

MODÉLISATION ET LIAISONS CINÉMATIQUES

1. La modélisation en mécanique

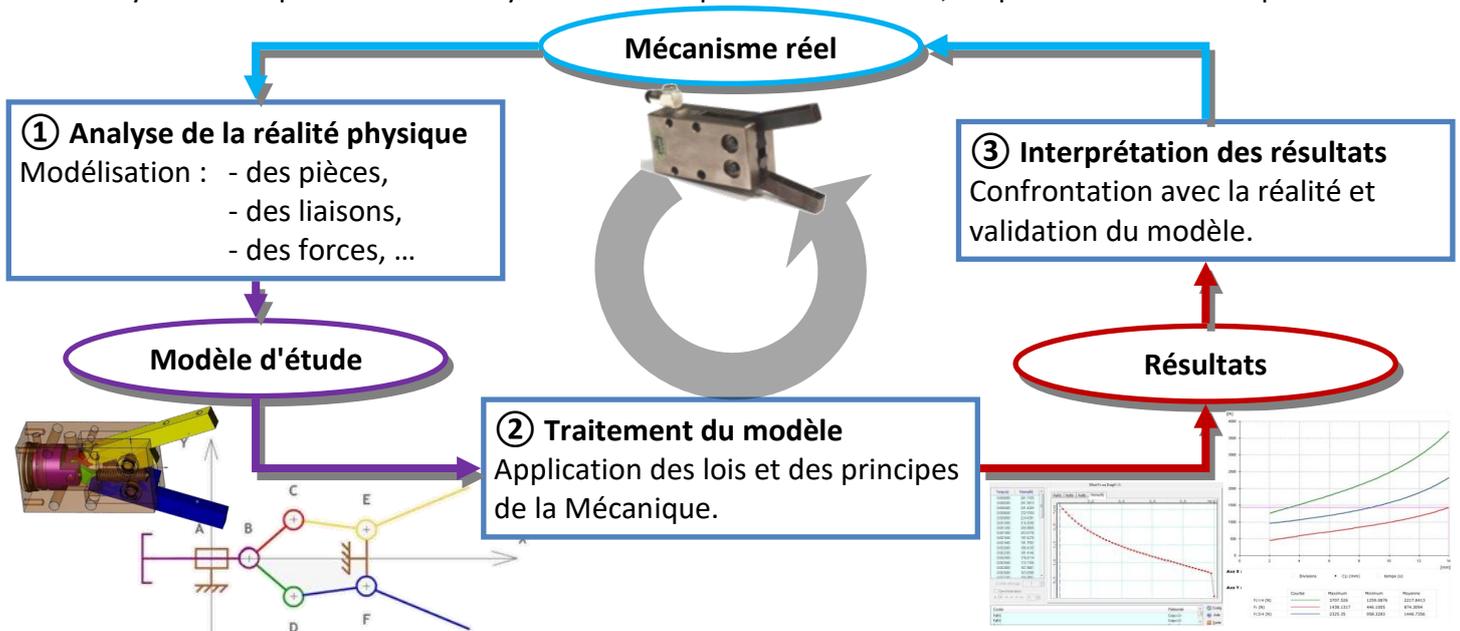
1.1. Pourquoi modéliser ?

Pour trouver une réponse à une question technologique (valider un critère du cahier des charges fonctionnel, dimensionner une pièce...), on peut avoir recours à un logiciel de simulation.

Pour paramétrer l'outil il faut « traduire » un système réel en éléments reconnus par le logiciel. C'est ce que l'on appelle la modélisation du système.

La complexité du réel nous contraint à effectuer des hypothèses simplificatrices. Ainsi, la modélisation permet, par des approximations plus ou moins grandes, de faire entrer le réel dans le domaine de validité d'une théorie de calcul (par exemple : mécanique du solide indéformable avec la statique, la cinématique, la dynamique, la résistance des matériaux...).

Pour analyser le comportement d'un système technique et le modéliser, on procède en trois étapes :



Les résultats des calculs doivent obligatoirement être analysés. Cela permet de modifier ou valider les hypothèses ayant permis la modélisation du système.

1.2. Hypothèses

En mécanique, la traduction graphique du modèle, contenant les hypothèses simplificatrices, est appelé schéma.

Les hypothèses permettant de réaliser un schéma cinématique (lié aux mouvements) d'un système sont :

- Les solides constituant le système sont parfaits (masse constante, indéformable, caractéristiques mécaniques identiques dans toutes les directions).
- Les surfaces des pièces constituant le système sont géométriquement parfaites ;
- Les contacts entre ces surfaces se font sans jeu et sans adhérence ;
- Les liaisons entre les pièces sont considérées comme permanentes ;
- On représente le mécanisme dans une position quelconque de fonctionnement et non en butée ;

1.3. Repérage d'un solide par rapport à un autre

Afin de pouvoir schématiser le mécanisme, il faut pouvoir définir l'emplacement des différents éléments. Pour cela, on est amené à placer différents repères.

