi-réparties sur la lame).
Faire l'application numérique en donnant le nombre de fixations à ajouter et commenter le résultat trouvé.

En réalité, le fait de rajouter des fixations en plus de celles aux deux extrémités n'aboutit pas forcément, sur chacun des tronçons entre deux fixations, aux mêmes conditions limites que celles de la **figure 8** (p.21) du fait de la continuité entre deux tronçons adjacents.

Question 15 Commenter le point précédent, notamment en indiquant si les calculs effectués sont toujours utilisables ou pas.

II.2 — Étude du guidage en translation horizontale du racleur (exigence FP1)

Selon l'**exigence FP1.1**, la machine, dans ses réglages les plus précis, est conçue pour déposer une couche de pâte de 30 μm à chaque passe. La qualité de la pièce finale, tant esthétique que sur le plan de ses caractéristiques mécaniques, dépend du respect de cette épaisseur sur l'ensemble du plateau de fabrication. Ce point est une des raisons qui pilote le choix du système de guidage.

Le guidage en translation horizontale du racleur est réalisé par des guidages linéaires à billes. Cette solution technique repose sur l'utilisation de 4 patins, "roulant" deux à deux sur deux rails de guidage parallèles, comme illustré sur la **figure 9** (p.21).

II.2.1 — Réflexion sur l'impact de la précision du guidage sur la planéité d'une couche (exigence FP1.1)

Le document constructeur présenté sur la **figure 10** (p.21), issu d'un fournisseur de guidages linéaires, présente les tolérances standards de ce type de guidage. Suivant l'**exigence FP1.1**, on souhaite que les défauts de parallélisme génèrent au maximum une imprécision inférieure à 40% de l'épaisseur d'une couche.

Question 16 Entourer toutes les solutions vérifiant ce critère.

Question 17 Compte tenu de la longueur de guidage souhaitée, quelles sont les solutions possibles ? (indiquer la classe de précision et la longueur du rail choisi).

La conception d'un guidage en translation par éléments linéaires est réalisable par différents types d'architectures, selon le nombre de rails choisi, et le nombre de patins par rail. Comme l'illustre la **figure 10** (p.21), chaque patin fonctionne avec un léger jeu, qui lui confère un léger rotulage. Compte tenu de ce rotulage, on choisit de modéliser la liaison entre un patin et un rail par une liaison linéaire annulaire (liaison sphère/cylindre).

Question 18 On cherche, sans faire de calcul, à déterminer quelle architecture sera souhaitable pour le guidage du chariot. Remplir le tableau de la **question 18** (p.R4) du cahier réponse en indiquant, pour chaque architecture, si la rigidité est insuffisante (**A**), suffisante mais minimale (**B**), importante (**C**).

Le choix du constructeur est d'adopter une architecture de guidage basée sur deux rails en parallèle et deux patins par rail, la masse du chariot étant relativement faible.

Question 19 Effectuer un schéma cinématique représentant les liaisons du chariot par rapport au bâti supportant les rails. Ce schéma doit être tracé en perspective, le repère étant déjà indiqué dans l'espace requis. (On ne demande pas de représenter les autres liaisons impliquant le racleur).

On introduit les notations suivantes :
- H : degré d'hyperstatisme ;
- N_s : nombre d'inconnues statiques de liasons ;
- N_p : nombre de pièces du système ;
- m_u : mobilités utiles ;
- m_i : mobilités internes.

Question 20 Avec les notations ci-dessus, indiquer la relation permettant d'établir le degré d'hyperstaticité du système (en considérant uniquement les liaisons entre le chariot et le bâti effectuées par les guidages linéaires).
Effectuer le calcul du degré d'hyperstaticité de l'architecture retenue.
Discuter le choix d'architecture effectué sur la base de ce résultat.

II.3 — Étude de la motorisation du racleur

II.3.1 — Dimensionnement de la vis à bille (exigences FP1.3 et FP 1.4)

En vue du dimensionnement de la durée de vie des patins de guidage, le bureau d'étude dispose du document constructeur donné en **figure 11** (p.22). On souhaite limiter le facteur de charge f_w afin de ne pas détériorer la durée de vie totale du système (**exigence FP1.4**).

Question 21 Indiquer la vitesse maximum de raclage en $m.s^{-1}$, notée $v_{\max}$, permettant de conserver un facteur de charge f_w inférieur à 1.2.

Pour obtenir un meilleur étalement de la pâte et du fait de sa grande viscosité, on limite en fait la vitesse lors du mouvement "aller" (**exigence FP1.3**). De ce fait, dans la suite, on néglige le temps d'accélération du racleur et on considère qu'il avance à la vitesse constante $v_{\text{raclage}} = 20\ mm.s^{-1}$. La longueur totale à racler comprend le plateau de fabrication de longueur $L = 1000\ mm$ ainsi que la longueur de dégagement $L_{\text{deg}} = 200\ mm$ correspondant au réservoir qui alimente le système en pâte.

Question 22 En déduire l'expression du temps en secondes, noté $T_{1\ \text{couche}}$, nécessaire pour effectuer le raclage d'une couche de pâte sur la longueur spécifiée par le client.
Effectuer l'application numérique en donnant la valeur de $T_{1\ \text{couche}}$.

On souhaite établir un devis pour une pièce de hauteur $H = 300\ mm$ en effectuant une estimation du temps de fabrication. On notera N_{couches} le nombre de couches nécessaires pour fabriquer une pièce de hauteur maximale. Du fait de la faible vitesse de raclage v_{raclage}, le temps de lasage par le laser est largement négligeable et la majorité du temps de fabrication est dépensée par les mouvements d'aller, noté T_{aller} et de retour, noté T_{retour}, du racleur pour l'étalage de la pâte sur l'ensemble des couches. Par contre, le retour du racleur en position repos (**étape 4b** p.3) se fait à la vitesse maximale $v_{\max}$ permettant de conserver le facteur de charge f_w faible comme calculé à la **question 21** ci-dessus. Les autres opérations (levée et descente racleur) sont négligeables en terme de temps.

Question 23 Déterminer l'expression du temps total T_{aller}, exprimé en secondes, passé pour les mouvements "aller" lors du raclage de l'ensemble des couches constituant la pièce. On donnera cette expression en fonction de e, H, $T_{1\ \text{couche}}$.
En déduire l'expression du temps total T_{retour}, exprimé en secondes, passé pour les mouvements "retour" pour l'ensemble des couches. On donnera cette expression en fonction de T_{aller}, $v_{\max}$, v_{raclage}.
Effectuer l'application numérique et donner les valeurs de T_{aller} et T_{retour}.
Faire enfin l'application numérique du temps total $T^{\text{h}}_{\text{raclage}}$, exprimé en heures, nécessaire pour la fabrication de la pièce. Commenter ce résultat.

II.3.2 — Dimensionnement à la charge statique (exigences FP1.2 et FC1)

Compte tenu de la viscosité importante de la pâte (**exigence FC1**), les efforts lors du raclage de la pâte sont arrondis à $F_r = 200\ N$ pour une largeur de raclage de $L = 1000\ mm$. On tient de plus à prendre un coefficient de sécurité $s = 20$ pour prévenir tout phénomène de blocage en cas de durcissement imprévu de la pâte.

Compte tenu de la longueur totale nécessaire pour le guidage (zone de travail de 1000 mm (**exigence FP1.2**) plus un dégagement de 200 mm), on envisage l'utilisation d'une vis à bille **d'une longueur de** $L_{\text{vis}} = 2\ m$. Lors du dimensionnement de la vis à bille à la charge statique, il s'agit de s'assurer qu'il n'y a pas flambage de la vis. On utilise pour cela le document constructeur présenté en **figure 12** (p.23). Ne sachant pas quel montage sera choisi, on se place dans le cas le plus défavorable en choisissant le cas **A** « supporté/supporté ».

Question 24 En se servant du document constructeur de la **figure 12** (p.23), déterminer le diamètre minimal noté D_{vis} de vis à billes susceptible d'encaisser les efforts de raclage indiqués. Expliquer les étapes de votre démarche.

Lors du choix d'un système de vis à billes, il est impératif de vérifier que l'arbre fileté n'entre pas en résonance. Pour cela, le constructeur fournit le document présenté en **figure 13** (p.24) et indique que le système doit rester en dessous de 80% de la vitesse critique. On souhaite de plus prendre le pas minimal disponible chez le constructeur, soit $p = 5\ mm$ pour le diamètre concerné.

Question 25 Dans le cas du diamètre minimal remplissant la condition de la question précédente, déterminer la vitesse critique de la vis à billes, notée N_{crit}, en $tr.min^{-1}$. Expliquer les étapes de votre démarche.

Question 26 En déduire la valeur de la vitesse d'avance, notée v_{crit} et en $m.s^{-1}$, du racleur pour la vitesse critique N_{crit}.
Conclure quand au critère de 80% avancé par le constructeur pour le pas indiqué.

II.3.3 — Dimensionnement à la charge dynamique (exigences FP1.2 et FC1)

Le dimensionnement à la charge dynamique consiste en un calcul de durée de vie très similaire à celui d'un roulement standard, selon les relations proposées par le constructeur dans le document de la **figure 14** (p.25). Par sécurité, et **quels que soient les résultats trouvés dans ce qui précède**, on choisit dans le tableau **figure 15** (p.26) le composant **XCIR4010** et on utilisera un facteur de charge $f_w = 1.5$ pour prendre en compte d'éventuelles vibrations.

Compte tenu de la viscosité importante de la pâte lors de la phase "aller" du racleur (**exigence FC1**), les efforts générés par la pâte sont arrondis à $F_r = 200\ N$ pour une largeur raclée de $L = 1000\ mm$ (**exigence FP1.2**). On tient de plus à prendre un coefficient de sécurité $s = 20$ pour prévenir tout phénomène de blocage en cas de durcissement imprévu de la pâte.

Question 27 Calculer pour ce composant la durée de vie en heures de fonctionnement.

Question 28 Compte tenu du temps de fabrication $T^{\text{h}}_{\text{raclage}}$ d'une pièce trouvé à la **question 23** (p.10), en déduire le nombre de pièces $N_{\text{pièces}}$ pouvant être fabriquées avec ce choix de composant. Conclure sur le dimensionnement et proposer des améliorations.

II.3.4 — Dimensionnement du moteur (exigences FC1 et FC3.1)

L'objectif de cette partie est d'effectuer un choix de moteur à partir du catalogue constructeur **figure 17** (p.27). On adopte les notations suivantes :

- $m_{\text{r}} = 3.6\ kg$: masse du racleur ;
- $J_{\text{v}} = 2\ x\ 10^{-3}\ kg.m^2$: moment d'inertie de la vis autour de son axe ;
- v_{r} en $[m.s^{-1}]$: vitesse de translation horizontale du racleur. Elle suit la loi en trapèze présentée sur la **figure 16** (p.26) (le niveau maximum de 15 $m.min^{-1}$ est obtenu en phase retour lorsque la lame est relevée) ;
- ω_{v} en $[rd.s^{-1}]$: vitesse de rotation de la vis ;
- C_{m} en $[N]$: couple moteur exercé sur la vis ;
- $F_r = 200\ N$: résultante des forces exercées par la pâte sur la lame du racleur (**exigence FC1**) ; pour le dimensionnement du moteur, cette force est assortie d'un coefficient de sécurité $s' = 1.5$;
- η : rendement de la transmission par vis à billes. Ce rendement est estimé à 0.95 ;
- P_m en $[W]$: puissance exercée par le moteur sur la vis ;
- $p = 5\ mm$: pas de la vis à billes choisie finalement par le constructeur.

