

Cinématique : Centre d'usinage 5 axes (E3A MP 07)

Mise en situation

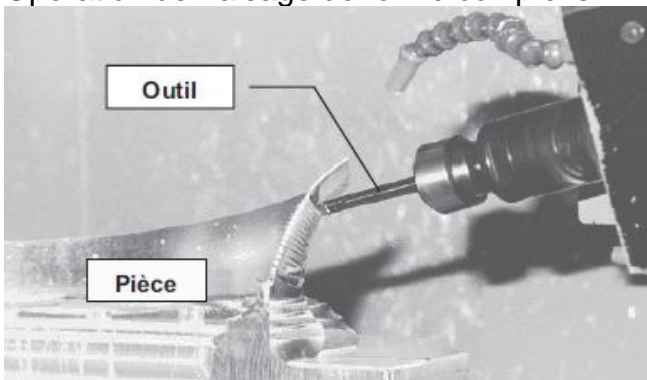
L'usinage est une étape de fabrication d'une pièce par enlèvement de matière. C'est une opération de base dans la fabrication de produits pour l'industrie mécanique. Le moyen de production associé à ces opérations d'usinage est une machine outil ou un centre d'usinage.

La génération d'une surface par enlèvement de matière est obtenue grâce à un outil muni d'au moins une arête coupante. L'outil se déplace par rapport à la pièce installée sur la machine outil. C'est le mouvement d'avance.

Le fraisage est un procédé d'usinage particulier dans lequel l'outil doit en plus tourner sur lui-même par rapport au bâti de la machine outil pour pouvoir