

Objectifs :

- Modéliser, à l'aide d'une des neuf liaisons usuelles, le comportement cinématique d'un solide par rapport à un autre.
- Représenter un système par son schéma cinématique minimal.
- Comprendre le fonctionnement d'un système à l'aide de son schéma cinématique.

Savoirs

Je connais :

- les noms des neuf liaisons usuelles ;
- les symboles de représentation 2D et 3D des neuf liaisons usuelles ;
- les symboles permettant de représenter les transmetteurs usuels ;
- les différentes liaisons permettant de modéliser le comportement cinématique entre deux Classes d'Équivalence Cinématique (CEC) en contact.

Savoir-faire**Je sais :**

- Identifier une liaison usuelle sur un schéma cinématique et la caractériser par son nom, sa description géométrique, ses degrés de liberté ;
- repérer les Classes d'Équivalences Cinématique (CEC) sur la représentation technique 2D ou 3D d'un système ;
- identifier la géométrie du contact entre deux pièces ;
- identifier le mouvement relatif entre deux CEC en contact et le modéliser par une des dix liaisons usuelles ;
- réaliser un graphe des liaisons ;
- élaborer un schéma cinématique ;

Sommaire

I - Les liaisons	3
I.1 - Degrés de liberté.....	3
I.2 - Liaisons usuelles.....	4
II - Les contacts	5
II.1 - Contacts directs	5
II.2 - Contacts par éléments interposés	5 et 6
III - Schéma cinématique.....	7
III.1 - Démarche pour obtenir un schéma cinématique	7 et 8
III.2 - Symboles associés aux transmetteurs usuels	9
III.3 - Tableaux des liaisons élémentaires	10 et 11
Exemple	12 et 13

(1) Un solide est une pièce ou un groupe de pièces assemblées entre elles.

(2) En contact direct ou par l'intermédiaire d'éléments de guidage interposés (roulements, coussinets...)

(3) C'est-à-dire indépendamment de la solution technique qui réalise la fonction à laquelle elle est associée.

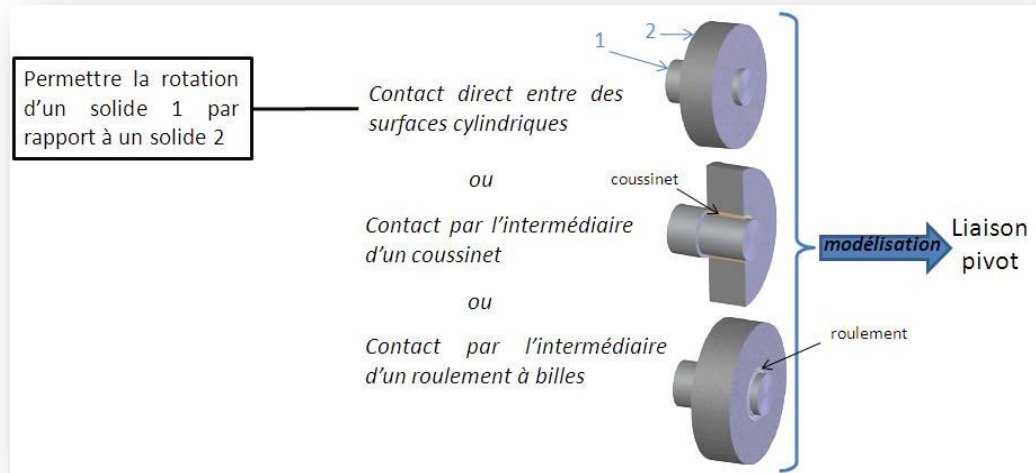
(4) Cela signifie que le mouvement relatif d'un solide par rapport à l'autre peut avoir lieu indépendamment des autres mouvements

(5) En général, ce repère « idéal » n'est lié à aucun des solides. Son origine est choisie pour être confondue avec un de la liaison et les vecteurs directeurs de sa base correspondent à des culières (axe de symétrie, axe de révolution, ligne de contact...)

I - Les Liaisons

Une liaison est un **modèle du comportement cinématique** d'un solide⁽¹⁾ par rapport à un autre.

Elle permet de définir les possibilités de mouvement entre deux solides en contact⁽²⁾ indépendamment de sa réalisation matérielle⁽³⁾. Cela signifie que **différentes réalités technologiques** peuvent conduire au même comportement cinématique et donc à la **même liaison**.



