3 – Étude Cinématique des Systèmes de Solides de la Chaîne d’Énergie

Analyser – Modéliser – Résoudre

Chapitre 2 : Modélisation des systèmes mécaniques

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C:\Enseignements\GitHub\03_Etude_Cinematique_Systemes_Solides_Chaine_Energie_Analyser_Modeliser_Resoudre\04_ChainesFermees\Cours\png\avion.png | C:\Enseignements\GitHub\03_Etude_Cinematique_Systemes_Solides_Chaine_Energie_Analyser_Modeliser_Resoudre\04_ChainesFermees\Cours\png\moteur_3d.png | C:\Enseignements\GitHub\03_Etude_Cinematique_Systemes_Solides_Chaine_Energie_Analyser_Modeliser_Resoudre\04_ChainesFermees\Cours\png\moteur_3d_sch.png |
| *Système réel :*  *moteur d’avion de modélisme* | *Système modélisé :*  *modélisation 3D* | *Système modélisé :*  *Schéma cinématique* |

|  |
| --- |
| ***Compétences : Modéliser, Communiquer***   * Mod2 – C12 : Modélisation cinématique des liaisons entre solides ; * Mod2 – C14 : Modèle cinématique d’un mécanisme ; * Com1 – C2 : Schémas cinématique, d’architecture, technologique. |

1°-  Modélisation des solides et des liaisons 2

A. Définitions préliminaires 2

B. Liaisons entre solides 2

1- Degré de liberté 2

2- Liaisons 3

3- Réalisation : 3

4- Liaison parfaite 3

2°-  Liaisons normalisées parfaites 3

A. Liaison sphère plan (Anciennement ponctuelle) 3

B. Liaison cylindre – plan (Anciennement linéaire rectiligne) 4

C. Sphère cylindre (Anciennement linéaire annulaire) 4

D. Liaison sphérique (Anciennement rotule) 4

E. Liaison Appui plan 4

F. Liaison sphérique à doigt (Anciennement rotule à doigt) 5

G. Liaison pivot glissant 5

H. Liaison hélicoïdale 5

I. Liaison pivot 5

J. Liaison glissière 6

3°-  Tableau des liaisons normalisées 6

4°-  Association de liaisons 8

A. Graphe des liaisons 8

B. Liaison sphère-plan (Anciennement ponctuelle) 9

C. Liaison cylindre – plan (Anciennement linéaire rectiligne) 9

D. Liaison sphère – cylindre (Anciennement linéaire annulaire) 9

E. Liaison appui plan 10

F. Liaison sphérique (Anciennement rotule) 10

G. Liaison pivot glissant 10

H. Liaison pivot 10

I. Liaisons glissière 11

5°-  Modélisation par schéma cinématique 11

A. Construction des schémas cinématiques 11

B. Les différents types de schémas 12

## Modélisation des solides et des liaisons

### Définitions préliminaires

|  |
| --- |
| **Modélisation :**  La modélisation est l’opération qui consiste à représenter un système dans un formalisme différent afin de réaliser des analyses et des résolutions de problèmes. En cinématique, statique, cinétique et dynamique, on utiliser le schéma cinématique pour représenter les systèmes réels. Attention, le modèle est une **représentation** du réel. Il y a donc des **écarts** entre le réel et le modèle qu’il s’agit de savoir **quantifier** ou **justifier**. |

|  |
| --- |
| **Première hypothèse : Solide indéformable**  Un solide indéformable (ou parfait) est une entité matérielle :   * de masse constante ; * dont la distance entre deux points est invariable au cours du temps.   Si on note donc et deux points appartenant à un solide et le temps, on a donc |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Exemples de solides déformables*   |  |  | | --- | --- | | C:\Enseignements\GitHub\03_Etude_Cinematique_Systemes_Solides_Chaine_Energie_Analyser_Modeliser_Resoudre\05_CinematiqueDuSolide\Cours\png\wg.png | C:\Enseignements\GitHub\03_Etude_Cinematique_Systemes_Solides_Chaine_Energie_Analyser_Modeliser_Resoudre\05_CinematiqueDuSolide\Cours\png\eprouvette.png | | *Pate à modeler* | *Éprouvette sollicitée lors d’un essai mécanique* | |

En réalité les solides indéformables n'existent pas. Les plus rigides d'entre eux subissent de petites déformations provoquées par :

* la variation de température (dilatation)
* les actions mécaniques (efforts).

