Concours d'admission de l'École polytechnique et des ENS (X-ENS), France

Session 2016, filière PSI

Sciences de l'ingénieur

Durée : 5 heures

Ce que traite le sujet

- Présentation de la suspension et du système ECS
- Partie 1 : gestion du niveau
- Partie 2 : gestion de la répartition de charge
- Partie 3 : analyse de la gestion des différents modes
- Partie 4 : évaluation des performances en roulis

Copie non officielle du sujet, à partir de la page suivante.

Copie officielle sans les documents réponses DR1 à DR3 ; l'énoncé et les annexes sont complets.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années :
prepahelp.com/annales/x-ens/psi/2016/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

CX6614

Banque commune École Polytechnique – InterENS

PSI

Session 2016

Épreuve de Sciences Industrielles

Durée: 5 heures

Aucun document n'est autorisé. L'usage de la calculatrice est interdit.
Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Suspension pneumatique de véhicule de transport routier



Le sujet est composé :

- de ce livret décrivant le système étudié ainsi que le travail demandé (page 1 à page 23). En fin de livret des annexes (numérotées 1 à 4) précisent notamment le paramétrage utilisé ;
- de documents réponse à joindre obligatoirement à la copie (documents DR1, DR2 et DR3).

Il est recommandé au candidat :

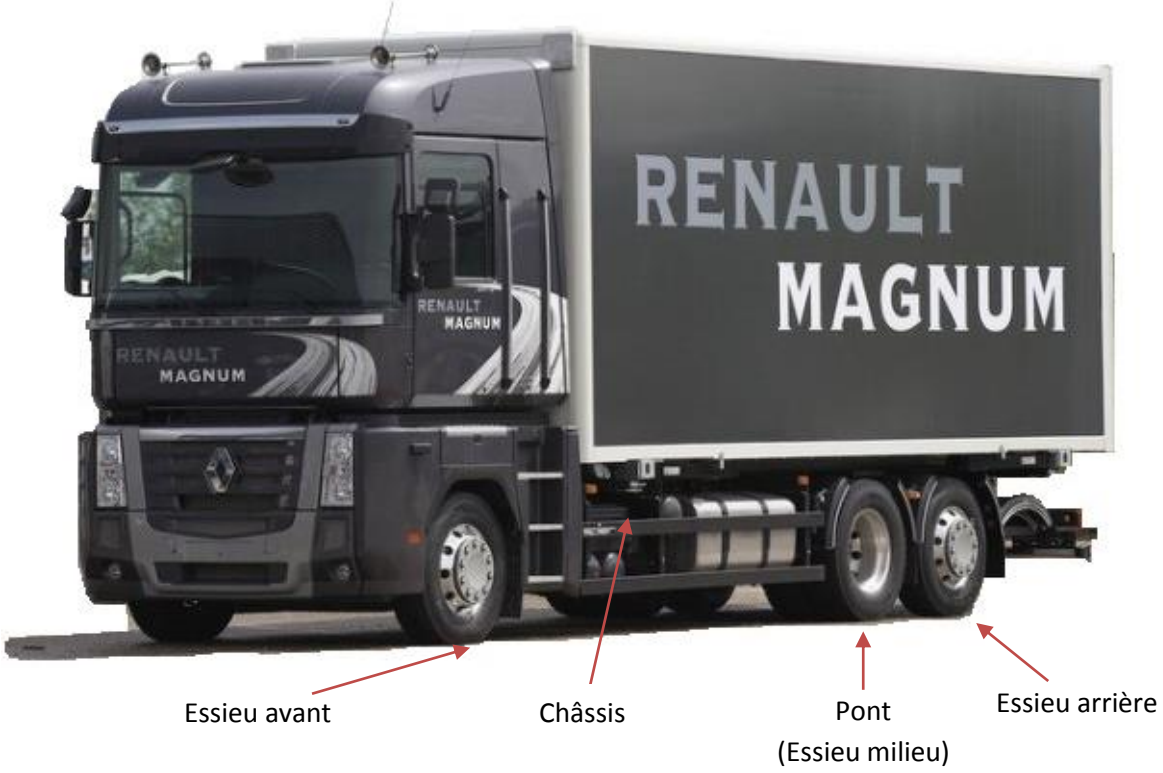
- de lire l'intégralité du sujet avant de commencer à composer ;
- de rappeler, sur sa copie, le numéro de la question avant d'en développer la réponse ;
- de respecter l'ensemble des notations alphabétiques et numériques du sujet ;
- de préciser ses propres notations lorsque cela s'avère nécessaire ;
- de justifier ses hypothèses et de rédiger clairement ses réponses ;
- de numéroter soigneusement les pages de sa copie.

Les différentes parties de ce sujet sont relativement indépendantes. Néanmoins, il est recommandé de les traiter dans l'ordre proposé afin de tenir compte des différentes remarques et des notations.

Le transport par la route reste aujourd'hui un moyen de transport rapide et très flexible. Les enjeux économiques sont importants.

Aussi bien dans la phase de vie de **chargement** que dans la phase de vie de **roulage**, la suspension des camions a un rôle important et son action doit répondre à un certain nombre d'exigences.

Le sujet permet d'évaluer les atouts d'une suspension pneumatique pilotée tout en cherchant les capacités maximales qu'il ne faut pas dépasser.



La suspension ECS (Electronically Controlled Suspension) étudiée est celle d'un camion porteur 6x2 Renault Truck. Le PTAC (Poids Total Autorisé en Charge) de ce véhicule est de 26 tonnes.

La masse des parties non suspendues, principalement les essieux et les roues, est négligée devant la masse du châssis et de son chargement.

Sur ce type de véhicule :

- l'essieu avant est **directeur** : son orientation permet de modifier la trajectoire du véhicule ;
- l'essieu milieu, appelé pont, est **moteur** c'est-à-dire qu'il transmet le couple moteur ;
- l'essieu arrière est simplement porteur.

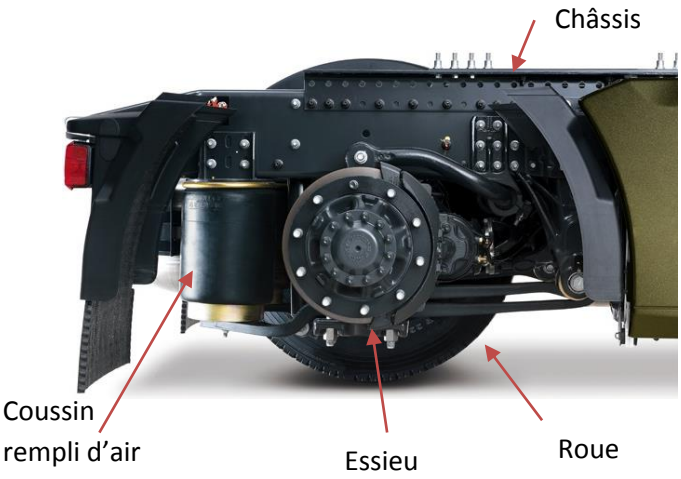
Un **essieu** est constitué de 2 roues (ou 4 roues jumelées deux à deux) disposées symétriquement sur un même axe transversal du véhicule.

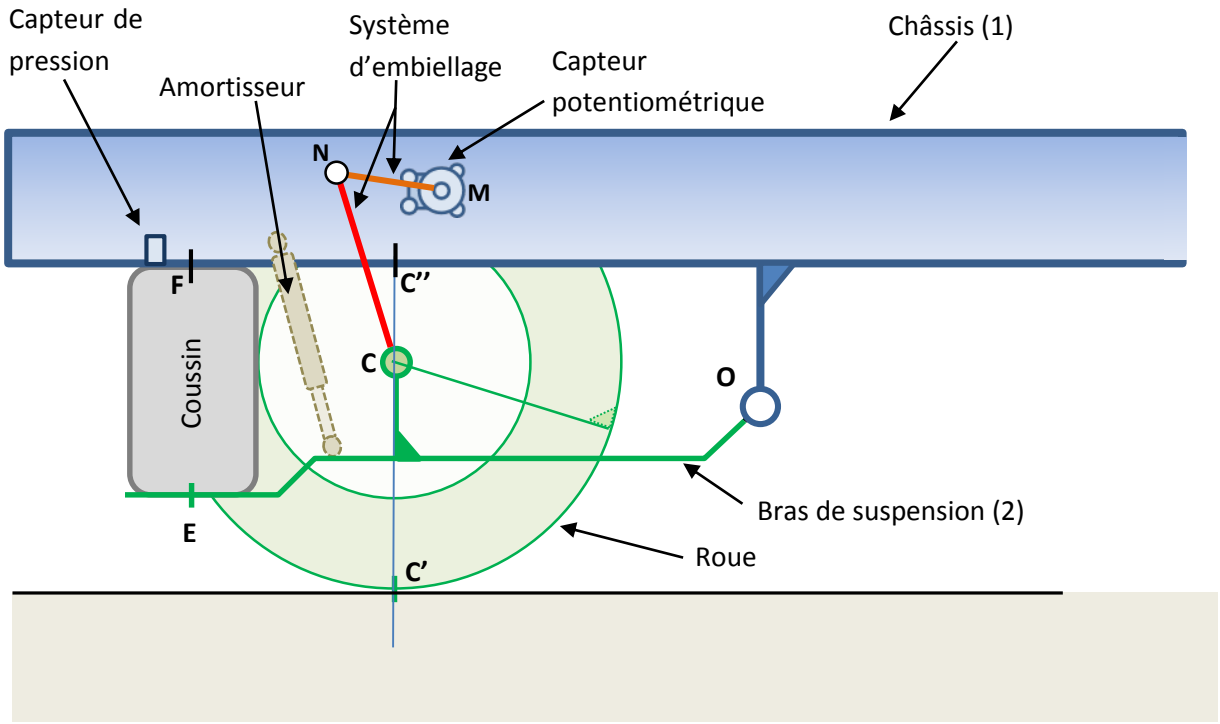
Le sujet est composé de 4 parties qui cherchent chacune à évaluer différentes performances du système ECS. La première partie évalue les performances du système à réguler la hauteur du châssis lors d'un chargement à quai. La deuxième partie évalue les capacités du système ECS à répartir la charge sur les essieux du camion. La troisième partie étudie la gestion des différents comportements du système selon la phase de vie. La quatrième partie évalue les performances du système à répartir latéralement la charge en ligne droite et en virage.

Fonction principale de la suspension

La suspension assure la liaison élastique entre le châssis et les essieux. Elle permet principalement d'atténuer les accélérations verticales dues aux variations de profil de la chaussée, contribuant ainsi à l'amélioration du confort et à une meilleure tenue de route.

La suspension étudiée ici est une suspension pneumatique : cette fonction est assurée par des coussins d'air associés à des amortisseurs montés sur chaque roue.





