

CENTRE D'INTÉRÊT ING-SYS-2

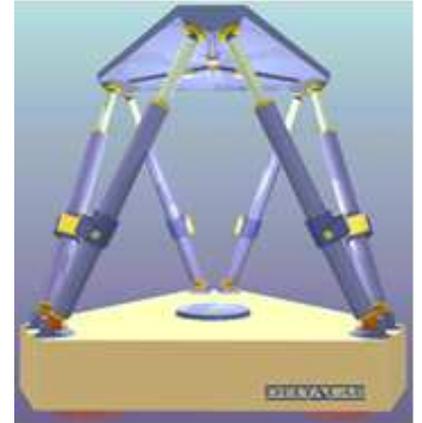
RÉALISER L'ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE DES SYSTÈMES

ASSOCIER PUIS VALIDER DES CRITÈRES DE PERFORMANCE À UN SYSTÈME.

1 Contexte industriel

La plate-forme 6 axes que vous avez devant vous est une maquette d'un robot parallèle de type Stewart. On oppose cette technologie de robot aux bras manipulateurs de type anthropomorphique composé de plusieurs éléments disposés en série. Les robots parallèles offrent l'avantage d'être très robustes et de produire des accélérations très importantes sur de faibles courses.

Ces caractéristiques ont naturellement conduit ce type de robot à être utilisé dans les simulateurs afin de reproduire des accélérations et donc des sensations les plus proches possibles de la réalité. On trouve également des plate-forme 6 axes dans les machines outils à commande numérique pour le positionnement relatif des pièces et des outils. L'encombrement au sol et la limitation des déplacements possibles restent les contraintes les plus importantes pour l'utilisation de ces robots.



2 Expression du besoin

On souhaite reproduire le basculement d'une voiture dans un virage. Une étude préalable a montré que l'on pouvait assimiler ce mouvement à une rotation autour d'un axe horizontal fixe. Plusieurs problèmes se posent alors :

- Comment simuler une rotation autour d'un axe fixe ?
- Quelles sont les valeurs extrêmes de rotation possibles permises par la plate-forme ?
- Dans ces conditions, pour un virage donné, quelle est la vitesse maxi de déplacement que l'on peut simuler ?

3 Présentation du système du laboratoire - Etude structurelle

3.1 Présentation générale

Le système du laboratoire se compose d'une plate-forme mobile reliée à une embase fixe par l'intermédiaire de 6 vérins électriques. Chaque vérin est en liaison rotule d'une part avec l'embase et d'autre part avec la plate-forme.

On commande les mouvements de la plate-forme à l'aide de l'ordinateur équipé d'un logiciel de commande et d'une carte de communication avec la partie opérative.

3.2 Etude fonctionnelle et structurelle d'un vérin électrique

Un vérin électrique est un actionneur qui permet d'obtenir un mouvement de translation rectiligne d'une pièce appelée " tige " à partir d'une énergie électrique. Il existe aussi des vérins utilisant des énergies pneumatique et hydraulique.

On se propose d'étudier la structure interne de ce composant et d'en établir le graphe fonctionnel. On considèrera donc le vérin comme un système automatisé à part entière et non comme l'un des actionneurs du système global " plate-forme ". On dispose pour cela d'un vérin complet monté et d'un vérin en pièces détachées (mallette).

On pourra également utiliser la description des constituants fournie en annexe 1 ainsi qu'une présentation multimédia du vérin.

Fonctionnement de la présentation multimédia :

- | | |
|---|---|
| 1. Allumer l'ordinateur (à la demande du mot de passe, cliquer sur OK) | 3. Choisir " mécanismes " |
| 2. Lancer le logiciel " liaisons " (double-cliquer sur l'icône correspondant) | 4. Cliquer sur l'image de la plate-forme |
| | 5. Choisir " Etude détaillée " puis " description " |
| | 6. Cliquer sur l'animation de votre choix |

Q - 1 : Déterminer la fonction réaliser par le vérin dans l'ensemble plate-forme (on considèrera la tige du vérin comme matière d'œuvre).

Q - 2 : Donner la ou les pièce(s) réalisant les fonctions d'actionneur, de transmetteur, d'adaptateur et d'effecteur.

