

SIMULATION DE TRAJECTOIRE

Présentation

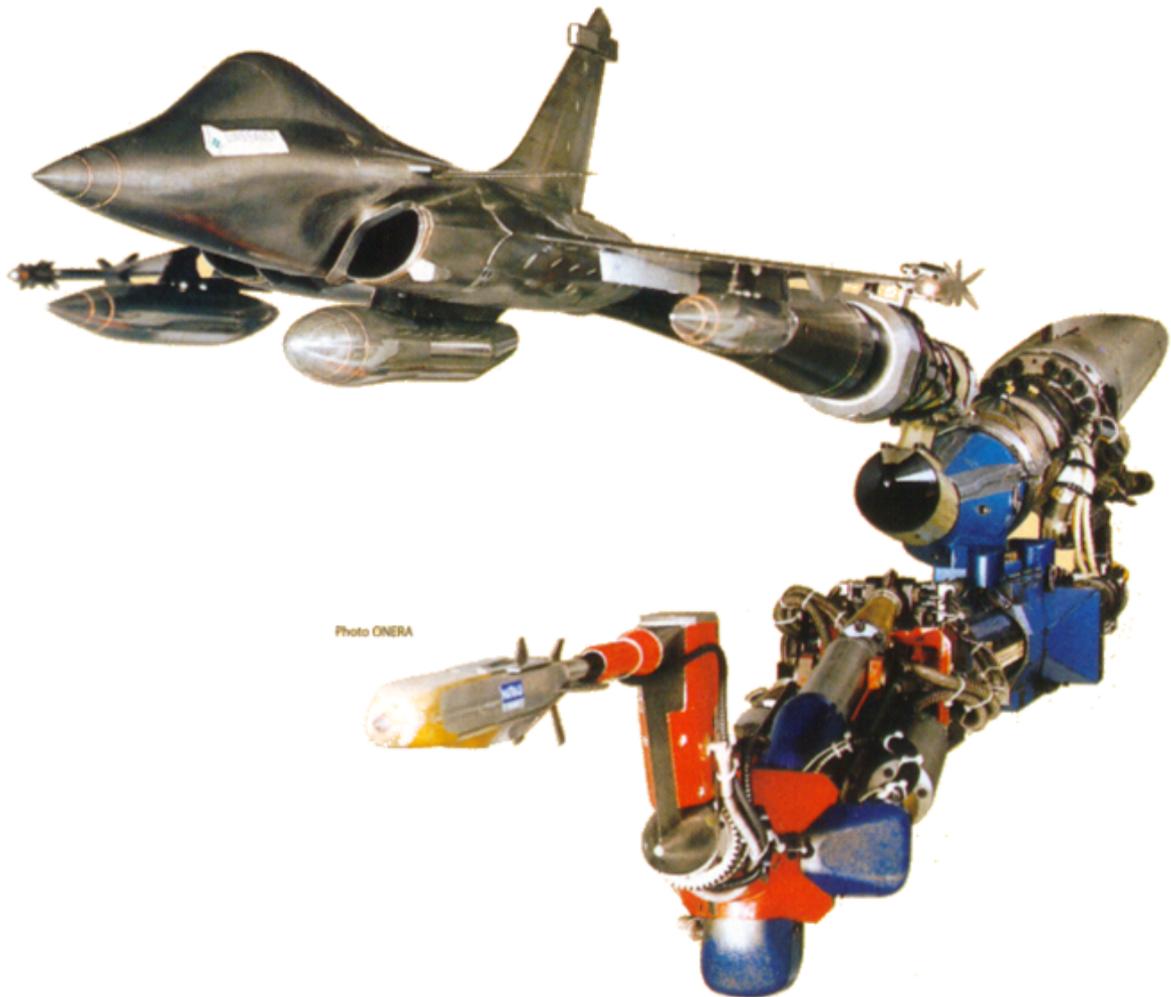


FIGURE 1 – Système de simulation de trajectoire

Le Service des Grands Moyens d'Essais de l'**O.N.E.R.A** (Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales) a réalisé un système de trajectographie captive. Lors du largage d'une charge par un avion porteur (missile, réservoir...), la trajectoire réelle de la charge s'écarte parfois considérablement de la trajectoire souhaitée. Du fait des phénomènes fortement non-linéaires qui caractérisent les écoulements aérodynamiques, il se peut que la charge larguée soit prise dans les turbulences engendrées par l'avion et revienne percuter celui-ci.

