

Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

# Mécanique

## MECA2 - Mécanismes

### TP1

*Robovolc – Réducteur Alstom*  
*Exercices divers*



Programme PSI/MP 2022 ( <a href="#">LIEN</a> )		
Id	Compétence développée	Connaissances associées
B2-16	Modifier un modèle pour le rendre isostatique.	Mobilité du modèle d'un mécanisme. Hyperstatisme du modèle. Substitution de liaisons.

Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

## Exercice 1: Extrait X-ENS PSI 2017 - ROBOVOLC

### *Véhicule basique*

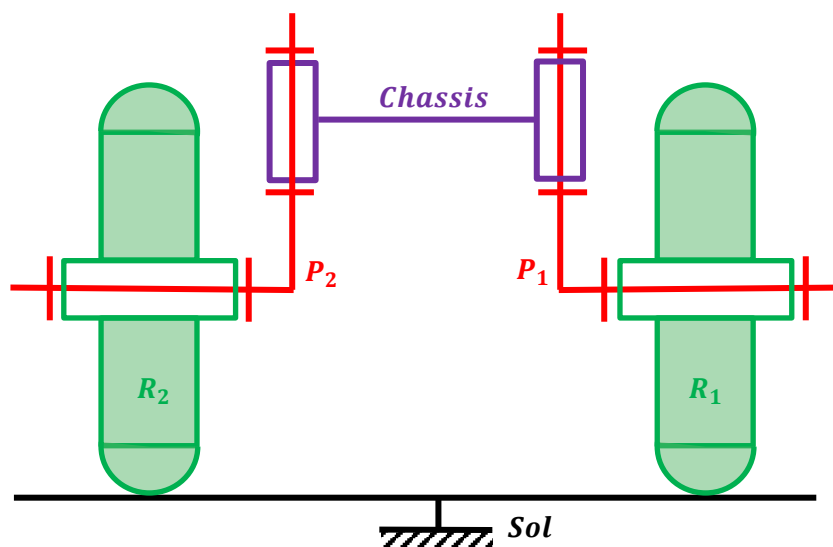
Cette partie n'était pas dans le sujet de concours.

On suppose dans un premier temps que :

- Le châssis du véhicule est supposé indéformable
- Chaque roue  $R_i$  réalise une liaison ponctuelle avec le sol plan de normale verticale
- Chaque roue est reliée au châssis du véhicule par l'intermédiaire d'une pièce intermédiaire  $P_i$  reliée
  - o Au châssis par une liaison pivot d'axe vertical (orientation)
  - o A la roue par une liaison pivot d'axe horizontal (motorisation)
- Il y a 6 roues



On donne le schéma suivant représentant un essieu :



Question 1: Déterminer le nombre de mobilités  $m$

Question 2: Déterminer le nombre d'inconnues cinématiques  $I_c$

Question 3: Déterminer le nombre d'inconnues statiques  $I_s$

Question 4: Déterminer le nombre d'équations cinématiques  $E_c$

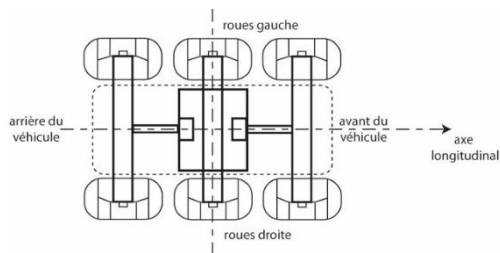
Question 5: Déterminer le nombre d'équations statiques  $E_s$

Question 6: En déduire le degré d'hyperstatisme  $h$  à l'aide des formules cinématique et statique

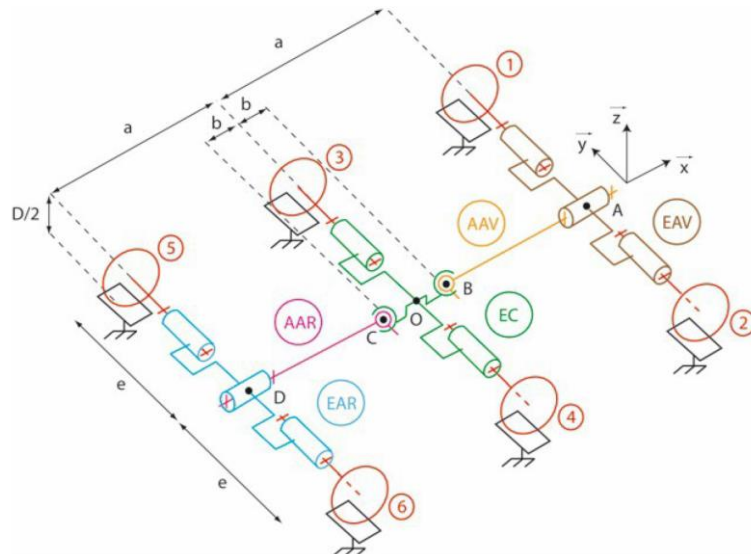
Question 7: Expliquer en quelques mots l'origine du degré d'hyperstatisme identifié

Question 8: Préciser ce qu'il faudrait ajouter au mécanisme pour qu'il soit isostatique

## Véhicule ROBOVOLC



Le véhicule est en réalité réalisé comme présenté sur le schéma cinématique ci-dessous :



Les deux rotules à doigts en B et C permettent les rotations sur les directions  $\vec{x}$  et  $\vec{y}$ .