I.1 - Degrés de liberté

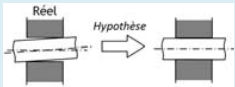
On appelle **degrés de liberté**, chacun des **mouvements relatifs élémentaires indépendants**⁽⁴⁾ autorisés par une liaison. Ils correspondent aux **rotations** et **translations relatives** suivant les axes du repère local⁽⁵⁾

$R = (0, x, y, z)$ associé à la liaison.

3 degrés de liberté en translation	T_x = liberté de mouvement de translation rectiligne de direction x	
	T_y = liberté de mouvement de translation rectiligne de direction y	
	T_z = liberté de mouvement de translation rectiligne de direction z	
3 degrés de liberté en rotation	R_x = liberté de mouvement de rotation d'axe (O, x)	
	R_y = liberté de mouvement de rotation d'axe (O, y)	
	R_z = liberté de mouvement de rotation d'axe (O, z)	

Le **nombre de degrés de liberté** entre deux solides correspond donc au **nombre de paramètres de mouvements indépendants** à définir pour caractériser le

1) En faisant l'hypothèse que les jeux de fonctionnement sont nuls, c'est-à-dire que certains mouvements relatifs sont négligeables devant d'autres.



mouvement relatif entre deux solides.

I.2 - Liaisons usuelles

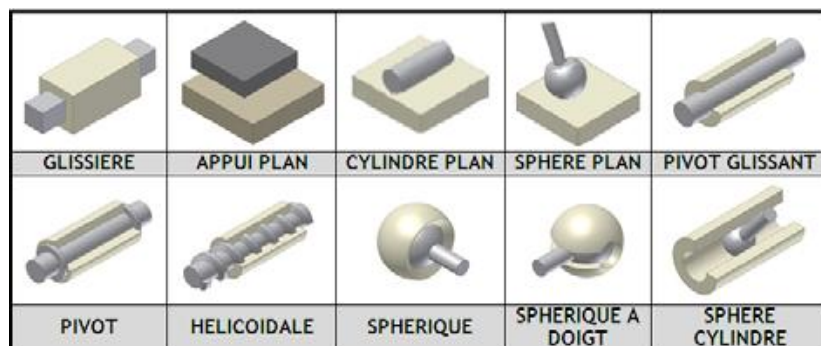
Les cas de mouvements relatifs entre deux solides⁽¹⁾ en contact les plus souvent rencontrés dans les systèmes réels sont modélisés par les liaisons dites « **usuelles** ».

Pour chacune d'entre elles, on associe :

		REMARQUE
Le nom	<i>Exemple :</i> Liaison pivot	Deux liaisons différentes peuvent porter des noms qui se ressemblent
La description géométrique	<i>Exemple :</i> Liaison pivot d'axe (A, x)	Cette indication indispensable doit être rattachée au nom de la liaison
Les symboles de représentation 2D et 3D	<i>Exemple :</i> Symbole 3D Symbole 2D	<i>Bien que, pour une meilleure mémorisation, ils rappellent des liaisons à contact direct, il ne faut pas oublier qu'ils ont uniquement comme but de définir les mouvements relatifs possibles, sans préjuger des solutions techniques présentées sur le système réel.</i> <i>Les solides en contact seront donc indifféremment associés à l'une ou l'autre partie du symbole. Le choix se fera en fonction des critères de lecture ou esthétique du schéma cinématique</i>
Le nombre de degrés de liberté	<i>Exemple :</i> 1 degré de liberté : Rx	<i>Lorsque deux solides en mouvement relatifs sont en contact⁽²⁾, le nombre de degrés de liberté est compris entre 1 et 5.</i>

(2) En contact direct ou par l'intermédiaire d'éléments de guidage interposés (roulements, coussinets...)

Pour les représentations normalisées voir l'annexe, pour une meilleure compréhension et mémorisation des symboles, on peut utiliser les figures suivantes :



II - Les contacts

Ce sont les contacts entre les solides, observés sur le système réel, qui permettent d'identifier les mouvements relatifs avec comme objectif d'associer à chacune des situations rencontrées un modèle de comportement cinématique et donc une des liaisons usuelles.

(1) Il est supposé que le contact est observé à chaque instant. Des contacts temporaires tels que des butées de fin de course, limitent l'amplitude du mouvement mais ne modifient pas leur nature.