1.3.1. Repère général

Il est caractérisé par :

- Un point fixe, généralement lié au bâti ;
- Une base ($\vec{x}; \vec{y}; \vec{z}$) constituée de vecteurs unitaires dirigés selon des directions caractéristiques de l'ensemble (par exemple axes de symétrie de certaines pièces essentielles).

1.3.2. Repère local

Le repère local permet de caractériser une liaison selon sa forme géométrique particulière : axes de symétrie, normale à un plan particulier de cette liaison, etc.

2. Cinématique des liaisons entre solides

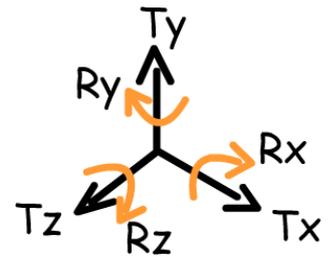
Une liaison élémentaire entre deux solides S1 et S2 est créée par le d'une surface associée au solide S1 sur une surface associée au solide S2.

2.1. Notion de liaison et de degrés de liberté

Si on considère deux solides n'ayant aucun contact entre eux, le nombre de mouvement maximum indépendant possible entre les deux solides est de

La pièce peut se déplacer :

- par suivant chacun des axes ;
- par autour de chacun des axes.



Ces mouvements relatifs indépendants possibles constituent les degrés de liberté.

Un système mécanique est composé de plusieurs solides ayant une ou plusieurs surfaces de contacts entre eux. Chaque contact entre les deux pièces limite les mobilités.

Ainsi, les caractéristiques géométriques de ces surfaces de contact (et donc les mobilités supprimées) permettent de définir des liaisons que l'on appellera liaisons mécaniques.

2.2. Les différents types de contact en fonction des surfaces

| Nature du contact | | Surfaces de contact (exemples) | |
|-------------------|-------|--------------------------------|--|
| Ponctuel | | sphère / plan | |
| Linéique | | cylindre / plan | |
| | | sphère / cylindre | |
| Surfacique | | plan / plan | |
| | | cylindre / cylindre | |
| | | sphère / sphère | |
| | | cône / cône | |
| | | hélice / hélice | |

3. Tableau des liaisons cinématiques

| Caractérisation de la liaison | Degrés de liberté (ddl) | Schématisation plane | Schématisation spatiale | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------------------|-------------------------|---|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|--|--|
| Sphère-plan (ponctuelle) de normale | <table border="1"> <tr><td></td><td>T</td><td>R</td></tr> <tr><td>\vec{x}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{y}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{z}</td><td>---</td><td>---</td></tr> </table> | | T | R | \vec{x} | --- | --- | \vec{y} | --- | --- | \vec{z} | --- | --- | | |
| | T | R | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{x} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{y} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{z} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| 5 ddl | | | | | | | | | | | | | | | |
| Linéaire rectiligne d'axe et de normale | <table border="1"> <tr><td></td><td>T</td><td>R</td></tr> <tr><td>\vec{x}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{y}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{z}</td><td>---</td><td>---</td></tr> </table> | | T | R | \vec{x} | --- | --- | \vec{y} | --- | --- | \vec{z} | --- | --- | | |
| | T | R | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{x} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{y} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{z} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| 4 ddl | | | | | | | | | | | | | | | |
| Linéaire annulaire d'axe | <table border="1"> <tr><td></td><td>T</td><td>R</td></tr> <tr><td>\vec{x}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{y}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{z}</td><td>---</td><td>---</td></tr> </table> | | T | R | \vec{x} | --- | --- | \vec{y} | --- | --- | \vec{z} | --- | --- | | |
| | T | R | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{x} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{y} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{z} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| 4 ddl | | | | | | | | | | | | | | | |
| Appui plan de normale | <table border="1"> <tr><td></td><td>T</td><td>R</td></tr> <tr><td>\vec{x}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{y}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{z}</td><td>---</td><td>---</td></tr> </table> | | T | R | \vec{x} | --- | --- | \vec{y} | --- | --- | \vec{z} | --- | --- | | |
| | T | R | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{x} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{y} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{z} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| 3 ddl | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sphérique (rotule) de centre | <table border="1"> <tr><td></td><td>T</td><td>R</td></tr> <tr><td>\vec{x}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{y}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{z}</td><td>---</td><td>---</td></tr> </table> | | T | R | \vec{x} | --- | --- | \vec{y} | --- | --- | \vec{z} | --- | --- | | |
| | T | R | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{x} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{y} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{z} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| 3 ddl | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pivot glissant d'axe | <table border="1"> <tr><td></td><td>T</td><td>R</td></tr> <tr><td>\vec{x}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{y}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{z}</td><td>---</td><td>---</td></tr> </table> | | T | R | \vec{x} | --- | --- | \vec{y} | --- | --- | \vec{z} | --- | --- | | |
| | T | R | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{x} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{y} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{z} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| 2 ddl | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pivot d'axe | <table border="1"> <tr><td></td><td>T</td><td>R</td></tr> <tr><td>\vec{x}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{y}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{z}</td><td>---</td><td>---</td></tr> </table> | | T | R | \vec{x} | --- | --- | \vec{y} | --- | --- | \vec{z} | --- | --- | | |
| | T | R | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{x} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{y} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{z} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| 1 ddl | | | | | | | | | | | | | | | |
| Glissière d'axe | <table border="1"> <tr><td></td><td>T</td><td>R</td></tr> <tr><td>\vec{x}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{y}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{z}</td><td>---</td><td>---</td></tr> </table> | | T | R | \vec{x} | --- | --- | \vec{y} | --- | --- | \vec{z} | --- | --- | | |
| | T | R | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{x} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{y} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{z} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| 1 ddl | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hélicoïdale d'axe | <table border="1"> <tr><td></td><td>T</td><td>R</td></tr> <tr><td>\vec{x}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{y}</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>\vec{z}</td><td>---</td><td>---</td></tr> </table> | | T | R | \vec{x} | --- | --- | \vec{y} | --- | --- | \vec{z} | --- | --- | | |
| | T | R | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{x} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{y} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| \vec{z} | --- | --- | | | | | | | | | | | | | |
| $T_z \leftrightarrow R_z$: Mvt conjugués 1 ddl | | | | | | | | | | | | | | | |