couper la matière. C'est le mouvement de coupe. Des contraintes d'accessibilité pour l'usinage de formes complexes justifient l'utilisation de machines outils spécifiques capables d'engendrer plusieurs mouvements relatifs :

- ✓ des translations de l'outil par rapport à la pièce dans les 3 directions orthogonales,
- ✓ des rotations de l'axe de l'outil par rapport à la pièce autour de 2 directions.

Opération de fraisage de forme complexe



Exemple de pièce de forme complexe



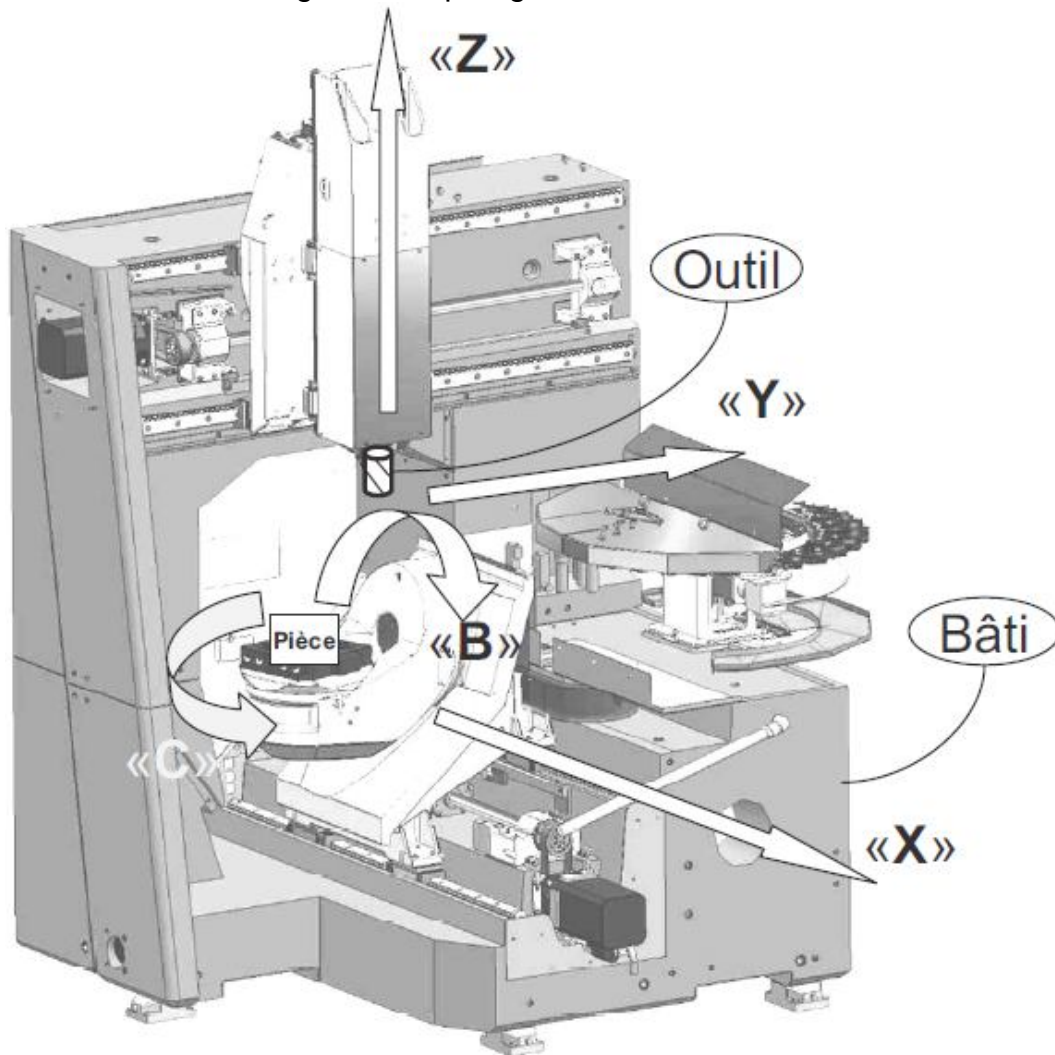
Un « axe » sur une machine outil est un ensemble qui gère un des mouvements d'avance de l'outil par rapport à la pièce. Un « axe » est composé d'une partie commande et d'une partie opérative. Cette partie opérative est généralement constituée :