Q - 3 : En vous inspirant des exemples traités en cours, tracer le graphe fonctionnel du vérin électrique représentant les chaînes d'énergie et d'information. On indiquera notamment le ou les composants réalisant chaque fonction générique ainsi que la nature des données circulant entre les constituants.

4 Mode de commande de la plate-forme

4.1 Paramétrage général

Pour commander le mouvement de la plate-forme, il est nécessaire de procéder au " paramétrage ". Cette étape a pour but de déterminer le nombre et le type de paramètres géométriques qui permettent de définir de manière unique la position de la plate-forme dans l'espace.

Le paramétrage complet n'est pas donné car il n'est pas indispensable d'en prendre connaissance pour mener à bien ce T.P.. Cela fera l'objet d'une prochaine activité dans le courant du trimestre.

Seules les figures de l'annexe 3 donnent la disposition des différents axes supports des mouvements de la plate-forme.

4.2 Mode de commande de la plate-forme

Lancer le logiciel "Plate-Forme". Dans le menu "Fichier", choisir "Nouveau".

Le menu Acquisition permet de définir le mouvement que l'on souhaite réaliser. Il se compose ainsi :

- | | | |
|-----------|-----------------|--|
| Inverse : | qi_Act | Définition de la position de la plate-forme en fonction du temps |
| | qi°_Act | Définition de la vitesse de déplacement de la plate-forme |
| | $qi_Réf$ | Définition de la position de référence (à ne pas changer) |
| Direct : | Li_act | Définition de la longueur de chaque vérin en fonction du temps |
| | Li°_act | Définition de la vitesse de translation de chaque vérin |
| | $Li_Réf$ | Définition des longueurs de référence (à ne pas changer) |

Il y a donc deux modes de commande de la plate-forme : " inverse " ou " direct ".

Il va de soit que le mode inverse est beaucoup plus simple d'accès et nous allons donc travailler sur ce mode de commande.

Si on choisit le mode qi_Act , il apparaît alors un tableau contenant 6 variables définissant la position de la plate-forme. Il s'agit ici de donner l'expression de ces 6 variables en fonctions d'une même variable u , de préciser les bornes de variations de celle-ci et de choisir le nombre de positions calculées.

Ces 6 variables correspondent à des mouvements possibles de la plate-forme :

- Faire varier θ_x provoque une rotation autour d'un axe porté par \vec{x}_M et passant par le centre de la plate-forme. Un autocollant indique la direction \vec{x}_M sur la plate-forme.
- Faire varier θ_y provoque une rotation autour d'un axe porté par \vec{y}_M et passant par le centre de la plate-forme. Un autocollant indique la direction \vec{y}_M sur la plate-forme.
- Faire varier θ_z provoque une rotation autour d'un axe porté par \vec{z}_M et passant par le centre de la plate-forme. \vec{z}_M est directement perpendiculaire à \vec{x}_M et \vec{y}_M .
- Faire varier xm provoque une translation dans la direction \vec{x}_F . Un autocollant indique cette direction sur l'embase fixe.
- Faire varier ym provoque une translation dans la direction \vec{y}_F . Un autocollant indique cette direction sur l'embase fixe.
- Faire varier zm provoque une translation dans la direction \vec{z}_F . \vec{z}_F est directement perpendiculaire à \vec{x}_F et \vec{y}_F .

4.3 Exemple de manipulation

Choisir $zm=100$, $\theta_z = u$ et prendre 0 pour les autres variables. Indiquer que les bornes de u sont 0 et 0,2. Nombre de points=10. Cliquer sur OK puis sur l'icône calcul. Dans le menu Pilotage, choisir "Action" puis "Simple". Valider et observer...

Faire varier les différents paramètres pour vous familiariser avec la commande de la plate-forme. Ne pas y passer beaucoup de temps !

5 Simulation du basculement

On souhaite simuler une rotation autour d'un bord de la plate-forme.

5.1 Paramétrage spécifique au problème posé

Se reporter à l'annexe 2 "Paramétrage du basculement".

On définit H comme étant le projeté orthogonal de O_M sur la droite (B_4B_5) et on appelle R la distance O_MH .

On pose $\delta = (\vec{x}_1, \vec{x}_M) = (\vec{z}_F, \vec{z}_M)$ l'angle de rotation de la plate-forme orienté par rapport à $-\vec{y}_M$.

