

Cycle 6 – Détermination de lois d'entrée/sortie d'un système complexe

TD2 – Variateur à galet

À l'issue de ce TD, vous devez être capables de :

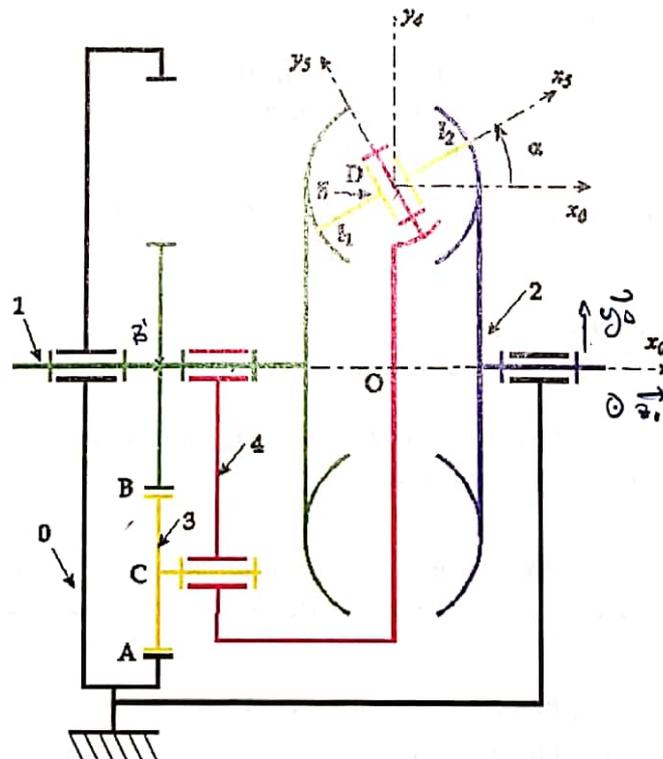
- Déterminer les relations de fermeture de la chaîne cinématique ;
- Déterminer la loi entrée-sortie cinématique d'une chaîne cinématique.

L'objectif de ce TD est de vérifier le critère de performance du variateur continu de vitesse suivant : son rapport de réduction doit varier entre $-0,10$ et $-0,70$.

Il est donc nécessaire de déterminer le rapport de réduction entre les vitesses de rotation de l'arbre d'entrée (1) et de l'arbre de sortie (2).

Le variateur, dont le schéma cinématique est donné Figure 1, est constitué de deux sous-systèmes distincts :

- un réducteur épicycloïdal à engrenages de rapport fixe constitué des solides (0), (1), (3) et (4)
- un variateur continu à galet constitué des solides (0), (1), (2), (4) et (5).



satellites,
porte-satellite
planétaire
couronne

Figure 1 : schéma cinématique du variateur de vitesse à galet

Le bâti est noté (0). L'arbre d'entrée (1) et l'arbre de sortie (2) sont en liaison pivot d'axe (O, \vec{x}_0) avec le bâti. Le porte-satellite (4) est en liaison d'axe (O, \vec{x}_0) avec (1).

Le satellite (3) est en liaison pivot d'axe (C, \vec{x}_0) avec le porte-satellites (4). Ce satellite engrène respectivement aux points B et A avec les solides (1) et (0).

Le galet orientable (5) est en liaison pivot d'axe (D, \vec{y}_5) avec le porte-satellite (4). Ce galet de rayon $r = 0,04m$ roule sans glisser en I_1 et I_2 sur deux surfaces toriques (cf. figure 2) liées à (1) et (2). Le variateur est équipé de plusieurs galets, mais cela ne change pas le fonctionnement d'un point de vue cinématique.

On utilisera les notations suivantes :

- $\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_5) \in [-\pi/4; \pi/4]$ l'angle permettant le réglage du rapport de vitesses du variateur.
- $\bar{\Omega}(1/0) = \omega_{10} \cdot \vec{x}_0$
- $\bar{\Omega}(2/0) = \omega_{20} \cdot \vec{x}_0$
- $\bar{\Omega}(4/1) = \omega_{41} \cdot \vec{x}_0$
- $\bar{\Omega}(4/0) = \omega_{40} \cdot \vec{x}_0$
- $\bar{\Omega}(3/4) = \omega_{34} \cdot \vec{x}_0$
- $R_1 = 0,08m$, rayon primitif de la roue dentée liée à (1)
- et $R_3 = 0,04m$ rayon primitif du satellite (3)
- $\|\vec{OD}\| = L = 0,12m$



Figure 2 : détail d'une surface torique liée au solide (1) ou (2).