Vue schématique d'un essieu équipé d'une suspension pneumatique ECS

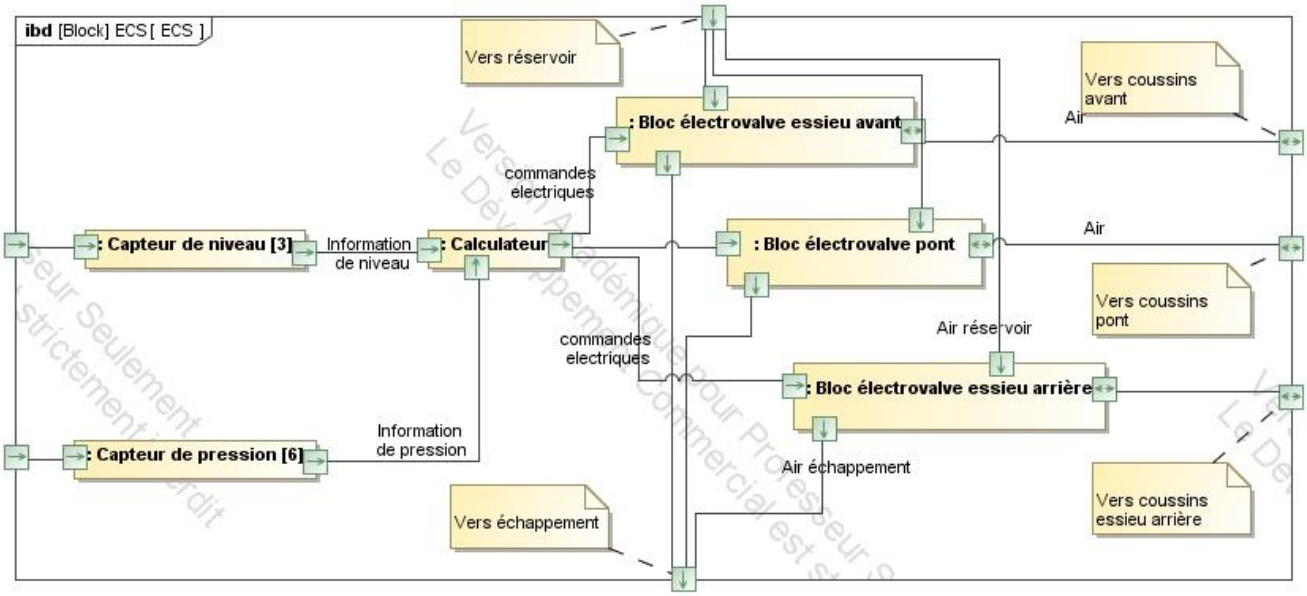
Sur le véhicule étudié, la suspension est équipée du système de pilotage ECS.

Fonctions du système ECS

Les fonctions principales du système ECS sont :

- permettre de régler et de réguler la hauteur entre le châssis et le sol ;
- permettre de régler et de réguler la répartition de charge entre les différents essieux ;
- permettre à l'utilisateur de relever ou descendre l'essieu arrière.

La structure du système est définie par le diagramme interne de bloc (IBD) ci-dessous :



Chaque roue possède une suspension pneumatique sur coussin pilotée par des électrovannes, en fonction de données mesurées par des capteurs de pression et des capteurs de position. Un calculateur envoie des commandes électriques aux électrovannes en fonction des besoins.

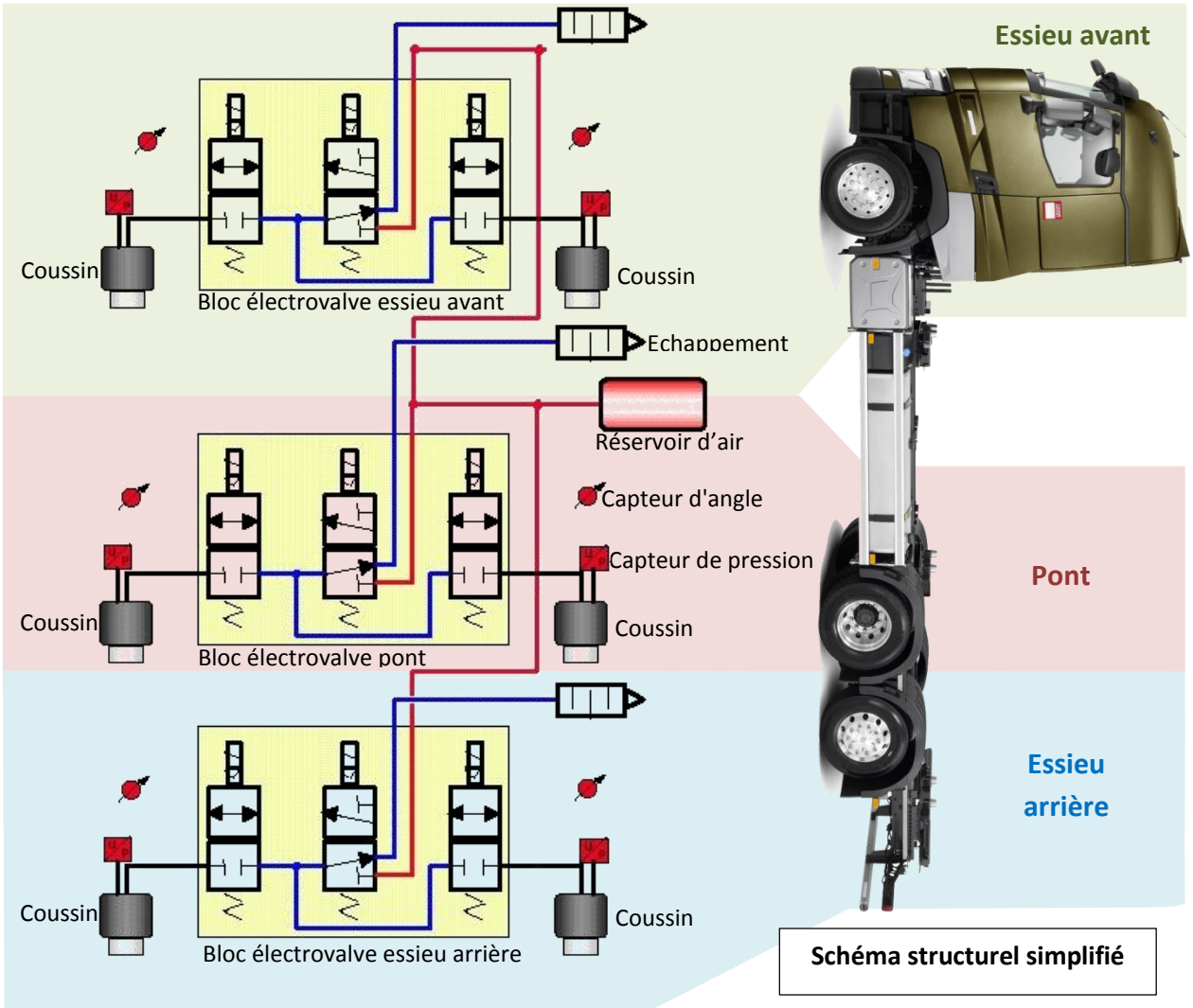


Schéma structurel simplifié

PARTIE 1 : GESTION DU NIVEAU

L'objectif de cette partie est d'évaluer la capacité du système à régler et réguler la distance châssis-sol (hauteur du châssis).



Lors du chargement du camion à quai, il est souvent nécessaire d'ajuster la hauteur du châssis de manière à pouvoir charger rapidement les marchandises avec un transpalette. Les temps de chargement et déchargement étant des périodes qui coûtent cher aux entreprises de transport, un système de régulation de la hauteur du châssis est installé sur la suspension du véhicule.

1° Etude de la phase de mise à niveau

Cette partie s'attache à modéliser les composants du système de suspension pneumatique afin de mettre en place une simulation du comportement global du système dans différentes phases de vie.

Modélisation du comportement de gonflage des coussins

Hypothèses :

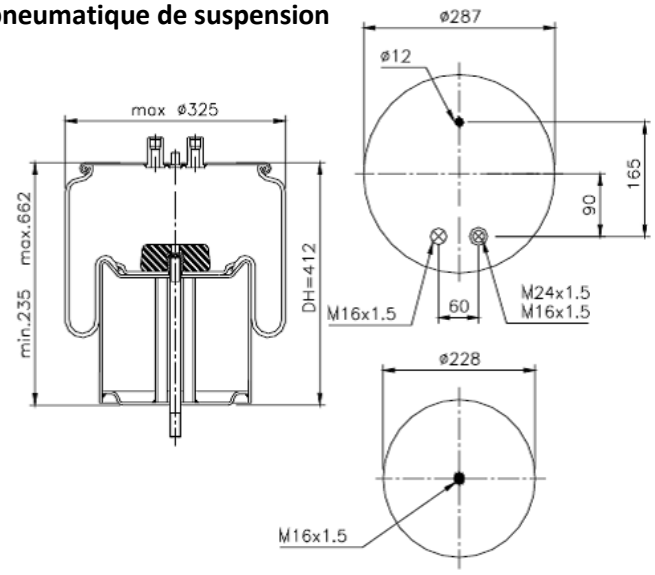
- Le fluide est supposé incompressible ;
- Les 6 coussins sont gonflés (ou dégonflés) en même temps

On note :

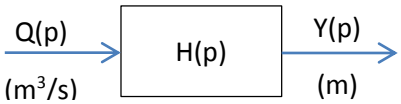
- S : la section constante d'un coussin
- V : le volume d'un coussin



Donnée constructeur d'un coussin pneumatique de suspension



La fonction transfert recherchée est H(p) telle que :



Q(p) : débit total délivré par l'électrovalve aux 6 coussins
Y(p) : position du châssis par rapport au sol

Question 1. Déterminer de manière littérale puis numérique la fonction de transfert H(p) modélisant le comportement de remplissage des coussins.

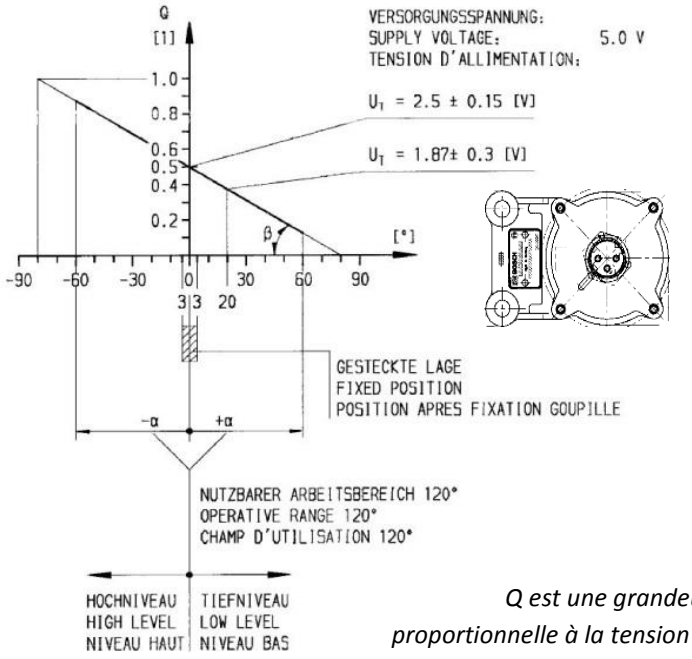
Modélisation de la chaine de mesure

Capteur potentiométrique

La mesure de la hauteur entre le châssis et l'essieu (ou le pont) est réalisée par un capteur potentiométrique rotatif, dont la documentation constructeur est donnée ci-contre.