On considère par ailleurs que les autres liaisons sont parfaites. Afin de choisir un type de moteur, on s'intéresse à deux phases distinctes détaillées dans la suite.

En phase d'accélération

Lors de la phase d'accélération, la lame n'est pas encore en contact avec la pâte : l'effort de raclage, noté F_r est supposé nul. On cherche à exprimer l'énergie cinétique de l'ensemble {vis + racleur} sous la forme suivante :

$$T = \frac{1}{2} J_{\text{eq}} \omega_{\text{v}}^2$$

dans laquelle J_{eq} est l'inertie équivalente de l'ensemble {vis + racleur}.

Question 29 Donner l'expression de l'énergie cinétique liée à la translation du racleur en fonction de la vitesse v_r, puis celle de l'énergie cinétique liée à la rotation de la vis en fonction de la vitesse de rotation ω_v.
Exprimer la vitesse du racleur v_r en fonction de la vitesse de rotation de la vis ω_v.
En déduire l'expression de l'inertie équivalente notée J_{eq} de l'ensemble {vis + racleur}.
Effectuer l'application numérique en unités du système international (unités S.I.).

Question 30 Donner la relation entre l'accélération de la vis $\dot{\omega}_{\text{v}}$ et le couple moteur C_m exercé sur la vis pendant la phase d'accélération.

Question 31 Calculer la valeur de l'accélération de la vis $\dot{\omega}_{\text{v}}$ en rad/s nécessaire pour obtenir le mouvement désiré du racleur lors de la phase d'accélération de la loi donnée en **figure 16** (p.26).

Question 32 Donner la valeur du couple C_m nécessaire dans cette phase d'accélération. En déduire la valeur de la puissance moteur maximale P_{m} nécessaire.

Question 33 Indiquer quel(s) modèle(s) de moteur convien(nen)t pour cette phase.

En phase de raclage

En phase de raclage, la vitesse du racleur v_r est considérée constante, mais l'effort de raclage F_r n'est plus négligeable.

Question 34 En précisant les outils théoriques utilisés, établir l'expression du couple moteur C_m en fonction de l'effort F_r et des autres paramètres du système dans cette phase.
Établir également l'expression de la puissance moteur P_{m} dans cette phase.

Question 35 Effectuer les applications numériques et commenter.

Question 36 Indiquer quel(s) modèle(s) de moteur satisfait(ont) les contraintes pour cette phase de fonctionnement.
Conclure sur le choix du moteur.
Commenter ce choix en relation avec l'**exigence FC3.1**.

PRÉSENTATION

III Dessin d'étude en construction mécanique

Consignes spécifiques aux travaux graphiques

On demande aux candidats des dessins qui doivent traduire sans ambiguïté leurs intentions de conception. Pour cela, les candidats sont invités à faire preuve de rigueur dans leur tracé (en particulier, l'utilisation d'une règle ne pourra être que conseillée) et à donner toutes les précisions qu'ils jugeront pertinentes afin de permettre au jury d'évaluer la pertinence de leurs solutions.

Les tracés devront respecter au mieux les règles du dessin technique en vigueur. Bien que les tracés à mains levés soient admis, il est demandé aux candidats d'en soigner leur qualité graphique. La lisibilité est prise en compte dans l'évaluation des dessins.

Les principales conditions fonctionnelles relatives aux liaisons représentées seront clairement indiquées en respectant les règles normalisées AFNOR.

Les éléments normalisés dessinés par le candidat autres que ceux fournis dans le sujet, seront dessinés approximativement en respectant au mieux leurs proportions.

Présentation du support de travail

Le travail est à effectuer sur le **calque 1 pré-imprimé de format A3**, horizontal, joint au sujet, et qui sera à rendre **non plié**.

Cette partie de l'étude a pour objectif de proposer une solution constructive à la mise en place d'un racleur de 1000 *mm* de largeur comme présenté au paragraphe **I.1.3** (exigence **FP1.2**).

Pour cela il est demandé au candidat de travailler sur trois éléments particuliers du racleur qui sont (voir **figure 4** p.14) :

- le **moteur d'entrainement** des deux vis à billes via la conception sur le **calque 1** (voir **figure 4** p.14) de :
  - sa fixation sur la plaque support moteur prévue à cet effet ;
  - la fixation de sa poulie d'entrainement à son extrémité, en notant que la position de la poulie telle que définie sur le calque impose la mise en place d'une pièce intermédiaire d'adaptation afin d'assurer une mise en position correcte ;

- une **vis à billes** d'entrainement du racleur en translation via la conception sur le **calque 1** (voir **figure 4** p.14) de :
  - son guidage en rotation par l'intermédiaire de deux paliers dont le palier avant est constitué de deux roulements à billes à contact oblique de référence 7002, montés en "O" et le palier arriere est constitué d'un roulement à une rangée de billes à contact radial de référence 6002 ;
  - la fixation de sa poulie d'entrainement à son extrémité ;

- un **écrou à billes** d'entrainement du racleur en translation via la conception sur le **calque 1** (voir **figure 4** p.14) de :
  - sa fixation sur une plaque support du racleur prévue à cet effet ;
  - une possibilité de réglage afin d'assurer un alignement correct entre la vis à billes et l'écrou à billes.

Il est rappelé que le **calque 1** est à l'échelle 1 : 1.

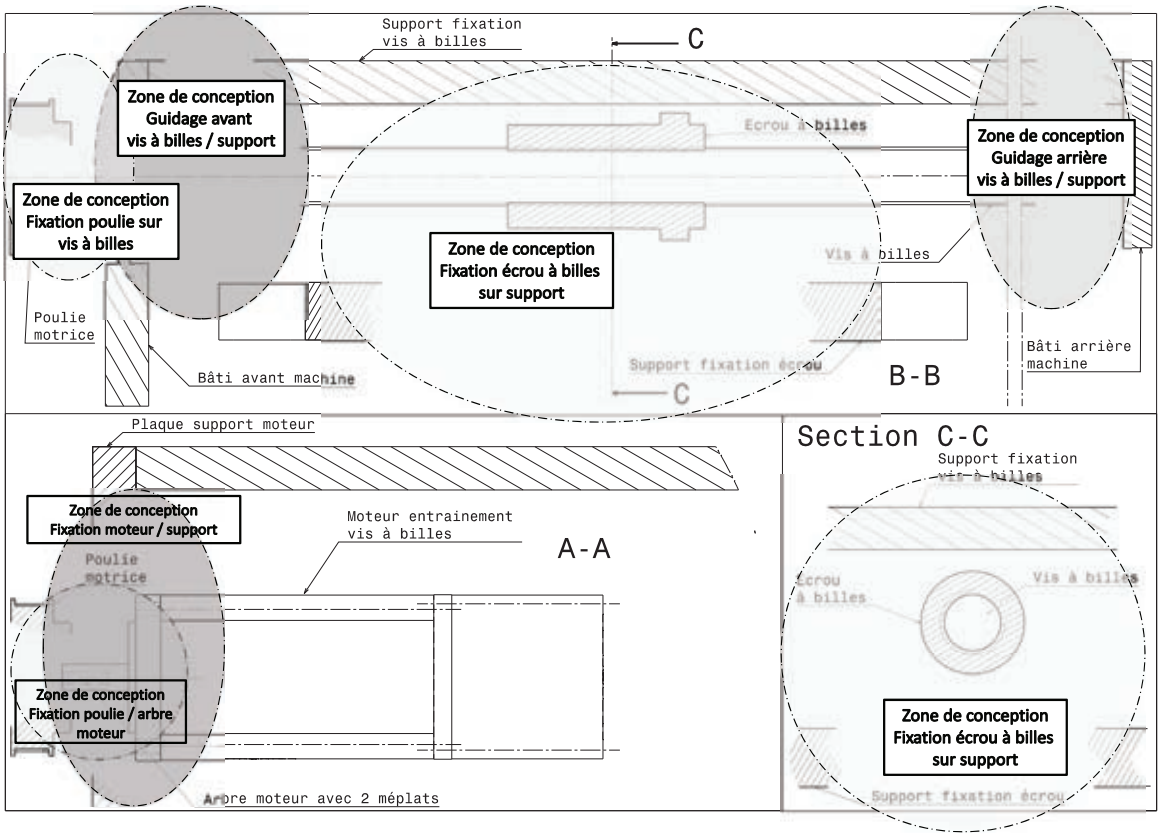


Figure 4 • Illustration des zones de dessin sur le **calque 1**.

III.1 — Conception de la fixation du moteur

III.1.1 — Présentation du travail

Il s'agit ici de concevoir la fixation du **moteur électrique BMS** représenté sur le **calque 1** par rapport à la plaque support moteur proposée ainsi que l'entrainement de la poulie dentée assurant la transmission de puissance vers la courroie synchrone. Les caractéristiques du moteur sont rappelées sur la **figure 17** (p.27) et une représentation du moteur et des poulies sont fournies sur les **figure 18** (p.28) et **figure 19** (p.29) à l'échelle du **calque 1** (1 : 1).

La fixation du moteur doit être démontable.

La fixation de la poulie dentée sur l'arbre du moteur doit être démontable et réglable afin d'assurer l'alignement des différentes poulies. La forme de l'arbre moteur imposée par le fabriquant du moteur ainsi que le positionnement et la forme de la poulie imposent l'utilisation d'une pièce intermédiaire d'adaptation entre la poulie et l'arbre moteur afin d'assurer un guidage et une transmission de puissance correcte entre les deux éléments. Les éléments de fixation existants, représentés sur le **calque 1**, sont des éléments mécano-soudés.

Position de représentation :

Le mécanisme sera dessiné sur la coupe **A-A** définie sur le **calque 1**.

III.1.2 — Travail à réaliser

Question 37 Dessinez votre proposition de solution dans la zone de conception **"Fixation moteur / support" du calque 1**.

Dessiner "à la main" ou aux instruments, sur la vue prédéfinie, vos propositions de solutions pour :
- assurer une mise en position isostatique du moteur sur la plaque de fixation proposée ;
- assurer un maintien en position démontable du moteur sur la plaque support.

Question 38 Dessinez votre proposition de solution dans la zone de conception **"Fixation poulie / arbre moteur" du calque 1**.