châssis au repos	mouvement 1 : rotation de l'essieu avant autour de l'axe longitudinal	mouvement 2 : rotation de l'essieu central autour de l'axe longitudinal
mouvement 3 : rotation de l'essieu arrière autour de l'axe longitudinal	mouvement 4 : rotation de l'arbre avant autour de l'axe transversal	mouvement 5 : rotation de l'arbre arrière autour de l'axe transversal

Figure 11 : illustration des mouvements de déformation du châssis

**Question 9: Montrer que système est isostatique commenter le résultat**

**Question 10: Préciser l'influence de la présence de deux rotules au lieu de rotules à doigts en B et C sur les résultats obtenus**

Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

## Exercice 2: Réducteur ALSTOM



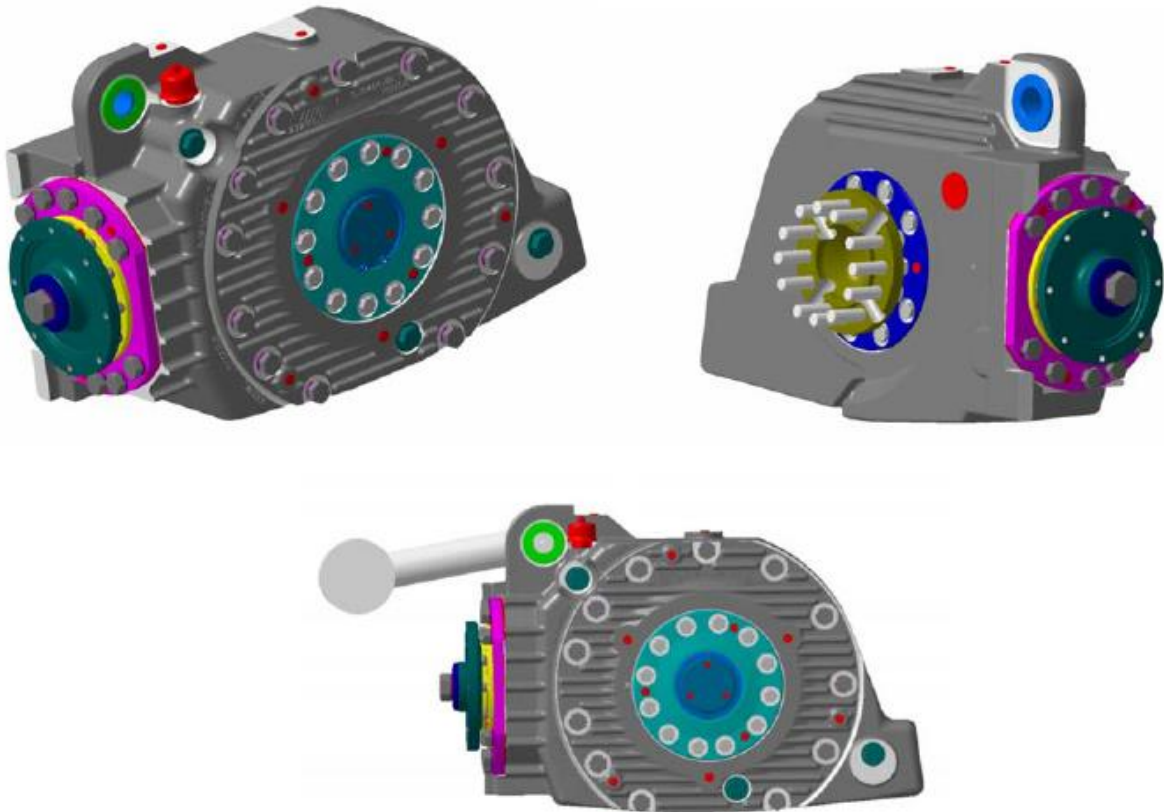
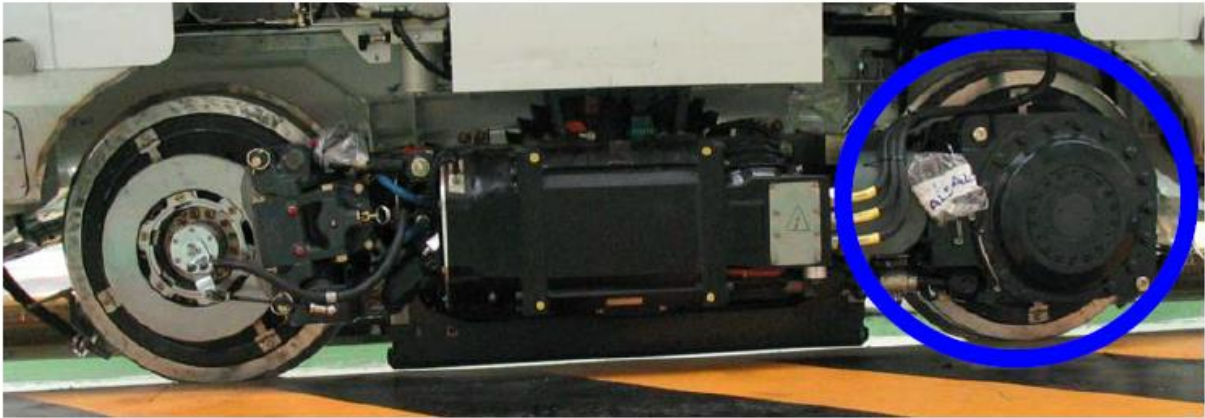
La société Alstom transport est spécialisée dans la fabrication de trains et tramways. En 2008, le développement d'une nouvelle gamme de tramways CITADIS a conduit le site du Creusot (71) à développer un nouveau bogie nommé Ixege, en deux déclinaisons (porteur équipé de 4 freins à disques et moteur équipé de 2 freins à disques et de 2 moteurs) :