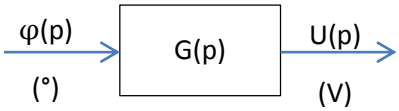


Donnée constructeur du capteur potentiométrique de la suspension



Q est une grandeur proportionnelle à la tension U

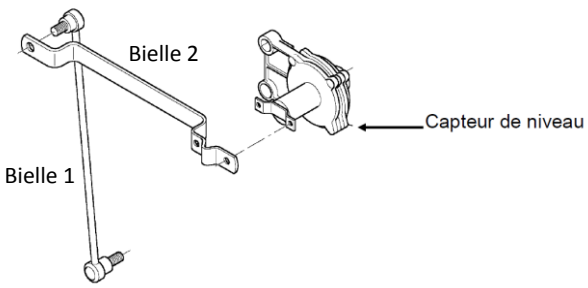
La fonction G(p) recherchée est telle que :

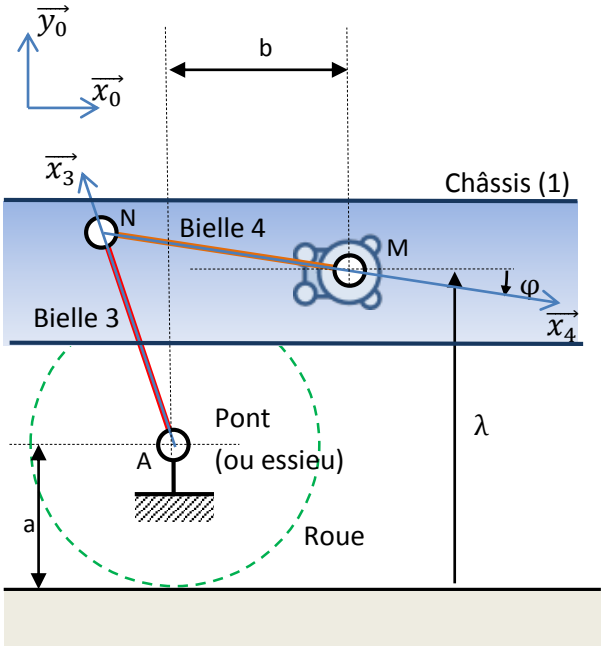


φ(p) : image de l'angle mesuré par le potentiomètre
U(p) : tension délivrée par le potentiomètre

Question 2. Déterminer de manière numérique la fonction de transfert G(p) du potentiomètre, en précisant les hypothèses formulées si nécessaire.

Système de transformation de mouvement par embiellage





Longueur de la bielle 3 : AN = l_1

Longueur de la bielle 4 : NM = l_2

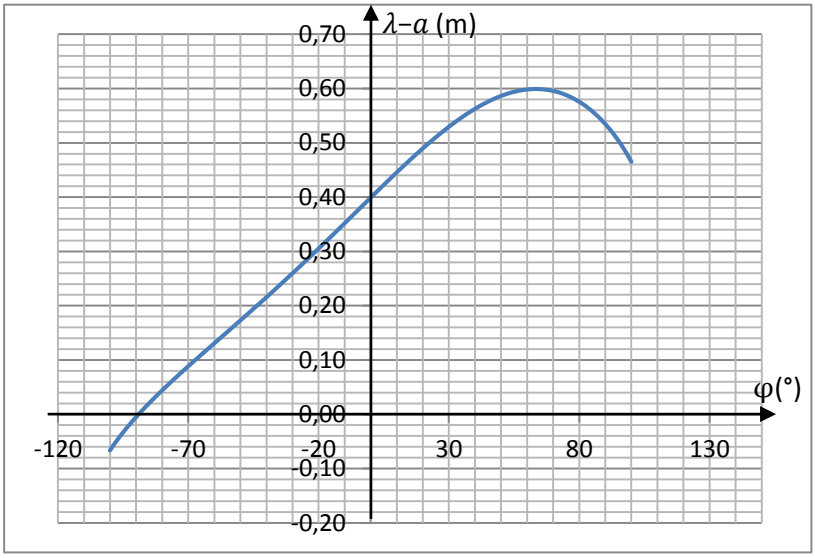
$\overrightarrow{AM} = b.\vec{x}_0 + (\lambda - a).\vec{y}_0$

$\varphi = (\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_4}) = (\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{y_4})$

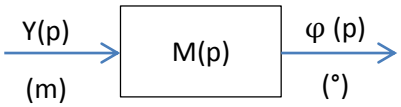
Les longueurs a et b sont supposées constantes.

Question 3. Donner la relation liant λ et φ. Conclure quant à la possibilité de déterminer la fonction de transfert entre λ et φ de ce système d'embiellage.

La courbe ci-dessous présente le tracé de $(\lambda - a)$ pour φ variant de -100° à +100.



La fonction M(p) recherchée est telle que :



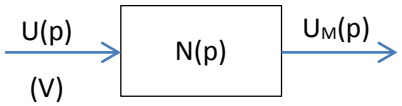
Y(p) est le déplacement du châssis avec Y=0 pour φ =0.

Question 4. En indiquant les hypothèses réalisées, proposer une fonction de transfert M(p) qui permette de modéliser cet embiellage.

Question 5. Proposer un positionnement du capteur permettant d'utiliser de manière optimale toute sa plage de mesure.

Modélisation du convertisseur numérique analogique (CNA)

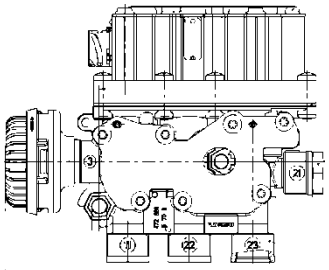
Le convertisseur délivre un mot de 10 bits.
La plage de fonctionnement de ce convertisseur est [0V, 5V].
La fonction N(p) recherchée est telle que :

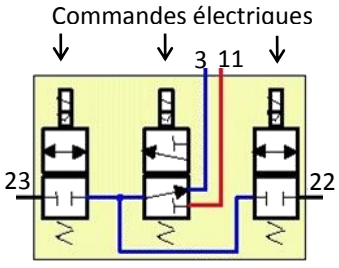


U(p) : tension à convertir
$U_M(p)$: entier, image de la tension convertie

Question 6. Déterminer la fonction de transfert N(p) du CNA.

Fonctionnement de l'électrovalve





Bloc électrovalve du pont

Orifices:
3 : Echappement
22: Coussin Pont Droit
23: Coussin Pont Gauche
11: Source d'air (en provenance du réservoir d'air) pour alimentation de puissance du bloc

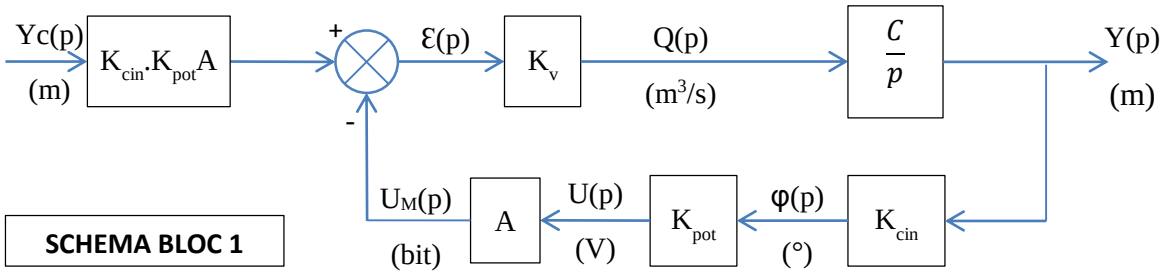
Lorsque le niveau mesuré est inférieur à la valeur de consigne, l'électrovalve est commandée de manière à provoquer le gonflage des coussins.
Lorsque le niveau a dépassé la consigne, on commande la vidange des coussins.

Question 7. Représenter les trois distributeurs dans la situation de gonflage, puis dans la situation de vidange des coussins.

Détermination du temps de réponse du système

Le comportement de l'électrovalve est modélisé par un gain pur K_v.

Il en découle la modélisation suivante :



SCHEMA BLOC 1

Question 8. Déterminer de manière littérale le temps de réponse à 5%, en réponse à une consigne de levage de type échelon de 300mm. Donner l'allure générale de la réponse y(t).

Valeurs numériques pour la question suivante :

$K_{cin}.K_{pot}A$ =1500 bit/m ; Kv = 0.001 m^3/s/bit ; C = 2 m^{-2} ; q_{max}= 0.02 m^3/s

Question 9. Technologiquement le débit de l'électrovanne q(t) ne peut dépasser q_{max}. Expliquer comment il serait possible de prendre en compte ce phénomène dans un modèle de simulation numérique. Proposer et tracer une nouvelle réponse y'(t) à un échelon de 300 mm. En déduire la valeur du temps de réponse à 5% dans ces conditions.

Etude de l'influence d'un chargement sur la position obtenue

L'objectif de cette partie est d'évaluer la capacité du système à corriger les variations de hauteur du châssis dues au chargement du véhicule.

Un chargement du véhicule pourrait modifier la position réglée par l'utilisateur.

On propose dans cette partie d'étudier l'influence de l'effort F_{ext} dû au chargement sur la précision.

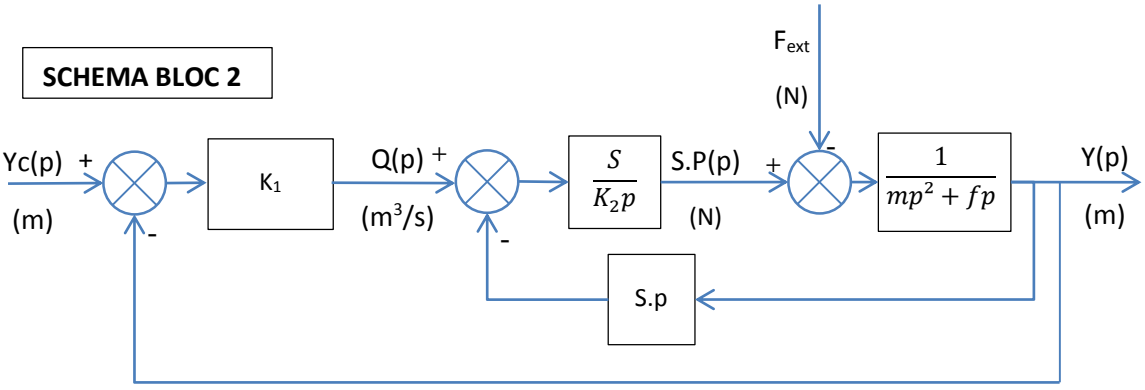
Modèle proposé

Dans cette partie, la compressibilité du fluide est prise en compte.