- ✓ d'un modulateur d'énergie (c'est le préactionneur),
- ✓ d'un moteur (c'est l'actionneur),
- ✓ d'un mobile (c'est l'élément dont on veut commander le déplacement),
- ✓ d'un système de transformation de mouvement entre le moteur et le mobile,
- ✓ de capteurs (généralement un capteur de vitesse et un capteur de position).

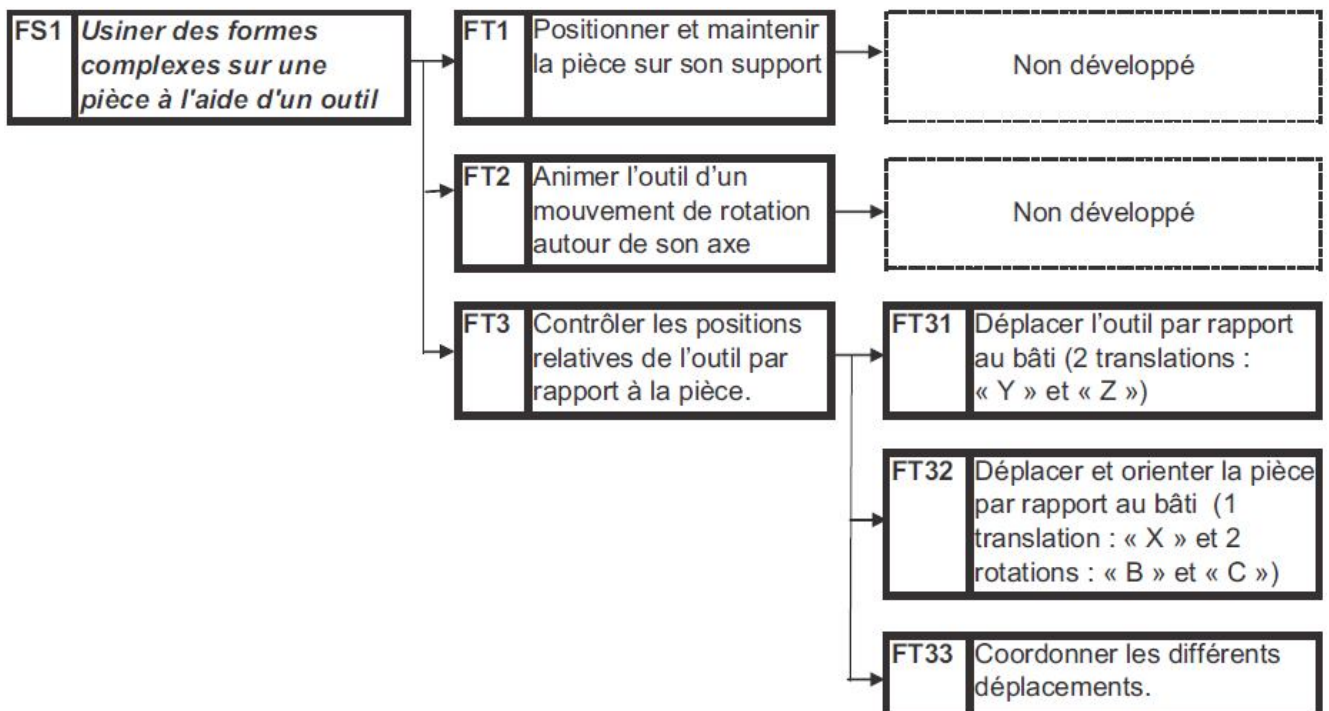
Le centre d'usinage « 5 axes » HSM 600U de la société Mikron, permet l'obtention de formes complexes. Il est constitué d'un bâti supportant :