Dessiner "à la main" ou aux instruments, sur la vue prédéfinie, vos propositions de solutions pour :
- assurer une mise en position isostatique de la poulie sur l'arbre moteur ;
- assurer un maintien en position démontable avec possibilité de réglage de la position axiale de la poulie sur l'arbre moteur ;
- permettre de transmettre la puissance mécanique de l'arbre moteur vers la poulie dentée via une transmission de puissance par obstacle ;
- proposer des formes usinables du moyeu de la poulie en partant de sa forme brute présentée sur la **figure 19** (p.29) ;
- prévoir une pièce d'adaptation intermédiaire entre la poulie dentée et l'arbre moteur assurant un guidage et une transmission de puissance correcte entre les deux éléments cités. Cette bague sera obtenue par usinage à partir d'un brut cylindrique.

III.2 — Conception du guidage en rotation et de l'entrainement de la vis à billes

III.2.1 — Présentation du travail

Il s'agit ici de concevoir le guidage en rotation et l'entrainement de la **vis à billes** représentée sur le **calque 1** par rapport au **support de fixation de la vis à billes** proposé.

Pour le guidage en rotation, une solution de type palier fixe - palier libre afin d'éliminer tout jeu dans le mouvement de translation est envisagée. Le palier fixe est assuré par un montage de deux roulements à billes à contact oblique de type 7002 montés en "0" et le palier libre est réalisé par un roulement à une rangée de billes à contact radial de type 6002. Les caractéristiques des roulements sont rappelées sur la **figure 19** (p.29) et une représentation de ces roulements à l'échelle du **calque 1** (1 : 1) est donnée.

Pour l'entrainement en rotation, la puissance est acheminée du moteur à la vis à billes par une transmission de puissance par une courroie synchrone et deux poulies dentées.

Position de représentation :

Le mécanisme sera dessiné sur la vue en coupe **B-B** définie sur le **calque 1**.

Tournez la page S.V.P.

III.2.2 — Travail à réaliser

Question 39 Dessinez votre proposition de solution dans les zones de conception **"Guidage avant vis à billes / support" et "Guidage arrière vis à billes / support" du calque 1**.

Dessiner "à la main" ou aux instruments, sur la vue prédéfinie, vos propositions de solutions pour :

- assurer le guidage et l'implantation de la vis à billes par rapport au éléments représentés à l'aide des deux paliers à roulements dont les caractéristiques sont données sur la **figure 19** (p.29). Le palier fixe (roulements à billes à contact oblique 7002) sera implanté dans la zone de guidage avant et le palier libre (roulement à 1 rangée de billes à contact radial 6002) sera implanté dans la zone de guidage arrière ;
- permettre le réglage (au montage) de la précharge des deux roulements à billes à contact oblique 7002 ;
- permettre le montage et le démontage de la vis à billes ;
- permettre d'accéder au système de réglage de la précharge des roulements 7002 lors que le système est entièrement monté ;
- proposer des pièces de mise en position et maintien en position des roulements 6002 et 7002 réalisables à partir de pièces brutes de fonderie ;
- assurer une étanchéité des montages de roulements afin qu'ils puissent fonctionner avec une lubrification périodique à la graisse et être protégés des éléments extérieurs tels que la pâte céramique.

Question 40 Dessinez votre proposition de solution dans la zone de conception **"Fixation poulie sur vis à billes" du calque 1**.

Dessiner "à la main" ou aux instruments, sur la vue prédéfinie, vos propositions de solutions pour :

- assurer une mise en position isostatique de la poulie dentée sur la vis à billes ;
- assurer un maintien en position démontable sans possibilité de réglage de la position axiale de la poulie par rapport à la vis à billes ;
- proposer des formes usinables du moyeu de la poulie en partant de sa forme brute présentée sur la **figure 19** (p.29) ;
- permettre de transmettre la puissance mécanique de la poulie dentée vers la vis à billes via une transmission de puissance par obstacle.

III.3 — Conception de la transmission du puissance entre l'écrou à billes et le racleur

III.3.1 — Présentation du travail

Il s'agit ici de concevoir la fixation et le réglage de l'alignement de l'**écrou à billes** représenté sur le **calque 1** par rapport au **support de fixation de l'écrou à billes et des patins de la glissière** proposé.

La fixation doit être démontable et réglable pour assurer un alignement correct de la vis à billes et de l'écrou lors du montage.

Position de représentation :

Le mécanisme sera dessiné sur la vue en coupe **B-B** et la section **C-C** définies sur le **calque 1**.

III.3.2 — Travail à réaliser

Question 41 Dessinez votre proposition de solution dans la zone de conception **"Fixation écrou à billes sur support" du calque 1**.

Dessiner "à la main" ou aux instruments, sur la vue prédéfinie, vos propositions de solutions pour :

- assurer une mise en position isostatique de l'écrou à billes sur le support de fixation proposé tout en permettant un débattement de l'écrou sur quelques millimètres pour régler son alignement par rapport à la vis à billes ;
- assurer un maintien en position démontable avec possibilité de réglage de la position de l'écrou par rapport à la vis à billes ;
- permettre un réglage rapide de l'alignement de l'écrou par rapport à la vis à billes.
- proposer une(des) pièce(s) de mise en position et maintien en position de l'écrou à billes réalisable à partir de pièces usinées.

IMPRIMERIE NATIONALE – 18 1130 – D'après documents fournis

ANNEXE A
Documents ressources

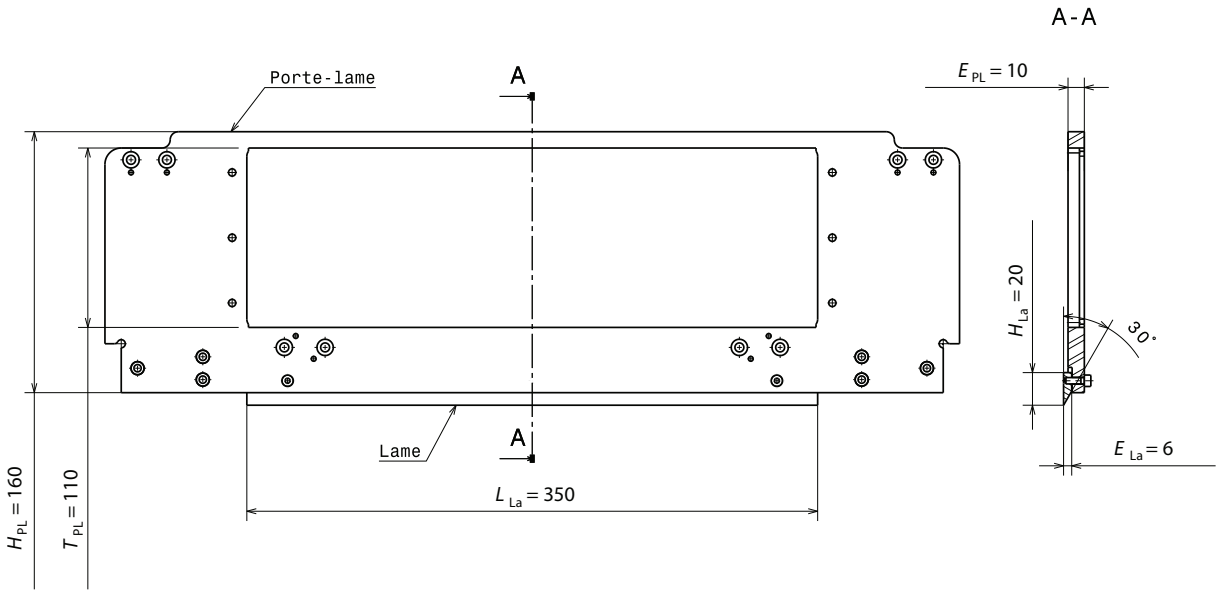


Figure 5 • Plan du porte-lame et de la lame pour la version 300 mm.

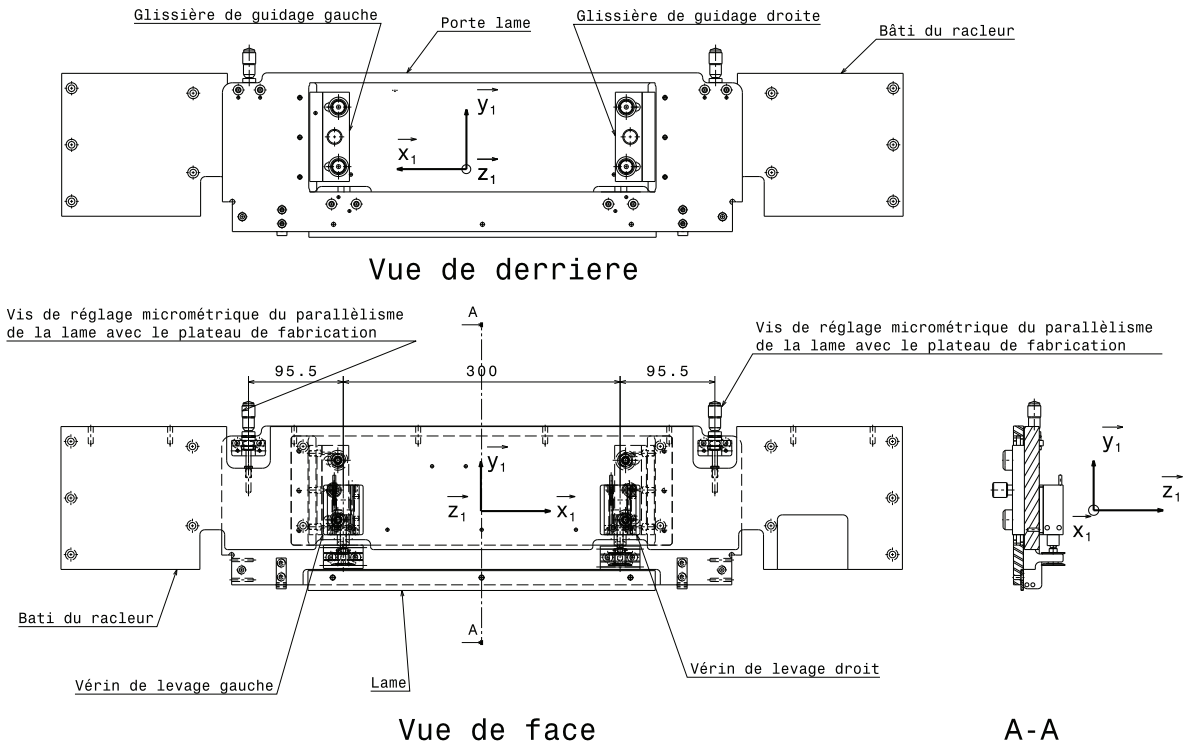
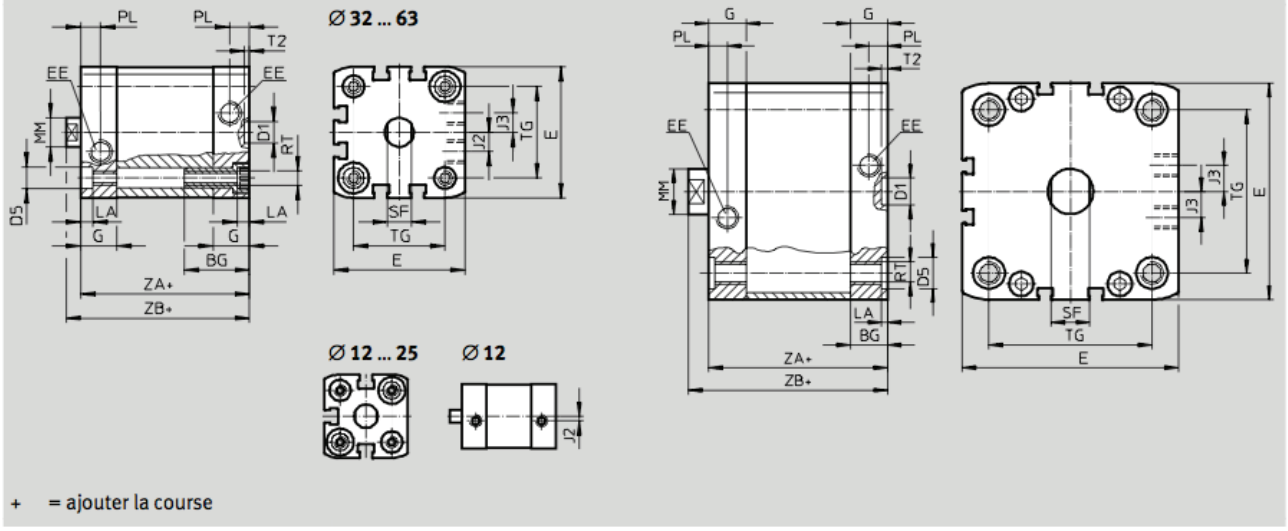


Figure 6 • Vues de l'ensemble {lame + porte-lame} dans son environnement.

