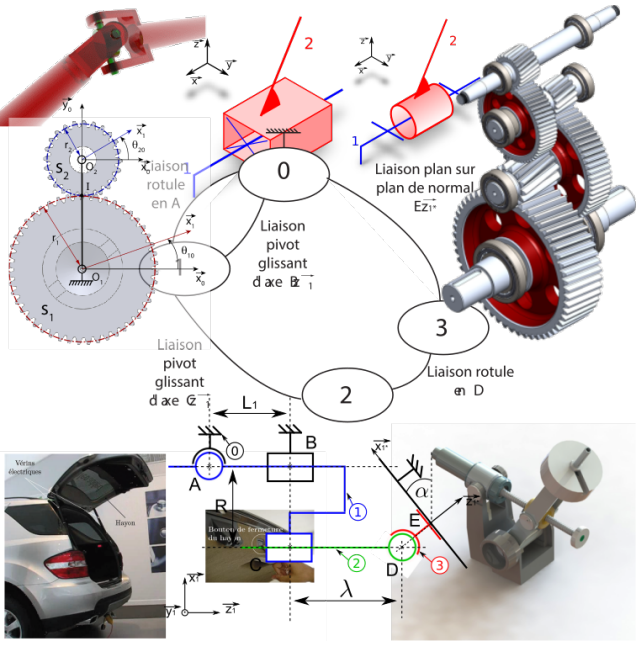




LYCÉE LA MARTINIÈRE MONPLAISIR LYON

SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR

CLASSE PRÉPARATOIRE P.S.I.

ANNÉE 2026 - 2027

C3 : MODÉLISATION DES CHAÎNES DE SOLIDE : LOIS ENTRÉES/SORTIES ET CONTRAINTES GÉOMÉTRIQUES

C3-1 - Modélisation structurelle des systèmes composés de chaines de solides

12 Octobre 2026

Vidéo 1

Compétences

- **Analyser**
  - Isoler un système et justifier l'isolement.
  - Définir les éléments influents du milieu extérieur.
- **Modéliser**
  - Choisir un modèle adapté aux performances à prévoir ou à évaluer.
  - Proposer une modélisation des liaisons avec leurs caractéristiques géométriques.
  - Proposer un modèle cinématique à partir d'un système réel ou d'une maquette numérique.
  - Modéliser une action mécanique.
  - Simplifier un modèle de mécanisme.
- **Résoudre**
  - Proposer une démarche permettant la détermination d'une action mécanique inconnue ou d'une loi de mouvement.
  - Caractériser le mouvement d'un repère par rapport à un autre repère.
- **Communiquer**
  - Lire et décoder un document technique.
  - Produire des documents techniques adaptés à l'objectif de la communication.
  - Utiliser un vocabulaire technique, des symboles et des unités adéquats.

Table des matières

I Introductions et définitions 2
1 Contact entre les solides . . . 2
2 Degrés de liberté . . . 2
II Modélisation des liaisons entre solides 2
1 Liaisons normalisées . . . 2
2 Tableau des liaisons cinématiques/statiques normalisées . . . 9
III Chaînes de solides 12
1 Chaînes ouvertes, fermées, complexes . . . 12
2 Représentation des systèmes : graph des liaisons et schémas cinématiques . . . 13
3 Association de liaisons : liaisons équivalentes . 13
a) Liaisons en parallèle . . . 14
b) Chaînes continues ouvertes ou liaisons en série . . . 15
c) Conclusion . . . 17

I. Introductions et définitions

1 Contact entre les solides

Définition 1 : *Système mécanique*

Un **système mécanique** est composé de plusieurs solides qui sont liés entre eux par **des liaisons mécaniques**.

Remarque 1 :

Une liaison mécanique résulte d'un contact entre deux solides. Dans la réalité tout contact est surfacique mais suivant les dimensions de certaines zones de contact, on peut idéaliser le contact comme étant parfois ponctuel ou linéaire. La nature des surfaces de contact va engendrer des mouvements relatifs autorisés entre les deux solides.

2 Degrés de liberté

Les mouvements relatifs autorisés entre deux solides liés par une liaison mécanique sont les degrés de liberté. Dans l'espace (3D), on considère 6 degrés de liberté élémentaires (3 translations et 3 rotations) que l'on donne par rapport à un repère $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$.

- rotations respectivement autour de $(O, \vec{x})$, $(O, \vec{y})$ et $(O, \vec{z})$: R_x, R_y et R_z,
- translations respectivement suivant $\vec{x}$, $\vec{y}$ et $\vec{z}$: T_x, T_y et T_z.

Les degrés de liberté autorisés par une liaison dépendent des surfaces de contact entre les solides.



FIGURE 1 – Exemple de mobilités : livre sur une table.

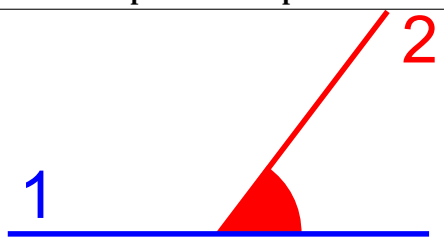
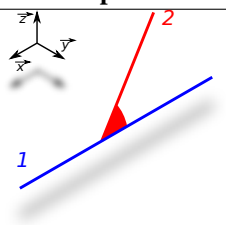
II. Modélisation des liaisons entre solides

1 Liaisons normalisées

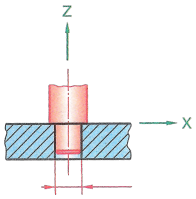
Il existe 11 liaisons usuelles et normalisées entre deux solides. Elles sont définies ci-dessous. Un tableau récapitulatif est donné dans la partie **??**. Ces liaisons sont considérées comme parfaites, c'est à dire avec des contacts géométriques parfaits et sans jeu (ce qui est rarement le cas dans la réalité).

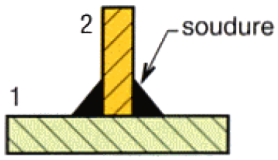
Pour la suite de la section, on considère deux solides S_1 et S_2 en liaison.

La liaison encastrement Aussi appelée “liaison fixe” ou “liaison complète”, cette liaison n’admet aucun degré de liberté. Elle est rarement utilisée.