- ✓ 2 « axes » pour la mise en mouvement de l'outil par rapport au bâti. Ces 2 translations sont notées « Y » et « Z »
- ✓ 3 « axes » pour la mise en mouvement de la pièce par rapport au bâti. Une troisième translation est notée « X » et les 2 rotations sont notées « B » et « C »,
- ✓ un dispositif de mise en rotation de l'outil autour de son axe géométrique par rapport au bâti.

Vue globale du centre d'usinage avec repérage des « axes »



FAST descriptif partiel du centre d'usinage « 5 axes » :



Etude de la fonction technique FT3 (Contrôler les positions relatives de l'outil par rapport à la pièce) :

L'objectif est d'exprimer la vitesse d'un point de l'extrémité de l'outil par rapport à la pièce en fonction du paramétrage proposé.

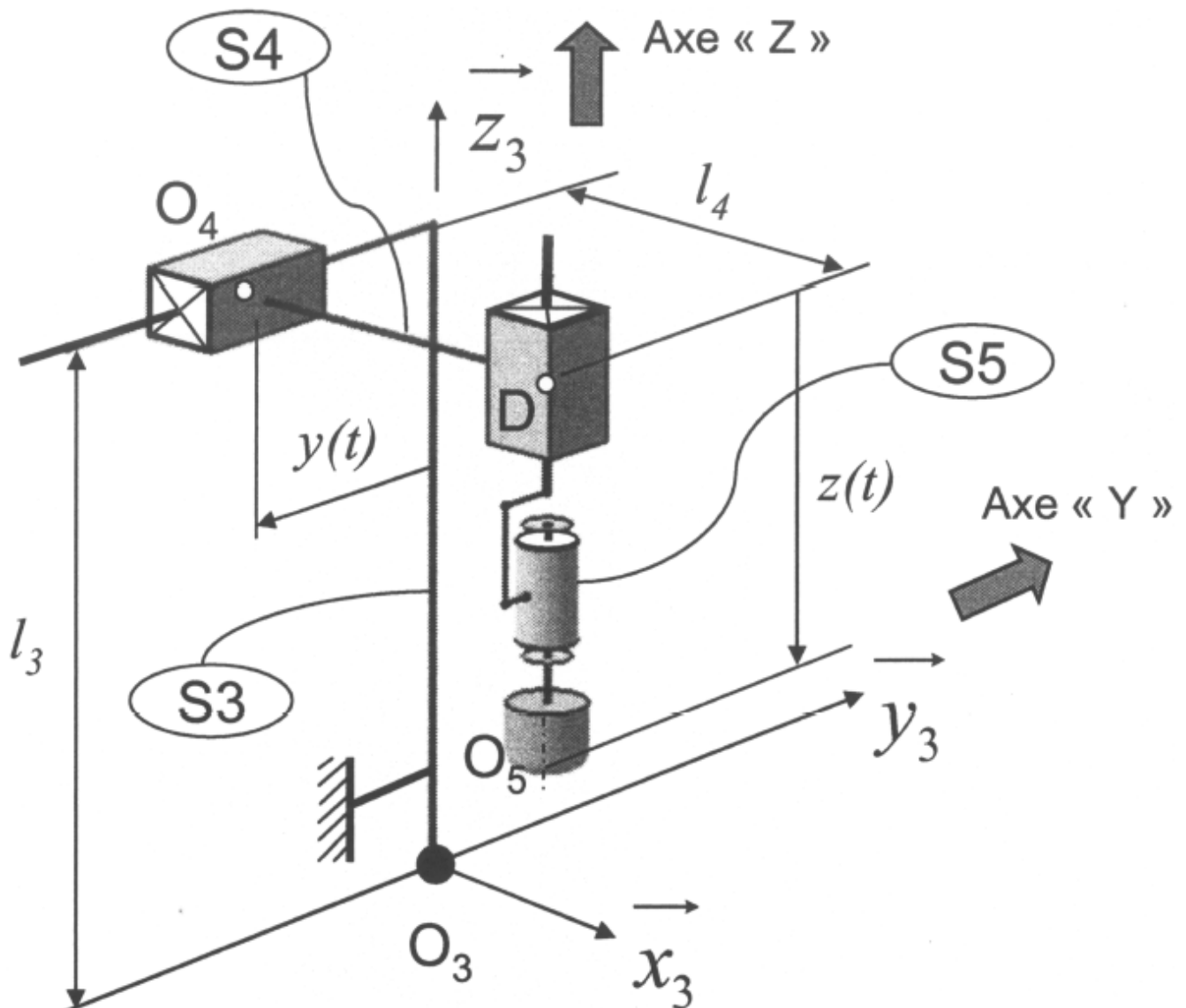
Etude de la fonction technique FT31 (Déplacer l'outil par rapport au bâti) :

Performances des axes « Y » et « Z » du centre d'usinage :

	Variable	Course	Vitesse maximale	Couple moteur
Axe « Y » (transversal)	$y(t)$	600 mm	40 m/min	42 Nm
Axe « Z » (vertical)	$z(t)$	500 mm	40 m/min	<i>Non communiqué</i>

La course du mobile dans chaque direction est égale à l'amplitude maximale de ses déplacements dans cette direction.

Schéma cinématique, fonction technique FT31 :



