

MODELISATION DES MECANISMES

SCHEMA CINEMATIQUE

I. Notion de corps solide

1.1. Le solide réel

Le solide réel possède une masse constante et une forme qui varient très faiblement sous l'action de sollicitations diverses.

Ex : bras de robot.

1.2. Le solide déformable

Le solide déformable est un solide dont la déformation doit être prise en compte. Un solide déformable possède une masse constante et une forme qui varie de façon prévisible et quantifiable en fonction des efforts appliqués.

Ex : ressort.

1.3. Le solide indéformable

Le solide indéformable est un solide théorique ou idéal. Un solide parfaitement indéformable n'existe pas. Il possède une masse constante et une forme qui ne varie pas quelles que soient les sollicitations auxquelles il est soumis.

La distance entre deux points quelconques d'un solide indéformable est invariante.

Ex : bielle.

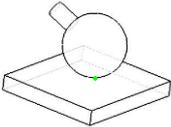
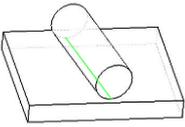
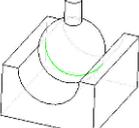
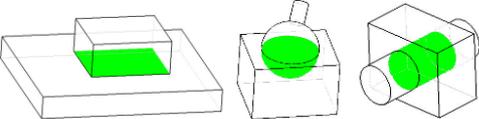
II. Etude des liaisons

Une liaison élémentaire entre deux solides **1** et **2** est créée par le contact d'une surface associée au solide **1** sur une surface associée au solide **2**.

2.1. Contacts entre deux solides

Hypothèse : les deux solides sont supposés indéformables.

2.1.1. Différents types de contact

Contact ponctuel		Le contact entre les deux solides est un point.
Contact linéique rectiligne		Le contact entre les deux solides est une droite.
Contact linéique circulaire		Le contact entre les deux solides est une portion de cercle.
Contact surfacique		Le contact entre les deux solides est une surface plane, sphérique, cylindrique...

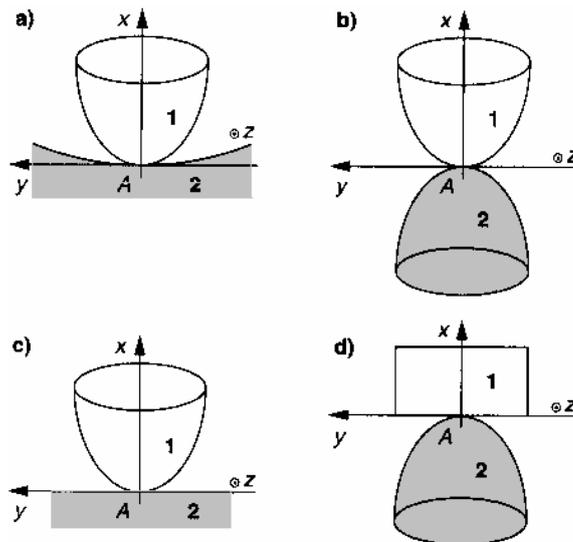
2.1.2. Repère local associé au contact

Pour chaque contact, par conséquent, pour chaque liaison, on définit un repère en précisant :

- **son origine** qui est le centre géométrique du contact (quand les deux surfaces de contact ont un centre de symétrie, ce point sera le centre du repère local associé)
- **la base** $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ qui est en général construite à partir d'un vecteur unitaire qui constitue le vecteur caractéristique du contact de la liaison. Il sera toujours porté par l'axe de symétrie ou par la normale au plan tangent commun.

