



# Modéliser et schématiser le comportement cinématique

## Objectifs

- Analyser un mécanisme en vue de définir les liaisons entre les classes d'équivalences
- Réaliser un graphe de liaisons et un schéma cinématique d'un mécanisme
- Définir les torseurs cinématique et actions transmissibles associés à chaque liaison

## Savoirs

Je connais:

- Les symboles des liaisons
- La définition des degrés de libertés
- Torseur cinématique et torseur des actions transmissibles associés à chaque liaison.

## Savoir Faire

Je sais faire:

- Analyser un système ou sa représentation 3D en vue de déterminer la nature d'une liaison
- Proposer et justifier un modèle de liaison entre deux solides à partir d'un système réel ou de sa représentation 3D
- Associer à une liaison un torseur d'action mécanique transmissible et un torseur cinématique
- Réaliser le graphe des liaisons de tout ou partie d'un mécanisme
- Proposer un schéma cinématique (plan ou 3D) minimal de tout ou partie d'un mécanisme
- Lire et interpréter un schéma

## Sommaire

<b>I. LE MODELE DE COMPORTEMENT CINEMATIQUE .....</b>	<b>2</b>
I.1. LE SCHEMA CINEMATIQUE .....	3
I.2. LE GRAPHE DE LIAISONS.....	3
<b>II. MODELISATION DES LIAISONS.....</b>	<b>4</b>
II.1. DEGRES DE LIBERTES .....	4
II.1.1. Repère local .....	4
II.2. HYPOTHESES- DE LIAISONS PARFAITES .....	4
II.3. NATURE GEOMETRIQUE DES CONTACTS .....	5
II.3.1. Surfaces élémentaires.....	5
II.3.2. Liaisons simples (association de surfaces élémentaires).....	6
II.3.3. Liaisons composées.....	7
II.4. TORSEUR CINEMATIQUE -TORSEUR DES ACTIONS TRANSMISSIBLES .....	8
II.4.1. Modélisation cinématique.....	8
II.4.2. Modélisation "statique" des liaisons .....	8
II.5. REPRESENTATION NORMALISEE DES LIAISONS ENTRE SOLIDES.....	9
<b>III. MODELISATION DES REALISATIONS .....</b>	<b>11</b>
<b>IV. AGENCEMENT DES LIAISONS.....</b>	<b>13</b>
<b>V. REALISATION DU SCHEMA CINEMATIQUE.....</b>	<b>14</b>
<b>VI. PRINCIPAUX SYMBOLES ASSOCIES AUX SYSTEMES MECANIQUES .....</b>	<b>17</b>

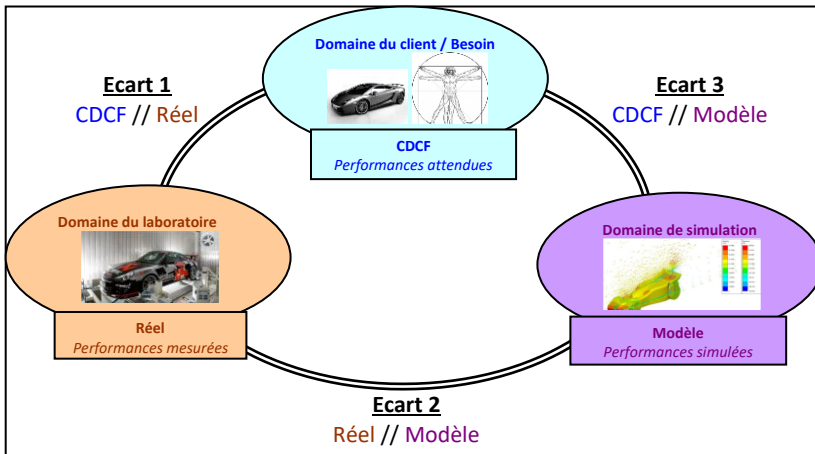
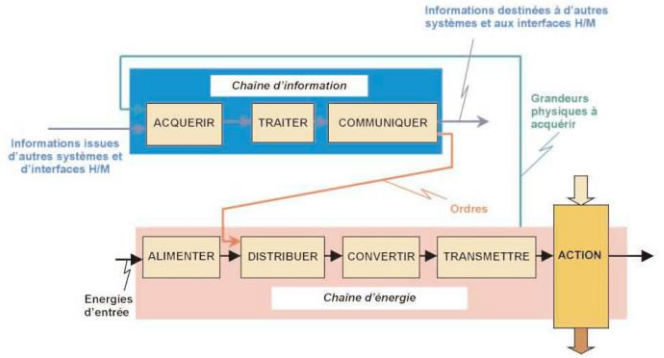
# I. Le modèle de comportement cinématique

Dans la chaîne d'action, l'énergie mécanique en sortie des actionneurs n'est pas, en générale, directement exploitable pour agir sur la matière d'œuvre. Des mécanismes sont utilisés pour adapter et transmettre les efforts et les mouvements nécessaires aux effecteurs.

Pour faciliter l'analyse d'un mécanisme, on associe au mécanisme réel un modèle à partir duquel on peut analyser les mouvements relatifs.

L'étude des mouvements relatifs entre solides est appelée **étude cinématique**. On va montrer comment dans un mécanisme, sont réalisées les liaisons entre solides et comment modéliser ces liaisons pour exploiter, expliquer ou calculer les relations entre les grandeurs d'entrée et de sortie des mécanismes.

L'objectif de l'ingénieur est de comprendre, analyser, améliorer ou valider un mécanisme réel. Pour cela, il faut d'abord le modéliser afin de pouvoir lui appliquer ensuite les lois de la mécanique du solide.



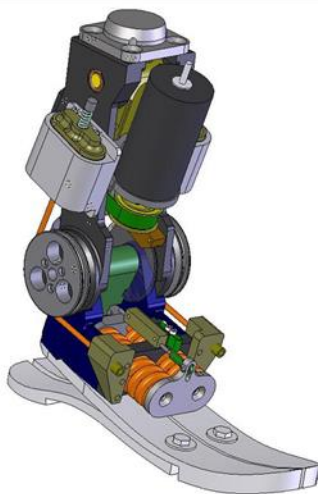
Le choix du modèle dépend :

- de l'étude que l'on cherche à mener
- du degré de précision demandée pour cette étude
- des moyens de calculs disponibles pour cette étude
- Le domaine de validité des lois de la mécanique implique la mise en place d'hypothèses simplificatrices lors de la phase de modélisation.

Le modèle cinématique est représenté par un schéma cinématique associé à un graphe de liaisons.



Prothèse transtibiale



Modèle numérique 3D

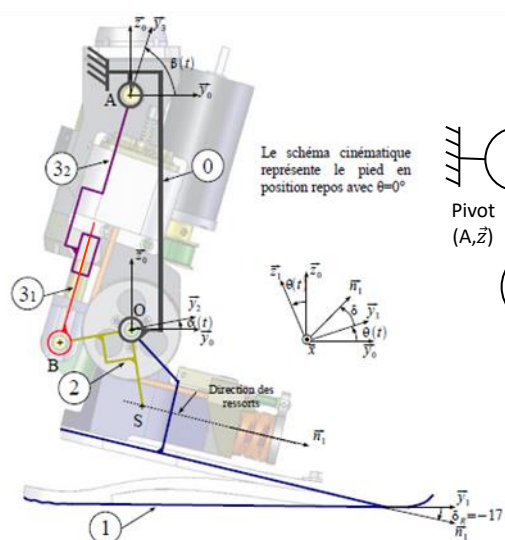
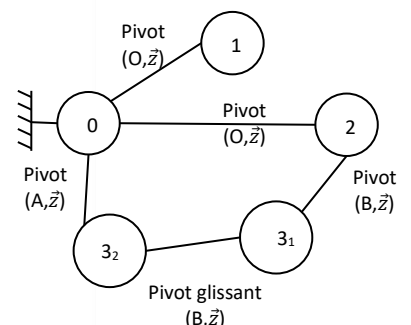


Schéma cinématique 2D



Graphe de liaisons

## I.1. Le schéma cinématique

**Le schéma cinématique est une représentation d'un mécanisme qui met en évidence les possibilités de mouvements relatifs entre les groupes cinématiquement liés (classes d'équivalences cinématiques).**

Les liaisons sont représentées par des **symboles normalisés** et sont positionnées dans l'espace en situation de fonctionnement.