4. Schéma cinématique

Le but du schéma cinématique est de modéliser un système en faisant apparaître les mouvements possibles dans ce système.

Par définition, un mécanisme est composé de plusieurs sous-ensembles reliés entre eux par une ou plusieurs liaisons.

Mais la lecture des plans d'ensemble n'est pas toujours aisée (cas de mécanismes existants) et il est utile d'en **simplifier la représentation**.

Lorsque le mécanisme n'existe pas (phase de conception), on a besoin d'un **schéma illustrant le fonctionnement attendu** sans toutefois limiter le concepteur dans les formes et dimensions à concevoir.

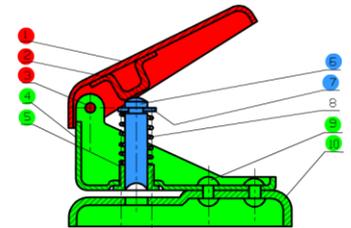
Le schéma cinématique doit présenter le plus fidèlement possible les relations entre les différents groupes de pièces. On trouvera donc :

- Des **groupes de pièces** représentés sous forme de « fils de fer ». On les appelle « classes d'équivalence cinématique » ;
- Des **liaisons normalisées** situées au niveau de chaque contact entre les groupes de pièces.

Étape 1 : Classes d'équivalence

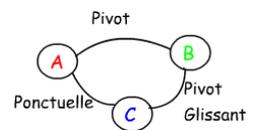
Il s'agit d'identifier sur le dessin d'ensemble du mécanisme les classes d'équivalence cinématique.

Classe d'équivalence cinématique : ensemble de pièces liées les unes aux autres par des liaisons complètes. Ces pièces sont fixes les unes par rapport aux autres. Chaque classe d'équivalence doit être coloriée avec une couleur différente sur le dessin d'ensemble.



Étape 2 : Graphe des liaisons

Réaliser le graphe des liaisons du mécanisme : il s'agit de repérer les classes d'équivalence en contact (donc les liaisons mécaniques) en indiquant les centres géométriques des contacts (ces points doivent être ajoutés sur le dessin d'ensembles)



Étape 3 : Liaisons mécaniques

Caractériser les liaisons du mécanisme (nom, centre, axe ...) sur le graphe des liaisons.

Étape 4 : Schéma cinématique

Sur la feuille :

- Placer les axes correspondant à la vue la plus intéressante pour décrire le fonctionnement ;
- Placer les centres des liaisons en respectant leur disposition géométrique à vue d'œil ;
- Sur chaque centre, dessiner, avec les 2 couleurs correspondant aux classes d'équivalence des pièces en contact, le schéma de la liaison correspondante (attention à la vue choisie) ;
- Relier les couleurs identiques entre elles ;
- Indiquer la « partie fixe » du mécanisme, c'est-à-dire le bâti ou carter.