B

Dimensions — Type de base Téléchargement des données de CAO ➔ www.festo.fr

Ø 12 ... 63 Ø 80 ... 125



\+ = ajouter la course

Ø Piston [mm]	BG min.	D1 Ø H9	D5 Ø F9	E	EE	G	J2	J3	LA +0,2
12	17	9	6	27,5 +0,3	M5	10,5	2	—	3,5
16				29 +0,3		11	2,6		
20	19,5		9	35,5 +0,3		12			5
25				39,5 +0,3					
32	26			47 +0,3	G⅛	15	6		
40				54,5 +0,3			8		
50	27	12	12	65,5 +0,3			11,5		
63				75,5 +0,3					
80	17		15	95,5 +0,6		16,5			2,6
100	21,5			113,5 +0,6		21,5	20		
125	20		—	134,6 +0,3	G¼	20	21,15		—

Ø Piston [mm]	MM Ø Tige [mm]	PL +0,2	RT	SF h13	T2 +0,1	TG ±0,2	ZA ±0,3	ZB +1,2	ZB PPS +1,3
12	6	6	M4	5	2,1	16	35	39,2	—
16	8			7		18		39,7	
20	10		M5	9		22	37	42,5	42,5
25						26	39	44,5	45,3
32	12	8,2	M6	10		32,5	44	50	50,6
40						38	45	51,1	51,7
50	16		M8	13	2,6	46,5		52,7	53,2
63						56,5	49	56,5	57
80	20		M10	17		72	54	62,9	63,4
100		10,5				89	67	76	76,8
125	25		M12	21		110	81	92	—

Figure 7 • Document d'un fournisseur de vérins pneumatiques.

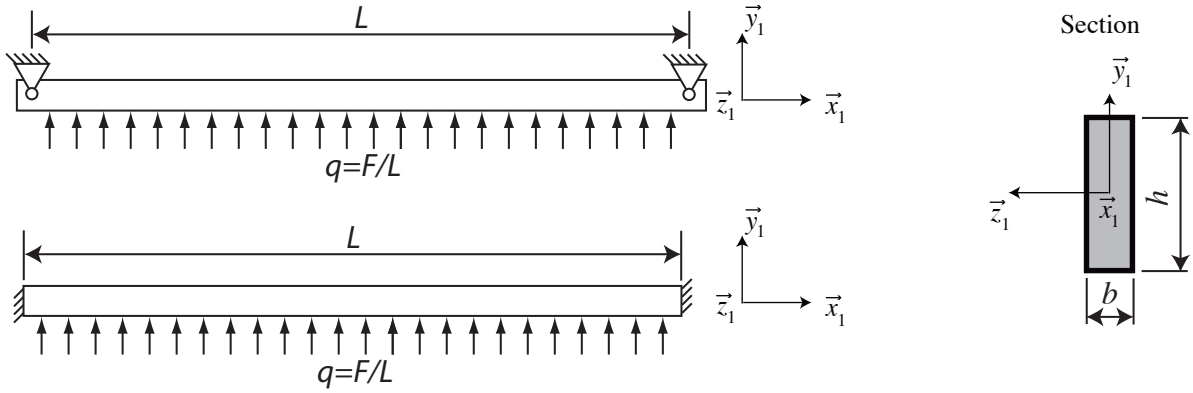


Figure 8 • Modèles proposés pour la lame en phase de raclage : poutre bi-appuyée (haut) et bi-encastrée (bas) et section (droite).

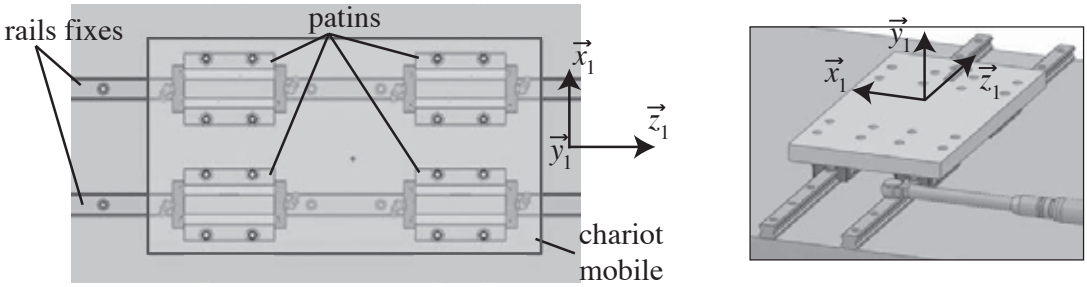
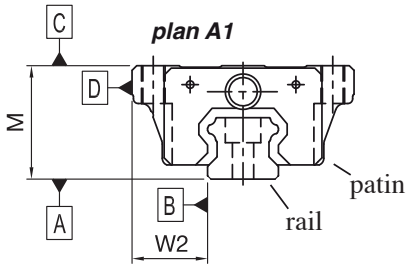


Figure 9 • Système de guidage linéaire sur 4 patins à billes : vue de dessus et vue en perspective.

CLASSES DE PRECISION

N = Précision standard
H = Précision élevée
P = Haute précision
Classe **H** - Sur stock
Classes **N** et **P** demande usine



Parallélisme d'un ensemble rail et patin en fonctionnement - (Unité µm)
Surface **C** par rapport **A** ***(plan A1)***
Surface **D** par rapport **B** ***(plan A1)***

Précision	Longueur du rail en mm												
	< 100	< 200	< 300	< 500	< 700	< 900	< 1 100	< 1 500	< 1 900	< 2 500	< 3 100	< 3 600	< 4 000
N	12	14	15	17	20	22	24	26	28	31	33	36	37
H	7	9	10	12	13	15	16	18	20	22	25	27	28
P	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	18	20	21

Figure 10 • Parallélisme en fonction de la longueur du rail et de la classe de précision.

DUREE DE VIE DES GUIDAGES A BILLES

Même si un guidage linéaire est parfaitement implanté, dimensionné et entretenu, la charge appliquée et différents facteurs modifient sa durée de vie.

L'équation de base pour calculer la durée de vie nominale d'un guidage linéaire en fonctionnement normal (horizontal, charge en appui...) est la suivante :

- Equation 1 : $L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 x\ 50\ km$

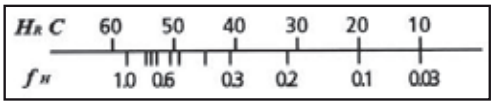
Cependant de nombreux facteurs peuvent entrer en compte et influencer la durée de vie, la relation entre ces facteurs est exprimée dans l'équation suivante :

- Equation 2 : $L = \left(\frac{f_H f_t C}{f_w P}\right)^3 x\ 50\ km$

L : Durée de vie nominale
C : Charge dynamique acceptable
P : Charge
f_H : Facteur de dureté (*)
f_t : Facteur de température (*)
f_w : Facteur de charge

Facteur de température (f_t)
Les températures de fonctionnement des patins à billes sont de -20 à 80°C

Facteur de dureté (f_h)
En général la surface de contact entre les billes et le rail de guidage à une dureté superficielle comprise entre 55 et 60 HRc. Quand cette dureté n'est pas obtenue (recuit, usinage...), les charges admissibles et la durée de vie diminuent. Dans ce cas, les charges dynamiques et statiques doivent être multipliées par le facteur de température f_t.



Facteur de charge (f_w)
Les charges agissant sur le guidage linéaire incluent le poids du rails, la charge d'inertie au moment de l'accélération et de la décélération, et les moments provoqués. Il est particulièrement difficile d'estimer ces indices de charges en raison des vibrations et des impacts mécaniques, donc, **la charge sur le guidage linéaire doit être divisée par le facteur f_w**.

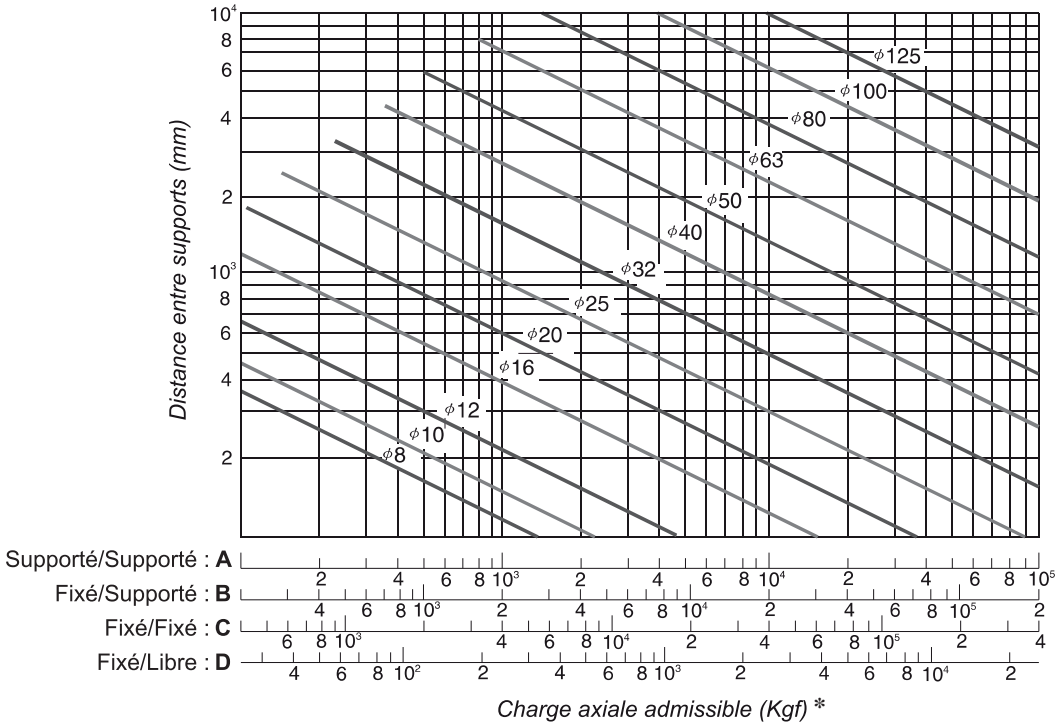
Tableau n°4 - Facteur de charge

Conditions de travail	Vitesse du système	f_w
Pas de chocs / pas de vibrations	V < 15 m / min	1 à 1.2
Légers chocs / légères vibrations	15 m / min < V < 60 m / min	1.2 à 1.5
Charges normales	60 m / min < V < 120 m / min	1.5 à 2.0
Chocs et vibrations importants	V > 120 m / min	2.0 à 3.5

Figure 11 • Document constructeur sur la durée de vie des guidages linéaires à billes. (*) les facteurs de dureté f_H et de température f_t sont prix égaux à 1.

