



LYCÉE LA MARTINIÈRE MONPLAISIR LYON
SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR
CLASSE PRÉPARATOIRE M.P.S.I.
ANNÉE 2022 - 2023

C4 : MODÉLISATION CINÉMATIQUE STRUCTURELLE DES SYSTÈMES

TD 10 - Modélisation des liaisons mécaniques (C4-2)

10 Janvier 2023

Compétences

- **Modéliser**
 - Proposer une modélisation des liaisons avec leurs caractéristiques géométriques.
 - Proposer un modèle cinématique à partir d'un système réel ou d'une maquette numérique.
 - Simplifier un modèle de mécanisme.
- **Communiquer**
 - Lire et décoder un document technique : Schéma Cinématique

Exercice 1 : Système d'ouverture et de fermeture de portes de tramway

Source : Central supelec 2008

1 Présentation de l'étude

Le support de cette étude est le système d'ouverture et de fermeture des portes de voitures développé par la société FAIVELEY qui équipe des tramways, des métropolitains ou des trains express régionaux. L'étude est limitée à la phase de fermeture d'une porte. Le cahier des charges partiel lors de cette phase est donné sur le diagramme d'exigences **1** sur le tableau suivant et la figure **1**.



Chacune des portes est constituée de deux vantaux qui, ouverts, sont immobilisés le long de la voiture pour dégager la totalité de l'ouverture de la voiture.

La phase de fermeture peut être décomposée en trois étapes dont quelques positions d'un point, appartenant au vantail le long de sa trajectoire par rapport à la voiture, sont données sur la figure **2** :

- de A à C : étape de coulissement; les vantaux coulisent parallèlement à la voiture et l'écartement passe de 1300 mm à 200 mm.

