

SESSION 2011

**AGRÉGATION
CONCOURS EXTERNE**

Sections : GÉNIE MÉCANIQUE / MÉCANIQUE

ÉPREUVE D'ANALYSE ET DE CONCEPTION DES SYSTÈMES

Durée : 8 heures

Calculatrice électronique de poche – y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

Le sujet comporte :

- une présentation de l'étude (pages numérotées de 1 à 3)
- le texte de l'étude (pages numérotées de 4 à 17)
- le dossier technique, constitué des documents repérés de DT1 à DT10.
- le dossier réponse contenant les documents repérés de DR1 à DR5.

Table des documents :

N°	Nom du document	Format
DT1	Modélisation essieu - rails	A4
DT2	Vues d'ensemble du TRANSLOHR	A3
DT3	Modélisation simplifié du module intermédiaire MI 1	A4
DT4	Vue de dessous du TRANSLOHR	A3
DT5	Modèle de Pacejka	A4
DT6	Résultats de simulations	A4
DT7	Dispositif de guidage	A3
DT8	Dispositif de plaquage / retenue	A4
DT9	Perspective conception	A4
DT10	Vérin à 2 tiges (dispositif de verrouillage)	A4

N°	Nom du document	Format
DR1	Modèle global du TRANSLOHR	A4
DR2	Comportement cinématique du MI	A4
DR3	Démarche de résolution P2.4	A4
DR4	Critères de choix de matériaux	A4
DR5	Porte galets	A3

LE TRANSLOHR

Pour améliorer les conditions de mobilité urbaine, la société Lohr a conçu et fabriqué un tramway sur pneus : LE TRANSLOHR.



Figure 1 : le Translohr

Cette gamme de tramways contient des innovations majeures : les rames sont légères et entièrement modulaires, peu gourmandes en emprise au sol, et, caractéristique majeure, elles roulent sur pneus.

Cette particularité donne au Translohr le plus court rayon de braquage des tramways actuels, lui permet de grimper des pentes fortes et de s'inscrire dans un tissu urbain sinueux en épousant au plus juste la topographie du lieu. Le tram Translohr se contente de chaussées urbaines existantes. Il ne nécessite aucun chantier lourd, puisque son infrastructure se limite à un rail unique à fleur de chaussée.

Le Translohr reprend l'ensemble des caractéristiques qui définissent un tramway moderne :

- ✦ **Guidage permanent** par un rail central, permettant une architecture et une homologation de type ferroviaire.
- ✦ **Grande capacité de transport** : gamme complète de véhicules personnalisables de 3 à 6 modules passagers entièrement communicants, de 25 à 46 mètres, pouvant transporter de 127 à 255 personnes par rame (à 4 personnes/m²).
- ✦ **Equipements électriques installés en toiture.**
- ✦ Possibilité de pack **batteries** permettant de circuler sur une partie de ligne **en autonomie**, sans caténaire.
- ✦ **Réversibilité** : une cabine de conduite à chaque extrémité.
- ✦ **Accessibilité** : plancher bas intégral à **25 cm** du sol.

Le pneu, qui remplace le bogie en acier sur le tramway, comporte des avantages déterminants :

- ✦ **Silence de roulement**, surtout dans les courbes, grâce à l'absence du crissement fer sur fer,
- ✦ Hautes performances en insertion, grâce à un **rayon de giration très court** (10,5 m au rail), une **capacité de franchissement de pentes à 13%** et un **gabarit (largeur de voie minimale) limité à 5,40 m** en voie double,
- ✦ **Sécurité dynamique accrue**, avec notamment un freinage de type routier (système ABS sur chaque roue),
- ✦ **Un dimensionnement moindre des infrastructures** et une simplification de leur réalisation.



Modèle		ST3	ST4	ST5	ST6
Vitesse maximale	km/h			70	
Tension d'alimentation nominale	V			750	
Bidirectionnel				oui	
Largeur H.T.	m			2,20	
Hauteur H.T. hors captage	m			2,89	
Niveau du plancher	m			0,25	
Rayon de giration H.T.	m			10,50 au rail	
Gabarit (largeur de voie minimale)	m			5,40 en voie double	
Essieux moteurs		2	2	Motorisations additionnelles	
Longueur H.T.	m	25	32	39	46
Nombre de modules passagers		3	4	5	6
Nombre d'essieux	Nb	4	5	6	7
Porte (ouverture 1,3mx 1,95m)		2x3	2x4	2x5	2x6
Capacités	4 p/m ²	127	170	213	255
	6 p/m ²	178	238	298	345

Figure 2 : la gamme de rames de tramways Translohr

Recommandations

L'étude est composée de **3 parties indépendantes**. Cependant, la lecture de l'intégralité du sujet est indispensable à une bonne compréhension du système. Il est proposé au candidat de répartir son temps de travail sur les différentes parties de l'étude de la façon suivante :

- ✚ **Lecture du sujet** : 1 h
- ✚ **Première partie** : 2 h 30
- ✚ **Deuxième partie** : 2 h 30
- ✚ **Troisième partie** : 2 h

Le candidat devra rendre :

- ✚ **3 copies séparées correspondant aux 3 parties du sujet ;**
- ✚ **Les documents réponses, qui seront insérés dans la copie afférente à la partie traitée.**

Objectifs des études proposées :

La création d'un tramway sur pneus a conduit la société LOHR à revoir totalement les solutions classiques que l'on trouve dans les systèmes ferroviaires habituels. En particulier, la société LOHR a conçu un système de guidage par rail central permettant de garantir la précision de la trajectoire.

Chacune des parties traitées dans ce sujet vise soit à valider les solutions techniques retenues par LOHR soit à définir ou concevoir des éléments de solutions spécifiques à ce tramway sur pneus.

En particulier :

- ✚ La partie 1 permettra de vérifier les avantages d'une solution sur pneus relativement à une solution sur rails pour un tramway.
- ✚ La partie 2 permettra de valider le comportement du TRANSLOHR face à des perturbations extérieures comme du vent latéral par exemple.
- ✚ La partie 3 s'intéressera à la définition du système de guidage permettant d'assurer un bon contact galets/rail.

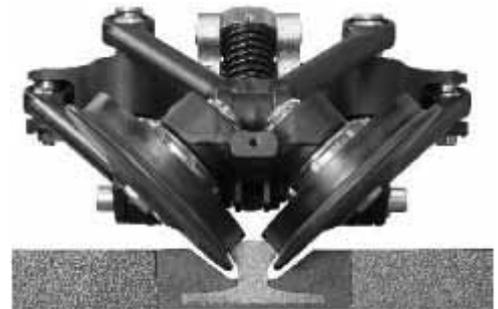


Figure 3 : système de guidage

PARTIE 1 : ETUDE COMPARATIVE : SOLUTION SUR RAILS - SOLUTION SUR PNEUS

Relativement à un tramway classique sur rail, la solution sur pneus proposée par LOHR permet un plancher plat à 25 centimètres du sol sur l'ensemble de la rame. Cette solution présente les avantages suivants :

- ✚ faciliter l'accès des passagers au tramway,
- ✚ faciliter le déplacement des passagers à l'intérieur de la rame,
- ✚ limiter les risques de chute de quai lorsque le tramway n'est pas présent.

D'autre part, le Translohr est parfaitement adapté aux contraintes urbaines grâce :

- ✚ à un rayon de giration très court (10,5 m au rail),
- ✚ à une capacité de franchissement de 13%,
- ✚ un gabarit dynamique limité à 5,40 m en voie double.

L'objectif de cette partie est de vérifier certains avantages spécifiques du Translohr.

Pour cela, nous allons tout d'abord étudier un essieu de train classique afin d'avoir une base de comparaison. Ensuite nous nous intéresserons à la stabilité du Translohr pour finir par vérifier le gabarit annoncé dans la situation la plus défavorable. **Chaque sous-partie est indépendante.**

1.1 Etude de la stabilité de guidage d'un essieu de train

Sur un tramway ou un train moderne (TGV), la liaison au sol est assurée par des bogies (Cf **Figure 4**) placés entre les caisses. Chaque bogie comporte 2 essieux qui comportent chacun 2 roues encastrées sur l'essieu. Le profil des roues est donné **Figure 5**.

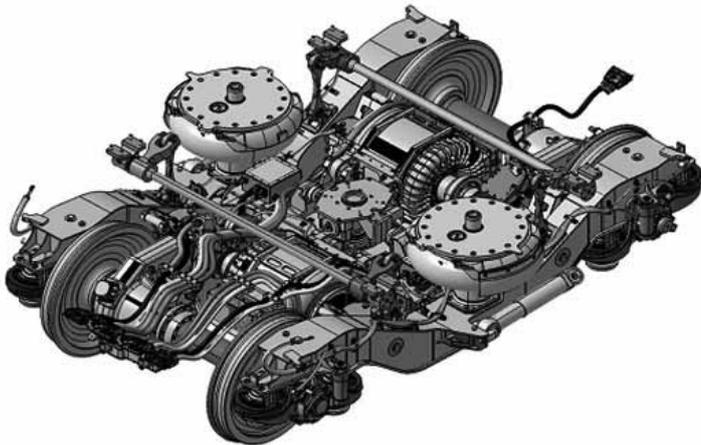


Figure 4 : bogie de TGV (source ALSTOM)

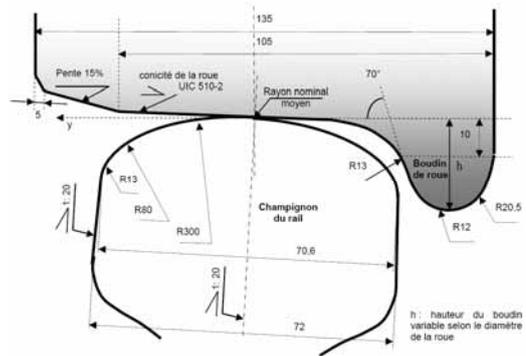


Figure 5 : profils du champignon du rail et de la table de roulement de roue

Pour assurer la sécurité des passagers et éviter les déraillements, il est indispensable que l'essieu soit stable latéralement sur la voie. **Dans cette partie nous allons vérifier la stabilité d'un essieu de tramway et conclure sur les contraintes techniques que cela impose.**

La modélisation et le paramétrage que nous allons utiliser dans cette partie sont définis sur le **document DT1**. Nous supposons que l'essieu est non motorisé et qu'il se déplace à une vitesse V constante. La position de l'essieu sur la voie est caractérisée par l'angle γ et le déplacement latéral δ (Cf document

DT1). Toutes les hypothèses complémentaires que vous serez amenés à poser devront être clairement explicitées.

A l'instant $t = 0$, nous supposons que, sous l'action d'une sollicitation extérieure, l'essieu subit un petit déplacement latéral $\overrightarrow{O'O} = \delta_0 \vec{y}$ ($\delta_0 > 0$).

- Q1** En vous inspirant de la **vue 2** du **document DT1**, représenter en vue de face, l'essieu dans la configuration $\gamma = 0$ et $\delta > 0$. Indiquer sur votre schéma la position des points A, B (Centres de deux roues) et des points A', B' (points de contacts Roues/Rails) définis sur le **document DT1**.
- Q2** Déterminer dans la configuration $\gamma = 0$ et $\delta \neq 0$, dans la base B_1 , les vecteurs $\overrightarrow{A'A}$ et $\overrightarrow{B'B}$ en fonction du déplacement latéral δ , de l'angle de conicité des roues α et du rayon R .
- Q3** Toujours dans la configuration $\gamma = 0$ et $\delta \neq 0$, en supposant qu'il y a roulement sans glissement en A' et B' , exprimer dans la base B_1 , $\overrightarrow{V_{A \in 1/0}}$ et $\overrightarrow{V_{B \in 1/0}}$ en fonction des vitesses de rotation ω et $\dot{\gamma}$ de l'essieu, du déplacement latéral δ et des différents paramètres géométriques.
- Q4** A partir d'une relations liant $\overrightarrow{V_{A \in 1/0}}$ à $\overrightarrow{V_{B \in 1/0}}$ et des résultats précédents, déterminer une relation liant $\delta, \omega, \dot{\gamma}$ et les différents paramètres géométriques.

L'angle γ **étant toujours petit**, nous supposerons pour le reste de l'étude que les relations obtenues aux questions précédentes restent vraies lorsque $\gamma \neq 0$.

- Q5** A partir de la **vue 3** du **document DT1**, dans la configuration $\gamma \neq 0$ et $\delta \neq 0$, déterminer l'expression de $\dot{\delta} = \overrightarrow{V_{O \in 1/0}} \cdot \vec{y}$ en fonction de V et γ .
- Q6** Montrer, en combinant les équations obtenues aux questions Q4 et Q5, que l'équation différentielle caractérisant l'évolution du déplacement latéral δ de l'essieu est de la forme : $\frac{\delta}{\omega_0^2} + \delta = 0$ avec $\omega_0 = 12,4 \text{ rad/s}$ (avec les valeurs numériques du **document DT1**).

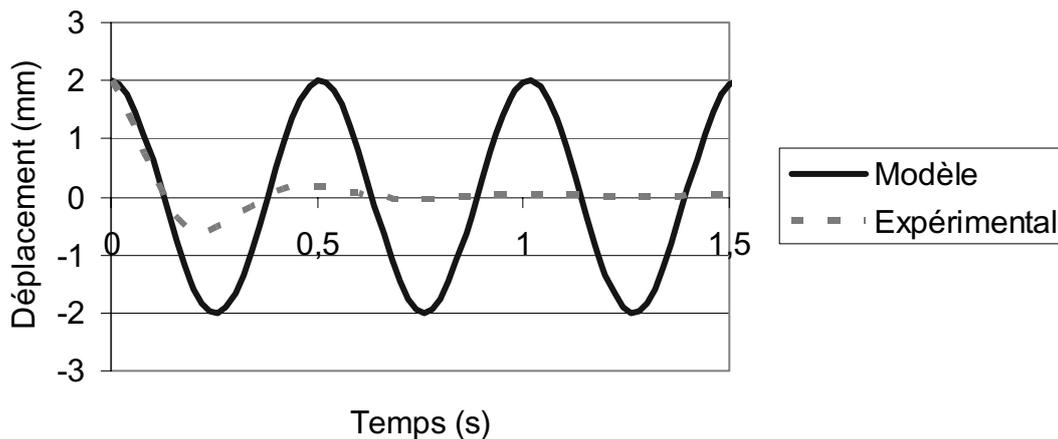


Figure 6 : réponse de l'essieu pour un déplacement latéral de 2 mm

La Figure 6 présente la solution de l'équation obtenue à la question Q6 ainsi que le déplacement latéral obtenu expérimentalement pour une perturbation initiale δ_0 de 2 mm.

- Q7** Conclure sur la pertinence du modèle proposé et sur l'auto-stabilité de l'essieu.

On souhaite obtenir un plancher plat sur l'ensemble de la rame à 25 centimètres du sol comme pour le Translohr en gardant le même diamètre de roue.

Q8 Quelles contraintes techniques cela impose t'il et quelles en sont les conséquences ?

1.2 Etude de la stabilité de guidage d'un Module Intermédiaire (MI)

Comme nous l'avons fait pour la solution sur rail, nous allons vérifier que la solution proposée par LOHR permet d'assurer l'auto-stabilité latérale de la rame.