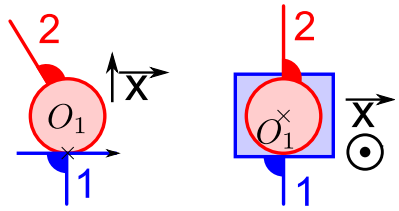
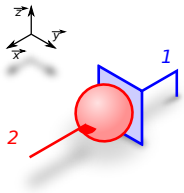
Liaison Encastrement		
Degrés de liberté	**Symbole normalisé**	
	Représentation plane	**Perspective**
0 degré de liberté : • 0 rotation • 0 translation		

Exemple 1 :



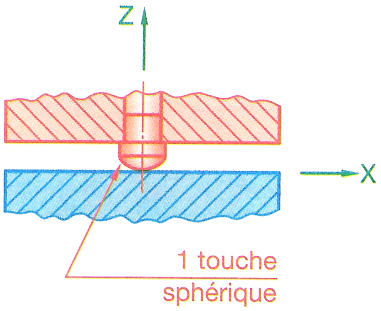


La liaison sphère-plan

Liaison sphère-plan de centre O_1, de normale v_x		
Degrés de liberté	**Symbole normalisé**	
	Représentation plane	**Perspective**
5 degrés de liberté : • 3 rotations : R_x, R_y, R_z • 2 translations : T_y, T_z		

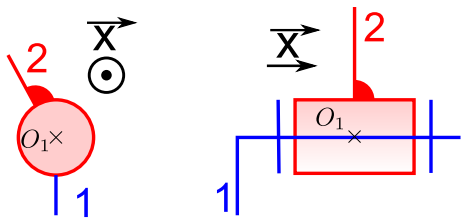
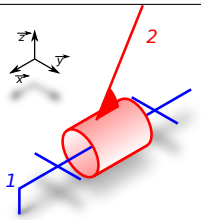
Historiquement appelée “*liaison ponctuelle*”, elle constitue **une liaison élémentaire : toute autre liaison peut être considérée comme une combinaison de liaisons sphère-cylindre.**

Exemple 2 :

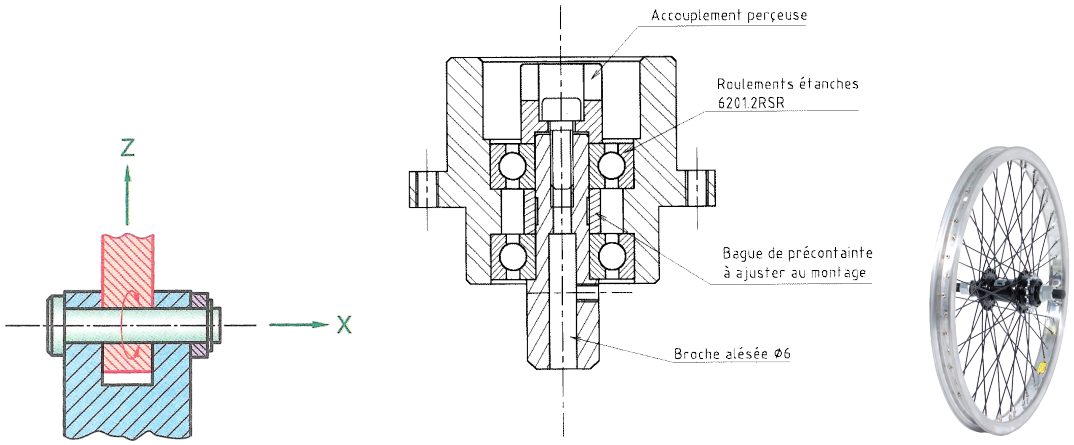




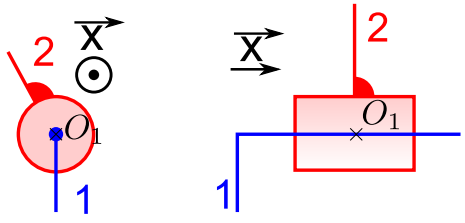
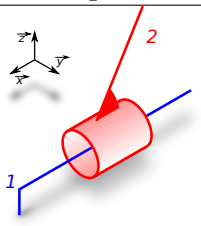
La liaison pivot

Liaison pivot d'axe $(O_1, \vec{v}_x)$		
Degrés de liberté	**Symbole normalisé**	
	Représentation plane	**Perspective**
1 degré de liberté : • 1 rotation : R_x • 0 translation		

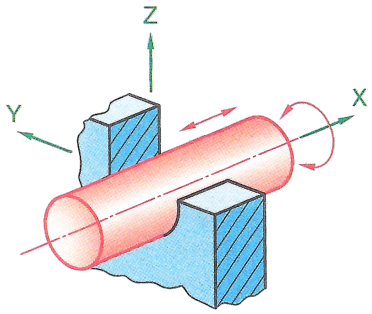
Exemple 3 :



La liaison pivot-glissant

Liaison pivot-glissant d'axe $(O_1, \vec{v}_x)$		
Degrés de liberté	**Symbole normalisé**	
	Représentation plane	**Perspective**
2 degrés de liberté : • 1 rotation : R_x • 1 translation : T_x		

Exemple 4 :





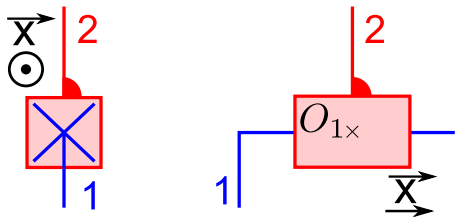
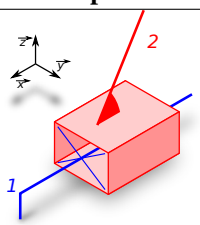
Attention :

Un arbre de diamètre D dans un alésage de longueur L pourra être modélisé avec une **liaison pivot-glissant si le guidage est long** (c'est à dire si L est suffisamment grand par rapport à D). Généralement, on considère que c'est le cas si :

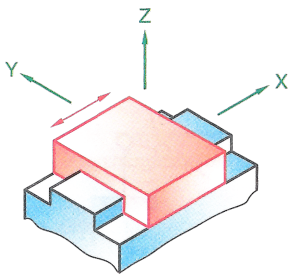
$$\frac{L}{D} \geq 1,5$$

Dans le cas contraire, elle sera assimilée à une **liaison sphère-cylindre**.