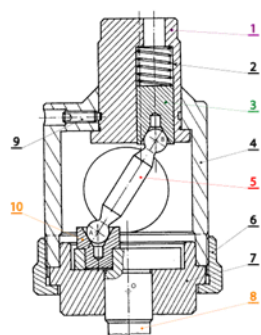
On ne représente **ni les épaisseurs de pièces**, ni les solutions technologiquement développées.

Le schéma cinématique revêt deux fonctions principales en Sciences de l'ingénieur:

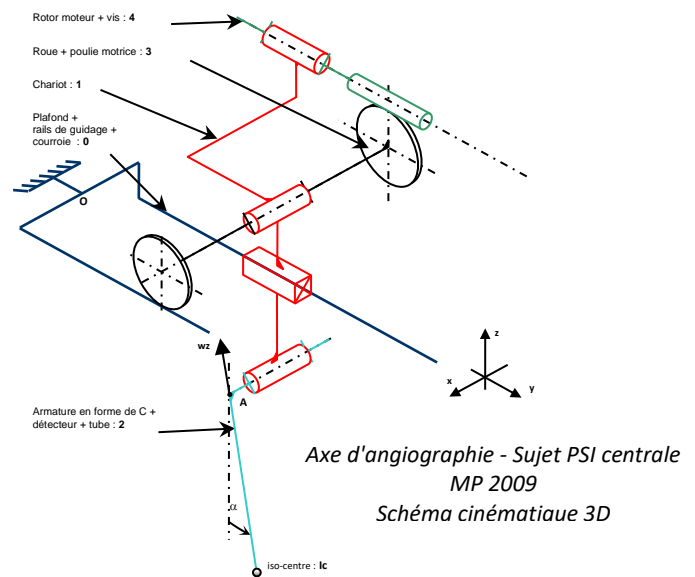
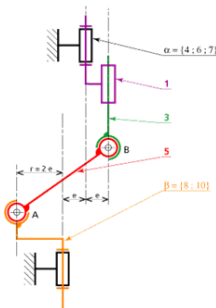
- **aide à la conception** en donnant le principe cinématique de fonctionnement.
- **aide à la compréhension** du dispositif existant.

S'il est **produit à l'échelle**, il peut servir de fond d'esquisse dans des calculs de **déplacements, de vitesses ou d'efforts**.

Quelques exemples de schémas cinématiques



Pompe à piston - Schéma cinématique 2D



Axe d'angiographie - Sujet PSI centrale MP 2009  
Schéma cinématique 3D

**Rq:** On appelle **Schéma cinématique minimal** celui qui représente un mécanisme avec au plus une **liaison mécanique** entre deux pièces ou classes d'équivalences.

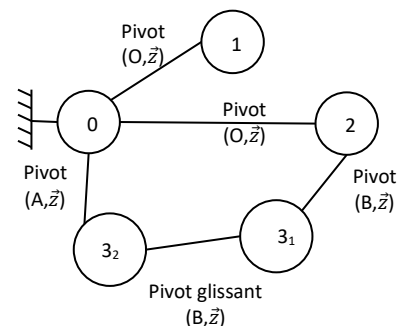
## I.2. Le graphe de liaisons

**Le graphe de liaison propose une représentation sous forme de graphe d'un modèle cinématique d'un mécanisme.**

On représente la **structure d'un mécanisme** à travers ses différentes **classes d'équivalences et liaisons** entre elles:

- les **classes d'équivalence** sont les **noeuds** du graphe
- les **liaisons** sont représentées par des **traits** entre les classes d'équivalences
- on précise si possible les caractéristiques géométriques des liaisons (centre, axe, direction, normale,...).

Le graphe de liaison et le schéma cinématique sont très souvent associés.



Prothèse transtibiale  
Graphe de liaisons

## II. Modélisation des liaisons

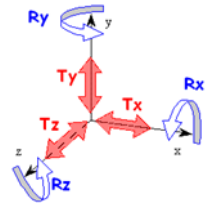
**Une liaison est un modèle de comportement cinématique qui définit les mouvements relatifs autorisés ou bloqués entre deux ensembles indéformables.**

Les liaisons les plus rencontrées en construction mécanique sont normalisées par la norme AFNOR (NF EN 23952) ou la norme ISO (ISO 3952-1).

### II.1. Degrés de libertés

Les possibilités de mouvement, dans l'espace, d'une classe d'équivalence par rapport à une autre dans un repère local  $R(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ , sont:

- 3 translations de directions  $\vec{x}$ ,  $\vec{y}$  ou  $\vec{z}$
- 3 rotations autour des axes  $\vec{x}$ ,  $\vec{y}$  ou  $\vec{z}$



**Les degrés de libertés d'une liaison sont les mouvements relatifs indépendants, entre deux classes d'équivalences, autorisés par la liaison. Les autres mouvements sont nécessairement bloqués.**

Le nombre de degrés de liberté entre deux solides est compris entre 0 et 6.

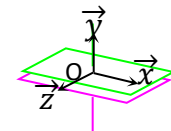
#### II.1.1. Repère local

Le repère  $R(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  est appelé repère local associé à la liaison à l'instant considéré.

##### Remarques

- En général, le repère local associé à la liaison n'est lié à aucun des deux solides en présence.
- Son origine est confondu avec un point caractéristique de la liaison et les vecteurs directeurs de sa base correspondent à des directions particulières.
- La position du repère local est choisie de façon que les mouvements élémentaires soient indépendants.

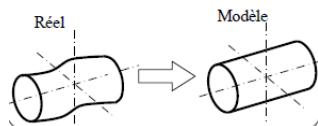
*Symbole 3D d'une liaison appui plan de centre O et de normale  $\vec{y}$*



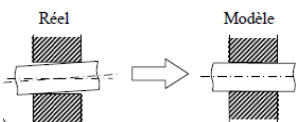
### II.2. Hypothèses- de liaisons parfaites

La modélisation cinématique des liaisons s'appuie sur les hypothèses suivantes:

- les solides sont **indéformables**,
- la **géométrie des pièces est parfaite** (cylindre parfait, plan parfait,...),



- **pas de jeu** dans les liaisons,



- **liaison bilatérales** (mouvement bloqués ou autorisés dans les deux sens),
- **pas de limitation d'amplitude** du mouvement.

## II.3. Nature géométrique des contacts

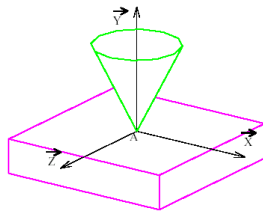
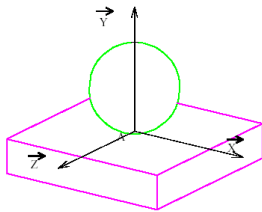
Une **liaison** entre solides existe lorsqu'il y a **contact entre des surfaces de ces 2 solides**. L'analyse des formes des surfaces en contact permet de déterminer quels sont les degrés de liberté supprimés.