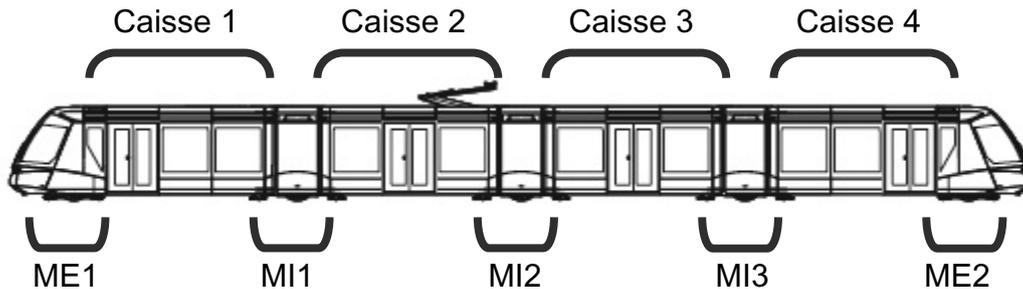


Figure 7 : structure d'une rame ST4

Une rame de type **ST4** (Cf **Figure 7**) est constituée de :

- ✚ 4 Caisses,
- ✚ 2 Modules d'Extrémités (**ME**) motorisés (Non étudiés),
- ✚ 3 Modules Intermédiaires (**MI**) porteurs.

Les **documents DT2** et **DT4** présentent une vue d'ensemble des différents éléments constitutifs d'une rame.

Les modules d'extrémités (**ME**) sont motorisés et ont une cinématique différente des Modules Intermédiaires (**MI**). Les modules d'extrémités ne seront pas étudiés dans ce sujet.

Un module intermédiaire est constitué (Cf **documents DT2** et **Figure 8**) :

- ✚ d'un cadre porteur lié aux caisses par un ensemble de liaisons assimilable en première approximation à deux liaisons pivots verticales (une par liaison Caisse / MI en L et K),
- ✚ d'un essieu porteur (Cf **Vues 1** et **2**, **document DT2**) lié au cadre porteur par un ensemble de liaisons assimilables à une liaison glissière verticale et par un système de suspensions/amortisseurs,
- ✚ de **deux** dispositifs de guidage (Cf **documents DT2** et **DT7**) disposés symétriquement par rapport à l'axe de l'essieu, assurant l'interface rail / essieu porteur.

Le dispositif de guidage situé **en avant** (relativement au sens de déplacement de la rame) est solidaire de l'essieu porteur (Cf **Figure 8**). La liaison galets/rail (Cf **Figure 3**) est assimilable en première approximation à une liaison linéaire annulaire en P.

Le dispositif de guidage situé **en arrière** est flottant latéralement et ne participe donc pas au guidage du MI. Des dispositifs appelés « dispositifs de verrouillage » (non représentés) permettent de solidariser / désolidariser les dispositifs de guidage en fonction du sens de déplacement de la rame.

Ces dispositifs sont nécessaires pour pouvoir laisser les pneus se mettre en dérive. En exploitation normale, la reprise des efforts latéraux est alors assurée par les pneumatiques et non par les galets de guidage. Exceptionnellement, le dispositif de guidage situé en **arrière** vient se mettre en butée pour assurer la reprise des efforts latéraux en cas de glissement des pneumatiques (verglas par exemple) ou si le Translohr part accidentellement en marche arrière).

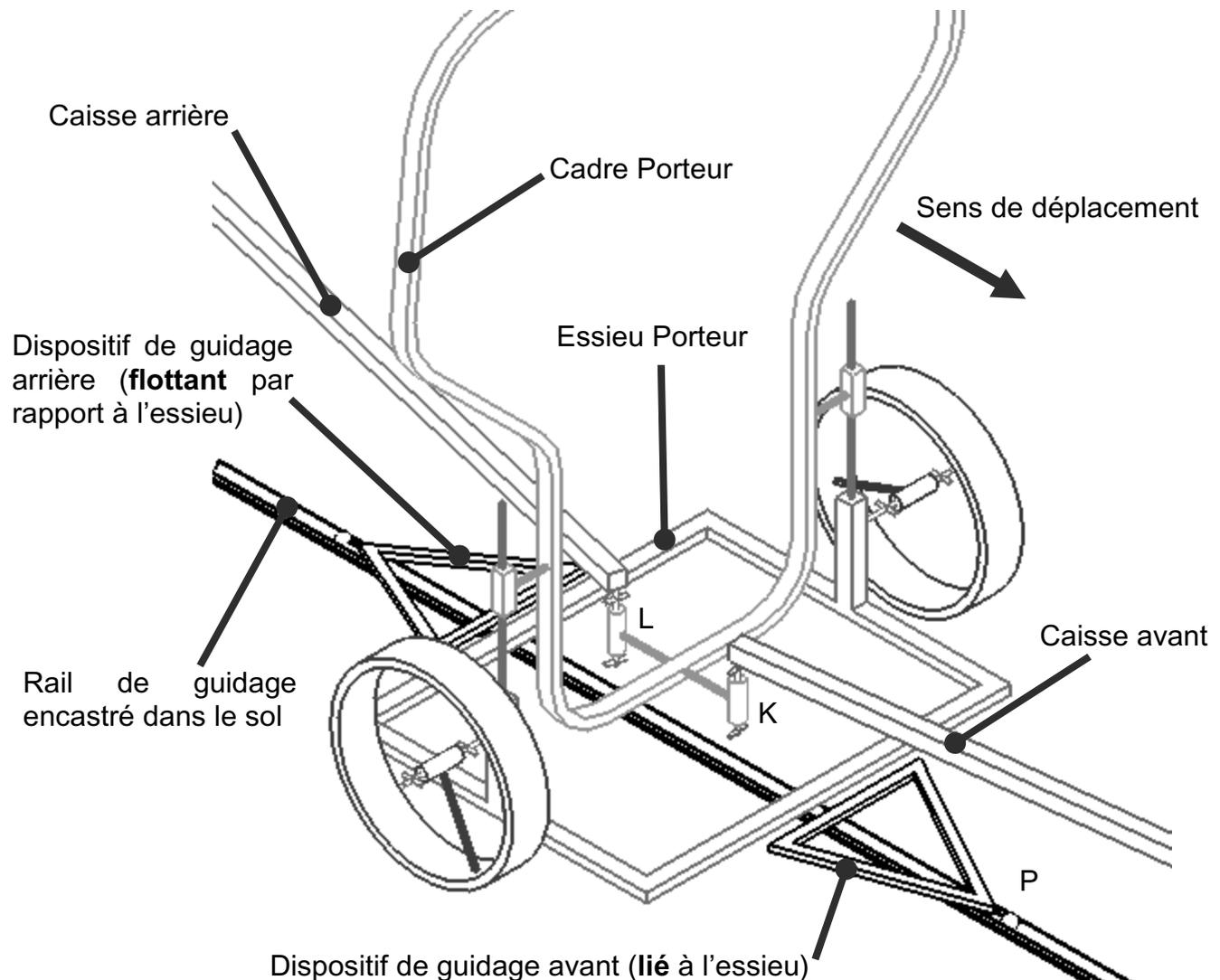


Figure 8 : schéma cinématique partiel d'un MI

Q9 Expliquer, en la comparant à une solution classique sur rails, en quoi la solution proposée par Lohr permet d'abaisser le plancher à 25 cm du sol.

Afin de vérifier la stabilité de la solution de guidage nous allons nous intéresser à un Module Intermédiaire **seul**. Dans cette partie, nous supposons que le rail de guidage est rectiligne, que la route est parfaitement plane et horizontale, qu'il n'y a pas de glissement entre les pneus et la route et que le pneu ne se déforme pas latéralement.

La modélisation et le paramétrage que nous allons utiliser dans cette partie sont définis sur le **document DT3**.

Le Module Intermédiaire est non motorisé et se déplace à une vitesse V constante. La position du Module Intermédiaire est caractérisée par l'angle γ et le déplacement latéral δ (Cf **document DT3**). Toutes les hypothèses complémentaires que vous serez amené à poser devront être clairement explicitées.

A l'instant $t = 0$ nous supposons que, sous l'action d'une sollicitation extérieure, le Module Intermédiaire subit un petit déplacement latéral $\vec{\delta} = \delta_0 \vec{y}$.

- Q10** A partir de la **Vue 1** du **document DT3**, en utilisant une fermeture géométrique, déterminer la relation liant γ à δ .
- Q11** En supposant qu'il y a roulement sans glissement en A'_1 et B'_1 (points de contact Roues/Sol) donner, sans faire de calculs, la direction de la vitesse du centre de l'essieu $\overline{V_{O_1 \in I/0}}$. En déduire la relation liant $\dot{\delta} = \overline{V_{O_1 \in I/0}} \cdot \vec{y}$, V et γ . Evaluer qualitativement le domaine de validité de ce modèle.
- Q12** Déduire des 2 questions précédentes, l'équation différentielle caractérisant l'évolution du déplacement latéral δ du module intermédiaire. Déterminer la solution de cette équation.
- Q13** Quels sont les paramètres influant sur la stabilité du module intermédiaire et conclure sur l'auto-stabilité du module intermédiaire.
- Q14** Que se passe-t-il si le Translohr part accidentellement en marche arrière ? Quelle solution technique a prévu Lohr dans cette situation ?

1.3 Vérification du gabarit en courbe du Translohr

Grace à l'utilisation de pneus, le Translohr a un rayon de giration très court de 10,5 m (au rail) ce qui est un avantage déterminant en milieu urbain. Du fait du dispositif employé pour le guidage des modules intermédiaires le Translohr a tendance à se déporter vers l'intérieur du virage.

Dans cette partie, nous allons déterminer la largeur de voie minimale (Gabarit) pour un rayon de giration de 10,5 m, pour que deux rames puissent se croiser.

Comme pour la partie précédente, nous supposons qu'il n'y a pas de glissement entre les pneus et la route et que le pneu ne se déforme pas latéralement. La modélisation et le paramétrage que nous allons utiliser dans cette partie sont définis sur les **documents DT3 et DT4**. Dans cette partie, la rame est sur une partie courbe de rayon **Rc** (Cf **document DT4**) et **occupe une position stable sur la voie**.

- Q15** Caractériser la position d'un module intermédiaire relativement au rail de guidage. Proposer un schéma en vue de dessus représentant le module intermédiaire en situation et faites apparaître les paramètres nécessaires au calcul du déport de voie $|\delta|$.
- Q16** En déduire l'expression du déport de voie $|\delta|$ en fonction du rayon **Rc**.
- Q17** Déterminer les rayons **Ri** et **Re** (Cf **document DT4**) limitant le gabarit pour une voie en fonction de **Rc**, δ et des paramètres géométriques. On pourra supposer $e \ll Lv$.
- Q18** Pour un rayon de giration **Rc** de 10,5 m de la voie intérieure, déterminer le gabarit global **en voie double** et comparer au 5,4 m annoncé. En cas de non respect des 5,4 m, proposer des compromis compatibles avec le milieu urbain.

PARTIE 2 : VALIDATION DU COMPORTEMENT DU TRANSLOHR

La création d'un nouveau type de tramway nécessite de valider son comportement dans différentes situations. En particulier, il est nécessaire de prévoir son comportement dans les situations suivantes :

- ✚ Présence de défauts ou obstacles sur la voie,
- ✚ Perte d'adhérence des pneumatiques (Verglas par exemple),
- ✚ Croisement de rames,
- ✚ Fort vent latéral.

Pour cela, on a recourt à l'expérimentation et à la simulation.

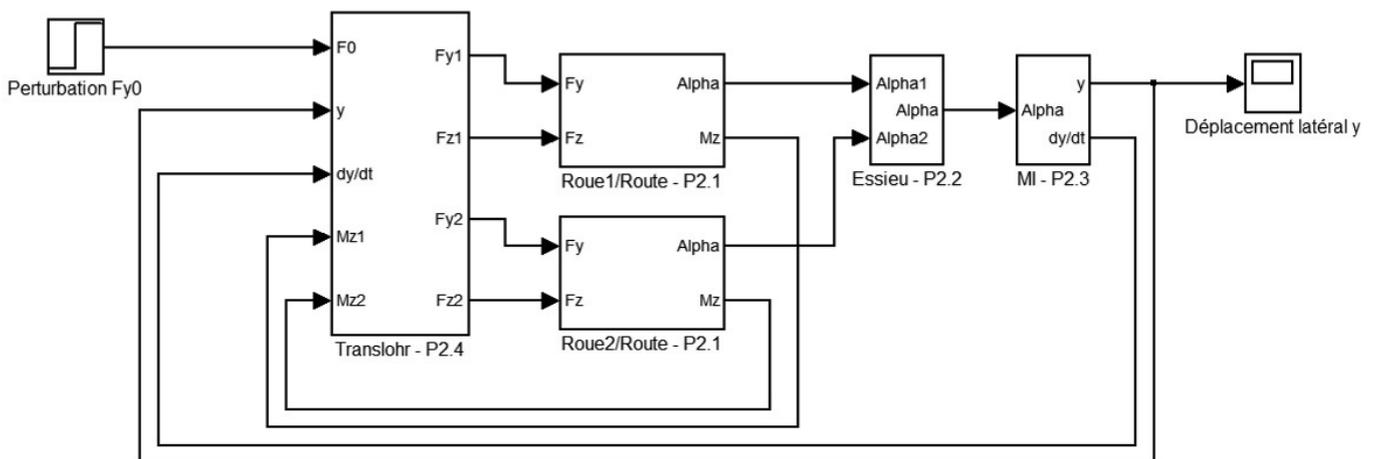
Dans cette partie, nous allons nous attacher à définir un modèle du Translohr exploitable numériquement, permettant de simuler et valider le comportement de celui-ci.

En particulier nous allons étudier **les effets d'un effort latéral sur le comportement de la rame** (Effort lié au vent, suppression lors du croisement d'une rame...).

La **Figure 9** présente une vue générale du modèle que nous allons construire.

Ce modèle permet de simuler le déplacement latéral δ (Cf **documents DT3** et **DT4**) d'un module intermédiaire (variable y sur la **Figure 9**) face à une perturbation latérale (F_{y0} sur la **Figure 9**).

- ✚ Les blocs P2.1 traduisent le comportement des pneus sur la route (Etudié dans la **partie 2.1**).
- ✚ Le bloc P2.2 traduit le comportement cinématique de l'essieu (Etudié dans la **partie 2.2**).
- ✚ Le bloc P2.3 traduit le comportement en suivi de trajectoire d'un module intermédiaire (Etudié dans la **partie 2.3**).
- ✚ Le bloc P2.4 traduit le comportement dynamique du Translohr (Etudié dans la **partie 2.4**).