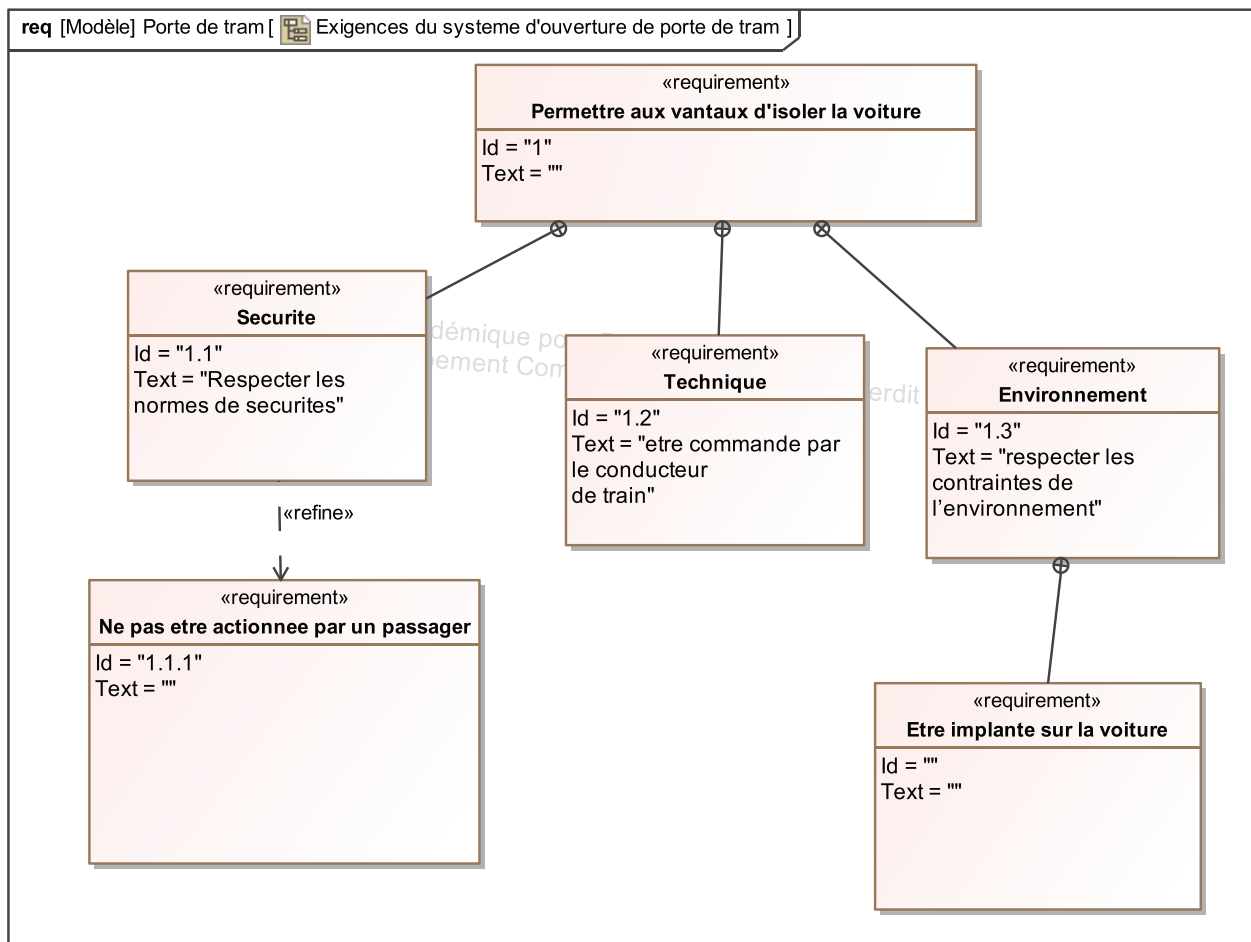


FIGURE 1 – Diagramme d'exigences partiel du système d'ouverture et de fermeture de tramway

Exigences	Critères	Niveaux
1 : permettre aux vantaux d'isoler la voiture	Temps de fermeture t_f	$\leq 3 s$
1.1 : respecter les normes de sécurité	Effort de pincement	$\leq 150 N$
1.1.1 : ne pas pouvoir être actionné par un passager	maintien de la porte fermé	oui
1.3 : respecter les contraintes de l'environnement	Isolement des passagers	Total
	Dépassement des vantaux fermés par rapport à la voiture	$0 mm$
1.2 : être commandé par le conducteur de train	Ordre de fermeture	Oui
	Ordre de réouverture	Oui
1.3.1 : être implanté sur la voiture	Immobilisation	Complète

TABLE 1 – Caractérisation des exigences du système d'ouverture et de fermeture de portes de tramway

- De C à E : étape de louvoiement; les vantaux continuent de se rapprocher jusqu'au contact et rentrent dans l'ouverture de la porte pour ne plus dépasser à l'extérieur.
- De E à G : étape de verrouillage; les vantaux se déplacent légèrement pour comprimer les joints d'étanchéité et se verrouillent.

Le système est principalement constitué des composants identifiés sur la figure 3. La poutre de fermeture est guidée dans son mouvement de translation suivant par les deux boîtes à galets implantées sur la voiture. Elle supporte le mécanisme d'entraînement constitué d'un actionneur unique, le moto réducteur, d'éléments de transmission et de

