

CONCOURS D'ADMISSION 2000

COMPOSITION DE SCIENCES INDUSTRIELLES

(Durée : 4 heures)

L'usage des calculatrices non imprimantes est autorisé.

- ⊣ Le sujet est constitué d'un **texte principal** de 16 pages et d'un **dossier ressources** de 8 pages.
- ⊣ Les parties 3, 4 et 5 sont indépendantes, cependant il est conseillé de progresser suivant le plan d'analyse proposé.

SUSPENSION HYDRACTIVE A CONTROLE ACTIF DE ROULIS DE LA CITROËN XANTIA ACTIVA V6

I PRESENTATION DE L'ETUDE

Dans un véhicule automobile, la suspension contribue principalement à assurer :

- la **tenue de route** et la stabilité du véhicule, notamment en maintenant permanent le contact entre les pneumatiques et la route.
- le **confort** vibratoire et postural des passagers quelles que soient les conditions de circulation (état de la route, comportement du conducteur, charge du véhicule, etc.).



Figure 1 : Xantia Activa V6

Document Citroën

Réaliser une suspension satisfaisante revient donc à isoler la caisse du véhicule en filtrant les sollicitations vibratoires de la route.

Les paramètres caractéristiques d'une suspension automobile sont la raideur et l'amortissement.

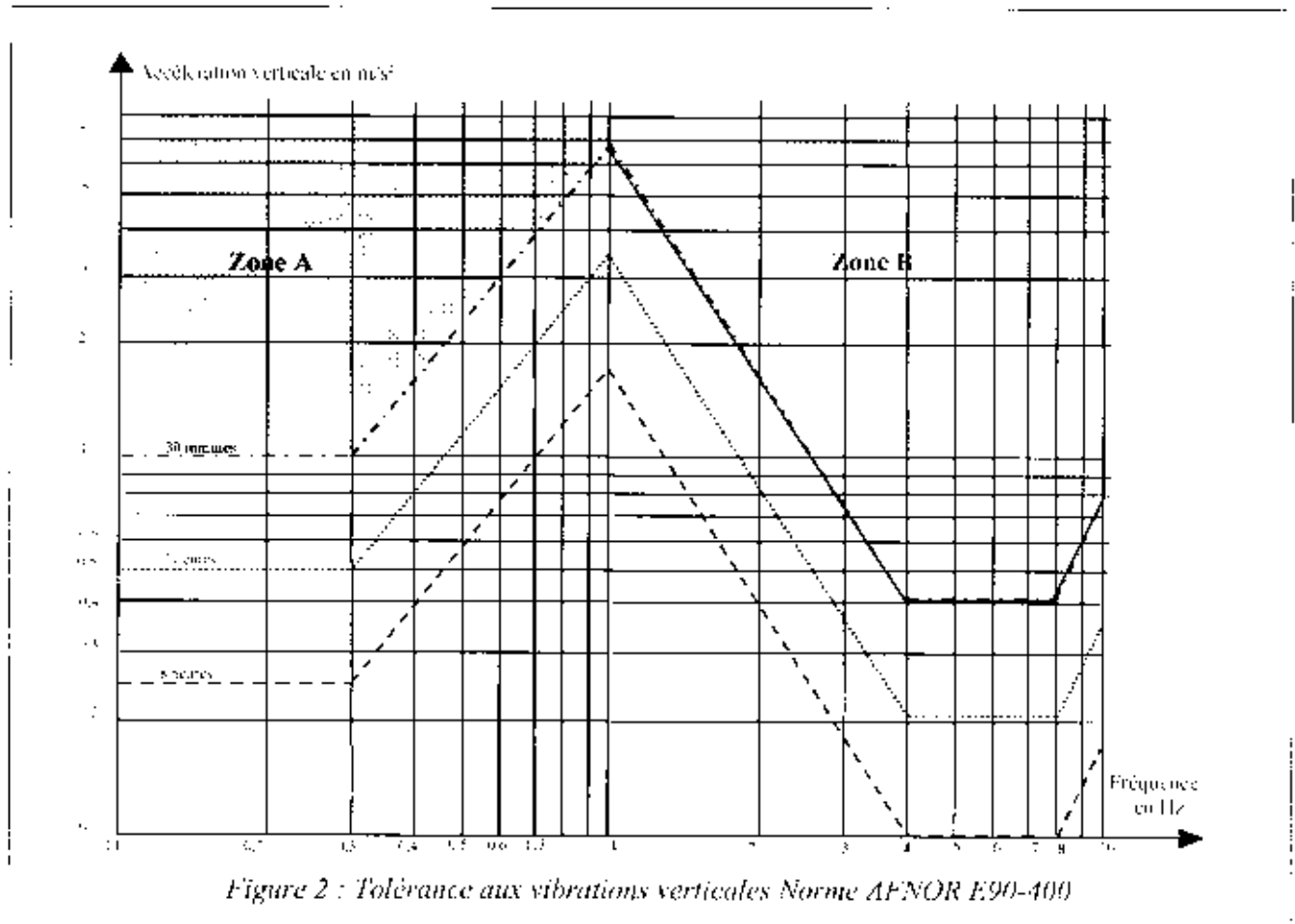
Pour une masse de caisse donnée, une **raideur** faible de la suspension permet d'absorber efficacement les irrégularités de la route.

Cependant, pour certaines fréquences, des phénomènes de résonance inconfortables nuisent à la tenue de route et à la stabilité du véhicule.

L'**amortissement** permet de contrôler ces phénomènes dès leur apparition. L'amortisseur doit freiner simultanément les oscillations de la caisse et celles des roues afin de maintenir ces dernières au contact avec le sol sans trop durcir la suspension.

1.1 CONFORT VIBRATOIRE ET COMPORTEMENT PHYSIOLOGIQUE DU CORPS HUMAIN

Le corps humain est organisé pour tolérer des sollicitations verticales à la fréquence de la marche. La norme AFNOR E 90-400 (Figure 2) propose un modèle de tolérance physiologique aux vibrations verticales. Sur ce graphe, on identifie « la zone de mal des transports » (Zone A) et « la zone d'inconfort vibratoire » (Zone B).



Question 1 :

→ Quelle accélération verticale maximale peut supporter le corps humain, sollicité avec une fréquence comprise entre 4 Hz et 8 Hz pendant 30 minutes, sans être incommodé ?

→ Comment se comporte le corps humain sollicité par une vibration verticale de fréquence voisine de 1 Hz ?

1.2 LA SUSPENSION AUTOMOBILE

Le confort vibratoire vertical des passagers impose une fréquence de caisse de valeur $f_1 = 1 \text{ Hz}$. Pour une charge donnée, la valeur de la raideur de la suspension est ainsi déterminée.

On recherche une valeur de l'amortissement qui permette d'assurer le confort vibratoire entre 4 Hz et 8 Hz en limitant la résonance autour de la fréquence de caisse sans dégrader sa tenue.

1.2.1 Suspension hydraactive

Cependant, le véhicule reste inconfortable si la suspension est sollicitée autour de sa fréquence de caisse, par exemple : à faible vitesse sur route à revêtement dégradé ou à grande vitesse sur route à fortes ondulations.

Pour gérer ce double inconvénient, le constructeur propose une suspension Hydractive à mode souple et mode ferme. Le passage d'un mode à l'autre dépend des conditions de route et du comportement du conducteur.

1.3.2 Contrôle actif du roulis

L'inconvénient du mode souple est que l'assiette du véhicule est modifiée par les variations de charge sur chacune des roues. Le véhicule aura tendance à s'incliner en virage provoquant le mouvement de roulis de la caisse par rapport à la route.

La prise de roulis produit les effets néfastes suivants :

- Sensation d'insécurité des passagers et du conducteur,
- Problèmes de perception angulaire.
- Mauvaises conditions de travail des pneumatiques.
- Diminution du pouvoir directeur du train,
- Soulèvement des roues et modification des conditions d'adhérence.

Pour pallier cet inconvénient, le constructeur automobile PSA-PEUGEOT-CITROËN a développé sur le véhicule Xantia Activa V6 une suspension hydro-pneumatique à **Maintien d'Assiette Constante (MAC)**, à flexibilité et amortissement variables (Hydractive II) et à **Contrôle Actif de Roulis (SC/CAR)**.

L'étude proposée au candidat porte successivement sur les systèmes MAC, Hydractive II et SC/CAR en mode ferme.

2 PRÉSENTATION DE LA SUSPENSION ACTIVA V6

2.1 LES MODES DE FONCTIONNEMENT DE LA SUSPENSION ACTIVA

Dans l'étude proposée, on ne retient que quelques phases du cycle de vie de la suspension Activa.

A l'arrêt ou en mouvement :

- La garde au sol reste constante grâce au système de maintien en assiette constante (MAC).

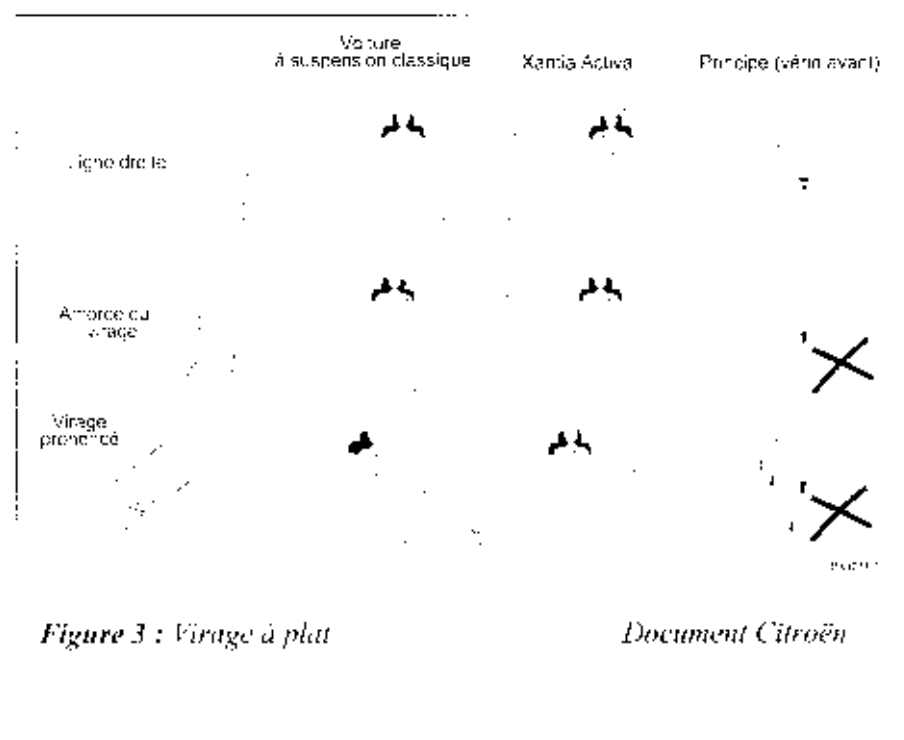


Figure 3 : Virage à plat

Document Citroën

En ligne droite :

- Le roulis est nul, la raideur de la suspension est fonction de la vitesse du véhicule (Mode souple ou Mode ferme).

Amorce du virage :

- La tenue de route est privilégiée, le roulis apparaît, la suspension se durcit (Mode ferme). Le passage du Mode souple au Mode ferme s'effectue en moins de 0,04 seconde.

Virage prononcé :

- La tenue de route est privilégiée, le Mode ferme est maintenu, le roulis augmente. La caisse est ramenée horizontalement par l'action conjuguée des vérins SC/CAR et des barres anti roulis avant et arrière.

Question 2:

→ Donner les principales caractéristiques fonctionnelles de la suspension Activa.

2.2 ANALYSE FAST PARTIELLE DE LA SUSPENSION ACTIVA.

Une analyse de la suspension a permis d'élaborer le FAST de la figure 4. L'étude proposée au candidat se limite aux fonctions techniques FT11, FT12 et FT13.

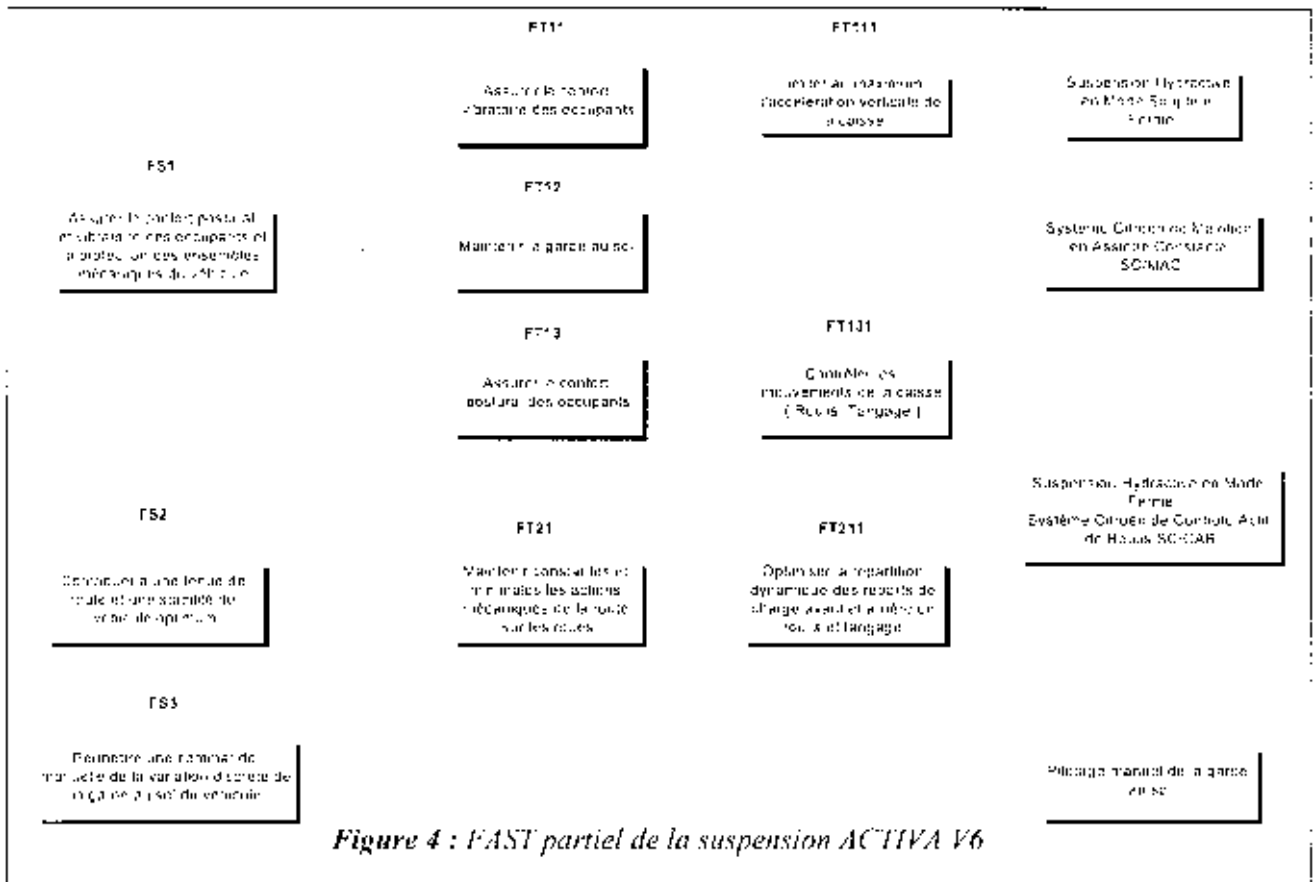


Figure 4 : FAST partiel de la suspension ACTIVA V6

Le travail demandé au candidat est donc de vérifier successivement les performances de la suspension ACTIVA en référence aux niveaux des critères associés aux fonctions techniques FT12, FT11 et FT13.