FLAMBAGE

Le diagramme ci-dessous détermine les charges admissibles en fonction du diamètre nominal de la vis. Selon le type de montage adopté et la distance entre supports, la valeur trouvée représente la charge axiale admissible (Kgf).



** Indication : 1 Kgf = 1 kilogramme.force = environ 10 N*

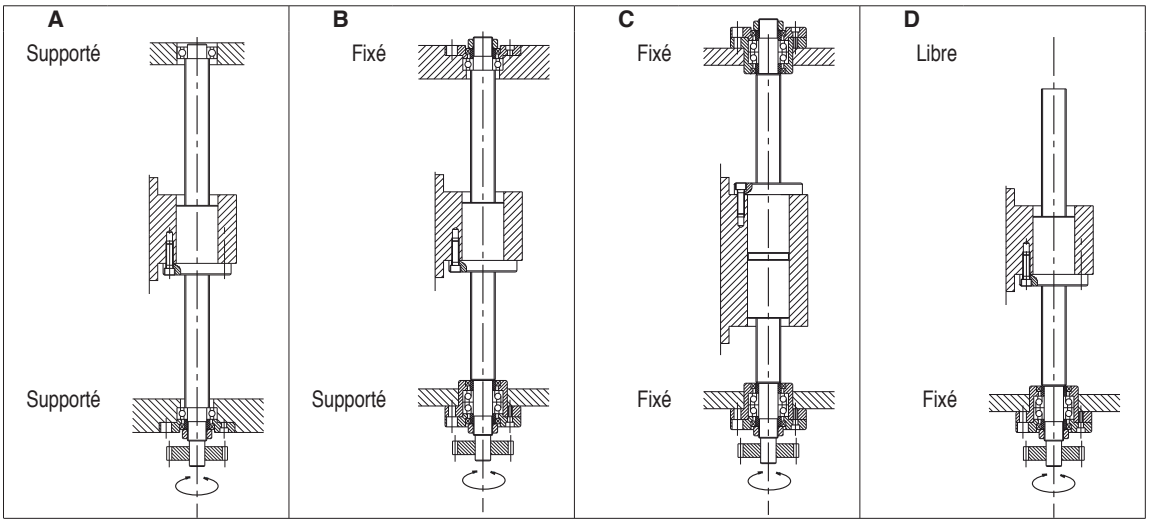


Figure 12 • Document constructeur sur le calcul de la charge en flambage d'une vis à billes.

VITESSE CRITIQUE

Il est nécessaire de connaître la vitesse limite pour laquelle la vis à billes se positionne en résonance avec la fréquence naturelle de l'arbre fileté.
Le diagramme ci-dessous permet de déterminer, en fonction du type de montage de la vis, pour un diamètre et une distance entre supports donnés, la vitesse de rotation admissible.

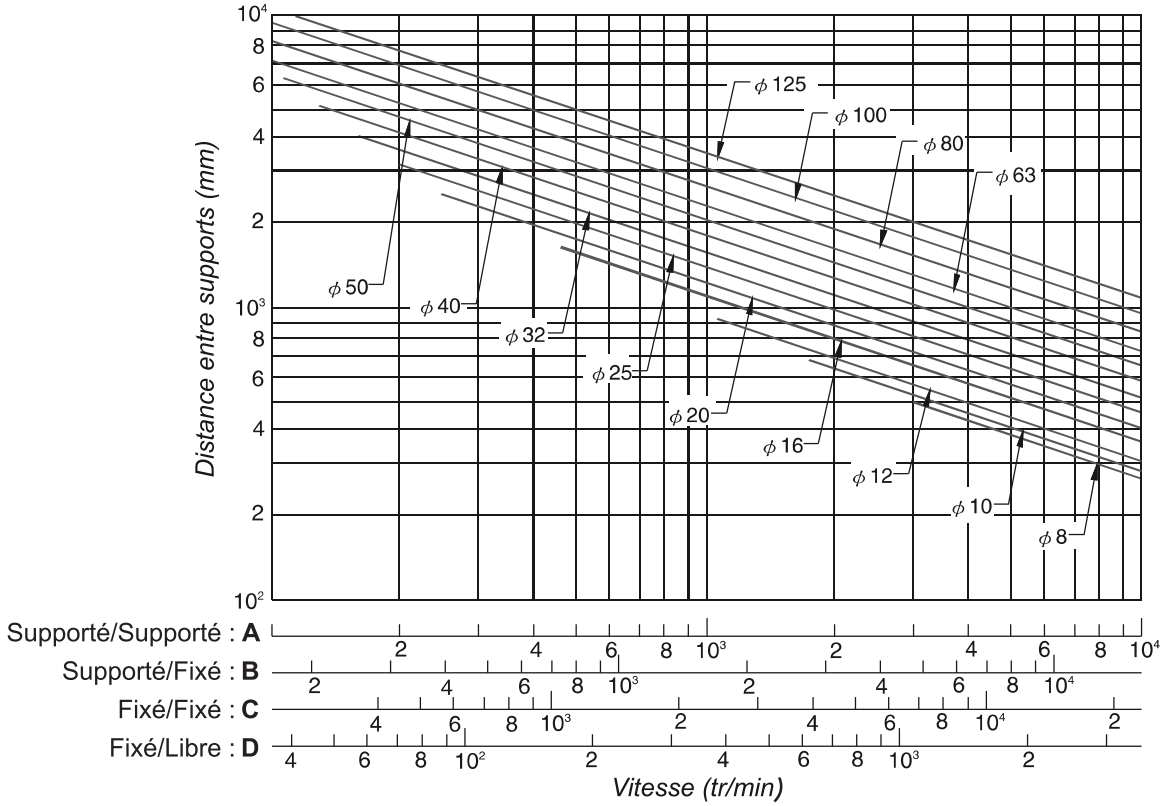


Figure 13 • Document constructeur sur le calcul de la vitesse critique conseillée pour une vis à billes.

DUREE DE VIE

Fatigue (Ecaillage) :

La durée de vie d'une vis à billes est donnée en nombre de tours, ou d'heures qu'elle effectue avant les premiers signes de fatigue (écaillage).

Le taux de charge dynamique de base Ca est à utiliser afin de déterminer une vis à billes pour 10^6 tours.

La relation entre taux de durée, taux de charge dynamique de base, charge axiale et nombre de tours s'exprime comme suit :

$$L = \left(\frac{Ca}{Fa \cdot fw} \right)^3 \cdot 10^6$$

$$Lt = \frac{L}{60 \cdot n}$$

$$Ls = \frac{L \cdot l}{10^6}$$

L = Durée de vie en nombre de tours
Lt = Durée de vie en heures
Ls = Durée en distance (km)
Ca = Taux de charge dynamique de base
Fa = Charge axiale
n = Vitesse de rotation (tr/min)
l = Pas de la vis
fw = Coefficient de sécurité :
Pas de vibrations ni impacts fw = 1.0 - 1.2
Faibles vibrations ou impacts fw = 1.2 - 1.5
Fortes vibrations ou impacts fw = 1.5 - 3.0

Dans de nombreux cas, les charges axiales et les vitesses de rotation ne sont pas constantes mais variables.
Il faut dans ce cas déterminer l'effort moyen F_m et la vitesse moyenne n_m à partir des charges axiales représentatives du cycle de fonctionnement.

charge axiale	vitesse de rotation	pourcentage du temps de fonctionnement
F1	n1	q1
F2	n2	q2
F3	n3	q3
-	-	-
-	-	-
-	-	-
F_n	n_n	q_n

• Avec une vitesse de rotation variable, utiliser la vitesse moyenne n_m

$$n_m = \frac{q1}{100} \cdot n_1 + \frac{q2}{100} \cdot n_2 + \ldots + \frac{qn}{100} \cdot n_n$$

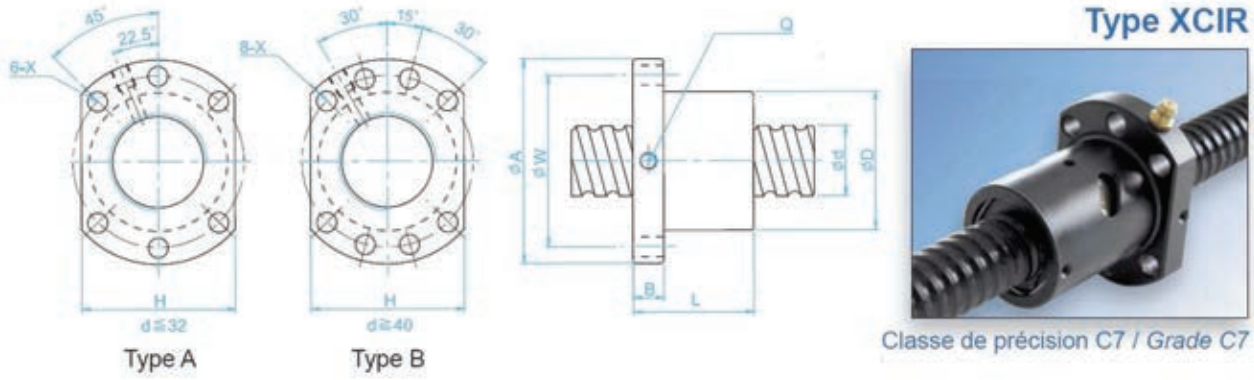
• Avec une charge variable et une vitesse constante, utiliser la charge moyenne F_m

$$F_m = \sqrt[3]{F1^3 \cdot \frac{q1}{100} + F2^3 \cdot \frac{q2}{100} + \cdots + Fn^3 \cdot \frac{qn}{100}}$$

• Avec une charge variable et une vitesse variable, utiliser la charge moyenne

$$F_m = \sqrt[3]{F1^3 \cdot \frac{n1}{nm} \cdot \frac{q1}{100} + F2^3 \cdot \frac{n2}{nm} \cdot \frac{q2}{100} + \cdots + Fn^3 \cdot \frac{nn}{nm} \cdot \frac{qn}{100}}$$

Figure 14 • Document constructeur sur le calcul de la durée de vue d'une vis à billes.