Remarque : la surface est circulaire, mais 1/4 a été enlevé pour faciliter la visualisation de la géométrie

1. Étude du train épicycloïdal

Qu. 1 : construire le graphe de liaison du mécanisme.

Qu. 2 : traduire les conditions de roulement sans glissement aux points d'engrènement A et B, afin d'en déduire une relation sur les vitesses de rotation du porte-satellite ω_{40} et de l'arbre d'entrée ω_{10} , ne faisant pas intervenir la vitesse de rotation du satellite.

Qu. 3 : déduire de la question précédente le rapport de réduction du train épicycloïdal en fonction des rayons R_1 et R_3 : $r_{epi} = \frac{\omega_{40}}{\omega_{10}}$

2. Étude du variateur à galets

Remarque : l'angle α est supposé constant pendant le fonctionnement du variateur.

Qu. 4 : écrire la condition de roulement sans glissement au point I_1 entre le galet (5) et la surface torique liée à (1). En déduire une relation entre les vitesses de rotation ω_{54} , ω_{40} et ω_{10} et les données géométriques L , r et α .

Qu. 5 : écrire la condition de roulement sans glissement au point I_2 entre le galet (5) et la surface torique liée à (2). En déduire une relation entre les vitesses de rotation ω_{54} , ω_{40} et ω_{20} et les données géométriques L , r et α .

3. Validation du critère de performance du système complet

Qu. 6 : en utilisant les relations obtenues dans les deux parties, déterminer le rapport de réduction du mécanisme complet en fonction de R_1 , R_3 , L , r et α : $r_{tot} = \frac{\omega_{20}}{\omega_{10}}$

Qu. 7 : le rapport de réduction du mécanisme vérifie-t-il le critère de performance du cahier des charges ?

Cycle 6 - Déterminer la loi Entrée/Sortie cinématique d'un système mécanique

TD3 – Machine de soudage par friction – malaxage

À l'issue de ce TD, vous devez être capables de :

- déterminer le torseur cinématique d'un solide par rapport à un autre solide ;
- déterminer les relations de la fermeture de chaîne cinématique ;
- déterminer la loi entrée/sortie cinématique d'une chaîne cinématique.

1. Présentation du procédé de soudage par friction -malaxage

Les procédés d'assemblage permanent entrent dans la fabrication de 80% des produits manufacturés. Le soudage représente une grande majorité de ces procédés. Il permet l'obtention d'une liaison complète entre deux pièces. Les procédés de soudage les plus répandus utilisent l'arc électrique comme source de chaleur. Les matériaux sont localement mis en fusion par cette chaleur et après refroidissement la liaison entre les pièces à assembler est complète. Dans ce cas, les matériaux doivent être compatibles pour que la solidification produise un cordon résistant.



FIG. 1 – Avion Eclipse.

Une solution alternative est le soudage par friction-malaxage, le Friction Stir Welding (FSW), qui met en œuvre la dissipation énergétique par frottement comme source de chaleur. Ce procédé a l'avantage de pouvoir assembler des matériaux qui ne sont pas compatibles pour réaliser un assemblage par fusion : aluminium / acier, acier / titane par exemple.

Développé depuis 1991, le soudage par friction-malaxage a de nombreuses applications dans le secteur aéronautique. Citons par exemple, l'avion Eclipse pour lequel les assemblages par rivetage ont été remplacés à hauteur de 70% par des joints soudés diminuant ainsi le coût de fabrication (voir figure 1).

La machine de soudage « FSW » génère la rotation de l'outil et son déplacement. Le sujet propose l'étude d'une machine de soudage « FSW » implantée dans un centre de recherche et de transfert de technologies. Cette installation assure la réalisation d'essais de soudage, de pièces « tests » pour l'aéronautique, mais aussi la production de pièces pour l'industrie.