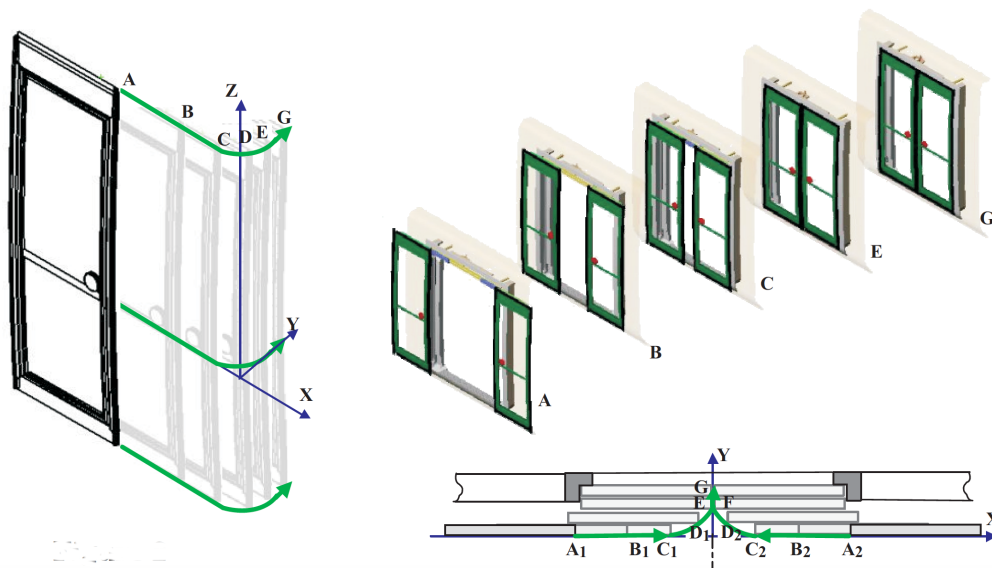


FIGURE 2

la courroie crantée. Elle supporte également les glissières à billes qui assurent le guidage en translation des vantaux lorsqu'ils sont entraînés par la courroie.

Cette modélisation permet d'appréhender la fonction des éléments de transmission tels que la barre de conjugaison, la bielle de verrouillage ou le basculeur. La modélisation fait apparaître également les différentes liaisons du rotor et du stator du moto-réducteur.

a) Étude de la poutre de fermeture

Pour réaliser l'exigence 1.3, les vantaux doivent avoir un mouvement de translation de direction \vec{y} par rapport à la voiture (figure 2). Ce mouvement est assuré par le guidage de la poutre de fermeture grâce à deux boîtes à galets placées aux points H et J de la figure 5 qui donne le modèle retenu pour chacune d'elles.

L'objet de cette partie est de trouver la liaison équivalente à l'association de ces deux liaisons.

Q 1 : Tracer le graphe des liaisons du système.

Q 2 : Proposer une liaison élémentaire cinématiquement équivalente (par l'approche cinématique) à ces deux liaisons et exprimer son torseur cinématique caractéristique.

