

SESSION 2026

CAPET
CONCOURS EXTERNE ET CAFEP CORRESPONDANT
ET TROISIEME CONCOURS

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : INGÉNIERIE MÉCANIQUE

ÉPREUVE ÉCRITE DISCIPLINAIRE

L'épreuve, spécifique à l'option choisie, porte sur l'étude d'un système, d'un procédé ou d'une organisation. Elle a pour but de vérifier que le candidat est capable, à partir de l'exploitation d'un dossier technique remis par le jury, de conduire une analyse critique de solutions technologiques et de mobiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances d'un système ou d'un processus lié à la spécialité et définir des solutions technologiques

Durée : 5 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.

► **Troisième concours externe du CAPET de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E D V	1 4 1 4 E	1 0 1	9 3 1 1

► **Troisième concours externe du CAPET de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E D W	1 4 1 4 E	1 0 1	9 3 1 1

Présentation du support d'étude

OBTENTION DE PROFILES COMPOSITES PAR PULTRUSION

1.1. Mise en situation

La technique par pultrusion ou « extrusion par tirage » est un procédé de mise en œuvre en continu de tubes et profilés en matériaux composites. Ce procédé permet la production de profilés (figure 1) de section constante en grande série.

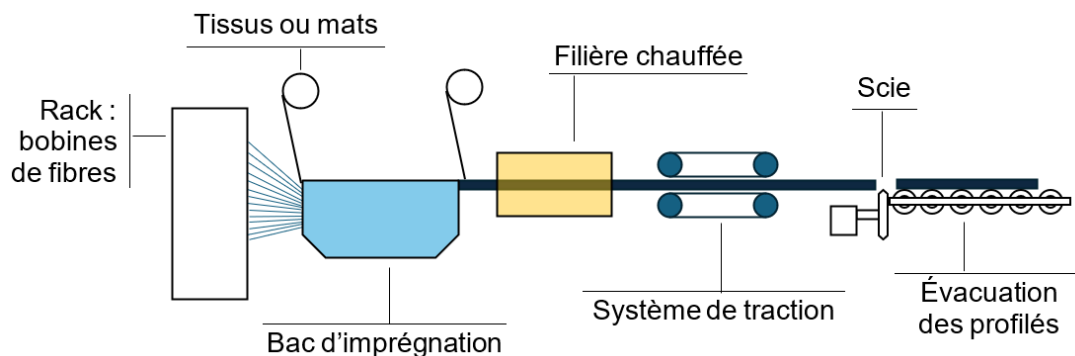


Figure 1 : Principe de fonctionnement général d'une ligne de production par pultrusion

Le fonctionnement général (figure 1) peut se résumer ainsi : le renfort (tissu, mat, fibres) conditionné en bobine et imprégné de résine thermodurcissable ou de polymère thermoplastique est tiré à travers une filière chauffée qui contrôle la teneur en résine ou polymère et détermine la forme de la section. Le passage dans ce four va ainsi provoquer la polymérisation de la résine ou la fusion du polymère et donner la forme finale. Le produit est ensuite coupé à la longueur souhaitée.

Le sujet porte sur le *module de coupe* d'une ligne de production (figure 2) conçue et exploitée par une société française permettant l'obtention de profilés à base de fibre de carbone ou fibre de verre par pultrusion.

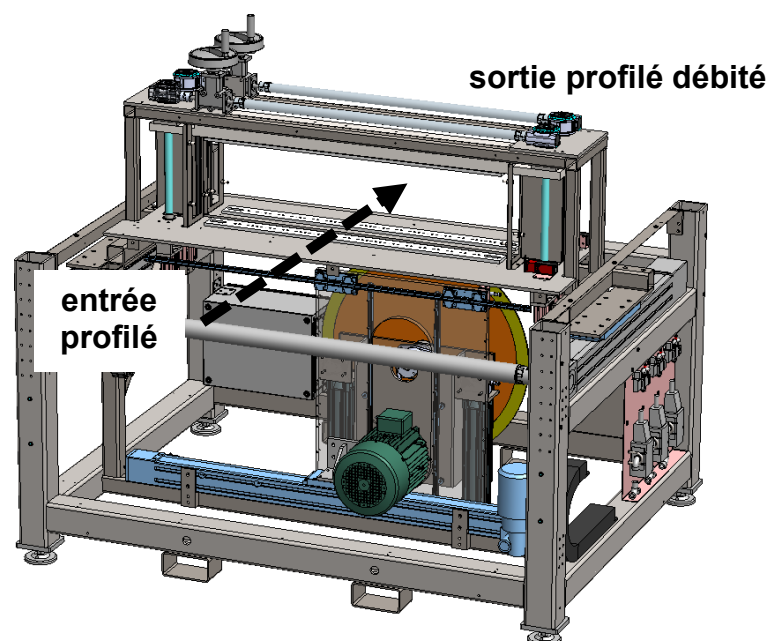


Figure 2 : Module de coupe de la ligne de production

1.2. Descriptions fonctionnelle et structurelle du module de coupe

L'annexe A présente le diagramme de définition de blocs détaillant les éléments structurels du module de coupe de la ligne de production. Cette chaîne fonctionnelle permet d'assurer une coupe du profilé à la volée au moyen de 3 axes linéaires motorisés et d'une scie circulaire.

L'annexe B présente un extrait du diagramme des exigences.

La mise en mouvement des axes linéaires motorisés du module de coupe permet de procéder à une coupe transversale du profilé tout en conservant la traction de celui-ci : c'est le principe de la coupe à la volée. Le déclenchement de l'opération de coupe dépend d'une consigne paramétrée par un opérateur à l'amorce de la production. Les profilés ainsi débités peuvent avoir des longueurs allant de 400 mm à plus de 6000 mm selon les besoins des clients.

Les différentes parties abordées dans ce sujet visent à :

- partie A : vérifier les performances dynamiques de l'axe n°1 ;
- partie B : vérifier le dimensionnement du moto-réducteur de l'axe n°4 lors de la phase de mise en mouvement de la scie et le dimensionnement des vérins pneumatiques linéaires de l'axe n°3 ;
- partie C : vérifier le dimensionnement des accouplements élastiques assurant la transmission de puissance du chariot de coupe ;
- partie D : vérifier que la vitesse d'avance du chariot de coupe reste égale à la vitesse d'avance de la matière, avec précision ;
- partie E : identifier un procédé d'obtention et proposer une cotation GPS de l'ensemble porte-scie.
-

**Les parties sont toutes indépendantes
et peuvent être traitées dans n'importe quel ordre.**

**Il est cependant conseillé au candidat de commencer par traiter la partie A
afin de s'approprier le support.**

Partie A : Choisir le moto-réducteur de l'axe n°1.

L'objectif de cette partie est de vérifier les performances dynamiques de l'axe n°1, participant à la mise en mouvement de la scie (exigence Id 1.2.1.2) et de choisir un modèle de motoréducteur.

Les différentes classes d'équivalence cinématiques retenues pour l'étude du module de coupe sont identifiées sur la figure 3. Ce module de coupe est constitué de 4 axes :

- axe n°1 : translation du chariot (1) par rapport au bâti (0) suivant la direction $\vec{x}$;
- axe n°2 : translation de la traverse (2) par rapport au chariot (1) suivant la direction $\vec{y}$;
- axe n°3 : translation de l'ensemble porte-scie (3) par rapport à la traverse (2) suivant la direction $\vec{z}$;
- axe n°4 : rotation de la scie circulaire (4) par rapport à l'ensemble porte-scie (3) autour de l'axe ($G_4, \vec{x}$).

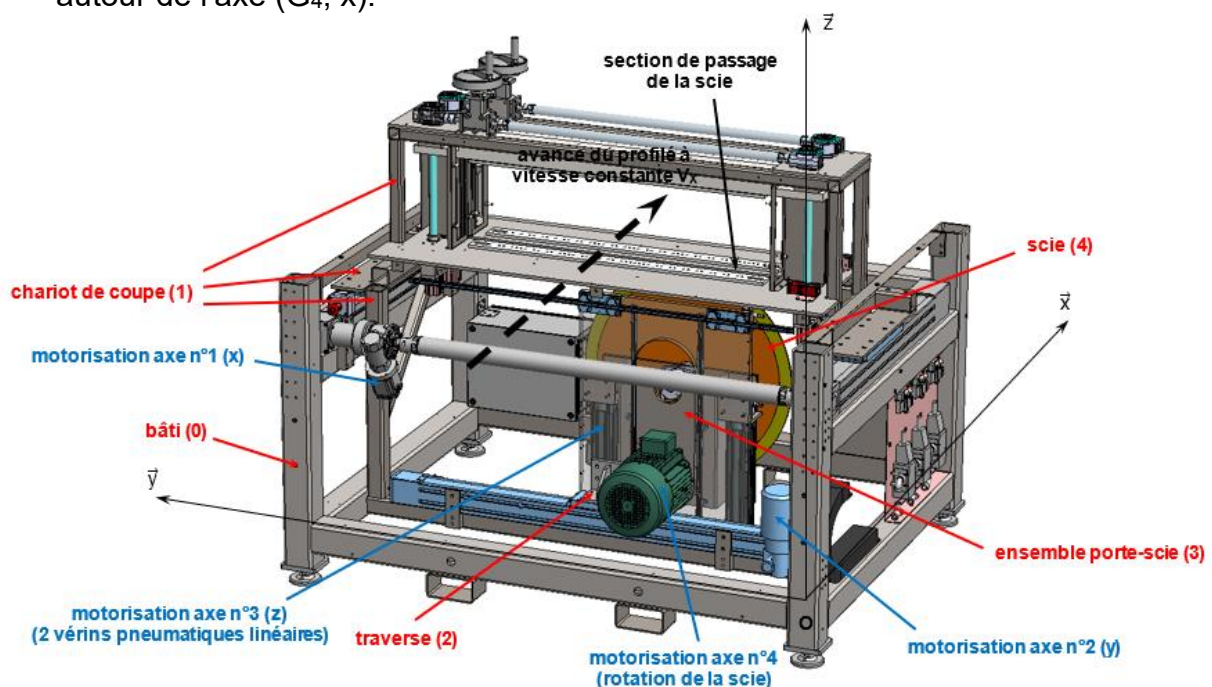


Figure 3 : Module de coupe – Identification des classes d'équivalence cinématiques et des groupes de motorisation