3 ETUDE DE FT12 : MAINTENIR LA GARDE AU SOL.

L'objet de cette étude est de valider le choix retenu par les ingénieurs de la Société PSA PEUGEOT CITROËN pour maintenir la garde au sol du véhicule Xantia Activa V6. La garde au sol est la distance entre le bas de la caisse du véhicule et le plan de référence du sol. Compte tenu de la symétrie du problème, seule la suspension de la roue arrière gauche sera étudiée. Le véhicule est à l'arrêt.

Fonction de service	Critères	Niveaux
FT12 Maintenir la garde au sol	<ul style="list-style-type: none"> Stabilité Rapidité Amortissement Précision 	<ul style="list-style-type: none"> Marge de gain MG > 20 dB Temps de réponse à 5% < 18 s Coefficient d'amortissement > 0,3 Ecart statique nul Insensibilité aux perturbations

3.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

Le document ressource DR3 présente l'organisation structurale de la suspension du véhicule Xantia Activa. Le document ressource DR1 présente les fonctionnements d'une sphère de roue et du correcteur de hauteur intervenant dans la chaîne fonctionnelle.

A partir de ces documents, il est proposé au candidat la schématisation de la figure 5.

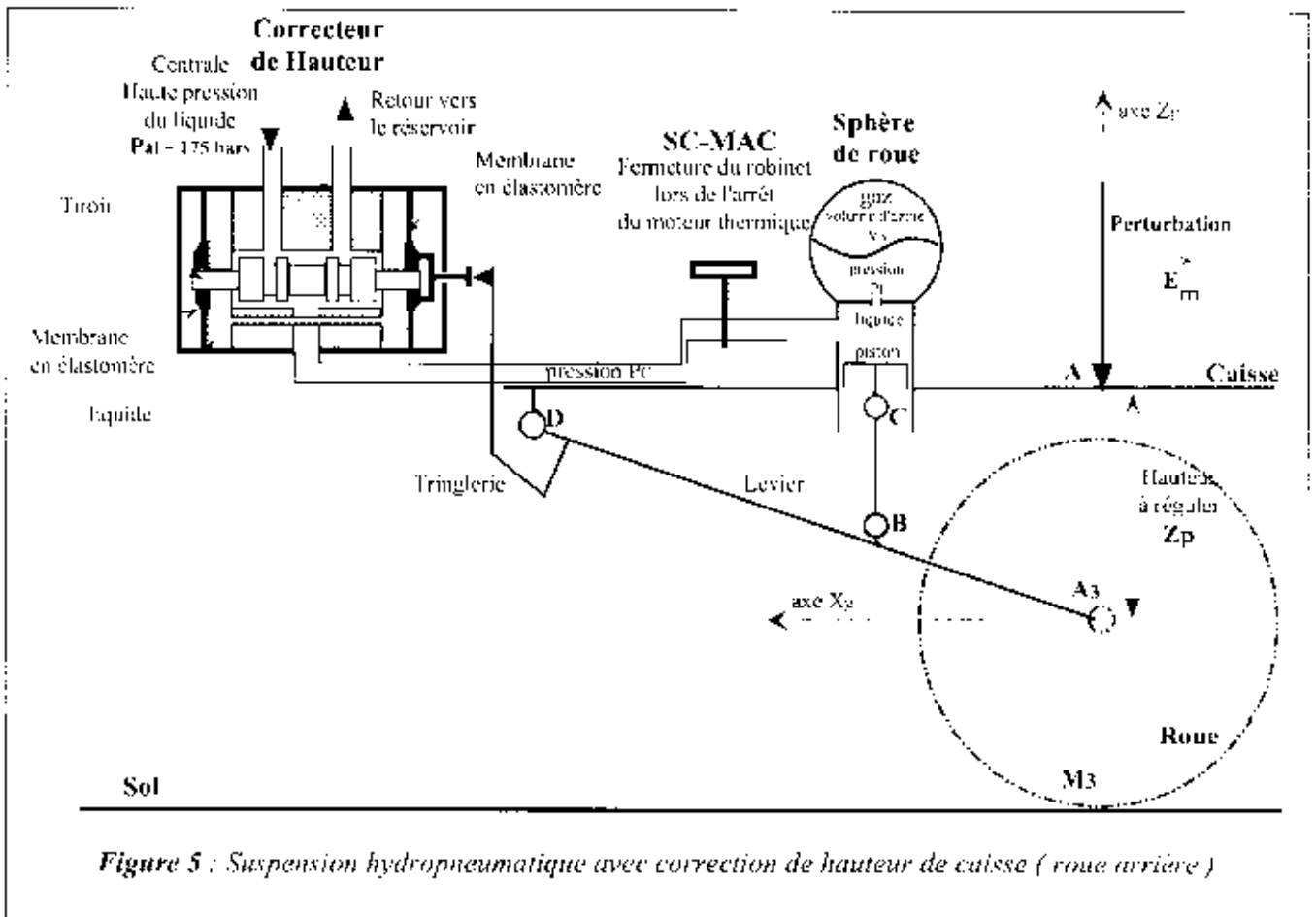


Figure 5 : Suspension hydro-pneumatique avec correction de hauteur de caisse (roue arrière)

Modèle cinématique :

On associe le repère $R_c (A, \bar{X}_c, \bar{Y}_c, \bar{Z}_c)$ à la caisse et le repère $R_g (A_g, \bar{X}_g, \bar{Y}_g, \bar{Z}_g)$ à la roue. $R_g (A_g, \bar{X}_g, \bar{Y}_g, \bar{Z}_g)$ est considéré comme galiléen. Le mouvement de la caisse par rapport au repère galiléen est une translation d'axe \bar{Z}_g , d'où $\overline{A_g A} = Z_p(t) \bar{Z}_g$.

On note $\bar{V}(A \in R_c / R_g) = V_z \bar{Z}_g$ et $\bar{\Gamma}(A \in R_c / R_g) = \Gamma_z \bar{Z}_g$.

Modèle dynamique :

- La roue est supposée indéformable ; $\overline{A_3 M_3} = -R \bar{Z}_g$. R est le rayon de la roue.
- Le vecteur \overline{BC} est supposé vertical autour du point de fonctionnement M_c : $\bar{BC} = \lambda \bar{Z}_g$
- Les actions mécaniques exercées par la roue sur le levier DA_3 sont modélisables par le torseur suivant :

$$T(\text{Roue} \rightarrow \text{Lever}) \left\{ \begin{array}{l} \bar{F}(R \rightarrow L) = \bar{f}(t) + M_r g \bar{Z}_g \\ \bar{M}(A_3, R \rightarrow L) \cdot \bar{Y}_g = 0 \end{array} \right\}_{A_3} \text{ avec } M_r = 400 \text{ kg.}$$

- L'accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$
- La perturbation est créée par un effort $\dot{E}_m = -E_m \bar{Z}_g$ appliqué en A.

3.2 MODELE D'ETUDE DE LA SUSPENSION HYDROPNEUMATIQUE EN MODE FERME

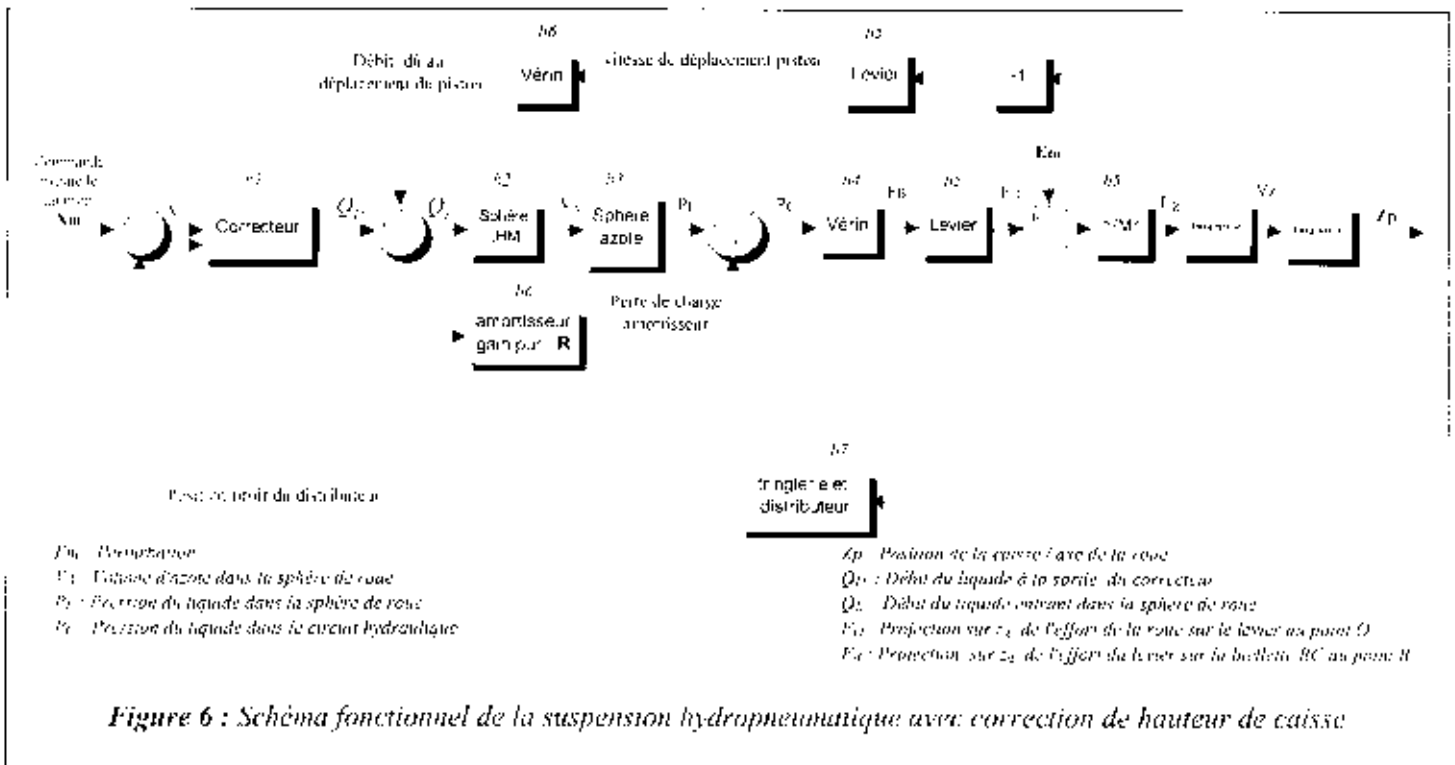


Figure 6 : Schéma fonctionnel de la suspension hydro-pneumatique avec correction de hauteur de caisse

A partir du schéma fonctionnel ci-dessus, le but de l'étude proposée au candidat est de :

- établir les fonctions de transfert b_i pour $i \in [1,7]$ en linéarisant au premier ordre autour du point de fonctionnement M_0 , de coordonnées :

$$Z_p(0) = z_0; X_c(0) = x_0; P_c(0) = P_s \text{ (mode ferme)}; Q_{1s}(0) = q_{1s}; V(0) = V_s; F_c(0) = M_g \cdot g$$

L'instant initial $t = 0$ correspond à l'instant où la caisse est à l'équilibre par rapport au repère galiléen R_p .

- vérifier les performances en mode ferme de la chaîne fonctionnelle de correction de hauteur avec le cahier des charges.

3.2.1 Modèle associé à la sphère de roue.

Notation	Désignation	Valeur numérique
P_s	Pression de tarage de l'azote de la sphère de roue	$40 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
V_0	Volume initial de l'azote de la sphère de roue	450 cm^3
V_s	Volume statique de l'azote de la sphère de roue	
P_s	Pression statique de l'azote de la sphère de roue	
$V_A(t) = V_s - v(t)$	Volume instantané de l'azote dans la sphère de roue	
$P_A(t) = P_s + p(t)$	Pression instantanée de l'azote dans la sphère de roue	
$P_{2s}(t) = P_A(t)$	Pression instantanée du liquide dans la sphère de roue	
K_L	Rapport du bras de levier. $F_{11} = K_L \cdot F_{10}$	0,35
D_p	Diamètre du piston du vérin	37 mm
S_p	Section du piston du vérin	
R_A	Gain d'amortisseur de sphère de roue	$9,375 \cdot 10^9 \text{ N s m}^{-1}$

Question 3 :

La caisse est supposée à l'équilibre par rapport au repère galiléen R_g . Le comportement de l'azote obéit à la loi de Mariotte : $PV = \text{Constante}$.