L'angle δ est le seul paramètre variable du problème.

5.2 Paramètres de commande

Une étude cinématique complète a permis d'établir les paramètres de commande suivants pour le mouvement demandé :

$$\begin{cases} \theta_z = 0 \\ \theta_x = 0 \\ \theta_y = -u \end{cases} \left| \begin{array}{l} xm = R \cdot (\cos(u) - 1) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) \\ ym = R \cdot (\cos(u) - 1) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \\ zm = R \cdot \sin(u) \end{array} \right.$$

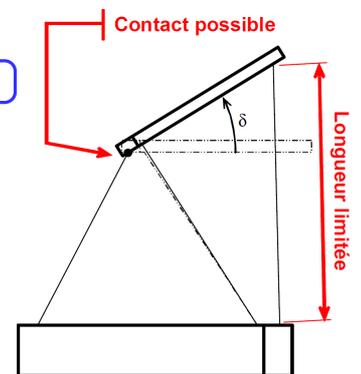
u est la variable utilisée par le logiciel. Elle désigne ici la valeur de l'angle δ . On prendra $R = 114,3$ mm. Choisir 0 et 0,2 pour les bornes de variation de u et tester le mouvement.

6 Recherche de la rotation maximale de la plate-forme

Pour des raisons techniques dues à la conception de la plate-forme 6 axes, les amplitudes des mouvements de celle-ci sont limitées. Nous allons dans cette partie chiffrer la valeur maximale de l'angle de rotation admissible pour le problème posé du basculement autour d'un bord fixe.

6.1 Causes de la limitation des mouvements

Pendant le mouvement, on observe un allongement des vérins (1,2) et (3,6). La longueur des vérins (4,5) reste constante. Les vérins 1 et 2 sont les plus sollicités et leur longueur maximale est une première limite au basculement de la plate-forme. D'autre part, on observe que l'angle formé entre la plate-forme et les vérins 4 et 5 se réduit pendant le mouvement. Une trop forte rotation entraînerait un contact plate-forme / vérin.



6.2 Rotation maximale admissible

ATTENTION ! avant de lancer le pilotage de la plate-forme, le logiciel de commande **n'effectue pas** de vérification du mouvement demandé. Si on lui demande un mouvement non réalisable par la plate-forme, le système de pilotage commande alors un déplacement " approchant " le déplacement souhaité mais en tenant compte de limites évoquées au paragraphe précédent. Par exemple, si on demande une translation verticale de 3m, la plate se déplace en translation verticale jusqu'aux butées mécaniques des vérins.

Pour estimer la rotation maximale réellement admissible par la plate-forme, il faut donc vérifier que les critères limites sont validés pour l'ensemble du mouvement demandé.

Nous allons pour cela utiliser la fonction " courbes " du menu " Res_X " qui permet d'afficher les longueurs de vérins et les angles critiques au cours du mouvement (fonction $Y(\text{position})$). Il est alors possible de vérifier que les valeurs demandées restent à l'intérieur des limites admissibles. **ATTENTION !** Il faut vérifier les paramètres " L_vérin " et " Alpha_mobile " correspondant aux deux causes de limitations (voir 6.1).

Q - 4 : *En augmentant progressivement les bornes de variations de la variable u et en utilisant la fonction décrite ci-dessus, déterminer l'angle de rotation maximal de la plate-forme dans le mouvement simulé en 5.2. On demande une valeur au centième de radian près.*

6.3 Application au basculement d'un véhicule automobile

Une étude mécanique portant sur le mouvement d'un véhicule lors d'un virage a permis de déterminer la relation suivante :

$$\tan(\alpha) = \frac{2 \cdot m \cdot V^2 \cdot h}{k \cdot L^2 \cdot R} \text{ avec :}$$

- α : angle d'inclinaison du véhicule
- m : masse de la voiture
- V : vitesse de la voiture
- R : rayon de courbure du virage
- h : hauteur du centre de gravité de la voiture
- k : raideur des amortisseurs
- L : empattement

Q - 5 : Pour les valeurs numériques suivantes, déterminer la vitesse maximale que l'on peut simuler sur la plate-forme 6 axes du laboratoire. Conclure.

$$m = 1200 \text{ kg} ; R = 5,6 \text{ m (braquage maxi)} ; h = 0,5 \text{ m} ; k = 20000 \text{ N/m} ; L = 1,4 \text{ m}$$

(valeurs pour un véhicule de type Renault Scénic)

6.4 Recherche approfondie de l'angle maxi de rotation

La position initiale du mouvement simulé correspond aux 6 vérins rentrés (position de référence). Il serait peut-être intéressant de se demander si la position initiale a une influence sur la valeur maxi de la rotation. Pour cela, nous allons modifier le paramètre de commande z_m en lui ajoutant une constante A , ce qui correspond à une position initiale parallèle à la position de référence et surélevée d'une distance A .