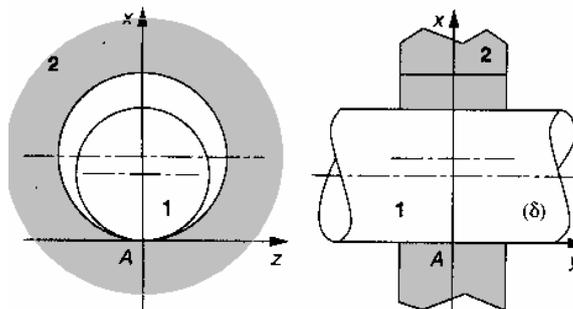
• **Contact ponctuel**

On choisit le repère local associé au contact tel que



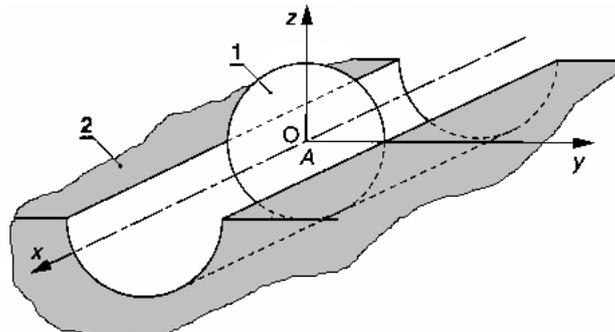
• **Contact linéaire rectiligne**

On choisit le repère local associé au contact tel que



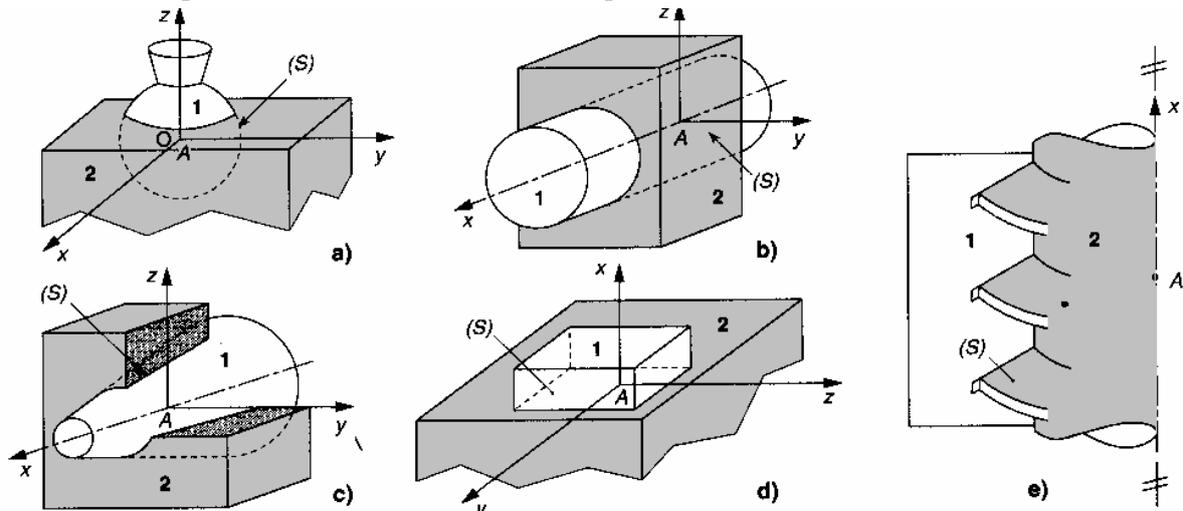
• **Contact linéaire circulaire**

On choisit le repère local associé au contact tel que



• **Contact de surface**

On choisit le repère local associé au contact tel que



2.2. Définition d'une liaison parfaite

Une liaison parfaite est une liaison telle que :

- Il n'y a pas de frottement,
- Il n'y a pas de jeu.

Une liaison parfaite est donc une liaison théorique, tant du point de vue géométrique que du point de vue de la nature physique du contact.

2.3. Degrés de liberté

Pour caractériser une liaison entre un solide 1 et un solide 2, il faut étudier les mouvements relatifs du solide 1 par rapport au solide 2. Les mouvements relatifs s'étudient dans le repère local associé à la liaison.

