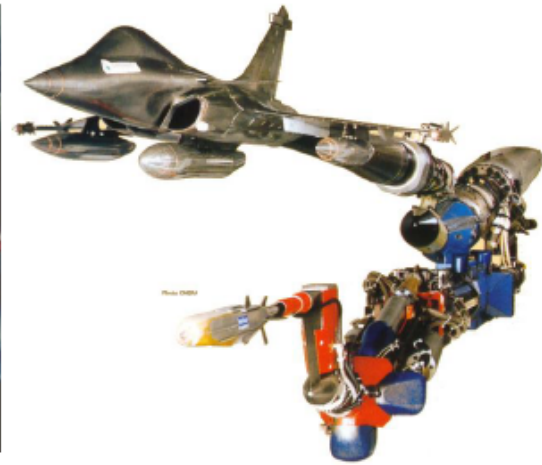




Exercice 2 : MAQUETTE EN SOUFFLERIE

Lors du largage d'un missile par un avion porteur, la trajectoire réelle de celui-ci s'écarte parfois considérablement de la trajectoire souhaitée. Du fait des phénomènes fortement non-linéaires qui caractérisent les écoulements aérodynamiques, il se peut que le missile largué soit pris dans les turbulences engendrées par l'avion et revienne percuter celui-ci.

Pour étudier ces phénomènes, l'O.N.E.R.A. (Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales) a réalisé un système de trajectographie captive. Celui-ci consiste en une maquette d'avion à l'échelle 1/6, larguant une maquette du missile. Chacune est portée par un bras articulé, doté de nombreux degrés de liberté et pouvant reproduire tous les mouvements tridimensionnels des objets portés (cf. photos ci-dessous).



Photos 1 et 2 : Installation de trajectographie captive

Essai de largage d'un missile Exocet AM39 sous maquette de Rafale dans la grande soufflerie S2MA de l'ONERA à Modane (voir vidéos sur site internet)

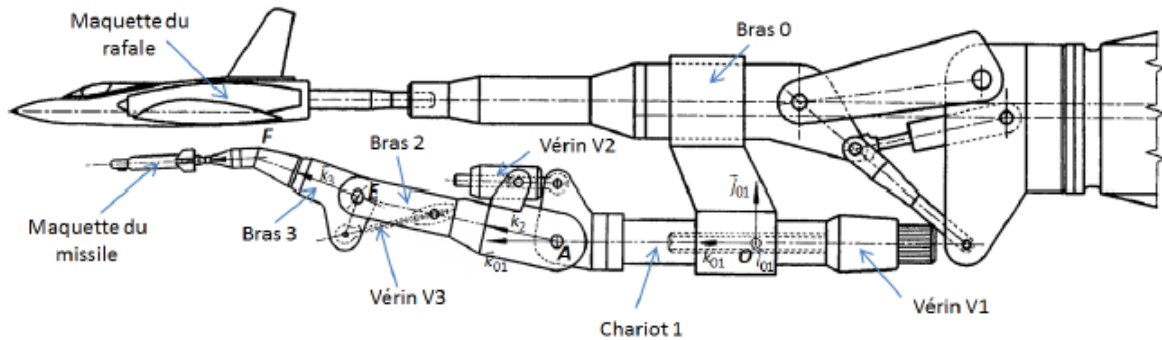
Les efforts extérieurs que subissent l'avion et le missile, se réduisent au poids et aux efforts d'origine aérodynamique. C'est pourquoi, on place les maquettes en soufflerie. Les phénomènes de mécanique des fluides obéissent à des similitudes : à partir des grandeurs physiques observées à une certaine 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 du missile largué par rapport à l'avion en vol.

Le système sert de moyen de mesure, mais également de commande. En effet, la simulation de trajectoire se fait de façon statique, pas à pas. L'avion et le missile sont placés par le système de commande de chaque bras en une position donnée. Les efforts aérodynamiques sur le missile sont alors mesurés. On en déduit, par les équations de la mécanique du solide, la position du missile après un incrément de temps (c'est à dire une durée t finie, faible par rapport à la durée totale du largage). On commande alors le déplacement jusqu'à la nouvelle position, et on itère. À la fin de l'essai, la suite mémorisée des positions successives est analysée.