Le fluide est considéré comme un gaz parfait répondant à l'équation suivante :

$$q(t) = S\frac{dy(t)}{dt} + \frac{V_{coussin}}{P_{reserv}}\frac{dP(t)}{dt} = S\frac{dy(t)}{dt} + K_2\frac{dP(t)}{dt}$$

SCHEMA BLOC 2



Question 10. Expliquer comment est obtenue la fonction de transfert $\frac{1}{mp^2+fp}$. La grandeur m est une masse équivalente et f un coefficient de frottement équivalent.

Question 11. Déterminer les expressions des fonctions de transfert $H_1(p)$ et $H_2(p)$ telles que $\boldsymbol{Y(p) = H_1(p)Yc(p) + H_2(p)F_{ext}(p)}$.

Erreur en position

Question 12. Déterminer l'erreur statique de position (en mètres) en l'absence de perturbation puis la conséquence sur cette erreur suite à une surcharge P_0.

2° Etude de la phase de régulation de niveau lors du roulage

L'objectif de cette partie est d'évaluer la performance du système à réguler la hauteur du châssis en phase de roulage malgré les perturbations extérieures (irrégularité de la route, …).

Au-dessus d'un seuil de vitesse (10km/h), le logiciel est en mode Auto, il place la consigne de régulation à une valeur constante appelée niveau de roulage et ne prend plus en compte les commandes manuelles de niveaux faites par l'utilisateur via la télécommande ou le tableau de bord.

Dans cette partie la consigne en position est donc fixe, réglée à un niveau de roulage Yc=0.

Le signal issu de la mesure du niveau Y est traité par un filtre passe-bas de fonction de transfert F(p). Ce filtre a pour objectif de filtrer les hautes fréquences afin de ne pas prendre en compte les chocs provenant de la route ou des virages.

La fonction de transfert de ce filtre est de la forme suivante :

$$F(p) = \frac{1}{(1+Tp)^n}$$ où n, ordre du filtre, est un entier positif.

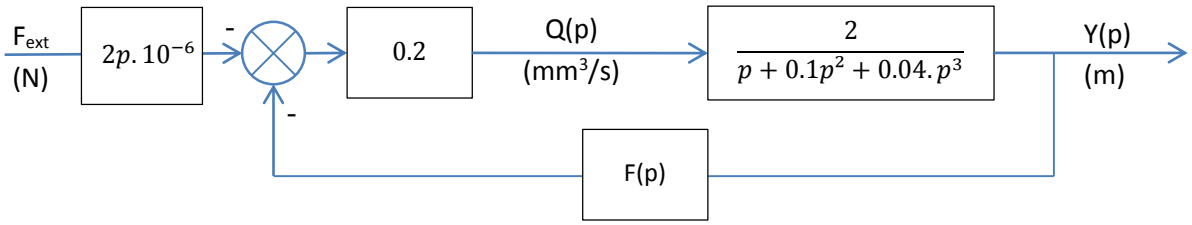
Ce filtre a plutôt un effet néfaste sur la stabilité du système.

L'objectif est de déterminer les valeurs de T et de n permettant d'obtenir un filtrage satisfaisant, tout en conservant une marge de phase adéquate.
Ces exigences sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Stabilité : « La stabilité du système doit être assurée »	Marge de phase > 70°
Filtrage : « Les fréquences au-delà de 1Hz doivent être atténuées »	- Atténuation inférieure à 3 dB pour des pulsations ω<0.5 rad/s - Atténuation supérieure à 20 dB pour des pulsations ω>10 rad/s

Modèle à une seule entrée

Question 13. Montrer que le schéma bloc de la partie précédente (SCHEMA BLOC 2) peut se mettre sous la forme ci-dessous, de manière à avoir comme seule entrée l'effort de chargement F_{ext}. Donner les expressions littérales de chacun des blocs.



On utilisera pour la suite de la partie le modèle ci-dessus.

Etude de l'effet du filtrage sur la stabilité

Question 14. Sur le document réponse DR1, tracer le diagramme de Bode asymptotique permettant d'étudier la stabilité du système sans le filtre. Donner l'allure du diagramme réel en indiquant les éléments nécessaires à sa construction.

*Pour la suite, le diagramme asymptotique **de gain** sera assimilé au diagramme de gain réel.*
L'annexe 4 pourra être utilisée pour les calculs.

Question 15. Calculer la marge de phase du système sans filtre (F(p)=1).

On choisit dans un premier temps un filtre du premier ordre (n=1), de constante de temps T=2 s.
Question 16. Sur le document réponse DR2, tracer le diagramme de Bode asymptotique du filtre seul. Conclure quant à la qualité du filtrage obtenu.

Question 17. Calculer la marge de phase du système avec filtre. Conclure quant à la stabilité.

Plus l'ordre du filtre est grand, plus le filtre sera compliqué à réaliser technologiquement et donc coûteux.
Question 18. Expliquer à l'aide d'un ou plusieurs schémas en quoi la modification des paramètres du filtre permet de répondre au cahier des charges. Ecrire les conditions sur n et T optimisant le comportement.

Question 19. Conclure sur les valeurs de n et T à choisir pour répondre aux exigences fixées.

PARTIE 2 : GESTION DE LA REPARTITION DE CHARGE

Une autre fonction de la suspension pneumatique ECS est de pouvoir régler et réguler la répartition de charge sur les essieux. Des capteurs de pression, installés sur chaque coussin, mesurent la pression de l'air contenu dans un coussin. Cette information est traitée par le calculateur, qui, en fonction d'une loi de consigne définie préalablement, pilote l'ouverture ou la fermeture de l'électrovalve, afin de gonfler ou vider les coussins.

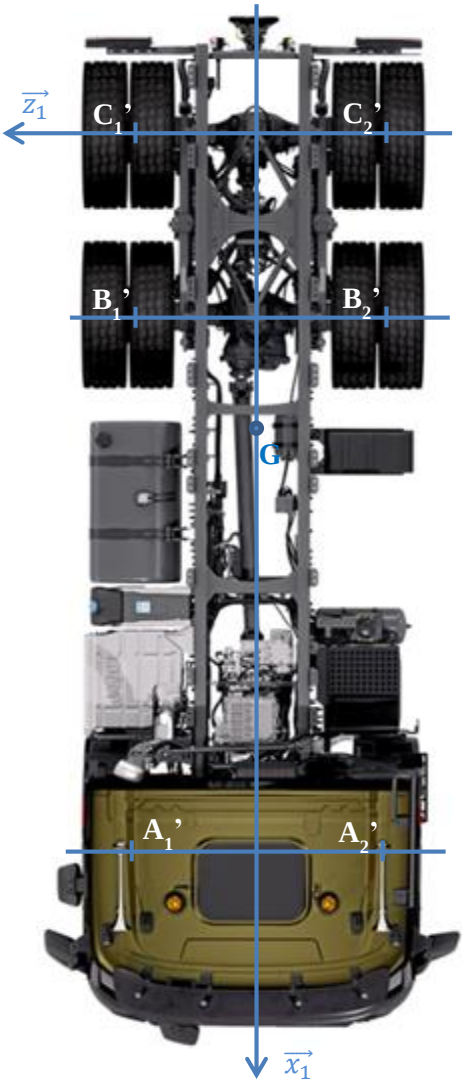
L'objectif de cette partie est :

- *d'évaluer la capacité du système à modifier les charges des essieux*
- *d'identifier les stratégies de répartition de la charge, autour des problématiques suivantes :*
  - *minimiser la consommation d'énergie*
  - *améliorer la motricité en côte*
  - *freiner de manière efficace*

Le modèle utilisé et les notations associées sont définis en annexes 1, 2 et 3.

1. Etude de la capacité de pilotage des charges des essieux

Les 6 coussins de suspension sont pilotables indépendamment, c'est-à-dire que la pression dans chaque coussin peut être modifiée de manière indépendante.



$\overrightarrow{F_{A1}}$, $\overrightarrow{F_{A2}}$, $\overrightarrow{F_{B1}}$, $\overrightarrow{F_{B2}}$, $\overrightarrow{F_{C1}}$, et $\overrightarrow{F_{C2}}$ sont les actions du sol sur les roues respectivement aux points A_1', A_2', B_1', B_2', C_1' et C_2'.

Question 20. En considérant le sous-système constitué d'une roue et son coussin seuls, établir la plage d'effort au contact roue/sol que le système est théoriquement capable de compenser (voir annexe 3).

Question 21. Par une analyse globale, déterminer le nombre de coussins (parmi les 6) que le constructeur peut choisir de piloter et le nombre de coussins dont la pression est imposée par les lois physiques. Justifier votre réponse.

2. Minimisation de la consommation d'énergie

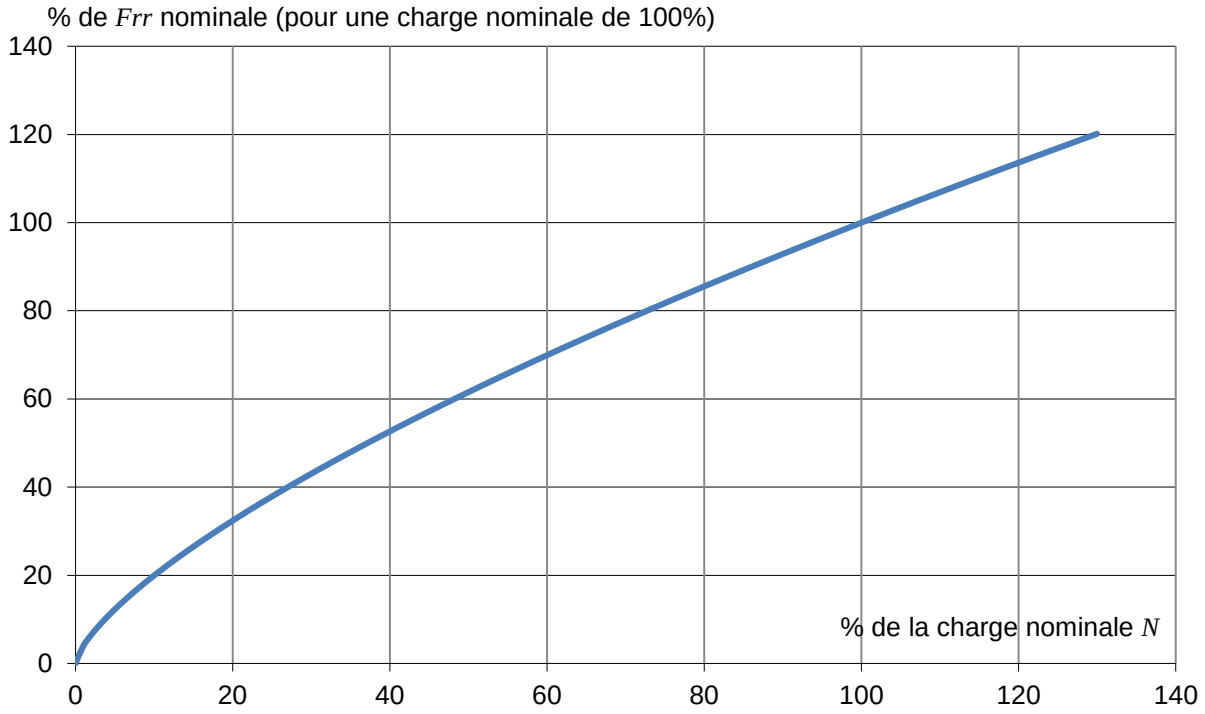
Les normes environnementales, et le coût du carburant pour les transporteurs, imposent des consommations toujours plus faibles pour les camions. Cette partie propose de déterminer la répartition d'effort qui minimise la consommation du véhicule.