L'isolement du piston donne la pression statique de l'azote dans la sphère : $P_s = \frac{M_s g}{K_s S_p}$

→ Calculer le volume d'azote V_s dans la sphère lorsque la caisse est à l'équilibre. Effectuer l'application numérique.

Pour la suite du problème, la caisse n'est plus en équilibre par rapport au repère galiléen R_g . Le comportement de l'azote obéit à la loi de Laplace $PV^\gamma = \text{Constante}$ avec $\gamma = 1,38$.

Question 4 :

On note s la variable de Laplace. En linéarisant au premier ordre autour du point de fonctionnement M_0 ,

→ établir la fonction de transfert du bloc b3, en fonction de γ, P_s, V_s , traduisant le comportement de l'azote dans la sphère.

Pour la suite du problème, on posera : $K_s = \frac{\gamma P_s}{V_s}$

Question 5 :

Le liquide est considéré comme incompressible. Justifier que la variation de volume du liquide dans la sphère s'écrit $v(t) = -\int Q_l(t) dt$

→ Etablir la fonction de transfert du bloc b2 traduisant le comportement du liquide dans la sphère.

3.2.2 Modèle associé au correcteur de hauteur de caisse

Notation	Désignation	Valeur numérique
$Q_D(t) = q_0 - q(t)$	Débit volumique du liquide sortant du correcteur.	
$P_{al}(t) = P_{al}$	Pression d'alimentation du liquide dans le correcteur	$175 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
K	Constante de perte de charge.	$2,557 \cdot 10^{-6} \text{ N}^{0,5} \text{ s}^{-1} \text{ m}^3$
$X_c(t) = x_0 + x(t)$	Position du tiroir du distributeur.	

En supposant le liquide non visqueux et incompressible et la vitesse du liquide à l'entrée du correcteur très inférieure à la vitesse en aval du correcteur, on peut retenir le modèle : $Q_D(t) = K X_c(t) \sqrt{P_{al} - P_c(t)}$.

Question 6 :

Sur le système réel, les pressions $P_1(t)$ (sortie du bloc b3) et $P_c(t)$ (entrée du bloc b4) sont voisines. On les prendra égales uniquement dans la question 6.

→ Etablir la relation entre $Q_D(s), X_c(s)$ et $P_1(s)$ et représenter ce modèle (bloc b1) sous forme de schéma bloc.

Les paramètres intervenant dans l'expression du modèle analytique sont : K, P_{al}, P_s, x_0 .

Pour la suite du problème, on posera : $K_c = K \sqrt{P_{al} - P_s}$ et considérera que la position du tiroir au point de fonctionnement M_0 est nulle : soit $x_0 = 0$.

Question 7 :

Le modèle du bloc b7 (tringlerie et distributeur) est modélisé par un premier ordre de gain statique $K_D = 16,6 \cdot 10^{-3}$ et de constante de temps $T = 3 \text{ s}$.

→ A partir du schéma fonctionnel (figure 6), représenter le schéma bloc de la suspension hydro-pneumatique avec correction de hauteur de caisse.

Modéliser tous les blocs en utilisant les notations littérales données dans le sujet.

3.2.3 Étude en poursuite de la suspension hydropneumatique en mode ferme ($E_m(s) = 0$)

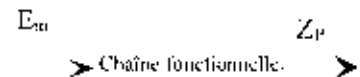
Question 8 :

→ En utilisant la courbe de la réponse indicielle de poursuite du document ressource DR2, donner le temps de réponse à 5 % du système.

3.2.4 Étude en régulation de la suspension hydropneumatique en mode ferme ($X_c(s) = 0$)

Question 9 :

→ Tracer le schéma bloc de la régulation sous la forme suivante :



Question 10 :

→ En régulation, la fonction de transfert de la suspension hydropneumatique en mode ferme s'écrit sous la forme :

$$H_1(s) = \frac{Z_p(s)}{E_m(s)} = \frac{s(Ts + 1)}{a_4s^4 + a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0}$$

- Calculer $a_4, a_3, a_2, a_1,$ et a_0 en fonction de $M_r, K_S, K_L, S_P, K_D, K_d$ et R_A .
- Compléter le tableau ci-dessous :

	Valeur littérale	Valeur numérique	Unité
a_4	?	1200	kg s
a_3	?	4380	kg
a_2	?	36700	kg m ⁻²
a_1	?	12200	kg ² m ⁻¹ s ⁻⁴
a_0	?	3540	kg s ⁻³

- Montrer que le modèle proposé est stable.
- En utilisant le document Ressources DR2, déterminer la marge de gain du système.

Question 11 :

→ En utilisant le schéma bloc du modèle, justifier que la suspension corrige la hauteur quelle que soit la perturbation et conclure conformément au cahier des charges.

3.3 ANALYSE DU SYSTEME SC/MAC

Question 12 :

→ Expliquer la raison d'être du robinet SC/MAC représenté sur la figure 5. La solution technique proposée répond-elle au cahier des charges fonctionnel quelles que soient les conditions atmosphériques ? Justifier la réponse.

4 ETUDE DE FT11 : ASSURER LE CONFORT VIBRATOIRE DES OCCUPANTS

L'objet de cette étude est de valider le choix retenu par les ingénieurs de la Société PSA-PEUGEOT CITROËN pour assurer le confort vibratoire des occupants du véhicule Xantia Activa V6.

	Fonction de service	Critère	Niveau
FT11	Assurer le confort vibratoire des occupants.	Fréquence de caisse	$f_c < 1\text{Hz}$

Question 13 :

Les pôles de la fonction :

$$H_1(s) = \frac{Z_p(s)}{E_m(s)} = \frac{s(Ts + 1)}{a_0 \left(\frac{s^2}{\omega_{r1}^2} + \frac{2\xi_{r1}}{\omega_{r1}} s + 1 \right) \left(\frac{s^2}{\omega_{r2}^2} + \frac{2\xi_{r2}}{\omega_{r2}} s + 1 \right)}$$

sont :

$$\begin{aligned}
 p_1 &= -1,656 + 5,165i \\
 p_2 &= -1,656 - 5,165i \\
 p_3 &= -0,167 + 0,269i \\
 p_4 &= -0,167 - 0,269i
 \end{aligned}$$

→ Montrer que le modèle de la suspension en mode ferme présente une fréquence propre maxi inférieure à 1 Hertz. Valider la réponse à l'aide du diagramme de Bode de la fonction transfert $H_r(s)$ en mode ferme fourni dans le document ressource DR2.

Question 14 :

→ Sur la copie, remplir le tableau réponse ci-dessous :

FT12 : Assurer la garde au sol		FT11 : Assurer le confort vibratoire des occupants	
	Mode ferme	Validité par rapport au cahier des charges fonctionnel	
	Valeur numérique et unité	Oui ou non : pourquoi ?	Réalité du résultat ?
Marge de gain	?	Oui ou non : pourquoi ?	
Amplitude maxi pour un échelon $F_m=500N$?	Oui ou non : pourquoi ?	
Fréquence propre maximum	?	Oui ou non : pourquoi ?	
Temps de réponse à 5 %	?	Oui ou non : pourquoi ?	

5 ETUDE DE FT13 : ASSURER LE CONFORT POSTURAL DES OCCUPANTS ET PERMETTRE AU VEHICULE DE « VIRER A PLAT »

	Fonction de service	Critères	Niveau
FT13	Assurer le confort postural des occupants et permettre au véhicule de « virer à plat »	Asservir l'angle de roulis en fonction des conditions de circulation (ligne droite, amorce de virage ou virage prononcé).	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Angle de roulis $< 0,5^\circ$ jusqu'à $0,5 g$ d'accélération transversale. ▪ Ecart statique nul ▪ Insensibilité aux perturbations ▪ Marge de gain $> 8dB$ ▪ Marge de phase $> 60^\circ$ ▪ Temps de retour à la position d'équilibre inférieur à 1s.

5.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

La solution industrielle préconisée par le constructeur automobile est présentée sur les documents ressources DR3A et DR3B. La chaîne fonctionnelle du système SC/CAR peut être représentée ci dessous :

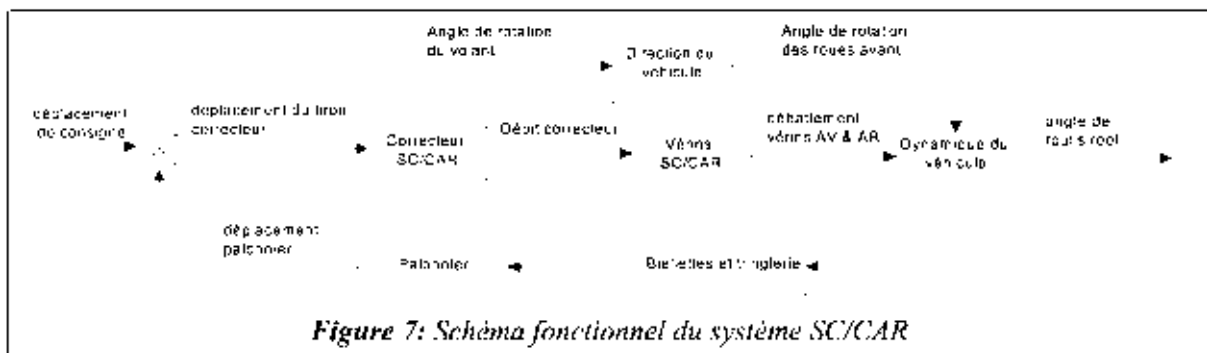


Figure 7: Schéma fonctionnel du système SC/CAR

Le principe retenu est de piloter le déplacement angulaire de chaque barre anti roulis en fonction de l'angle de roulis de la caisse du véhicule. Les modèles cinématique et dynamique étant choisis, le candidat devra valider les niveaux des critères de la fonction de service FT13.

5.2 COMPORTEMENT DYNAMIQUE DU VEHICULE

L'objectif de cette partie est de déterminer le modèle de connaissance du véhicule en appliquant les théorèmes fondamentaux de la dynamique aux systèmes matériels isolés. Le véhicule V_{11} est modélisé comme un ensemble de 2 solides indéformables.

SYSTEME MATERIEL Véhicule V_H « Caisse C + Ensemble roues ER »			
Caisse C supposée indéformable associée au repère R_C	Centre d'inertie G	Masse M	Matrice d'inertie de C, au point G, dans R_C $[I(G,C)] = \begin{pmatrix} A & 0 & -E \\ 0 & B & 0 \\ -E & 0 & C \end{pmatrix}_{R_C}$
Ensemble roues ER supposé indéformable associé au repère R_L	Centre d'inertie O	Masse m	$\vec{OG} = h\vec{Z}_C$ avec $h = \text{constante}$

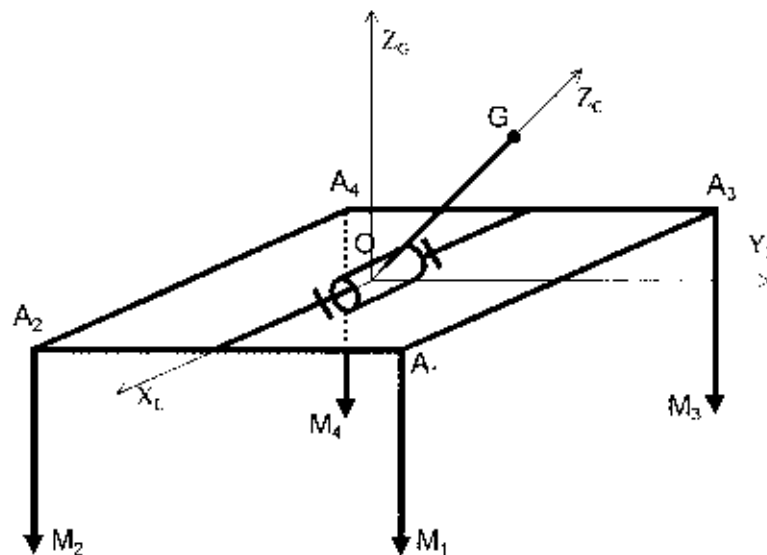


Figure 8a: Modélisation cinématique

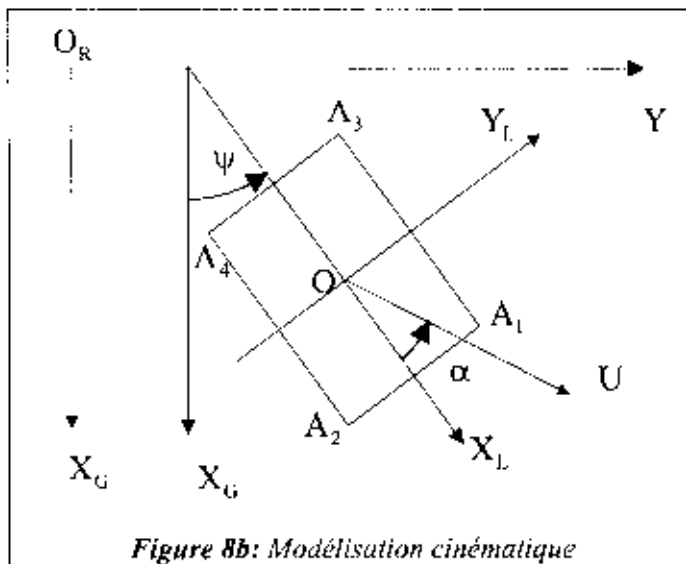


Figure 8b: Modélisation cinématique

Le modèle dynamique choisi est un modèle à 3 degrés de liberté.