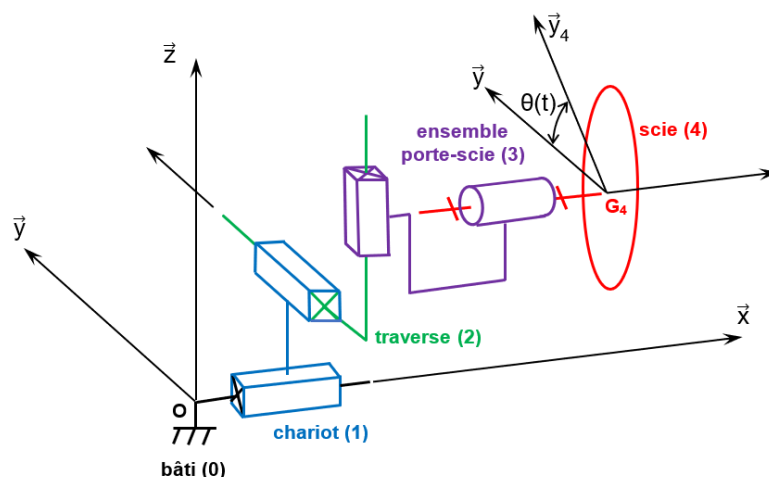


Figure 4 : Module de coupe – Schéma cinématique

Afin d'établir le système d'équations en régime dynamique pour les différents axes du module de coupe, la modélisation cinématique retenue pour cette étude dynamique, les données cinétiques utiles et les notations utilisées dans cette partie sont données à la suite.

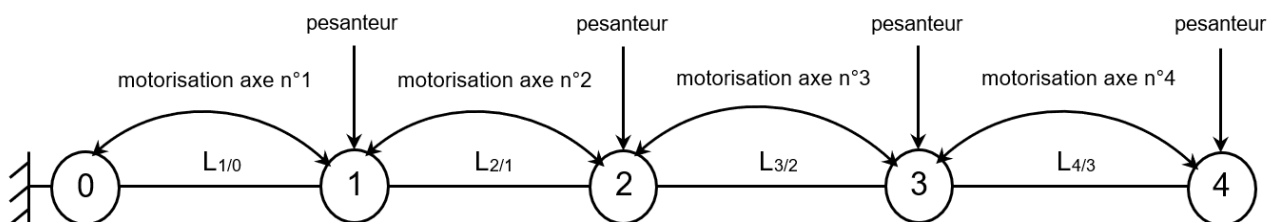
- $R_0 (O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$: repère lié au bâti (0), supposé galiléen ;
- hypothèse : les liaisons sont supposées parfaites ;
- $\vec{g} = -g \cdot \vec{z}$: vecteur accélération de la pesanteur ;
- masse totale : $m_1 + m_2 + m_3 + m_4 = 4000 \text{ kg}$;

données cinétiques	masses	centres de gravité	moments d'inertie
chariot (1)	m_1	$\overrightarrow{OG_1} = x(t) \cdot \vec{x} + y_{G_1} \cdot \vec{y} + z_{G_1} \cdot \vec{z}$	(sans objet)
traverse (2)	m_2	$\overrightarrow{G_1G_2} = y(t) \cdot \vec{y} + z_{G_2} \cdot \vec{z}$	(sans objet)
ensemble porte-scie (3)	m_3	$\overrightarrow{G_2G_3} = z(t) \cdot \vec{z}$	(sans objet)
scie (4)	m_4	$\overrightarrow{G_3G_4} = z_{G_4} \cdot \vec{z}$	J_4 sur l'axe $(G_4, \vec{x})$

- pour chacun des quatre axes motorisés, une action mécanique équivalente de l'actionneur associé à l'axe n°i est définie au niveau de la liaison correspondante :

grandeur équivalente rapportée à l'axe	axe n°1	axe n°2	axe n°3	axe n°4
action mécanique (actionneur)	$F_{m1} \text{ (N)}$	$F_{m2} \text{ (N)}$	$F_{m3} \text{ (N)}$	$C_{m4} \text{ (N}\cdot\text{m)}$
charge à vaincre	$-F_x$ ($F_x = 1000 \text{ N}$)	$-F_y \text{ (N)}$	$-F_z \text{ (N)}$	$-C_r \text{ (N}\cdot\text{m)}$

- le « graphe des liaisons et des efforts » du modèle retenu est donné ci-dessous :



Question A.1 : En isolant le système matériel $\Sigma = \{(1) + (2) + (3) + (4)\}$, établir le bilan des actions mécaniques extérieures sous forme de torseurs. Appliquer le théorème issu du principe fondamental de la dynamique (en précisant la direction de projection, éventuellement le point de calcul) permettant d'obtenir l'équation différentielle (E₁) donnée ci-dessous (F_{m1} : action mécanique générée par l'actionneur associé à l'axe n°1).

$$(E_1) \quad F_{m1} - F_x = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot \ddot{x}(t)$$

$\ddot{x}(t)$: accélération linéaire de $(\Sigma/0)$

Question A.2 : Préciser l'isolement (d'un solide ou d'un système matériel) permettant de déterminer l'expression littérale de l'action mécanique générée par l'actionneur associé à l'axe n°3, notée F_{m3} . Etablir alors le bilan des actions mécaniques extérieures sous forme de torseurs. Appliquer le théorème issu du principe fondamental de la dynamique (en précisant la direction de projection, éventuellement le point de calcul) permettant d'obtenir l'équation différentielle (E_3) (non donnée dans le sujet).

Question A.3 : En isolant la scie circulaire (4), établir le bilan des actions mécaniques extérieures sous forme de torseurs. Appliquer le théorème issu du principe fondamental de la dynamique (en précisant la direction de projection, éventuellement le point de calcul) permettant d'obtenir l'équation différentielle (E_4) donnée ci-dessous (C_{m4} : action mécanique générée par l'actionneur associé à l'axe n°4).

$$(E_4) \quad C_{m4} - C_r = J_4 \cdot \ddot{\theta}(t) \quad \ddot{\theta}(t) : \text{accélération angulaire de (4/3)}$$

Une description structurelle de la chaîne de puissance permettant la mise en mouvement de l'axe n°1 est donnée sur la figure 5. Le synoptique figure 6 introduit les grandeurs utiles pour cette étude.

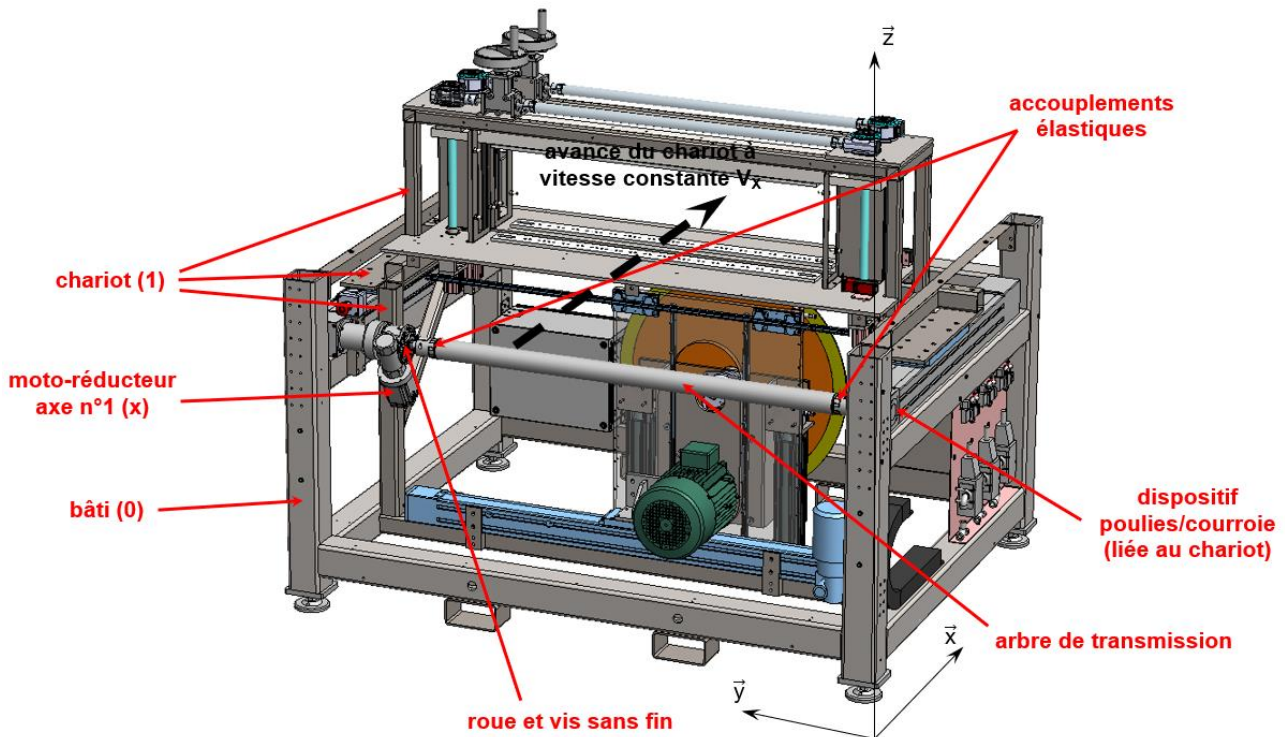


Figure 5 : Motorisation de l'axe n°1 du module de coupe



Figure 6 : Synoptique transmission de puissance axe n°1

Notations :

- C_{m1} et C_r : respectivement couples disponibles sur l'arbre de sortie du moteur et sur l'arbre de sortie du réducteur ($N \cdot m$) ;

- ω_{m1} et ω_r : respectivement vitesses de rotation de l'arbre de sortie du moteur et de l'arbre de sortie du réducteur ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$) ;
- F_{m1} : action mécanique en sortie de la chaîne de transmission de puissance (N) ;
- V_x : vitesse d'avance du chariot par rapport au bâti ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) ;
- $F_x \cdot \vec{x} = -1000 \cdot \vec{x}$ (N) : charge à vaincre s'exerçant sur le chariot modélisable par un glisseur.