Une machine de soudage « FSW » est composée essentiellement (voir Figures 4 et 5) :

- d'un portique qui assure les mobilités en translation de la tête par rapport au bâti,
- d'une tête de soudage qui assure les mobilités complémentaires nécessaires à l'outil de soudage. La mise en rotation de l'outil est assurée par cette tête.
- d'un outil, souvent composé d'un pion et d'un épaulement. Le frottement généré par le pion et l'épaulement permet le dégagement de chaleur. Sa mise en rotation permet un malaxage des deux matériaux et donc la création d'une zone soudée.
- d'une plateforme de soudage sur laquelle sont mises en position les pièces à assembler grâce à un montage.

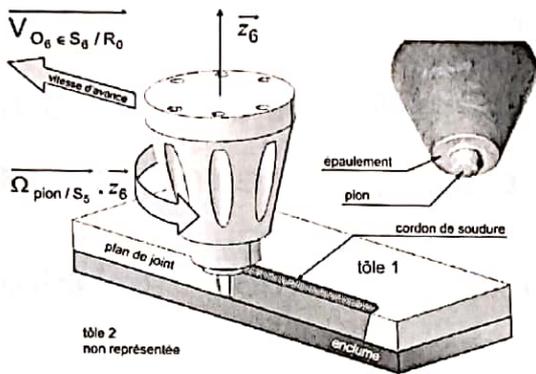


FIG. 2 – Principe de réalisation d'un cordon de soudure par FSW

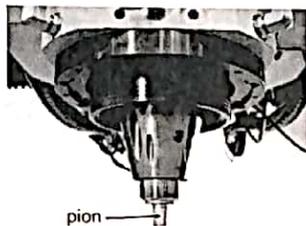


FIG. 5 – Détail de la tête de soudage de la machine "FSW"

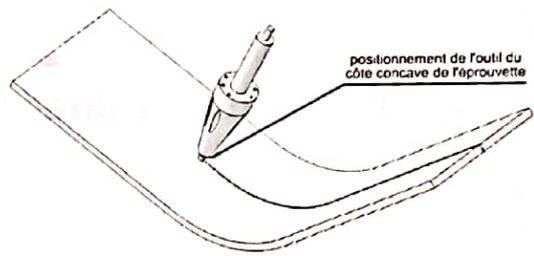


FIG. 3 – Définition du soudage concave

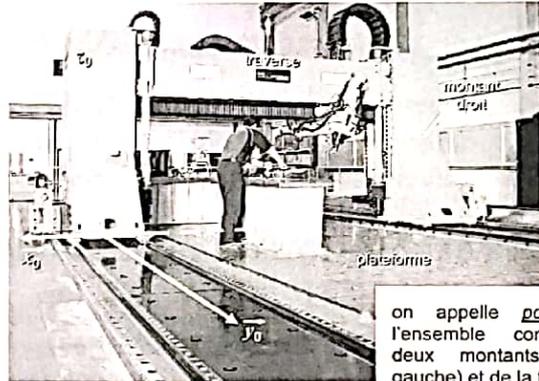
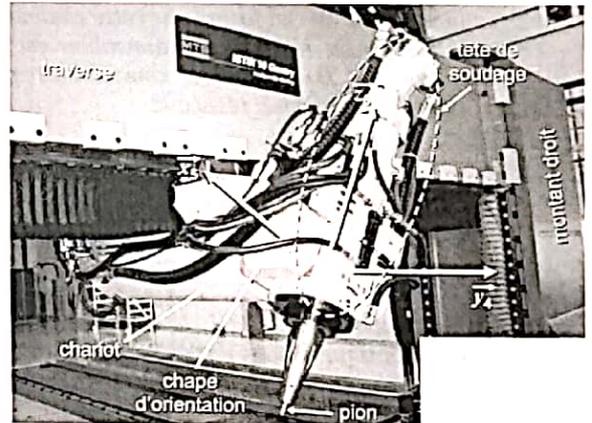


FIG. 4 – Vue globale de la machine "FSW"

on appelle portique (Σ_{12}) l'ensemble constitué des deux montants (droit et gauche) et de la traverse.

Contrairement aux autres procédés de soudage, le montage de soudage doit assurer non seulement la mise en position de chacune des pièces avant assemblage mais doit également compenser l'effort de pression verticale exercé par l'outil sur les tôles.

Afin de préparer l'assemblage de tôles pour réaliser des éprouvettes de caractérisation en « V » (voir figures 3) pour l'industrie aéronautique, on s'intéresse ici à l'élaboration de la loi de commande en position et en vitesse du déplacement de la machine de soudage « FSW », de manière à respecter l'extrait de cahier des charges présenté dans le tableau 1.