La liaison glissière

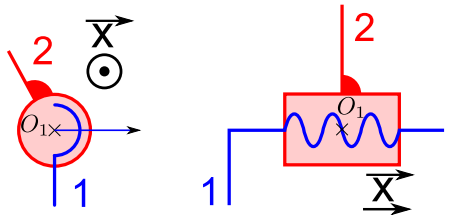
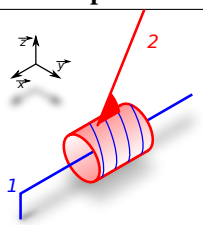
Liaison glissière d'axe υ_x		
Degrés de liberté	**Symbole normalisé**	
	Représentation plane	**Perspective**
1 degré de liberté : • 0 rotation : • 1 translation T_x		

Exemple 5 :





La liaison hélicoïdale

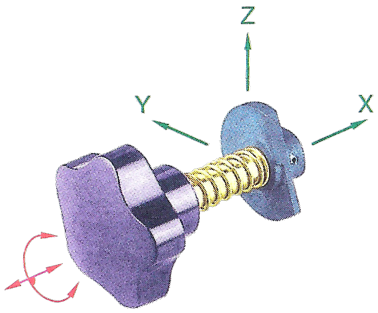
Liaison hélicoïdale d'axe $(O_1, \vec{v}_x)$		
Exemple de désignation	**Symbole normalisé**	
	Représentation plane	**Perspective**
1 rotation R_x + 1 translation T_x couplée		

Un seul degré de liberté est considéré. Le mouvement de rotation R_x et celui de translation T_x sont couplés et ne constituent ainsi qu'un seul mouvement indépendant.

Définition 2 : *pas de la liaison hélicoïdal*

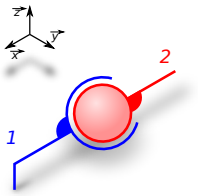
On appelle **le pas de la liaison hélicoïdal** le rapport entre la translation et la rotation : $p = 2\pi \frac{T_x}{R_x}$

Exemple 6 :

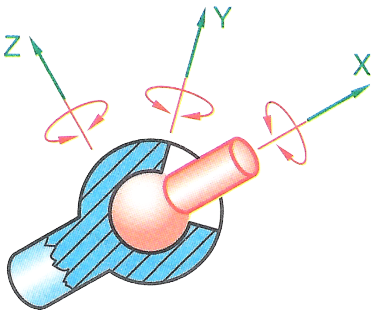




La liaison sphérique

Liaison sphérique de centre O_1		
Exemple de désignation	**Symbole normalisé**	
	Représentation plane	**Perspective**
3 degrés de liberté : • 3 rotations : R_x, R_y, R_z • 0 translation		

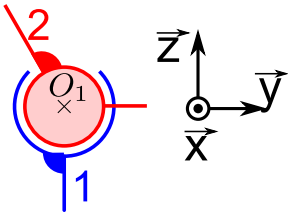
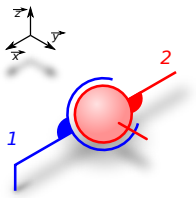
Exemple 7 :



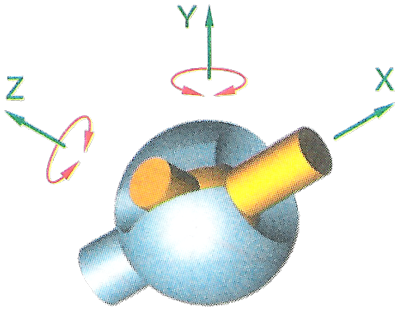


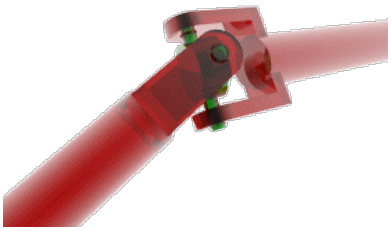


La liaison sphérique à doigt

Liaison sphérique de centre O_1		
Exemple de désignation	**Symbole normalisé**	
	Représentation plane	**Perspective**
2 degrés de liberté : • 2 rotations : R_x, R_y • 0 translation		

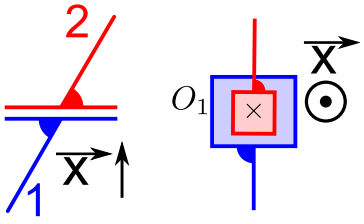
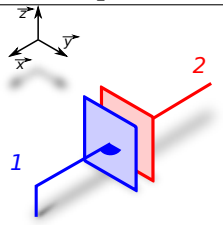
Exemple 8 :





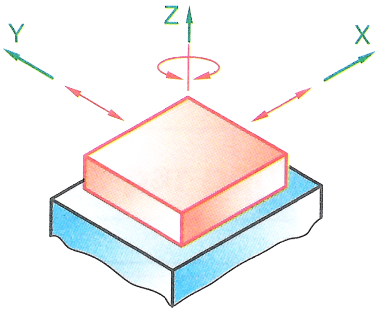


La liaison plan-plan

Liaison plan-plan de normale v_x		
Exemple de désignation	**Symbole normalisé**	
	Représentation plane	**Perspective**
3 degrés de liberté : • 1 rotation : R_x • 2 translations : T_y, T_z		

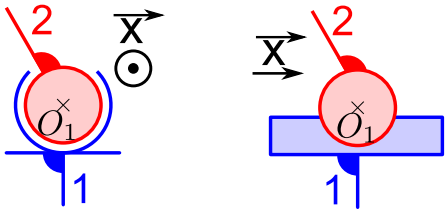
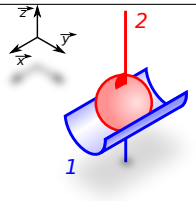
Historiquement, cette liaison s'appelait "*liaison appui-plan*". Cette dénomination est parfois encore utilisée.