- Angle de lacet ψ
- Angle de dérive α
- Angle de roulis θ

Cette modélisation ne prend donc pas en compte :

- le mouvement d'avancée du véhicule
- le mouvement de pompage

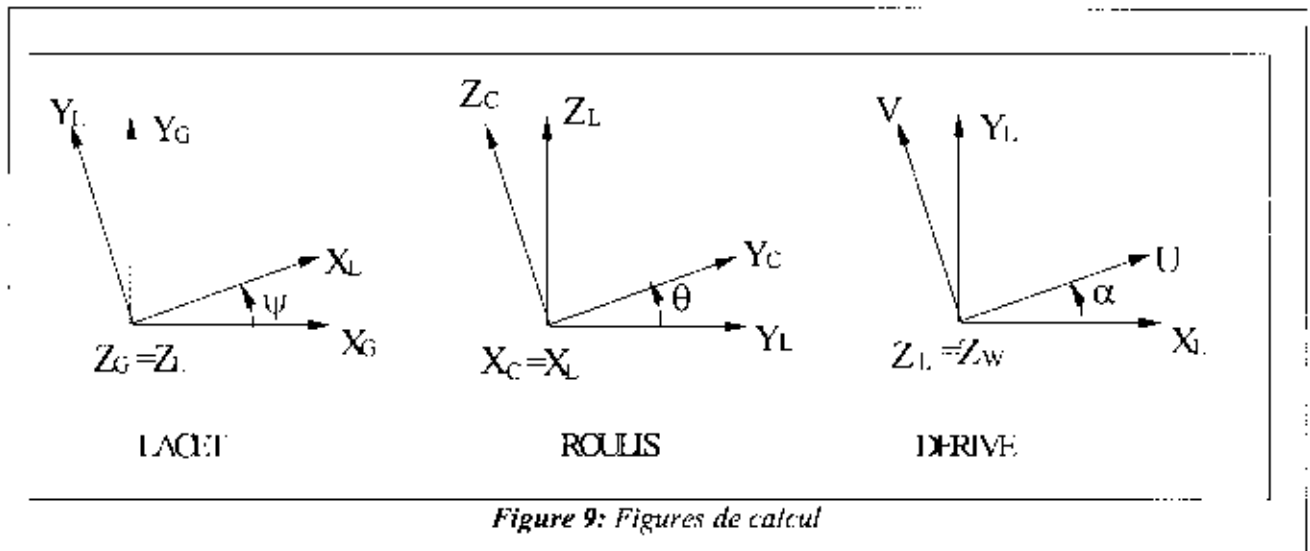


Figure 9: Figures de calcul

$R_G(O_R, \bar{X}_G, \bar{Y}_G, \bar{Z}_G)$ Repère galiléen	O_R lié à la route	$(\dot{X}_G, \dot{Y}_G) - \pi_x$ plan fixe par rapport à la route $(\dot{X}_G, \dot{Y}_G, \dot{Z}_G)$ trièdre direct.
$R_{GO}(O, \bar{X}_G, \bar{Y}_G, \bar{Z}_G)$ Repère intermédiaire	O lié au châssis	$\vec{\Omega}(R_{GO}/R_G) = \vec{0}$ $\vec{V}(O, R_{GO}/R_G) = \vec{V}$ avec $\overrightarrow{O_R O} \cdot \bar{Z}_G = 0$ et $V = \text{Constante}$
$R_L(G, \bar{X}_L, \bar{Y}_L, \bar{Z}_L)$ Repère lacet	G lié à la caisse	$\bar{Z}_L = \bar{Z}_G$ $(\dot{Y}_G, \dot{Y}_L) = (\dot{X}_G, \dot{X}_L) = \psi$ angle de lacet
$R_C(G, \bar{X}_C, \bar{Y}_C, \bar{Z}_C)$ Repère caisse	G lié à la caisse	$\bar{X}_L = \bar{X}_C$ $(\dot{Y}_L, \dot{Y}_C) = (\dot{Z}_L, \dot{Z}_C) = \theta$ angle de roulis
$R_w(A_i, \bar{X}_w, \bar{Y}_w, \bar{Z}_w)$ Repère roue	A_i centre de la roue R_i	$\dot{Z}_w = \dot{Z}_L$ avec $\overrightarrow{OA_i} = l_1 \dot{X}_L + v_1 \dot{Y}_L$ $(\dot{Y}_L, \dot{Y}_w) = (\dot{X}_L, \dot{X}_w) = \beta$ angle de braquage des roues avant

Le torseur cinématique du mouvement de ER par rapport à R_G est noté :

$$\{V(ER/R_G)\}_O = \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}(ER/R_G) = \vec{0} \\ \vec{V}(O, ER/R_G) = V\vec{U} \end{Bmatrix}$$

Les actions mécaniques de l'ensemble roues sur la caisse (suspension) sont modélisées par le torseur suivant :

$$\{ER \rightarrow C\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(ER \rightarrow C) = \dots \quad l_1 \vec{Z}_C \\ \vec{M}(O, ER \rightarrow C) = -(C_1 + C_2)\theta \dot{X}_L + \sum_{i=1}^4 \overrightarrow{OA_i} \wedge \vec{F}_i \end{array} \right\} \text{ avec}$$

$$\begin{array}{ll} \overrightarrow{OA_1} = l_1 \dot{X}_L + v_1 \dot{Y}_L & \overrightarrow{OA_2} = l_1 \dot{X}_L - v_1 \dot{Y}_L \\ \overrightarrow{OA_3} = -l_2 \dot{X}_L + v_2 \dot{Y}_L & \overrightarrow{OA_4} = -l_2 \dot{X}_L - v_2 \dot{Y}_L \end{array}$$

$$F_1 = -v_1(k_1\theta + R_1\dot{\theta}) \quad F_2 = v_1(k_1\theta + R_1\dot{\theta}) \quad F_3 = -v_2(k_2\theta + R_2\dot{\theta}) \quad F_4 = v_2(k_2\theta + R_2\dot{\theta})$$

Toutes les caractéristiques du véhicule Xantia sont répertoriées dans le document ressource DR5.

5.2.1 Influence de la suspension sur la caisse C

Question 15 :

→ **Enoncer le théorème du moment dynamique, au point O, appliqué à la caisse C en mouvement par rapport à R_G .**

Question 16 :

On note $\vec{\Omega}(C/R_G)$ le vecteur rotation instantanée de la caisse C par rapport au référentiel galiléen R_G .

→ Déterminer les composantes de $\vec{\Omega}(C/R_G)$ dans R_C en fonction de $\dot{\theta}, \theta$ et $\dot{\psi}$.

Question 17 :

On note $\vec{\sigma}(O, C/R_G)$ le moment cinétique, au point O, de la caisse C dans son mouvement par rapport à R_G .

→ Justifier la forme proposée de la matrice d'inertie du véhicule. Déterminer les composantes de $\vec{\sigma}(O, C/R_G)$ dans R_C en fonction de $\theta, \dot{\theta}, \dot{\psi}, x, h, V, M, A, B, C$ et E.

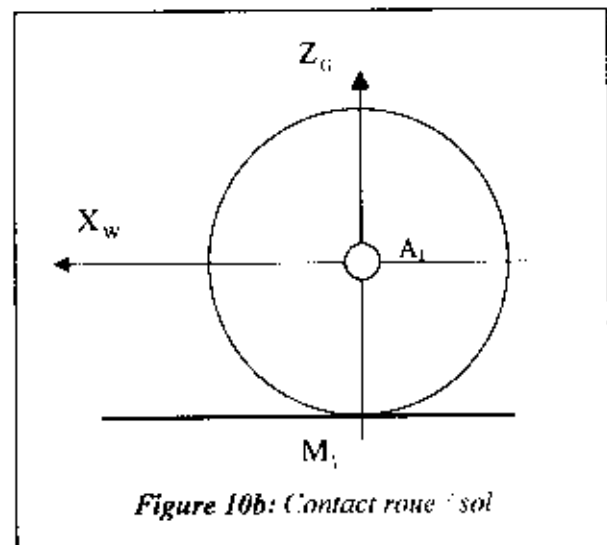
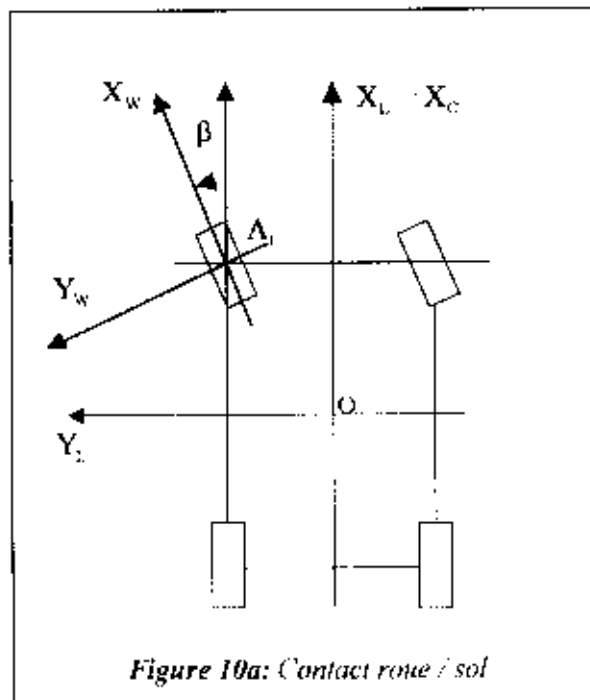
Dans la suite du problème, on se place au voisinage de la position d'équilibre définie pour $\alpha = 0; \psi = 0; \theta = 0$ et on linéarise toutes les expressions autour de cette position.

Question 18 :

On note $\vec{\delta}(O, C/R_G)$ le moment dynamique, au point O, de la caisse C dans son mouvement par rapport à R_G .

→ Déterminer les composantes de $\vec{\delta}(O, C/R_G)$ dans R_C en fonction de $\ddot{\theta}, \ddot{\psi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}, \dot{\alpha}, h, V, M, A, B, C$ et E.

5.2.2 Influence du sol sur le véhicule V_H



Question 19 :

On note $\vec{\Gamma}(G/R_G)$ le vecteur accélération de G par rapport au référentiel galiléen R_G .

→ Énoncer le théorème de la résultante dynamique, appliqué au véhicule V_H , en projection sur \vec{Y}_G .

Question 20 :

→ Déterminer l'expression de $\vec{\Gamma}(G/R_G) \cdot \vec{Y}_G$ et de $\vec{\Gamma}(O/R_G) \cdot \vec{Y}_G$ en fonction de $\ddot{\theta}, V, h, \dot{\alpha}$ et $\dot{\theta}$.

Les actions mécaniques du sol sur chaque roue sont modélisées par le torseur suivant :

$$\{\text{Sol} \rightarrow R_i\} \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}(\text{Sol} \rightarrow R_i) = X_i \vec{X}_w + Y_i \vec{Y}_w + Z_i \vec{Z}_w \\ \vec{M}(M_i, \text{Sol} \rightarrow R_i) = \vec{0} \end{array} \right\}_{x_i}$$

$$\overline{OM_1} = l_1 \vec{X}_L + v_1 \vec{Y}_L - R \vec{Z}_L \quad \overline{OM_2} = l_1 \vec{X}_L - v_1 \vec{Y}_L - R \vec{Z}_L$$

$$\overline{OM_3} = -l_2 \vec{X}_L + v_2 \vec{Y}_L - R \vec{Z}_L \quad \overline{OM_4} = -l_2 \vec{X}_L - v_2 \vec{Y}_L - R \vec{Z}_L$$

- L'angle de dérive d'un pneumatique est défini ainsi : $\delta_i = (\vec{X}_w, \vec{V}(M_i/R_G))$.
- De plus, si D désigne le coefficient de dérive du pneumatique, on peut écrire $Y_i = -D\delta_i$.
- Seules les roues avant sont directrices.

Question 21 :

- En négligeant $\frac{v_i \dot{\psi}}{V} \ll 1$, calculer l'angle de dérive δ_i pour $i \in [1,4]$ en fonction de $\alpha, \beta, \dot{\psi}, l_1, l_2$ et V.

Question 22 :

- Calculer les composantes Y_i pour $i \in [1,4]$ en fonction de D, $\alpha, \beta, l_1, l_2, \dot{\psi}$ et V. En déduire $\vec{R}(\vec{V}_L \rightarrow V_{11}), \vec{Y}_L$.

Question 23 :

- Déterminer $\dot{M}(O, C \rightarrow C), \vec{X}_C$ en fonction de M, g, h, $v_1, k_1, v_2, k_2, C_1, C_2, \theta, R_1, R_2$ et $\dot{\theta}$.

Par application du théorème du moment dynamique au système matériel V_{11} , au point O, en projection sur l'axe \vec{Z}_L , on obtient $\dot{M}(O, \vec{V}_{11} \rightarrow V_{11}), \vec{Z}_L$ en fonction de $\alpha, D, l_1, l_2, \beta, \dot{\psi}$ et V.

$$\dot{M}(O, V_{11} \rightarrow V_{11}), \vec{Z}_L = 2D\alpha(-l_1 + l_2) + 2Dl_1\beta - \frac{2D}{V} \dot{\psi}(l_1^2 + l_2^2)$$

Question 24 :

Afin d'alléger l'écriture, on utilise les paramètres réduits donnés dans le document ressource DR5.