### Liaisons entre solides

#### Degré de liberté

|  |  |
| --- | --- |
| Considérons un solide parfait **1** complètement libre par rapport à un solide **0** (exemple : avion **1** par rapport au  sol **0**). Son déplacement global peut se décomposer en deux déplacements.   * Rotation : l'orientation du solide **1** change par rapport à **0**. * Translation : le solide**1** garde la même orientation par rapport à **0** mais sa position évolue.   Le solide **1** évoluant dans l'espace à trois dimensions, chaque déplacement peut à son tour être décomposé en trois déplacements élémentaires (un sur chaque dimension). On suppose qu'un repère orthonormé direct est lié au solide **0**. | C:\Enseignements\GitHub\03_Etude_Cinematique_Systemes_Solides_Chaine_Energie_Analyser_Modeliser_Resoudre\05_CinematiqueDuSolide\Cours\png\cessna.png |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| La **rotation** se décompose donc en :   * une rotation autour de : Rx * une rotation autour de : Ry * une rotation autour de : Rz | La **translation** se décompose donc en :   * une translation suivant : Tx * une translation suivant : Ty * une translation suivant : Tz | |
| Ces six quantités (Rx, Ry, Rz, Tx, Ty, Tz) sont appelées degrés de liberté (ddl) du solide **1** par rapport au solide **0**.  Les degrés de liberté sont **indépendants** les uns par rapport aux autres. Par exemple la translation suivant x peut s'effectuer sans aucune translation suivant y ou z. | | x  y  z  T  z  T  y  T  x  O  R  y  R  x  R  z |

#### Liaisons

En construction mécanique, on n'a besoin que de certains degrés de liberté (on parle aussi de « mobilités ») entre deux solides (par exemple le solide **1** doit posséder uniquement une rotation autour de par rapport au solide **0** ; cas d'une porte). Les autres degrés de liberté ne doivent pas exister.

#### Réalisation :

On met les deux solides en contact par l'intermédiaire d'une surface S1 appartenant à **1** et d'une surface S0 appartenant à **0**.

• Au cours du mouvement, la surface S1 glisse sur la surface S2 . Les conditions à remplir sont :

* Non pénétration d'une surface dans l'autre
* Non séparation des surfaces.

#### Liaison parfaite

|  |
| --- |
| **Liaison parfaite :**  Une liaison parfaite est une **modélisation** d'une liaison réelle entre deux solides indéformables, qui permet d'étudier le fonctionnement d'un mécanisme.  Les qualités d'une liaison parfaite sont :   * surfaces ayant une géométrie parfaite ; * pas d'adhérence ni de frottement ; * pas de déformation sous l'effort ; * pas de jeu ni de serrage entre les pièces. |

## Liaisons normalisées parfaites

### Liaison sphère plan (Anciennement ponctuelle)

|  |  |
| --- | --- |
|  | http://www2.ac-lyon.fr/etab/colleges/col-69/kandelaft/site_techno/technique/liaison_ponctuelle.jpg |

### Liaison cylindre – plan (Anciennement linéaire rectiligne)

|  |  |
| --- | --- |
|  | http://www2.ac-lyon.fr/etab/colleges/col-69/kandelaft/site_techno/technique/liaison_lineaire_rectiline.jpg |

### Sphère cylindre (Anciennement linéaire annulaire)

|  |  |
| --- | --- |
|  | http://www2.ac-lyon.fr/etab/colleges/col-69/kandelaft/site_techno/technique/liaison_lineaire_annulaire.jpg |

### Liaison sphérique (Anciennement rotule)

|  |  |
| --- | --- |
|  | http://www2.ac-lyon.fr/etab/colleges/col-69/kandelaft/site_techno/technique/liaison_rotule.jpg |

### Liaison Appui plan

|  |  |
| --- | --- |
|  | http://www2.ac-lyon.fr/etab/colleges/col-69/kandelaft/site_techno/technique/liaison_appui_plan.jpg |