Q - 6 : Pour $A = 20$ et $A = 30$, rechercher la valeur maxi de la rotation de la plate-forme et les comparer à la valeur obtenue à la question 5.2 pour $A = 0$. Les résultats vous semblent-ils cohérents. Pourquoi ?

Les résultats obtenus ci-dessus font apparaître l'existence d'une position initiale optimale permettant d'obtenir une plus forte rotation que pour $A = 0$. Une étude approfondie montre que la rotation maxi est obtenue pour $A = 24,82$ mm.

Q - 7 : Pour cette valeur, déterminer la rotation maxi ainsi que la vitesse maximale que l'on peut simuler pour le véhicule décrit à la question 5.

Q - 8 : Conclure sur l'étude complète.

• **Moteur (1)**

La transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique s'effectue par un moteur électrique à courant continu tournant en régime à environ 6000 tr/min.

• **Réducteur planétaire (3)**

La fréquence de rotation du moteur est élevée, elle doit être réduite. L'objectif fixé par les concepteurs étant d'obtenir une vitesse de sortie de tige du vérin de 50 mm/s . Ce réducteur réalise une première réduction de 1/19,4.

• **Dynamo tachymétrique (2)**

Ce composant a pour but de mesurer en permanence la vitesse du moteur. L'asservissement de position prend en compte cette information et peut ainsi de réduire la vitesse du moteur lorsque le système s'approche de la consigne.

• **Codeur absolu (15)**

Ce composant capteur a pour objectif de relever en permanence l'angle de rotation de la vis (4). L'asservissement de position se sert de cette information pour assurer sa fonction.

• **Système vis-écrou (6) et (7) tige de guidage (8)**

Ce système a pour objectif de transformer le mouvement de rotation engendré par le moteur électrique en mouvement de translation de la tige de vérin (9). L'écrou est réalisé en matière plastique revêtu de téflon afin de faciliter son glissement sur la vis en acier. Il est lié de façon complète (collé) à la tige de vérin (9). La vis tourne par rapport au bâti. L'écrou doit donc se translater par rapport à celui-ci. La tige de guidage (15) empêche la rotation de l'écrou.

- **Système roue-vis (4) et (5)**

L'objectif de ce système est de faire en sorte que l'axe du codeur tourne d'un angle inférieur à un tour lorsque le vérin effectue sa course

- **Corps de vérin (11)**

La partie supérieure du corps de vérin est tubulaire et se termine par une bague couvercle dans laquelle est emmanchée serrée une bague bronze (16) qui facilitera le glissement de la tige de vérin (9).

- **Rotules (10) et (13)**

Ces rotules situées aux extrémités du vérin ont pour fonction de faire en sorte que le vérin puisse s'orienter de façon quelconque par rapport à son support.

- **Accouplement d'arbres**

Il s'agit d'un accouplement rigide entre arbres. Cette pièce sert à relier l'axe de sortie du réducteur à la vis. Les vis sans tête assurent la liaison en rotation entre accouplement et bouts d'arbres. Ceux-ci comportent des plats afin d'assurer une liaison plus efficace.