Référence Type	Dimensions - mm											Q Trou Lubrification Oil hole	n Nombre de circuits Number of Circuits	Charge - Basic Load	
	Ød	Pas Pitch	Type Type	Ø billes Ball	D	A	B	L	W	X	H			Dyn. C	Stat. Co
														Kgf	Kgf
XCIR1605	16	5	A	3,175	28	48	10	50	38	5,5	40	M6	1x4	980	1 690
XCIR2005	20	5	A	3,175	36	58	10	51	47	6,6	44	M6	1x4	1 100	2 280
XCIR2505	25	5	A	3,175	40	62	10	51	51	6,6	48	M6	1x4	1 250	3 070
XCIR3205	32	5	A	3,175	50	80	12	52	65	9	62	M6	1x4	1 400	4 080
XCIR3210		10		6,350				90						2 605	5 310
XCIR4005	40	5	B	3,175	63	93	14	55	78	9	70	M8	1x4	1 575	5 290
XCIR4010		10		6,340				93						3 010	7 100

Références en stock, les autres références sur fabrication - *References on stock*

Figure 15 • Extrait d'un document constructeur sur les vis à billes.

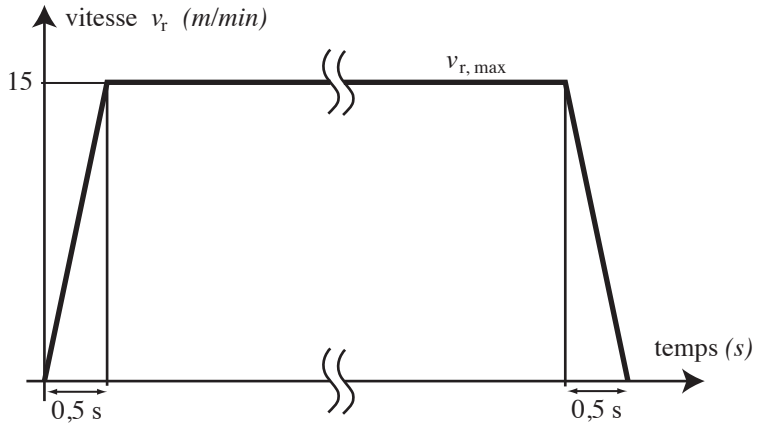


Figure 16 • Consigne de vitesse du racleur.

Modèle		BMS35	BMS60	BMS100	BMS280	BMS465
Désignation		-A	-A	-A	-A	-A
Performances (1, 5)						
Couple en régime établi (2)	N·m	0.27	0.33	0.56	1.60	2.86
	oz·in	38.0	46.2	80.0	227.0	404.8
Couple en pic (3)	N·m	1.07	1.31	2.26	6.41	11.43
	oz·in	152.0	184.9	320.0	908.0	1619.2
Vitesse	rpm	4,000	4,000	3,000	3,000	2,000
Puissance de sortie en régime établi	watts	96.0	112	133	381	457
Spécifications électriques (5)						
Constante de vitesse du moteur	Volts $_{pk}$/krpm	12.9	19	40	57	79
Courant en régime établi (2)	Amp $_{pk}$	2.5	2.3	2.1	3.8	4.9
	Amp $_{rms}$	1.7	1.6	1.5	2.7	3.5
Courant en pic (3)	Amp $_{pk}$	9.8	9.2	8.4	15.2	19.6
	Amp $_{rms}$	6.9	6.5	5.9	10.7	13.9
Constante de couple (4,8)	N·m /Amp $_{pk}$	0.11	0.14	0.27	0.42	0.58
	oz·in /Amp $_{pk}$	15.5	20.1	38.1	59.7	82.6
	N·m /Amp $_{rms}$	0.15	0.20	0.38	0.60	0.82
	oz·in /Amp $_{rms}$	21.9	28.4	53.9	84.5	116.8
Constante moteur (2,4)	N·m/$\sqrt{W}$	0.046	0.050	0.076	0.179	0.280
	oz·m/$\sqrt{W}$	6.52	7.02	10.74	25.34	39.70
Résistance, 25°C	ohms	5.8	8.4	12.9	5.7	4.4
Inductance	mH	1.7	1.30	2.40	1.10	0.87
Tension maximale de commande	VDC	340	340	340	340	340
Résistance thermique	C/W	2.21	1.73	1.35	0.93	0.72
Nombre de poles	P	8	8	8	14	14
Spécifications mécaniques						
Section moteur	NEMA	17	23	23	34	34
Poids du moteur	kg	0.6	1.1	1.5	3.60	5.00
	lb	1.3	2.4	3.3	7.9	11.0
Moment d'inertie du rotor	kg·m ^{2}	$1.96x10^{-5}$	$1.96x10^{-5}$	$3.71x10^{-5}$	$4.66x10^{-4}$	$9.28x10^{-4}$
	oz·in·s ^{2}	0.0028	0.0028	0.0053	0.0660	0.1314
Chargement radial maximum	N	45	89	89	178	178
	lb	10	20	20	40	40
Chargement axial maximum	N	45	89	89	89	89
	lb	10	20	20	20	20
Standards		2011/65/EU RoHS 2 Directive				

Figure 17 • Extrait d'une documentation fournisseur sur les moteurs électriques.

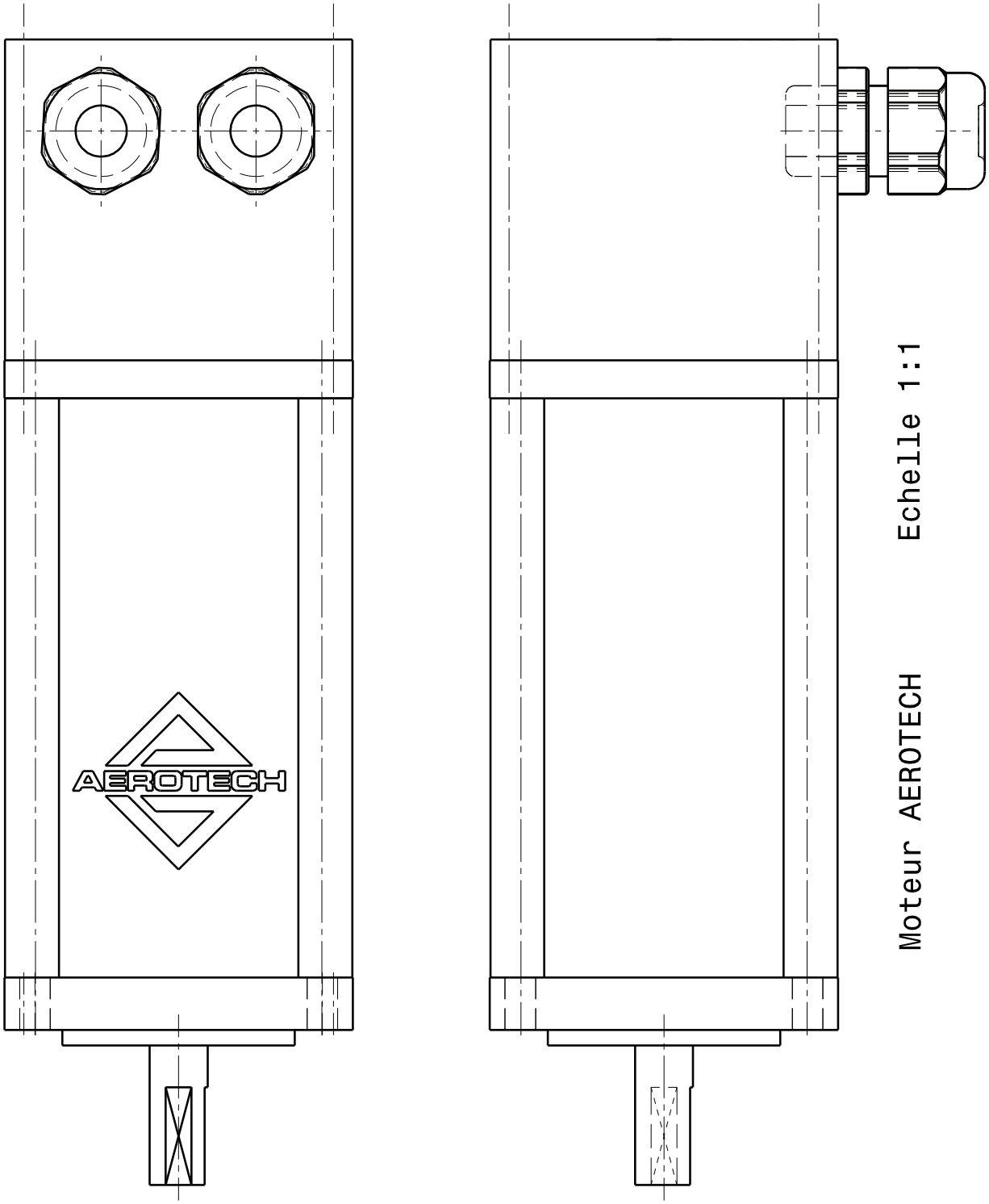


Figure 18 • Moteur choisi pour la conception.