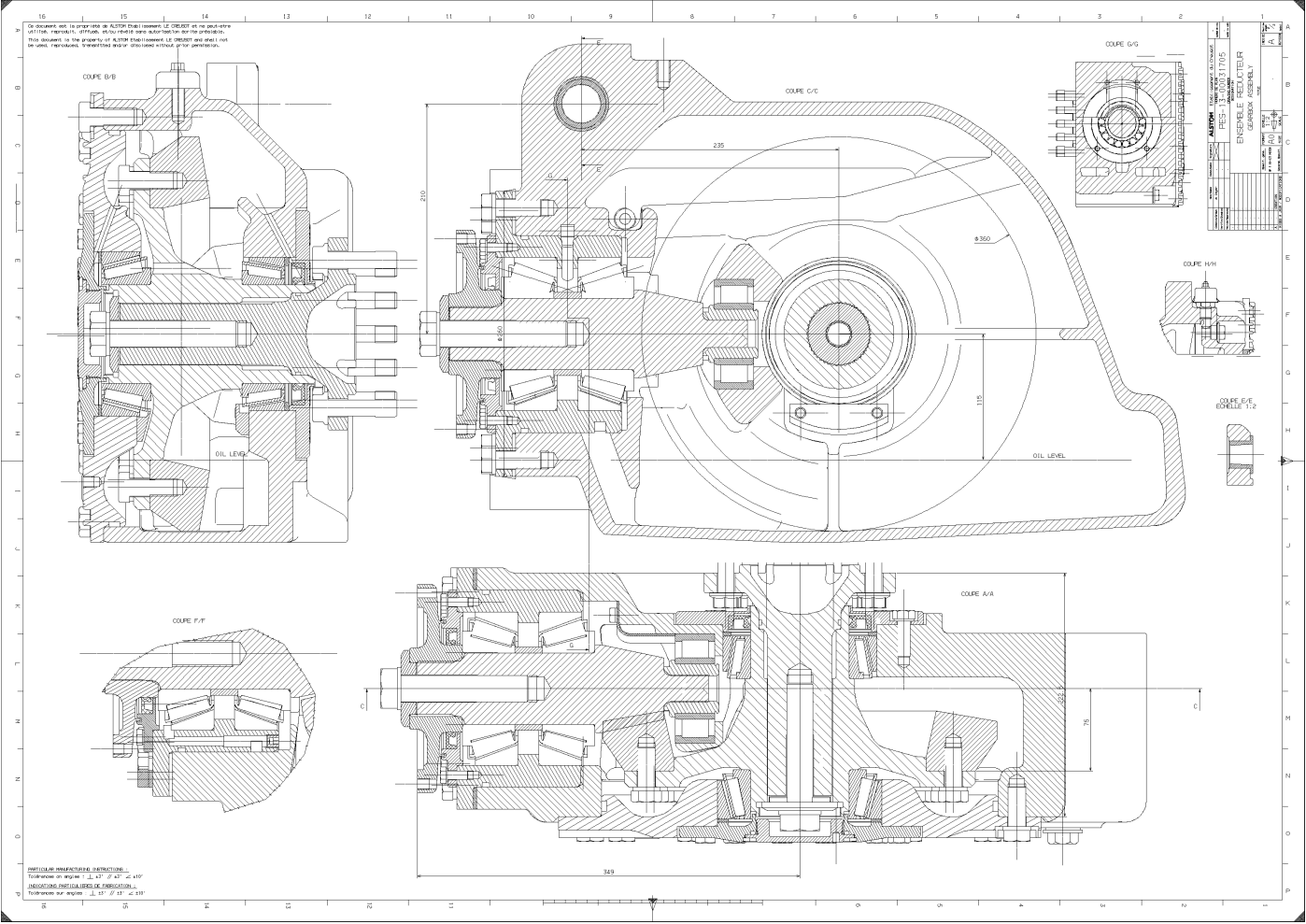


Un réducteur est placé entre le moteur et les roues afin de transmettre la puissance. Cette étude concerne ce réducteur dont le plan est fourni.



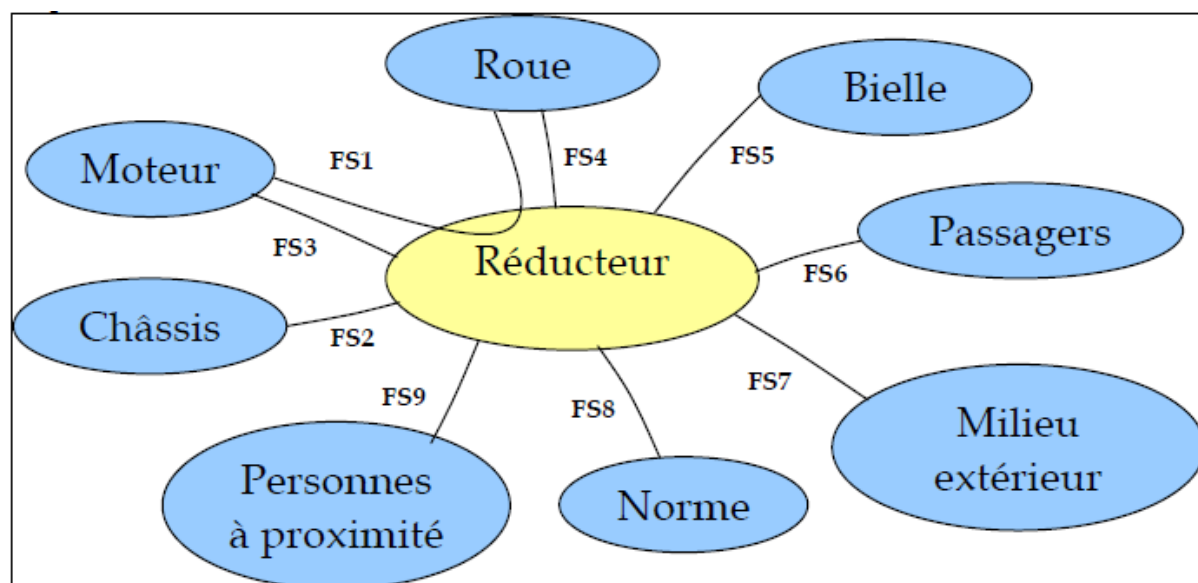
Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet





Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

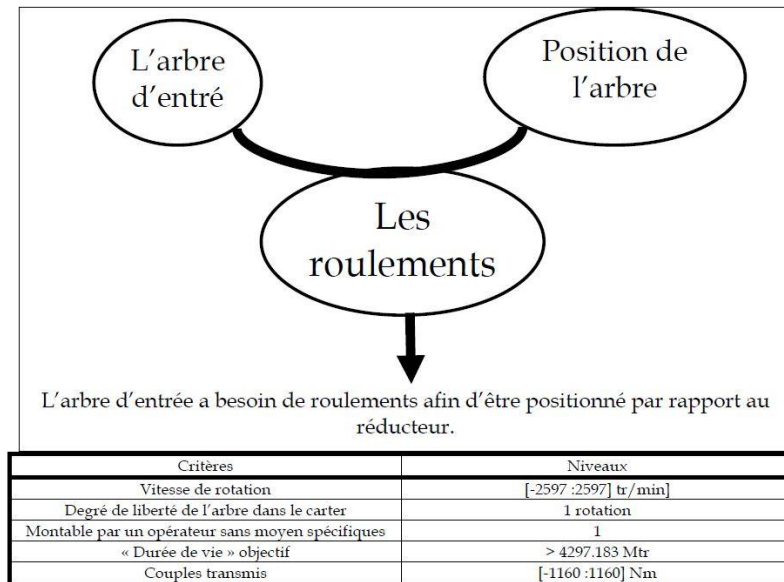
L'analyse fonctionnelle du besoin nous conduit à étudier la phase de vie du réducteur lors de son utilisation :



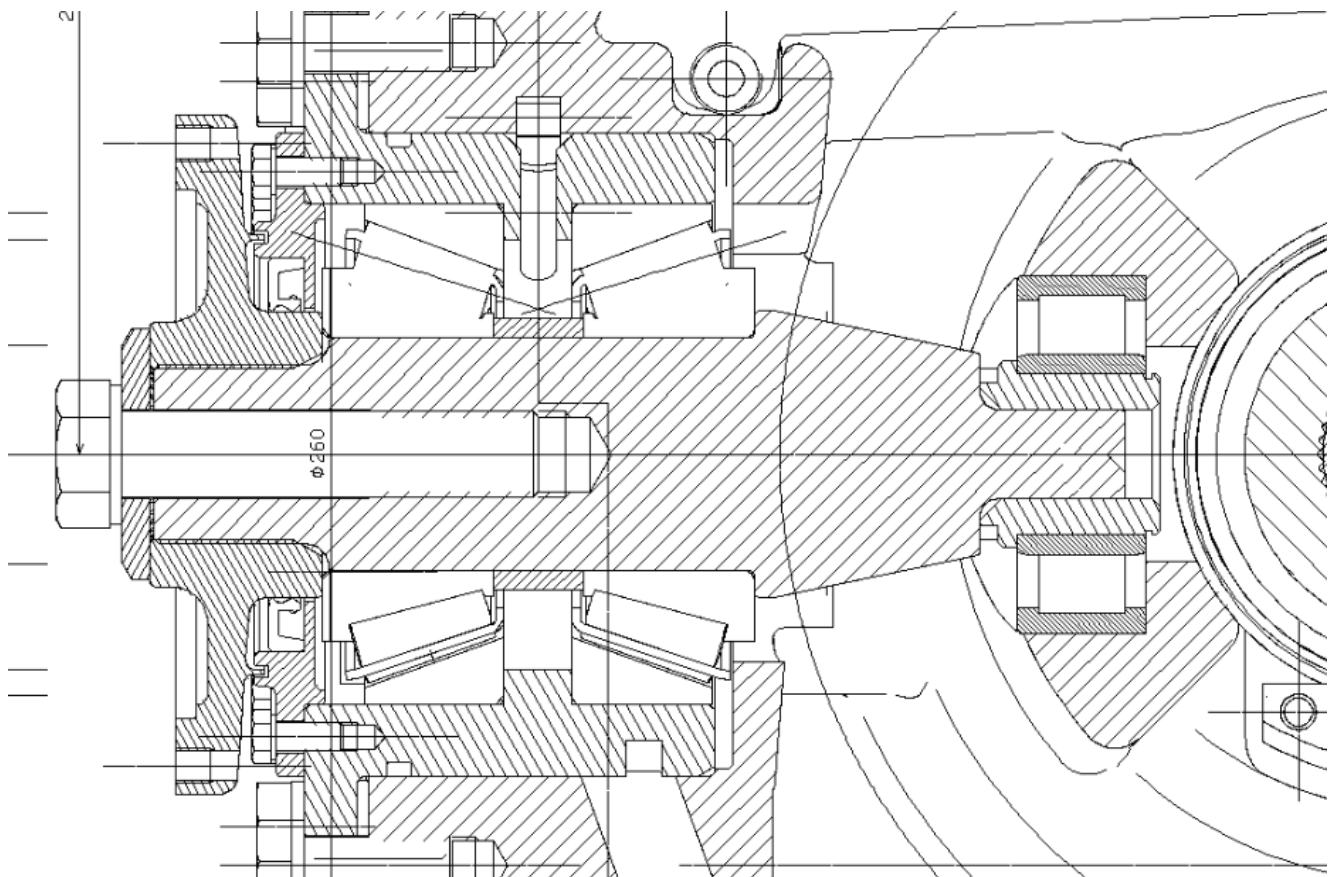
N°	Expression	Critères	Niveau	Flexibilité
FS1	Le moteur transmet la puissance aux roues par l'intermédiaire du réducteur	Puissance maximale	316.3 KW	+ 0 KW
		Vitesse de rotation maximale	2604 tr/min	+ 0 tr/min
		Couples moteur extrêmes	+ 1160 Nm - 1160 Nm	+ 0 Nm - 0 Nm
FS2	Le réducteur ne doit pas toucher le châssis	Rotation du réducteur autour de l'axe de la roue	X°	+ Y° - Y°
		Déplacements par rapport au châssis dans les 3 directions spatiales	X mm	+Y mm
FS3	Le moteur est en liaison complète avec l'arbre d'entrée du réducteur	Rotulage entre les 2 pièces autorisé dans un cône d'axe l'axe de l'arbre de sortie moteur de demi angle au sommet	X°	+ Y°
		Couple maximal transmis	1160 Nm	+ 0 Nm
FS4	Le réducteur est en liaison complète avec la roue	Déplacements autorisés sans déformation	0 mm	± 0 mm
		Rotations autorisées sans déformations	0°	± 0°
		Couple maximal transmis	6264 Nm	+ 0 Nm
FS5	La bielle arrête le réducteur en rotation autour de l'axe de la roue	Orientation de la bielle par rapport à l'arbre d'entrée réducteur	10°	± Y°
		Bras de levier de l'action autour de l'axe de rotation de la roue	247.91 mm	± Y mm
FS6	Le réducteur ne doit pas gêner les passagers par le bruit produit	Niveau sonore du bruit émis en utilisation à vitesse maximale	X dB	± Y dB
FS7	Le réducteur ne doit pas être altéré par le milieu extérieur	Protection contre le ballaste	1	
		Peinture anti corrosion	1	
		Etanchéité	1	
FS8	Le réducteur est en accord avec les normes en vigueur	Respect des normes	1	
FS9	Le réducteur ne doit pas gêner les humains proches des voies de chemin de fer	Niveau sonore du bruit émis en utilisation à vitesse maximale	X dB	± Y dB

Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

Nous nous intéressons plus particulièrement à l'arbre d'entrée. Les exigences de conception du réducteur dans le cadre de la transmission de puissance importante nous conduisent à devoir placer très précisément l'arbre d'entrée dans le carter du réducteur. L'analyse du besoin liée au placement de l'arbre d'entrée est la suivante :



Nous allons nous intéresser à l'étude du montage de l'arbre d'entrée dans le carter du réducteur.

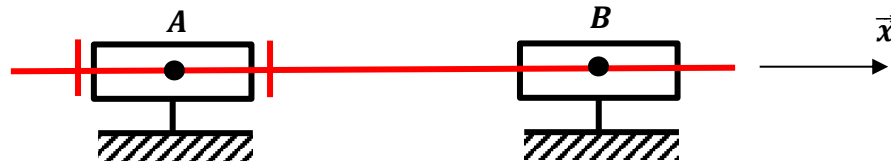




Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

## *Modèle 1*

Dans un premier temps, on propose le schéma cinématique suivant pour représenter le guidage de l'arbre dans le carter :



Les deux roulements de gauche sont modélisés comme une liaison pivot et le roulement de droite est supposé réaliser une liaison pivot glissante.

**Question 1: Etablir le graphe des liaisons du montage**

**Question 2: Calculer le degré d'hyperstatisme du montage à l'aide des formules d'analyse cinématique et statique**

**Question 3: Déterminer la liaison équivalente statique 1/0**

**Question 4: En étudiant les systèmes cinématiques et statique, démontrer le résultat précédent**

**Question 5: Faites de même en étudiant les matrices cinématiques et statique**

**Question 6: Préciser les axes en rotation et/ou translation porteurs de l'hyperstatisme**

**Question 7: Sans modifier le mécanisme, quelle condition géométrique faut-il respecter pour garantir un fonctionnement optimal**

Attention : les deux prochaines questions n'ont qu'un rôle pédagogique, elles n'ont pas de sens dans l'étude du réducteur.