Fonctions de service	Critère	Niveau
FS1 : Souder les tôles	Géométrie du cordon de soudure	En V, profil donné
	Vitesse de soudure	Constante, égale à 400mm/min
	Qualité de la soudure	L'axe principal du pion de soudage doit rester orthogonal à la surface sur laquelle le cordon est réalisé

TAB. 1 – Extrait du CdCF.

2. Élaboration du modèle cinématique

Un schéma cinématique simplifié de la machine de soudage « FSW » est donné en figure 6. Il est précisé ici que le montant droit S_1 , le montant gauche S'_1 et la traverse S_2 , constituent un portique repéré Σ_{12} ($\Sigma_{12} = S_1 + S_2 + S'_1$). Le paramétrage proposé est indiqué figure 7. Le chariot S_3 est en liaison pivot avec la chape d'orientation S_4 qui est elle-même en liaison pivot avec la tête de soudage S_5 .

Qu. 1 : Construire le graphe de structure du mécanisme.

Qu. 2 : Donner le torseur cinématique associé à chaque liaison.

Qu. 3 : Déterminer la vitesse du point O_6 dans le mouvement 6/0.

3. Étude de la loi de commande de chaque axe

Cette partie s'intéresse à la préparation de la programmation en position et en vitesse de la machine pour souder l'éprouvette en « V » réalisée dans le plan (\vec{y}_0, \vec{z}_0) (voir figure 8). On rappelle que, dans tous les cas, l'axe du pion de soudage doit rester perpendiculaire aux surfaces à assembler pour réaliser un cordon de qualité (voir l'extrait du CdC) et que le soudage s'effectue du côté concave de l'éprouvette (voir figure 3).

La figure 8 précise la géométrie finale de l'éprouvette à réaliser :

- épaisseur $e_e = 5 \text{ mm}$;
- longueur des parties planes : $\lambda_e = 700 \text{ mm}$;
- rayon de raccord : $r_e = 300 \text{ mm}$, tel que $r_e < l_{56max}$ ($= 410 \text{ mm}$) ;
- angle d'ouverture : $\alpha_e = 120^\circ$;
- mise en position en « V », avec le cordon de soudure réalisé dans le plan (\vec{y}_0, \vec{z}_0) (voir le paramétrage proposé en figure 6).

Le procédé de soudage « FSW » oblige de laisser de part et d'autre des parties planes des appendices de 60 mm qui servent à l'entrée et à la sortie du pion. Ces appendices sont ensuite découpés pour obtenir l'éprouvette finale.

Qu. 4 : À partir du schéma cinématique 3D de la figure 6, tracer le schéma cinématique 2D dans le plan (\vec{y}_0, \vec{z}_0) .

Qu. 5 : En observant quelle doit être la trajectoire de l'extrémité du point de soudage dans la phase 1, déterminer les vitesses dans les différentes liaisons du système.

Un raisonnement analogue permet de déterminer les vitesses articulaires dans les phases 2 et 3.

FIG. 7 - Définition des variables géométriques.