$$\overrightarrow{O_3 O_4} = y(t) \cdot \vec{y}_3 + l_3 \cdot \vec{z}_3$$

$$\overrightarrow{O_4 D} = l_4 \cdot \vec{x}_3$$

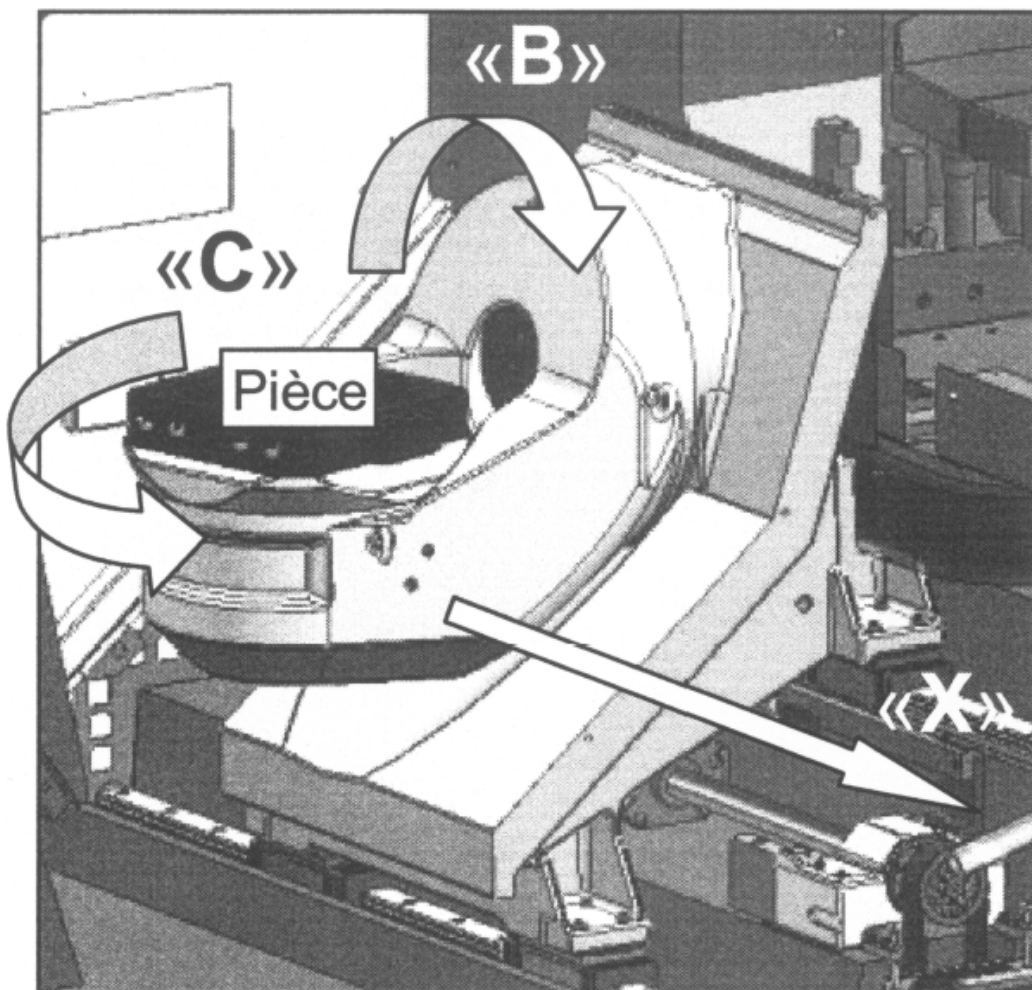
$$\overrightarrow{D O_5} = z(t) \cdot \vec{z}_3$$

Les repères $R3(O_3, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$, $R4(O_4, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ et $R5(O_5, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ sont liées respectivement aux solides (S3), (S4) et (S5).

Questions.

1. Définir et caractériser le lieu géométrique du point O_5 à l'extrémité de l'outil, dans son mouvement par rapport au repère R3, lorsque l'on commande les axes « Y » et « Z ».
2. Exprimer $\overrightarrow{O_3 O_5}$ dans la base du référentiel R3.
3. Donner l'expression, dans la base du référentiel R3, de la vitesse du point O_5 lié à S5, dans son mouvement par rapport à R3 en fonction de \dot{y} et \dot{z} .
4. Calculer la valeur maximale de la norme du vecteur vitesse du point O_5 , lié à S5 dans son mouvement par rapport à R3.

Etude de la fonction technique FT32 (Déplacer et orienter la pièce par rapport au bâti) :



Les repères, $R0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, $R1(O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$, $R2(O_2, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ et $R3(O_3, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ sont liées respectivement aux solides (S0), (S1), (S2) et (S3).

$$\overrightarrow{O_3A} = x(t) \cdot \vec{x}_3 \quad \overrightarrow{AO_2} = l_2 \cdot \vec{z}_3 \quad \overrightarrow{O_2O_1} = -l_1 \cdot \vec{y}_3 \quad \overrightarrow{O_1O_0} = l_0 \cdot \vec{z}_0$$

Questions.

5. Définir et caractériser le lieu géométrique du point O_2 , appartenant à (S2), dans son mouvement par rapport à R3, lorsque l'on commande la translation sur l'axe « X ».

S0 est en liaison pivot avec S1. Ce dernier est lui-même en liaison pivot avec S2.