F_x, F_y, F_z : Résultante (Route / Pneu) en N

M_z : Moment (Route / Pneu) d'auto-alignement en Nm

y : déplacement latéral en mm

F_{y0} : perturbation latérale en N

α : Angle de dérive du pneu en rd

Figure 9 : modèle global du Translohr

Les variations du déplacement latéral δ d'un module intermédiaire engendrent en particulier :

- ✦ Des accélérations latérales que ressentent les passagers,
- ✦ Un mouvement de lacet (Rotation autour de (O_1, \bar{z})) du module intermédiaire (Cf **document DT3**) qui engendre des mouvements de caisses perturbants pour les passagers (Les caisses constituant la rame ne sont plus bien alignées sur la route. La rame prend la forme d'un « S » au lieu d'être bien rectiligne. Cf **Figure 16**),
- ✦ Des efforts importants dans la liaison Galets/Rail qui peuvent conduire à une usure prématurée des éléments de guidage.

Les paramètres sur lesquels nous pouvons agir afin de limiter les variations du déplacement latéral δ sont en particulier :

- ✦ La distance d positionnant le centre de la liaison Galets/Rail relativement à l'axe des roues,
- ✦ La présence ou non d'un système antilacet (vérin amortisseur) que nous modéliserons par un frottement visqueux dans les articulations MI/Caisses en L et K (coefficient de frottement visqueux f_v en Nm/(rd/s)) (Cf **document DT4**).

Les parties 2.1, 2.2, 2.3 et 2.4 vont nous permettre de définir les différents modèles du schéma bloc de la **Figure 9**. La partie 2.5 nous permettra, à partir de résultats de simulation, de conclure vis à vis des choix constructifs à effectuer (Distance d optimale et présence ou non de vérins amortisseurs antilacets).

Chaque sous-partie est indépendante à l'exception de la partie 2.41 qui utilise les résultats des parties précédentes.

2.1 Modélisation du contact pneu-route

Le modèle utilisé dans la partie 1 (Roulement sans glissement) pour traduire le comportement du pneu sur la route n'est pas suffisamment précis. En effet, le modèle de roulement sans glissement ne tient pas compte de l'influence des efforts appliqués sur le pneu.

En pratique, un effort latéral F_y appliqué sur un pneu provoque une déformation de celui-ci, qui engendre simultanément un déplacement latéral de la roue. Parallèlement, la déformation du pneu engendre un moment autour de l'axe vertical (appelé moment d'auto-alignement M_z) qui a tendance à aligner la roue avec sa direction de déplacement réel.

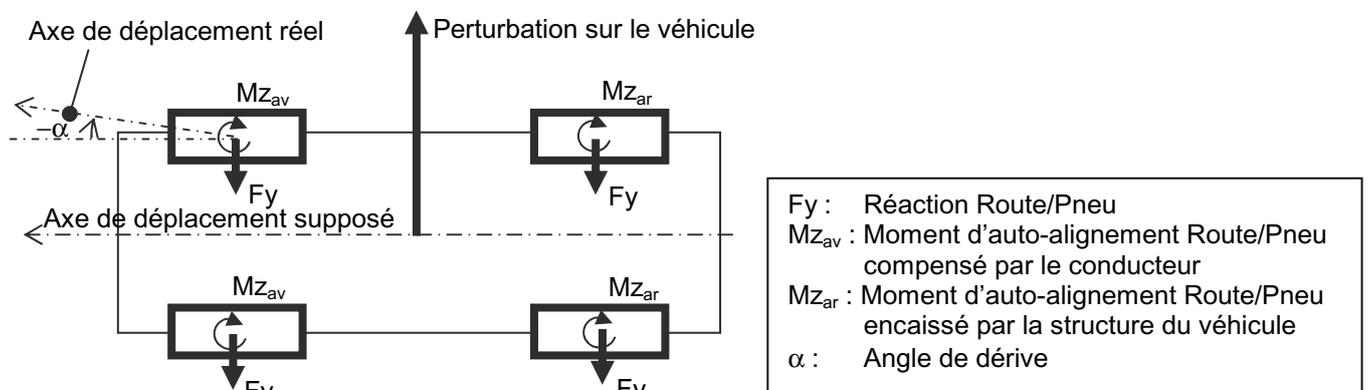


Figure 10 : exemple d'une automobile soumise à une perturbation latérale telle le vent

Dans l'exemple présenté **Figure 10** d'une automobile soumise à une perturbation latérale telle le vent, si le conducteur ne veut pas être dévié sur la droite, il va falloir qu'il compense la perturbation en tournant son volant légèrement à gauche.

Un des modèles couramment employé pour les véhicules sur pneus est le modèle de Pacejka. Il s'agit d'un modèle de comportement très réaliste puisque les équations sont une interpolation de résultats expérimentaux effectués sur un banc d'essai. Le glissement latéral du pneu est introduit sous la forme d'un angle de dérive α (Cf **Figure 10** et **Figure 11**).

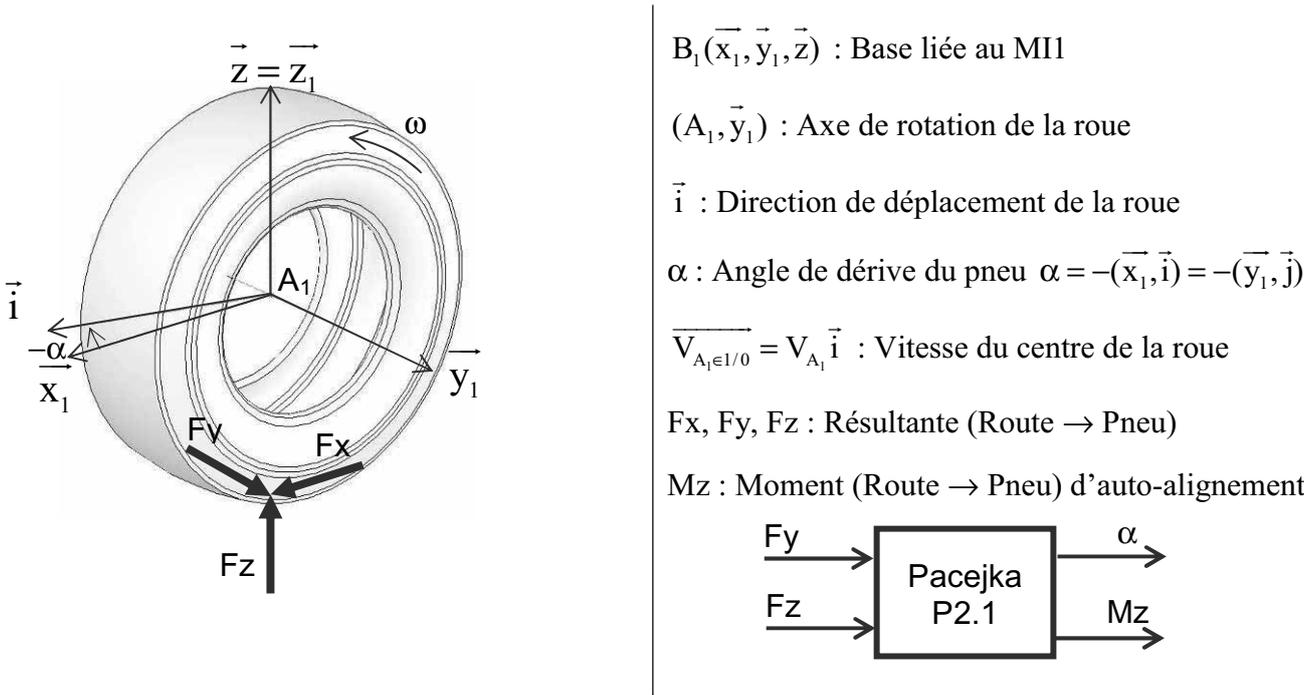


Figure 11 : modèle de Pacejka

L'angle de dérive α , est l'angle entre la vitesse de déplacement du centre de la roue A_1 et le plan médian de la roue $(A_1, \bar{x}_1, \bar{z})$. L'angle de dérive α dépend des composantes de la résultante de la route sur le pneu F_y, F_z , du pneu et de la route. L'angle de dérive α , qui caractérise la déformation du pneu, permet de quantifier le moment d'auto-alignement M_z ayant tendance à ramener le plan médian du pneu $(A_1, \bar{x}_1, \bar{z})$ parallèle à la vitesse de déplacement $\vec{V}_{A_1 \in I/0} = V_{A_1} \vec{i}$ du centre de la roue.

Les relations $\alpha = f(F_y, F_z)$ et $M_z = f(\alpha, F_z)$ sont obtenues expérimentalement pour un couple pneu / route donné (Cf **document DT5**).

Sachant que, la vitesse de passage en courbe d'une rame est limitée afin de limiter l'accélération centripète à 1 m/s^2 et que la charge statique sur chaque roue est d'environ 40000 N ,

- Q19** Estimer à l'aide modèle très simple et des données du tableau **Figure 15**, l'effort $F_{y_{max}}$ supporté par chaque roue. En déduire à partir de la **Courbe 1** du **document DT5**, les valeurs extrêmes de l'angle de dérive du pneu α .
- Q20** En justifiant vos hypothèses, déduire les relations $\alpha = f(F_y)$ et $M_z = f(\alpha)$. Compléter le **document réponse DR1** en inscrivant les relations obtenues dans le cadre correspondant.

2.2 Comportement cinématique d'un essieu

Dans cette partie, on suppose que le Centre Instantané de Rotation $I_{1/0}$ du Module Intermédiaire par rapport à la route est connu.

- Q21** Tracer sur le **document réponse DR2**, la direction de la vitesse du centre de la roue A_1 , la direction de la vitesse du centre de la roue B_1 et la direction de la vitesse $\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}$. Placer les angles de dérives α_1 et α_2 liés respectivement aux roues A_1 et B_1 .

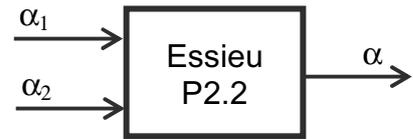


Figure 12 : modèle P2.2

Soit α , l'angle entre $\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}$ et le plan $(O_1, \overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{z})$ que nous appellerons **angle de dérive global du MI**.

Pour la suite de l'étude, nous retiendrons le modèle suivant pour la définition de α : $\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$.

- Q22** Placer α sur le **document réponse DR2**. Compléter le **document réponse DR1** en inscrivant la relation obtenue dans le cadre correspondant. Critiquer le modèle retenu.

2.3 Modélisation du suivi de trajectoire

Pour la suite de l'étude, nous supposons que le comportement cinématique du MI dépend uniquement des vitesses $\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}$ et $\overrightarrow{V_{P_1 \in 1/0}}$. On rappelle que la direction de $\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}$ est définie par l'angle α (« angle de dérive globale » entre $\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}$ et le plan $(O_1, \overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{z})$, $\alpha = (\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}, \overrightarrow{x_1})$).

- Q23** A partir du paramétrage défini sur le **document DT3**, et de la direction de $\overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}}$ déterminer la relation liant $\dot{\delta} = \overrightarrow{V_{O_1 \in 1/0}} \cdot \overrightarrow{y}$, V , γ et α .

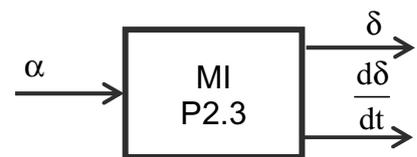


Figure 13 : modèle P2.3

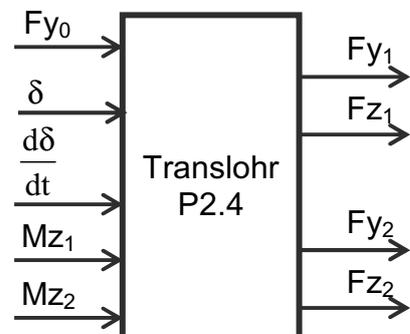


Figure 14 : modèle P2.4

Sachant que **gamma et alpha restent petit** ;

- Q24** En utilisant la relation déterminée à la question **Q10**, déterminer l'équation différentielle du premier ordre caractérisant l'évolution du déplacement latéral δ du module intermédiaire en fonction de la vitesse V , de la distance d et l'angle de dérive globale α . Compléter le **document réponse DR1** en inscrivant la relation obtenue dans le cadre correspondant.

2.4 Modélisation dynamique du translohr

A partir des résultats des questions précédentes et d'une étude dynamique (Cf **Figure 14**) nous allons étudier les effets d'un effort latéral dû au vent sur le comportement de la rame **en ligne droite**.

Sachant que :

- ✚ la surface projetée S des caisses par essieu est de $21 \text{ m}^2/\text{essieu}$,
- ✚ le C_x des caisses est égal à 1,
- ✚ la masse volumique ρ de l'air à 15° est de $1,295 \text{ kg/m}^3$

Q25 Pour une vitesse de vent v de 120 km/h , calculer l'effort latéral F_{y_0} s'appliquant par caisse ($F_{y_0} = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot C_x$).

Compte tenu de l'accélération latérale limitée à 1 m/s^2 , nous supposons que les équations établies à la question **Q20** sont indépendantes de la composante F_z de l'action de la route sur la roue. On a alors : $F_y = C_{F_y} \cdot \alpha$ et $M_z = C_{M_z} \cdot (\alpha - \alpha_0)$ avec $C_{F_y} = 256,8 \text{ kN/rad}$, $C_{M_z} = -8992 \text{ Nm/rad}$ et $\alpha_0 = 0,007 \text{ rad}$ où F_x , F_y , F_z représentent les composantes de la résultante (Route / Pneu) et M_z le moment (Route / Pneu) d'auto-alignement.

Libélé	Variable	Valeur
Masse d'une caisse (Centre de gravité G_k)	M_c	6500 kg
Masse d'un module intermédiaire (Centre de gravité O_i)	M_m	1758 kg
Moment d'inertie principal d'une caisse k relatif à l'axe (G_k, \bar{z}) (G_k est au milieu de $[K_k ; L_{k-1}]$, Cf Document DT4)	I_{c_k}	$1,95 \times 10^4 \text{ kg.m}^2$
Moment d'inertie principal d'un MI i relatif à l'axe (O_i, \bar{z})	I_{m_i}	$7 \times 10^2 \text{ kg.m}^2$
Raideurs d'articulations en L et K	K_{rz}	19,1 Nm/rad
Frottement visqueux équivalent dans les articulations en L et K dû aux vérins antilacets	f_v	en Nm/(rad/s)

Figure 15 : données de masses et d'articulations

2.41 Approche simplifiée

Cette première approche va nous permettre, en simplifiant les calculs, de déterminer les principaux paramètres influant sur le comportement dynamique de la rame.

Pour cette étude nous allons étudier l'ensemble (Caisse 2 + MI 2 + Caisse 3).

Nous supposons **dans cette partie 2.41** que :

- ✚ La rame est sur une portion droite,
- ✚ **K_2 , L_2 et O_2 sont confondus** (Cf document DT4),
- ✚ Les efforts route/ roue sont égaux sur les 2 roues du MI,
- ✚ Les moments d'auto-alignement sont nuls,
- ✚ Les caisses restent constamment parallèles à l'axe du rail,
- ✚ Il n'y a **ni frottement ni raideur dans les articulations**,
- ✚ L'effort latéral du rail de guidage sur les galets F_{yg} est négligeable devant les autres efforts mis en jeu ($F_{yg} = 0$).

Nous admettrons que ces hypothèses reviennent à modéliser le Translohr comme **un module intermédiaire seul** de masse $M_c + M_m$ sur lequel serait appliquée la perturbation F_{y_0} .