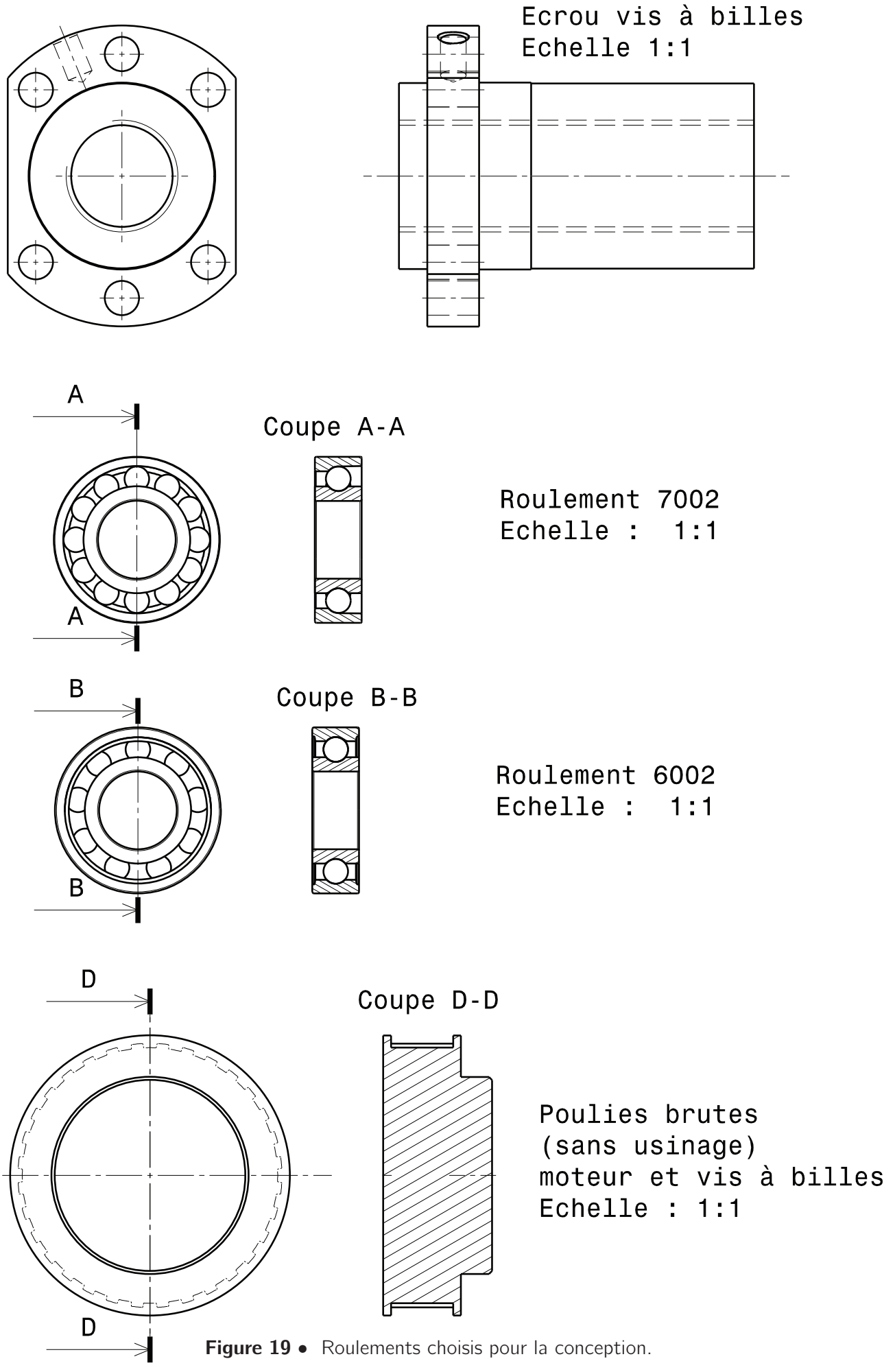
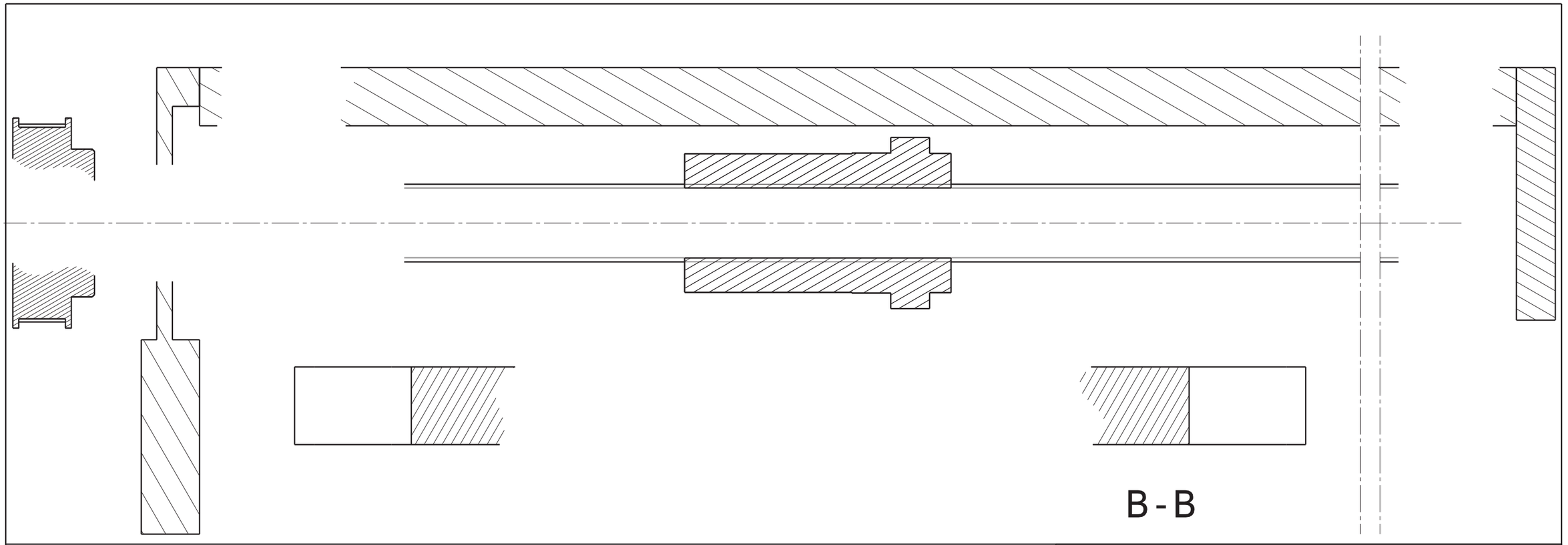


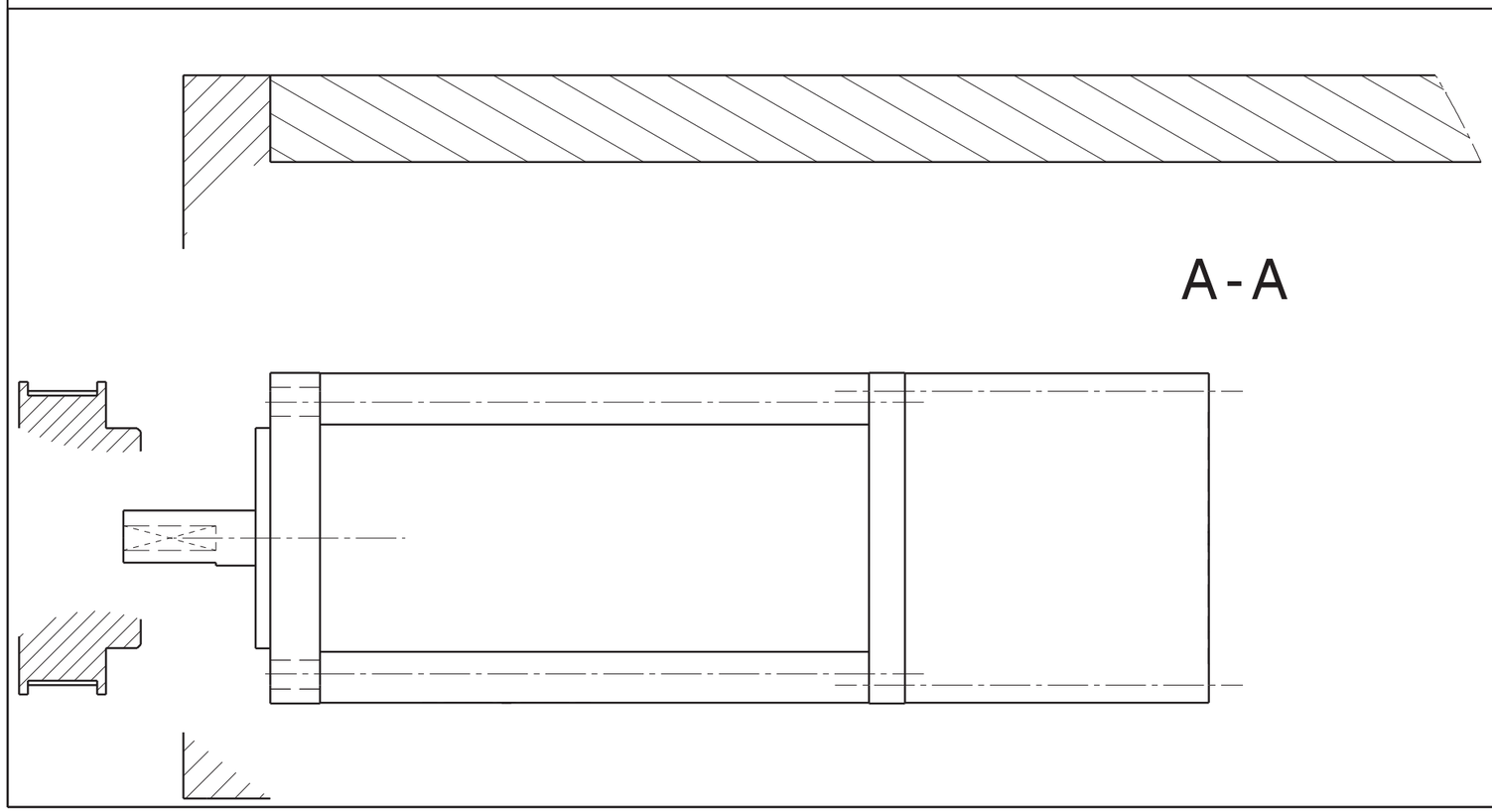
Figure 19 • Roulements choisis pour la conception.