### II.3.1. Surfaces élémentaires

On peut analyser les différents contacts à partir des surfaces élémentaires qui sont :

Le <b>cylindre de révolution</b> , obtenue par (tournage perçage)		Modèle : cylindre parfait
Le <b>plan</b> (fraisage, tournage)		Modèle : plan parfait
La <b>sphère</b> (tournage, CU)		Modèle : sphère parfaite

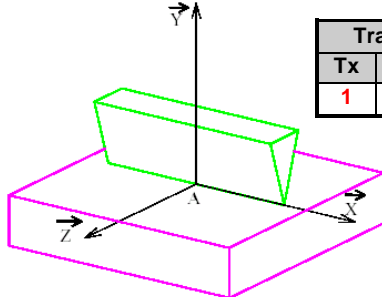
#### Contact ponctuel :



Translation			Rotation		
Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1	0	1	1	1	1

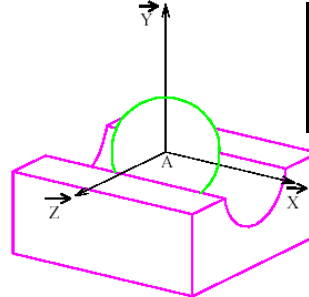
#### Contact linéique :

##### Contact linéique rectiligne



Translation			Rotation		
Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1	0	1	1	1	0

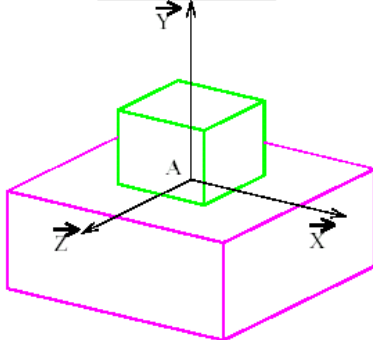
##### Contact linéique circulaire



Translation			Rotation		
Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1	0	0	1	1	1

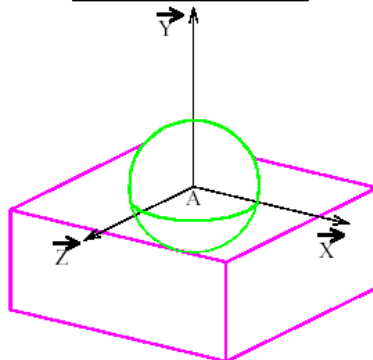
#### Contact surfacique :

##### Surface plane



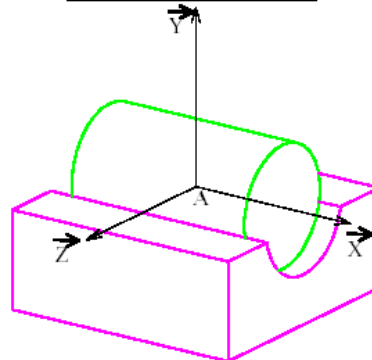
Translation			Rotation		
Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1	0	1	0	1	0

##### Surface sphérique



Translation			Rotation		
Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
0	0	0	1	1	1

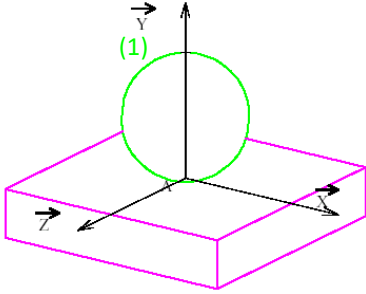
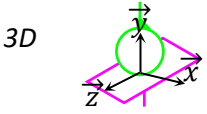
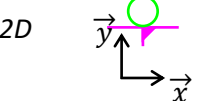
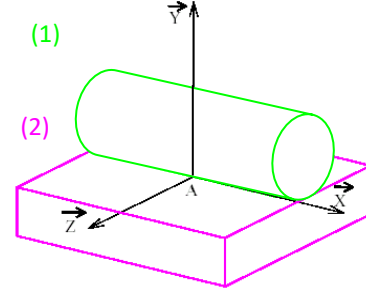
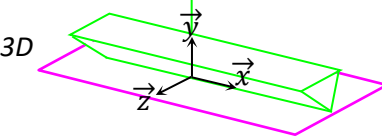
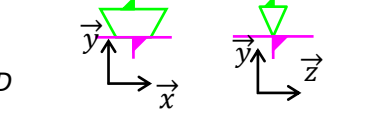
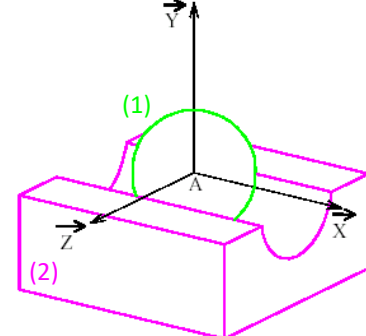
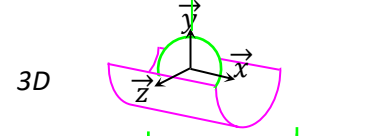
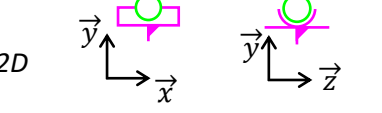
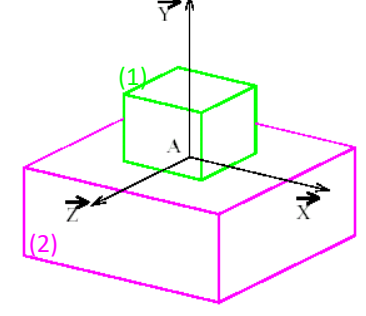
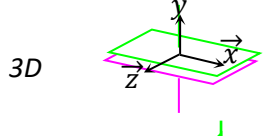
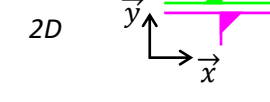
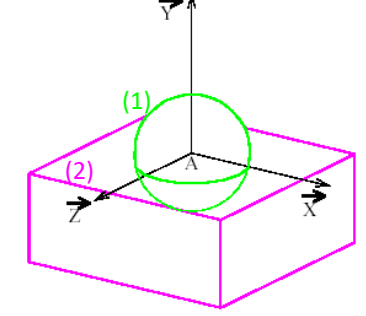
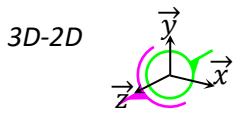
##### Surface cylindrique

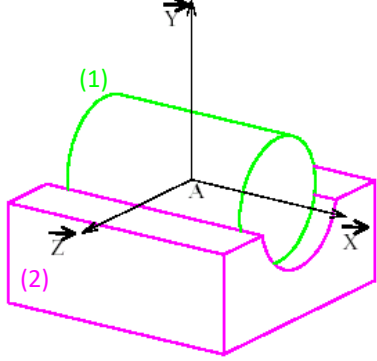
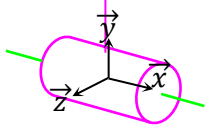
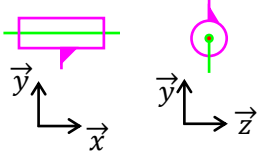


Translation			Rotation		
Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1	0	0	1	0	0

### II.3.2. Liaisons simples (association de surfaces élémentaires)

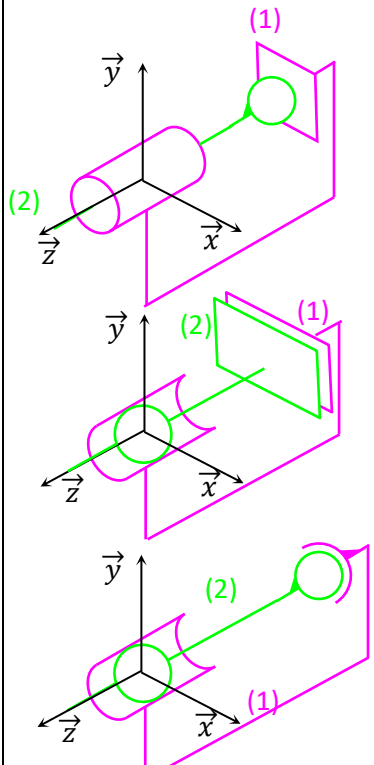
L'association de deux surfaces élémentaires d'un solide (1) et d'un solide (2) permet de définir les différentes liaisons élémentaires :