Un **solide libre** dans tous ses déplacements est un solide qui n'a **aucune liaison** avec un autre solide. Dans ce cas, il peut se déplacer selon 6 mouvements **INDEPENDANTS** :

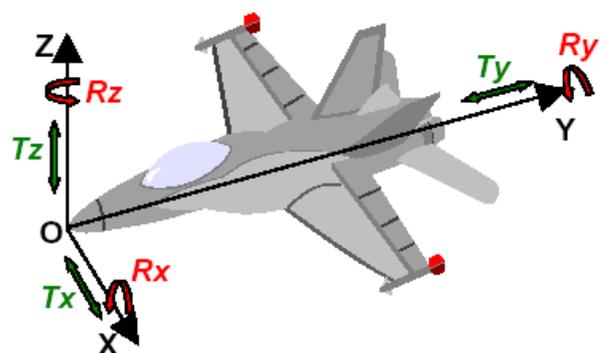
• **3 translations**

- T_x** → Translation suivant l'axe X
- T_y** → Translation suivant l'axe Y
- T_z** → Translation suivant l'axe Z

• **3 rotations**

- R_x** → Rotation suivant l'axe X
- R_y** → Rotation suivant l'axe Y
- R_z** → Rotation suivant l'axe Z

chacun de ces déplacements pouvant se faire dans les **2 sens**.



Le nombre de degrés de liberté d'une liaison entre deux solides est le nombre de mouvements relatifs indépendants que cette liaison autorise entre les deux solides considérés.

2.4. Définition cinématique d'une liaison

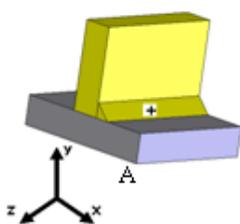
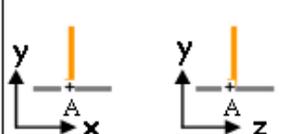
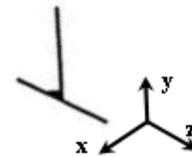
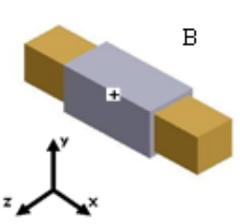
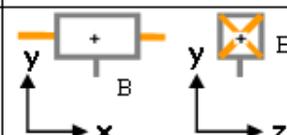
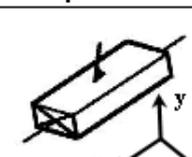
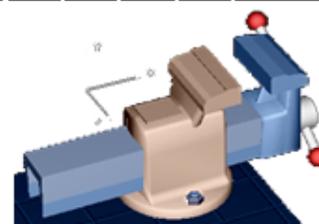
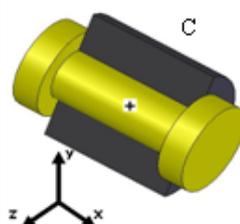
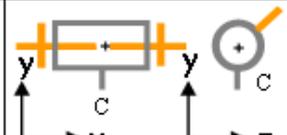
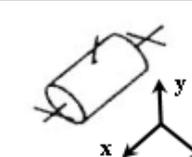
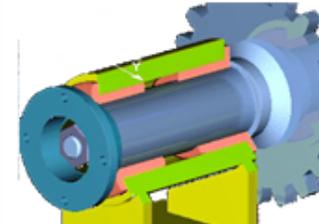
Il y a liaison entre deux solides 1 et 2 chaque fois qu'entre 1 et 2, un ou plusieurs degrés de liberté sont supprimés.

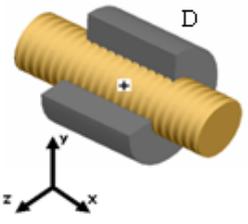
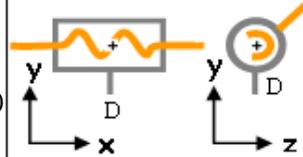
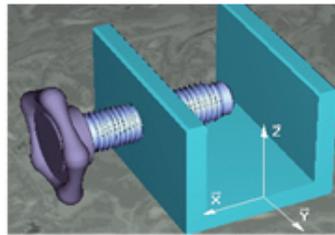
III. Liaisons normalisées