- Q26** En utilisant les données de la **Figure 15** le paramétrage du **document DT3**, déterminer l'équation dynamique reliant $\ddot{\delta}_2$, F_y , et F_{y_0} . En combinant cette équation aux équations obtenues précédemment, déterminer l'équation différentielle régissant l'évolution du déplacement latéral de l'essieu δ_2 soumis à une perturbation F_{y_0} (échelon).
- Q27** Mettre cette équation sous forme canonique et déterminer la pulsation propre ω_0 et l'amortissement ξ . Conclure sur l'incidence des différents paramètres sur le comportement dynamique du Translohr. A ce stade de l'étude, quelles préconisations techniques qualitatives pouvez vous faire afin d'améliorer le comportement du Translohr ?

2.42 Approche complète pour simulation numérique

L'approche simplifiée nous a permis de dégager les paramètres principaux influençant le comportement du Translohr. Afin de valider les choix constructifs, il est nécessaire d'obtenir un modèle précis nous permettant de quantifier, entre autres, l'incidence de la longueur d du dispositif du guidage sur la stabilité et les efforts de guidage galets/rail.

Pour cette étude nous allons étudier l'ensemble (Caisse 2 + MI 2 + Caisse 3).

Nous supposons dans cette partie 2.42 que :

- ✚ La rame est sur une portion droite,
- ✚ Les points extrêmes de l'ensemble étudié restent à la verticale du rail de guidage (Points L_1 et K_3),
- ✚ La perturbation F_{y_0} s'applique intégralement en O_2 ,
- ✚ Les articulations en L_1, K_2, L_2, K_3 sont avec raideur et frottement visqueux (Cf **Figure 15**),
- ✚ Etant donné le modèle retenu à la **partie 2.3**, nous considérerons que les efforts de la route sur les deux roues sont identiques.

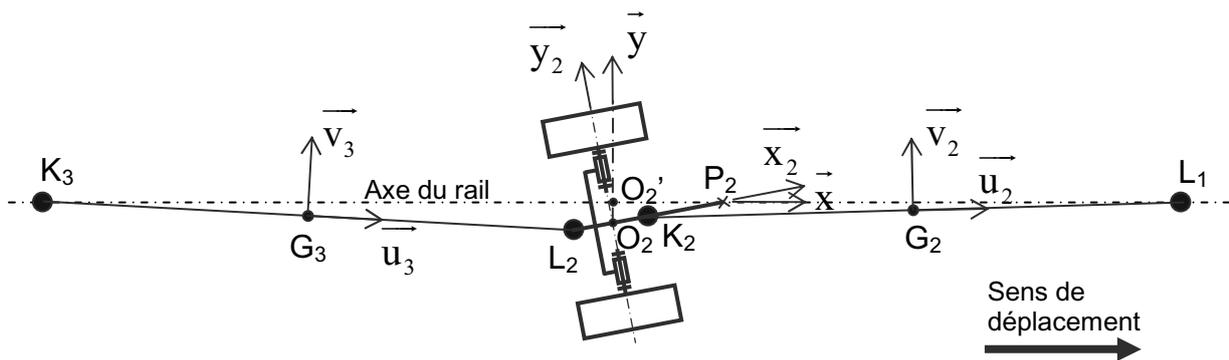


Figure 16 : schéma en vue de dessus de la configuration étudiée

- Q28** En supposant $\beta_2, \gamma_2, \beta_3$ petit (Cf **document DT4** représentant le translohr en vue de dessous), à l'aide de fermetures géométriques, déterminer les relations $\gamma_2 = f(\delta_2)$, $\beta_2 = f(\delta_2)$ et $\beta_3 = g(\delta_2)$.
- Q29** Sans faire **aucun calcul**, proposer **une démarche de résolution** permettant de déterminer les actions de la route sur les roues en fonction des variables d'entrée définies **Figure 14**. Pour chaque isolement on prendra soin de définir l'ensemble isolé, le bilan des actions mécaniques extérieures, l'équation à utiliser et les variables obtenues à l'issue de l'isolement.

Q30 Compléter le **document réponse DR3** représentant graphiquement les équations issues de votre démarche. Chaque bloc de ce document doit représenter une équation conformément à l'exemple donné.

2.5 Exploitation et analyse des résultats

Les résultats de simulations du modèle défini précédemment sont représentés sur le **document DT6**. Ces simulations représentent la réponse à un échelon Fy_0 (Rafale de vent latéral à 120 km/h) pour 4 configurations différentes. On cherche à minimiser les efforts de guidage Rail / Galet afin de limiter l'usure tout en assurant un maximum de confort au passager.

Q31 Analyser les résultats de simulations et proposer une analyse comparative conduisant à des préconisations techniques concernant la distance d et la présence ou non d'un système antilacet.

PARTIE 3 : DEFINITION DU SYSTEME DE GUIDAGE

Le guidage d'un MI est assuré par de deux dispositifs de guidage (Cf **document DT7**) disposés symétriquement par rapport à l'axe de l'essieu, assurant l'interface rail / essieu porteur. Le dispositif situé en avant de l'essieu dans le sens de la marche est solidaire de l'essieu porteur. Celui situé derrière peut se déplacer latéralement (amplitude limitée).

L'organe de guidage lié au rail est composé de deux galets à axes inclinés (Cf **vue 3, document DT7**). L'inclinaison des axes de rotation et la forme adaptée des jantes des galets rendent le système « indérailable » en conditions normales d'exploitation. En effet, la distance libre entre les deux extrémités des **mentonnets 21** est inférieure à la largeur de la tête du rail. L'organe de guidage ne peut donc pas s'échapper du rail.

Les galets sont plaqués sur le rail grâce à un ressort de plaquage (Cf **documents DT7 et DT8**). L'axe de retenue permet de limiter le débattement vertical du dispositif de guidage.

L'objet de cette partie est de définir et dimensionner certains éléments du dispositif de guidage.

3.1 Détermination du ressort de plaquage

Les performances du dispositif de guidage sont les suivantes :

- ⊥ Charge latérale normale de pilotage F_{yg} : 140 daN,
- ⊥ Charge latérale exceptionnelle de retenue $F_{y_{ex}}$: 3 400 daN.

En fonctionnement normal, les contacts galets /rail se font uniquement par les bandes de roulement 20. Les mentonnets 21 ne participent pas au guidage (Cf **Vue 3 du document DT7**).

- Q32** *A partir de la **Vue 3 du document DT7**, déterminer la charge verticale minimale d'un galet sur le rail F_{zg} associée à la charge latérale normale de pilotage F_{yg} .*
- Q33** *En justifiant clairement la méthode utilisée, à partir de F_{zg} , déterminer l'effort minimal que doit fournir le ressort de plaquage (Cf **documents DT7 et DT8**).*

3.2 Dimensionnement de l'axe de retenue 5 (Cf DT7 et DT8)

La force verticale d'arrachement par couple de galets en statique est de 5 000 daN.

Le choix du matériau est établi à partir de renseignements stockés dans des bases de données. Combinées, elles permettent la réalisation de graphes à double entrée qui mettent en évidence des domaines par famille de matériaux. Chaque entrée correspond à une propriété particulière des matériaux répondant aux besoins fonctionnels objectifs.

Afin de préparer une recherche de matériau faisant appel à des bases de données :

- Q34** *Entourer sur le document **DR4** les critères intervenant dans le choix du matériau de l'axe de retenue. Pour chaque critère retenu, entourer la ou les limites à renseigner (Mini, Maxi ou les deux). Justifier sur votre copie le choix de ces critères et indiquer au besoin des critères supplémentaires à considérer.*
- Q35** *Proposer un mode de réalisation, les traitements éventuels ainsi que les essais à réaliser pour valider le comportement du matériau retenu relativement aux fonctions de la pièce.*
- Q36** *Calculer la limite élastique minimale du matériau de l'axe de retenue, en justifiant clairement la méthode utilisée.*

3.3 Spécifications du porte galets (Cf DT7)

Le *Porte Galets 3* est positionné relativement à la *Traverse Flottante 0* par le *Bras Supérieur 1* et le *Bras Inférieur 2*. Les liaisons en E, F, G et H sont assimilables à des rotules. La liaison en C est assimilable à un pivot glissant d'axe (C, \vec{y}) . Enfin la liaison entre le *Porte Galets 3* et le *Bras Inférieur 1* est assimilable globalement à un pivot d'axe (AB).

- Q37** Calculer le degré d'hyperstatisme du mécanisme de guidage. En déduire les contraintes géométriques à imposer aux différentes pièces constituant le mécanisme.
- Q38** Sur le **document réponse DR5**, porter les spécifications liées au positionnement du **Porte Galets** issues de l'analyse précédente (Les valeurs numériques des tolérances ne sont pas demandées).

3.4 Conception du système de débrayage du système de guidage

Des dispositifs appelés « dispositifs de verrouillage » permettent d'activer l'organe de guidage situé en avant de l'essieu dans le sens de la marche en solidarissant dispositif de guidage et essieu, et de laisser un jeu latéral à l'organe de guidage situé derrière. Ils peuvent se présenter sous la forme de vérins à deux tiges (Cf **document DT10**) boulonnés sur les traverses des essieux porteurs (Cf **document DT9**). Les déplacements latéraux du dispositif de guidage par rapport à l'essieu porteur sont fonction de l'état du dispositif de verrouillage.

L'objet de cette partie est de concevoir le dispositif permettant :

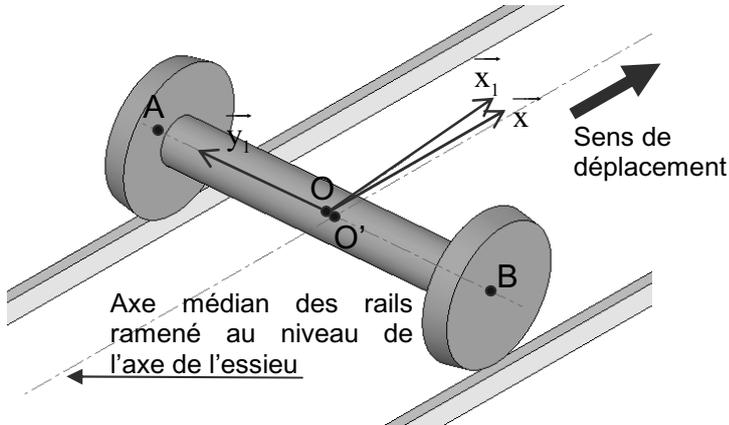
- ✚ De solidariser la traverse flottante 0 du système de guidage (Cf **document DT7**) à la traverse de l'essieu porteur (Cf **documents DT2 et DT4**) lorsque le dispositif de guidage se situe en avant de l'essieu,
- ✚ De rendre « libre » en débattement latéral par rapport à l'essieu le dispositif de guidage lorsque celui-ci se situe en arrière de l'essieu.

Ce dispositif doit présenter deux butées, entre lesquelles la traverse flottante peut débattre latéralement lorsque le « dispositif de verrouillage » est passif. Dans cette configuration la traverse flottante est « libre » en débattement latéral par rapport à l'essieu. En fonctionnement nominal, il existe toujours un jeu entre ces butées, par contre en cas d'efforts exceptionnels, verglas par exemple, les essieux sont maintenus en trajectoire par les guidages avant et arrière. La traverse flottante avant est maintenue par le « dispositif de verrouillage » et la traverse flottante arrière est appuyée sur une des butées.

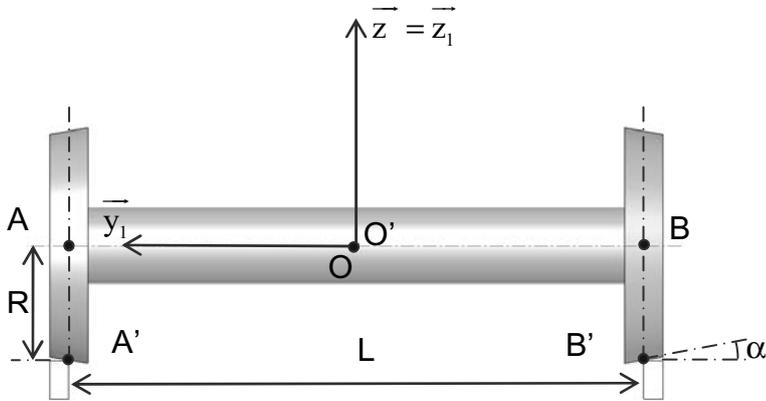
- Q39** Proposer sous forme de croquis, schémas légendés, deux propositions de solutions technologiques. Vous pouvez utiliser le vérin à 2 tiges proposé **document DT10** ou toute autre système que vous décrierez précisément.

Dossier Technique

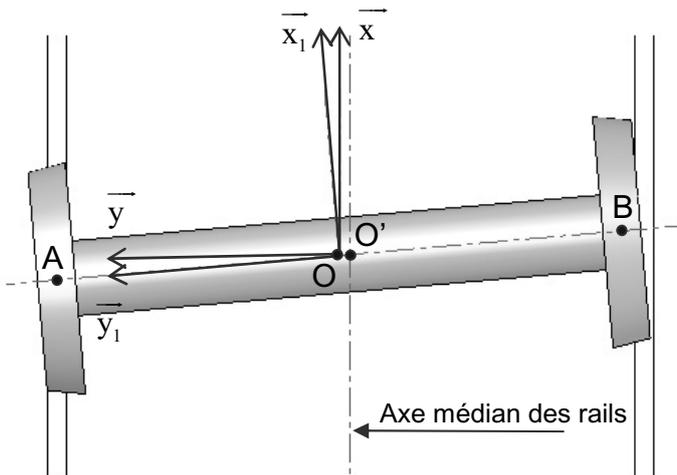
DT1 : MODELISATION ESSIEU - RAILS



Vue 1 : Représentation isométrique ($\gamma \neq 0$ et $\delta \neq 0$)



Vue 2 : Vue de face ($\gamma = 0$ et $\delta = 0$)



Vue 3 : Vue de dessus ($\gamma \neq 0$ et $\delta \neq 0$)

Remarque : Afin de simplifier les calculs, la section du rail est supposée rectangulaire.

Paramétrage

$B(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$: Base liée aux rails

$B_1(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$: Base liée au bogie

$\gamma = (\vec{x}, \vec{x}_1) = (\vec{y}, \vec{y}_1)$: Angle de rotation de l'essieu autour de l'axe vertical.