	<p><b>Liaison sphère plan ou ponctuelle</b> de point de contact A et de normale <math>\vec{y}</math>.</p> <p>On supprime 1 ddl (degré de liberté) : <math>T_y</math> Il reste 5 paramètres cinématiques</p>	<p><i>Symboles associés</i></p> <p>3D </p> <p>2D </p>
	<p><b>Liaison linéaire rectiligne</b> de centre A, de direction <math>\vec{x}</math> et de normale <math>\vec{y}</math>.</p> <p>On supprime 2 ddl : <math>T_y</math> et <math>R_z</math> Il reste 4 paramètres cinématiques</p>	<p><i>Symboles associés</i></p> <p>3D </p> <p>2D </p>
	<p><b>Liaison sphère cylindre (linéaire annulaire)</b> de centre A et d'axe <math>(A, \vec{x})</math>.</p> <p>On supprime 2ddl : <math>T_y</math> et <math>T_z</math> Il reste 4 paramètres cinématiques</p>	<p><i>Symboles associés</i></p> <p>3D </p> <p>2D </p>
	<p><b>Liaison appui plan</b> de centre A et de normale <math>\vec{y}</math></p> <p>On supprime 3ddl : <math>T_y</math>, <math>R_x</math> et <math>R_z</math> Il reste 3 paramètres cinématiques</p>	<p><i>Symboles associés</i></p> <p>3D </p> <p>2D </p>
	<p><b>Liaison sphérique (rotule)</b> de centre A</p> <p>On supprime 3ddl : <math>T_x</math>, <math>T_y</math> et <math>T_z</math> Il reste 3 paramètres cinématiques</p>	<p><i>Symboles associés</i></p> <p>3D-2D </p>

	<p><b>Liaison pivot glissant</b> de centre A et d'axe <math>(A, \vec{x})</math>.</p> <p>On supprime 4ddl : <math>T_y, T_z, R_y, R_z</math> Il reste 2 paramètres cinématiques</p>	<p><i>Symboles associés</i></p> <p>3D </p> <p>2D </p>
---	---	---

### II.3.3. Liaisons composées

L'association de deux surfaces complexes ou de plus de deux surfaces élémentaires d'un solide (1) et d'un solide (2) permet de définir les liaisons complexes. Ces liaisons résultent donc de la combinaison en parallèle de liaisons élémentaires.

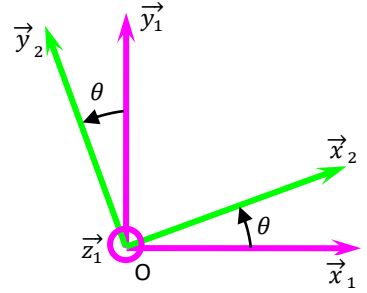


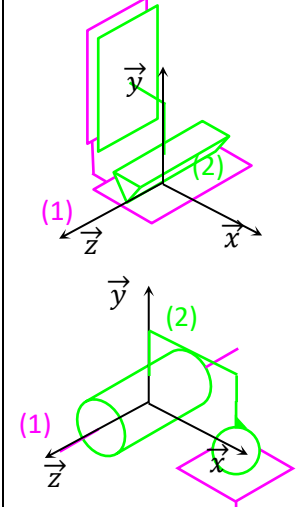
Liaison équivalente

**Liaison pivot**

**Liaison pivot** de centre O et d'axe  $(O, \vec{z}_1)$   
On supprime 5 ddl :  $T_x, T_y, T_z, R_x, R_y$   
Il reste un paramètre cinématique

*Définition du paramètre cinématique  $\theta$*   
 $\theta = (\vec{y}_1, \vec{y}_2) = (\vec{x}_1, \vec{x}_2)$



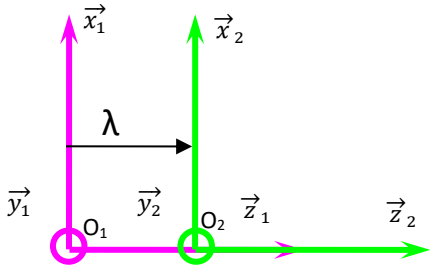


Liaison équivalente

**Liaison glissière**

**Liaison glissière** de centre O et de direction  $\vec{z}_1$ .  
On supprime 5ddl :  $T_x, T_y, R_x, R_y, R_z$ .  
Il reste un paramètre cinématique

*Définition du paramètre cinématique  $\lambda$*



**La liaison hélicoïdale « glissière hélicoïdale »**  
**Liaison hélicoïdale** de centre O et d'axe  $(O, \vec{z}_1)$   
 On supprime 5ddl : Tx, Ty, Rx, Ry, Rz + une relation de dépendance entre Tz et Rz  
 Définition des paramètres cinématiques

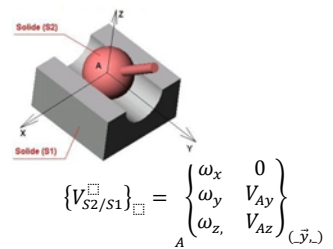
Relation de dépendance :  
 $\lambda_{21} = \theta_{21} \cdot \frac{\text{pas}}{2\pi}$  pour un filet à droite

## II.4. Torseur cinématique - Torseur des actions transmissibles

### II.4.1. Modélisation cinématique

Pour caractériser les mouvements relatifs entre deux solides (1) et (2) constituant une liaison, on utilise l'outil **torseur cinématique**.

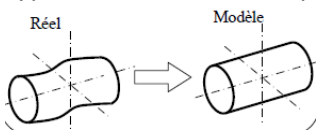
Dans une base  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  donnée, il prend la forme générale :

$$\{V_{2/1}\}_A = \begin{Bmatrix} \omega_{x,2/1} & V_{Ax,2/1} \\ \omega_{y,2/1} & V_{Ay,2/1} \\ \omega_{z,2/1} & V_{Az,2/1} \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} = \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}_{2/1} \\ \vec{V}_{A,2/1} \end{Bmatrix}_A$$


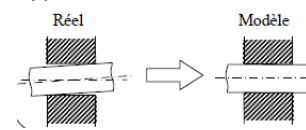
On appelle **Nc** le nombre de degré de liberté d'une liaison, il correspond au nombre de paramètres de position relatifs indépendants.

### Rappel des hypothèses nécessaires à la mise en place du modèle cinématique d'une liaison :

Hypothèse 1 : Géométrie parfaite



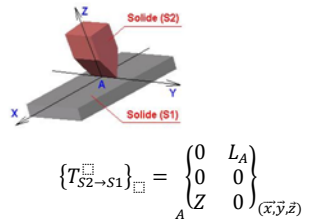
Hypothèse 2 : Liaison sans jeu



### II.4.2. Modélisation "statique" des liaisons

Pour caractériser l'action mécanique transmissible entre deux solide (1) et (2) constituant une liaison, on utilise l'outil **torseur d'actions mécaniques transmissibles**.

Dans une base  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  donnée, il prend la forme générale :

$$\{T_{2 \rightarrow 1}\}_A = \begin{Bmatrix} X_{2 \rightarrow 1} & L_{A,2 \rightarrow 1} \\ Y_{2 \rightarrow 1} & M_{A,2 \rightarrow 1} \\ Z_{2 \rightarrow 1} & N_{A,2 \rightarrow 1} \end{Bmatrix}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_{2 \rightarrow 1} \\ \vec{M}_{A,2 \rightarrow 1} \end{Bmatrix}_A$$


On appelle **Ns** le nombre d'inconnues statiques d'une liaison, il correspond au nombre de composantes non nulles indépendantes.

Hypothèses nécessaires à la mise en place du modèle d'action mécanique transmissible dans une liaison :

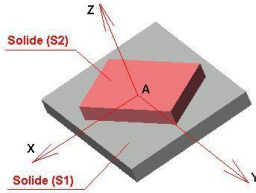
- **Hypothèse 3** : Pas déformation au niveau du contact
- **Hypothèse 4** : Pas de frottement



Lorsque les hypothèses 1,2,3 et 4 sont vérifiées, on dit que la liaison est parfaite.