La résistance au roulement des pneumatiques contribue en moyenne à plus d'un tiers de la consommation du véhicule. La résistance au roulement peut être modélisée par une action résistante Frr qui s'oppose à l'avancement du véhicule.

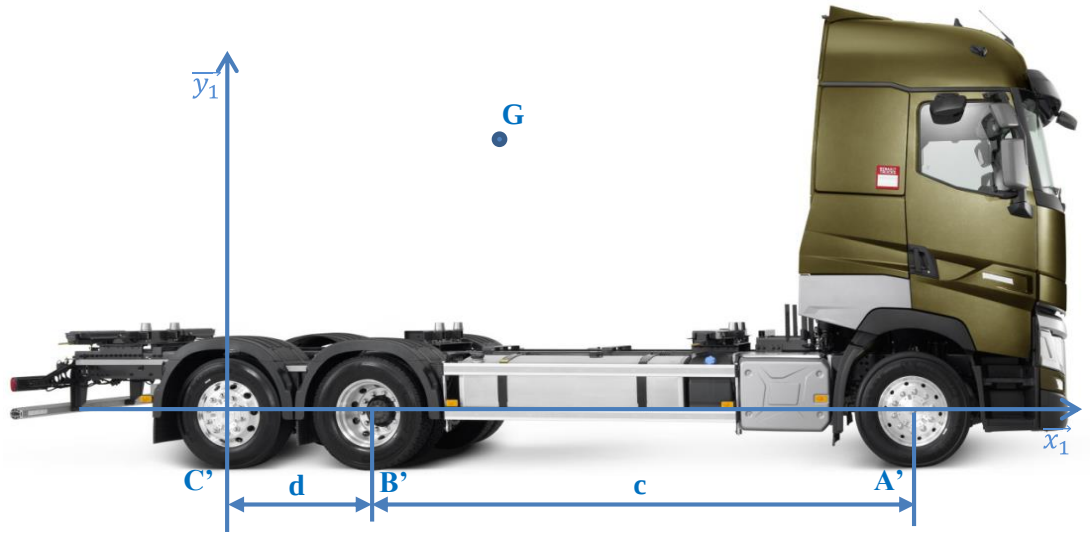
Cette action dépend de la charge N sur le pneu et de paramètres constants qui dépendent essentiellement du type de pneus et de la pression de gonflage.

Frr suit la loi suivante : $Frr = Frr_{ISO} \cdot \left(\frac{N}{N_{ISO}} \right)^{\beta}$ avec $\beta < 1$ représentée ci-dessous.

Frr_{ISO}, N_{ISO} et β sont des constantes qui dépendent du type de pneus.



Le véhicule roule à vitesse constante sur route horizontale avec un poids total en charge de 13 tonnes (masse du châssis et de sa charge).



Afin de ne pas dégrader les infrastructures routières, la réglementation impose de ne pas dépasser, de manière continue, la valeur de 10 tonnes par essieu.

Question 22. Proposer des valeurs d'effort par essieu Y_A , Y_B et Y_C permettant de minimiser la consommation de carburant.

En pratique, même si le véhicule est peu chargé, le constructeur choisit tout de même de laisser une charge minimale d'environ 1,6 tonne sur l'essieu arrière.

Question 23. Proposer deux explications pouvant justifier ce choix de répartition du constructeur.

Problématique du camion-citerne

Lors du transport de liquide (camion-citerne), le constructeur choisit, dans la mesure du possible, d'égaliser les actions sur le sol. Tout système de compensation de charge, de relevage d'essieu ou autre dispositif asservi est désactivé dans toutes les directions.



Question 24. Proposer des raisons pouvant expliquer ce choix de répartition et ce choix de ne pas asservir la suspension.

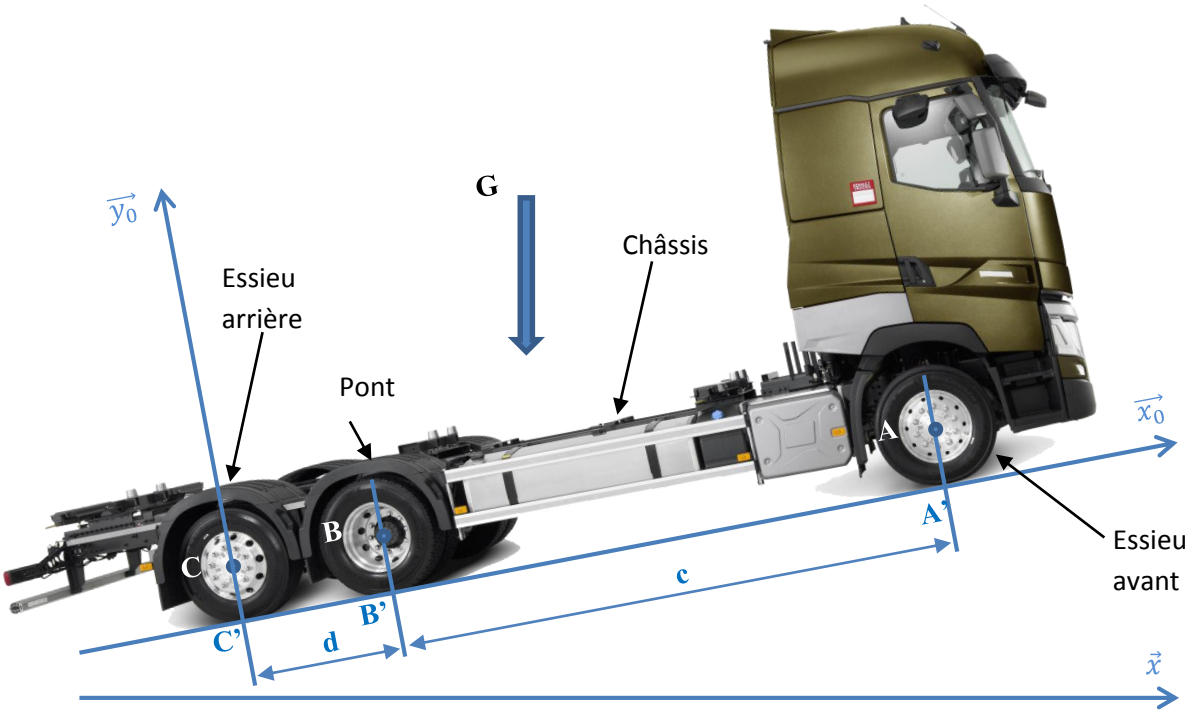
Question 25. Proposer un moyen technique d'égaliser les actions entre deux roues d'un même essieu, voire d'égaliser les actions entre toutes les roues de 2 essieux.

3. Amélioration de la motricité en côte

L'objectif de cette partie est d'évaluer l'apport du délestage de l'essieu arrière sur la motricité du véhicule. Dans cette phase de vie, aucune limite de chargement par essieu n'est prise en compte.

Le véhicule est en côte et en ligne droite. L'étude propose de comparer les 2 cas limites :

- Essieu arrière relevé : dans ce cas l'effort Y_C est nul
- Essieu arrière posé au sol : dans ce cas, les efforts normaux du pont et de l'essieu arrière sont considérés égaux $Y_B = Y_C$



On note :

- $\gamma = (\vec{x}, \vec{x}_0) = (\vec{y}, \vec{y}_0)$, l'angle d'inclinaison du sol ;
- X_B la composante tangentielle en B' de l'essieu moteur (pont).

Question 26. En expliquant les hypothèses réalisées, calculer de manière littérale les actions normales au sol Y_A , Y_B et Y_C appliquées sur chaque roue lorsque le camion a l'essieu arrière en contact avec le sol. Refaire ce calcul lorsque l'essieu est relevé.

Question 27. En expliquant les hypothèses réalisées, exprimer de manière littérale le pourcentage de motricité supplémentaire développée en relevant l'essieu arrière. Faire l'application numérique et expliquer la limite de ce modèle dans la réalité.

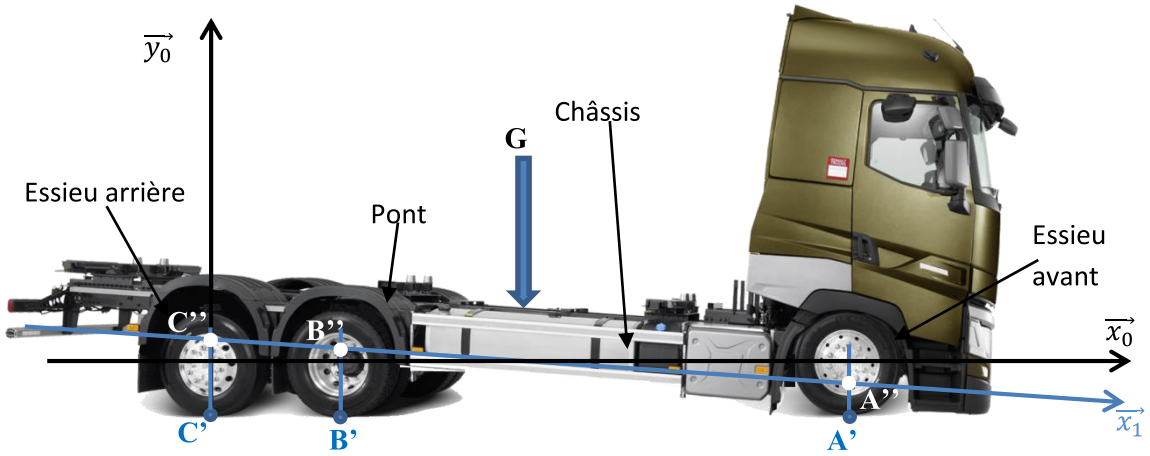
Afin d'éviter une usure inutile des trains de pneus de l'essieu arrière lorsque le camion n'est pas chargé, il est envisagé d'implanter ce système de relevage sur des camions 6x4, c'est-à-dire des camions dont le pont et l'essieu arrière sont tous deux moteurs.