Exemple 9 :



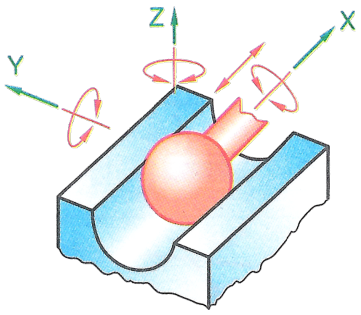


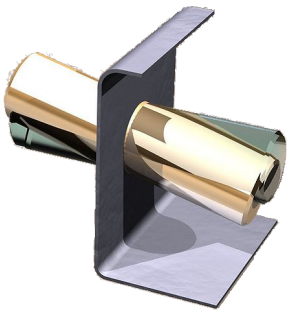

La liaison sphère-cylindre

Liaison sphère-cylindre d'axe $(O_1, \vec{v}_x)$		
Exemple de désignation	**Symbole normalisé**	
	Représentation plane	**Perspective**
4 degrés de liberté : • 3 rotations : R_x, R_y, R_z • 1 translation : T_x		

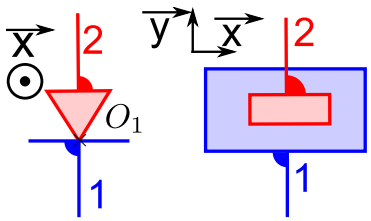
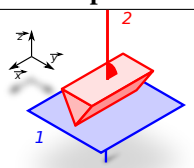
Cette liaison était autrefois appelée "*linéaire anulaire*"

Exemple 10 :

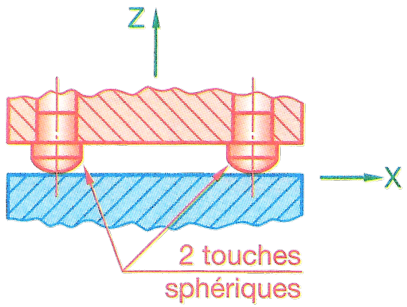


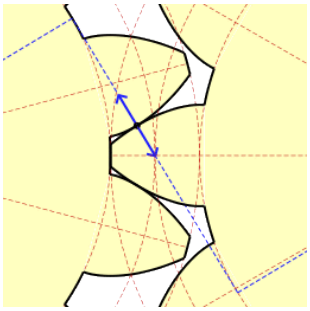


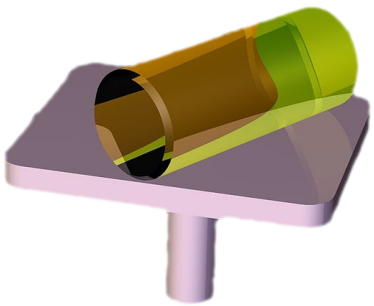

La liaison cylindre-plan Cette liaison était autrefois appelée "*linéaire-rectiligne*". Malgré son nom, elle se représente par un liaison de forme prismatique. Certains la représentent toutefois par un cylindre posé sur un plan.

Liaison cylindre sur plan d'axe $(O_1, \vec{v}_x)$, de normale $\vec{v}_z$		
Exemple de désignation	**Symbole normalisé**	
	Représentation plane	**Perspective**
4 degrés de liberté : • 2 rotations : R_x, R_z • 2 translations : T_x, T_y		

Exemple 11 :







2 Tableau des liaisons cinématiques/statiques normalisées

Définition 3 : ***Torseur cinématique du mouvement relatif entre deux solides***

On caractérise le mouvement relatif du solide S_2 par rapport au solide S_1 pour le torseur cinématique qu'on exprimera en un point P :

$$\left\{\mathcal{V}_{(S_2/S_1)}\right\} = \left\{\begin{array}{c} \overrightarrow{\Omega_{(S_2/S_1)}} \\ \vec{V}(O_1 \in S_2/S_1) \end{array}\right\}_{O_1} = \left\{\begin{array}{cc} p_{21} & u_{21} \\ q_{21} & v_{21} \\ r_{21} & w_{21} \end{array}\right\}_{O_1,R} = \left\{\begin{array}{c} p_{21}\vec{x}_1 q_{21}\vec{y}_1 + r_{21}\vec{z}_1 \\ u_{21}\vec{x}_1 + v_{21}\vec{y}_1 + w_{21}\vec{z}_1 \end{array}\right\}_{O_1} \quad (1)$$

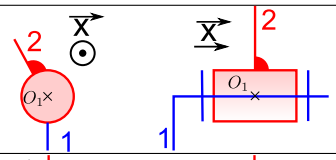
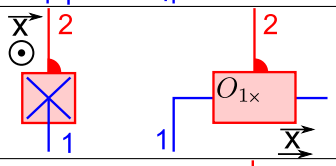
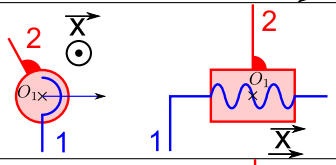
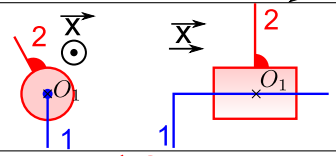
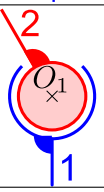
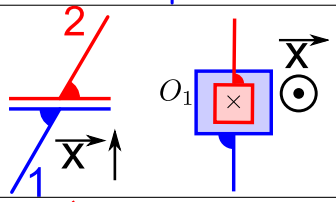
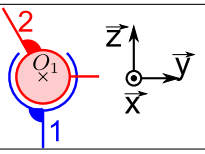
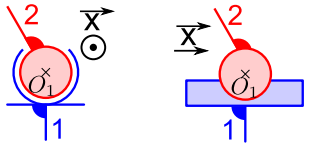
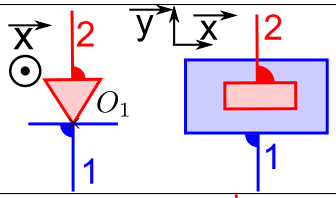
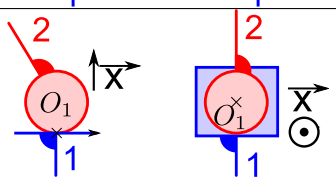
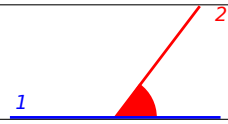
- $R\left(O_1, \vec{x_1}, \vec{y_1}, \vec{z_1}\right) = R_1\left(O_1, \vec{x_1}, \vec{y_1}, \vec{z_1}\right)$, le repère lié à S_1
- p_{21}, q_{21} et r_{21} sont les composantes du vecteur rotation instantané $\overrightarrow{\Omega_{(S_2/S_1)}}$ dans le repère R.
- u_{21}, v_{21} et w_{21} sont les composantes du vecteur vitesse $\vec{V}(O_1 \in S_2/S_1)$ dans le repère R.