Données constructeur :

- Rayon des poulies : $R_p = 0,035$ m ;
- Rapport de réduction : $k_r = 1/50$;
- Rendement (hors moteur) de la transmission de puissance de l'axe n°1 : $\eta = 0,9$;

En fonction de l'épaisseur du profilé à découper, la vitesse d'avance du chariot varie de : $0,1 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1} \leq V_x \leq 1,3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ (exigence Id 1.2.1.1). Pour cette partie, on choisira un profilé correspondant à une vitesse $V_x = 1,3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

Question A.4 : Déterminer l'expression littérale de la vitesse d'avance du chariot V_x en fonction de ω_{m1} et des données utiles.

Question A.5 : Écrire l'équation scalaire (E_1) en régime permanent.

Question A.6 : Exprimer le rendement global η de la chaîne de transmission de puissance de l'axe n°1 en fonction des puissances d'entrée et de sortie. En déduire l'expression littérale du couple moteur C_{m1} en régime permanent, en fonction de F_{m1} , R_p , k_r et η .

Question A.7 : Calculer la valeur numérique du couple moteur en régime permanent.

On souhaite maintenant vérifier le dimensionnement du moteur en dynamique. Le cahier des charges impose que le chariot atteigne la vitesse (figure 7) $V_{\max} = 1,3 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ en 0,1 s (exigence Id 1.2.1.2).

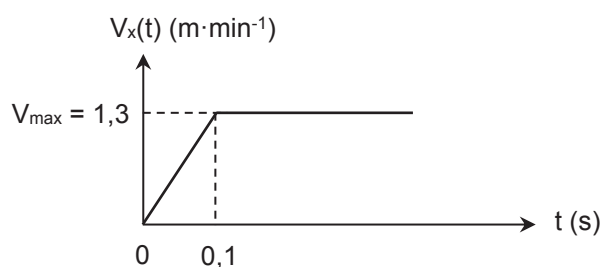


Figure 7 : Loi de vitesse - axe n°1

Question A.8 : Reprendre l'équation scalaire (E_1) en régime dynamique et calculer la valeur numérique de l'effort F_{m1} permettant de satisfaire l'exigence du cahier des charges à partir des données.

On isole le système matériel (Σ) constitué de l'ensemble des solides en mouvement : {rotor du moteur + réducteur à roue et vis sans fin + arbre de transmission + accouplements + poulies/courroie}.

L'inertie équivalente de l'ensemble des solides en mouvement (Σ) ramenée sur l'arbre moteur est notée : $J_{1\text{éq}}$. On donne : $J_{1\text{éq}} = 4 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

Question A.9 : Appliquer le théorème de l'énergie cinétique au système matériel isolé (Σ) en régime dynamique. En déduire l'expression littérale du couple moteur C_{m1} en régime dynamique, en fonction de F_x , R_p , k_r , $J_{1\text{éq}}$, η et $\frac{d\omega_{m1}}{dt}$.

La loi de vitesse du moteur est donnée ci-dessous (figure 8). L'arbre de sortie du moteur doit atteindre la vitesse ω_{max} en 0,1 s.

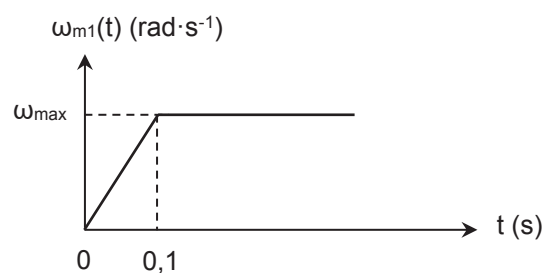


Figure 8 : Loi de vitesse – motorisation axe n°1

Question A.10 : Calculer les valeurs numériques de la vitesse de rotation ω_{max} (question A.4), puis du couple moteur.

Question A.11 : À partir de la documentation technique DT1 (cf. annexe C), choisir un modèle de motoréducteur MRT qui permet de satisfaire à l'exigence Id 1.2.1.2 : « La vitesse d'avance doit atteindre $1,3 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ en 0,1s ». Détailler rapidement votre démarche de choix.

Partie B : Vérifier la performance dynamique du moto-réducteur de l'axe n°4 lors de la phase de mise en mouvement de la scie et déterminer les caractéristiques des vérins pneumatiques linéaires de l'axe n°3.

Le premier objectif de cette partie est de vérifier l'aptitude de l'axe n°4 à satisfaire l'exigence de coupe (exigence Id 1.2.4.1).

Une description structurale de la chaîne de puissance permettant la mise en mouvement de l'axe n°4 est donnée sur la figure 9 (voir également figure 3).

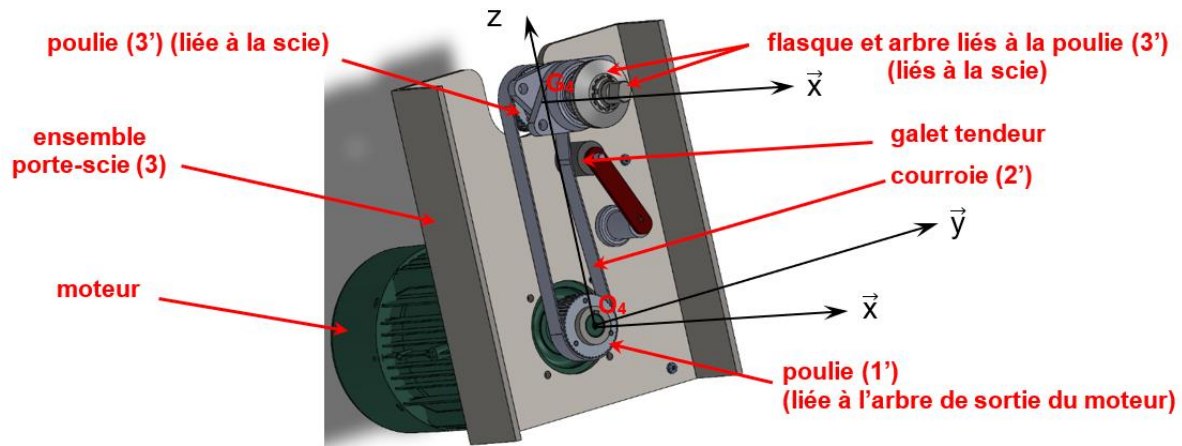


Figure 9 : Motorisation de l'axe n°4 du module de coupe (la scie n'est pas représentée)

Un moteur asynchrone transmet sa puissance à la scie par l'intermédiaire d'un dispositif poulies-courroie. L'arbre de sortie du moteur est lié à la poulie (1'). La courroie (2') transmet la puissance à la scie (4) liée à l'arbre porte-scie et à la poulie (3').

Définition des liaisons :

- $L_{1/3}$: liaison pivot d'axe ($O_4, \vec{x}$) ;
- $L_{3/3}$: liaison pivot d'axe ($G_4, \vec{x}$).

Hypothèses :

- les liaisons sont supposées parfaites ;
- la courroie (2') est supposée inextensible, de masse négligeable et ne pas glisser sur les poulies ;
- le rendement de la chaîne de puissance sera pris égal à 1.

Données cinématiques et cinétiques :

- le moment d'inertie du rotor moteur autour de son axe de rotation ($O_4, \vec{x}$), lié à la poulie (1'), est noté : $J_m = 0,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$;
- le rapport de transmission du dispositif poulies-courroie (les poulies ont le même rayon) est noté : $r = \frac{\omega_{3/3}(t)}{\omega_{1/3}(t)} = 1$;
- la scie (4) est assimilée à un disque de masse m_4 , de rayon R_4 et de centre d'inertie G_4 . Sa matrice d'inertie est donnée ci-dessous :

$$\bar{I}_{G_4}(\text{scie}) = \begin{pmatrix} J_{\text{scie}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{J_{\text{scie}}}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{J_{\text{scie}}}{2} \end{pmatrix}_{b_4} \quad \text{avec} \quad J_{\text{scie}} = \frac{m_4 \cdot R_4^2}{2} = 3,86 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

- le moment d'inertie de l'arbre porte-scie autour de son axe de rotation ($G_4, \vec{x}$), lié à la scie (4), est noté : $J_{\text{arbre scie}} = 1,26 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$;
- on néglige l'inertie de la poulie (3') liée à la scie (4).

On isole le système matériel (Σ) constitué de l'ensemble des solides en mouvement : {rotor du moteur + réducteur + poulie (1') + courroie (2') + poulie (3') + scie (4)}.

Le repère R_3 lié à l'ensemble porte-scie (3) est supposé galiléen.

Question B.1 : Justifier de manière rigoureuse la forme diagonale et les relations existant entre les moments d'inertie de la matrice d'inertie de la scie (4).