- Montrer que l'on obtient alors le système d'équations suivantes (E1) :

$$(E1) \left\{ \begin{array}{l} (A + Mh^2)\ddot{\theta} - E\ddot{\psi} + R_0\ddot{\theta} - MhV\dot{\psi} - MhV\dot{\alpha} - (Mgh - L_0)\theta = 0 \\ -Mh\ddot{\theta} + \left[(M+m)V + \frac{N_\alpha}{V} \right] \dot{\psi} + (M+m)V\dot{\alpha} + Y_\alpha\alpha = Y_\beta\beta \\ -E\ddot{\theta} + C\ddot{\psi} + \frac{N_r}{V} \dot{\psi} - N_\alpha\alpha = N_\beta\beta \end{array} \right.$$

On obtient les valeurs numériques suivantes :

Paramètres réduits	unités	Valeur numérique
$Y_\alpha = 4D$	N rad ⁻¹	114650
$N_\alpha = 2D(l_1 - l_2)$	m N rad ⁻¹	3440
$Y_\beta = 2D$	N rad ⁻¹	57320
$L_0 = 2v_1^2 k_1 + 2v_2^2 k_2 + C_1 + C_2$	m N rad ⁻¹	215900
$R_0 = 2v_1^2 R_1 + 2v_2^2 R_2$	N m ⁻¹ s	3040
$N_r = 2D(l_1^2 + l_2^2)$	N m ² rad ⁻¹	215290
$N_\beta = 2Dl_1$	m N rad ⁻¹	80250

Question 25 :

→ Mettre le système d'équations (E1) sous la forme matricielle suivante :

$$(E2) \quad [A][\ddot{X}] + [B][\dot{X}] + [C][X] = [D] \text{ avec } [X] = \begin{bmatrix} \alpha \\ \psi \\ \theta \end{bmatrix}$$

Question 26 :

→ Par application de la transformée de Laplace autour du point de fonctionnement $\alpha = 0; \psi = 0; \theta = 0$, mettre le système d'équations (E2) sous la forme suivante :

$$(E3) \quad [M(s)][X(s)] = [N(s)]\beta(s)$$

où $[M(s)]$ désigne une matrice $[3,3]$, $[X(s)]$ et $[N(s)]$ désignent deux matrices $[3,1]$ à identifier.

La résolution du système (E3) a permis d'obtenir la fonction de transfert «dynamique du véhicule»

$$H_\theta(s) = \frac{\theta(s)}{\beta(s)}. \text{ On pose } H_\theta(s) = \frac{a_2s^2 + a_1s + a_0}{b_4s^4 + b_3s^3 + b_2s^2 + b_1s + b_0}$$

Les applications numériques suivantes sont données pour $\beta_0 = 0,026 \text{ rad}$ et $V = 25 \text{ m s}^{-1}$.

Paramètres	unités	Valeur numérique	Valeur numérique
		$C_1 = 96305 \text{ m N rad}^{-1}$	$C_1 = 0$
		$C_2 = 87133 \text{ m N rad}^{-1}$	$C_2 = 0$
a_2	s^2	$3,9155 \cdot 10^{12}$	$3,9155 \cdot 10^{12}$
a_1	s	$1,0887 \cdot 10^{13}$	$1,0887 \cdot 10^{13}$
a_0		$1,947 \cdot 10^{14}$	$1,947 \cdot 10^{14}$
b_4	s^4	$7,334 \cdot 10^{10}$	$7,334 \cdot 10^{10}$
b_3	s^3	$9,5238 \cdot 10^{11}$	$9,5238 \cdot 10^{11}$
b_2	s^2	$3,0657 \cdot 10^{13}$	$6,1708 \cdot 10^{12}$
b_1	s	$1,5334 \cdot 10^{14}$	$1,998 \cdot 10^{13}$
b_0		$1,7313 \cdot 10^{14}$	$2,004 \cdot 10^{13}$

5.3 CONTROLÉ D'ATTITUDE AUTOUR DE L'AXE DE ROULIS

Question 27 :

Les pôles de $H_\theta(s)$ sont donnés ci dessous :

	Avec barres anti-roulis	Sans barres anti-roulis
p_1	$-3,73 + 18,9i$	$-3,24 + 4,84i$
p_2	$-3,73 - 18,9i$	$-3,24 - 4,84i$
p_3	$-1,65$	$-1,67$
p_4	$-3,85$	$-4,83$

→ Conclure quant à la stabilité du comportement du véhicule en roulis. Placer les pôles dans le plan complexe. Quel modèle peut-on associer au comportement en roulis du véhicule ?

- En régime établi ?
- En régime transitoire ?

Question 28 :

→ Déterminer la valeur du roulis atteinte par le véhicule en régime permanent, sans SC/CAR pour un angle de braquage $\beta_0 = 0,026$ rd .

- Sans barres anti roulis
- Avec les barres anti roulis

En utilisant le document ressource DR6A, vérifier le résultat obtenu précédemment.

5.3.1 Performances en régulation de la suspension Activa avec SC/CAR

Afin de contrôler le roulis de la caisse, on désire agir sur les barres anti roulis. La fonction de transfert $H_3(s)$ intègre l'influence des barres anti roulis par l'intermédiaire de C_1 et C_2 . Afin de découpler cette influence, le document ressource DR4 propose au candidat le schéma fonctionnel complet du système SC/CAR.

Question 29 :

En utilisant le document ressource DR4,

→ Proposer le schéma bloc de la suspension avec barres anti roulis et sans correction SC/CAR.

Question 30 :

On pose $f_3(s) = 0$ et $H_4(s) = as^2 + bs + c$. Sachant que $H_1(s)$ et $H_2(s)$ sont données ci-dessous,

$$H_1(s) = \frac{a_2s^2 + a_1s + a_0}{b_3s^4 + b_2s^3} \quad H_2(s) = \frac{1}{a_3s^2 + a_2s + a_0}$$

→ Déterminer les coefficients a, b et c de la fonction de transfert $H_4(s)$ en fonction de b_2, b_1, b_0 et L_n . Effectuez les applications numériques.

5.3.1.1 Chaîne de détection SC/CAR

L'angle de roulis est directement proportionnel au déplacement angulaire relatif des bras de suspension. L'ensemble de détection représenté ci-dessous est constitué de 2 biellettes, 2 triangles et un palonnier central. Cet ensemble transforme le déplacement angulaire relatif des bras de suspension droit et gauche en un déplacement axial de la tige de commande du correcteur SC/CAR.

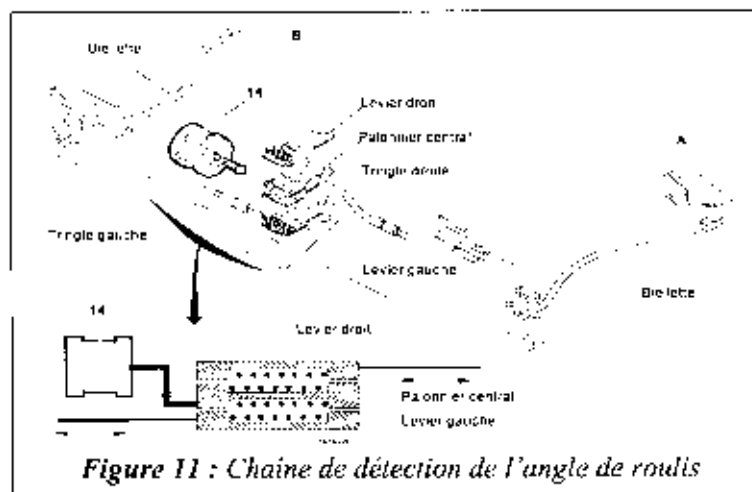


Figure 11 : Chaîne de détection de l'angle de roulis

Le capteur de roulis est assimilé à un gain proportionnel de valeur $K_{CAP} = 2$ mm/deg ré

Question 31 :

→ Déterminer la valeur de K_{CAP} en U.S.I.

5.3.1.2 Chaîne de correction SC/CAR

Le débit du correcteur SC/CAR est utilisé pour alimenter les vérins SC/CAR. L'action des vérins SC/CAR produit alors sur les barres anti roulis correspondantes les déplacements angulaires α_1 et α_2 .

Question 32 :

Le correcteur est assimilé à un modèle du 1^{er} ordre de gain statique $K_{COR} = 0,0075 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ et de constante de temps $T = 50 \text{ ms}$.

→ Ecrire la fonction de transfert correspondante $H_{COR}(s)$.

Question 33 :

Compte tenu des paramètres intermédiaires utilisés et de leurs valeurs numériques,

→ déterminer les fonctions de transfert $H_{v1}(p)$, $H_{v2}(p)$ et $H_1(p)$.

Question 34 :

La répartition de débit avant/arrière est calculée pour que $\frac{M_2}{M_1} = \frac{l_1}{l_2}$ avec :

M_1 Moment de barre anti roulis avant sur la caisse

M_2 Moment de barre anti roulis arrière sur la caisse

l_1 Distance entre le centre d'inertie G et l'essieu avant (véhicule à vide)

l_2 Distance entre le centre d'inertie G et l'essieu arrière (véhicule à vide)

→ déterminer $\frac{K_2}{K_1}$ en fonction de $l_1, l_2, C_1, C_2, b_{l1}, v_1, b_{l2}$ et v_2 . En déduire que $q_1 = q_2$.

5.3.1.3 Vérification des performances du système SC/CAR

Le système SC/CAR fonctionne en régulation. Soumis à une entrée en échelon $\beta = 0,026 \text{ rd}$, la sortie est l'angle de roulis θ . Le document ressource DR6B donne les réponses indicielle et harmonique du système SC/CAR.

Question 35:

→ Donner la valeur maximum atteinte par le roulis en régime transitoire ? Conclure conformément au Cahier des Charges. La correction n'a pas été réalisée dans le temps demandé. Commenter ce résultat.

Question 36 :

→ Déterminer la marge de gain et la marge de phase en explicitant clairement la méthode utilisée. Conclure conformément au Cahier des Charges.

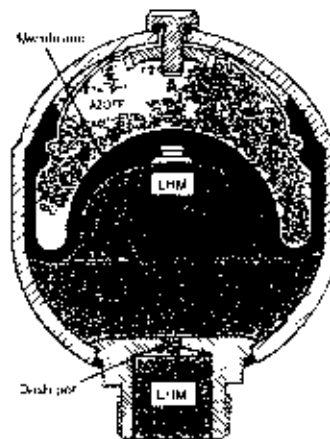
Fin de l'énoncé

DRI COMPOSANTS DE LA SUSPENSION ARRIERE DE XANTIA ACTIVA

SPHERE DE ROUE

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le volume intérieur de la sphère est divisé en deux chambres par une membrane souple en élastomère. Un gaz inerte, l'azote, porté à la pression de tarage, est insufflé dans la chambre supérieure. Le gaz occupe alors en l'absence du liquide, appelé LHM, tout le volume de la sphère. Lorsque la chambre inférieure reçoit le liquide, le volume de gaz diminue d'autant et sa pression augmente. La pression du LHM, équivalente par construction à celle de l'azote, croît également.