Définition 4 : ***Torseur d'actions mécaniques transmissibles entre deux solides***

On considère les liaisons réalisées par **contact direct** entre deux pièces, **sans frottement** et **sans jeu** (liaisons parfaites). Le torseur d'action de contact est aussi appelé torseur statique, torseur d'inter-efforts ou torseur transmissible. On se donne un repère $R = \left(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}\right)$ centré sur chaque liaison. Dans le cas des liaisons entre une pièce S_1 et S_2, les composantes du torseur seront souvent exprimées avec les notations de torseur-colonne suivantes :

$$\left\{\mathcal{T}_{(1\to 2)}\right\} = \begin{Bmatrix} X_{12} & L_{12} \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{Bmatrix}_{\substack{P \\ (\vec{x},\vec{y},\vec{z})}}$$

- X_{12},Y_{12} et Z_{12} sont les projections de la résultante dans la base $\left(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}\right)$,
- L_{12},M_{12} et N_{12} sont les projections du moment en P dans la base $\left(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}\right)$.

Nom	Paramétrage	Torseur cinématique : $\{\mathcal{V}_{(2/1)}\}$	Torseur statique : $\{\mathcal{T}_{(1\to2)}\}$
Liaisons pivot d'axe $(\Delta) = (O_1, \vec{x})$ $\forall M \in (O_1, \vec{x})$		$\left\{\begin{matrix} p_{21} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$	$\left\{\begin{matrix} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$
Liaisons glissière de direction $\vec{x}$ $\forall M$		$\left\{\begin{matrix} 0 & u_{21} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$	$\left\{\begin{matrix} 0 & L_{12} \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$
Liaisons hélicoïdale d'axe $(\Delta) = (O_1, \vec{x})$ et de pas p $\forall M \in (O_1, \vec{x})$		$\left\{\begin{matrix} p_{21} & u_{21} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$ $u_{21} = +\frac{p}{2\pi} p_{21}$	$\left\{\begin{matrix} X_{12} & L_{12} \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$ avec $L_{12} = -\frac{p}{2\pi} X_{12}$
Liaison pivot glissant d'axe $(\Delta) = (O_1, \vec{x})$ $\forall M \in (O_1, \vec{x})$		$\left\{\begin{matrix} p_{21} & u_{21} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$	$\left\{\begin{matrix} 0 & 0 \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$
Liaison sphérique de centre O_1		$\left\{\begin{matrix} p_{21} & 0 \\ q_{21} & 0 \\ r_{21} & 0 \end{matrix}\right\}_{O_1}^{(-,-,-)}$	$\left\{\begin{matrix} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & 0 \\ Z_{12} & 0 \end{matrix}\right\}_{O_1}^{(-,-,-)}$
Liaison plane de normale $\vec{x}$ $\forall M$		$\left\{\begin{matrix} p_{21} & 0 \\ 0 & v_{21} \\ 0 & w_{21} \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$	$\left\{\begin{matrix} X_{12} & 0 \\ 0 & M_{12} \\ 0 & N_{12} \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$
Liaison sphérique à doigt de centre O_1 et d'axe bloqué $\vec{z}$		$\left\{\begin{matrix} p_{21} & 0 \\ q_{21} & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}\right\}_{O_1}^{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$	$\left\{\begin{matrix} X_{12} & 0 \\ Y_{12} & 0 \\ Z_{12} & N_{12} \end{matrix}\right\}_{O_1}^{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$
Liaison sphère-cylindre ou linéaire annulaire d'axe $(O_1, \vec{x})$, O_1 centre de la sphère		$\left\{\begin{matrix} p_{21} & u_{21} \\ q_{21} & 0 \\ r_{21} & 0 \end{matrix}\right\}_{O_1}^{(\vec{x},-,-)}$	$\left\{\begin{matrix} 0 & 0 \\ Y_{12} & 0 \\ Z_{12} & 0 \end{matrix}\right\}_{O_1}^{(\vec{x},-,-)}$
Liaison cylindre-plan ou linéaire rectiligne d'axe $(O_1, \vec{x})$ et de normale $\vec{z}$ $\forall M \in (O_1, \vec{x}, \vec{z})$		$\left\{\begin{matrix} p_{21} & u_{21} \\ 0 & v_{21} \\ r_{21} & 0 \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$	$\left\{\begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & M_{12} \\ Z_{12} & 0 \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$
Liaison sphère-plan ou ponctuelle de normale $(O_1, \vec{x})$ $\forall M \in (O_1, \vec{x})$		$\left\{\begin{matrix} p_{21} & 0 \\ q_{21} & v_{21} \\ r_{21} & w_{21} \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$	$\left\{\begin{matrix} X_{12} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}\right\}_{M}^{(\vec{x},-,-)}$
Liaison encastrement $\forall M$		$\left\{\begin{matrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix}\right\}_{M}^{(-,-,-)}$	$\left\{\begin{matrix} X_{12} & L_{12} \\ Y_{12} & M_{12} \\ Z_{12} & N_{12} \end{matrix}\right\}_{M}^{(-,-,-)}$

III. Chaînes de solides

1 Chaînes ouvertes, fermées, complexes

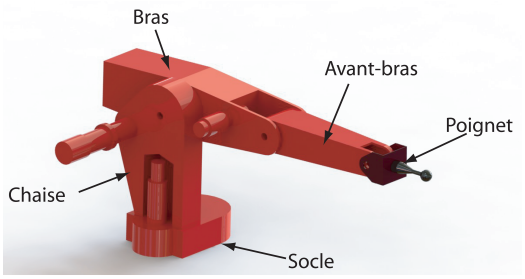
Définition 5 : *Systèmes et chaînes de solide*

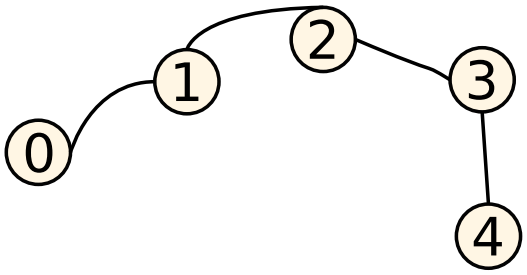
Un **système et composé de chaînes de solides** : solides liés par des **liaisons mécaniques**. On peut rencontrer différentes architectures de chaînes de solides :

- **Chaîne ouverte :** Une chaîne de solides $S_1, S_2, S_3, \cdots, S_n$ est ouverte si les solides des extrêmes sont différents.
- **Chaîne fermée :** Une chaîne de solides $S_1, S_2, S_3, \cdots, S_n$ est fermée si le solide initial est le même que le solide final.
- **Chaîne complexe :** Une chaîne de solides $S_1, S_2, S_3, \cdots, S_n$ est complexe si elle comporte plusieurs chaînes ouvertes ou fermées.