- **Support de codeur (14)**

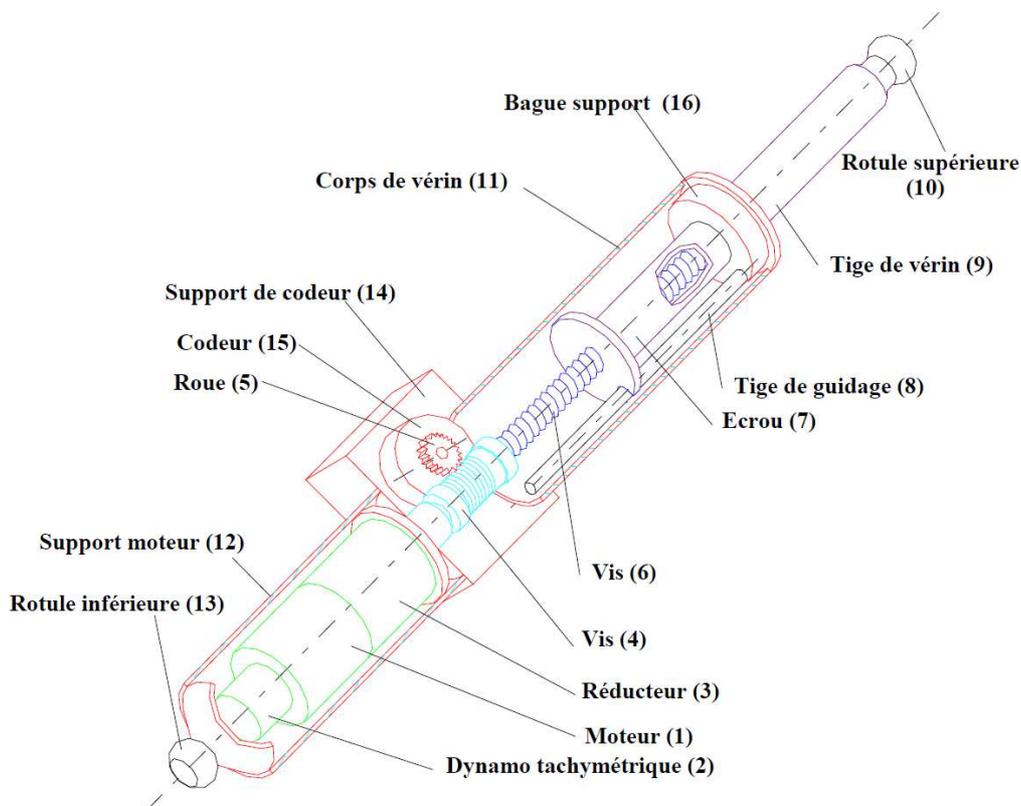
Il s'agit d'une pièce dont les fonctions sont : - de relier les parties inférieures et supérieures du corps de vérin ; - de supporter le capteur de rotation ; - de guider en rotation la vis du système roue-vis.