O : Centre de l'essieu 1

O' : Projection orthogonale de O sur le plan médian des rails

$\vec{O'O} = \delta \vec{y}$: Déplacement latéral de l'essieu par rapport au plan médian des rails

A, B : Centres des deux roues liées à l'essieu 1. $\vec{OA} = \frac{L}{2} \vec{y}_1 = -\vec{OB}$

A', B' : Points de contact Roues/Rails (à la verticale des points A et B lorsque $\gamma = 0$ et $\delta = 0$, Cf Vue 2)

L : Espace entre les 2 rails.
 $L = \|\vec{AB}\|$

R : Rayon des roues à la verticale de A et B

α : Angle de conicité des roues

V : Vitesse de déplacement du centre O de l'essieu ;
 $\vec{V}_{O \in I/0} = V \vec{x}_1$

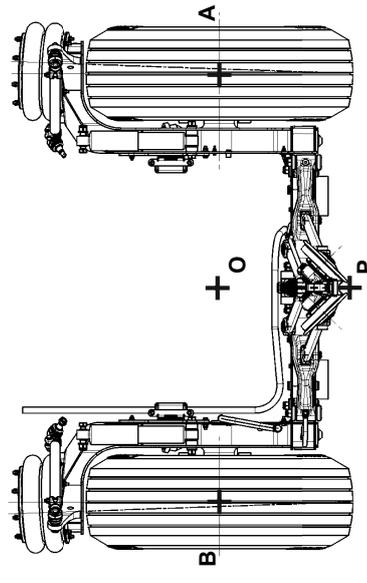
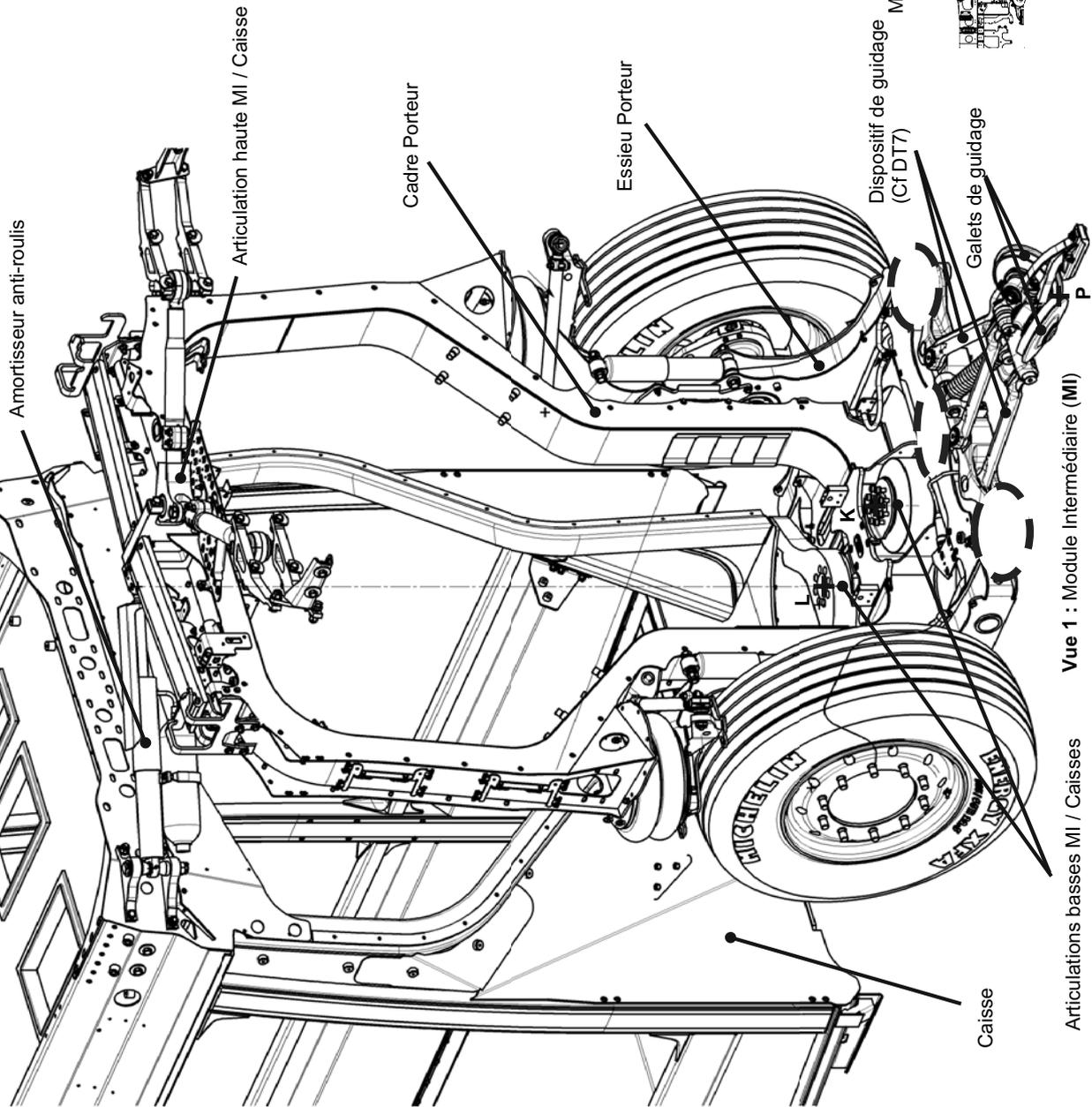
$\vec{\Omega}_{1/0} = \omega \vec{y}_1 + \dot{\gamma} \vec{z}_1$: Vitesse de rotation de l'essieu

Valeurs numériques

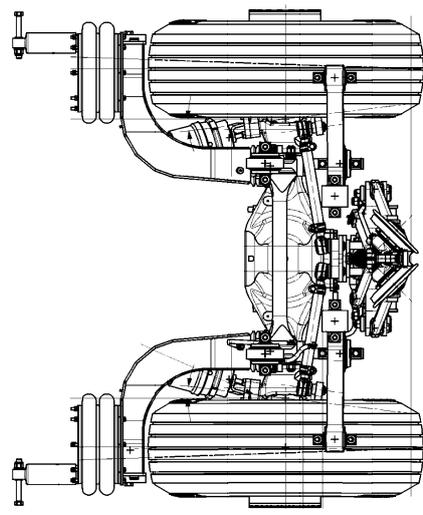
R	0,3 m
L	1,435 m
α	5°
V	70 km/h

DT2 : VUES D'ENSEMBLE DU TRANSLOHR

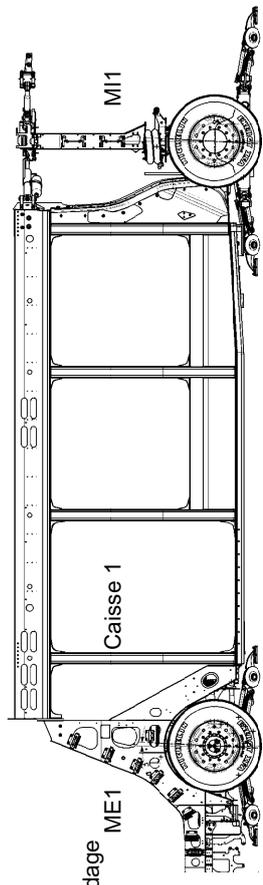
Zone à concevoir



Vue 2 : Essieu porteur d'un Module Intermédiaire (MI)



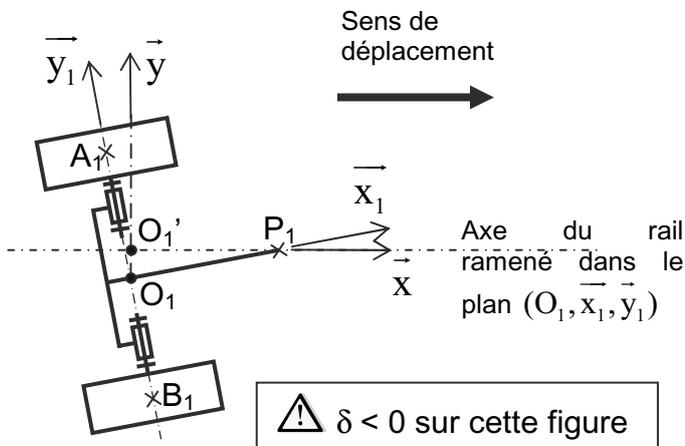
Vue 3 : Essieu moteur d'un Module Extrémité (ME) (Non étudié)



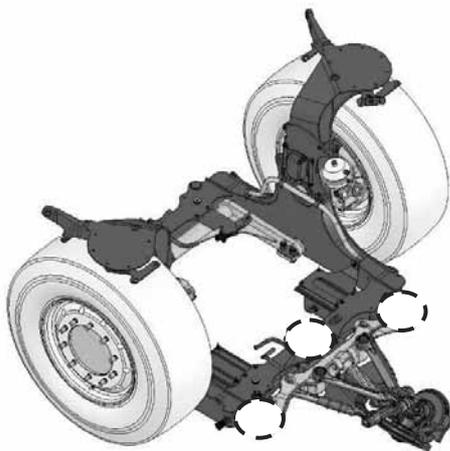
Vue 4 : Module Extrémité (ME) + Caisse + Module Intermédiaire (MI)

Vue 1 : Module Intermédiaire (MI)

DT3 : MODELISATION SIMPLIFIE DU MODULE INTERMEDIAIRE MI 1



**Vue 1 : Paramétrage Module Intermédiaire (MI1)
en vue de dessus**



Vue 2 : Essieu Porteur et Dispositif de Guidage

Zone à concevoir

Paramétrage

$B(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$: Base liée au rail

$B_1(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$: Base liée au MI1

$\gamma = (\vec{x}, \vec{x}_1) = (\vec{y}, \vec{y}_1)$: Rotation du MI1 autour de l'axe vertical

O_1 : Centre de l'essieu 1

O_1' : Projection orthogonale de O_1 sur l'axe du rail

$\overline{O_1'O_1} = \delta \vec{y}$: Déplacement latéral de l'essieu 1 par rapport au rail

A_1, B_1 : Centres des roues ; $\overline{B_1A_1} = L \vec{y}_1$

A'_1, B'_1 : Points de contacts Roues / Sol à la verticale de A_1 et B_1 ;
 $\overline{A'_1A_1} = \overline{B'_1B_1} = R \vec{z}_1$

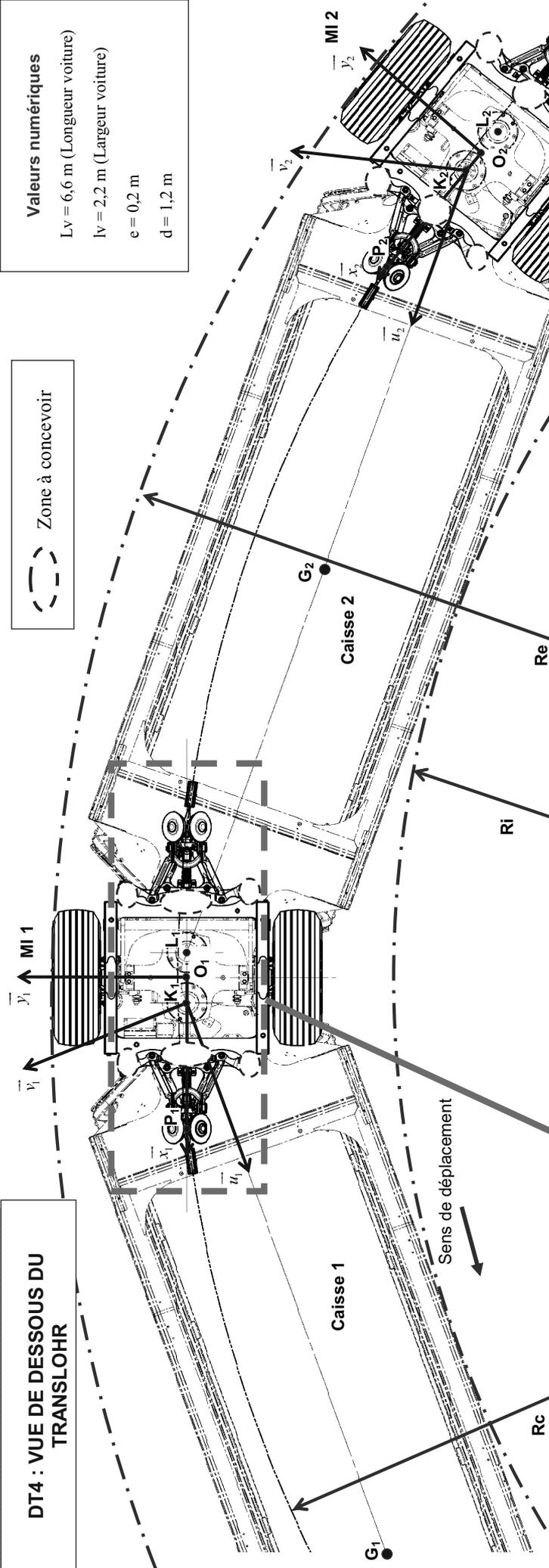
P_1 : Centre de la liaison Galets / Rail (ramené dans le plan $(O_1, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$);
 $\overline{O_1P_1} = d \vec{x}_1$

V : Vitesse de déplacement du centre O_1 de l'essieu

Valeurs numériques

L	1,75 m
R	0,53 m
d	1,2 m
V	70 km/h

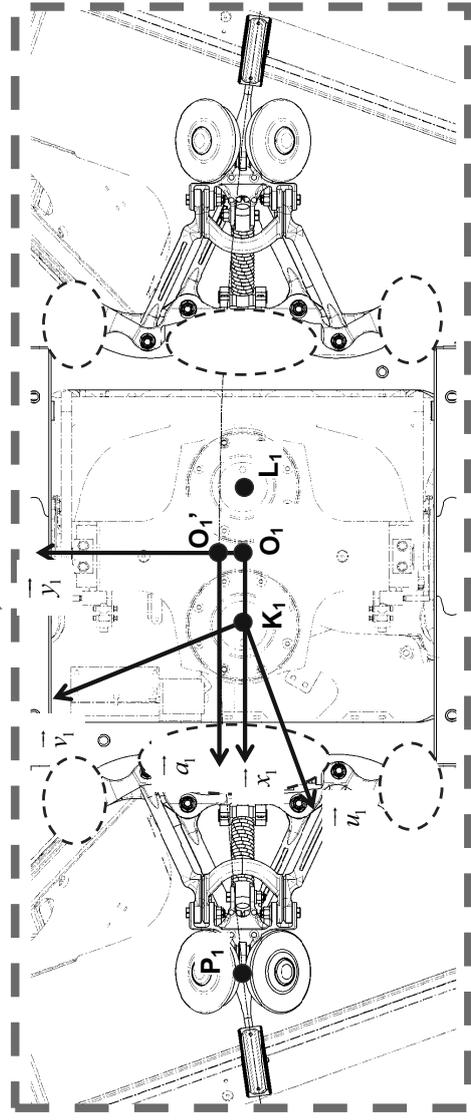
DT4 : VUE DE DESSOUS DU TRANSLOHR



Valeurs numériques
 LV = 6,6 m (Longueur voiture)
 lv = 2,2 m (Largeur voiture)
 e = 0,2 m
 d = 1,2 m