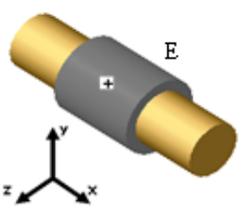
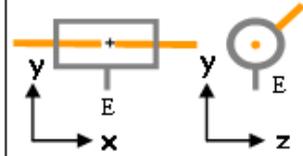
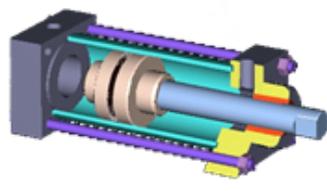
Pour étudier la liaison entre deux solides, nous faisons les hypothèses suivantes :

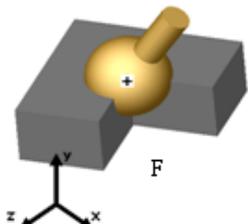
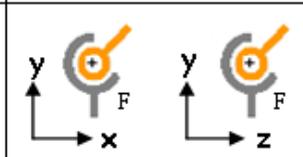
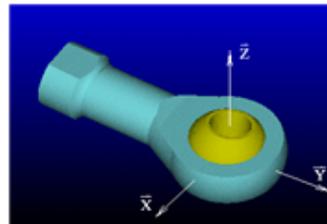
- Les solides sont supposés indéformables,
- Les liaisons sont supposées parfaites (c'est-à-dire sans frottement et sans jeu) et les contacts sont sans défauts.

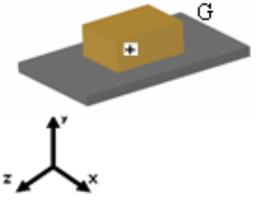
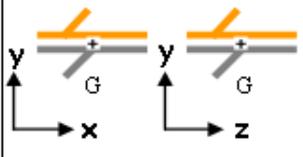
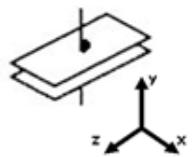
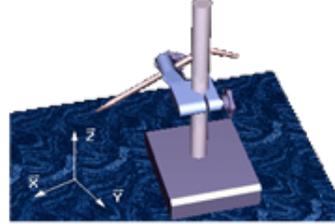
Les liaisons normalisées sont les suivantes :

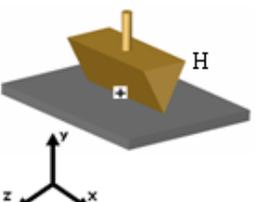
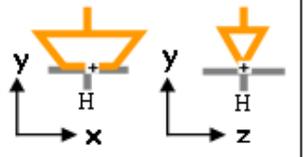
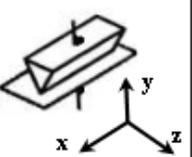
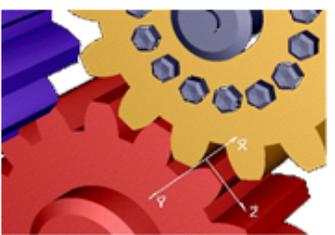
Liaison encastrement																	
	degrés de liberté	mouvements relatifs	orientée par	représentation plane	représentation spatiale												
	0	<table border="1"> <tr><td>Tx</td><td>0</td><td>Rx</td><td>0</td></tr> <tr><td>Ty</td><td>0</td><td>Ry</td><td>0</td></tr> <tr><td>Tz</td><td>0</td><td>Rz</td><td>0</td></tr> </table>	Tx	0	Rx	0	Ty	0	Ry	0	Tz	0	Rz	0	Centre A		
Tx	0	Rx	0														
Ty	0	Ry	0														
Tz	0	Rz	0														
Liaison glissière																	
	degrés de liberté	mouvements relatifs	orientée par	représentation plane	représentation spatiale												
	1	<table border="1"> <tr><td>Tx</td><td>1</td><td>Rx</td><td>0</td></tr> <tr><td>Ty</td><td>0</td><td>Ry</td><td>0</td></tr> <tr><td>Tz</td><td>0</td><td>Rz</td><td>0</td></tr> </table>	Tx	1	Rx	0	Ty	0	Ry	0	Tz	0	Rz	0	Centre B Axe (B, \vec{x})		
Tx	1	Rx	0														
Ty	0	Ry	0														
Tz	0	Rz	0														
Le contact entre les deux solides est composé de deux portions de plans perpendiculaires.		 <p>Une liaison glissière est réalisée entre le bâti de l'étau auquel est lié le mors fixe et la tige de l'étau à laquelle est lié le mors mobile.</p>															
Liaison pivot																	
	degrés de liberté	mouvements relatifs	orientée par	représentation plane	représentation spatiale												
	1	<table border="1"> <tr><td>Tx</td><td>0</td><td>Rx</td><td>1</td></tr> <tr><td>Ty</td><td>0</td><td>Ry</td><td>0</td></tr> <tr><td>Tz</td><td>0</td><td>Rz</td><td>0</td></tr> </table>	Tx	0	Rx	1	Ty	0	Ry	0	Tz	0	Rz	0	Centre C Axe (C, \vec{x})		
Tx	0	Rx	1														
Ty	0	Ry	0														
Tz	0	Rz	0														
Le contact entre les deux solides est une portion de surface cylindrique et un point.		 <p>Une liaison pivot est réalisée entre l'arbre auquel est liée la roue dentée et le flasque.</p>															