Question 28. Démontrer l'intérêt ou non de la possibilité de relevage de l'essieu arrière sur la motricité d'un camion 6x4.

Question 29. De manière qualitative, discuter de l'intérêt du relevage de l'essieu arrière sur la motricité d'un camion 6x6.

4. Etude de la suspension au freinage

L'objectif de cette partie est de mettre en place une stratégie de pilotage des efforts au cours d'un freinage.



L'accélération du véhicule est notée $\overrightarrow{\Gamma(G,1/0)} = a_x.\overrightarrow{x_0} + a_y.\overrightarrow{y_0}$ $\quad (a_x < 0)$

Pour les calculs dynamiques, l'hypothèse que le terme $m.a_y$ est négligeable sera faite.

θ est l'angle de plongée : $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$

En statique, les distances sol/châssis sont notées : $A'A'' = \lambda_A^0$; $B'B'' = \lambda_B^0$; $C'C'' = \lambda_C^0$

Les efforts valent alors : $Y_A = Y_A^0$; $Y_B = Y_B^0$; $Y_C = Y_C^0$

Donc dans le cas général :

$$\lambda_A = \lambda_A^0 + \Delta\lambda_A \; ; \quad \lambda_B = \lambda_B^0 + \Delta\lambda_B \; ; \quad \lambda_C = \lambda_C^0 + \Delta\lambda_C \; ;$$
$$Y_A = Y_A^0 + \Delta Y_A \; ; \quad Y_B = Y_B^0 + \Delta Y_B \; ; \quad Y_C = Y_C^0 + \Delta Y_C \; .$$

A l'arrêt, le véhicule est horizontal : $\theta = 0$ et $\lambda_A^0 = \lambda_B^0 = \lambda_C^0$

L'objectif est de quantifier la variation d'effort ΔY_B sous une décélération du véhicule.

Modèle de la suspension

Le comportement des coussins d'un essieu est modélisé par un ressort de raideur k_R attaché aux points E et F dont la direction est supposée constamment verticale.

Sa loi de comportement est la suivante : $F_R - F_R^0 = k_R(L - L_0)$

avec :

$L = EF$; L_0 : distance EF en statique ;

F_R : effort exercé par le coussin ; F_R^0 : effort F_R en statique.

Hypothèses :

- L'angle α de la suspension (défini en annexe 3) est considéré comme très petit et on peut linéariser autour de la position $\alpha = 0$;
- Le ressort garde une direction verticale ;
- L'inertie de la roue et celle du bras de suspension sont négligées ;
- Le modèle est cinématiquement plan ;
- Les 6 roues du véhicule freinent.

Question 30. Démontrer, en déterminant K en fonction des grandeurs géométriques et caractéristiques des coussins, que $\Delta Y_A = K.\Delta\lambda_A$. La dimension $\overrightarrow{A'O}.\overrightarrow{y_2}$ sera négligée.

Soit : $\dot{\lambda}_A = \frac{d\lambda_A}{dt}$; $\dot{\lambda}_B = \frac{d\lambda_B}{dt}$; $\dot{\lambda}_c = \frac{d\lambda_C}{dt}$

Question 31. Exprimer $\dot{\lambda}_A$ et $\dot{\lambda}_c$ en fonction de $\dot{\lambda}_B$ et $\dot{\theta}$, puis $\lambda_A$et λ_C en fonction de λ_B et θ.

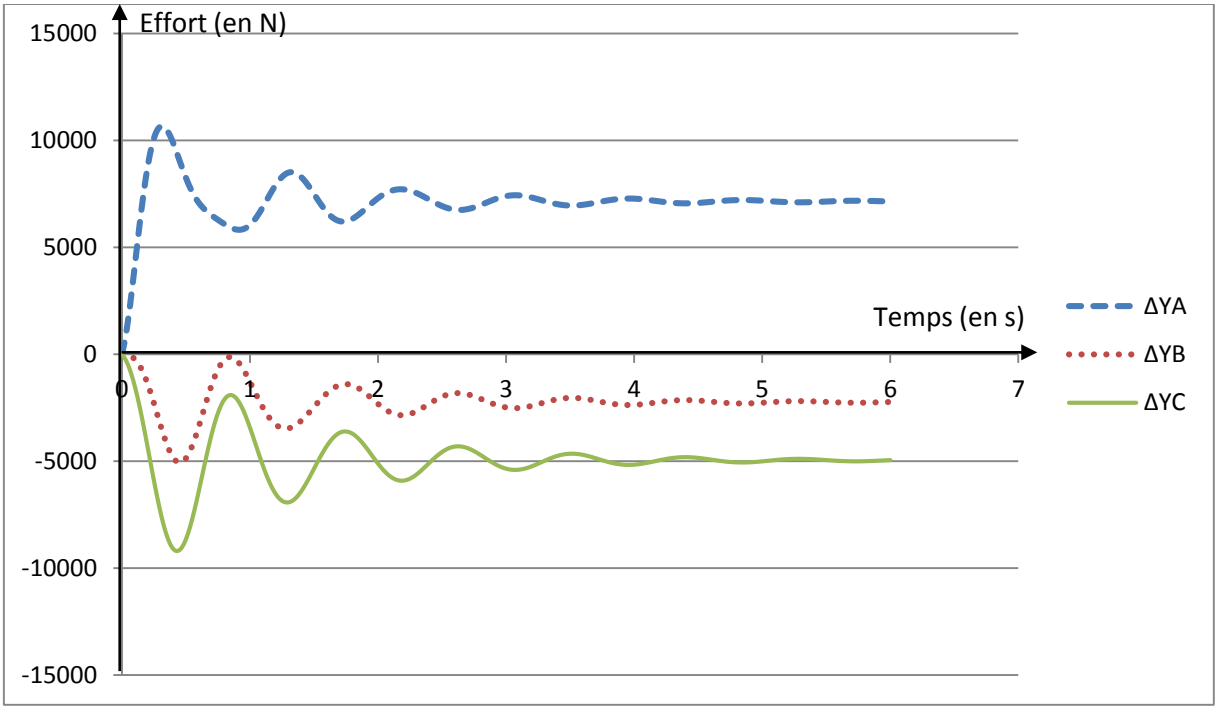
Question 32. En supposant l'angle θ petit, écrire les équations de résultante et moment dynamique en fonction de θ et ses dérivées, de la géométrie du châssis et des actions sur le véhicule.

Question 33. A partir de l'équation de résultante dynamique en projection sur $\vec{y}_0$, en déduire l'expression de l'effort ΔY_B en fonction de la raideur K, de l'angle de plongée θ du véhicule et de la géométrie du châssis.

Question 34. A partir de l'équation de moment dynamique et de l'équation de résultante dynamique en projection sur $\vec{x}_0$, écrire l'expression de l'effort ΔY_B en fonction de la raideur K, de l'accélération a_x, de la masse m du véhicule, de l'angle de plongée θ et ses dérivées, et de la géométrie du châssis.

Question 35. Donner la démarche qui permettrait de tracer rigoureusement l'effort ΔY_B en fonction du temps. Tracer l'allure de cette courbe.

A l'issue d'une simulation plus complète, pour $a_x = -2\ \mathrm{m/s^2}$, la courbe suivante est obtenue, en fonction du temps :



Question 36. Indiquer un élément, non présent dans le modèle utilisé pour l'étude précédente, qui semble avoir été pris en compte dans cette simulation.

Le constructeur choisit de ne pas chercher à compenser la modification de charge au cours du freinage.

Question 37. Donner deux raisons qui peuvent justifier ce choix.

PARTIE 3 : ANALYSE DE LA GESTION DES DIFFERENTS MODES

L'objectif est de cette partie est d'identifier les différents modes de gestion de la suspension.



L'essieu arrière est entièrement relevable et il est aussi possible de gérer sa contribution lorsqu'il est en contact avec le sol.

Le conducteur du camion peut piloter le système grâce à un interrupteur 3 positions :



la position haute (**Upper pos.**) – stable – permet le relevage complet de l'essieu arrière.
la position médiane (**Auto**) – stable – permet de gérer les différents modes de pilotage de l'essieu arrière au sol.
la position basse (**Lower pos.**) – impulsionnelle (monostable) – permet de changer de mode de pilotage de l'essieu arrière au sol.

Lorsque l'essieu arrière est posé sur le sol, 4 modes de pilotage existent :

- Le pilotage **« Normal »** qui équilibre à tout moment la charge sur le pont et l'essieu arrière ;
- Le mode **« Optimized »** qui gère le décentrage d'une charge, la consommation du camion, l'usure des pneumatiques, la capacité de freinage et la tenue de route ;
- Le mode **« Traction »** qui permet de charger le pont à la valeur limite (limit) de la charge admissible sur route (Drive load) afin d'améliorer la motricité du véhicule ;
- Le mode **« Traction + »** qui permet de surcharger le pont jusqu'à 130% de la valeur limite de la charge admissible sur route afin d'améliorer la motricité en cas d'adhérence limitée.

Lorsque l'essieu arrière est relevé, 2 modes de pilotage existent :

- Le mode **« Lift »** qui relève complètement l'essieu arrière tant que la charge sur le pont ne dépasse pas la valeur limite de la charge admissible sur route ;
- Le mode **« Lift + »** qui relève complètement l'essieu arrière tant que la charge sur le pont ne dépasse pas 130% de la valeur limite de la charge admissible sur route.

L'ensemble de cette gestion est modélisé par le diagramme d'état sur le Document réponse DR3.

Le point de départ des chronogrammes ($t=t_0$) correspond à la situation : véhicule arrêté sans chargement, et essieu arrière relevé. L'interrupteur est sur la position Upper pos.

L'instant t_1 correspond à une impulsion de l'interrupteur sur Lower pos. (en passant nécessairement par auto), l'instant t_2 à une impulsion sur Lower pos. et t_3 à un basculement vers la position Upper pos.

Question 38. Tracer les chronogrammes correspondant aux états « Normal », « Optimized », « Traction », « Traction + », « Lift » et « Lift + ».

PARTIE 4 : EVALUATION DES PERFORMANCES EN ROULIS DU SYSTEME

Le roulis est la rotation du camion autour de son axe longitudinal (axe $\overrightarrow{x_1}$).

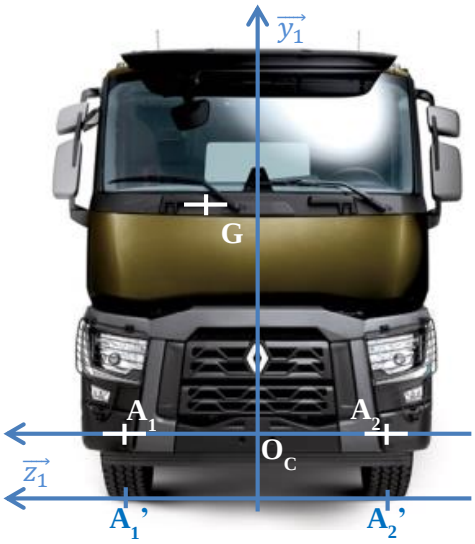
Le fait d'avoir des suspensions pneumatiques pilotables indépendamment en pression permet dans une certaine mesure de corriger le roulis, afin que le camion reste vertical.