Il y a alors une complémentarité entre le torseur cinématique et le torseur des actions transmissibles  $Ns+Nc=6$ .

**Liaison appui-plan de normale**



On complète :

- à une vitesse angulaire nulle correspond un moment non nul
- à une vitesse angulaire non nulle correspond un moment nul

$$\{V_{2/1}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega_{z,21} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} V_{Ax,21} \\ V_{Ay,21} \\ 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

$$\{T_{2 \rightarrow 1}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ Z_{21} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} L_{A,21} \\ M_{A,21} \\ 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

On complète :

- à une vitesse linéaire nulle correspond une force non nulle
- à une vitesse linéaire non nulle correspond une force nulle

## II.5. Représentation normalisée des liaisons entre solides

Les liaisons les plus rencontrées en construction mécanique sont normalisées par la norme AFNOR (NF EN 23952) ou la norme ISO (ISO 3952-1).

<b>Liaison</b>	<b>Schématisation</b>	<b>Schématisation plane</b>	<b>Torseur statique associé</b>	<b>Torseur cinématique associé</b>	<b>Exemple</b>
<b>Encastrement (ou fixe)</b> $\forall P$			$\{T_{S_2 \rightarrow S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} X & L_P \\ Y & M_P \\ Z & N_P \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$	$\{V_{S_2/S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$	
			<b>Ns=6</b>	<b>Nc=0</b>	
<b>Pivot d'axe (A, x)</b> $\forall P \in (A, \vec{x})$			$\{T_{S_2 \rightarrow S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} X & 0 \\ Y & M_P \\ Z & N_P \end{Bmatrix}_{(x,...)}$	$\{V_{S_2/S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} \omega_x & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x,...)}$	
			<b>Ns=5</b>	<b>Nc=1</b>	
<b>Glissière de direction (x)</b> $\forall P$			$\{T_{S_2 \rightarrow S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} 0 & L_P \\ Y & M_P \\ Z & N_P \end{Bmatrix}_{(x,...)}$	$\{V_{S_2/S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} 0 & V_{Px} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x,...)}$	
			<b>Ns=5</b>	<b>Nc=1</b>	
<b>Hélicoïdale d'axe (A, x)</b> $\forall P \in (A, \vec{x})$			$\{T_{S_2 \rightarrow S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} X & L_P \\ Y & M_P \\ Z & N_P \end{Bmatrix}_{(x,...)}$ $L = -p \frac{x}{2\pi}$ pour un filet à droite	$\{V_{S_2/S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} \omega_x & V_{Px} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x,...)}$ $V = p \frac{\omega_x}{2\pi}$ pour un filet à droite	
			<b>Ns=5</b>	<b>Nc=1</b>	
<b>Pivot glissant d'axe (A, x)</b> $\forall P \in (A, \vec{x})$			$\{T_{S_2 \rightarrow S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y & M_P \\ Z & N_P \end{Bmatrix}_{(x,...)}$	$\{V_{S_2/S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} w_x & V_{Px} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(x,...)}$	
			<b>Ns=4</b>	<b>Nc=2</b>	
<b>Appui plan de normale (z)</b> $\forall P$			$\{T_{S_2 \rightarrow S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} 0 & L_P \\ 0 & M_P \\ Z & 0 \end{Bmatrix}_{(z,...)}$	$\{V_{S_2/S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} 0 & V_{Px} \\ 0 & V_{Py} \\ \omega_z & 0 \end{Bmatrix}_{(z,...)}$	
			<b>Ns=3</b>	<b>Nc=3</b>	
<b>Sphérique (rotule) de centre A</b> Au point A			$\{T_{S_2 \rightarrow S_1}\}_A = \begin{Bmatrix} X & 0 \\ Y & 0 \\ Z & 0 \end{Bmatrix}_{(z,...)}$	$\{V_{S_2/S_1}\}_A = \begin{Bmatrix} \omega_x & 0 \\ \omega_y & 0 \\ \omega_z & 0 \end{Bmatrix}_{(z,...)}$	
			<b>Ns=3</b>	<b>Nc=3</b>	
<b>Sphérique à doigt (rotule à doigt) de centre A bloquée en (y)</b> Au point A			$\{T_{S_2 \rightarrow S_1}\}_A = \begin{Bmatrix} X & 0 \\ Y & M_A \\ Z & 0 \end{Bmatrix}_{(z,y,...)}$	$\{V_{S_2/S_1}\}_A = \begin{Bmatrix} \omega_x & 0 \\ 0 & 0 \\ \omega_z & 0 \end{Bmatrix}_{(z,y,...)}$	
			<b>Ns=4</b>	<b>Nc=2</b>	
<b>Cylindre plan (linéaire rectiligne) de normale (z) et d'axe (A, y)</b> $\forall P \in (A, \vec{y}, \vec{z})$			$\{T_{S_2 \rightarrow S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} 0 & L_P \\ 0 & 0 \\ Z & 0 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$	$\{V_{S_2/S_1}\}_P = \begin{Bmatrix} 0 & V_{Px} \\ \omega_y & V_{Py} \\ \omega_z & 0 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$	
			<b>Ns=2</b>	<b>Nc=4</b>	
<b>Sphère-cylindre (linéaire annulaire) d'axe (A, y)</b> Au point A			$\{T_{S_2 \rightarrow S_1}\}_A = \begin{Bmatrix} X & 0 \\ 0 & 0 \\ Z & 0 \end{Bmatrix}_{(z,y,...)}$	$\{V_{S_2/S_1}\}_A = \begin{Bmatrix} \omega_x & 0 \\ \omega_y & V_y \\ \omega_z & 0 \end{Bmatrix}_{(z,y,...)}$	
			<b>Ns=2</b>	<b>Nc=4</b>	
<b>Sphère-plan (ponctuelle) de normale (z)</b> $\forall P \in (A, \vec{z})$			$\{T_{S_2 \rightarrow S_1}\}_A = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z & 0 \end{Bmatrix}_{(z,y,...)}$	$\{V_{S_2/S_1}\}_A = \begin{Bmatrix} \omega_x & V_{Ax} \\ \omega_y & V_{Ay} \\ \omega_z & 0 \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$	
			<b>Ns=1</b>	<b>Nc=5</b>	

### III. Modélisation des réalisations

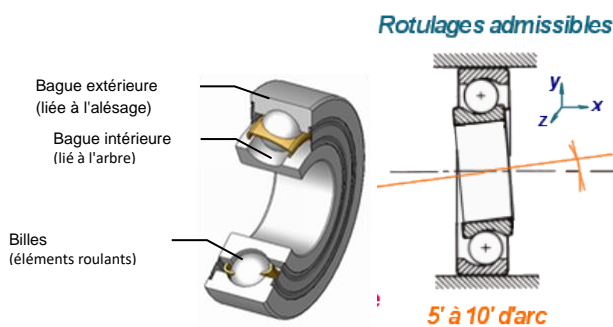

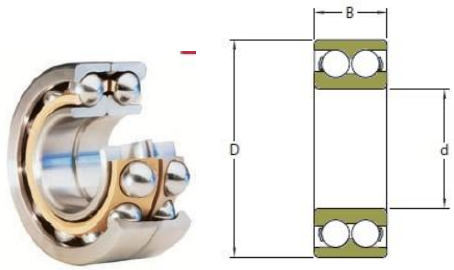
Selon l'objectif de l'étude, **une même réalisation peut être modélisée différemment** afin de mettre en évidence différents aspects de la liaison. La modélisation s'établit alors soit par :

- une **analyse des contacts** par une étude des surfaces fonctionnelles,
- une **analyse des mouvements** par une étude des degrés de libertés.