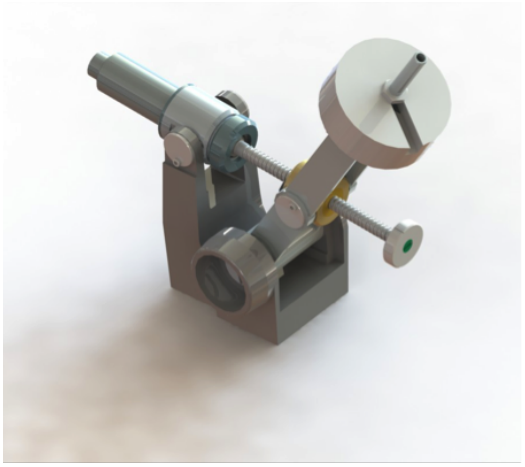
Exemple 12 :

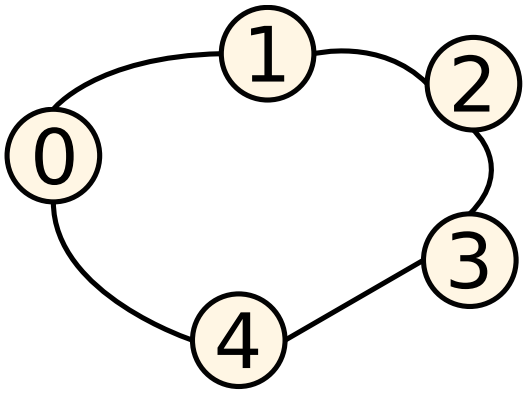
chaîne ouverte : Robot Ericc





chaîne fermée : Robot Maxpid

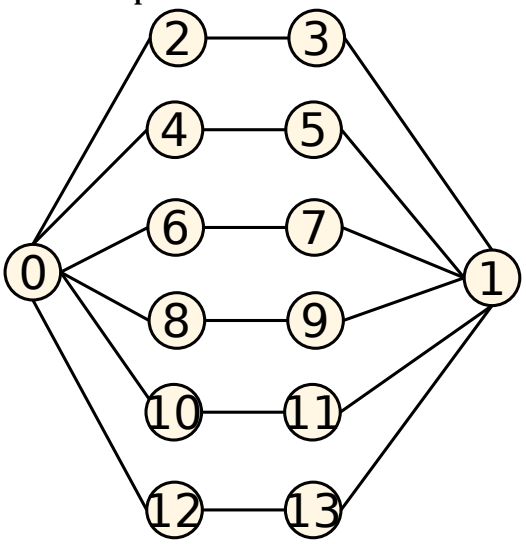




Exemple 12 :

chaîne complexe : Robot hexapod





2 Représentation des systèmes : graph des liaisons et schémas cinématiques

Nous prendrons comme exemple dans ce cours, la pompe à pistons axiaux. Nous avons retenu une modélisation avec 4 classes d'équivalence y compris le bâti :

- 0 : bâti ;
- 1 : Barillet ;
- 2 : piston ;
- 3 : poussoir.

On note n le nombre de classes d'équivalence hors bâti (ici $n = 3$). Dans cette étude, on se place directement dans la base $B_1 = (\vec{x_1}, \vec{y_1}, \vec{z_1})$ qui est en rotation par rapport à la base $B_O = (\vec{x_0}, \vec{y_0}, \vec{z_0})$ autour de l'axe $\vec{z_0} = \vec{z_1}$ avec le paramètre de rotation θ. Le plateau inclinable est supposé fixe au cours du temps. On lui associe le repère $R_{0*} = (\vec{x_{0*}}, \vec{y_{0*}}, \vec{z_{0*}})$ qui est en rotation par rapport au repère $R_O = (\vec{x_0}, \vec{y_0}, \vec{z_0})$ autour de l'axe $\vec{y_0}$ avec le paramètre angulaire α. On introduit le repère $R_{1*} = (\vec{x_{1*}}, \vec{y_{1*}}, \vec{z_{1*}})$ directement obtenu à partir de R_{0*} par une rotation autour de $\vec{z_{0*}}$ et d'angle θ. On donne également,

- $\overrightarrow{AB} = L_1 \vec{z_0}$
- $\overrightarrow{BC} = -R\vec{x_1}$
- $\overrightarrow{CD} = \lambda \vec{z_1}$
- $\overrightarrow{DE} = h\vec{z_{1*}}$

Les liaisons entre les différentes classes d'équivalence permettent de modéliser le système avec le **schéma cinématique** de la figure 3 :

- Les liaisons sont parfaites : sans frottements ni jeux.
- Le poids et les effets d'inerties sont négligés.
- On introduit une action de pression s'exerçant sur le piston 2 assimilable à un glisseur d'axe central $(C, \vec{z_1})$ et qui a pour résultante en effort : $\overrightarrow{F_p} = F_p \vec{z_1}$

Le graphe de structure de la pompe à pistons axiaux est donné par la figure 2. On remarque que certaines liaisons sont en parallèles et d'autres en série.