(2) Cela se traduit par des pertes d'énergie par frottement plus faibles et donc un meilleur rendement.

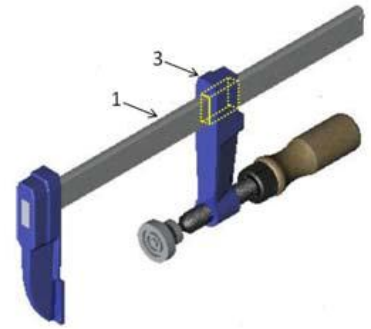
□ Le choix et la façon d'utiliser les roulements sont très complexes, des ouvrages entiers y sont d'ailleurs consacrés.

Il ne s'agit pas ici de résumer en quelques lignes les différents cas possibles mais juste de souligner que le modèle (donc la liaison) choisi dépend du type de roulement et de la façon dont il a été installé sur le système.

(3) Il existe toujours un jeu, aussi minime soit-il, entre les billes et les bagues. Ce jeu a pour conséquence de permettre une rotation relative des bagues, autour des axes perpendiculaires à l'axe principal du roulement.

II.1 - Contacts directs

C'est le contact⁽¹⁾ entre une surface d'un solide et une surface d'un autre solide qui permet de contraindre le mouvement relatif en supprimant certains degrés de liberté et obtenir ainsi le mouvement relatif souhaité.



II.2 - Contacts par éléments interposés ou indirects

Grâce à l'interposition d'**éléments glissants** ou **roulants** entre les solides, il est possible d'obtenir des mouvements relatifs plus performants d'un point de vue énergétique⁽²⁾. L'utilisation de ces solutions techniques permet aussi aux concepteurs des systèmes d'obtenir facilement les mouvements relatifs recherchés.

Coussinets	
	Ils permettent d'obtenir un mouvement relatif entre deux solides modélisable par une liaison pivot ou pivot glissant

Roulements	
	En fonction de la valeur de l'angle maximal de rotulage ⁽³⁾ fourni par le constructeur, on peut considérer que le mouvement relatif entre la bague extérieure et la bague intérieure peut être modélisé par une liaison pivot ou une liaison sphérique. Si l'angle maximal de rotulage est $>5^\circ$, on peut considérer que les degrés de liberté de rotation autour des axes secondaires ne sont pas supprimés.

Ainsi, la façon dont sont liées les bagues aux deux solides en contact par l'intermédiaire du roulement, peut conduire à modéliser le mouvement relatif d'un solide par rapport à l'autre par :

Une liaison pivot	<ul style="list-style-type: none"> • Angle de rotulage du roulement $<5^\circ$ • Les deux bagues sont arrêtées en translation
Une liaison pivot glissant	<ul style="list-style-type: none"> • Angle de rotulage du roulement $<5^\circ$ • Une des deux bagues n'est pas arrêtée en translation
Une liaison sphérique	<ul style="list-style-type: none"> • Angle de rotulage du roulement $>5^\circ$ • Les deux bagues sont arrêtées en translation
Une liaison sphère-cylindre (ou linéaire annulaire)	<ul style="list-style-type: none"> • Angle de rotulage du roulement $>5^\circ$ • Une des deux bagues n'est pas arrêtée en translation

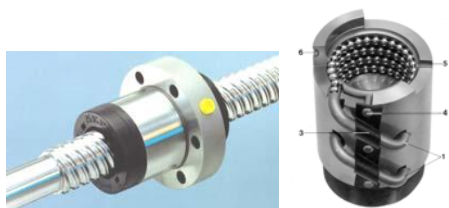
Douilles à billes



Elles permettent d'obtenir un mouvement relatif entre deux solides modélisable par une liaison :

Pivot glissant

Vis à billes



Elles permettent d'obtenir un mouvement relatif entre deux solides modélisable par une liaison :

Hélicoïdale

Guidages à billes



Ils permettent d'obtenir un mouvement relatif entre deux solides modélisable par une liaison :

Glissière

Rotules lisses



Elles permettent d'obtenir un mouvement relatif entre deux solides modélisable par une liaison :

Sphérique ou Rotule

(1) il ne tient compte ni des formes, ni des dimensions des pièces qui constituent les différents solides.