Pour étudier ces phénomènes, il est en principe possible de former un modèle théorique (par exemple basé sur les équations de la mécanique du solide et de la mécanique des fluides) implanté sur un système informatique qui résout numériquement ces équations. Or dans les cas complexes, ce calcul numérique est encore hors de portée des meilleurs codes de calcul et des meilleurs ordinateurs actuels. On a donc recours à ce que les ingénieurs utilisent depuis l'antiquité : un modèle matériel, une maquette.

Celle-ci consiste en une maquette d'avion à l'échelle 1/6, larguant, une maquette de la charge à la même échelle. Chacune est portée par un bras articulé, doté de nombreux degrés de liberté et pouvant reproduire tous les mouvements tridimensionnels des objets portés (voir figure 1 et figure 2).

En repère d'étude galiléen, les bilans des efforts extérieurs aux solides en présence (avion et charge) se réduisent au poids et aux efforts d'origine aérodynamique. C'est pourquoi on place les maquettes en soufflerie. Les phénomènes de mécanique des fluides obéissent à des similitudes : à partir des grandeurs physiques observées à une certaine échelle, on peut déduire la valeur de ces mêmes grandeurs à une autre échelle. Le respect des règles de similitude conduit cependant à une échelle de maquette proche de l'avion réel. Ceci explique l'importance des moyens matériels en jeu la partie centrale de la soufflerie a huit mètres de diamètre sur une longueur de quatorze mètres.

La fonction du système de trajectographie est d'observer une trajectoire représentative de la trajectoire réelle de la charge larguée par rapport à l'avion en vol.

Le système sert de moyen de mesure et de commande. La simulation de trajectoire se fait de façon statique, pas à pas. L'avion et la charge sont placés par le système de commande de chaque bras en une position donnée. Les efforts aérodynamiques sur la charge sont alors mesurés. On en déduit, par les équations de la mécanique du solide, la position de la charge après un incrément de temps (c'est à dire une durée δt finie, choisie à l'avance, et faible par rapport à la durée totale du largage). On commande alors le déplacement jusqu'à la nouvelle position, et on itère. A la fin de l'essai, la suite mémorisée des positions successives est analysée.

Dans ce sujet, on s'intéressera à une sous-partie du système automatisé de déplacement de la charge par son bras « robotisé ».

Objectif

- Déterminer les contraintes géométriques et cinématiques permettant d'obtenir un mouvement de translation rectiligne de la charge.

Travail demandé

Remarque

- Un vecteur unitaire lié à un solide porte l'indice du solide. Exemple le vecteur unitaire \vec{k}_2 est lié au solide 2;
- Un vecteur unitaire lié à deux solides porte les indices des deux solides. Exemple le vecteur unitaire \vec{k}_{01} est lié aux solides 0 et 1.

Etude analytique

Etude du mouvement de la charge

La définition d'une trajectoire de la charge nécessite d'imposer, en permanence, des relations entre les valeurs instantanées des paramètres cinématiques. On se propose de le montrer dans un cas simple. Seules les liaisons L_1 , L_3 , et L_5 sont animées (voir le paramétrage de position sur la figure 4).

Q1. Déterminer les vecteurs rotation : $\vec{\Omega}(2/1)$, $\vec{\Omega}(3/2)$ et $\vec{\Omega}(3/1)$.

Q2. Déterminer, en fonction des paramètres géométriques et cinématiques proposés, les torseurs cinématiques suivants : $\{\mathcal{V}(1/0)\}_A$, $\{\mathcal{V}(2/1)\}_A$, $\{\mathcal{V}(3/2)\}_A$, $\{\mathcal{V}(3/0)\}_A$.

(on exprimera les résultats sous la forme vectorielle la plus simple, utilisant les vecteurs unitaires définis sur la figure 4)

Q3. Donner l'expression du vecteur vitesse $\vec{V}(F \in 3/0)$ en fonction du paramétrage.

Q4. Dans le repère lié à l'avion, un des mouvements de la charge (3/0) les plus simples que l'on puisse envisager est une translation selon \vec{j}_{01} . Dans ce cas :

- Quelle relation existe-t-il entre $\vec{\Omega}(3/2)$ et $\vec{\Omega}(2/1)$;
- Quelle relation existe-t-il entre $\alpha(t)$, $\dot{\alpha}(t)$, $\dot{\lambda}(t)$;
- Donner l'expression de la norme de $\vec{V}(F \in 3/0)$;
- Donner l'expression du vecteur $\vec{V}(G \in 3/0)$.