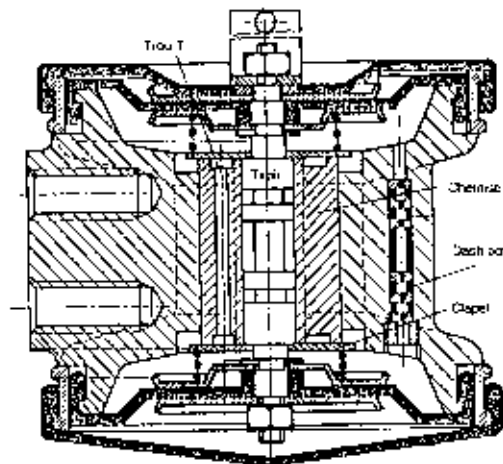


CORRECTEUR DE HAUTEUR

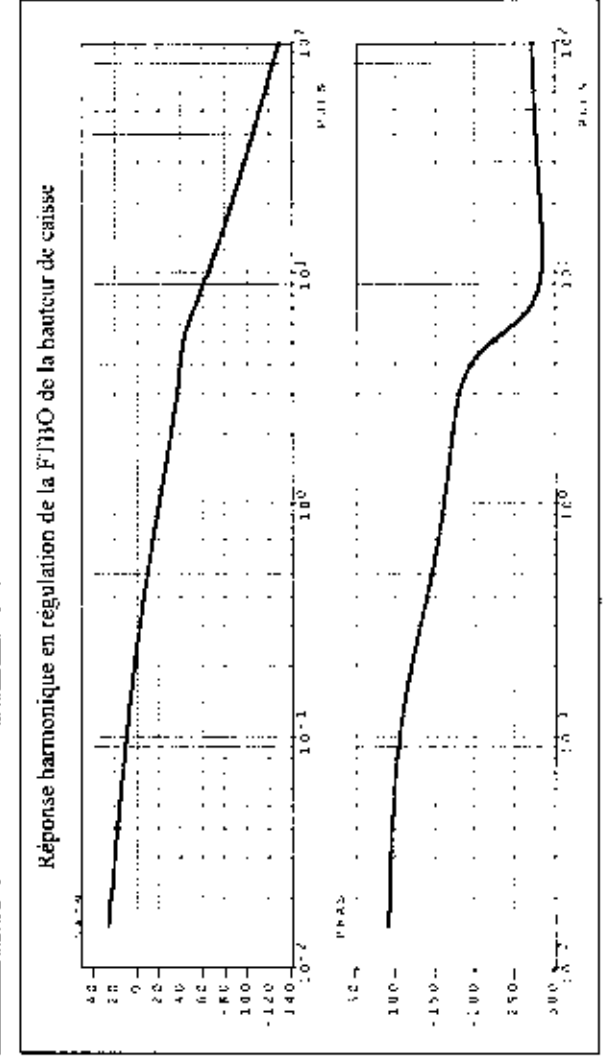
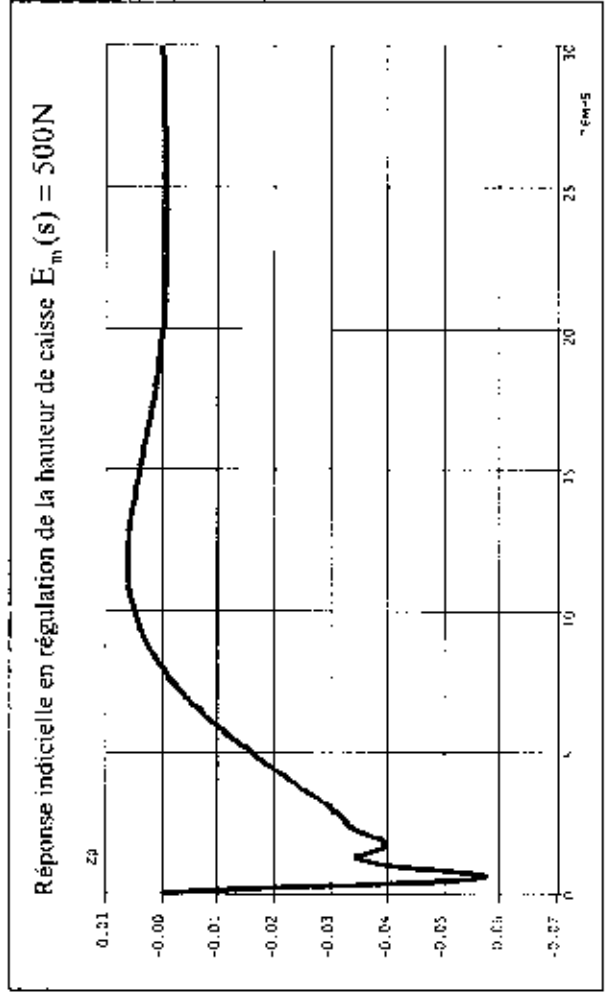
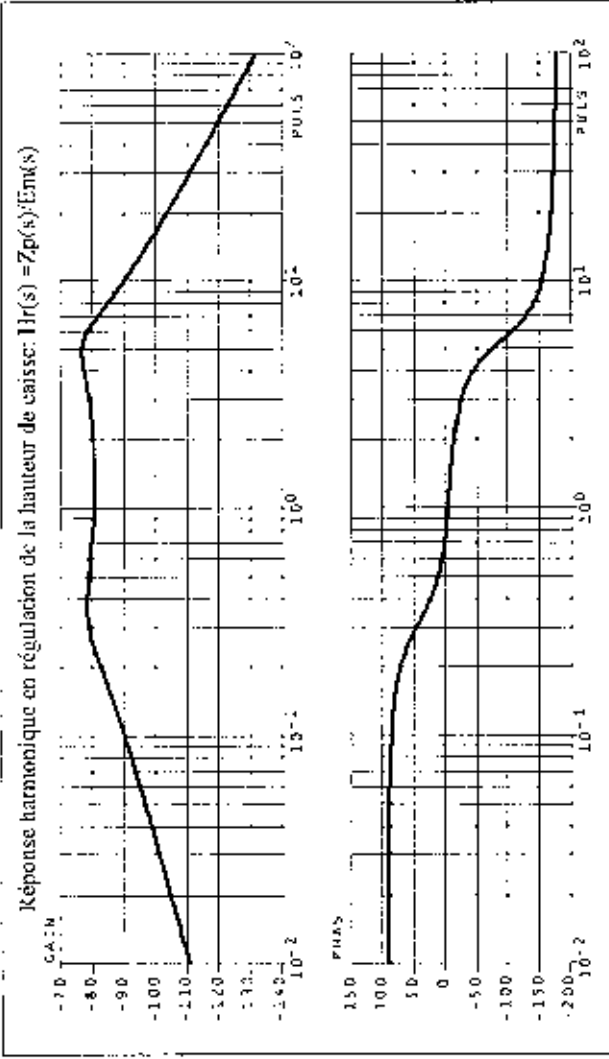
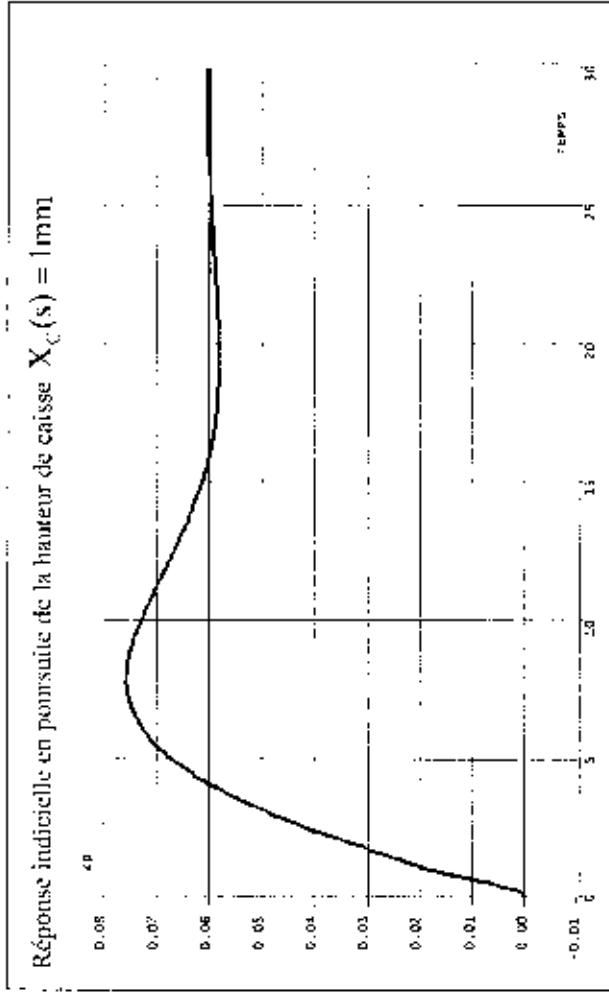
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Afin d'éviter toutes corrections intempestives, le tiroir du distributeur correcteur est freiné dans ses déplacements.

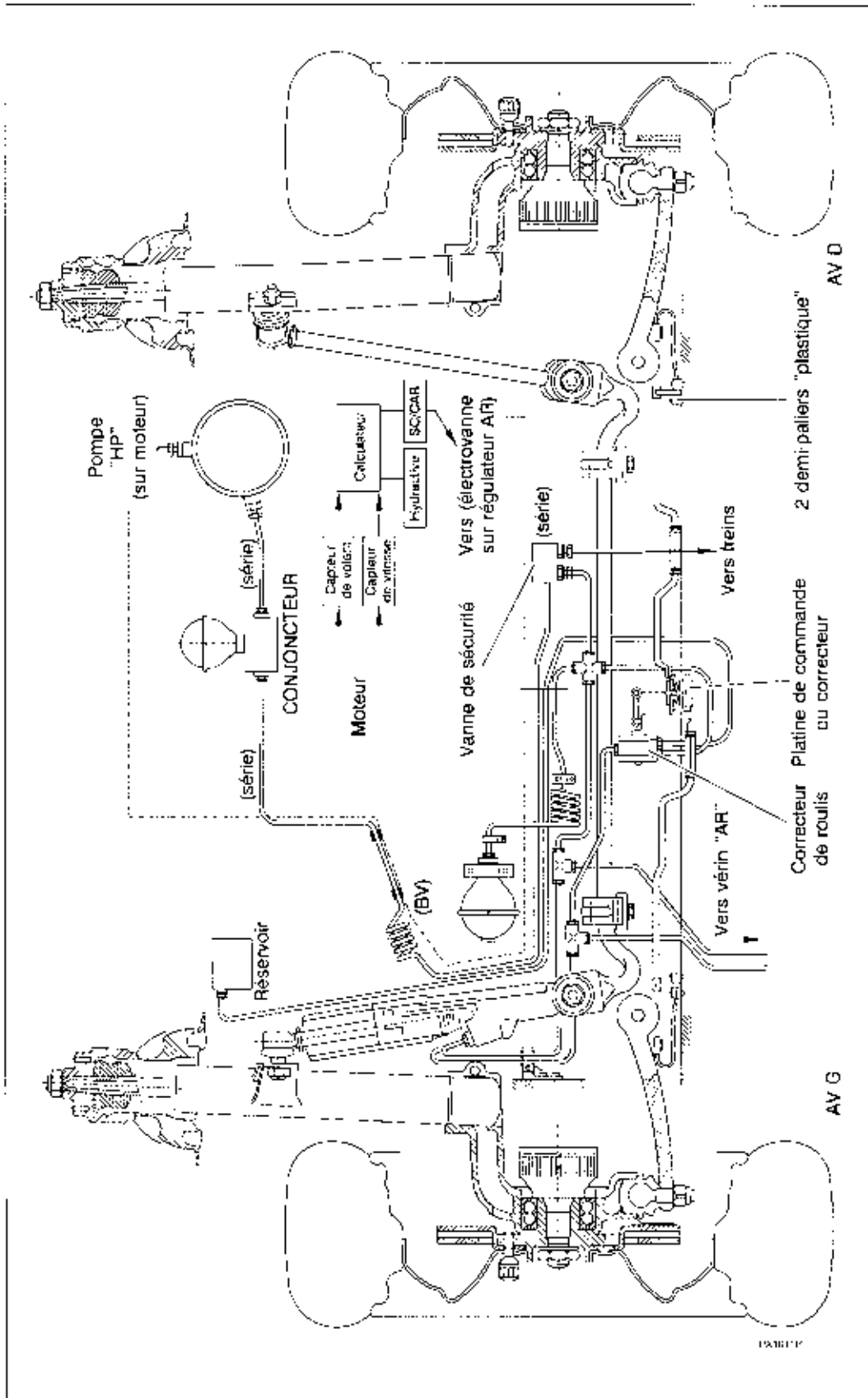
Lorsque le tiroir s'écarte de sa position neutre (admission) le clapet est plaqué sur la face de la chemise obstruant le trou T et le liquide interne au correcteur passe par le dash-pot d'où l'amortissement. Quand le tiroir tentera de revenir dans sa position neutre, le liquide passera par le trou T, d'où retour net et rapide à la position neutre.