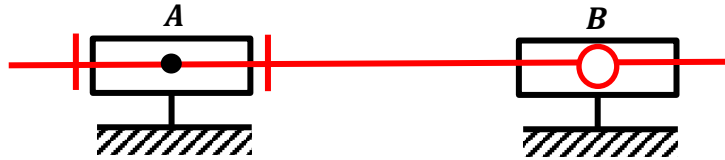
**Question 8: Proposer un schéma cinématique rendant ce système isostatique en ajoutant des liaisons et donc des pièces sans ajout de mobilités**

**Question 9: Proposer un schéma cinématique rendant ce système isostatique en modifiant des liaisons (pas de pièce ajoutée) sans ajout de mobilités**

Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

## Modèle 2

On propose maintenant un modèle un peu plus réaliste tenant compte d'un léger rotulage dans le roulement de droite :

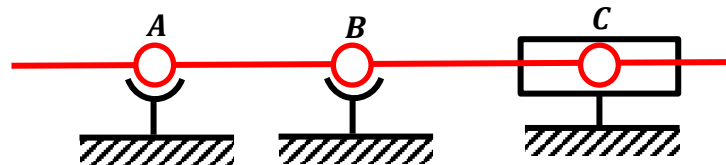


**Question 10:** Quel est son degré d'hyperstatisme ? Préciser intuitivement axes et mouvements concernés

**Question 11:** Analyser l'effet du changement de la liaison sur les systèmes cinématique et statique

## Modèle 3

On propose finalement le schéma d'architecture suivant, représentatif du montage réel :



**Question 12:** Etablir le graphe des liaisons du montage

**Question 13:** Calculer le degré d'hyperstatisme de ce montage à l'aide des formules d'analyse cinématique et statique

**Question 14:** Le degré d'hyperstatisme a augmenté de 1, pourquoi ?

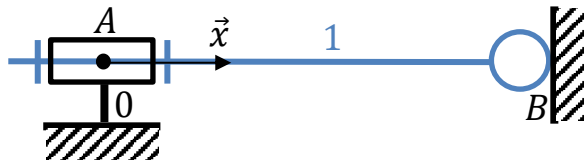
**Question 15:** Justifier technologiquement les raisons de l'hyperstatisme de ce mécanisme.

Remarque : le schéma d'architecture tenant compte de toutes les liaisons présentes dans le système est le seul permettant d'obtenir le vrai degré d'hyperstatisme.

Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

### Exercice 3: Etude des systèmes matriciels

Soit le système représenté par le schéma cinématique suivant :



Question 1: Proposer un graphe des liaisons du système

Question 2: Calculer le degré d'hyperstatisme du montage

#### *Cinématique*

Question 3: Déterminer le système linéaire cinématique et sa matrice  $K_c$  associée

Question 4: Interpréter les équations de ce système pour déterminer  $m$  et  $h$

Question 5: Déterminer  $r_c$  avec  $K_c$  et en déduire  $m$  et  $h$

#### *Statique*

Question 6: Déterminer le système linéaire statique et sa matrice  $K_s$  associée

Question 7: Interpréter les équations de ce système pour déterminer  $m$  et  $h$

Question 8: Déterminer  $r_s$  avec  $K_s$  et en déduire  $m$  et  $h$

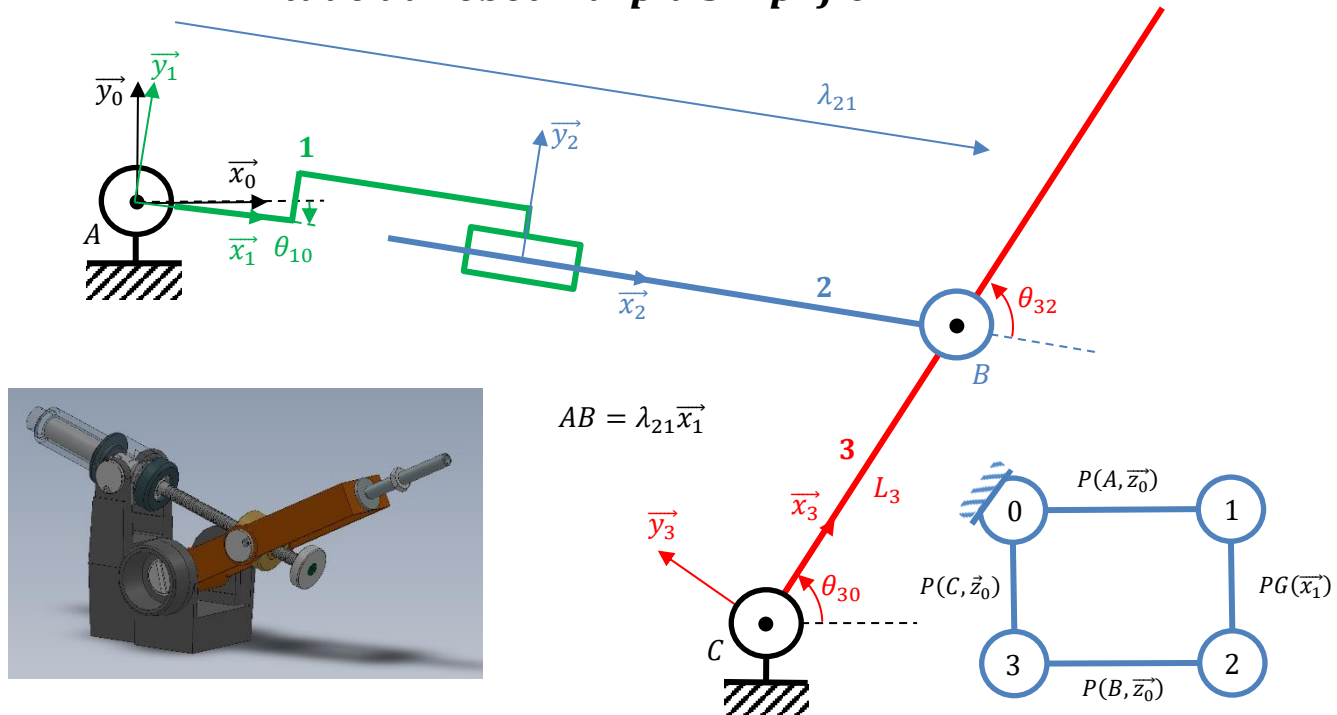
Question 9: Donner l'expression du torseur équivalent statique de la liaison et montrer que l'analyse de  $m$  et  $h$  est simple à réaliser