Question B.2 : Montrer que l'expression littérale du moment d'inertie de la scie (4) autour de son axe ($G_4, \vec{x}$) est : $J_{\text{scie}} = \frac{m_4 \cdot R_4^2}{2}$ (pour ce calcul, on pourra noter μ_4 la masse surfacique de la scie (4)).

Question B.3 : Déterminer l'expression littérale de l'énergie cinétique galiléenne du rotor moteur en mouvement par rapport à l'ensemble porte-scie (3), notée $E_c(\text{mot}/3)$, en fonction de J_m et de ω_m .

Question B.4 : Déterminer l'expression littérale de l'énergie cinétique galiléenne de l'ensemble {scie (4) + arbre porte scie + poulie (3')} en mouvement par rapport à l'ensemble porte-scie (3), notée $E_c(4/3)$, en fonction de J_{scie} , $J_{\text{arbre scie}}$ et $\omega_{4/3}$.

Question B.5 : À l'aide des données, exprimer l'énergie cinétique précédente $E_c(4/3)$ sous la forme : $E_c(4/3) = \frac{1}{2} \cdot J_{4\text{éq}} \cdot \omega_m^2$ où $J_{4\text{éq}}$ est l'inertie équivalente de l'ensemble des solides liés à la scie (4) ramenée sur l'arbre moteur.

Question B.6 : Dédire alors l'expression littérale de l'énergie cinétique galiléenne du système matériel (Σ) en mouvement par rapport à l'ensemble porte-scie (3), notée $E_c(\Sigma/3)$, sous la forme : $E_c(\Sigma/3) = \frac{1}{2} \cdot J_{\text{éq}} \cdot \omega_m^2$ où $J_{\text{éq}}$ est l'inertie équivalente du système matériel (Σ) ramenée sur l'arbre moteur ($J_{\text{éq}}$ sera exprimée en fonction de J_m , J_{scie} , $J_{\text{arbre scie}}$).

Lors de la phase de mise en rotation de la scie, la charge résistante C_r est nulle. L'équation (E4) prend la forme suivante :

$$(E4) \quad C_{m4} = J_4 \cdot \ddot{\theta}(t) \quad \ddot{\theta}(t) : \text{accélération angulaire de } (4/3)$$

Les puissances extérieures intervenant pour le dimensionnement du moteur lors de cette phase se limitent à la puissance développée par le couple moteur, noté C_{m4} .

Question B.7 : Donner l'expression littérale de la puissance galiléenne développée par les actions mécaniques extérieures au système matériel isolé (Σ).

Question B.8 : Justifier que la puissance développée par les actions mécaniques intérieures au système matériel isolé (Σ) est nulle.

Avant la phase de coupe du profilé, on souhaite que la vitesse de rotation de la scie atteigne la vitesse angulaire de $115 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ en 1 s.

Question B.9 : Appliquer le théorème de l'énergie cinétique au système matériel isolé (Σ) et déterminer la valeur numérique du couple moteur C_{m4} permettant de vérifier cette performance dynamique. Conclure quant au respect de l'exigence Id 1.2.4.1 : « La vitesse angulaire de la scie doit atteindre $115 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ en 1 s ».

Le second objectif de cette partie est de dimensionner les vérins pneumatiques linéaires de l'axe n°3 pour satisfaire aux exigences d'effort de coupe (exigence Id 1.2.4.2) et de déplacement de charge (exigence Id 1.2.3.1).

L'axe n°3 permettant la mise en translation de l'ensemble porte-scie (3) par rapport à la traverse (2) suivant la direction $\vec{z}$ est représenté sur la figure 10. Il est réalisé au moyen de deux vérins pneumatiques linéaires double effet montés en parallèle. La tige des vérins est en position rentrée en position repos.

Une documentation technique (DT2) est fournie en annexe C.

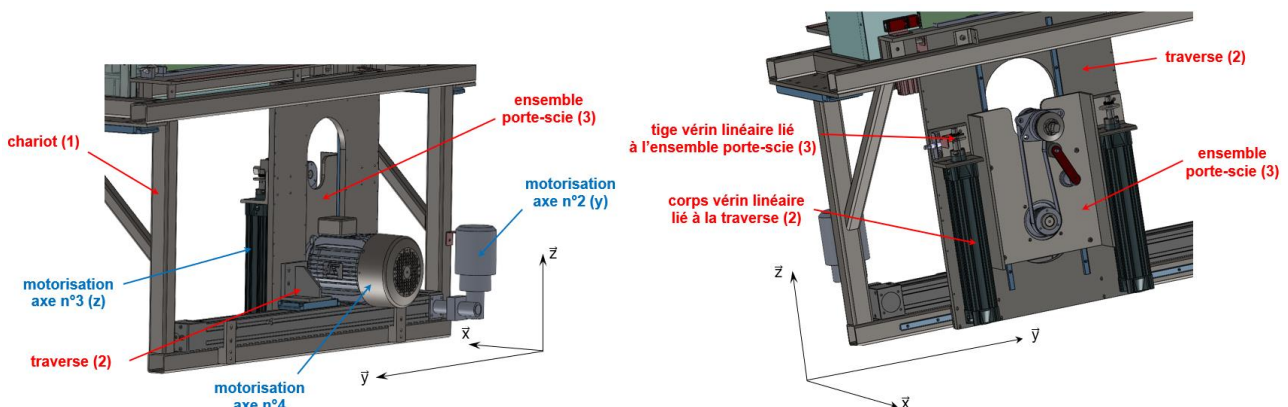


Figure 10 : Détail du module de coupe (la scie n'est pas représentée)

Données utiles :

- la pression d'alimentation des vérins : $p = 4 \text{ bar}$;
- la scie étant mise en rotation, la phase de coupe débute suivant $\vec{z}$;
- la course de l'ensemble porte-scie (3) : $c = 300 \text{ mm}$;
- les efforts à vaincre comprenant les poids de l'ensemble porte-scie (3), moteur, scie (4) ainsi que les efforts de coupe : $F = 500 \text{ N}$.

Question B.10 : Déterminer les caractéristiques des vérins (diamètre et course) en régime permanent (préciser le(s) solide(s) isolé(s), les hypothèses formulées, le choix du théorème appliqué) afin de satisfaire les exigences Id 1.2.4.2 : « L'effort de coupe est égal à 100 N » et Id 1.2.3.1 : « La charge à déplacer est égale à 400 N ».

Partie C : Vérifier que le choix des accouplements élastiques assurant la transmission de puissance du moto-réducteur au chariot répond à l'exigence de transmission de mouvement.

La mise en translation du chariot (1) par rapport au bâti (0) suivant la direction $\vec{x}$ est représentée sur la figure 11. Ce mouvement est assuré par la chaîne de transmission décrite sur le synoptique de la figure 12.

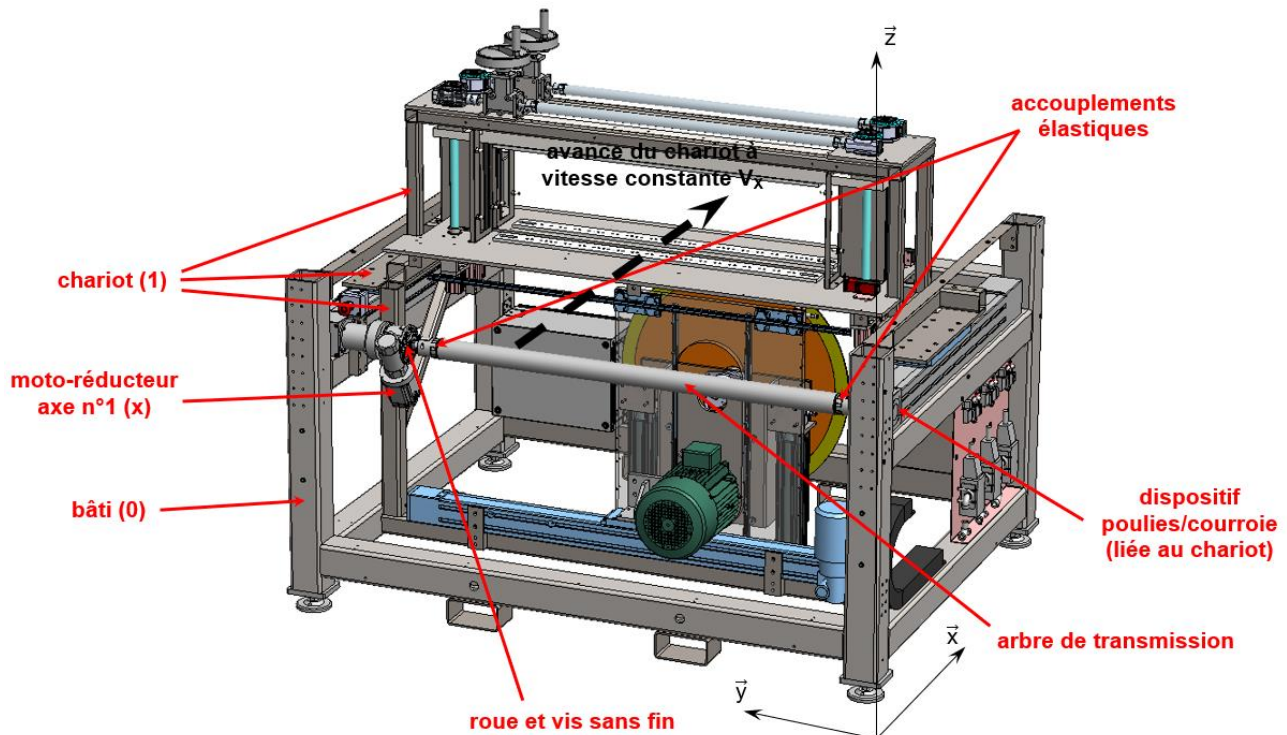


Figure 11 : Motorisation de l'axe n°1 du module de coupe



Figure 12 : Synoptique transmission de puissance axe n°1

Pour vaincre la charge $F_{m1} = F_x$ (N) en régime permanent et assurer la mise en mouvement et l'avance du chariot à la vitesse V_x , le moteur peut délivrer un couple moteur maximal C_{max} .