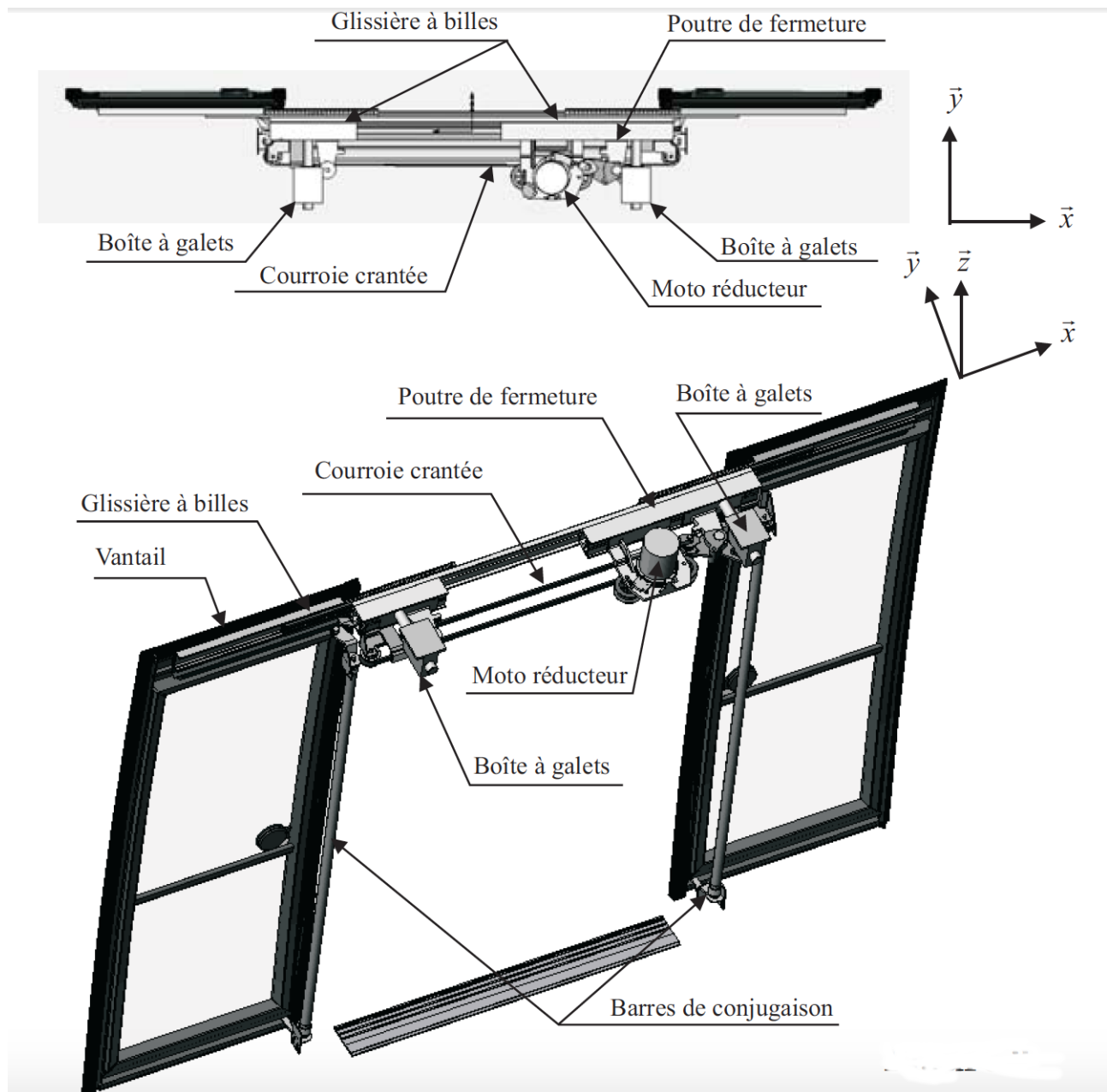


FIGURE 3

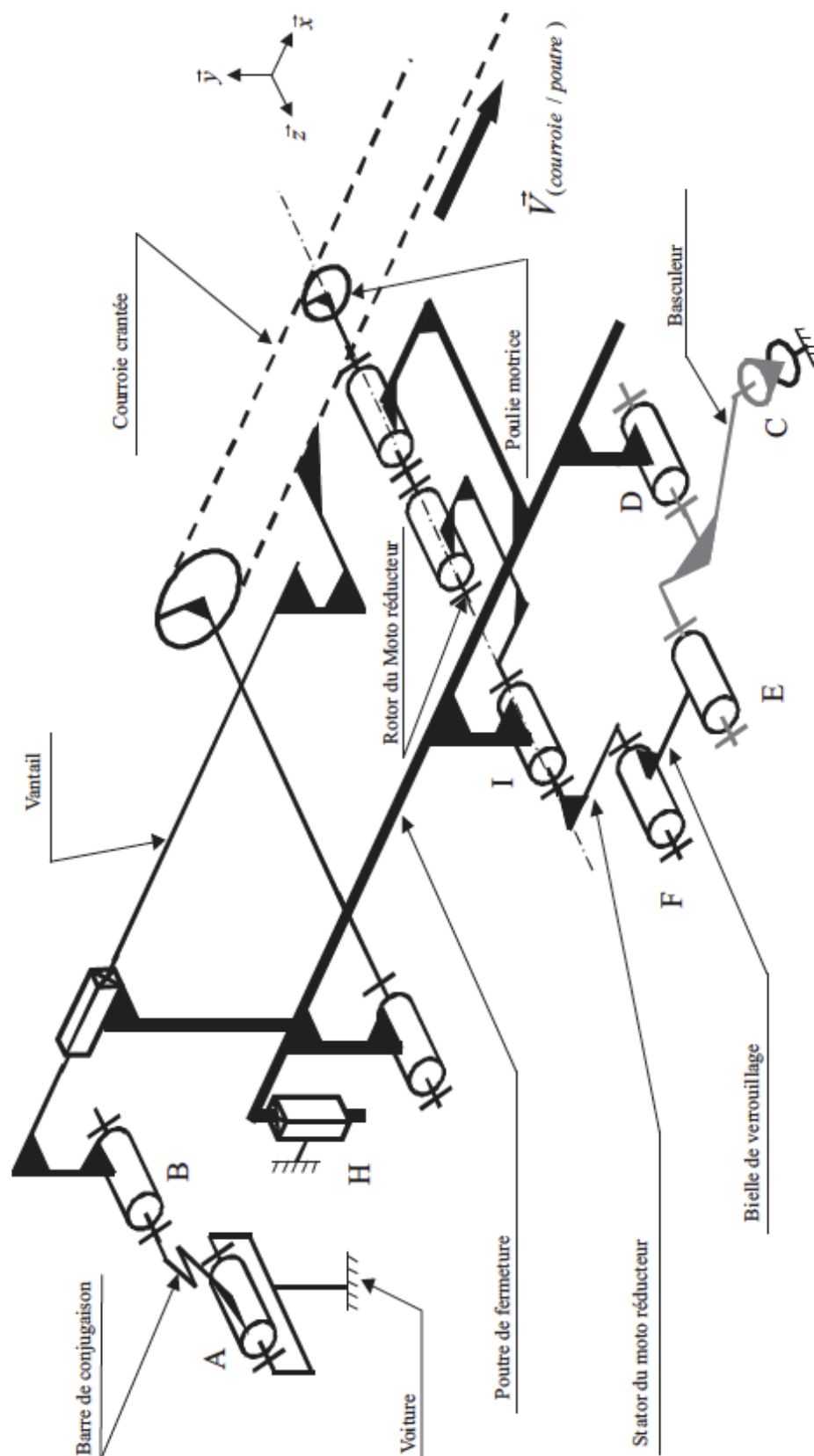


FIGURE 4

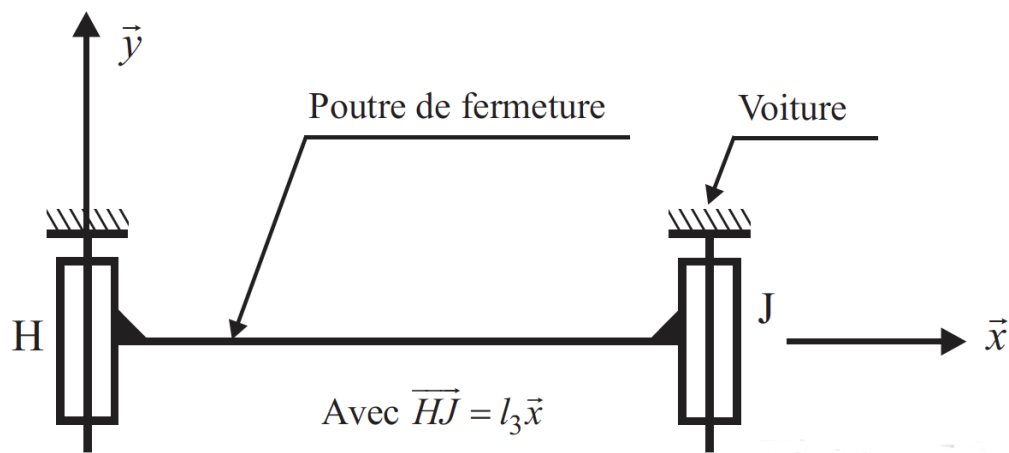


FIGURE 5

b) Étude de la phase de verrouillage

Le système de verrouillage doit maintenir la porte fermée sous l'action des passagers et des actions dues aux différences de pressions induites par le système de climatisation.

Le modèle du dispositif retenu est donné sur la figure 6.