- **Bague support (16)**

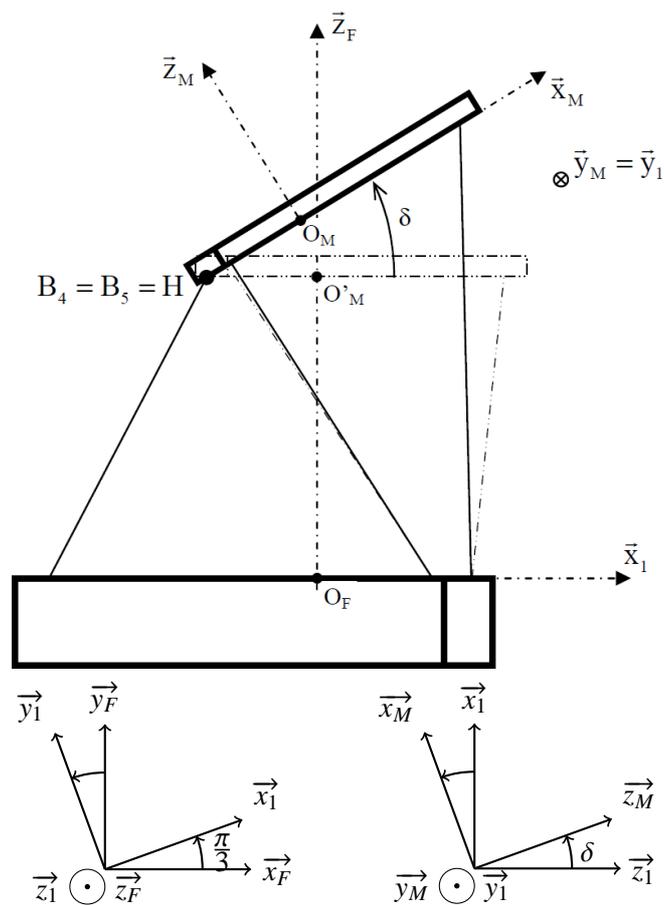
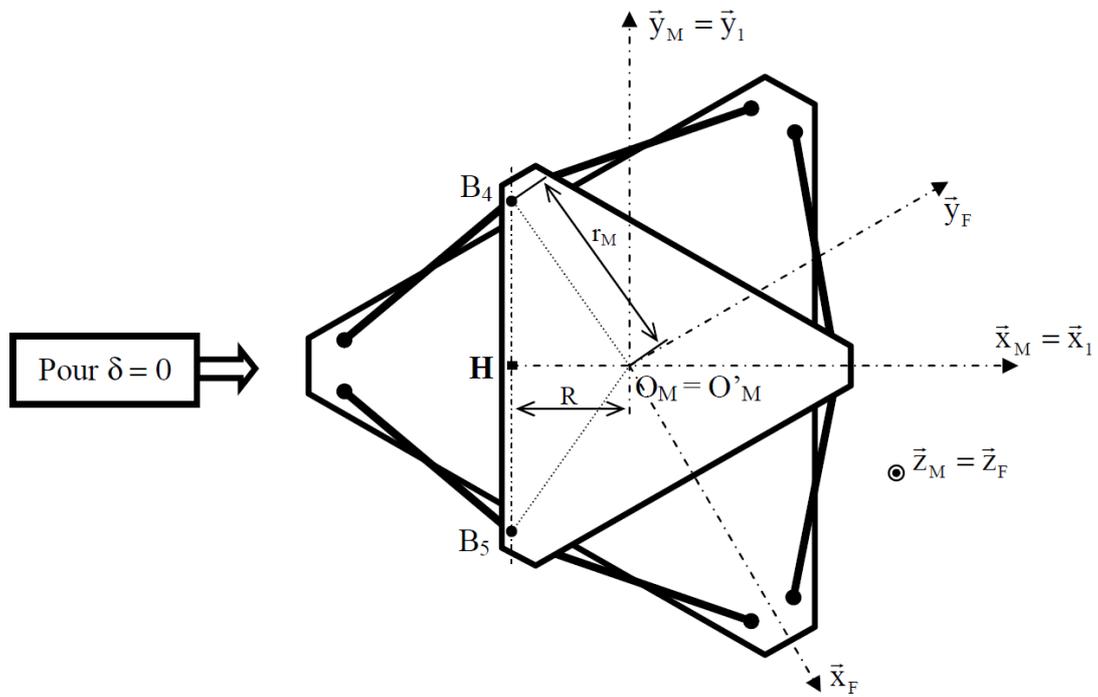
Il s'agit d'une pièce cylindrique dont les fonctions sont : - participer au guidage de la tige supérieure de vérin ; - maintenir la tige anti-rotation de l'écrou.

- **Bague de glissement**

Il s'agit d'une bague cylindrique en bronze auto-lubrifiant dont la fonction est de guider la tige supérieure en acier inoxydable du vérin en minimisant l'énergie dissipée par frottement. En effet, le couple acier/bronze admet un coefficient de frottement relativement faible. Elle est emmanchée serrée dans la bague support (16).