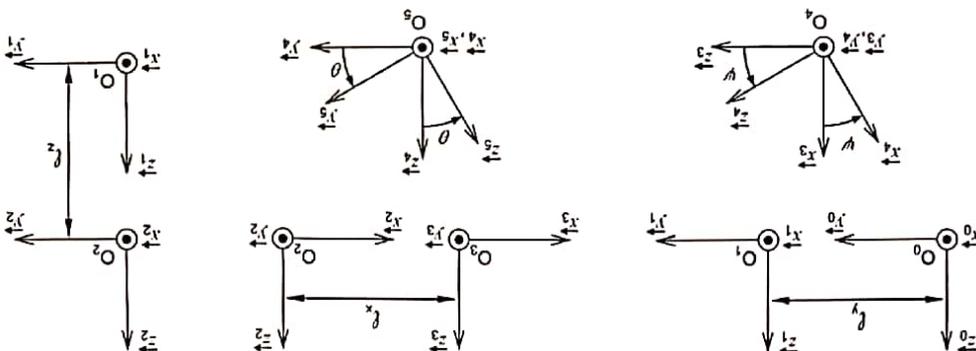
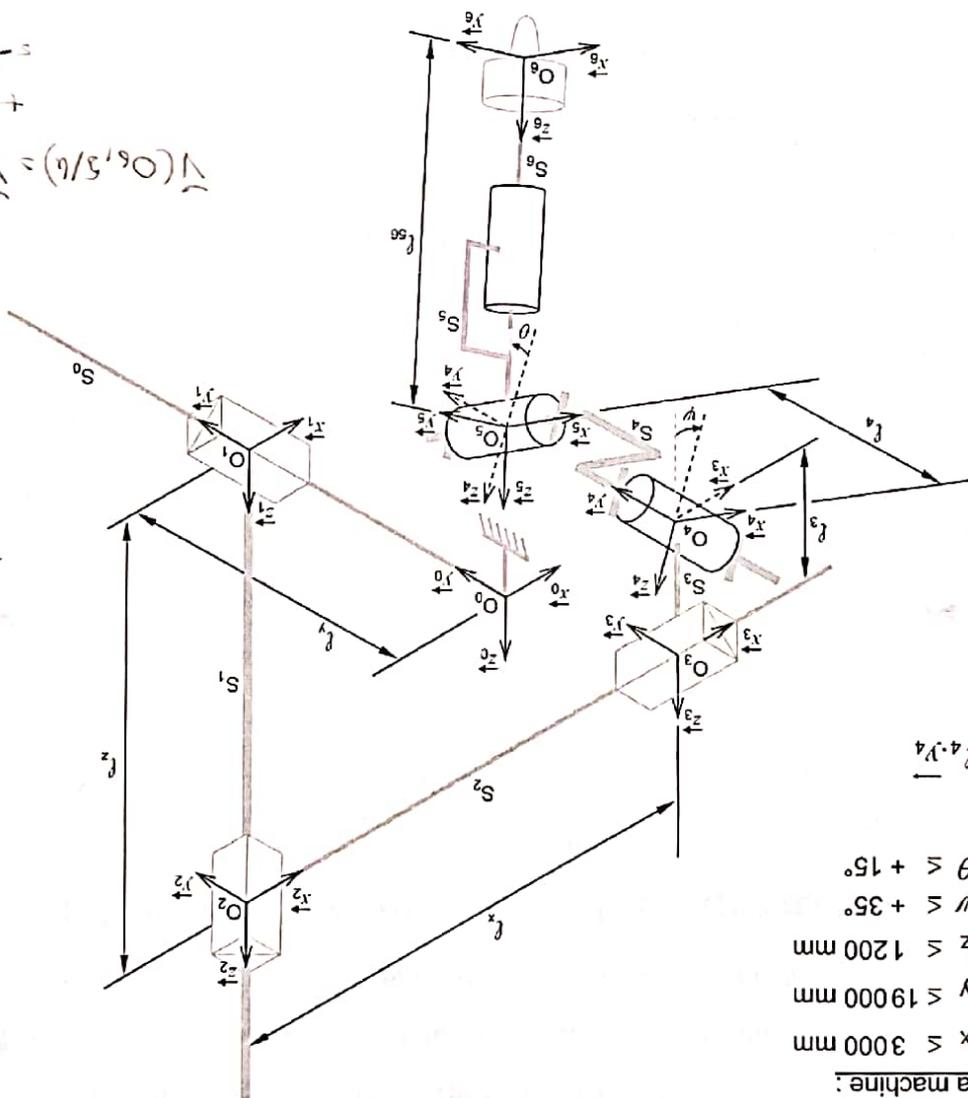


FIG. 6 - Schéma cinématique simplifié de la machine "FSW".



$$\underline{O^4O^5} = l_4 \cdot \underline{Y^4}$$

On précise :

- $15^\circ \leq \theta \leq +15^\circ$
- $35^\circ \leq \psi \leq +35^\circ$
- $0 \text{ mm} \leq l_2 \leq 1200 \text{ mm}$
- $0 \text{ mm} \leq l_y \leq 19000 \text{ mm}$
- $0 \text{ mm} \leq l_x \leq 3000 \text{ mm}$

Courses de la machine :

Handwritten notes on the left side of the page:

- $\vec{v} = \omega \times \vec{r}$
- $\vec{v} = \omega \times \vec{r} = \omega r \sin(\alpha)$
- $\vec{v} = \omega r \sin(\alpha)$
- $\vec{v} = \omega r \sin(\alpha)$