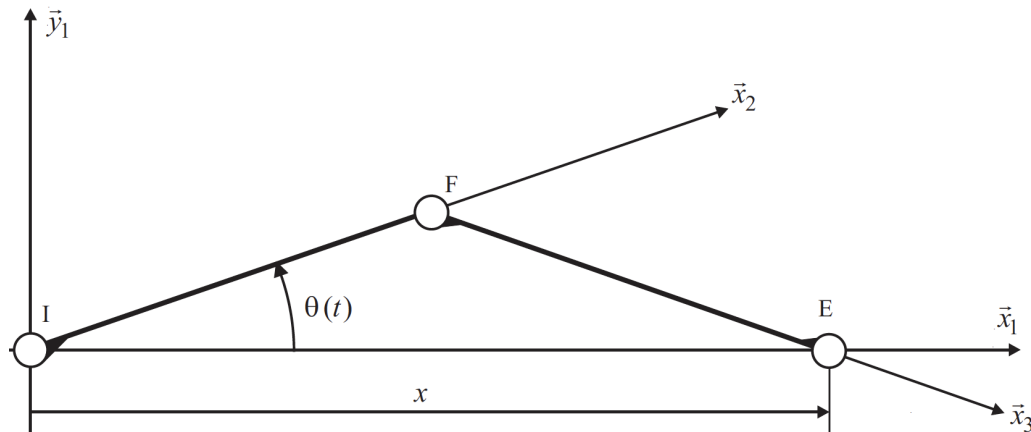


FIGURE 6

Soit le repère $R_1 (I, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ tel que \vec{x}_1 soit colinéaire à \vec{IE} dans toutes les configurations de la bielle FE de verrouillage et du bras IF lié au « stator » du moto-réducteur. Les notations retenues sont celles définies sur la figure 4, les liaisons entre la bielle de verrouillage et le basculeur et entre le stator et la poutre de fermeture sont respectivement une liaison pivot d'axe (E, \vec{z}_1) et une liaison pivot d'axe (I, \vec{z}_1) .

- (I, \vec{x}_2) est lié au stator avec $(\vec{x}_1, \vec{x}_2) = \theta(t)$,
- (E, \vec{x}_3) est lié à la bielle de verrouillage et tel que soit colinéaire à \vec{FE} , avec $\beta(t) = (\vec{x}_1, \vec{x}_3)$.

Pendant la phase de verrouillage, θ varie quand le stator du moto réducteur tourne par rapport à la poutre de fermeture. La vitesse angulaire sera notée $\dot{\theta}(t)$, $\vec{IF} = l_1 \cdot \vec{x}_2$ et $\vec{FE} = l_2 \cdot \vec{x}_3$; par construction $l_1 \neq l_2$.

Q 3 : Faire les figures planes de projection lié au paramétrage proposé.

Q 4 : Traduire la fermeture géométrique décrivant le système par deux équation scalaire en projection sur \vec{x}_1 et \vec{y}_1 .

Q 5 : Exprimer $x(t)$ en fonction de l_1 , l_2 et $\theta(t)$ sous la forme :

$$x(t) = \lambda_1(t) \cdot l_1 + \lambda_2(t) \cdot l_2.$$

Q 6 : Exprimer la vitesse \dot{x} du point E appartenant au basculeur dans son mouvement par rapport à R_1 en fonction de l_1 , l_2 , $\theta(t)$ et $\dot{\theta}(t)$ sous la forme :

$$A(\theta)\dot{x} = B(\theta)\dot{\theta}.$$

Soit P la puissance fourni transmise par le dispositif avec $P = F \cdot \dot{x}(t)$ avec F l'effort transmissible par le basculeur supposée constante.

Q 7 : Montrer qu'il existe une valeur de θ pour laquelle le basculeur ne pourra fournir aucune puissance au système. Expliquer pourquoi cette position est instable.

Exercice 2 : Application directe des liaisons équivalentes

Source : Emilien DURIF

1 Liaison équivalente avec 2 liaisons sphère cylindre

On considère un système composé de deux solides 2 et 1 représenté par le schéma cinématique ci-contre. On pose $\overrightarrow{AB} = a \cdot \vec{y}$.

Q 8 : Tracer le graphe des liaisons.

Q 9 : Donnez l'expression des torseurs cinématiques pour les liaisons LA et LB.

Q 10 : Déterminer la liaison équivalente entre 2 et 1.