(2) lors de l'étude du comportement statique ou dynamique du système.

(1) CEC=Solides

Attention : Dans certains cas, les CEC et les mouvements relatifs entre celles-ci peuvent être différents selon la phase d'utilisation du système : fonctionnement, réglage...
En cas de doute, il faut préciser la phase d'utilisation qui a été choisie pour réaliser le schéma cinématique.

III - Schéma cinématique

Le schéma cinématique est un **outil de description simplifiée**⁽¹⁾ d'un système réel. Il permet de faire apparaître clairement les mouvements possibles entre les solides qui constituent le système ainsi que les paramètres de mouvement associés.

Il permet ainsi de faciliter :

- la **compréhension du fonctionnement** ;
- la **détermination des vecteurs vitesses et accélération** ;
- la **détermination des efforts**⁽²⁾.

III.1 - Démarche pour obtenir un schéma cinématique

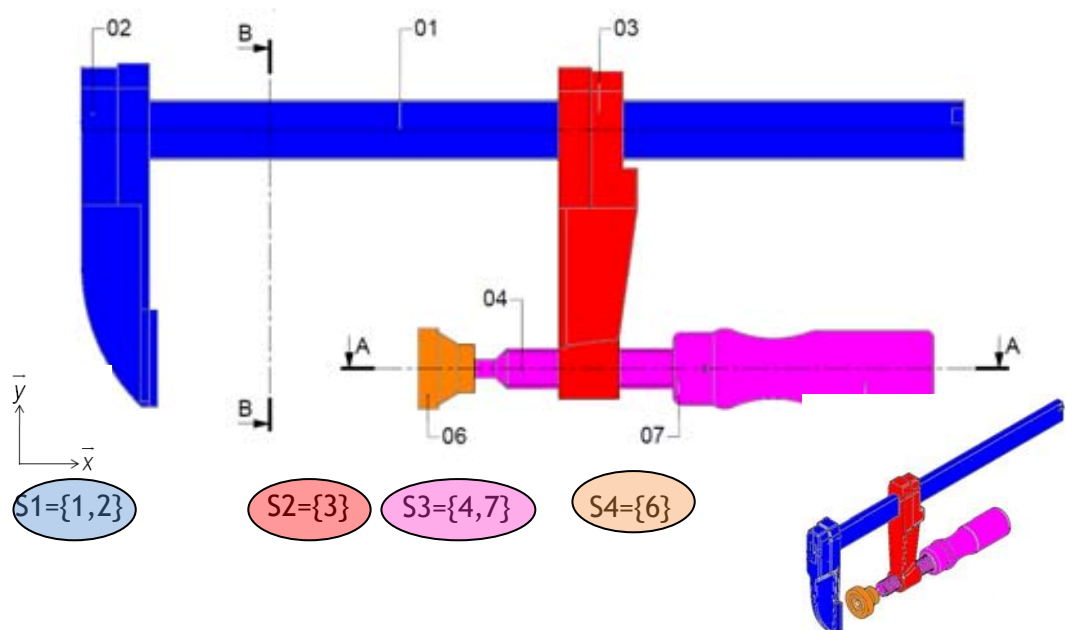
Étape 1 : Identifier les Classes d'Équivalence Cinématique⁽¹⁾

Nota : on peut aussi les appeler Groupes fonctionnels ou classes d'équivalences.

Cela consiste à repérer sur le système réel les pièces qui n'ont pas de mouvement relatif entre elles et à les regrouper.

Pour cela :

- rechercher et colorier chaque CEC sur la représentation technique 2D ou 3D du système;
- nommer chacune des CEC (S1,S2...) et lister, dans l'ordre croissant, les pièces qui les constituent.



Remarque :

- Toutes les pièces d'étanchéités, les éléments roulants (billes, rouleaux...) des roulements, butées, douilles sont à exclure des CEC (joints...);
- Un ressort constitue à lui seul une CEC.