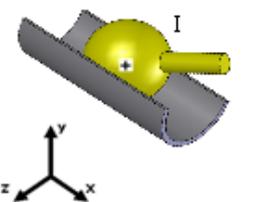
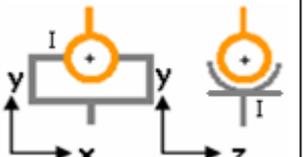
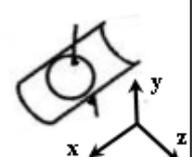
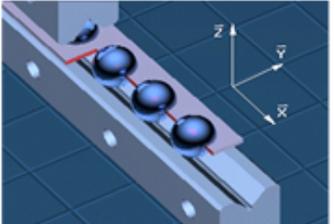
Liaison hélicoïdale																
	degrés de liberté	mouvements relatifs		orientée par	représentation plane	représentation spatiale										
	1 (rotation et translation liées)	<table border="1"> <tr><td>T_x</td><td>1</td><td>R_x</td><td>1</td></tr> <tr><td>T_y</td><td>0</td><td>R_y</td><td>0</td></tr> <tr><td>T_z</td><td>0</td><td>R_z</td><td>0</td></tr> </table>	T _x	1	R _x	1	T _y	0	R _y	0	T _z	0	R _z	0	Centre D Axe (D, \vec{x})	
T _x	1	R _x	1													
T _y	0	R _y	0													
T _z	0	R _z	0													
<p>Le contact entre les deux solides est une portion de surface hélicoïdale.</p>				<p>Une liaison hélicoïdale est réalisée entre la vis et le bâti du serre-joint formant l'écrou par l'intermédiaire de deux "filets", l'un taillé sur la vis, l'autre dans l'écrou.</p>												