Zone à concevoir

Vue 1 : Vue de dessous et paramétrage du Translohr

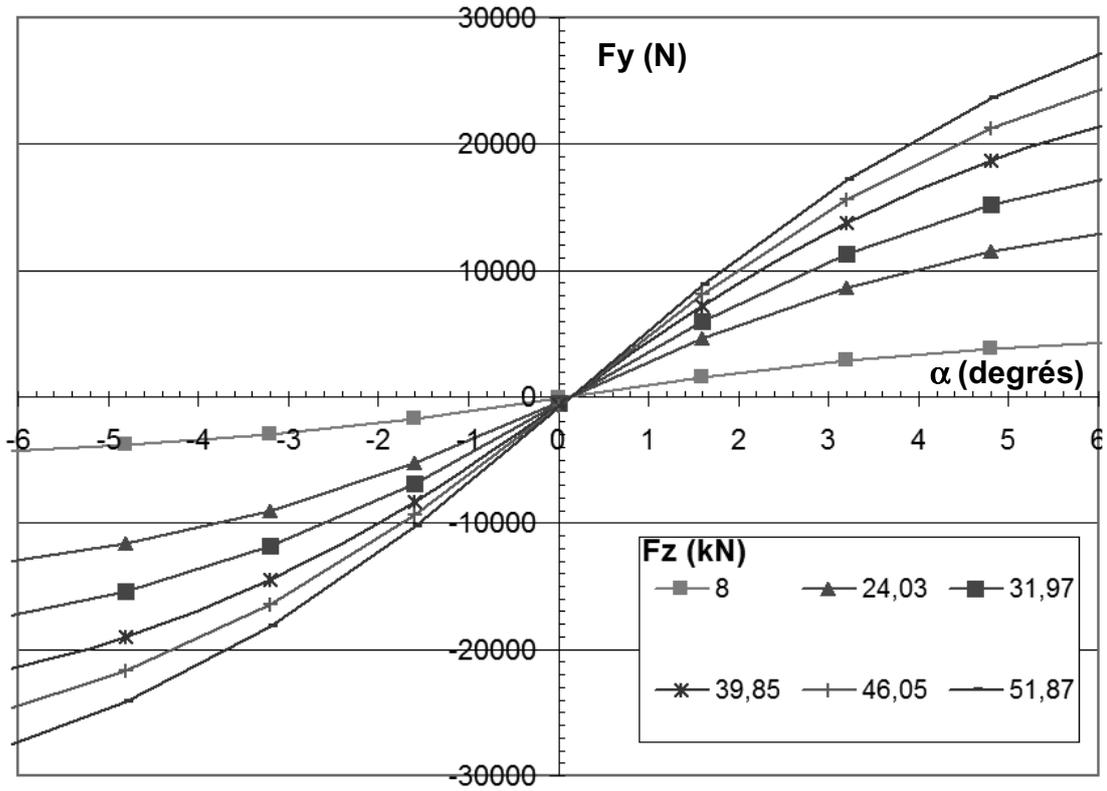


Vue 2 : Zoom sur un Module Intermédiaire pour $\gamma_i = 0$

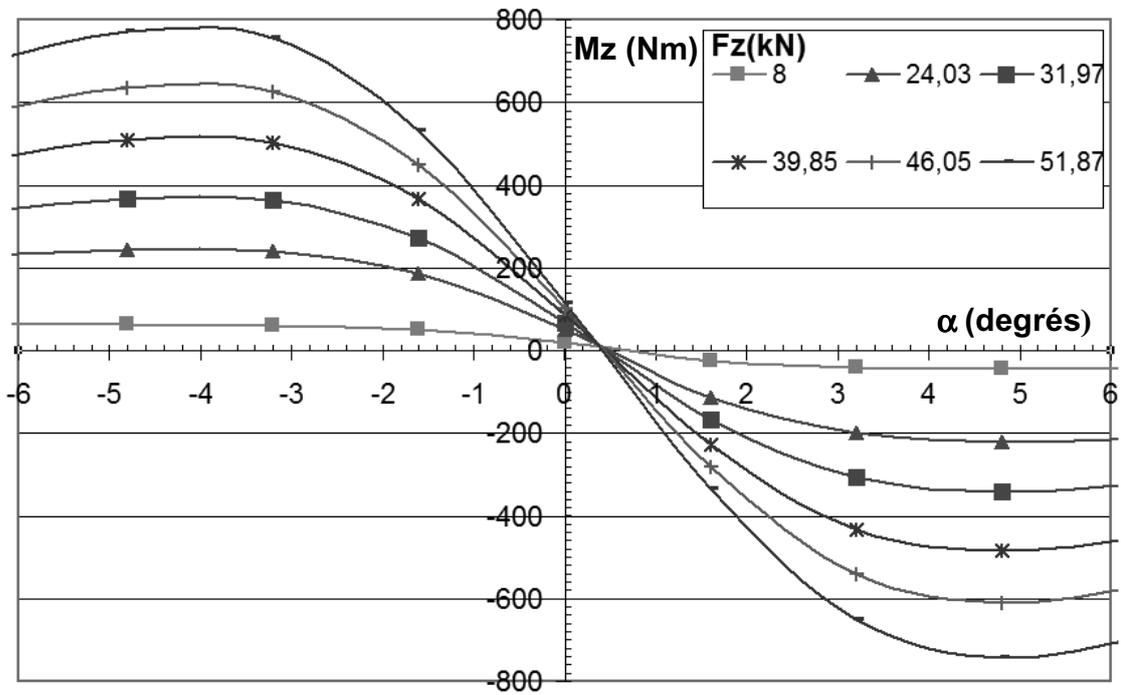
Paramétrage

- O_i : Centre de l'essieu i
- O_i' : Projection orthogonale de O_i sur l'axe du rail (Cf Vue 2)
- $BR_i(a_i, \vec{b}_i, z)$: Base locale liée au rail au point O_i' (Cf Vue 2), a_i est tangent au rail en O_i' .
 En ligne droite, $BR_i(a_i, \vec{b}_i, z)$ est identique à $B(\vec{x}, \vec{y}, z)$ (Cf DT3).
- $B_i(\vec{x}_i, \vec{y}_i, z)$: Base liée au $MI i$ (Avec $i \in [1, 3]$ pour une Rame ST4)
- $\gamma_i = (\vec{a}_i, \vec{x}_i)$: Rotation du $MI i$ autour de l'axe vertical par rapport au rail
- $\vec{O}_i' \vec{O}_i = \delta_i \vec{b}_i$: Déplacement latéral de l'essieu i par rapport au rail
- $BC_k(\vec{u}_k, \vec{v}_k, z)$: Base liée à la caisse k (Avec $k \in [1, 4]$ pour une Rame ST4)
- P_i : Centre de la liaison galets / rail ; $\vec{O}_i \vec{P}_i = d \vec{x}_i$
- K_i et L_i : Centres des liaisons $MI /$ Caissons ; $\vec{O}_i K_i = e \vec{x}_i$, $\vec{O}_i L_i = -e \vec{x}_i$, $\vec{K}_{i+1} L_i = LV u_{i+1}$
- $\beta_k = (\vec{a}_k, \vec{u}_k) = (\vec{b}_k, \vec{v}_k)$: Rotation d'une Caisse k autour de l'axe vertical par rapport au rail

DT5 : MODELE DE PACEJKA

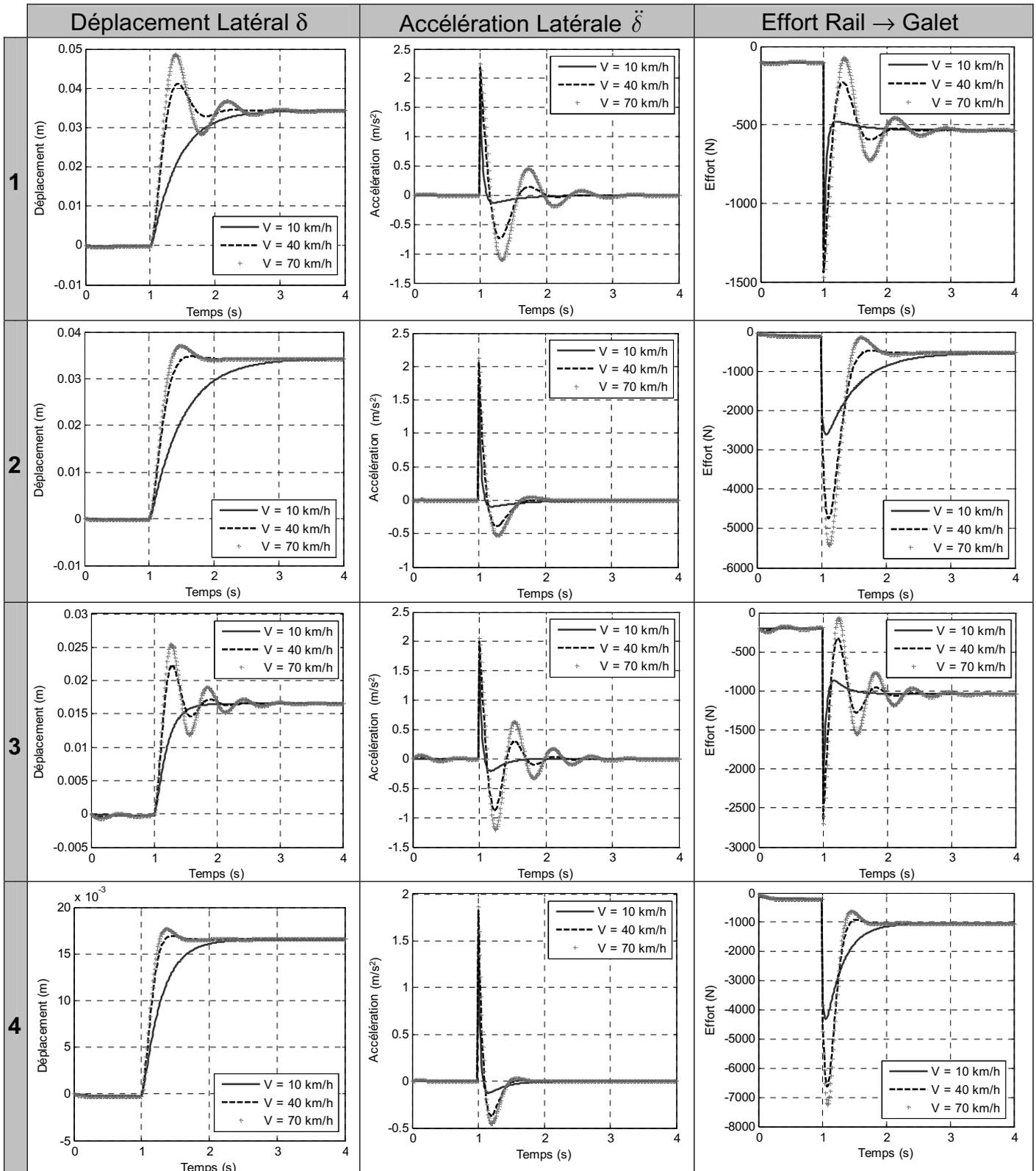


Courbe 1 (Liant α , F_y et F_z)



Courbe 2 (Liant M_z , α et F_z)

DT6 : RESULTATS DE SIMULATIONS



1 : $d = 1,2$ m; $f_v = 0$ Nm/(rd/s)

3 : $d = 0,6$ m; $f_v = 0$ Nm/(rd/s)

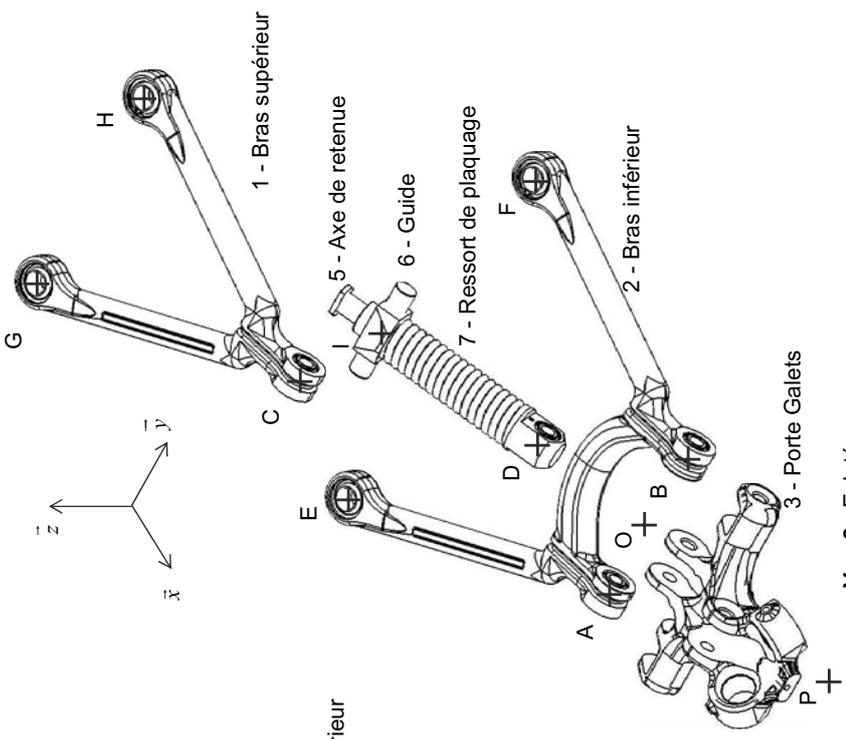
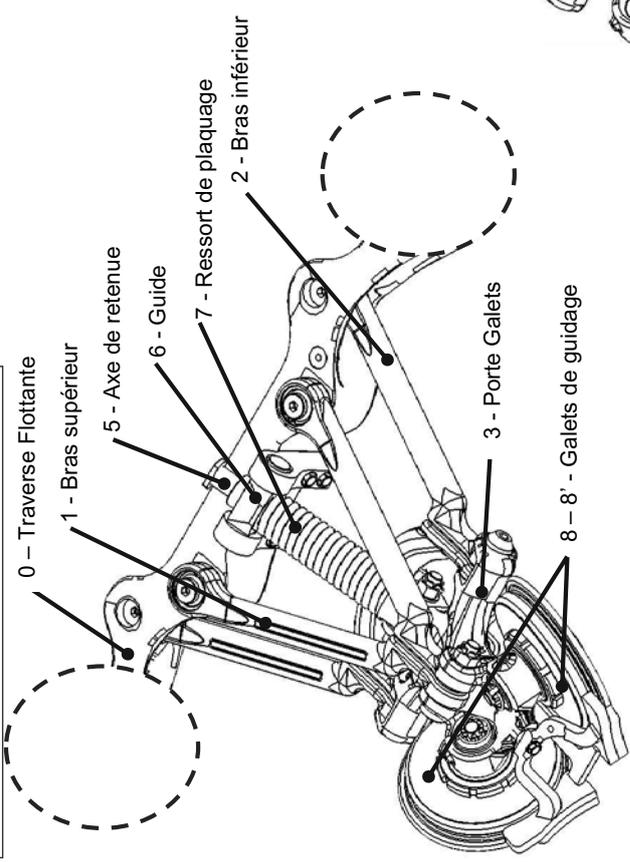
2 : $d = 1,2$ m; $f_v = 25000$ Nm/(rd/s)

4 : $d = 0,6$ m; $f_v = 25000$ Nm/(rd/s)

Remarque : $f_v = 0$ Nm/(rd/s) correspond à une configuration sans système antilacet