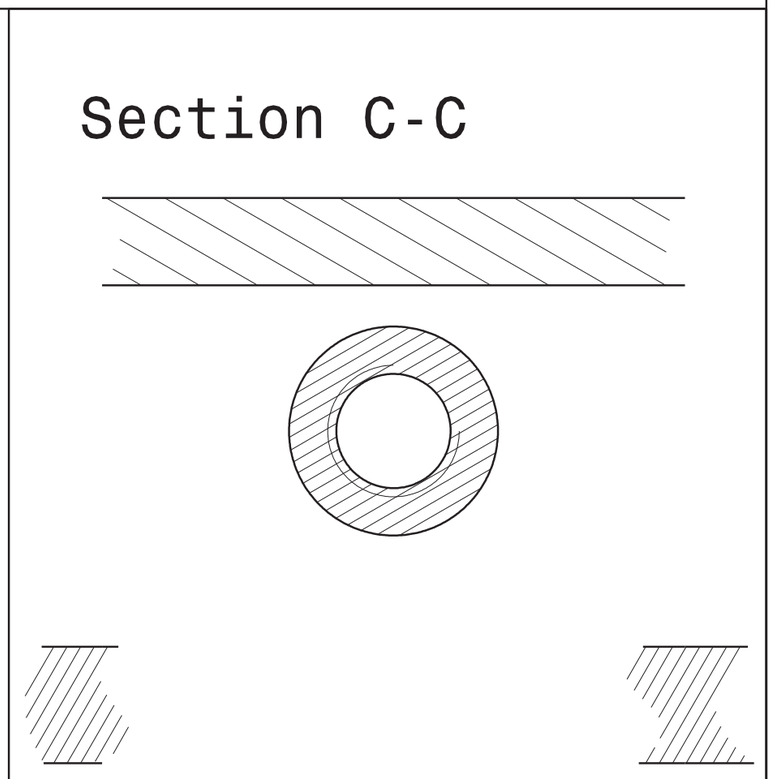
ANNEXE **B**

Notations et valeurs numériques

Notation	Désignation	Valeurs numériques
$(\overrightarrow{x}, \overrightarrow{y}, \overrightarrow{z})$	repère global machine (voir **figure 1**)	$\overrightarrow{x}$ est la direction d'étalement de la pâte $\overrightarrow{z}$ est la direction verticale
$(\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_1})$	repère global machine (voir **figures 6** et **9**)	$\overrightarrow{x_1}$ est l'axe de la poutre $\overrightarrow{y_1}$ est la direction verticale
	taille de la zone de fabrication initiale	300 x 300 mm^2
	taille de la zone de fabrication souhaitée	1000 x 1000 mm^2
H	hauteur de fabrication maximale	300 mm
e	épaisseur d'une couche	30 μm
N_{couches}	nombre maximum de couches de fabrication	
H_{PL}	hauteur du porte lame	160 mm
T_{PL}	hauteur du trou du porte lame	110 mm
E_{PL}	épaisseur du porte lame	10 mm
L_{La}	longueur de la lame	350 mm (initial), 1050 mm (nouvelle version)
H_{La}	hauteur de la lame	20 mm
E_{La}	épaisseur de la lame	6 mm
L	distance entre les fixations de la lame	300 mm (initial), 1000 mm (nouvelle version)
L	distance de la zone d'étalement par le racleur sur la plateforme	300 mm (initial), 1000 mm (nouvelle version)
L_{deg}	distance de dégagement du racleur	200 mm
ρ_{acier}	masse volumique de l'acier	7800 $kg.m^{-3}$
ρ_{alu}	masse volumique de l'aluminium	2700 $kg.m^{-3}$
	module d'Young (module d'élasticité)	70 GPa
	masse de la lame en version "300 mm"	0.2 kg
	masse du porte-lame en version "300 mm"	1.4 kg
	pression d'alimentation d'un vérin	2 bars
	"efficacité" d'un vérin	0.9
q	force linéïque liée au poids du racleur	
δ	flèche maximale de la lame	
f_w	facteur de charge	voir **figure 11**
v_{max}	vitesse maximum de raclage (adoptée en phase "retour")	20 $mm.s^{-1}$
v_{raclage}	vitesse de raclage	(partie II.3.1)
$T_{1\text{ couche}}$	temps pour effectuer l'aller de la phase de raclage	
T_{aller}	temps total pour effectuer l'aller de la phase de raclage	
T_{retour}	temps total pour effectuer l'aller de la phase de raclage	
$T^{\text{h}}_{\text{raclage}}$	temps total pour effectuer la phase de raclage	
s	coefficient de sécurité (calcul à la charge statique et dynamique)	20
L_{vis}	longueur de la vis à billes	2 m
D_{vis}	diamètre de la vis à billes	
p	pas de la vis à billes	5 mm
N_{crit}	vitesse maximum de rotation de la vis à billes	
v_{crit}	vitesse maximum du racleur imposée par la vis à billes	
L_{t}	durée de vie de la vis à billes en heures	
$N_{\text{pièces}}$	nombre de pièces pouvant être fabriquées	
m_{r}	masse du racleur	3.6 kg
J_{v}	moment d'inertie de la vis autour de son axe	2 10^{-3} $kg.m^2$
J_{eq}	inertie équivalente notée de l'ensemble {vis + racleur}	
v_{r}	vitesse de translation horizontale du racleur	voir **figure 16**
ω_{v}	vitesse de rotation de la vis	
C_{m}	couple moteur exercé sur la vis	
F_r	résultante des forces exercées par la pâte sur la lame du racleur	200 N
s'	coefficient de sécurité (dimensionnement du moteur)	1.5
η	rendement de la transmission par vis à bille	0.95
P_m	puissance exercée par le moteur sur la vis	


B - B


A-A


Section C-C

DANS CE CADRE

Académie : Session : Modèle EN.

Examen ou Concours : Série* :

Spécialité/option : Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :

(en majuscules, suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms :

Né(e) le

N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

NE RIEN ÉCRIRE

Toutes les calculatrices sont interdites, quel qu'en soit le type, ainsi que les agendas électroniques et les téléphones portables.

Cahier réponse

Épreuve de Sciences Industrielles B

Banque PT - 2018

D

Tournez la page S.V.P.

Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

II.1 Étude de la phase de montée-descente des lames

II.1.1 Dimensionnement des vérins suite à l'augmentation du poids de l'ensemble {lame + porte-lame}

Question 1 Expression de la nouvelle masse du porte-lame :

Application numérique :

Expression de la nouvelle masse de la lame :

Application numérique :

Masse totale du nouvel ensemble {lame + porte-lame} :

Question 2 Justification de l'utilisation de deux vérins :

Question 3 Justification de l'utilisation d'actionneurs double effet :

Question 4 Expression de la surface utile de chaque vérin :

Application numérique :

Question 5 Choix des vérins

Diamètre de tige :

Diamètre de piston :

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

II.1.2 Vérification de la déformation de la lame

Question 6 Bilan des actions mécaniques sur la lame en phase de raclage :

-
-
...

Question 7 Direction des efforts exercés par la pâte sur la lame :

Justification :

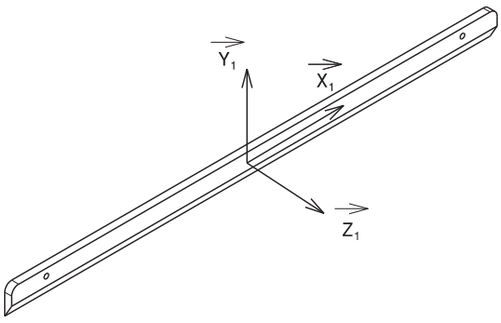


Schéma représentant les efforts extérieurs s'exerçant sur la lame.

Question 8 Justification de la direction des efforts retenue pour l'étude :

Question 9 Encadrer la configuration la plus souple : Bi-appuyée Bi-encastrée

Sollicitation(s) subie(s) par la poutre : cocher VRAI ou FAUX pour chaque sollicitation proposée.

Type de sollicitation	VRAI	FAUX
Traction		
Compression		
Cisaillement		
Flexion		
Torsion		

Question 10 Torseur de cohésion (indiquer les termes nuls et non nuls)

$$\{\tau^{coh}\} = \left\{ \begin{array}{cc} & \\ & \\ & \\ & \\ & \end{array} \right\}_{(\vec{x_1},\vec{y_1},\vec{z_1})}$$

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 11 Expression de $I_{G\ \vec{z_1}}$: $I_{G\ \vec{z_1}} =$

Application numérique : $\delta =$

Commentaire :

Question 12 Discussion sur le choix d'un autre matériau :

Question 13 Valeur de l'épaisseur b pour $h = 20\ mm$: $b =$

Valeur de la hauteur h pour $b = 6\ mm$: $h =$

Commentaire :

Question 14 Méthode :

Nombre de fixations à ajouter :

Commentaire :

Question 15 Commentaire sur l'influence des conditions limites liées aux fixations :

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

II.2 Étude du guidage en translation horizontale du racleur

II.2.1 Réflexion sur l'impact de la précision du guidage sur la planéité d'une couche

Question 16 Entourer les solutions vérifiant le critère de parallélisme

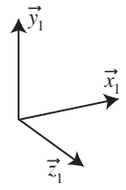
Précision	Longueur du rail en mm												
	< 100	< 200	< 300	< 500	< 700	< 900	< 1 100	< 1 500	< 1 900	< 2 500	< 3 100	< 3 600	< 4 000
N	12	14	15	17	20	22	24	26	28	31	33	36	37
H	7	9	10	12	13	15	16	18	20	22	25	27	28
P	3	4	5	6	7	8	9	11	13	15	18	20	21

Question 17 Solutions possibles (indiquer la classe de précision et la longueur du rail choisi).

Question 18 Qualifier la rigidité de chaque architecture en remplissant le tableau avec une lettre parmi les suivantes :
A - insuffisante, **B** - suffisante mais minimale, **C** - importante.

	1 patin par rail	2 patins par rail	3 patins par rail
1 rail			
2 rails parallèles			

Question 19



Question 20 Expression du degré d'hyperstaticité : $H =$

Application numérique : $H =$

Commentaires :

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

II.3 Étude de la motorisation du racleur

II.3.1 Dimensionnement de la vis à billes

Question 21 Vitesse de raclage pour conserver un facteur de charge faible :

$v_{max} =$

Question 22 Expression du temps nécessaire pour effectuer le raclage de la pâte sur une couche :

$T_{1\ couche} =$

Application numérique :

$T_{1\ couche} =$

Question 23 Expression du temps passé pour les mouvements "aller" du racleur pour une pièce de hauteur maximale :

$T_{aller} =$

Expression du temps passé pour les mouvements "retour" du racleur pour une pièce de hauteur maximale :

$T_{retour} =$

Applications numériques :

$T_{aller} =$

$T_{retour} =$

$T^{h}_{raclage} =$

Commentaire :

II.3.2 Dimensionnement à la charge statique

Question 24 Diamètre minimal de la vis à billes :

$D_{vis} =$

Explication de la démarche :

Tournez la page S.V.P.

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Question 25 Vitesse critique de la vis à billes choisie :

N_{crit} =

Explication de la démarche :

Question 26 Expression de la vitesse d'avance du racleur :

v_{crit} =

Application numérique :

v_{crit} =

Conclusions :

II.3.3 Dimensionnement à la charge dynamique

Question 27 Calcul de la durée de vie :

L_t =

Question 28 Nombre de pièces pouvant être fabriquées :

$N_{pièces}$ =

Conclusions :

Propositions d'améliorations :

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

II.3.4 Dimensionnement du moteur

En phase d'accélération

Question 29 Expression de l'énergie cinétique liée à la translation du racleur et à la rotation de la vis

$T_{\text{racleur}} =$ $T_{\text{vis}} =$

Expression de la vitesse du racleur en fonction de la vitesse de rotation :

$v_r =$

Expression de l'inertie équivalente :

$J_{\text{eq}} =$

Application numérique : $J_{\text{eq}} =$

Question 30 Relation entre accélération de la vis et couple moteur :

Question 31 Valeur de l'accélération de la vis nécessaire :

$\dot{\omega}_v =$

Question 32 Valeur du couple moteur nécessaire :

$C_{\text{m}} =$

Valeur de la puissance maximale nécessaire :

$P_{\text{max}} =$

Question 33 Modèle(s) de moteur(s) valable(s) :

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

En phase de raclage

Question 34 Théorème(s) utilisé(s) :

Expression du couple moteur en phase de raclage :

$C_m =$

Expression de la puissance moteur en phase de raclage :

$P_m =$

Question 35 Applications numériques :

Couple moteur : $C_m =$

Puissance moteur : $P_m =$

Question 36 Modèles de moteurs valables pour la phase de raclage :

Conclusions globales sur le choix du moteur :

Conclusions sur l'**exigence FC3.1** :

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PT chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement
- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Modélisation des liaisons, graphe des liaisons et schéma cinématique
- Chaînes de solides : liaisons équivalentes, mobilité et hyperstatisme
- Modélisation des actions mécaniques : modèles local et global, frottement, torseurs des liaisons
- Cinétique : torseurs cinétique et dynamique, énergie cinétique, inertie équivalente
- Énergétique : puissances, théorème de l'énergie cinétique, rendement

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière :
écrire sur WhatsApp

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/banque-pt/pt