L'objectif de cette partie est de vérifier l'aptitude de l'accouplement élastique à satisfaire l'exigence de transmission de puissance (exigence Id 1.2.1.3).

Les hypothèses et données utiles :

- pour simplifier l'étude, la valeur correspondante du couple en sortie du réducteur retenue est $C_r = 106 \text{ N}\cdot\text{m}$;
- l'action de la pesanteur sur l'arbre de transmission est négligée devant les autres actions mécaniques mises en jeu ;

- l'arbre de transmission est assimilé à un cylindre creux, de rayon extérieur $R_e = 30 \text{ mm}$, de rayon intérieur $R_i = 20 \text{ mm}$, et de longueur $L = 1400 \text{ mm}$;
- les caractéristiques mécaniques utiles du matériau de l'arbre de transmission :

Module d'élasticité transversal (MPa)	Contrainte tangentielle admissible ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)
$G = 81\,000 \text{ MPa}$	$\tau = 400 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$

- les actions mécaniques extérieures s'exerçant sur l'arbre de transmission sont modélisées sur le figure 13.

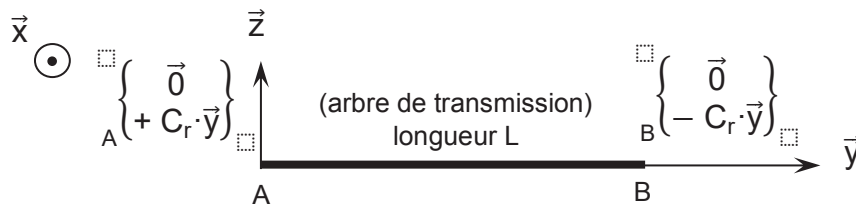


Figure 13 : Modélisation des actions mécaniques s'exerçant sur l'arbre de transmission

Question C.1 : Établir l'expression du torseur de cohésion le long de l'arbre de transmission. Donner la nature de cette sollicitation.

Question C.2 : Calculer le moment quadratique polaire de l'arbre par rapport à l'axe $(A, \vec{y})$, noté I_0 (on suppose que le point A est barycentre de la section de l'arbre de transmission).

Question C.3 : Calculer l'angle unitaire torsion, exprimé en $\text{rad}\cdot\text{m}^{-1}$. Dédurre la valeur de la déformation angulaire entre la section de l'arbre en B et la section de l'arbre en A.

La liaison entre la sortie du réducteur et l'arbre de transmission sera réalisée au moyen d'un accouplement élastique de la gamme ROTEX GS taille 28 (figure 14).

Une documentation technique (DT3) est fournie en annexe C.

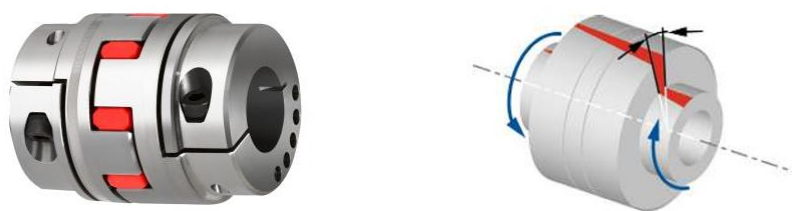


Figure 14 : Accouplement élastique ROTEX GS (source Michaud Chailly®)

Question C.4 : Calculer le décalage angulaire de l'accouplement pour un couple en sortie du réducteur de $106 \text{ N}\cdot\text{m}$ en détaillant rapidement votre démarche de choix.

Question C.5 : Conclure quant au respect de l'exigence Id 1.2.1.3 : « Le décalage angulaire au niveau des accouplements élastiques de la transmission de puissance doit être acceptable ».

Partie D : Vérifier que la vitesse d'avance du chariot du module de coupe reste égale à la vitesse d'avance de la matière.

Le premier objectif de cette partie est de modéliser la chaîne d'acquisition permettant d'obtenir la vitesse d'avance de la matière.

Pour assurer une coupe correcte des profilés, il faut s'assurer que le chariot du module de coupe (emmenant en translation avec lui le dispositif de coupe : traverse, ensemble porte-scie et scie) avance à la même vitesse que la matière « tirée » en sortie du module de traction (figure 1). L'avance du chariot s'effectue suivant la direction $\vec{x}$ (figure 15).

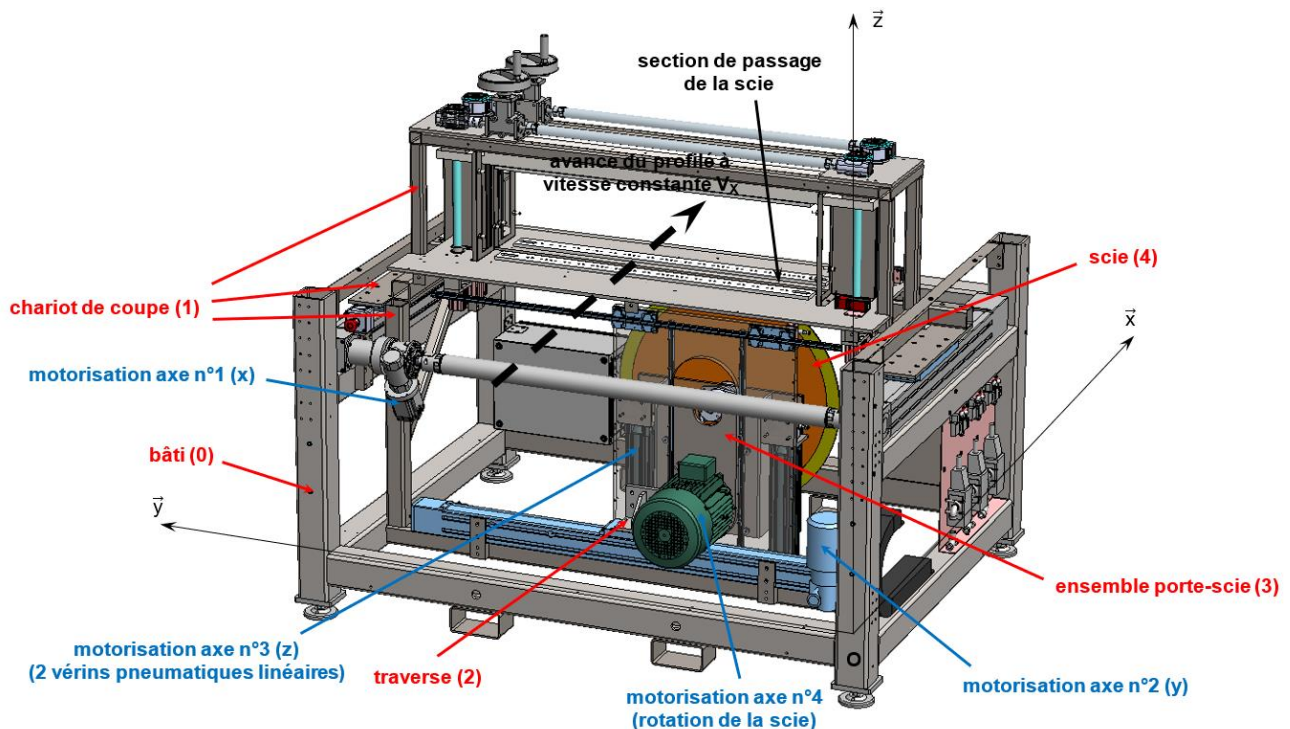


Figure 15 : Module de coupe – Identification des classes d'équivalence cinématiques et des groupes de motorisation

Sur la ligne de production, en amont du module de coupe, le module de traction permet d'assurer l'avance continue de la matière à une vitesse $V_x(t)$. Pour mesurer cette vitesse de défilement de la matière en sortie de ce module, un codeur incrémental est monté sur l'axe d'une roue de rayon $R = 159$ mm, elle-même entraînée en rotation au contact de la matière.

Ce codeur à deux voies en quadrature possède une piste de 100 fentes et deux détecteurs décalés d'une demi-fente. Le comptage des impulsions est réalisé en comptant les fronts montants et les fronts descendants des deux voies A et B (figure 16).

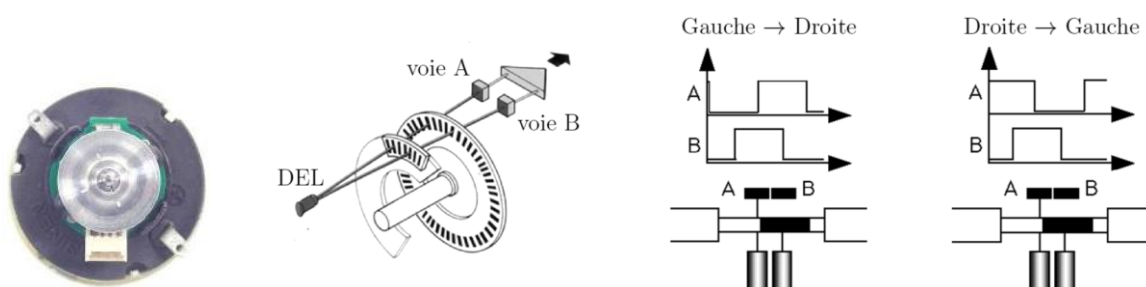


Figure 16 : Codeur incrémental

Question D.1 : À l'aide de la figure 16, expliquer rapidement comment un codeur incrémental permet de détecter le sens de rotation de la roue.