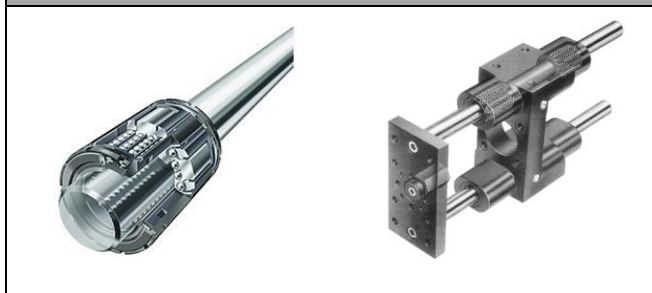
La réalisation des liaisons utilise différentes technologies:

- réalisation par **contact direct**,
- réalisation par interposition **d'éléments glissants** (coussinets),
- réalisation par interposition **d'éléments roulants** (roulements),
- réalisation par interposition **d'un film d'huile** (paliers hydrauliques),
- réalisation **sans contact** (paliers magnétiques).

Voici quelques exemples de modélisation d'éléments standards fréquemment rencontrés:

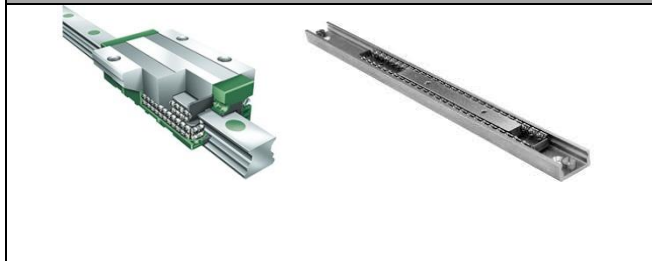
Roulement à une rangée	
<p style="text-align: center;"><b>Roulements à billes</b></p>  <p>Bague extérieure (liée à l'alésage) Bague intérieure (lié à l'arbre) Billes (éléments roulants)</p> <p style="color: blue; text-align: center;"><i>Rotulages admissibles</i></p> <p style="color: orange; text-align: center;"><i>5' à 10' d'arc</i></p>	<p>Presque toujours utilisé par deux pour réaliser un guidage en rotation. Du fait de l'angle de rotulage, un seul roulement se modélise par une <b>sphérique</b> ou une <b>sphère/cylindre</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>Roulements à rouleaux ou à aiguilles</b></p> 	<p>Modèle : <b>Sphère/cylindre</b> ou <b>Pivot glissant</b></p>
Roulement à deux rangées de billes	
<p style="text-align: center;"><b>Roulements à billes</b></p> 	<p>Réalise à lui seul un guidage en rotation. Modèle: <b>Pivot</b> ou <b>pivot glissant</b></p>

**Douilles à billes**



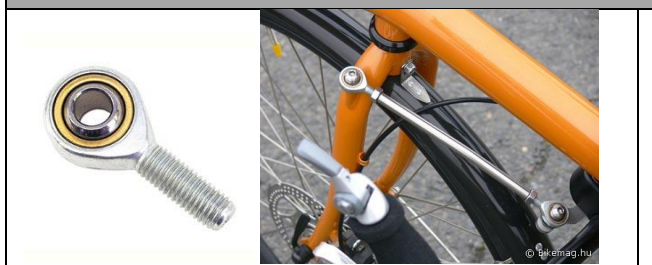
Utilisées par 3 ou 4 et montées sur colonne, elle réalise un guidage en translation  
 Modèle: **Sphère/cylindre** ou **pivot glissant**

**Guidage à billes**



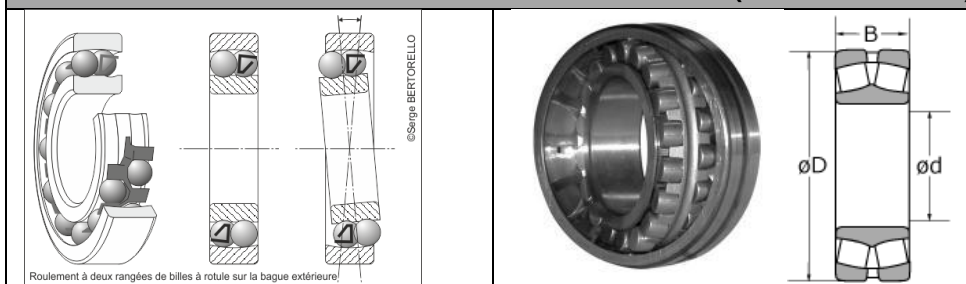
Réalise un guidage en translation.  
 Modèle: **Glissière**

**"Embouts" à Rotule**



Permet 3 rotations dont deux de faible amplitude et sont souvent utilisés en bout de tige de vérin ou pour le montage de biellettes.  
 Modèle: **Sphérique** (rotule)

**Roulements à Rotule (billes / rouleaux)**



Modèle: **Sphérique** (rotule)

**Vis à billes**



Modèle: **Hélicoïdale**

## IV. Agencement des liaisons

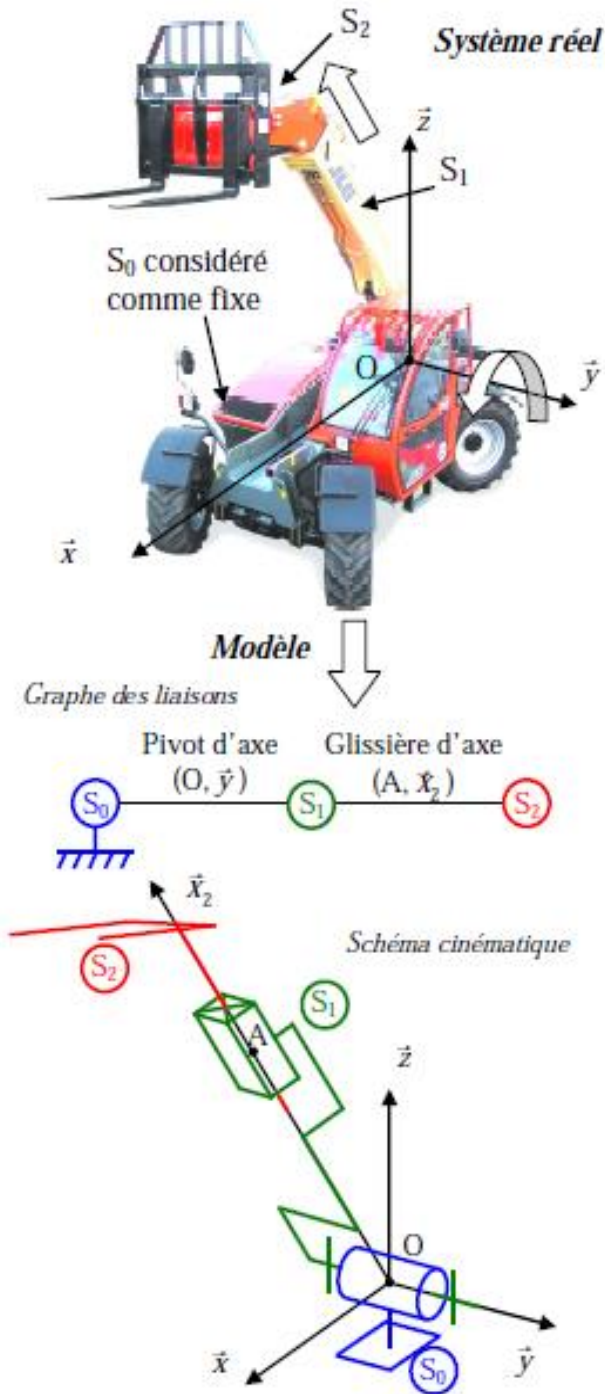
L'ensemble des liaisons dans un mécanisme permet d'établir des relations entre les différents paramètres cinématiques définis précédemment (torseur cinématique). On distingue deux grandes familles d'agencement des liaisons.

### Chaîne cinématique ouverte

Type bras de manipulation

Dans ce cas, la relation demandée concerne souvent un point en bout de chaîne.