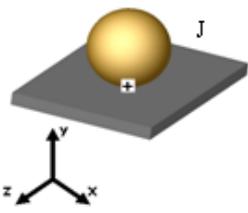
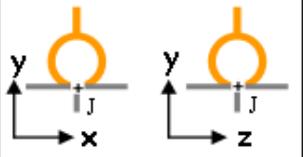
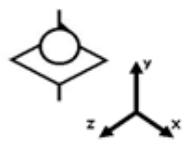
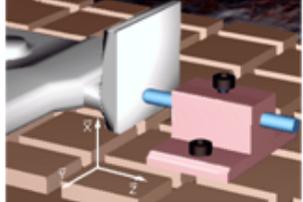
Liaison pivot glissant																
	degrés de liberté	mouvements relatifs		orientée par	représentation plane	représentation spatiale										
	2	<table border="1"> <tr><td>T_x</td><td>1</td><td>R_x</td><td>1</td></tr> <tr><td>T_y</td><td>0</td><td>R_y</td><td>0</td></tr> <tr><td>T_z</td><td>0</td><td>R_z</td><td>0</td></tr> </table>	T _x	1	R _x	1	T _y	0	R _y	0	T _z	0	R _z	0	Centre E Axe (E, \vec{x})	
T _x	1	R _x	1													
T _y	0	R _y	0													
T _z	0	R _z	0													
<p>Le contact entre les deux solides est une portion de surface cylindrique.</p>				<p>Une liaison pivot glissant est réalisée entre la tige du piston et la bague cylindrique emmanchée dans le corps du vérin. La tige du piston peut ainsi glisser et tourner autour de son axe.</p>												

Liaison rotule																
	degrés de liberté	mouvements relatifs		orientée par	représentation plane	représentation spatiale										
	3	<table border="1"> <tr><td>T_x</td><td>0</td><td>R_x</td><td>1</td></tr> <tr><td>T_y</td><td>0</td><td>R_y</td><td>1</td></tr> <tr><td>T_z</td><td>0</td><td>R_z</td><td>1</td></tr> </table>	T _x	0	R _x	1	T _y	0	R _y	1	T _z	0	R _z	1	Centre F	
T _x	0	R _x	1													
T _y	0	R _y	1													
T _z	0	R _z	1													
<p>Le contact entre les deux solides est une portion de surface sphérique.</p>				<p>Cet élément standard peut se fixer à l'extrémité d'un vérin. La liaison avec le est une liaison rotule. Son centre est le centre de la sphère.</p>												

Liaison appui plan																	
	degrés de liberté	mouvements relatifs	orientée par	représentation plane	représentation spatiale												
	3	<table border="1"> <tr> <td>T_x</td> <td>1</td> <td>R_x</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>T_y</td> <td>0</td> <td>R_y</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>T_z</td> <td>1</td> <td>R_z</td> <td>0</td> </tr> </table>	T _x	1	R _x	0	T _y	0	R _y	1	T _z	1	R _z	0	Centre G Axe (G, \vec{y})		
T _x	1	R _x	0														
T _y	0	R _y	1														
T _z	1	R _z	0														
Le contact entre les deux solides est une portion de plan.				Une liaison appui-plan est réalisée entre la base du trusquin et le marbre.													

Liaison linéaire rectiligne																	
	degrés de liberté	mouvements relatifs	orientée par	représentation plane	représentation spatiale												
	4	<table border="1"> <tr> <td>T_x</td> <td>1</td> <td>R_x</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>T_y</td> <td>0</td> <td>R_y</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>T_z</td> <td>1</td> <td>R_z</td> <td>0</td> </tr> </table>	T _x	1	R _x	1	T _y	0	R _y	1	T _z	1	R _z	0	Centre H Axe (H, \vec{x})		
T _x	1	R _x	1														
T _y	0	R _y	1														
T _z	1	R _z	0														
Le contact entre les deux solides est un segment de droite.				Une liaison linéaire rectiligne est réalisée entre les flancs des deux roues dentées.													

Liaison linéaire annulaire																	
	degrés de liberté	mouvements relatifs	orientée par	représentation plane	représentation spatiale												
	4	<table border="1"> <tr> <td>T_x</td> <td>1</td> <td>R_x</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>T_y</td> <td>0</td> <td>R_y</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>T_z</td> <td>0</td> <td>R_z</td> <td>1</td> </tr> </table>	T _x	1	R _x	1	T _y	0	R _y	1	T _z	0	R _z	1	Centre I Axe (I, \vec{x})		
T _x	1	R _x	1														
T _y	0	R _y	1														
T _z	0	R _z	1														
Le contact entre les deux solides est un arc de cercle.				Une liaison linéaire annulaire est réalisée entre chaque sphère et le rail inférieur. Il existe de la même façon une liaison linéaire annulaire entre chaque sphère et le rail supérieur.													