6. En analysant les mouvements, sans calculs, donner le nom de la liaison cinématiquement équivalente entre S0 et S2. Dessiner la représentation normalisée de cette liaison en précisant son centre et ses axes remarquables.

Par la suite, pour exprimer le torseur cinématique associé à la liaison L_k entre les solides S_i et S_j , exprimé en A et projeté dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ on utilise la notation suivante :

$$\left\{ \mathbf{V}_{S_j/S_i}^{L_k} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{p}_k \\ \mathbf{q}_k \\ \mathbf{r}_k \end{array} \middle| \begin{array}{l} \mathbf{u}_k \\ \mathbf{v}_k \\ \mathbf{w}_k \end{array} \right\}_{(A, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Questions.

7. Ecrire, sous sa forme générale, le torseur cinématique associé à la liaison équivalente L_{eq} entre S0 et S2, exprimé en son centre et projeté dans la base du repère R1.

8. Définir et caractériser le lieu géométrique du point O_0 , appartenant à (S0), dans son mouvement par rapport au repère R3, quand on ne commande que les rotations des axes « B » et « C ».

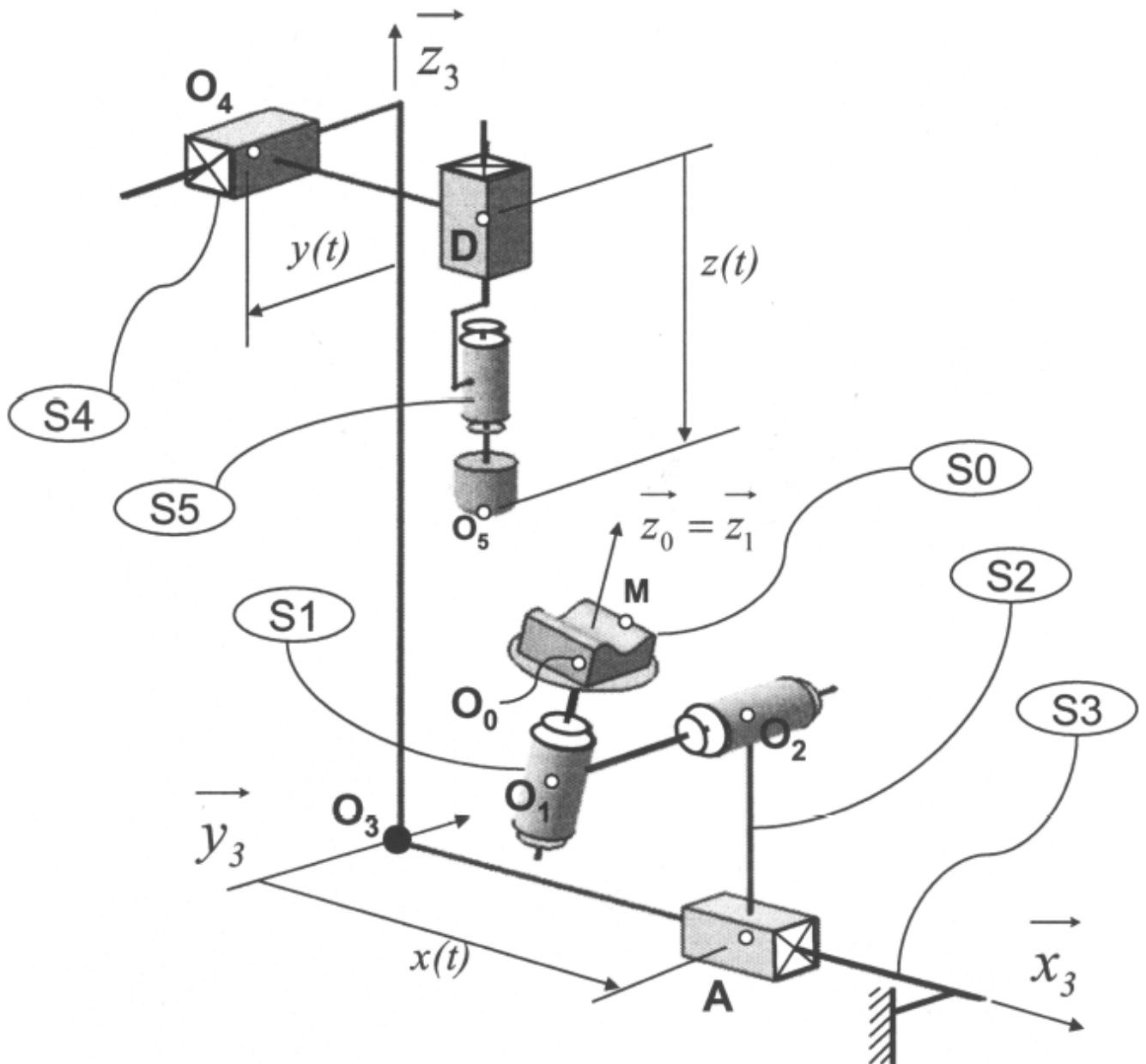
9. Exprimer $\overrightarrow{O_3O_0}$ dans la base du référentiel R3.