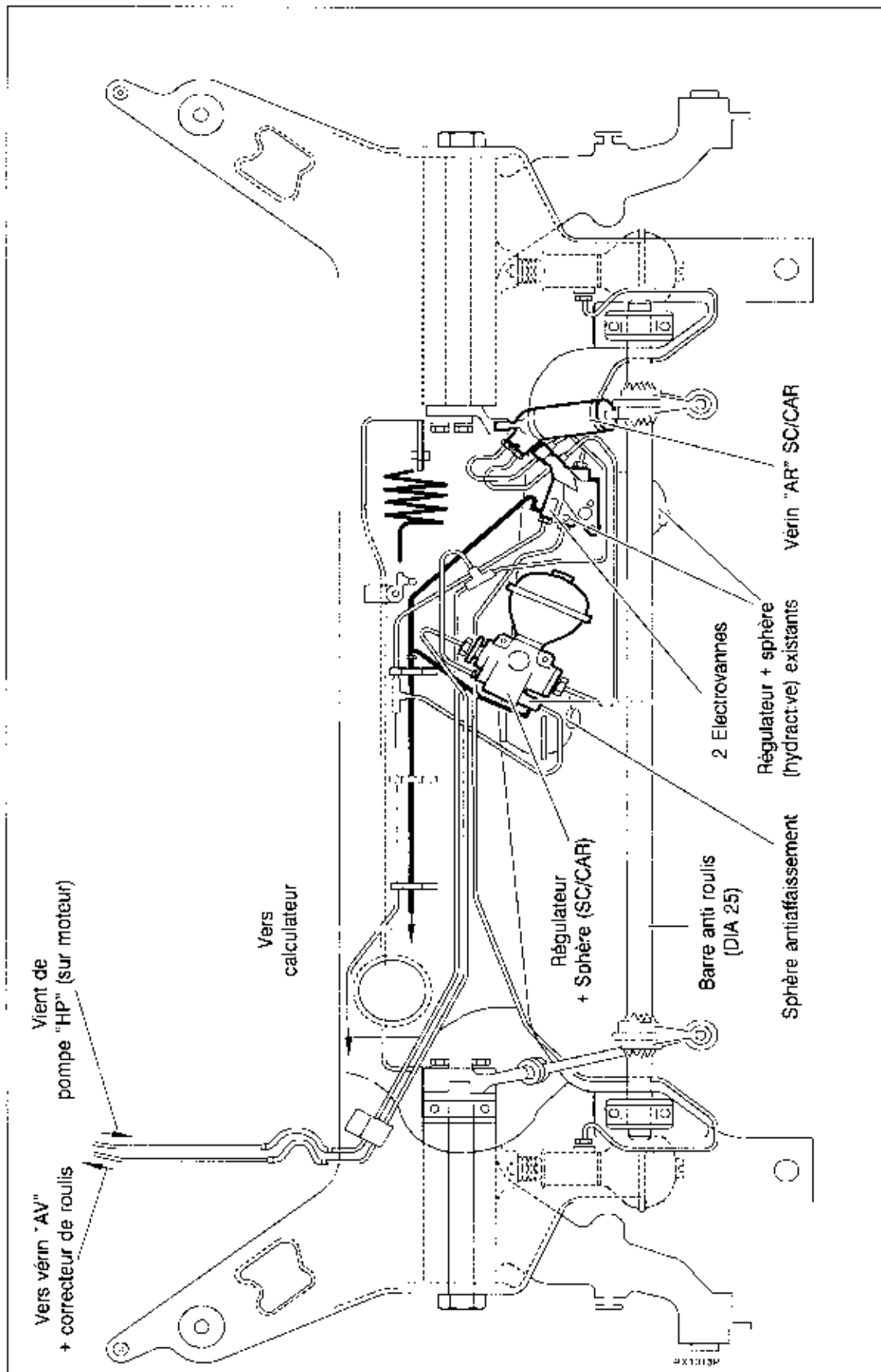
DR2 : SUSPENSION XANTIA ACTIVA EN MODE FERME
 REPONSES INDICIELLE ET HARMONIQUE



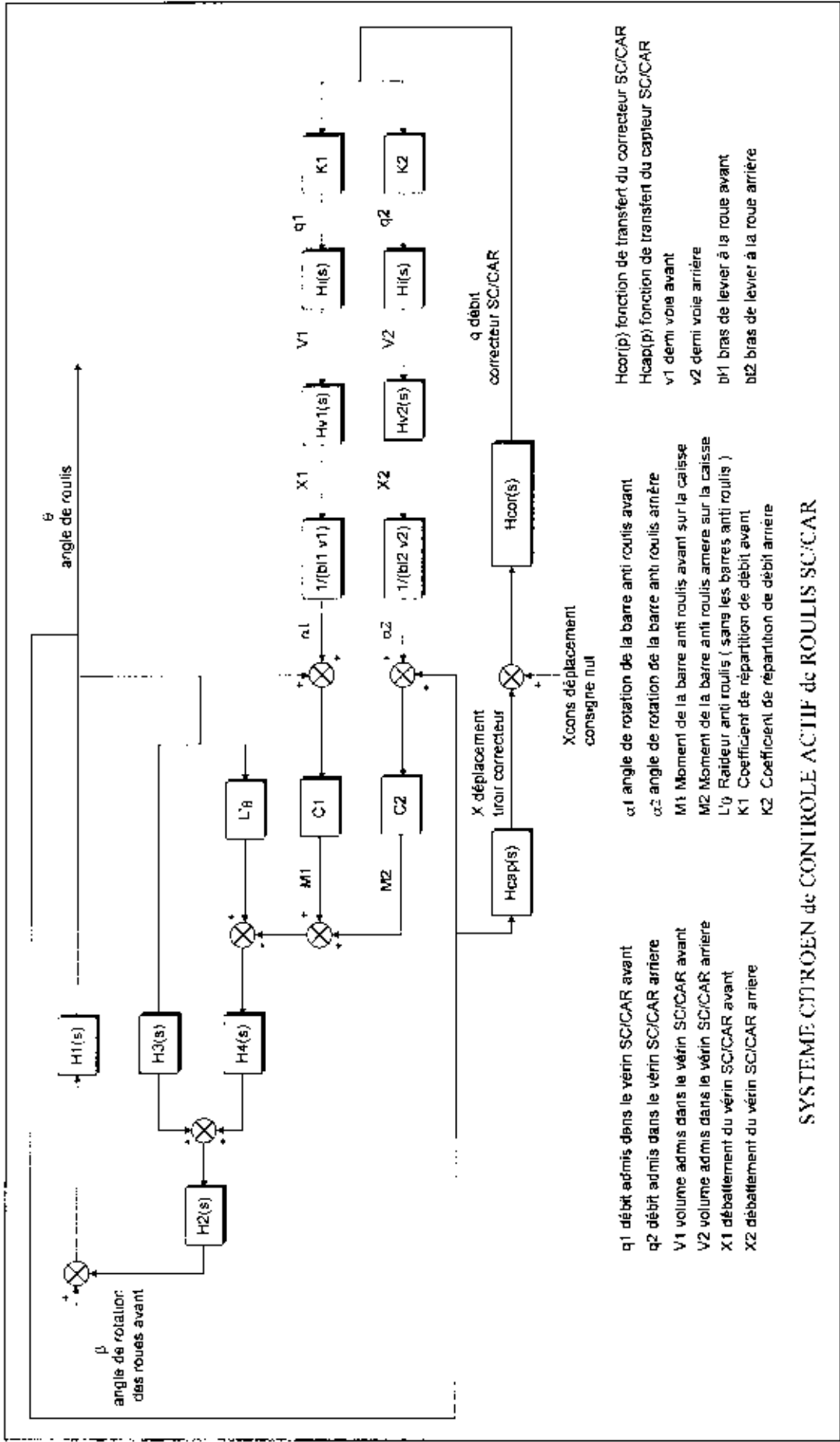
DR3A : ORGANISATION STRUCTURELLE DE LA SUSPENSION AVANT DE XANTIA ACTIVA



DR3B : ORGANISATION STRUCTURELLE DE LA SUSPENSION
ARRIERE DE XANTIA ACTIVA



DR 4 : SCHEMA FONCTIONNEL DU SYSTEME SC/CAR



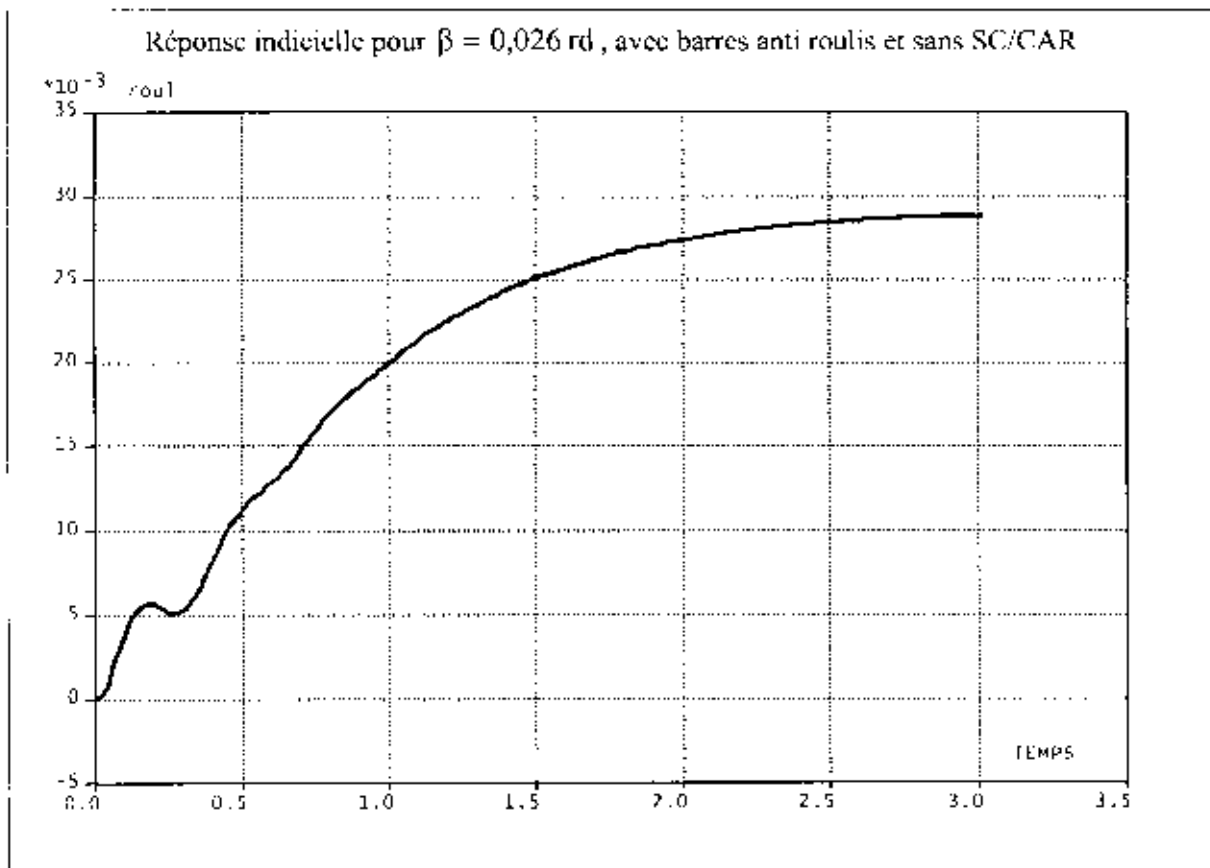
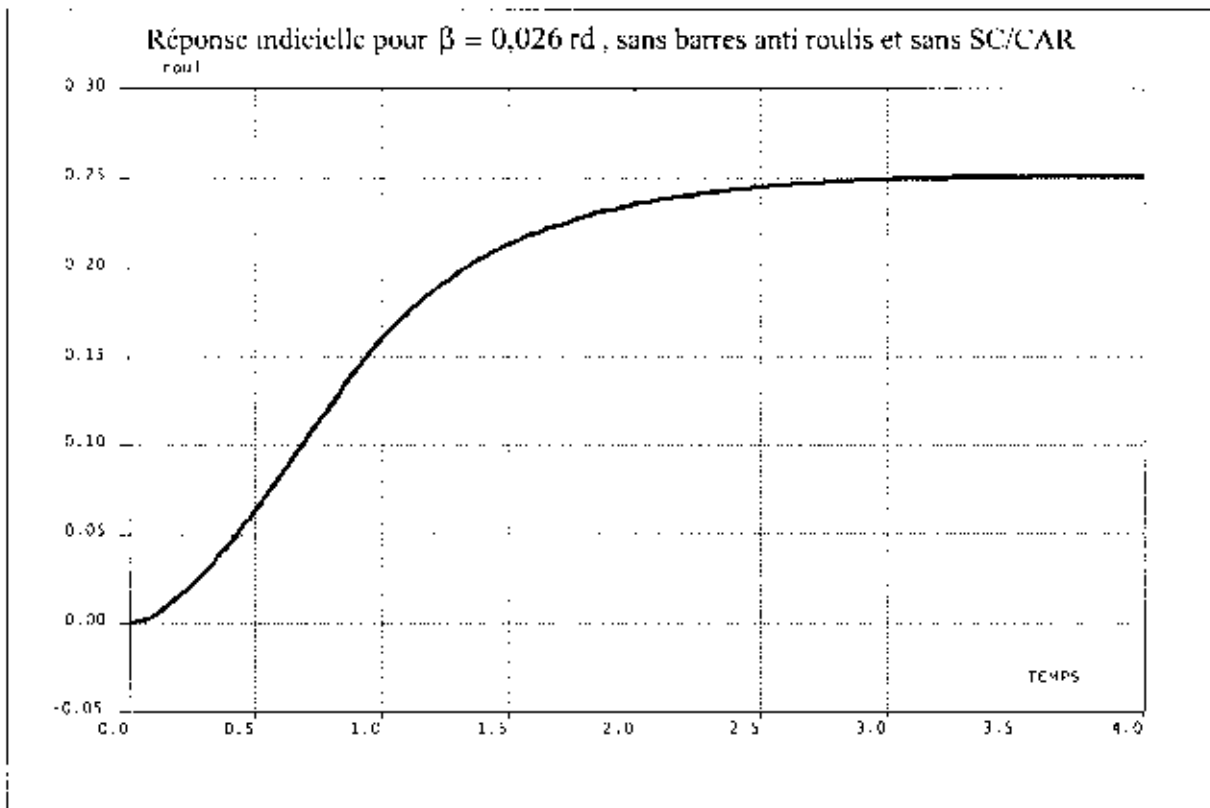
- q1 débit admis dans le vérin SC/CAR avant
- q2 débit admis dans le vérin SC/CAR arrière
- V1 volume admis dans le vérin SC/CAR avant
- V2 volume admis dans le vérin SC/CAR arrière
- X1 débit admis dans le vérin SC/CAR avant
- X2 débit admis dans le vérin SC/CAR arrière
- α_1 angle de rotation de la barre anti roulis avant
- α_2 angle de rotation de la barre anti roulis arrière
- M1 Moment de la barre anti roulis avant sur la caisse
- M2 Moment de la barre anti roulis arrière sur la caisse
- L, b Raideur anti roulis (sans les barres anti roulis)
- K1 Coefficient de répartition de débit avant
- K2 Coefficient de répartition de débit arrière
- Hcor(p) fonction de transfert du correcteur SC/CAR
- Hcap(p) fonction de transfert du capteur SC/CAR
- v1 demi voie avant
- v2 demi voie arrière
- bi1 bras de levier à la roue avant
- bi2 bras de levier à la roue arrière