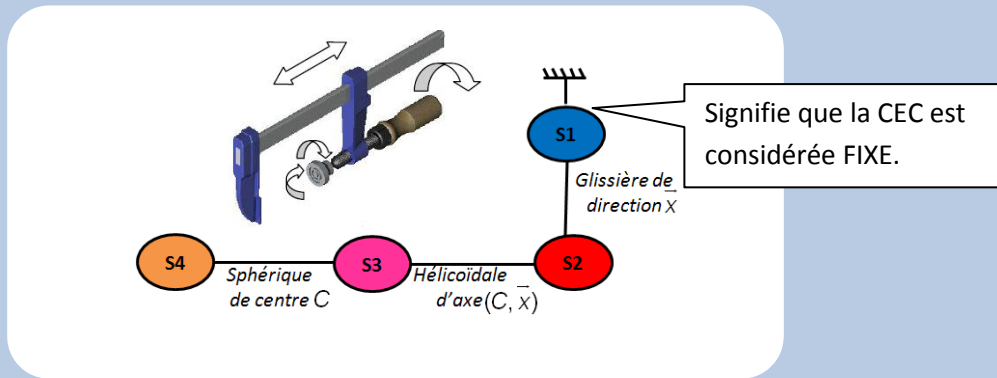
Étape 2 : Réaliser le graphe des liaisons

Pour cela :

- représenter les CEC par des bulles et les placer en respectant si possible leurs positions relatives observées sur le système réel ;
- repérer la CEC qui correspond au solide considéré comme fixe ;
- identifier les mouvements relatifs entre deux CEC en contact, choisir la liaison usuelle associée et la représenter par un lien entre les deux bulles.

Pour trouver les liaisons, on peut utiliser la question suivante :

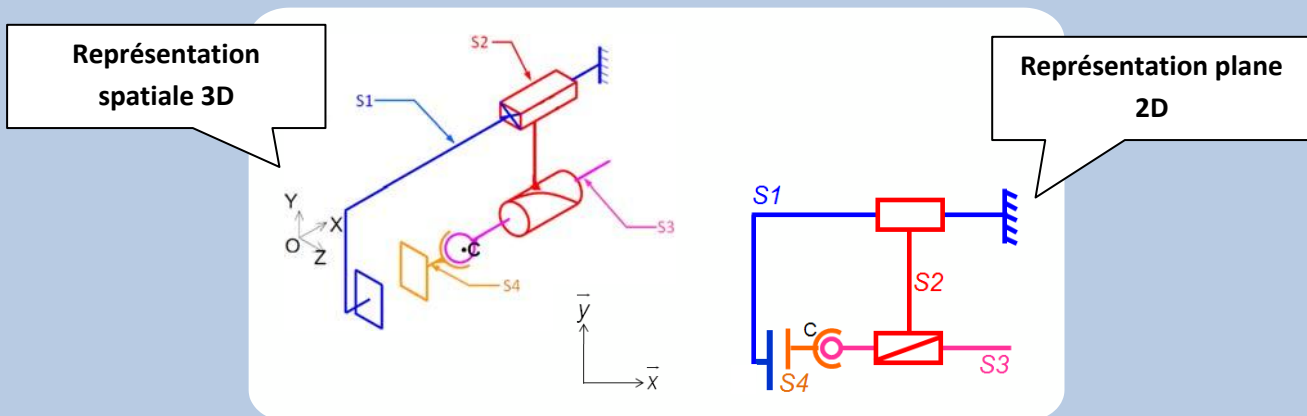
Tout en conservant les mêmes surfaces de contact entre les solides, quels sont les mouvements relatifs possibles entre les solides ?



Étape 3 : Élaborer le schéma cinématique


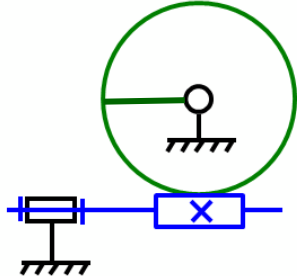

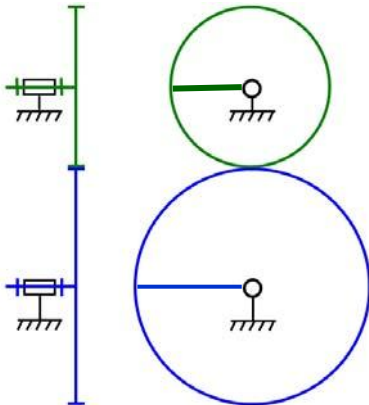

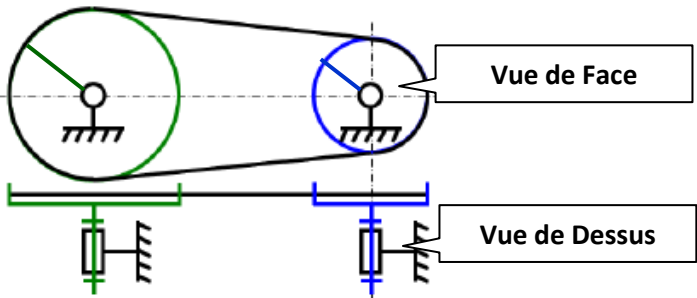
Pour cela :