10. Donner l'expression, dans la base du référentiel R3, de la vitesse du point O_0 lié à (S0), dans son mouvement par rapport à R3 en fonction de l_0 , θ_1 , $\dot{\theta}_1$, \dot{x}

11. Calculer la valeur maximale de la norme de ce vecteur vitesse si $l_0 = 0,1 \text{ m}$.

Etude de l'association des fonctions techniques FT31 et FT32 :

Schématisation complète de la machine :

**Questions.**

12. Définir et caractériser le lieu géométrique du point O_5 , extrémité de l'outil, par rapport à R_2 , lorsque l'on commande les axes « X », « Y » et « Z » ? Illustrer par une représentation schématique.

La surface usinée est définie comme un ensemble de points M de coordonnées (x_M, y_M, z_M) dans le repère R_0 .

On note $\vec{V}(M \in S_0 / R_3)$ le vecteur vitesse du point M lié à S_0 , dans son mouvement par rapport à R_3 .

Questions.

13. Exprimer le vecteur rotation $\vec{\Omega}(S0/R3)$ dans la base du référentiel $R1$ en fonction de $\dot{\theta}_0$ et $\dot{\theta}_1$. Donner la relation entre les vecteurs vitesses $\vec{V}(M \in S0/R3)$, $\vec{V}(O_0 \in S0/R3)$ et $\vec{\Omega}(S0/R3)$.

14. Déterminer l'expression de la composante du vecteur vitesse $\vec{V}(M \in S0/R3)$ en projection sur \vec{y}_3 .

On note pour la suite du sujet : $\vec{V}(M \in S0/R3) = \begin{pmatrix} V_{XM} \\ V_{YM} \\ V_{ZM} \end{pmatrix}$ où V_{XM} , V_{YM} et V_{ZM} sont les

composantes du vecteur vitesse $\vec{V}(M \in S0/R3)$ exprimé dans la base du référentiel $R3$.

Questions.

15. Etablir la relation vectorielle donnant la vitesse de O_5 appartenant à $S5$ dans son mouvement par rapport à $S0$, notée $\vec{V}(O_5 \in S5/S0)$, en fonction notamment des vecteurs précédemment déterminés : $\vec{V}(O_5 \in S5/R3)$, $\vec{V}(M \in S0/R3)$ et $\vec{\Omega}(S0/R3)$.

16. Le point O_5 doit se déplacer sur la surface usinée définie comme le lieu des points M . Que devient alors cette relation ? Donner l'expression, dans la base du référentiel $R3$, de $\vec{V}(O_5 \in S5/S0)$.

En phase d'usinage, on considère que le point O_5 se déplace sur la surface usinée (lieu des points M).

Pour uniformiser la qualité de la forme usinée, la norme du vecteur vitesse de O_5 , dans son mouvement par rapport à la pièce, devra être constante.

Cette contrainte participe à la définition des lois de variation de $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$, $\theta_0(t)$ et $\theta_1(t)$.