Liaison ponctuelle								
	degrés de liberté	mouvements relatifs		orientée par	représentation plane	représentation spatiale		
	5	T_x	1	R_x	1	Centre J Axe (J,y)		
		T_y	0	R_y	1			
		T_z	1	R_z	1			
Le contact entre les deux solides est un point.				Une liaison ponctuelle est réalisée entre la touche bombée de l'extrémité de la tige du porte-pièce et la surface de la pièce.				

IV. Modélisation d'un mécanisme

4.1. Définition d'un mécanisme

Un mécanisme est un ensemble de pièces mécaniques reliées entre elles par des liaisons dans le but de réaliser un ou plusieurs fonctions déterminées.

4.2. Notion de classes d'équivalence

Une classe d'équivalence est un groupe de pièces n'ayant aucun mouvement relatif les unes par rapport aux autres.

Cette notion de mouvement relatif pour les différentes pièces d'un mécanisme dépend de la phase de fonctionnement envisagée. C'est pourquoi, avant d'entreprendre l'étude d'un mécanisme, il faut choisir la phase de fonctionnement dans laquelle on se place.

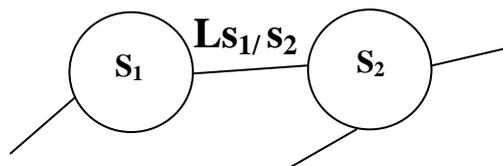
Remarques :

- les pièces déformables ne figurent pas dans les classes d'équivalence (ex : ressorts)
- les éléments d'assemblage (ex : vis) n'apparaissent pas forcément dans les classes d'équivalence.

4.3. Graphe des liaisons entre les classes d'équivalence d'un mécanisme

Le graphe des liaisons permet de récapituler sur une même figure les classes d'équivalence du mécanisme ainsi que les liaisons cinématiques entre ces dernières.

Chaque classe d'équivalence est représentée par un cercle et chaque liaison entre deux sous-ensembles par un trait reliant deux cercles.



4.4. Schéma cinématique

C'est le schéma d'un mécanisme rendant compte exclusivement des mouvements possibles entre les différents sous-ensembles qui le constituent. Il permet d'analyser et de comprendre le fonctionnement du mécanisme étudié.

Les hypothèses suivantes sont faites :

- Les pièces sont des solides indéformables.
- Les liaisons entre solides sont des liaisons élémentaires :
 - le contact s'établit théoriquement en un point, ou une portion de ligne, ou d'une surface de définition géométrique simple : point, droite, cercle, plan, cylindre, sphère, surface hélicoïdale,
 - les surfaces des pièces sont supposées géométriquement parfaites et le maintien au contact est toujours assuré.
 - le contact se fait sans adhérence ni frottement,
 - la liaison est sans jeu.

4.5. Elaboration d'un schéma cinématique

L'élaboration d'un schéma cinématique se réalise en 4 étapes :

1. repérer sur le plan d'ensemble les différentes classes d'équivalence qui constituent le mécanisme
2. déterminer les liaisons entre classes d'équivalence
3. réaliser le graphe des liaisons
4. réaliser le schéma cinématique

Il est nécessaire de respecter les règles d'exécution suivantes :

- Les pièces constituant une classe d'équivalence ne sont pas distinguées, puisque seules les liaisons admettant des degrés de liberté sont prises en compte.
- Ces sous-ensembles sont représentés sans épaisseur de matière, sans échelle et repérés par un numéro.
- Les liaisons entre classes d'équivalence sont des liaisons élémentaires normalisées (voir la feuille de symbolisation normalisée des liaisons)
- Les propriétés géométriques relatives de ces liaisons sont respectées : parallélisme, perpendicularité, position relative des centres de liaison...
- Les principaux paramètres de position sont représentés, en particulier les paramètres d'entrée-sortie.

Selon la complexité du mécanisme, le schéma cinématique peut être plan ou spatial.