- positionner les centres et les axes des liaisons en respectant si possibles leurs positions relatives observées sur le système réel ;
- mettre en place, en s'appuyant sur le graphe des liaisons, les symboles des liaisons usuelles en utilisant le code couleur retenu et en respectant leur orientation ;
- relier par des traits les éléments des symboles de liaisons qui sont de même couleur en respectant si possible l'architecture du système réel et en évitant que des traits se croisent.
- vérifier la cohérence entre les mouvements possibles entre les CEC sur le schéma cinématique et les mouvements observés sur le système réel.



III.2 - Symboles associés aux transmetteurs usuels

On trouve, sur les systèmes réels, de nombreux dispositifs permettant d'**adapter** et de **transmettre l'énergie mécanique**. Il faut donc savoir représenter ou identifier dans un schéma cinématique les plus courants d'entre eux.

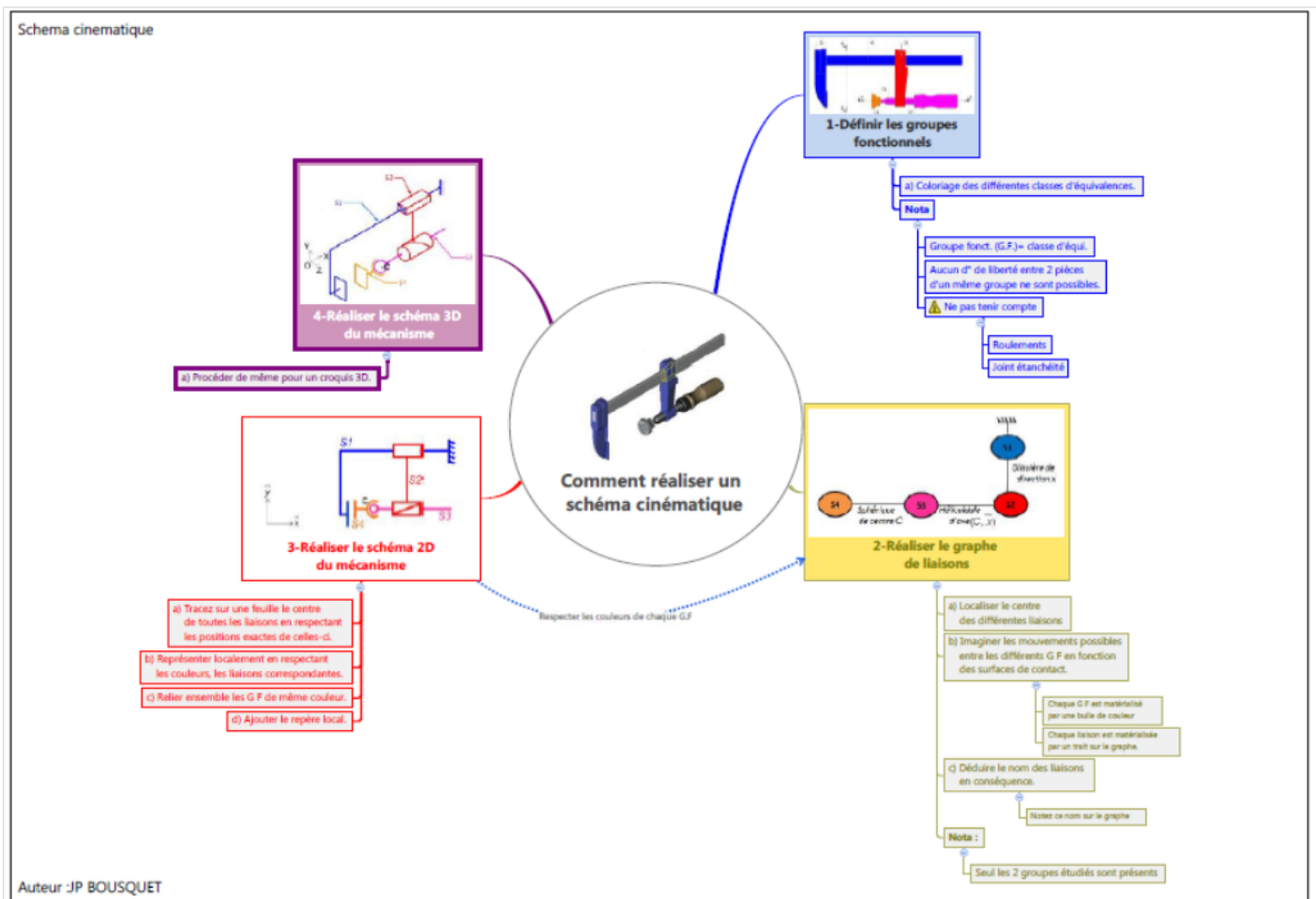
<p>Roue et vis sans fin</p> 	
<p>Système d'engrenage : roue / pignon</p> 	
<p>Poulie - courroie</p> 	