On peut modéliser le codeur par un gain, noté K_{cod} , la fonction de transfert associée à ce codeur sera donc définie comme suit : $K_{\text{cod}} = \frac{\text{Im}\omega_{\text{roue}}(t)}{\omega_{\text{roue}}(t)}$.

- $\omega_{\text{roue}}(t)$: vitesse de rotation de la roue entraînée en rotation par le défilement de la matière (rad/s) ;
- $\text{Im}\omega_{\text{roue}}(t)$: grandeur image de cette vitesse de rotation fournie par le capteur (information numérique, en incréments, que l'on note « inc » dans la suite).

Question D.2 : Déterminer la valeur numérique du gain du codeur incrémental, noté K_{cod} . Préciser son unité.

Le schéma cinématique modélisant le dispositif précédemment décrit est donné sur la figure 17. Les données utiles sont fournies ci-dessous :

- la vitesse d'avance de la matière par rapport au bâti est notée :

$$\overrightarrow{V_{\text{matière/bâti}}} = V_x \cdot \vec{x} \quad \text{avec } V_x > 0$$

- le rayon de la roue est noté R .
- la vitesse de rotation de la roue par rapport au bâti est notée :

$$\omega_{\text{roue/bâti}} \quad \text{avec } \omega_{\text{roue/bâti}} < 0$$

- les liaisons entre la roue et le bâti, la matière et le bâti, sont respectivement modélisées par une liaison pivot d'axe $(O, \vec{y})$ et une liaison glissière de direction $\vec{x}$.

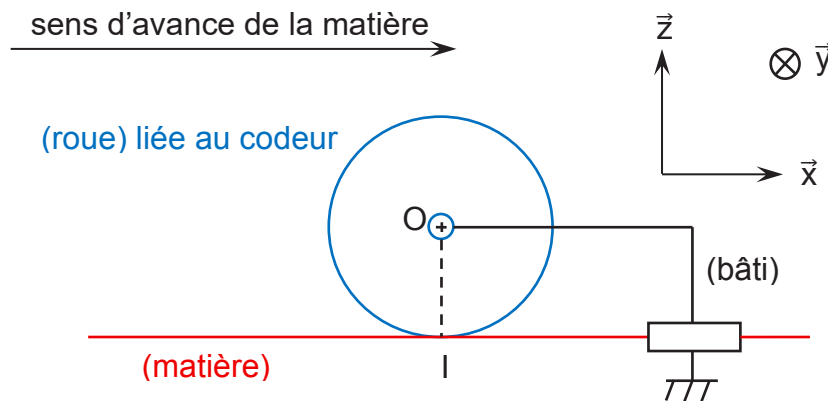


Figure 17 : Schéma cinématique

Question D.3 : Exprimer vectoriellement l'hypothèse de roulement sans glissement de la roue sur la matière au point I.

Question D.4 : Composer les vecteurs vitesse au point I et utiliser la relation de champ de moment afin de déterminer la relation simple entre V_x et $\omega_{\text{roue/bâti}}$.

Question D.5 : En déduire la relation permettant d'obtenir l'image de la vitesse de défilement de la matière en sortie du module de coupe en fonction de la vitesse de rotation de la roue.

Cette mesure permet ensuite de déterminer la fréquence de rotation du moteur assurant la translation du chariot du module de coupe à la vitesse $V_x(t)$ (motorisation de l'axe n°1). L'avance du chariot du module de coupe est ainsi « synchronisée » sur l'avance de la matière en sortie du module de traction.

On envisage une évolution de la solution retenue. En effet, lors de la coupe du profilé, des perturbations (vibrations dans la structure) ne permettent pas de garantir une vitesse d'avance $V_x(t)$ précise. En conséquence, on souhaite asservir en vitesse la motorisation de l'axe n°1.

Le second objectif de cette partie est de modéliser la structure de commande de l'asservissement en vitesse de l'arbre de sortie du moto-réducteur permettant de satisfaire l'exigence de précision (exigence Id 1.2.1.4).

Une description structurelle d'une solution possible pour asservir en vitesse l'arbre de sortie du moto-réducteur est donnée sur la figure 18, sous forme de chaînes de puissance et d'information.

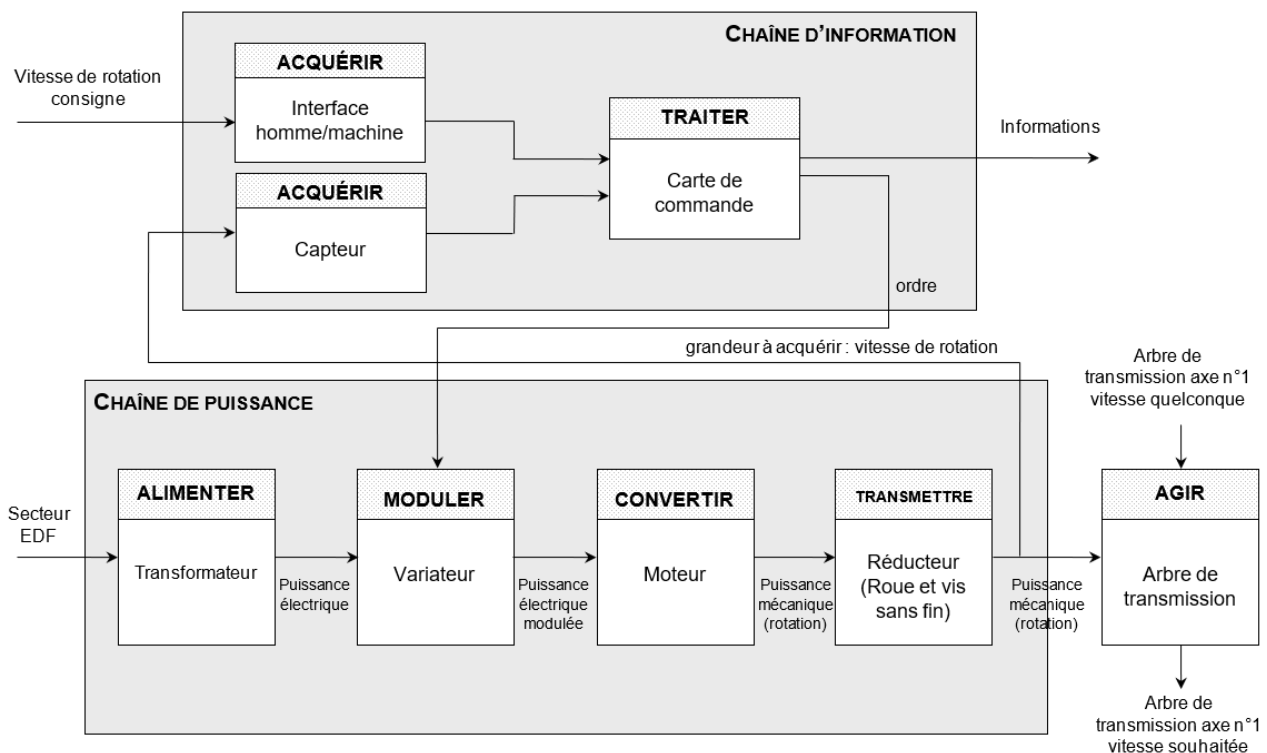


Figure 18 : Description structurelle – chaînes de puissance et d'information

Un variateur permet de faire varier la tension moyenne en entrée du moteur afin de le piloter en vitesse. La carte de commande permet d'élaborer les ordres fournis au variateur.

Question D.6 : À partir de la figure 18, proposer un schéma-bloc fonctionnel (indiquer uniquement les noms des composants) de l'asservissement en vitesse de l'arbre de sortie du motoréducteur. Faire apparaître clairement les grandeurs de consigne et de sortie, le comparateur, l'écart, le correcteur de la carte de commande ainsi que les différents composants que vous jugerez utile.

Partie E : Identifier un procédé d'obtention et proposer une cotation GPS de l'ensemble porte-scie.

Le technicien de procédés en pré-industrialisation propose d'étudier la fabrication de l'ensemble porte-scie (3) (figures 19 et 20), afin d'assurer la conformité des spécifications géométriques et dimensionnelles.

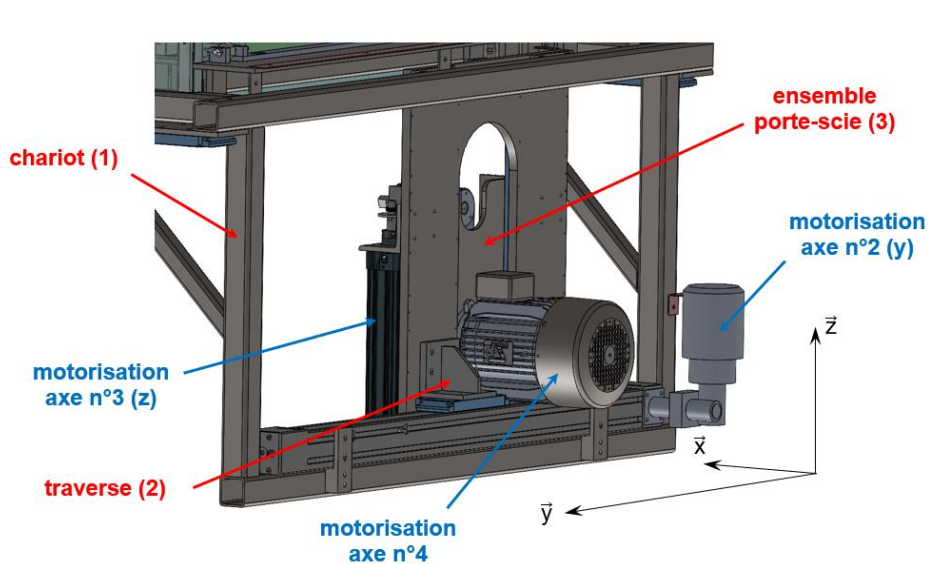


Figure 19 : Vue 3D partielle du module de coupe

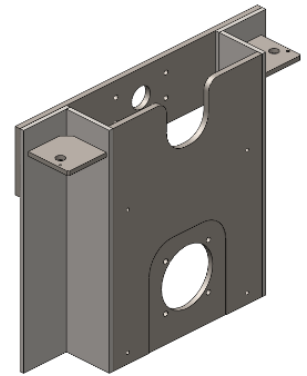


Figure 20 : Vue 3D de l'ensemble porte-scie

L'ensemble porte-scie (3) est réalisé par assemblage permanent de plats en acier allié d'épaisseur 10 mm minimum.