DT7 : DISPOSITIF DE GUIDAGE

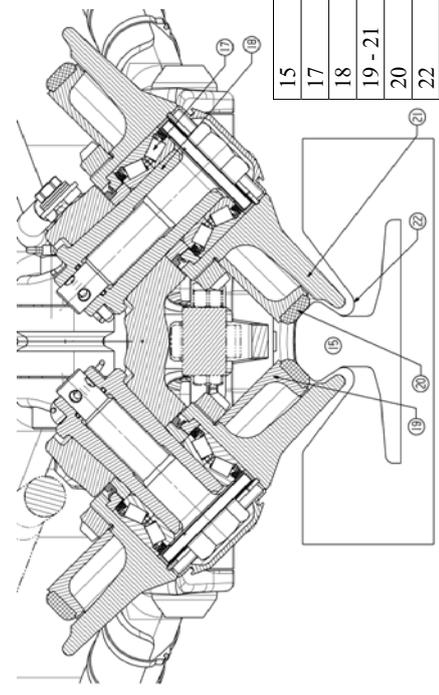
Zone à concevoir



Coordonnées des points

	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
O	0	0	0
A	0	-116	0
B	0	116	0
C	104,6	0	73
D	-45,1	0	25,7
E	-399,2	-274,4	68,5
F	-399,2	274,4	68,5
G	-294,6	-158,4	141,5
H	-294,6	158,4	141,5
I	-282,1	0	138,4
P	170,7	0	-87,6

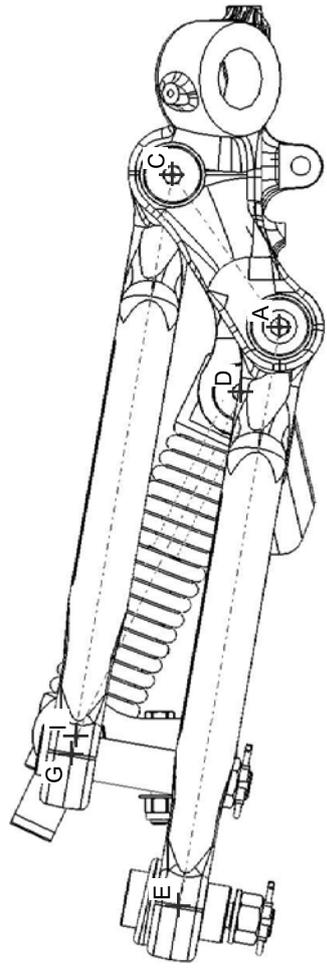
Vue 1 : Dispositif de guidage



15	Rail
17	Roulement
18	Fusée
19 - 21	Galet de guidage
20	Bande de roulement
22	Interface Rail / Sol

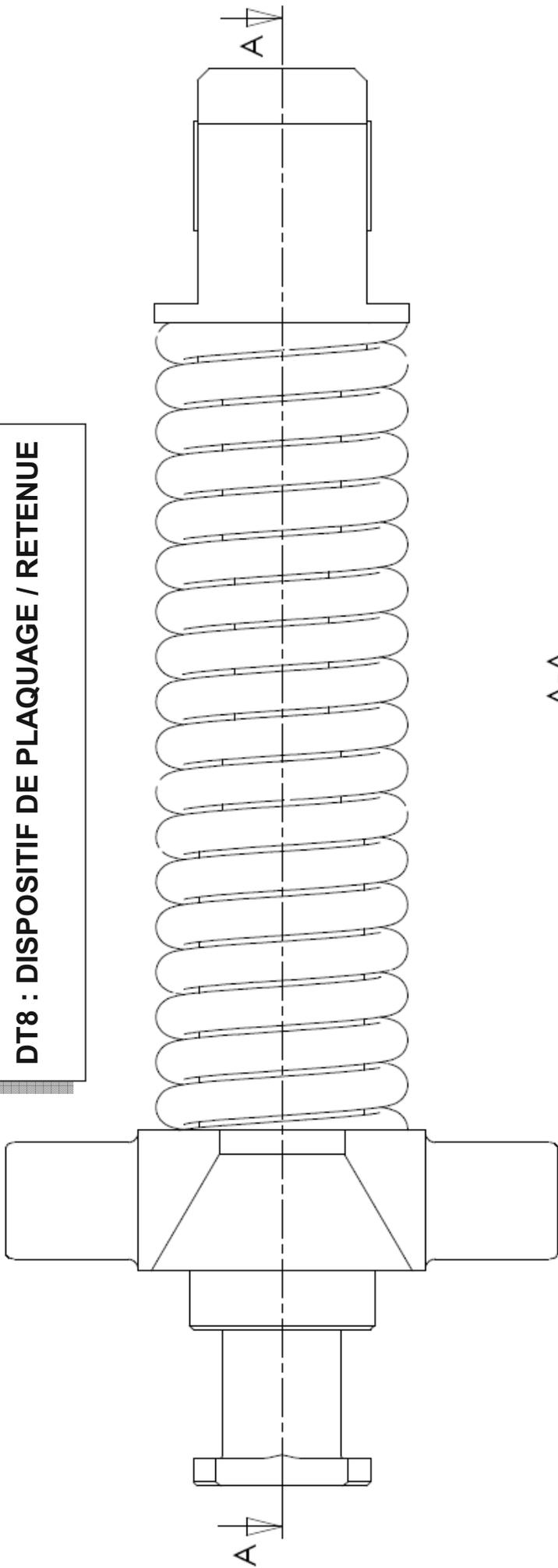
Vue 3 : Galets de guidage + Rail

Vue 2 : Eclaté

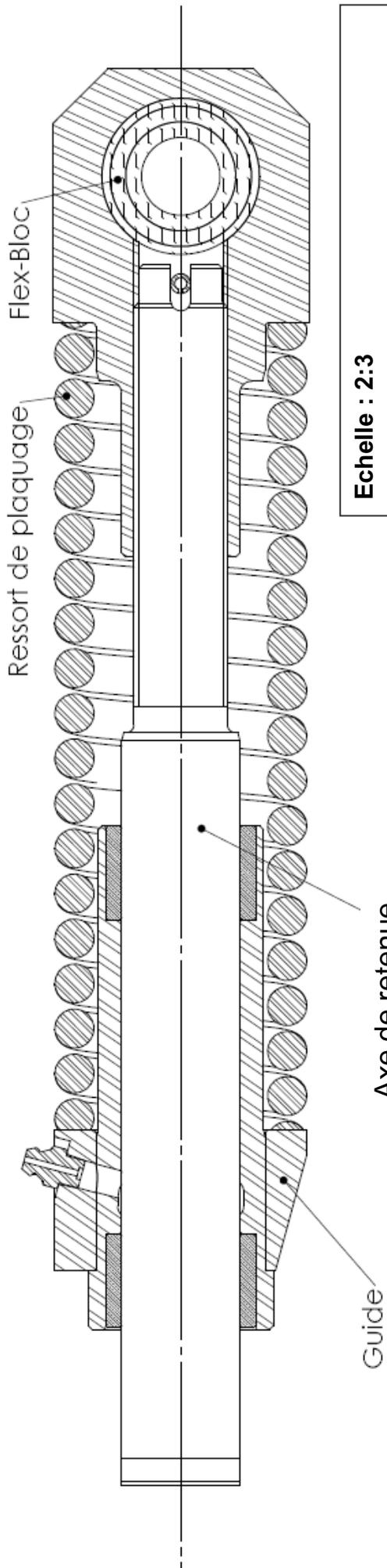


Vue 4 : Vue de profil

DT8 : DISPOSITIF DE PLAQUAGE / RETENUE

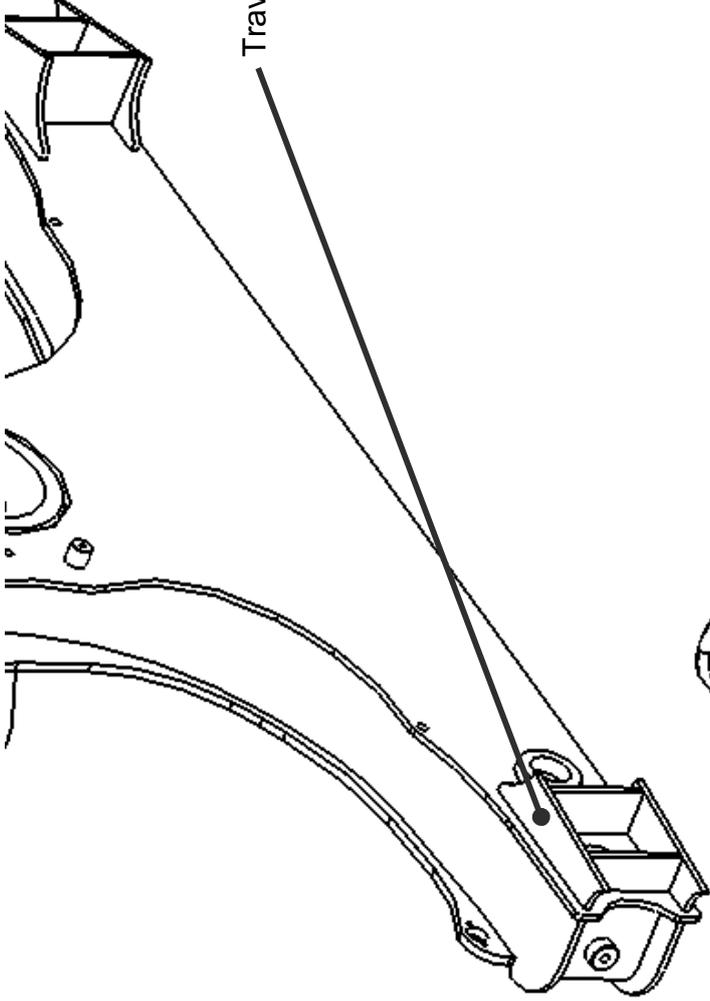


A-A

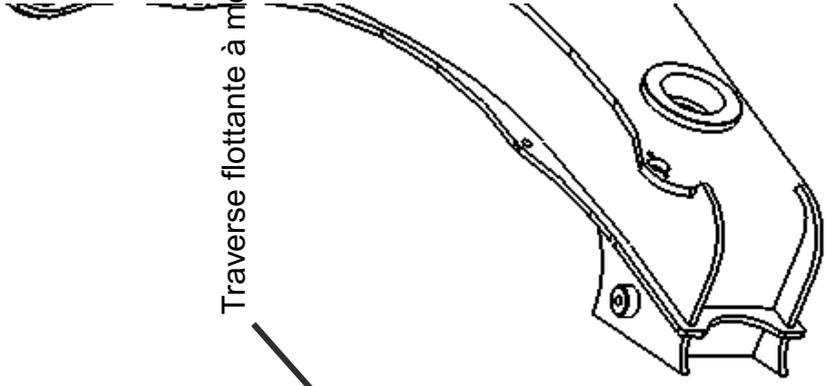


Echelle : 2:3

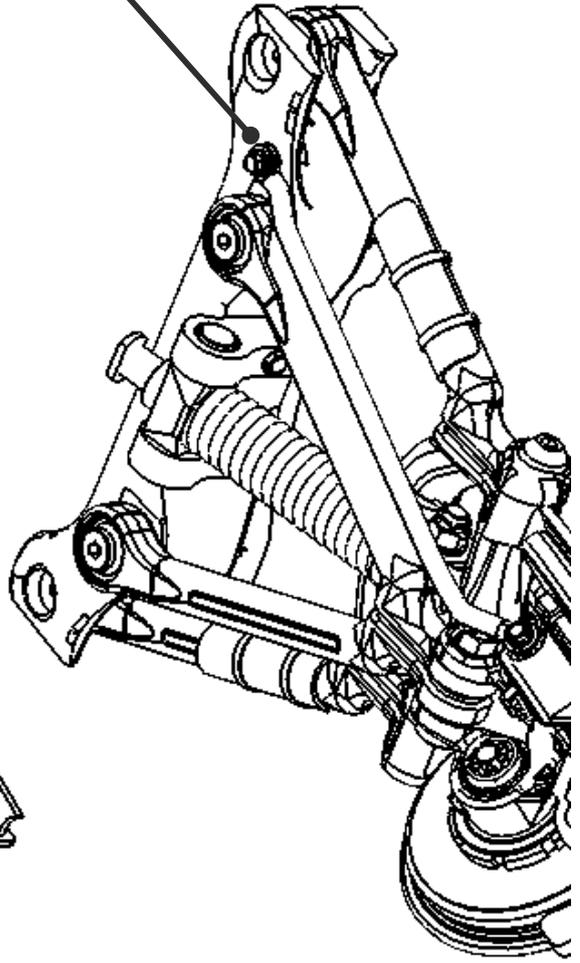
DT9 : PERSPECTIVE CONCEPTION



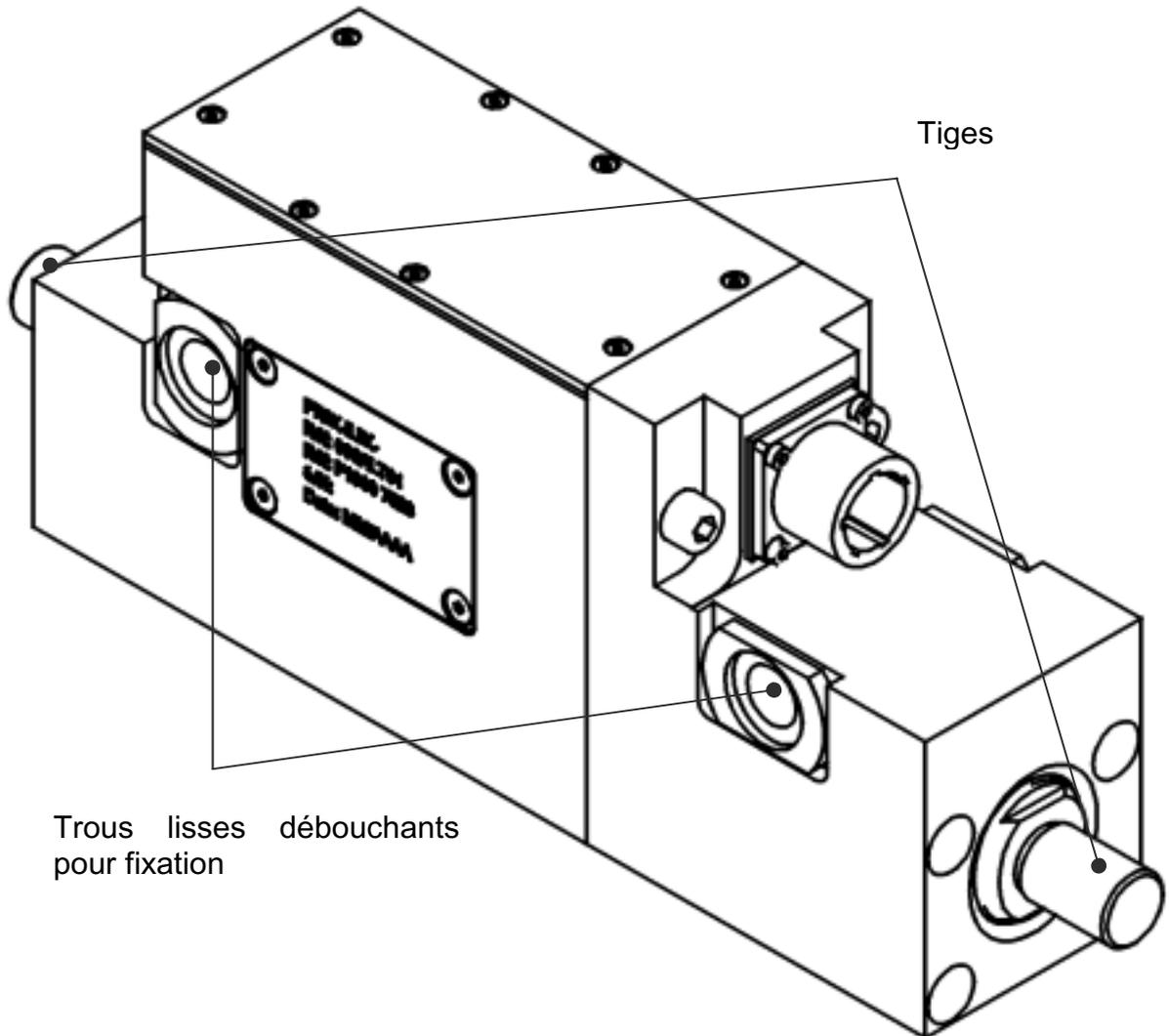
Traverse de l'essieu à modifier (Mécano-Soudée)