3 Association de liaisons : liaisons équivalentes

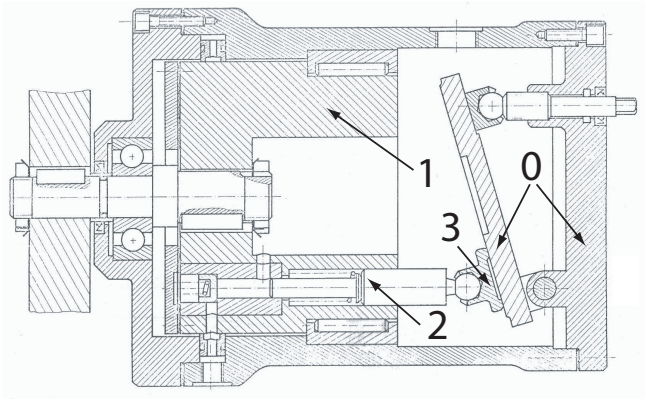
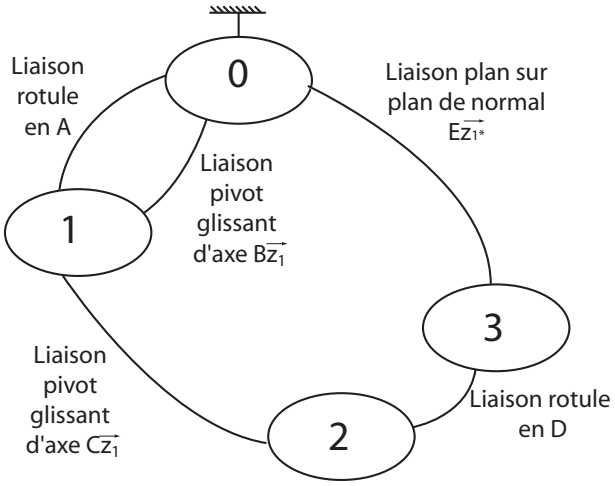


Schéma technologique



Graph des liaisons

FIGURE 2 – Schéma technologique et graph de liaison d'une pompe à pistons axiaux

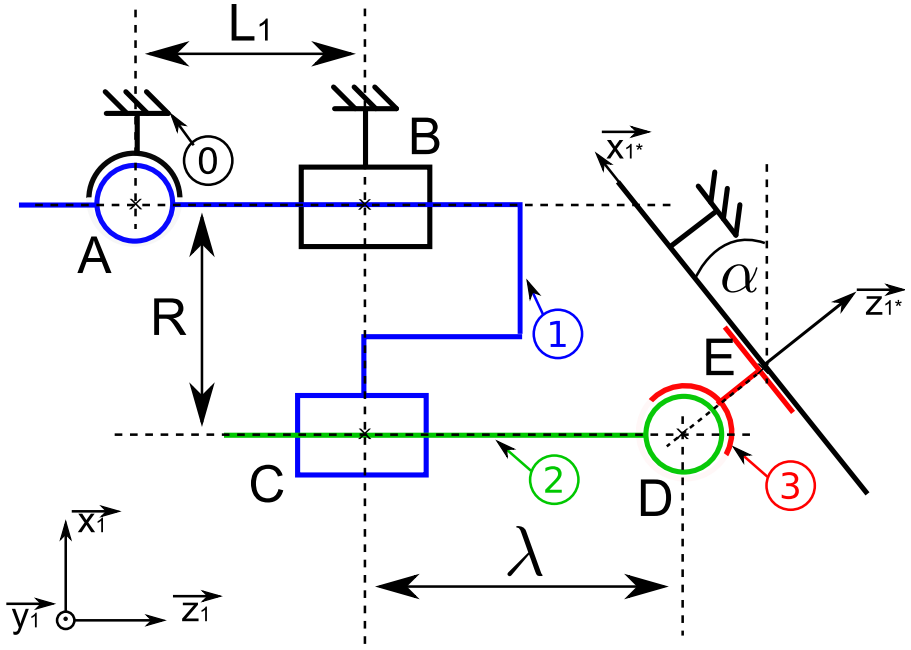
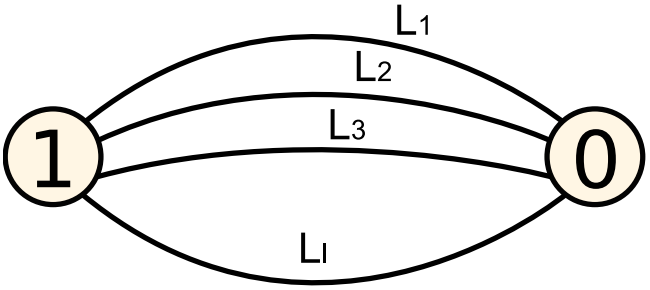


FIGURE 3 – Schéma cinématique d'une pompe à pistons axiaux

a) Liaisons en parallèle



Dans l'exemple du cours deux liaisons sont en parallèle entre le bâti 0 et le solide 1 (figure 4). Deux approches permettent alors de définir une liaison équivalente :

- l'approche statique,
- l'approche cinématique.

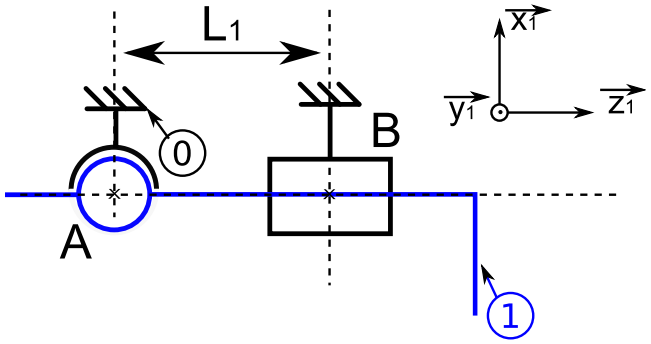


FIGURE 4 – Liaisons en parallèle

Approche statique : la plus naturelle

$$\left\{\mathcal{T}^{\text{équivalent}}_{(S_0\to S_1)}\right\} = \sum_{i=1}^{l}\left\{\mathcal{T}^{L_i}_{(S_0\to S_1)}\right\} = \left\{\mathcal{T}^{L_1}_{(S_0\to S_1)}\right\} + \left\{\mathcal{T}^{L_2}_{(S_0\to S_1)}\right\} + \cdots + \left\{\mathcal{T}^{L_l}_{(S_0\to S_1)}\right\} \quad (2)$$

Approche cinématique

$$\left\{\mathcal{V}^{\text{équivalent}}_{(S_1/S_0)}\right\} = \left\{\mathcal{V}^{L_1}_{(S_1/S_0)}\right\} = \left\{\mathcal{V}^{L_2}_{(S_1/S_0)}\right\} = \cdots = \left\{\mathcal{V}^{L_l}_{(S_1/S_1)}\right\} \quad (3)$$