Le modèle utilisé et les notations associées sont définis en annexes 1, 2 et 3.

1. Etude d'une charge décentrée

L'objectif de cette partie est d'identifier les capacités du système à corriger les effets d'un décentrage du chargement du camion à plat en ligne droite à vitesse constante.

Un défaut de centrage du chargement a lieu lorsque le centre de gravité de la charge n'est pas sur l'axe médian du camion. Cette compensation est limitée par une action $F_{1_{max}}$ due à une limite de 8 bars de la pression pilotable dans les coussins.
En cas de prise de roulis, la suspension et la barre antiroulis exercent un moment proportionnel à l'angle de roulis suivant l'axe $(O_C, \overrightarrow{x_0})$. Ce moment est nul lorsque le véhicule n'est pas incliné.
Un essieu possède deux coussins situés aux points A_1 et A_2.



Actions des cousins droits sur (1) : $\{A_1 \rightarrow 1\} = \begin{Bmatrix} F_1.\overrightarrow{y_1} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_{A_1}$

Actions des cousins gauches sur (1) : $\{A_2 \rightarrow 1\} = \begin{Bmatrix} F_2.\overrightarrow{y_1} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_{A_2}$

Action de la pesanteur sur (1) : $\{Pest \rightarrow 1\} = \begin{Bmatrix} -m.g.\overrightarrow{y_0} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_{G}$

$\overrightarrow{O_C G} = h'.\overrightarrow{y_1} + e_G.\overrightarrow{z_1}$

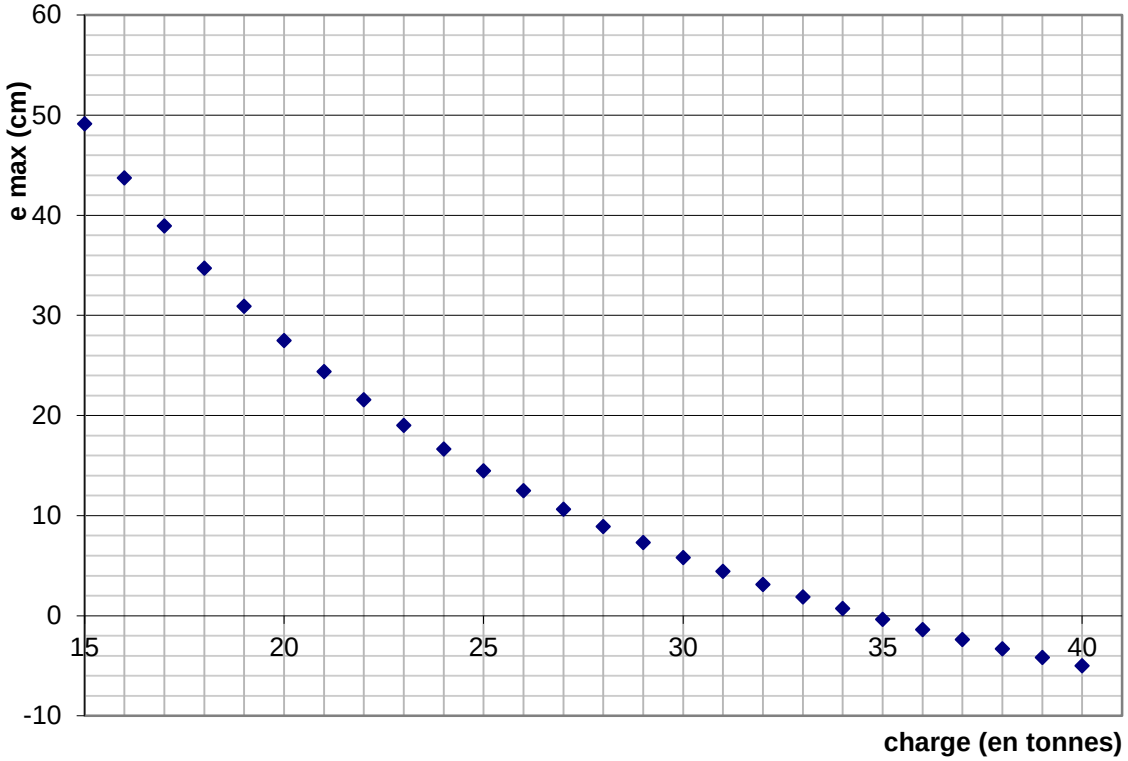
$\overrightarrow{O_C A_1} = -\overrightarrow{O_C A_2} = l.\overrightarrow{z_1}$ avec $l = 0.375\ m$ et h'=1 m

L'angle β est l'angle de roulis.

Hypothèse :
Le système parvient à compenser le défaut de chargement, c'est-à-dire $\beta = 0$.

Question 39. Déterminer de manière littérale le déport e_{Gmax} du centre de gravité en fonction de la masse m du camion pour ne pas dépasser 8 bars dans les coussins.

La courbe ci-dessous représente, en fonction de la masse d'une charge placée à h' = 1 m de hauteur, le décentrage e_{max} que le système pourrait théoriquement compenser sans dépasser la limite des 8 bars de pression pilotable dans les coussins.

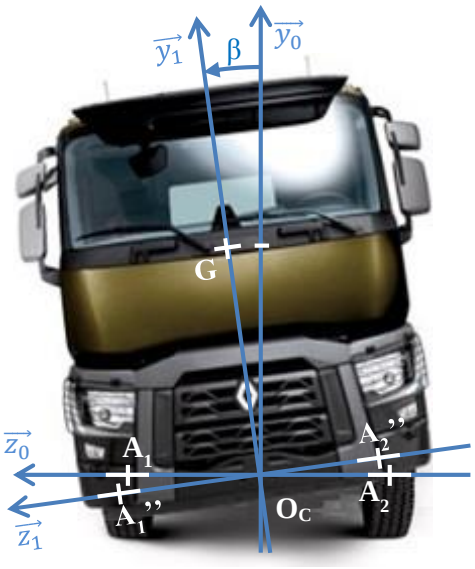


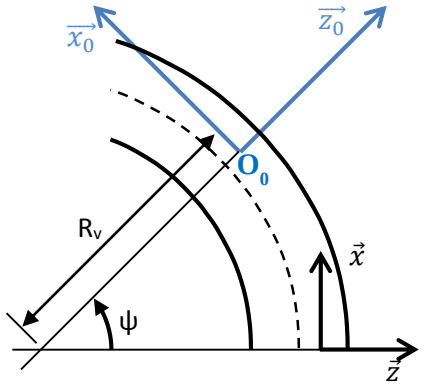
Question 40. Identifier et justifier le domaine de validité de cette courbe, c'est-à-dire pour quelles valeurs de la charge le modèle qui a permis d'obtenir cette courbe est valide. Expliquer la situation réelle du véhicule en dehors de ce domaine de validité. Identifier le décentrage que la suspension peut compenser si le camion est chargé à sa capacité maximale (26 tonnes).

2. Etude de la suspension en virage

L'objectif de cette partie est d'identifier les capacités antiroulis en virage du système de suspension.

Le camion roule à une vitesse constante V_0 de 90 km/h (25 m/s) dans un virage non relevé de rayon R_V. Le chargement est centré. La raideur des suspensions et de la barre antiroulis du véhicule engendre une rotation d'angle β du châssis chargé (1) autour de l'axe $(O_C, \overrightarrow{x_0})$ par rapport à l'ensemble (0) constitué des pièces non suspendues (les roues, les essieux, etc…). Cet angle est considéré constant tout le long du virage. Dans cette phase les actions de la suspension et de la barre antiroulis sont modélisées par une résultante et un moment proportionnel à l'angle de roulis β : $\{0 \to 1\} = \begin{Bmatrix} \overrightarrow{R(0 \to 1)} \\ -k_{roll}.\beta.\overrightarrow{x_0} \end{Bmatrix}_{O_c}$ avec k_{roll} = 1 000 000 N.m/rad.





$$\overrightarrow{O_0G} = h.\overrightarrow{y_1}$$
$$h' = 1\ m$$
$$R_v = 100\ m$$

Question 41. En prenant en compte la symétrie du camion par rapport au plan $(O_C, \overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1})$, écrire la forme de la matrice d'inertie du camion au point G.

Question 42. Ecrire l'équation permettant de déterminer l'angle β en fonction des paramètres géométriques et des propriétés de masse du châssis (1) chargé.

Hypothèses simplificatrices :

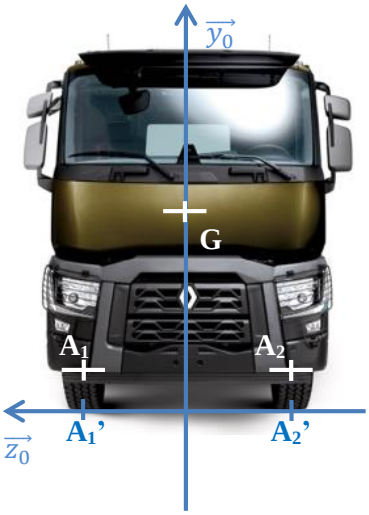
- Les moments B et C de la matrice d'inertie sont égaux ;
- L'angle β est négligeable.

Question 43. Calculer le décentrage équivalent $e_{éq}$ aux effets dynamiques en virage. Faire l'application numérique et conclure quant à la capacité de la suspension à compenser l'inclinaison du camion en virage.

Question 44. Proposer et justifier une autre technologie permettant de corriger dynamiquement le roulis du camion. Enoncer les avantages et inconvénients de cette technologie.