Etude du système de commande

Le vérin à vis **V2** (voir figure 5) permet d'animer la liaison L_3 grâce à un mécanisme assurant une transformation de mouvement : La translation de la tige **4** du vérin par rapport au corps **5** provoque une rotation du solide **2** par rapport au solide **1**. Ce vérin doit être piloté de manière à assurer un mouvement de la charge conforme aux efforts mesurés.

Q5. En projetant la fermeture géométrique $\vec{AB} + \vec{BC} + \vec{CD} + \vec{DA} = \vec{0}$ sur la base liée au repère \mathcal{R}_0 , déterminer la relation liant les paramètres géométriques $\alpha(t)$, $\mu(t)$, a , h et l .

Etude graphique

Les tracés de cette étude seront réalisés sur la figure 6 .

Le but de cette construction est d'évaluer rapidement la norme de la vitesse du point G dans le repère \mathcal{R}_0 dans le cas d'un mouvement de translation verticale de la charge.

Etude du système de commande (première construction)

Q6. Connaissant la vitesse de sortie de la tige **4** par rapport au corps de vérin **5** : $|\vec{V}(C \in 4/5)| = 20 \text{ mm.s}^{-1}$, déterminer graphiquement le vecteur vitesse : $\vec{V}(C \in 2/1)$.

Evaluation de la vitesse absolue du point G (seconde construction)

Reporter le vecteur $\vec{V}(C \in 2/1)$ sur la seconde construction en tenant compte du changement d'échelle.

Q7. Déterminer graphiquement sur la figure les vecteurs vitesse $\vec{V}(E \in 2/1)$ et $\vec{V}(E \in 3/1)$.

Q8. Sachant que la charge **3** doit avoir un mouvement de translation rectiligne colinéaire à \vec{j}_{01} , déterminer graphiquement le vecteur $\vec{V}(E \in 3/0)$ ainsi que le vecteur vitesse de translation du bras **1** par rapport au bâti **0**. En déduire le vecteur vitesse absolue du point G : $\vec{V}(G \in 3/0)$