Exemple d'une nacelle élévatrice

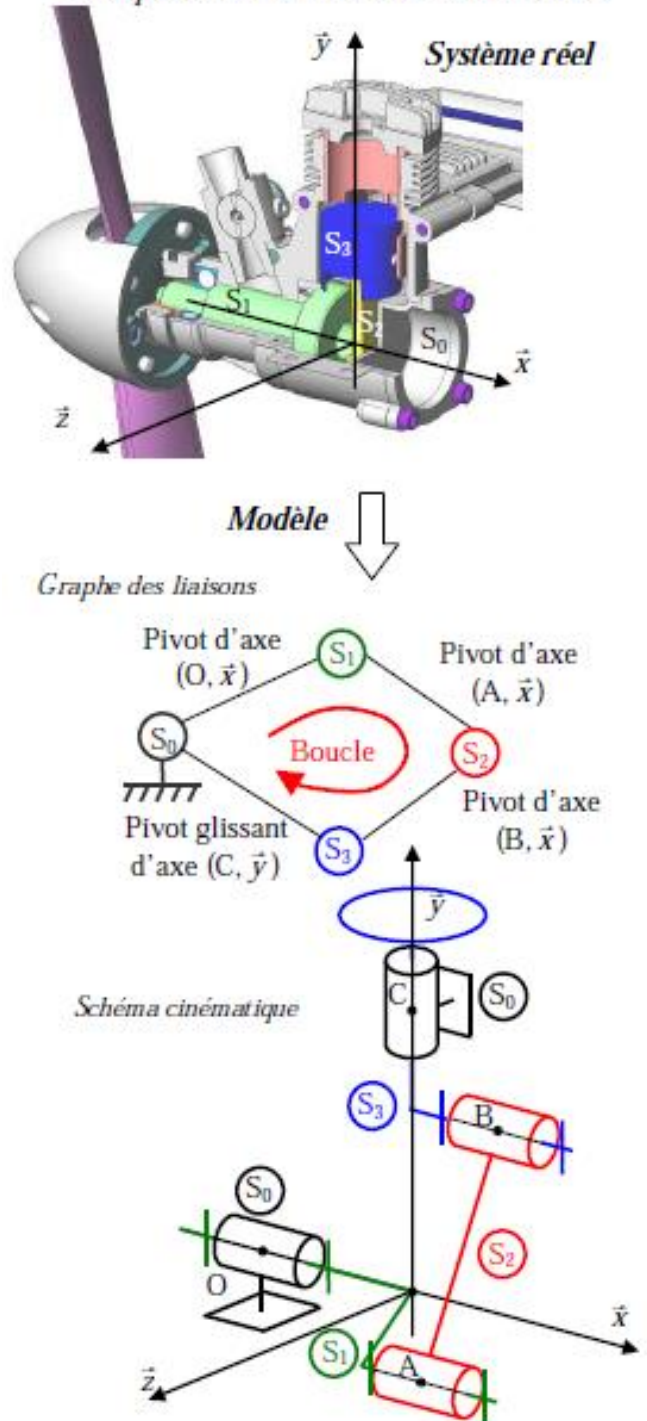


### Chaîne cinématique fermée

Type mécanisme de transformation de mouvement

Dans ce cas, la relation demandée concerne souvent la loi entrée/sortie du mécanisme.

Exemple d'un micromoteur de modélisme

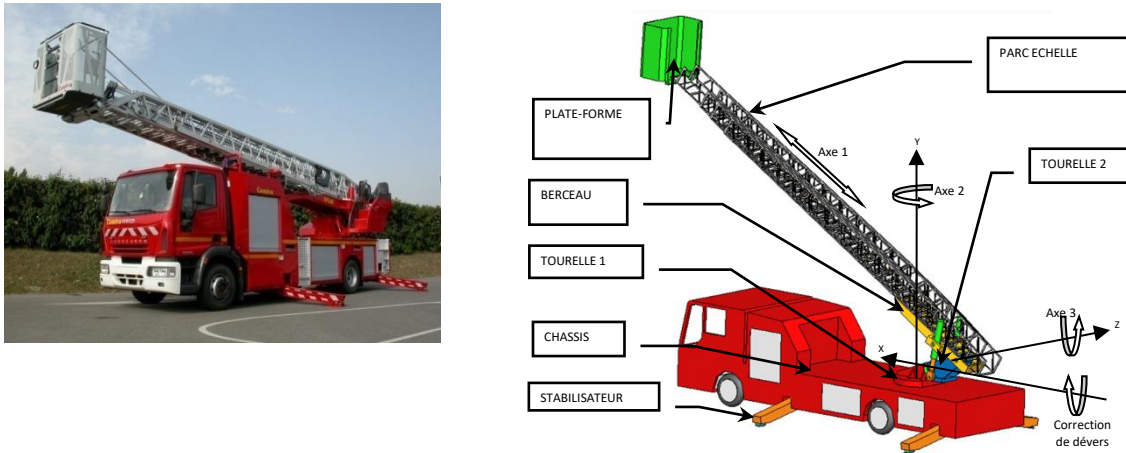


Les figures son extraites du cours de Floresthan Mathurin – CPGE Toulouse

## V. Réalisation du schéma cinématique

Un schéma cinématique de mécanismes est un schéma qui doit, permettre la **compréhension des mouvements** du mécanisme, mais peut aussi **comporter le paramétrage des solides** qui le constituent en vue des **différents calculs** que l'on peut avoir à réaliser.

La démarche ci-dessous est illustrer par une échelle E.P.A.S, le véhicule étant à l'arrêt.



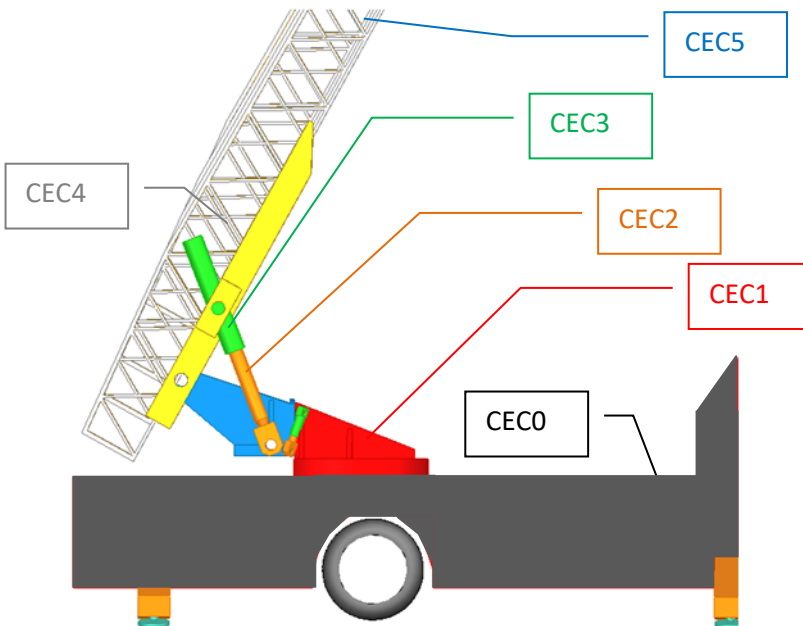
### Etape 1: Identifier les classes d'équivalence cinématique (CEC)

Pour cela, il faut déterminer les différents solides qui nous pas de mouvement relatifs entre eux et les regrouper en une même classe d'équivalence:

définir la **phase d'étude du système**,

rechercher **chaque groupe de pièce sans mouvement relatif**, les coloriés si besoin,

**nommer chaque CEC** et lister les pièces principales.



- CEC0: Châssis + Stabilisateurs
- CEC1: Tourelle 1
- CEC2: Tige vérin
- CEC3: Corps vérin
- CEC4 Berceau + Base par échelle
- CEC5: Parc échelle + nacelle

Remarque:

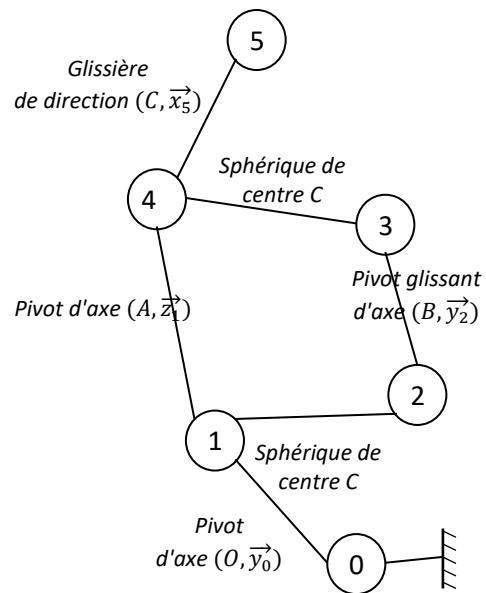
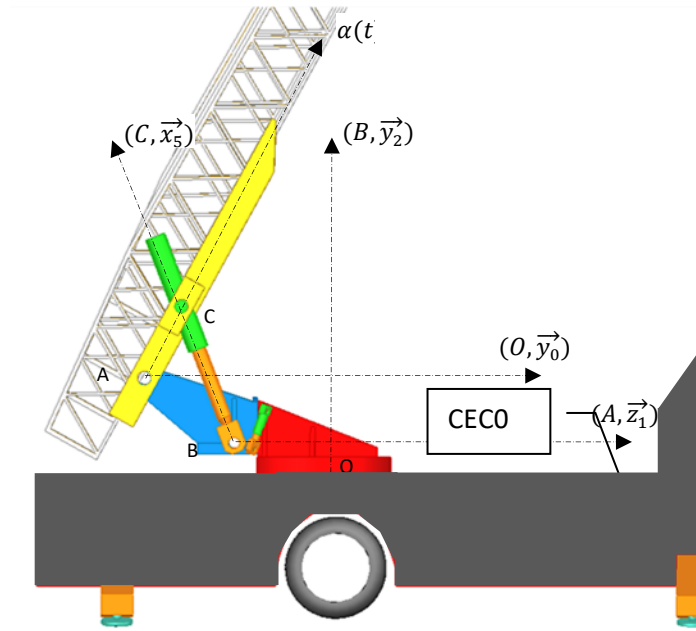
En général toutes les **pièces déformables** ne sont **pas représentées** sur un schéma cinématique minimal donc n'apparaissent pas dans les CEC (ressort, joint,...)

Les **composants des guidages** (éléments roulants, billes, rouleaux) **n'apparaissent pas dans les CEC**.

**Etape 2: Réaliser le graphe de liaisons**

Pour cela:

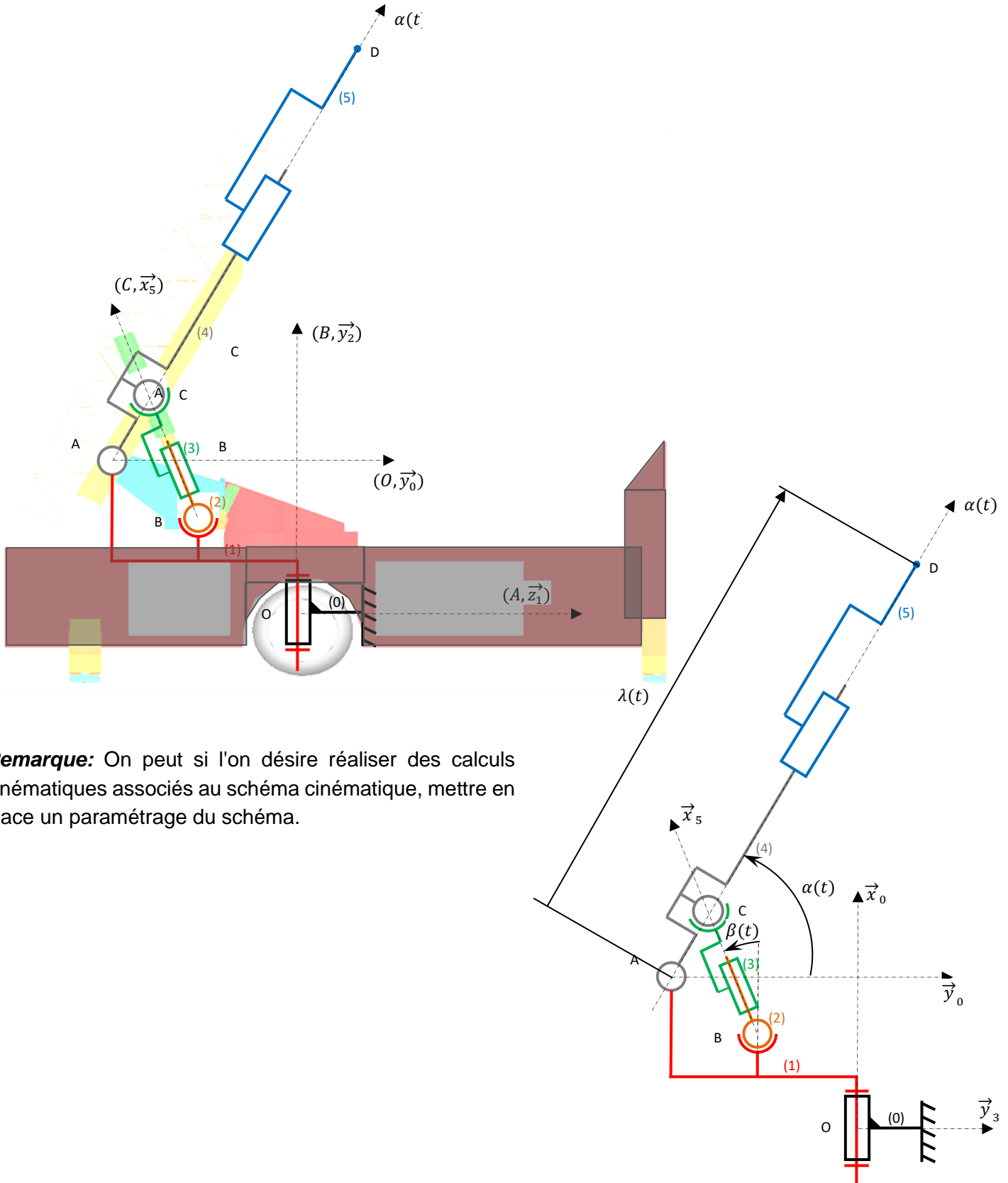
- **représenter les différents CEC par des nœuds** (bulles), en les plaçant si possible suivant leur position relatives,
- **modéliser les liaisons** entre chaque classe d'équivalence
  - **analyse des contacts:** liaison à fort indice d'inconnues cinématiques (sphère/cylindre, sphère/plan, linéaire rectiligne, sphérique)
  - **analyse des mouvements:** liaisons à faible indice d'inconnues cinématiques (pivot glissant, pivot, hélicoïdale, glissière)
- **définir** pour chaque liaisons **les caractéristiques** (axes, direction,...)
- **représenter sur le graphe chaque liaison par un trait liant deux CEC** et indiquer le nom de la liaison et ses caractéristiques.



**Etape 3: Réaliser le schéma cinématique**

Pour cela:

- **définir la vue la plus pertinente** de représentation du schéma,
- **associer** à chaque liaison le **schéma correspondant à la vue choisie (attention à l'orientation des symboles plans)**
- **positionner le centre et les axes** des liaisons en respectant si possible leurs positions relatives,
- **représenter la schématisation** associée à **chaque liaison** sur le schéma en respectant le code couleur,
- **relier par des traits** (filaire) les symboles de liaisons de même couleur en respectant, si possible, l'architecture du mécanisme.



**Remarque:** On peut si l'on désire réaliser des calculs cinématiques associés au schéma cinématique, mettre en place un paramétrage du schéma.



# VI. Principaux symboles associés aux systèmes mécaniques