Traverse flottante à modifier (Moulée)



**DT10 : VERIN A 2 TIGES
(DISPOSITIF DE VERROUILLAGE)**



Dossier Réponse

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

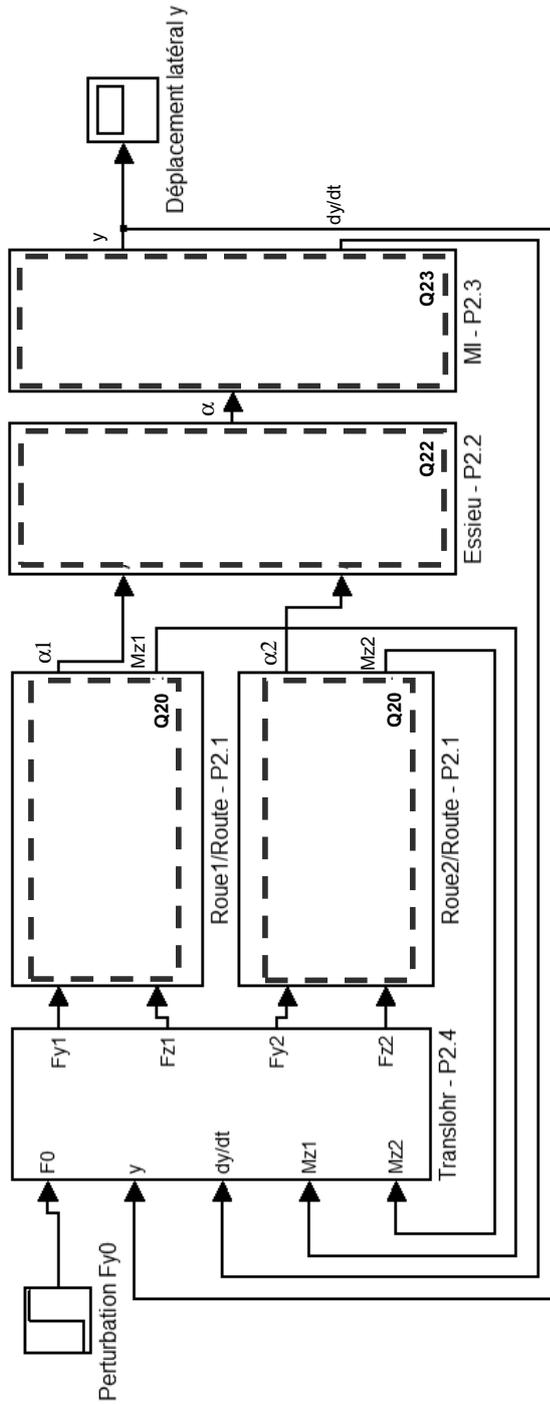
NOM : _____
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)
Prénoms : _____

N° du candidat _____

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GMM 2

DR1 : MODELE GLOBAL DU TRANSLOHR



Da

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

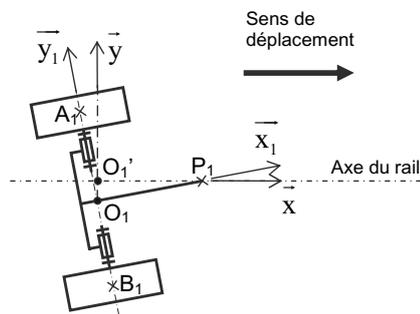
NOM : _____

Prénoms : _____ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GMM 2

DR2 : COMPORTEMENT CINEMATIQUE DU MI



× I1/0 : CIR MI/Route

(Db)

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

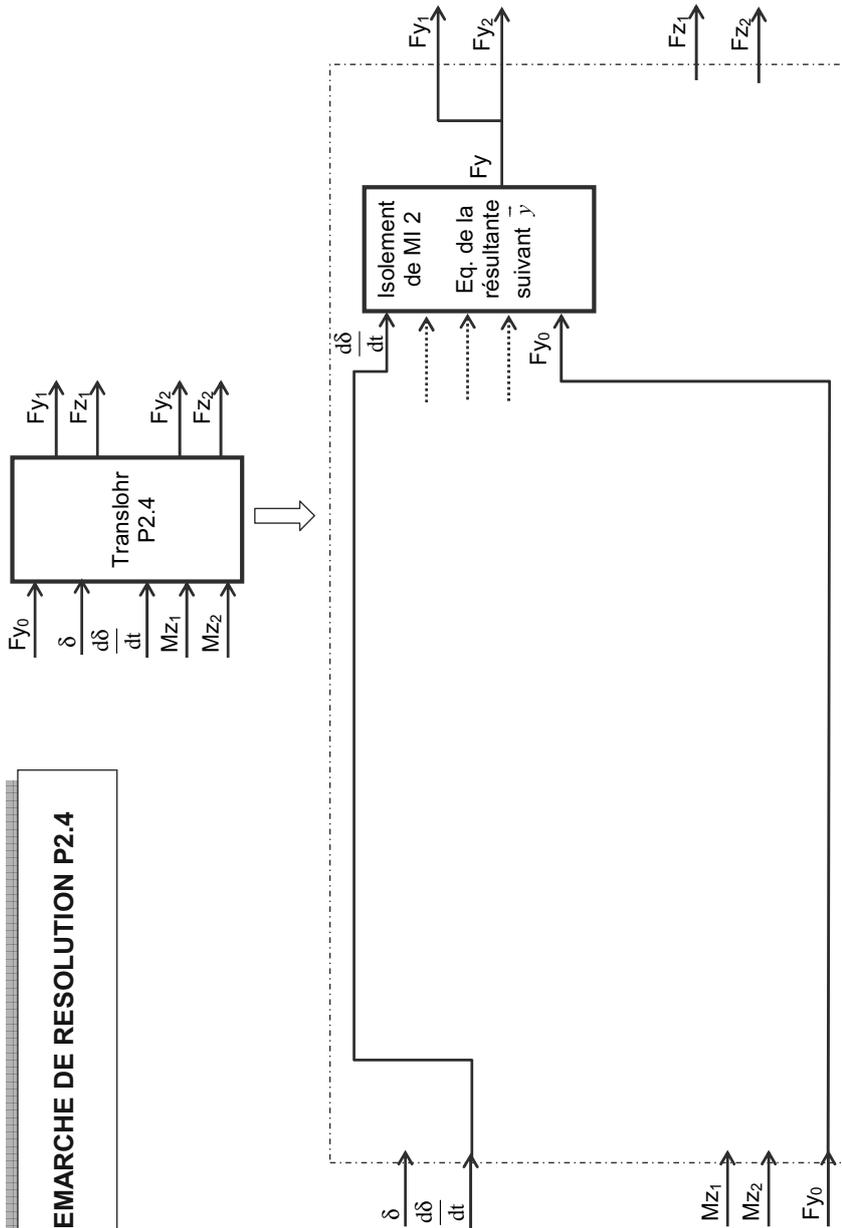
Intitulé de l'épreuve : _____

NOM : _____

Prénoms : _____ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GMM 2



DR3 : DEMARCHE DE RESOLUTION P2.4

Dc

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : _____ Session : _____

Concours : _____

Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____

Intitulé de l'épreuve : _____

NOM : _____

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : _____ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GMM 2

DR4 : CRITERES DE CHOIX DE MATERIAUX

Propriétés Générales

Masse Volumique Minimum Maximum kg/m³

Prix Minimum Maximum EUR/kg

Propriétés Mécaniques

Module de Young Minimum Maximum GPa

Module de cisaillement Minimum Maximum GPa

Coefficient de Poisson Minimum Maximum

Mesure de dureté Vickers Minimum Maximum HV

Limite élastique Minimum Maximum MPa

Résistance en traction Minimum Maximum MPa

Résistance à la compression Minimum Maximum MPa

Allongement Minimum Maximum %

Limite de fatigue Minimum Maximum MPa

Ténacité Minimum Maximum MPa.m^{1/2}

Coefficient d'amortissement Minimum Maximum

Propriétés Thermiques

Conductivité thermique Minimum Maximum W/m.K

Coefficient de dilatation Minimum Maximum µstrain/°C

Chaleur spécifique Minimum Maximum J/kg.K

Température de fusion Minimum Maximum °C

Température de transition vitreuse Minimum Maximum °C

Température maximale d'utilisation Minimum Maximum °C

Température minimale d'utilisation Minimum Maximum °C

Propriétés Electriques

Résistivité électrique Minimum Maximum µhm.cm

Constante diélectrique Minimum Maximum

Facteur de puissance Minimum Maximum

Tension de claquage Minimum Maximum 1000000*V/m

Propriétés Optiques

Indice de réfraction Minimum Maximum

Propriétés Environnementales

Energie nécessaire à la production Minimum Maximum MJ/kg

Dioxyde de carbone Minimum Maximum kg/kg

Recyclable

Réutilisable

Biodegradable

Incinerabilité

Entreposable dans une déchèterie

Une ressource renouvelable ?

Possibilités de traitement (échelle de 1 = impraticable à 5 = excellent)

Aptitude à être moulé Minimum Maximum

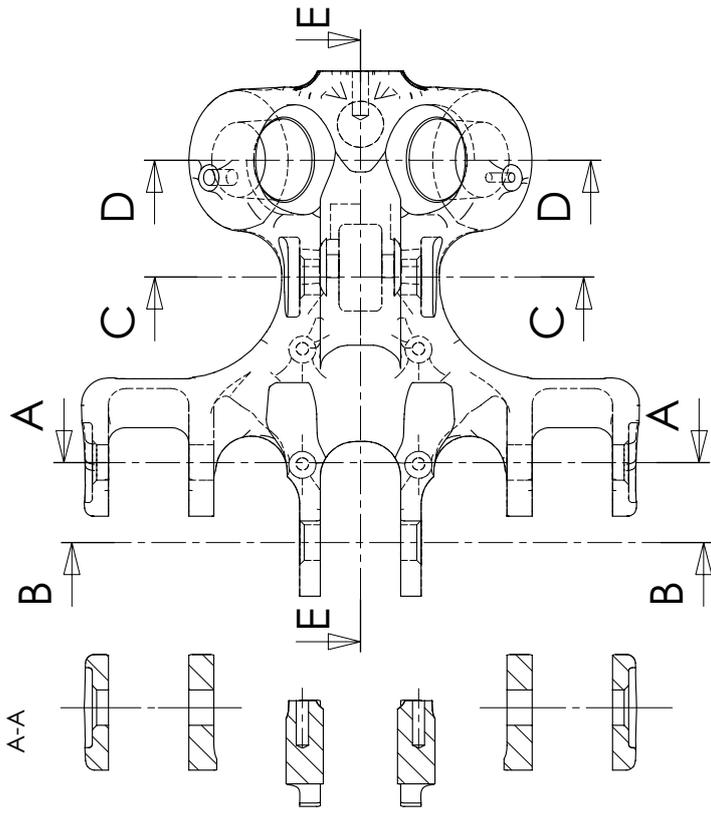
Formabilité Minimum Maximum

Usinabilité Minimum Maximum

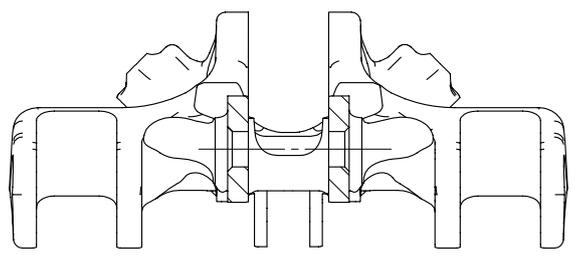
Soudabilité Minimum Maximum

Aptitude au soudage/brasage Minimum Maximum

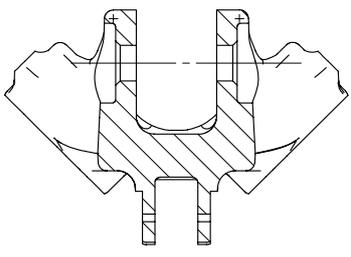
Durabilité



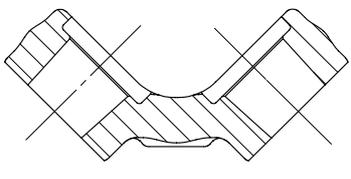
B-B



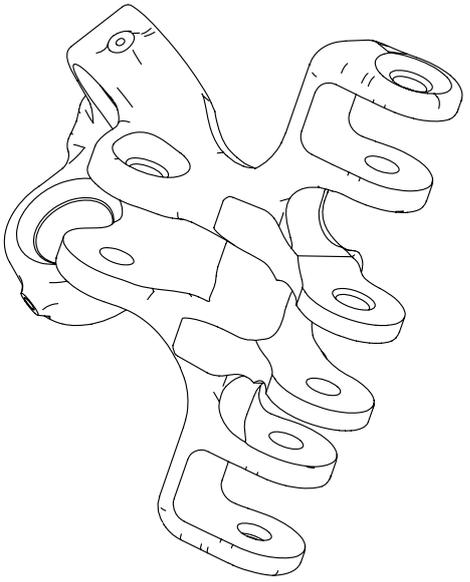
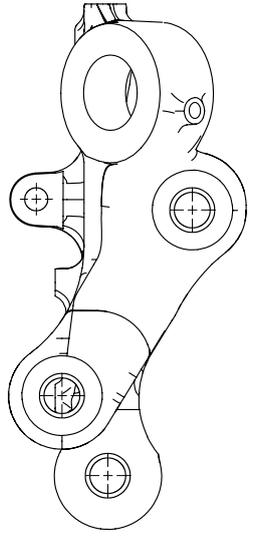
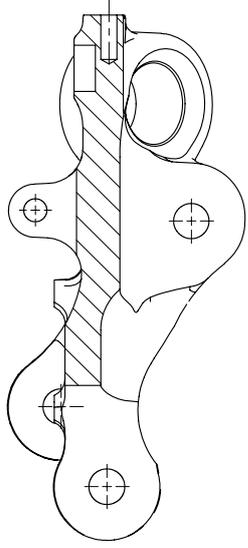
C-C



D-D



E-E



REVISIONI 0

(De)

Document DR5

Porte Galets
A3
Echelle : 1:3

A3