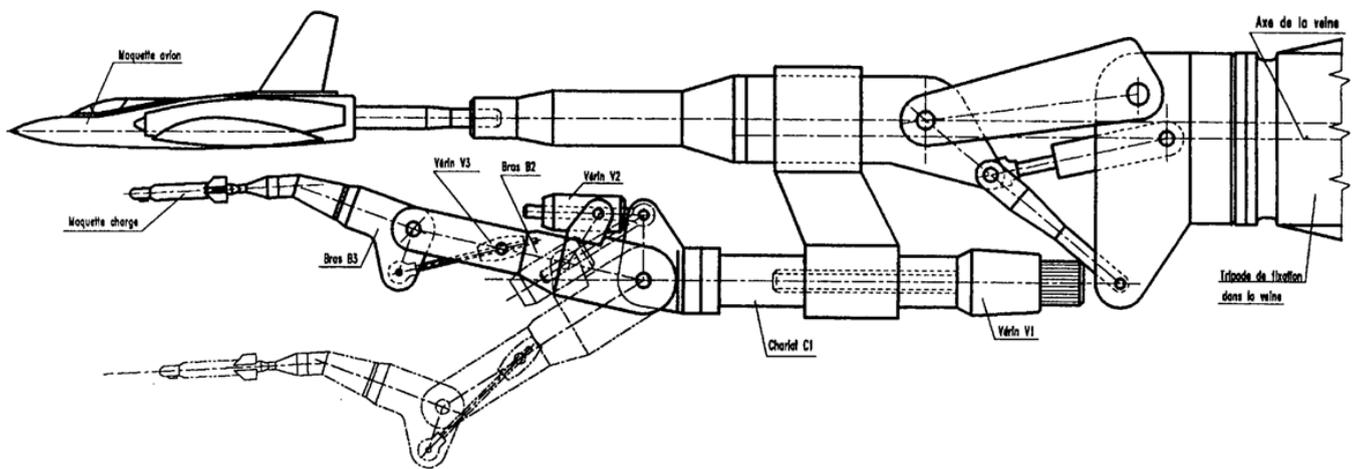


FIGURE 2 – Système de trajectographie captive

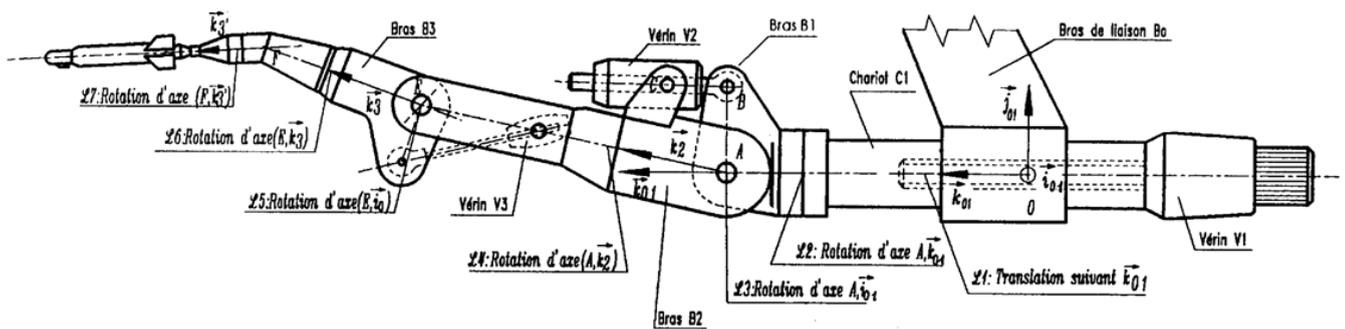


FIGURE 3 – Bras support de la maquette de charge

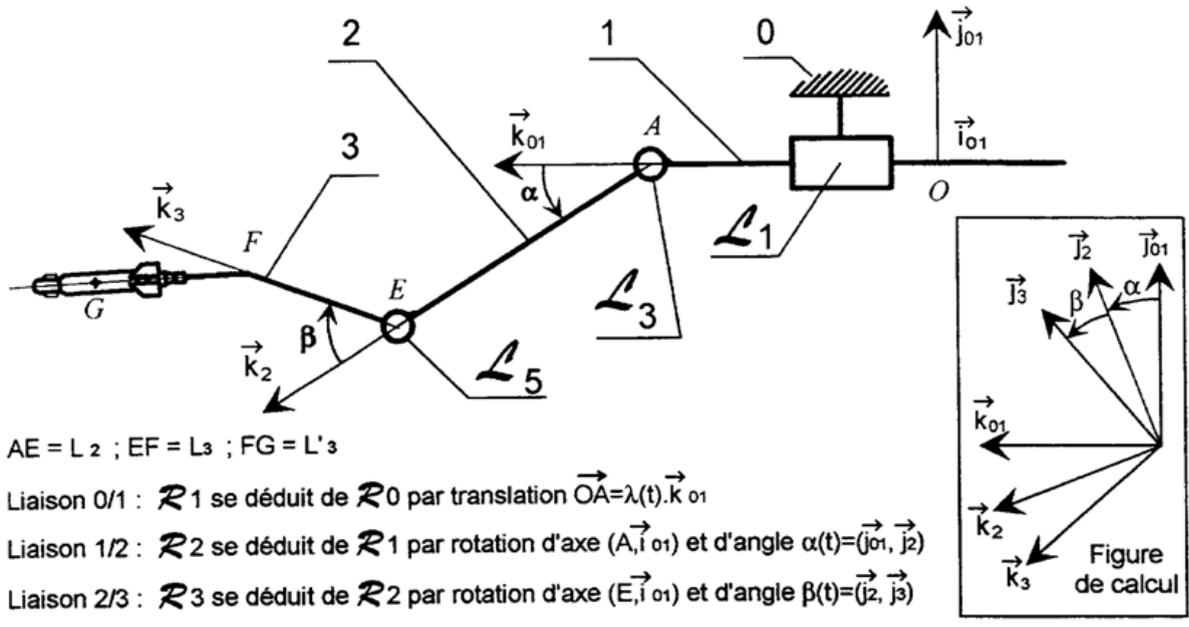