-Fin du sujet-

ANNEXE 1 : Paramétrage et caractéristiques du véhicule étudié

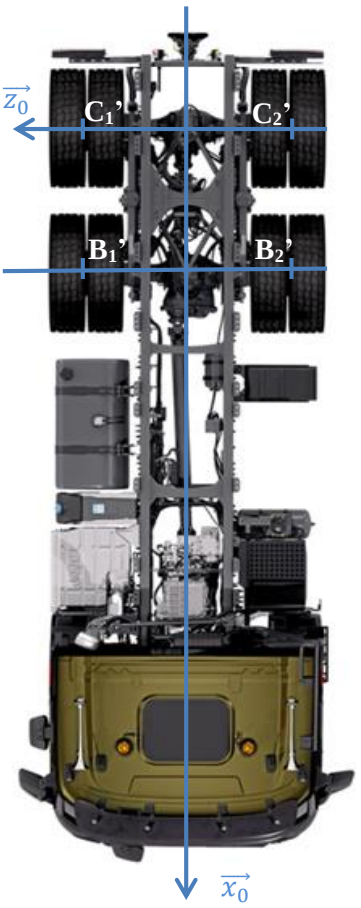


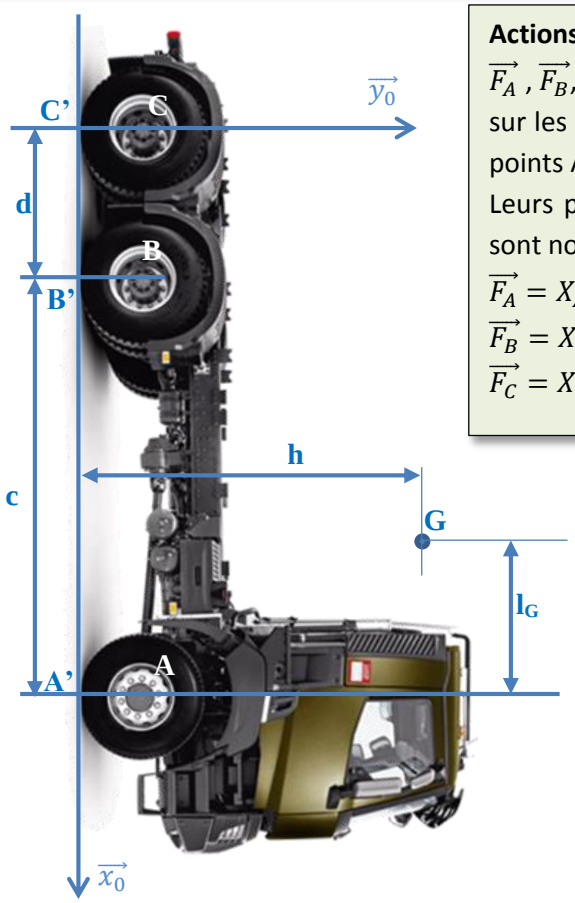
Base orthonormée associée aux éléments non suspendus (roues, essieux…) : $(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0})$
Base orthonormée associée au châssis 1 : $(\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_1})$

Points associés à l'essieu avant (respectivement pont et essieu arrière) :

- A (resp. : B, C) : centre de la roue
- A' (resp. : B', C') : point de contact sol /roue
- A'' (resp. : B'', C'') : point situé à la verticale du point A, sur la partie inférieure du châssis (voir annexe 2)

$\overrightarrow{C'B'} = d\overrightarrow{x_0}$; $\overrightarrow{B'A'} = c\overrightarrow{x_0}$ Avec : c = 4.8m ; d = 1.2m





Actions du sol sur le véhicule

$\overrightarrow{F_A}$, $\overrightarrow{F_B}$, $\overrightarrow{F_C}$ sont les actions du sol sur les roues respectivement aux points A', B', et C' .
Leurs projections dans la base 0 sont notées :

$\overrightarrow{F_A} = X_A.\overrightarrow{x_0} + Y_A.\vec{y}_0 + Z_A.\vec{z}_0$;
$\overrightarrow{F_B} = X_B.\overrightarrow{x_0} + Y_B.\overrightarrow{y_0} + Z_B.\vec{z}_0$;
$\overrightarrow{F_C} = X_C.\overrightarrow{x_0} + Y_C.\overrightarrow{y_0} + Z_C.\vec{z}_0$

Propriétés d'inertie :

Le centre de gravité du véhicule est noté G :
$\overrightarrow{GA'} = l_G\overrightarrow{x_1} - h\overrightarrow{y_1}$; h = 1.5 m ; l_G = 4 m

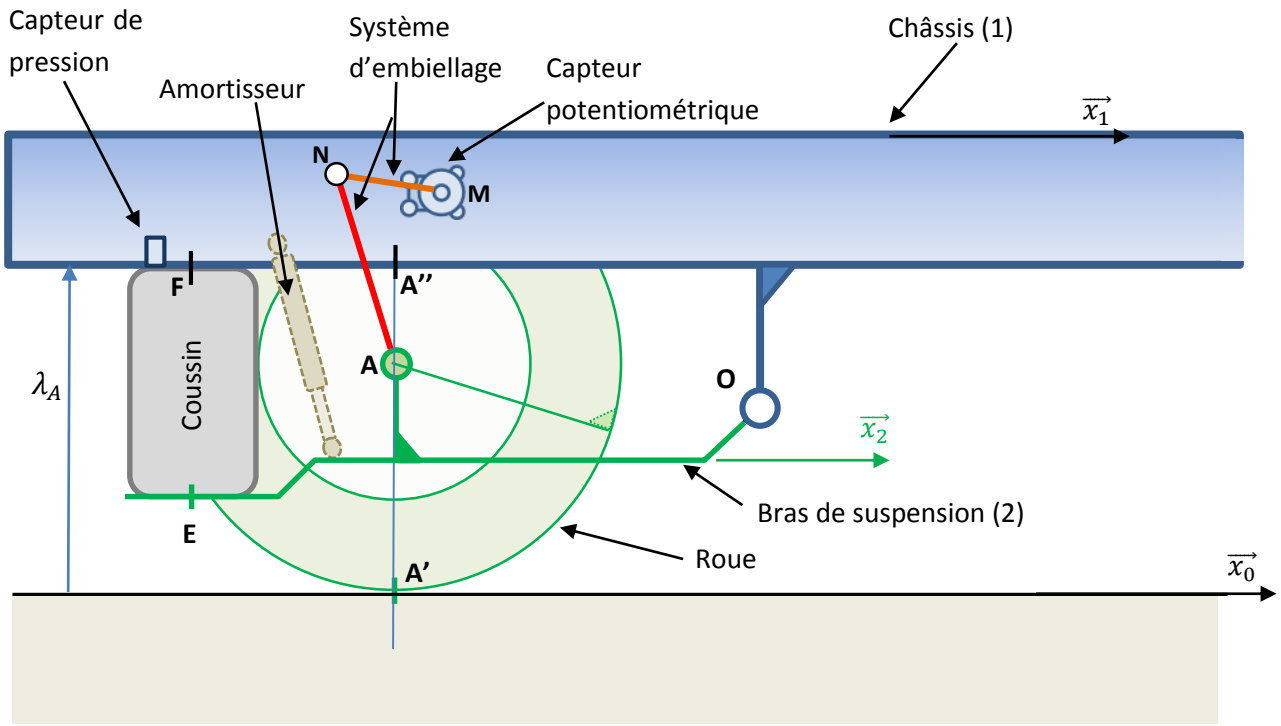
Masse maximale du véhicule : m = 26 000 kg
La masse du véhicule est assimilée à la masse des éléments suspendus (cabine, châssis, chargement…). Cela revient à négliger la masse des roues, essieux…

Matrice d'inertie du véhicule :

$$\bar{\bar{I}}(G,1) = \begin{matrix} \\ G \end{matrix} \begin{pmatrix} A & -F & -E \\ -F & B & -D \\ -E & -D & C \end{pmatrix}_{(\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z_1})}$$

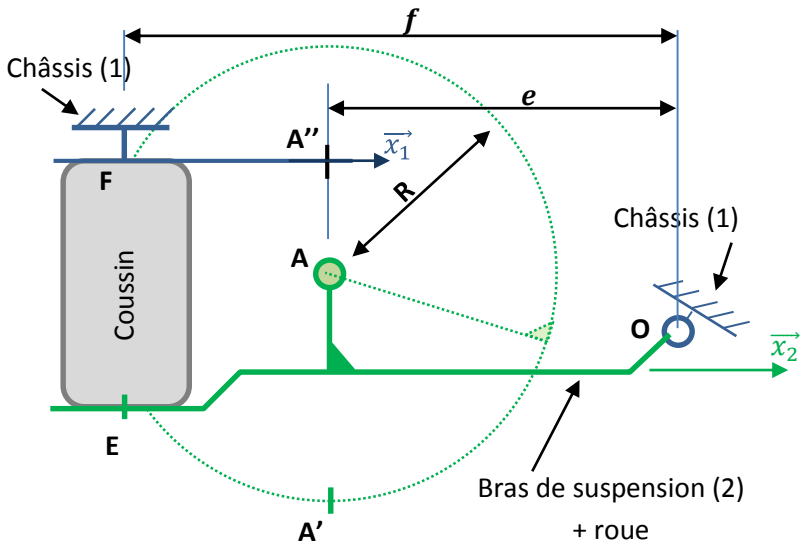
g (constante d'accélération de la pesanteur) est approximée par 10m/s².

ANNEXE 2 : Vue schématique d'une suspension équipée du système ECS



ANNEXE 3 : Modèle de suspension proposé

- Les 3 suspensions (essieu avant, pont, essieu arrière) sont identiques.
  Les points A, A', A'' du schéma ci-dessous associé à l'essieu avant deviennent alors B, B', B'' pour le pont et C, C', C'' pour l'essieu arrière.
- Le bras de suspension (associé à la base $(\overrightarrow{x_2}, \overrightarrow{y_2}, \overrightarrow{z_2})$) est en liaison pivot de centre O avec le châssis. L'angle associé est : $\alpha = (\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{x_2}) = (\overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{y_2})$.



Données géométriques :

$\overrightarrow{AO}.\overrightarrow{x_2} = e$; $\overrightarrow{EO}.\overrightarrow{x_2} = f$

Avec : e = 0.7m

f = 1.2m

Rayon de la roue : R

Section d'un coussin : S = 0.07 m²

Pressions relatives :

Pression d'alimentation : 8 bars

Pression d'échappement : 0 bar

ANNEXE 4 : Aide aux calculs

Table tangente

a (°)	tan(a)	a (°)	tan(a)	a (°)	tan(a)	a (°)	tan(a)
0	0,00	16	0,29	32	0,62	48	1,11
1	0,02	17	0,31	33	0,65	49	1,15
2	0,03	18	0,32	34	0,67	50	1,19
3	0,05	19	0,34	35	0,70	51	1,23
4	0,07	20	0,36	36	0,73	52	1,28
5	0,09	21	0,38	37	0,75	53	1,33
6	0,11	22	0,40	38	0,78	54	1,38
7	0,12	23	0,42	39	0,81	55	1,43
8	0,14	24	0,45	40	0,84	56	1,48
9	0,16	25	0,47	41	0,87	57	1,54
10	0,18	26	0,49	42	0,90	58	1,60
11	0,19	27	0,51	43	0,93	59	1,66
12	0,21	28	0,53	44	0,97	60	1,73
13	0,23	29	0,55	45	1,00	61	1,80
14	0,25	30	0,58	46	1,04	62	1,88
15	0,27	31	0,60	47	1,07	63	1,96

- Fin des annexes -

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Modélisation des systèmes asservis : structure, SLCI, transformée de Laplace, schéma-blocs
- Modèles de comportement et réponse temporelle : premier ordre, second ordre, identification
- Réponse fréquentielle et diagrammes de Bode
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Statique des solides : principe fondamental et stratégie d'isolement
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/x-ens/psi