### Liaison sphérique à doigt (Anciennement rotule à doigt)

|  |  |
| --- | --- |
|  | http://www2.ac-lyon.fr/etab/colleges/col-69/kandelaft/site_techno/technique/liaison_rotule_doigt.jpg |

### Liaison pivot glissant

|  |  |
| --- | --- |
|  | http://www2.ac-lyon.fr/etab/colleges/col-69/kandelaft/site_techno/technique/liaison_pivot_glissant.jpg |

### Liaison hélicoïdale

|  |  |
| --- | --- |
|  | http://www2.ac-lyon.fr/etab/colleges/col-69/kandelaft/site_techno/technique/liaison_helicoidale.jpg |

### Liaison pivot

|  |  |
| --- | --- |
|  | http://www2.ac-lyon.fr/etab/colleges/col-69/kandelaft/site_techno/technique/liaison_pivot.jpg |

### Liaison glissière

|  |  |
| --- | --- |
|  | http://www2.ac-lyon.fr/etab/colleges/col-69/kandelaft/site_techno/technique/liaison_glissiere.jpg |

## Tableau des liaisons normalisées

|  |
| --- |
| **CE TABLEAU EST À CONNAITRE PAR CŒUR !** |

L'énoncé des degrés de liberté que possède une liaison sous-entend le choix d'un repère orthonormé direct lié à un solide. L'orientation de ce repère définit la base qui lui est associée.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nom complet de la liaison | Vue de face Vue de profil | Perspective | Axe primaire | Axe secon-  daire | Degrés de liberté |
| Sphère plan de normale  (O : centre de la sphère) |  |  | 2 |  |  |
| Linéaire rectiligne d'axe et de normale  ( milieu de la ligne) |  |  | axe de contact entre 1 et 2 | 2 |  |
| Linéaire annulaire d'axe  ( : centre de la sphère) |  |  | axe de 2 |  |  |
| Sphérique de centre  (ou rotule) |  |  |  |  |  |
| Appui plan de normale  ( lié à 1 ou à 2) |  |  | plan commun  (1 ou 2) |  |  |
| Sphérique à doigt de centre  ( : centre de la sphère) |  |  | 1 | 2 |  |
| Pivot glissant d'axe  ( milieu du tube) |  |  | axe commun  (1 ou 2) |  |  |
| Hélicoïdale d'axe  ( milieu du tube) |  |  | axe commun  (1 ou 2) |  | Tx=k Rx |
| Pivot d'axe  ( milieu du tube) |  |  | axe commun  (1 ou 2) |  |  |
| Glissière de direction  ( milieu du tube) |  |  | axe commun  (1 ou 2) |  |  |
| Encastrement de centre |  |  |  |  |  |

## Association de liaisons

### Graphe des liaisons

|  |
| --- |
| **Définition : Graphe des liaisons**  Dans le graphe des liaisons, les classes d’équivalence cinématiques sont représentées par des nœuds. Les liaisons sont représentées par des arcs. Son but est d’analyser la structure du mécanisme |

|  |
| --- |
| *Exemples* |

On définit 3 types de graphes caractéristiques :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| G:\Github\03_Etude_Cinematique_Systemes_Solides_Chaine_Energie_Analyser_Modeliser_Resoudre\02_ModelisationDesSystemesMecaniques\Cours\Latex_2012\01_Modelisation\Cours\png\co.png | G:\Github\03_Etude_Cinematique_Systemes_Solides_Chaine_Energie_Analyser_Modeliser_Resoudre\02_ModelisationDesSystemesMecaniques\Cours\Latex_2012\01_Modelisation\Cours\png\cf.png | G:\Github\03_Etude_Cinematique_Systemes_Solides_Chaine_Energie_Analyser_Modeliser_Resoudre\02_ModelisationDesSystemesMecaniques\Cours\Latex_2012\01_Modelisation\Cours\png\cc.png |
| Chaîne ouverte  Liaisons en séries | Chaîne ouverte  (Liaisons en parallèles) | Chaîne complexe |

### Liaison sphère-plan (Anciennement ponctuelle)

|  |  |
| --- | --- |
| 2 | ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................ |
|  | ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................ |