Question 10: Proposer une modification de la liaison en A pour rendre le système isostatique et identifier ce que cela change dans les systèmes cinématique et statique

Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

## Exercice 4: Base de projection et système cinématique

### Etude du robot Maxpid simplifié



**Question 1: Déterminer le degré d'hyperstatisme du mécanisme**

On donne les équations scalaires issues de la fermeture cinématique en B projetées dans les bases 0 et 1=2

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{21} \cos \theta_{10} = 0 \\ P_{21} \sin \theta_{10} = 0 \\ R_{32} + R_{10} + R_{03} = 0 \\ U_{21} \cos \theta_{10} - \sin \theta_{10} R_{10} \lambda_{21} - \sin \theta_{30} R_{03} L_{31} = 0 \\ U_{21} \sin \theta_{10} + \cos \theta_{10} R_{10} \lambda_{21} + \cos \theta_{30} R_{03} L_{31} = 0 \\ 0 = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} P_{21} = 0 \\ 0 = 0 \\ R_{32} + R_{10} + R_{03} = 0 \\ U_{21} - \sin \theta_{31} R_{03} L_{31} = 0 \\ R_{10} \lambda_{21} + \cos \theta_{31} R_{03} L_{31} = 0 \\ 0 = 0 \end{array} \right.$$

**Question 2: Déterminer le rang  $r_c$  du système dans la base 0 et valider  $m$  et  $h$**

**Question 3: Déterminer le rang  $r_c$  du système dans la base 1 et valider  $m$  et  $h$**

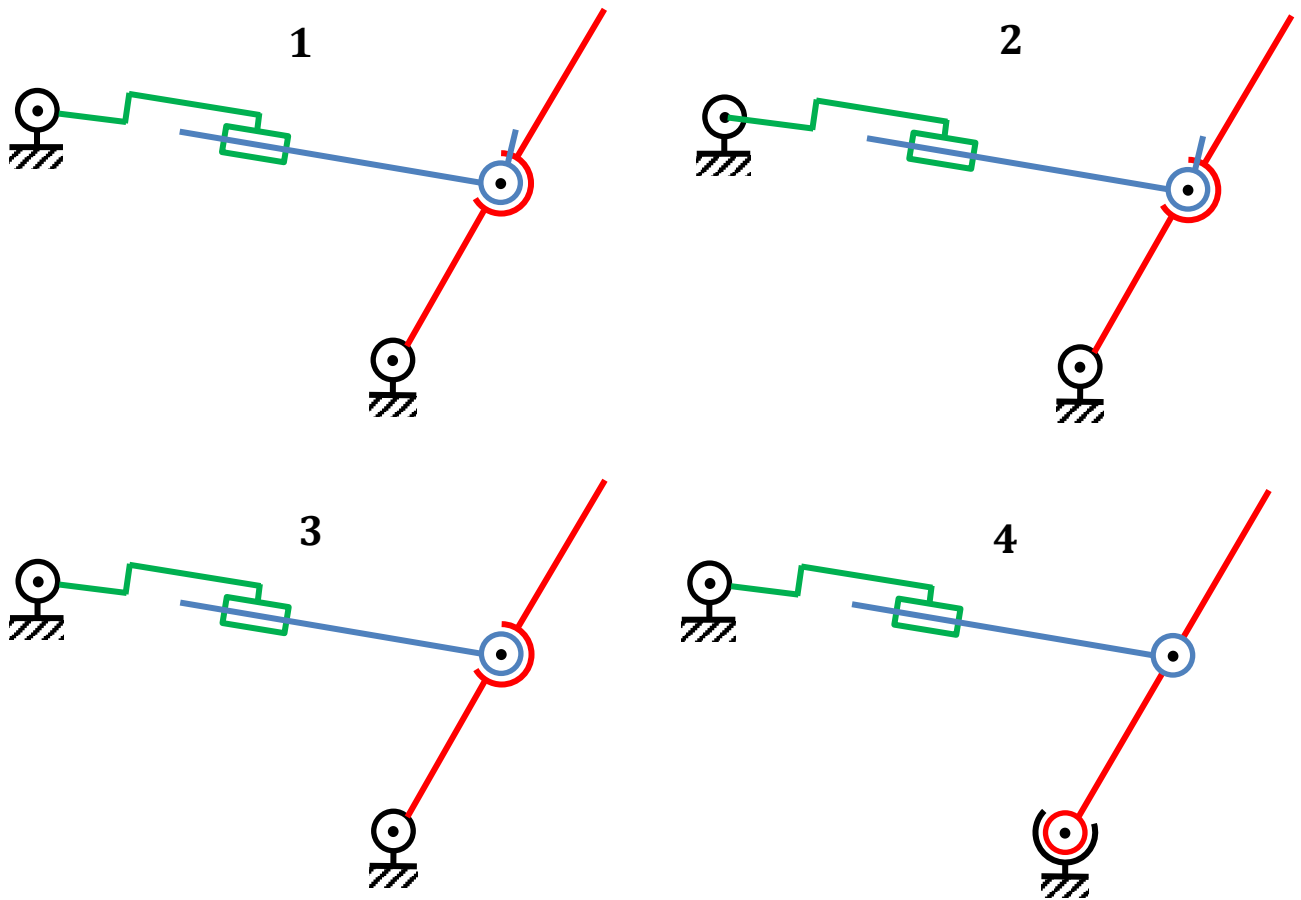
**Question 4: Identifier la mobilité à l'aide de cette étude**

**Question 5: Expliquer le/les degrés(s) d'hyperstatisme obtenus**

On remarque l'intérêt du choix de la base pour mener cette analyse.

Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

On propose différentes modifications du système :



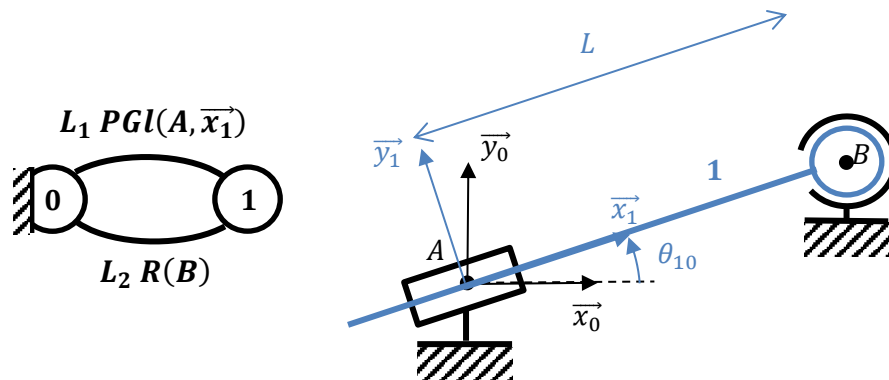
Question 6: Pour chacune de ces modifications, complétez le tableau suivant et comprenez le résultat

	1	2	3	4
$m_u$				
$m_i$				
$m$				
$E_c$				
$E_s$				
$I_c$				
$I_s$				
$h$				



Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

## Exercice 5: Base de projection et système statique



**Question 1: Déterminer le degré d'hyperstatisme du mécanisme**

On donne les équations scalaires issues de l'application du PSF en B projetées dans les bases 0 et 1 :

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{10}^2 \cos \theta_{10} - (Y_{10}^1 + Y_{10}^2) \sin \theta_{10} = 0 \\ X_{10}^2 \sin \theta_{10} + (Y_{10}^1 + Y_{10}^2) \cos \theta_{10} = 0 \\ Z_{10}^1 + Z_{10}^2 = 0 \\ -M_{10}^1 \sin \theta_{10} = 0 \\ M_{10}^1 \cos \theta_{10} = 0 \\ N_{10}^1 = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} X_{10}^2 = 0 \\ Y_{10}^1 + Y_{10}^2 = 0 \\ Z_{10}^1 + Z_{10}^2 = 0 \\ 0 = 0 \\ M_{10}^1 = 0 \\ N_{10}^1 = 0 \end{array} \right.$$

**Question 2: Déterminer le rang  $r_s$  du système dans la base 0 et valider  $m$  et  $h$**

**Question 3: Déterminer le rang  $r_s$  du système dans la base 1 et valider  $m$  et  $h$**

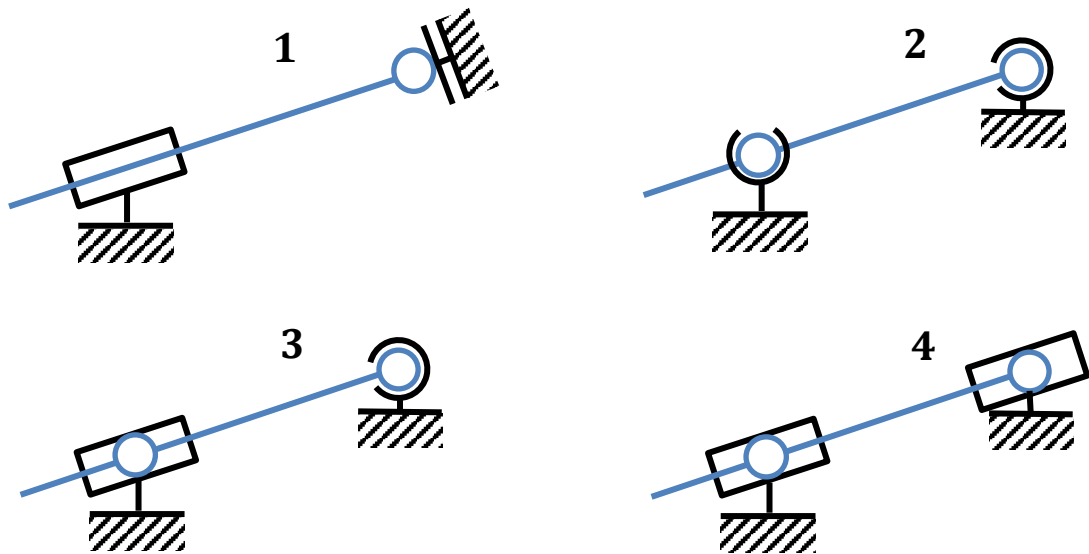
**Question 4: Identifier la mobilité à l'aide de cette étude**

**Question 5: Expliquer le/les degrés(s) d'hyperstatisme obtenus**

On remarque l'intérêt du choix de la base pour mener cette analyse.

Dernière mise à jour	MECA 2	Denis DEFAUCHY
04/01/2023	Mécanismes	TD1 - Sujet

On propose différentes modifications du système :



Question 6: Pour chacune de ces modifications, déterminer le nouveau degré Pour chacune de ces modifications, complétez le tableau suivant et comprenez le résultat

	1	2	3	4
$m$				
$E_c$				
$E_s$				
$I_c$				
$I_s$				
$h$				