III.3 -Représentation des liaisons élémentaires 3D et 2D :

Nom	Schéma 3D	Exemple	D°liberté		Schémas 2D
			nb	détail	
Complète			0	Tr Rot.	
				$\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$	
Pivot			1	$\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$	
Pivot glissant			2	$\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$	
Glissière			1	$\begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$	
Sphérique ou rotule			3	$\begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$	
Sphérique à doigt			2	$\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$	
Hélicoïdale			1	$\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}$ liés	
Sphère-cylindre			4	$\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$	
Sphère-plan			5	$\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$	

<p>Linéaire rectiligne</p>			<p>4</p> $\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$	
<p>Appui- plan</p>			<p>3</p> $\begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$	

Pour résumer !



Xmind

Pdf

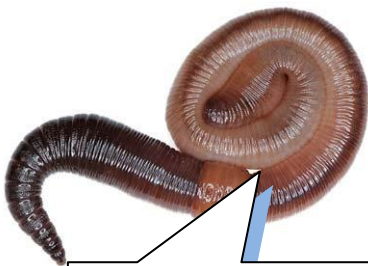
Démarche de projet



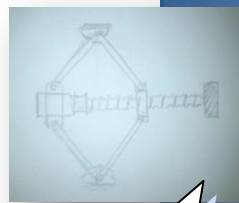
Problématique : Dans une habitation équipée d'une installation d'aspiration centralisée nous ne sommes pas à l'abri qu'un objet bouche une canalisation. Comment trouver l'endroit où celle-ci est obstruée ? Comment la déboucher ?



- Créer un robot capable :
- De se déplacer dans la canalisation.
 - De me renseigner de l'état de la canalisation, de la nature de l'obstacle (caméra + éclairage)
 - D'harponner l'élément obturateur afin de libérer la canalisation.



Pour le déplacement, reproduire les mouvements du lombric.