Exemple 13 : ***Détermination par l'approche la plus naturelle : statique***

Pour l'exemple du cours, nous avons :

$$\left\{\mathcal{T}^{\text{équivalent}}_{(S_0\to S_1)}\right\} = \left\{\mathcal{T}^{A}_{(S_0\to S_1)}\right\} + \left\{\mathcal{T}^{B}_{(S_0\to S_1)}\right\}$$

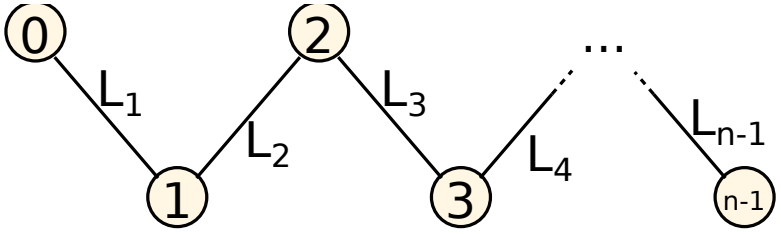
$$= \underset{\forall M\in(A,\vec{z}_1)}{\left\{\begin{array}{cc} X_{A01} & 0 \\ Y_{A01} & 0 \\ Z_{A01} & 0 \end{array}\right\}_{R_1}} + \underset{\forall M\in(A,\vec{z}_1)}{\left\{\begin{array}{cc} X_{B01} & L_{B01} \\ Y_{B01} & M_{B01} \\ 0 & 0 \end{array}\right\}_{R_1}}$$

Ce qui nous donne,

$$\left\{\mathcal{T}^{\text{équivalent}}_{(S_0\to S_1)}\right\} = \underset{A}{\left\{\begin{array}{cc} X_{A01}+X_{B01} & L_{B01} \\ Y_{A01}+Y_{B01} & M_{B01} \\ Z_{A01} & 0 \end{array}\right\}_{R_1}}$$

Ce qui nous donne,
Ainsi on reconnaît bien ici le torseur des efforts transmissible d'une liaison pivot d'axe $(A,\vec{z_0})$. qui correspond au torseur cinématique d'une liaison pivot d'axe $(A,\vec{z_1})$.

b) Chaînes continues ouvertes ou liaisons en série



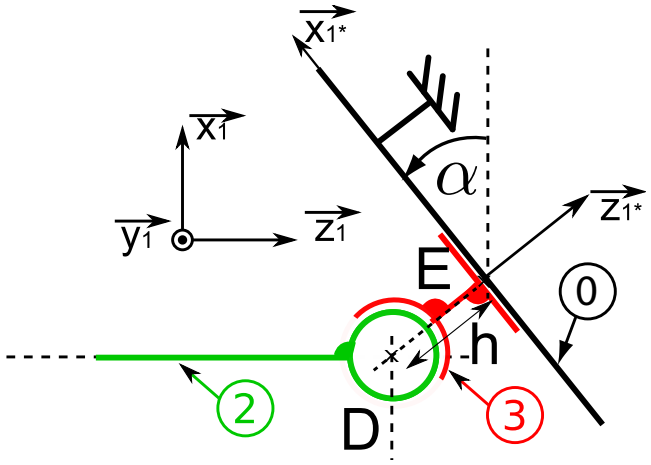


FIGURE 5 – Liaisons en série

Approche cinématique : la plus naturelle

$$\left\{\mathcal{V}_{(n-1/0)}\right\} = \left\{\mathcal{V}_{(n-1/n-2)}\right\} + \left\{\mathcal{V}_{(n-2/n-3)}\right\} + \cdots + \left\{\mathcal{V}_{(1/0)}\right\} \quad (4)$$

Approche statique

$$\left\{\mathcal{T}^{\text{équivalent}}_{(S_1\to S_2)}\right\} = \left\{\mathcal{T}^{L_1}_{(S_0\to S_1)}\right\} = \left\{\mathcal{T}^{L_2}_{(S_1\to S_2)}\right\} = \cdots = \left\{\mathcal{T}^{L_l}_{(S_{(l-1)}\to S_l)}\right\} \quad (5)$$

Exemple 14 :

Détermination par l'approche la plus naturelle : statique **Appliquons cette méthode pour obtenir le torseur cinématique du mouvement de** 2/0

$$\left\{\mathcal{V}_{(2/0)}\right\} = \left\{\mathcal{V}_{(2/3)}\right\} + \left\{\mathcal{V}_{(3/0)}\right\}$$

$$\left\{\mathcal{V}^{D}_{(S_2/S_3)}\right\} = {}_{D}\left\{\begin{array}{cc} p_{D23} & 0 \\ q_{D23} & 0 \\ r_{D23} & 0 \end{array}\right\}_{R_1} = {}_{D}\left\{\begin{array}{cc} p_{D23*} & 0 \\ q_{D23*} & 0 \\ r_{D23*} & 0 \end{array}\right\}_{R_{1*}} = {}_{E}\left\{\begin{array}{cc} p_{D23*} & h\cdot q_{D23*} \\ q_{D23*} & -h\cdot p_{D23*} \\ r_{D23*} & 0 \end{array}\right\}_{R_{1*}}$$

$$\left\{\mathcal{V}^{E}_{(S_3/S_0)}\right\} = {}_{E}\left\{\begin{array}{cc} 0 & u_{E30} \\ 0 & v_{E30} \\ r_{E30} & 0 \end{array}\right\}_{R_{1*}}$$

Finalement on trouve,

$$\left\{\mathcal{V}_{(2/0)}\right\} = {}_{E}\left\{\begin{array}{cc} p_{D23*} & u_{E30}+h\cdot q_{D23*} \\ q_{D23*} & v_{E30}-h\cdot p_{D23*} \\ r_{D23*}+r_{E30} & 0 \end{array}\right\}_{R_{1*}}$$

Ce qui correspond bien à une liaison de type ponctuelle de centre E et de normale $\overrightarrow{z_{1*}}$.

c) Conclusion

Important : *Méthodologie*

- **La méthode cinématique** est plutôt adaptée pour les liaisons en **séries** : somme des torseurs cinématiques.
- **La méthode statique** est plutôt utilisée pour les liaisons en **parallèles** : somme des torseurs statiques.

Remarque 2 :

Dans les deux cas, il faut exprimer les torseurs au même point.