Une cotation fonctionnelle partielle de cet ensemble est donnée sur la figure 21.

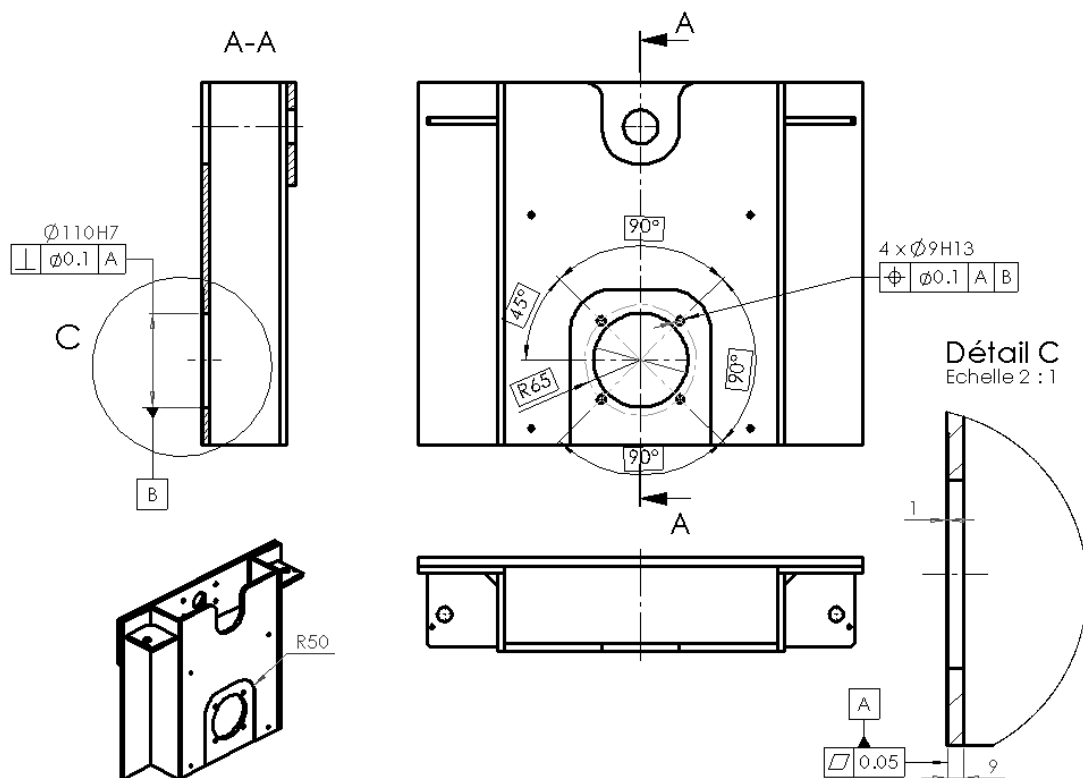
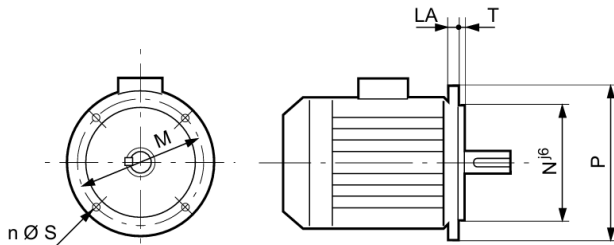


Figure 21 : Mise en plan partielle de l'ensemble porte-scie (3)

Le moteur d'entraînement de la scie (motorisation de l'axe n°4) est en liaison complète démontable sur l'ensemble porte-scie (3) :

- sa mise en position est réalisée par un appui-plan prépondérant (surface de référence A) et un centrage court (surface de référence B) ;
- son maintien en position est réalisé au moyen de quatre boulons H M8 – 60 ;
- ses caractéristiques dimensionnelles sont fournies dans le tableau suivant :



Référence	M	N _{j6}	P	T	n	S	LA
FF130	130	110	160	3,5	4	10	10

Source Nidec Leroy-Somer©

L'entreprise a produit six postes de découpe.

L'objectif de cette partie est de définir les contraintes de pré-industrialisation de l'ensemble porte-scie (3).

Question E.1 : En comparant les dimensions de longueur et de diamètre, montrer que la liaison par centrage court du moteur sur l'ensemble porte-scie est correcte.

Question E.2 : En précisant les critères de choix, proposer un procédé d'assemblage permanent des différentes pièces constitutives de l'ensemble porte-scie (3).

Question E.3 : En précisant les critères de choix, proposer un procédé d'obtention des surfaces de référence A, B ainsi que des quatre trous Ø9 H13.

Question E.4 : Décoder la spécification GPS (répondre sur le document réponse DR1).

	0,05
--	------

Question E.5 : Décoder la spécification GPS (répondre sur le document réponse DR2).

	Ø0,1	A
--	------	---

Question E.6 : Décoder la spécification GPS (répondre sur le document réponse DR3).