Esquisse de solution sous la forme de croquis

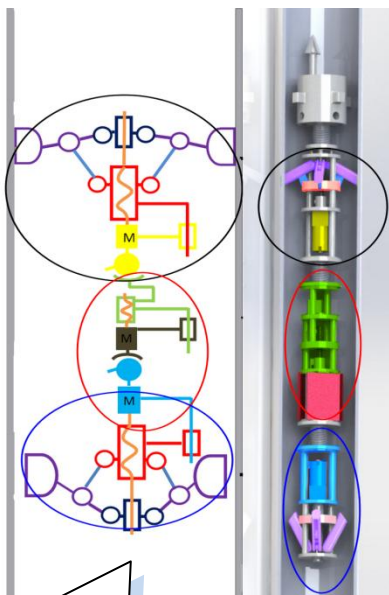
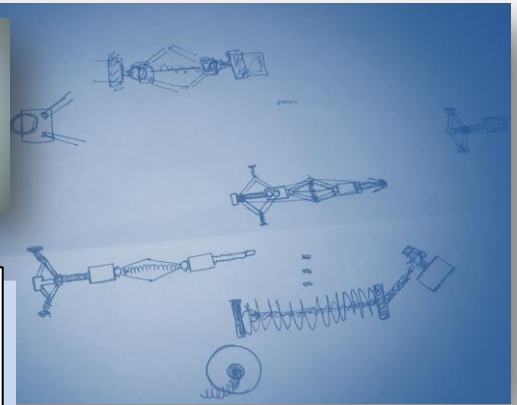
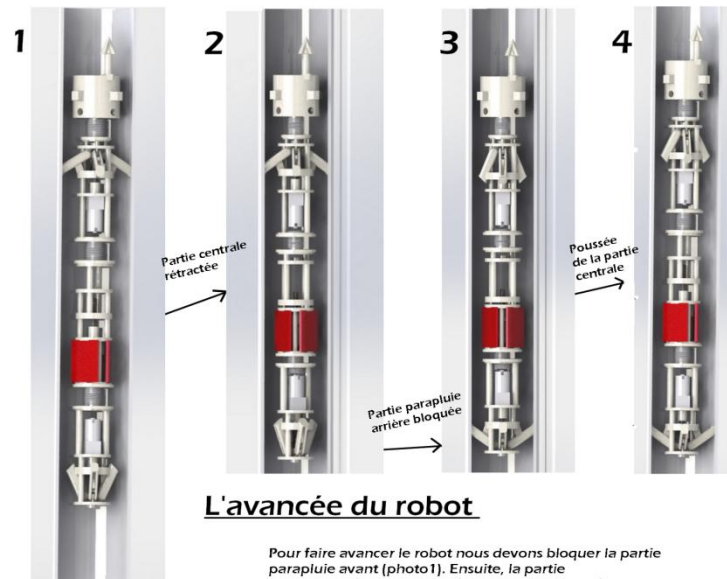


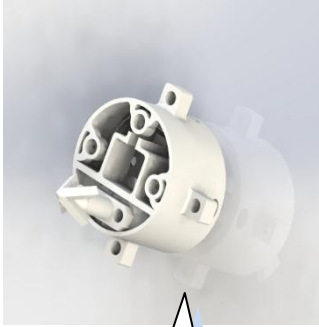
Schéma cinématique de la solution retenue.



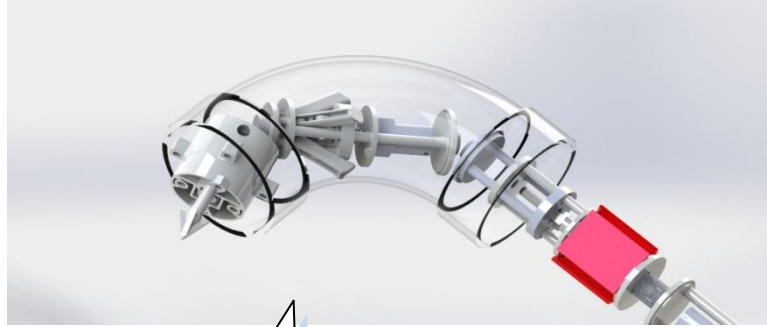
L'avancée du robot

Pour faire avancer le robot nous devons bloquer la partie parapluie avant (photo1). Ensuite, la partie centrale se rétracte et emmène avec elle, la partie parapluie arrière (photo2). Puis la partie parapluie arrière se bloque (photo3). Enfin la partie centrale s'allonge et fait avancer la partie avant du robot (photo4).

Conception à l'aide d'un modelleur 3D du prototype.



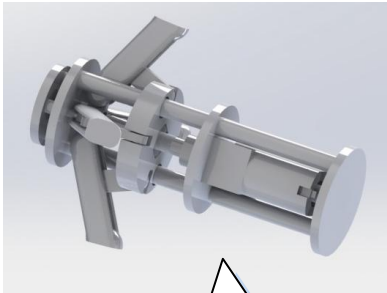
Tête du robot avec logements des leds, de la caméra, du harpon



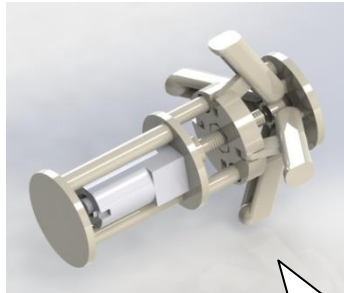
Maquette 3D du robot



Maquette 3D du robot



Partie haute du robot



Partie arrière du robot

Maquette réelle : 1^{er} prototype
Réalisation des différentes pièces à l'aide d'une imprimante 3D.