FIGURE 4 – Paramétrage du support

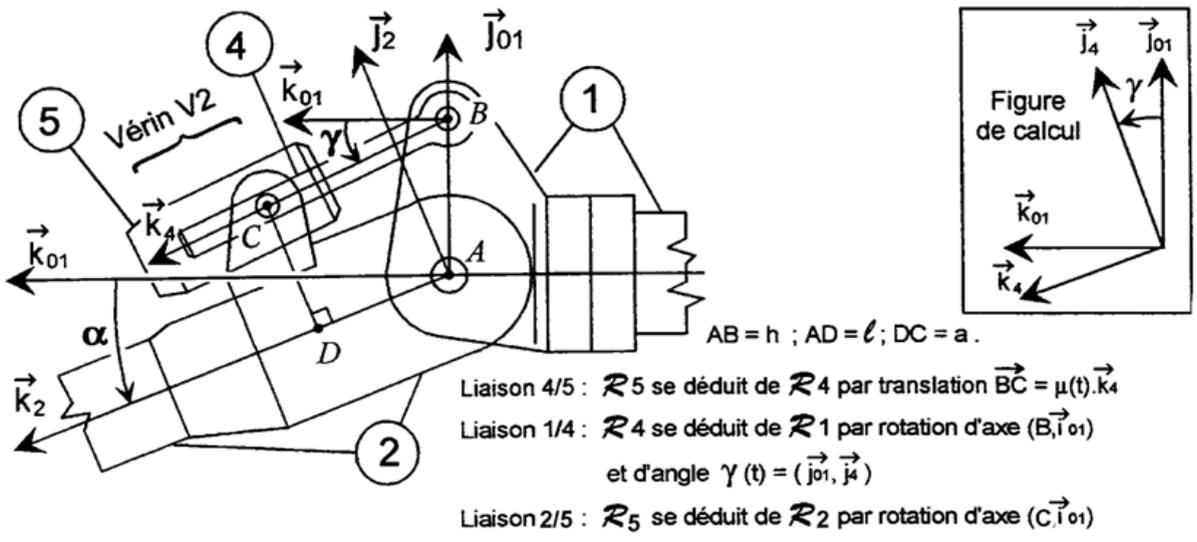


FIGURE 5 – Paramétrage de la commande

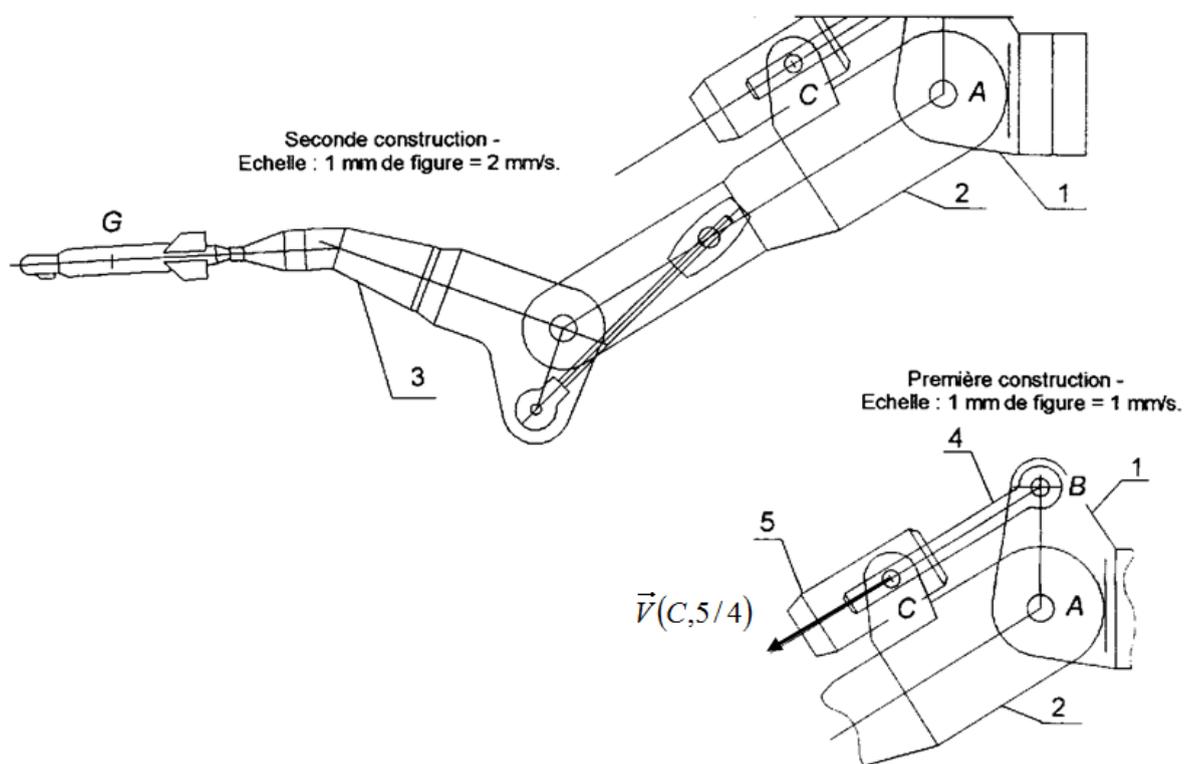


FIGURE 6 – Construction graphique