### Liaison cylindre – plan (Anciennement linéaire rectiligne)

|  |  |
| --- | --- |
| 2 | ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................ |
|  | ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................ |

### Liaison sphère – cylindre (Anciennement linéaire annulaire)

|  |  |
| --- | --- |
| 4  5 | ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................ |
|  | ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ................................................................................................................................... |

### Liaison appui plan

|  |  |
| --- | --- |
| 1 | ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................ |

### Liaison sphérique (Anciennement rotule)

|  |  |
| --- | --- |
| 1 | ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................ |
| 2 | ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................ |

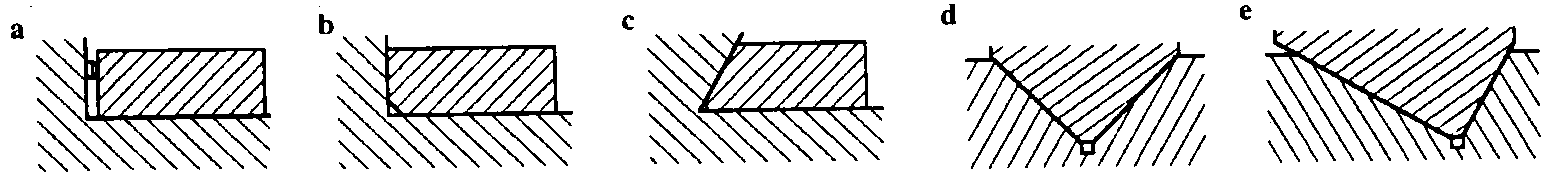
### Liaison pivot glissant

|  |  |
| --- | --- |
| 3 | ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................ |
|  | ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................  ........................................................................................................................................ |

### Liaison pivot

|  |  |
| --- | --- |
| 2 | ....................................................................................................................  ....................................................................................................................  .................................................................................................................... |
| 3 | ....................................................................................................................  ....................................................................................................................  .................................................................................................................... |
| 4 | ....................................................................................................................  ....................................................................................................................  .................................................................................................................... |
| 5 | ....................................................................................................................  ....................................................................................................................  .................................................................................................................... |

### Liaisons glissière



.......................................................................................................................................................................................

.......................................................................................................................................................................................

## Modélisation par schéma cinématique

### Construction des schémas cinématiques

|  |
| --- |
| **Définition : Classe d’équivalence cinématique**  Une classe d’équivalence cinématique est un ensemble de pièces en liaison encastrement (démontable ou non).Toutes les pièces faisant partie d’une même classe d’équivalence n’ont pas de mobilités relatives entre elles. Elles ontle même mouvement lors du fonctionnement du mécanisme. |

|  |
| --- |
| *Remarque :*  Pour identifier les classes d’équivalence sur un dessin d’ensemble on les colorie d’une seule et même couleur. Généralement on commence en coloriant le bâti d’une seule et même couleur (plutôt claire). Les pièces d’une même classe d’équivalence sont souvent assemblées par des vis ou par des soudures. |

|  |
| --- |
| **Méthode de réalisation des schémas cinématiques :** *(Une méthode parmi d’autres)*  A partir d’un dessin d’ensemble ou d’un mécanisme :   * colorier chacune des classes d’équivalence ; * réaliser le graphe des liaisons ; * indiquer sur le schéma le **repère** de représentation (dans le plan ou en 3D) ; * placer sur le schéma, les **centres** de chaque liaison (points A, B, C, ...) ; * tracer les axes principaux des liaisons (par exemple axe d’un pivot ou d’une glissière ou normale d’un appui plan ; * dessiner chacun des symboles normalisés des liaisons en couleur en respectant leur **direction**; * relier les groupes cinématiques par des traits (éviter les zigzags et croisements de traits) : on ne tient pas compte de la forme et de l’épaisseur des pièces qui composent le mécanisme ; * ajouter le symbole indiquant **le groupe de référence dit « le bâti ».** |

### Les différents types de schémas

Prenons le cas du microcompresseur suivant

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| *Dessin d’ensemble* | *Schéma technologique* |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Schéma d’architecture | Schéma cinématique minimal |