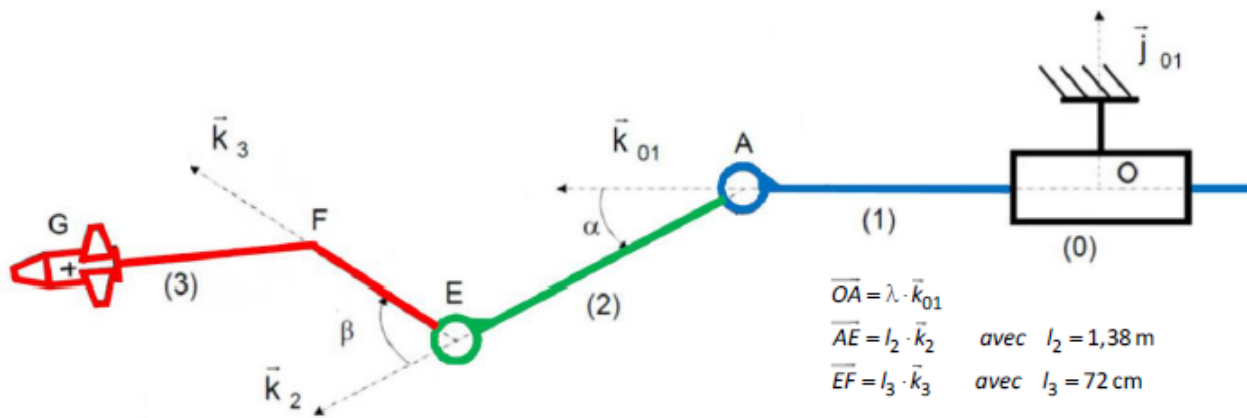
TD Comportement des systèmes mécaniques: cinématique du solide

Dans l'étude suivante, on s'intéressera au système automatisé de déplacement du missile par rapport à l'avion. Les mouvements de rotation (3/2 et 2/1) ou translation (1/0) entre les différents bras sont engendrés par des vérins électriques à vis V3, V2 et V1 (voir représentations 2D ci-dessous).



On se propose de montrer que la définition d'une trajectoire du missile nécessite d'imposer, en permanence, des relations entre les valeurs instantanées des paramètres cinématiques.

Un schéma cinématique est donné ci-dessous. Les vérins qui entraînent les mouvements entre les différents bras n'ont pas été représentés sur ce dernier.



Question 1 : Réaliser un graphe de liaison. S'il est défini, préciser le paramètre de position associé à chaque liaison.

Question 2 : Réaliser les figures de changement de base, et en déduire le vecteur rotation associé.

Question 3 : Exprimer littéralement sans calcul $\vec{V}_{Ae1/0}$, $\vec{V}_{Ee2/1}$ et $\vec{V}_{Fe3/2}$.

Question 4 : Déterminer l'expression littérale de $\vec{V}_{Fe3/0}$. Vérifier l'homogénéité du résultat ($m \cdot s^{-1}$).

Question 5 : Dans la position donnée sur le schéma cinématique, et en supposant $\dot{\alpha} = -0,03 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, $\dot{\beta} = +0,02 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ et $\dot{\lambda} = 14 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, tracer sur celui-ci $\vec{V}_{Fe1/0}$, $\vec{V}_{Fe2/1}$, $\vec{V}_{Fe3/2}$ et $\vec{V}_{Fe3/0}$. On prendra une échelle : $1 \text{ cm} \leftrightarrow 10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.



TD Comportement des systèmes mécaniques: cinématique du solide

On souhaite maintenant simuler un largage du missile 3 suivant la direction \vec{j}_{01} dans le repère R_0 de l'avion. Les questions suivantes font référence à cette configuration.

Question 6 : *Quel est alors le mouvement du missile 3 par rapport à 0. En déduire la relation entre $\dot{\alpha}$ et $\dot{\beta}$ à imposer.*

Question 7 : *À partir de l'expression de $\vec{V}_{F \in 3/0}$, en déduire une relation entre α , $\dot{\alpha}$ et $\dot{\lambda}$ à imposer.*

Question 8 : *En déduire une expression simplifiée de $\vec{V}_{F \in 3/0}$, puis une troisième relation entre les paramètres cinématiques à imposer afin d'obtenir une vitesse de largage constante.*

Question 9 : *Lister les relations entre les paramètres cinématiques, déterminées précédemment, qui permettent de répondre au cahier des charges.*