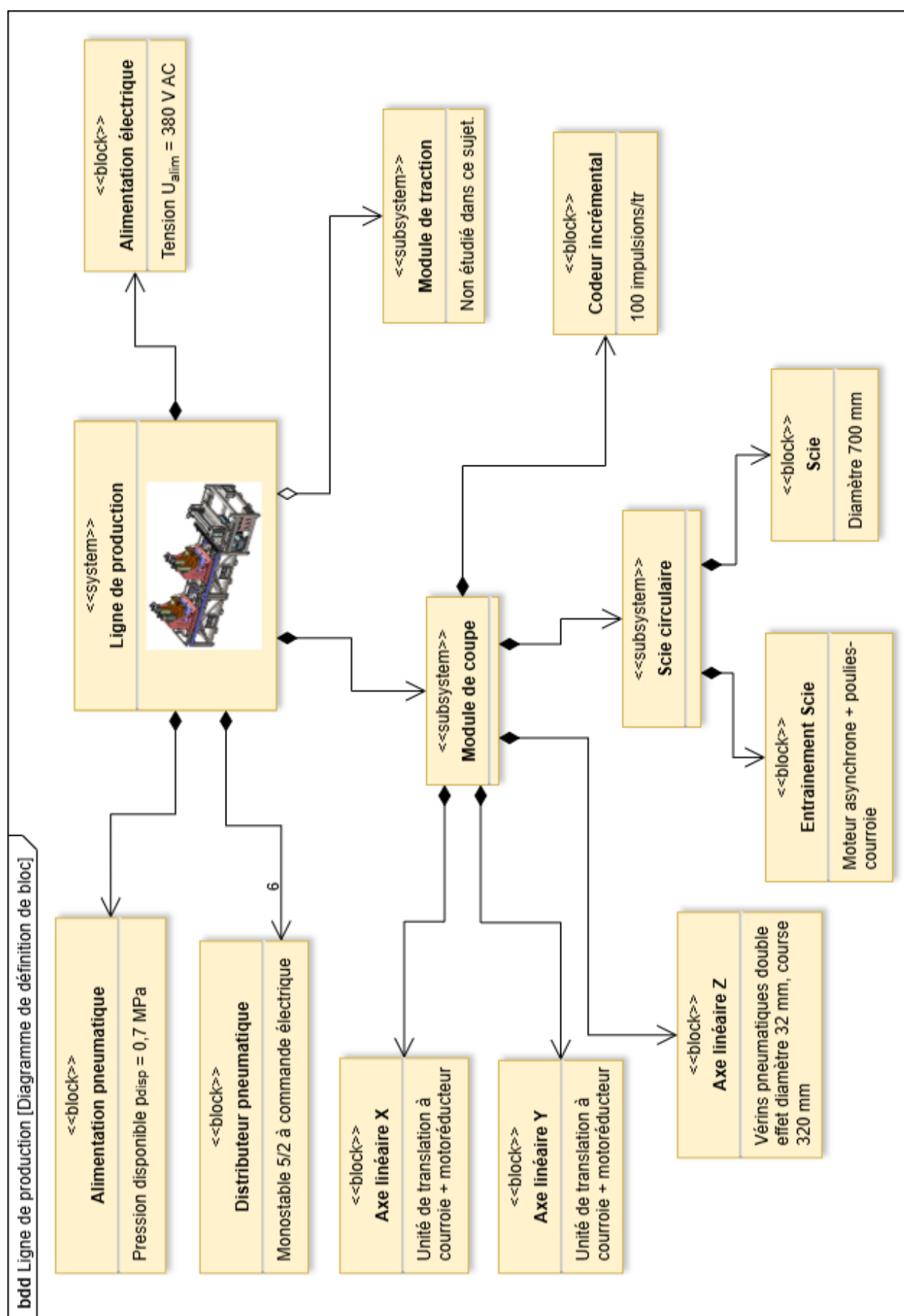
4 x Ø9 H13

	Ø0,1	A	B
--	------	---	---

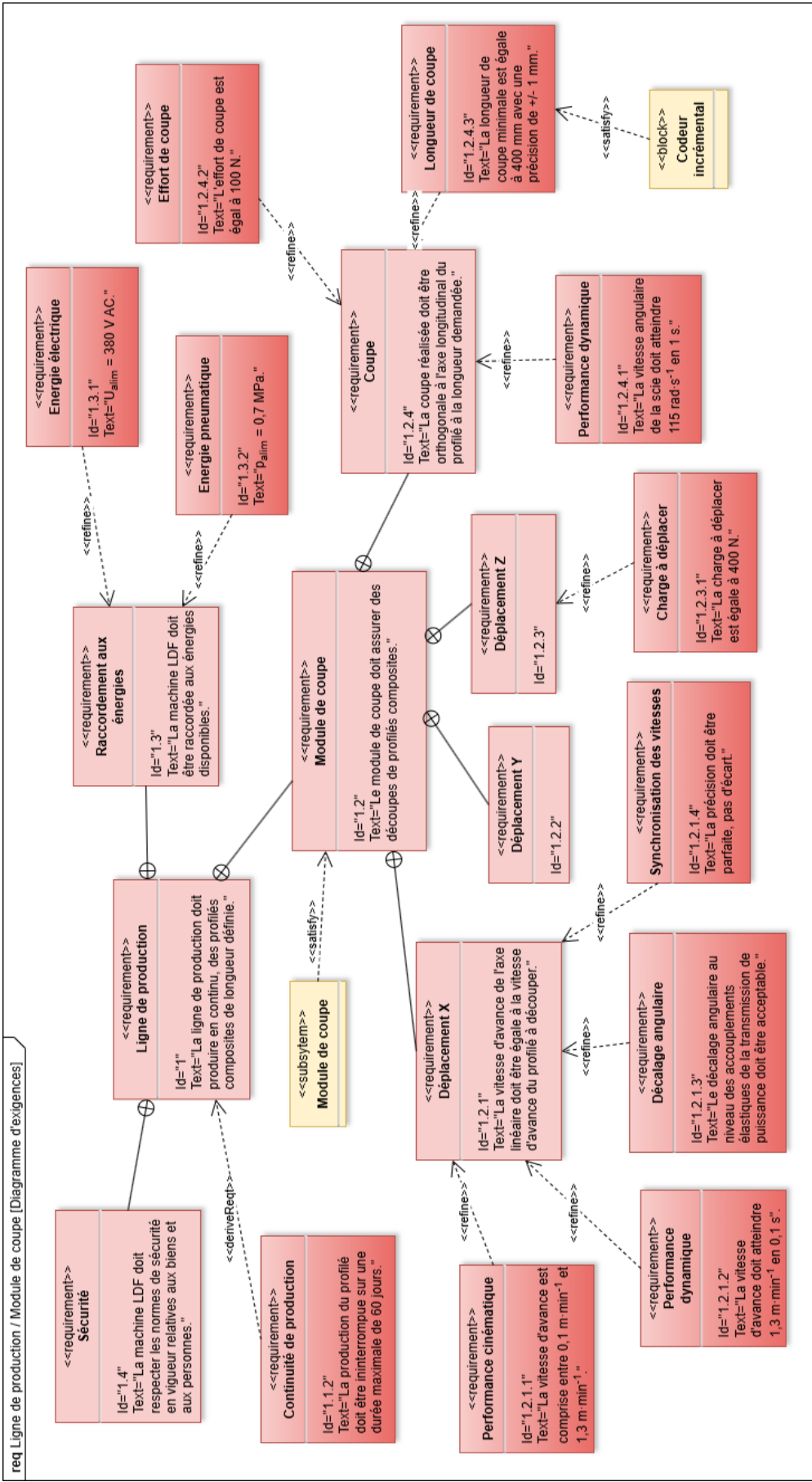
DOCUMENTS ANNEXES

Annexe A	Diagramme de définition des blocs
Annexe B	Diagramme partiel des exigences
Annexe C	Documents techniques DT1, DT2 et DT3

Annexe A – Diagramme de définition de blocs



Annexe B – Diagramme des exigences partiel



Annexe C – Documents techniques

DT1 : Motoréducteur MRT.

Moteur	Nm = 1400 (tr·min ⁻¹)				Nm = 900 (tr·min ⁻¹)			Nm = 500 (tr·min ⁻¹)		
Réducteur MRT	i	Nr (tr·min ⁻¹)	Cr (N·m)	P (kW)	Nr (tr·min ⁻¹)	Cr (N·m)	P (kW)	Nr (tr·min ⁻¹)	Cr (N·m)	P (kW)
30A	50	28	17	0,09	18	19	0,07	10	22	0,05
40A			39	0,18		44	0,14		52	0,09
50A			69	0,31		77	0,23		90	0,15
60A			122	0,56		136	0,41		160	0,28

Source Rotor®

DT2 : Vérin pneumatique linéaire série CP96, double effet.

Diamètre (mm)	32	40	50	63	80	100	125
Pression	0,05 à 1 MPa						
Vitesse piston	50 à 1000 mm/s						

Diamètre (mm)	Course standard (mm)	Course max.
32	25, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500	2000
40	25, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500	2000
50	25, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 600	2000
63	25, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 600	2000
80	25, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 600, 700, 800	2000
100	25, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 600, 700, 800	2000
125	25, 50, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 600, 700, 800	2000

Source SMC®

DT3 : Accouplement élastique ROTEX GS.

Les accouplements élastiques ROTEX GS sont composés de deux moyeux (en aluminium ou en acier) et d'un élément élastique (en polyuréthane) dont la dureté varie selon les modèles et les besoins.

Taille	Dureté (Shore)	Vitesse max. (tr/min)	Couple (N·m)		Raideur élément élastique en torsion (N·m/rad)	
			Nominal	Max.	Statique	Dynamique
28	92	5850	95	190	4080	6745
	98		160	320	6410	9920
	64		200	400	10 260	20 177
	72		260	520	21 526	36 547

Source Michaud Chailly®

DOCUMENTS RÉPONSES

**Tous les documents réponses sont à rendre avec la ou les copies,
mêmes non complétés**

DR1	QE4 : Analyse d'une spécification par zone de tolérance
DR2	QE5 : Analyse d'une spécification par zone de tolérance
DR3	QE6 : Analyse d'une spécification par zone de tolérance

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

Cocher public OU privé UNIQUEMENT pour les concours enseignants : ☐ public ☐ privé

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : **Série / Spécialité :**

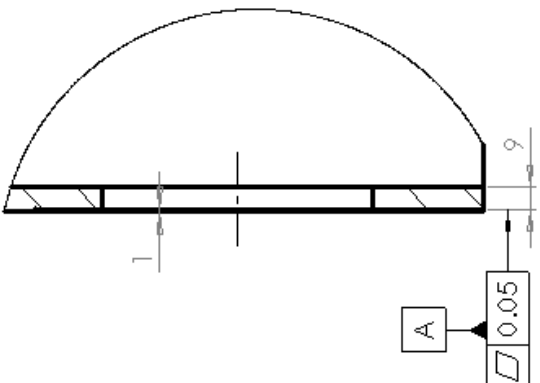
Epreuve - Matière : **Session :**

EDE MEC 1

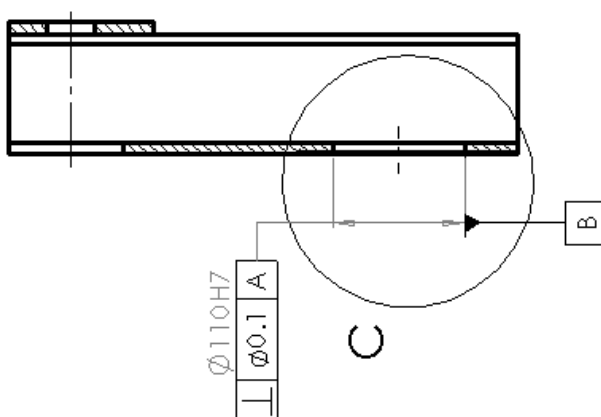
DR1 - DR2

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

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR1 : Analyse d'une spécification par zone de tolérance					
TOLÉRANCEMENT NORMALISÉ	Éléments non idéaux extraits de « skin modèle »				
Symbole de la spécification : Désignation :	Éléments idéaux				
Type de spécification : ☐ Forme ☐ Orientation ☐ Position ☐ Battement	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Condition de conformité :	☐ Unique ☐ Groupe	☐ Unique ☐ Multiples	☐ Simple ☐ Commune ☐ Système	☐ Simple ☐ Composée	
Schéma extrait du dessin de définition					

DR2 : Analyse d'une spécification par zone de tolérance						
TOLÉRANCEMENT NORMALISÉ	Éléments non idéaux extraits de « skin modèle »			Éléments idéaux		
Symbole de la spécification : Désignation :						
Type de spécification : ☐ Forme ☐ Orientation ☐ Position ☐ Battement						
Condition de conformité :	☐ Unique ☐ Groupe	☐ Unique ☐ Multiples	☐ Simple ☐ Commune ☐ Système	☐ Simple ☐ Composée	Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée	
Schéma extrait du dessin de définition						



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 :**

EDE MEC 1

DR3

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

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR3 : Analyse d'une spécification par zone de tolérance					
TOLÉRANCEMENT NORMALISÉ	Éléments non idéaux extraits de « skin modèle »		Éléments idéaux		
Symbole de la spécification : Désignation :	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Type de spécification : ☐ Forme ☐ Orientation ☐ Position ☐ Battement	☐ Unique ☐ Groupe	☐ Unique ☐ Multiples	☐ Simple ☐ Commune ☐ Système	☐ Simple ☐ Composée	Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Condition de conformité :					
Schéma extrait du dessin de définition	