Annexe 1 : constituants du vérin électrique



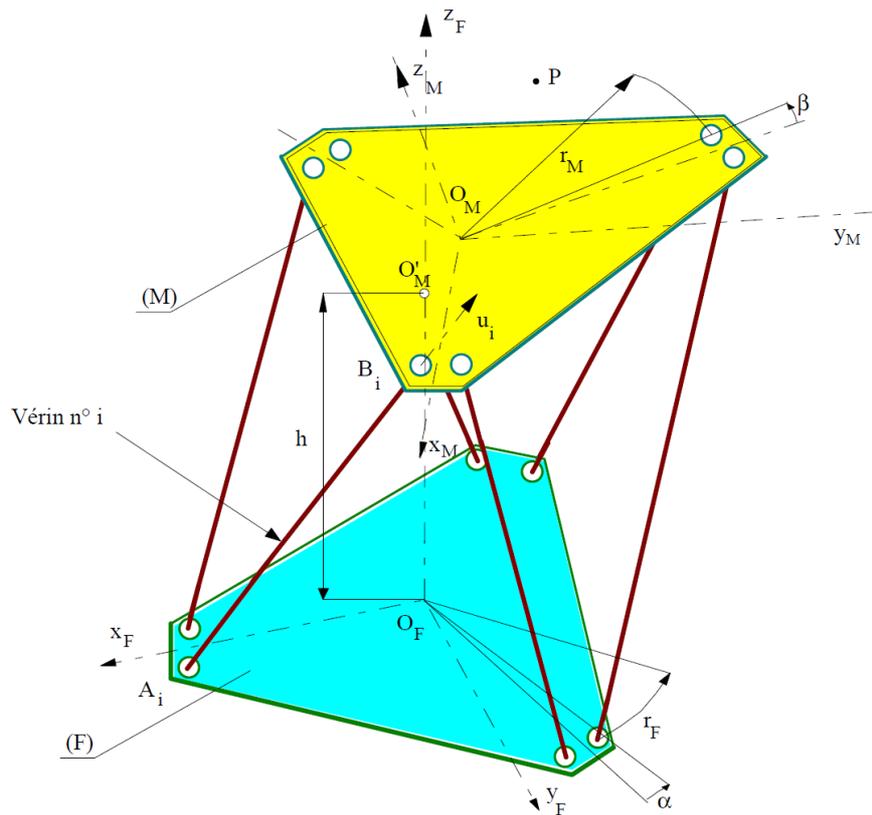


Figure 1 : Repérage de la plate-forme supérieure

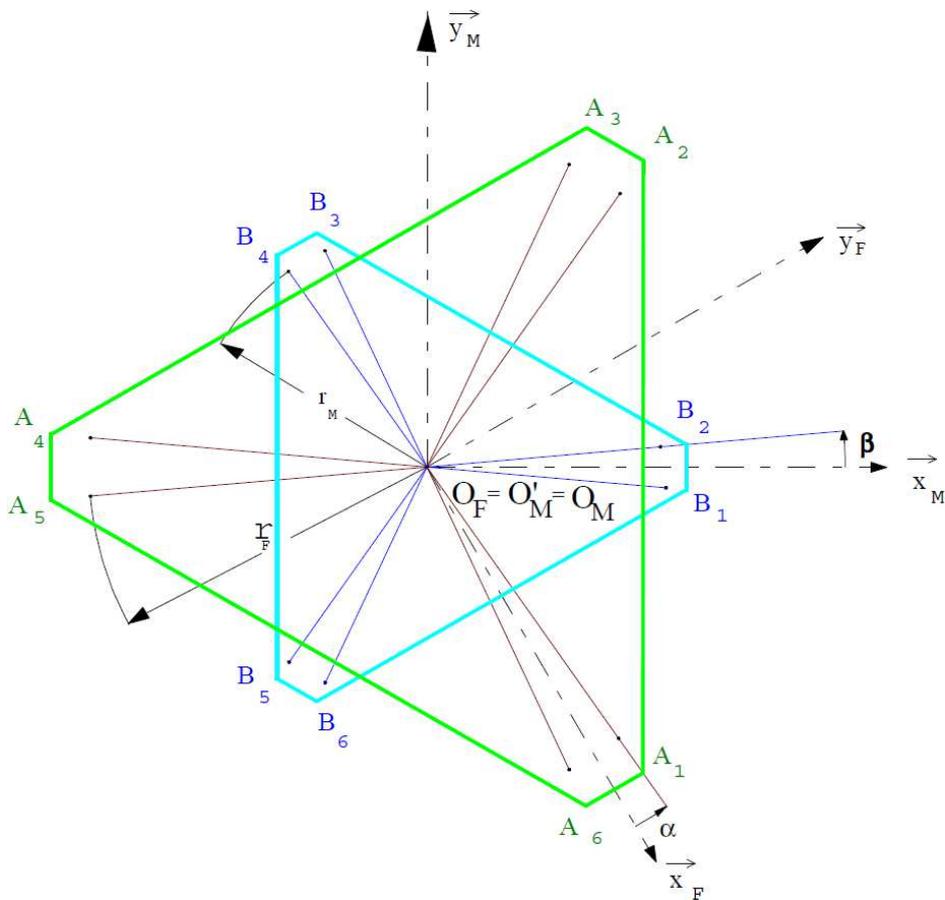


Figure 2 : Paramétrage de l'embase inférieure et de la plate-forme : position de référence