SYSTEME CITROEN de CONTROLE ACTIF de ROULIS SC/CAR

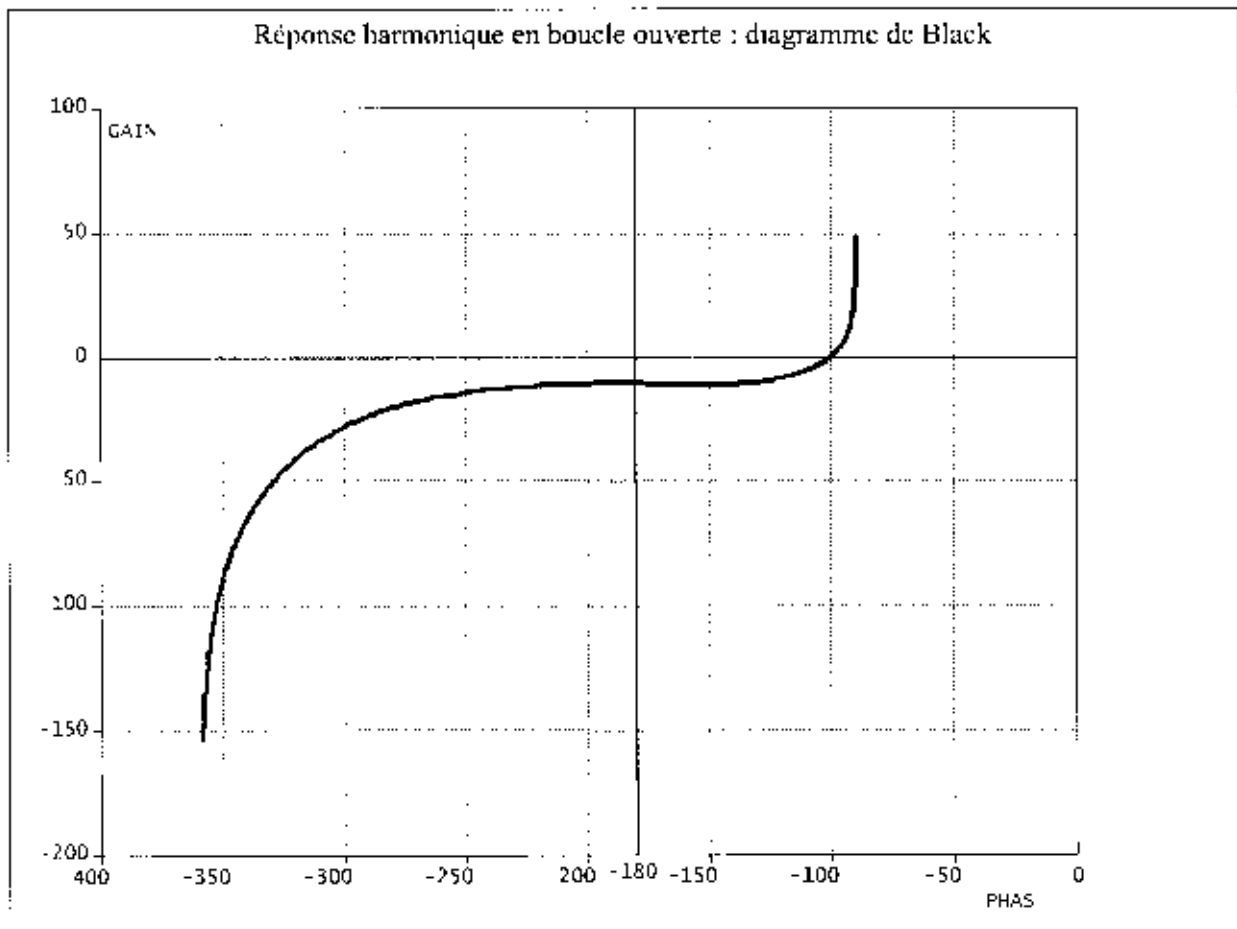
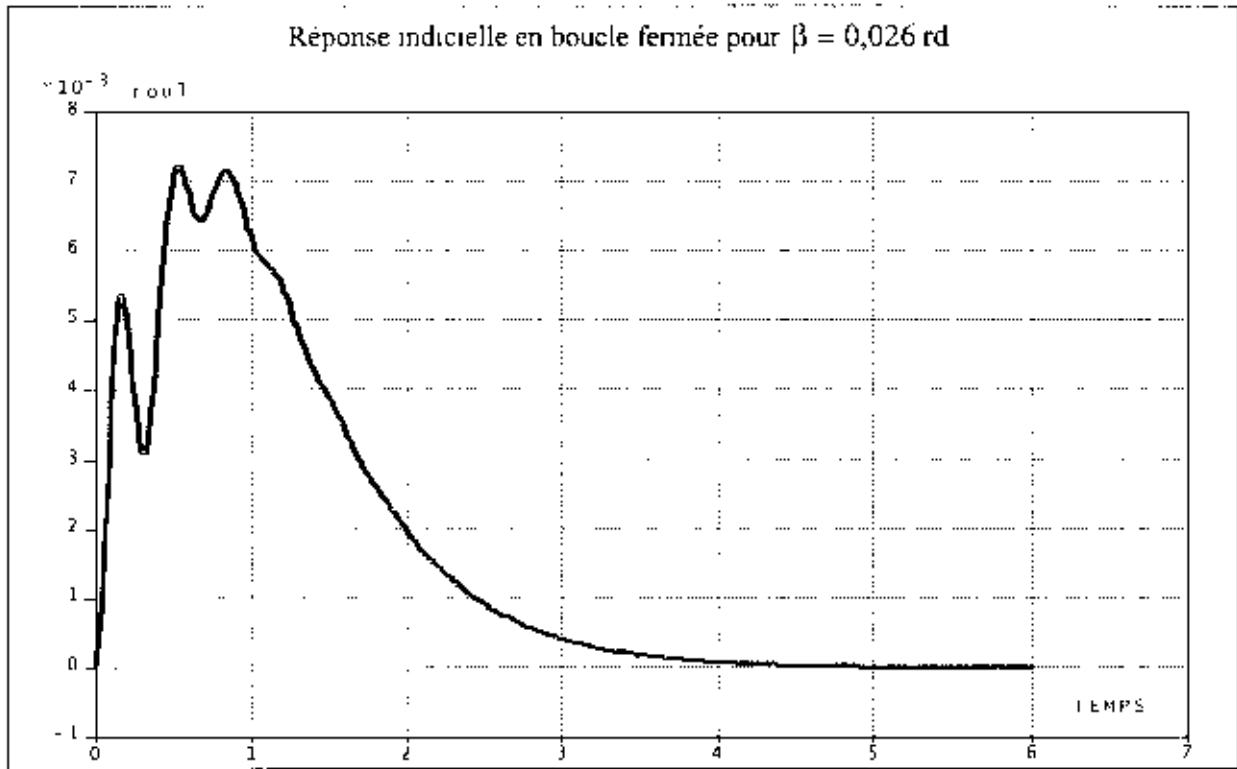
DR5 : CARACTERISTIQUES DU VEHICULE XANTIA ACTIVA V6

Masses et inerties			
		valeur	Unité S.I.
Masse totale (en charge/ à vide)	M_T	1771/1451	kg
Masse de la caisse (en charge/ à vide)	M	1617/1297	kg
Masse de l'ensemble roues	m	154	kg
Moment d'inertie roulis	A	510	kg m ²
Moment d'inertie lacet	C	3015	kg m ²
Produit d'inertie	E	50	kg m ²
Géométrie			
Distance G essieu avant (en charge/ à vide)	l_1	1,4/1,24	m
Distance G essieu arrière (en charge/ à vide)	l_2	1,34/1,50	m
Demi- voie avant	v_1	0,74	m
Demi- voie arrière	v_2	0,73	m
Distance de G au sol	h	0,535	m
Ressorts			
Raideur par roue avant	k_1	18000	N m ⁻¹
Raideur par roue arrière	k_2	12000	N m ⁻¹
Raideur de barre anti roulis avant	C_1	96305	m N rad ⁻¹
Raideur de barre anti roulis arrière	C_2	87133	m N rad ⁻¹
Section de vérin SC/CAR avant	S_1	$2 \cdot 10^{-4}$	m ²
Section de vérin SC/CAR arrière	S_2	$4 \cdot 10^{-4}$	m ²
Bras de levier roue avant	bl_1	0,90	m
Bras de levier roue arrière	bl_2	0,50	m
Amortisseurs			
Coefficient d'amortissement de roue avant	R_1	1660	N m ⁻¹ s
Coefficient d'amortissement de roue arrière	R_2	1150	N m ⁻¹ s
Coefficient de dérive de roue	D	28662	N rad ⁻¹
Influence du conducteur			
Angle de braquage des roues avant	β_0	0,026	rad
Vitesse galiléenne du point O	V	25	m s ⁻¹
Paramètres réduits			
Rigidité totale de dérive	$Y_\alpha = 4D$		N rad ⁻¹
Rappel de lacet	$N_\alpha = 2D(l_1 - l_2)$		m N rad ⁻¹
Pouvoir directeur du train avant	$Y_\beta = 2D$		N rad ⁻¹
Raideur de roulis	$L_n = 2v_1^2 k_1 + 2v_2^2 k_2 + C_1 + C_2$		m N rad ⁻¹
Amortissement total de roulis	$R_n = 2v_1^2 R_1 + 2v_2^2 R_2$		N m s
Amortissement de lacet	$N_r = 2D(l_1^2 + l_2^2)$		m ² N rad ⁻¹
Guidage du train avant	$N_\beta = 2Dl_1$		m N rad ⁻¹

**DR 6A : SUSPENSION ACTIVA, SANS CORRECTION SC/CAR,
AVEC ET SANS BARRES ANTI ROULIS**



DR 6B : SUSPENSION ACTIVA AVEC CORRECTION SC/CAR



Rapport de M. Jean-Marc CHÉREAU, correcteur.

L'épreuve de Sciences Industrielles contribue pleinement à l'évaluation et au classement des candidats. Elle a pour finalité d'évaluer leurs compétences dans le champ des sciences industrielles défini dans le programme de classes préparatoires de la filière MP publiées dans le B.O. n°3 du 18 juillet 1996.

« A partir d'un dossier technique de systèmes industriels, les étudiants devront être capables de :

- *conduire et d'analyser les analyses fonctionnelles et structurelles, en identifiant les constituants, la circulation de l'information, les transformations et les transmissions de puissance,*
- *décrire le fonctionnement en utilisant les outils de la communication technique,*
- *vérifier les performances globales et le comportement de certains constituants en proposant les modélisations adaptées et en formulant les hypothèses nécessaires. »*

Le sujet de cette session proposait aux candidats de valider partiellement les performances du Système de suspension hydractive à contrôle actif de roulis commercialisé par Citroën sur la Xantia Activa V6 dont la réalisation fait appel aux technologies les plus modernes. Ce support a été retenu car il est le fruit de l'intégration de plusieurs spécialités et tout particulièrement de la mécanique et de l'automatique.

Il est à noter que la construction de l'épreuve a bénéficié de la collaboration exemplaire de PSA PEUGEOT CITROEN. Ce contact direct avec les ingénieurs qui ont conçu et réalisé le système assure la cohérence et valide les études proposées aux candidats.

Comme pour les sessions précédentes, le document remis est composé de trois dossiers dont un dossier technique qui a pour finalité de permettre aux candidats de s'approprier le problème industriel. Cette année, il était constitué :

- d'extraits du Cahier Des Charges Fonctionnel (C.D.C.F.) du système indiquant les niveaux des critères associés aux fonctions de service étudiées,
- des extraits de la norme AFNOR E 90-400,
- d'une description fonctionnelle F.A.S.T de la suspension hydractive à contrôle actif de roulis de la Citroën Xantia Activa V6,
- de la description fonctionnelle et structurelle du comportement de la suspension hydropneumatique et du comportement du Système Citroën de Contrôle Actif de Roulis (SC-CAR),
- des lois de comportements des différents éléments constituant les chaînes fonctionnelles,
- de la description du modèle de calcul dynamique du véhicule.

Dans ce contexte, les questions posées conduisaient les candidats à valider quelques-unes des fonctions de service attendues pour le système et qualifiées dans le C.D.C.F. Pour chacune d'elle, le candidat devait :

- mobiliser ses connaissances à partir d'objectifs clairement énoncés, afin d'analyser les solutions proposées,
- justifier les choix technologiques par une analyse multi points de vues,
- communiquer et interpréter les résultats obtenus sous modèles,
- évaluer l'écart entre les résultats obtenus et les critères et niveaux décrits dans le Cahier des Charges Fonctionnel.

I - Commentaires généraux concernant les résultats

Seules les copies des candidats admissibles sont corrigées. Le nombre total de copies des candidats français admissibles est de 137. Il y a peu de notes très basses. La moyenne de l'épreuve est de 11,6/20 et l'écart-type est de 3,4. Les quelques très bonnes copies valident la faisabilité du sujet. La distribution des notes est la suivante :

$0 \leq N < 4$	2%
$4 \leq N < 8$	10%
$8 \leq N < 12$	45%
$12 \leq N < 16$	33%
$16 \leq N \leq 20$	10%

II - Commentaires sur les réponses des candidats français

Confort vibratoire et comportement physiologique du corps humain

Question 1 : les candidats ont à 95 % correctement interprété les courbes fournies par la norme E 90-400.

Présentation de la suspension Activa

Question 2 : Environ 90% des candidats se sont contentés de recopier les fonctions techniques du F.A.S.T sans commentaires particuliers. Les autres ont bien montré qu'il était nécessaire de gérer des compromis pour assurer la tenue de route du véhicule et le confort des occupants.

Étude de la fonction FT12 : Maintenir la garde au sol

Question 3 : L'ensemble des candidats a convenablement répondu à cette question.

Question 4 : 10 % des candidats ont eu quelques difficultés à linéariser autour du point d'équilibre.

Question 5 : L'ensemble des candidats a convenablement répondu à cette question.

Question 6 : Les réponses proposées sont convenables. Il est à regretter que certains candidats ne sachent pas représenter un système d'équations en schéma bloc.

Question 7 : 20% des candidats ont du mal à construire un schéma bloc à partir d'un schéma fonctionnel et des lois de comportement des sous-ensembles linéarisées autour du point de fonctionnement.

Question 8 : L'ensemble des candidats a convenablement répondu à cette question.

Question 9 : L'ensemble des candidats a convenablement répondu à cette question.

Question 10 : Des difficultés dans l’algèbre de schéma bloc pour retrouver analytiquement la fonction de transfert en régulation du modèle de la suspension hydro-pneumatique. Aucun problème pour appliquer le critère de Routh et conclure. En général, les candidats ont trouvé la marge de gain par lecture du diagramme de Bode.

Analyse du système SC-MAC (Système Citroën de maintien d’assiette constante)

Question 11 : Beaucoup de candidats ignorent encore l’effet d’intégrateur dans la chaîne de commande placé en amont de la perturbation.

Étude de FT11 : Assurer le confort vibratoire des occupants

Question 12 : Peu de candidats ont répondu précisément à cette question.

Question 13 : Les réponses proposées sont convenables.

Question 14 : Être capable de faire une synthèse des résultats obtenus, en analysant le système sous plusieurs points de vue, est primordial. Certains candidats éprouvent beaucoup de difficultés pour présenter les résultats obtenus sous les différents modèles et outils mis en œuvre. Il était demandé de remplir un tableau de résultats et de discuter les valeurs obtenues par calcul par comparaison aux données du cahier des charges fonctionnel. Seulement 20% des candidats ont répondu correctement à cette question.

Étude de FS3 : Assurer le confort postural des occupants et permettre au véhicule de « virer à plat »

Questions 15 : Énoncer le théorème du moment dynamique ne se limite pas à donner l’outil que l’on va utiliser.

Questions 16 et 17 : L’ensemble des candidats a convenablement répondu à cette question.

Questions 18, 19 et 20 : L’ensemble des candidats a convenablement répondu à cette question. Quelques erreurs de calculs tout de même.

Questions 21, 22, 23, 24, 25 et 26 : Les candidats qui ont abordé ces questions ont répondu convenablement.

Question 27 : Pas de problème pour la conclusion sur la stabilité du comportement du véhicule en roulis. Par contre très peu de candidats ont su associer un modèle au comportement du véhicule en roulis en régime établi et en régime transitoire.

Question 28 à 36 : Les candidats qui ont abordé ces questions ont répondu convenablement.

III - Conseils aux candidats

L'analyse des performances d'un produit ne peut être conduite que si l'objectif est clairement identifié et compris par le candidat. Ces performances sont précisées par les niveaux des critères associés aux fonctions de service. Comme le sujet 1999, pour faciliter cette analyse, le sujet est découpé en différentes parties. Chacune d'elles est finalisée par la validation d'un critère. Cet objectif est rappelé au début de chaque partie du sujet. Les candidats doivent donc consacrer un temps suffisant à l'appropriation de l'objectif demandé.

Par ailleurs, après avoir répondu aux différentes questions, le candidat doit effectuer le retour à l'objectif initial car il permet de conclure quant aux solutions techniques préconisées.

Afin de mieux comprendre les attentes de l'épreuve, le jury propose, en exemple, l'étude de la fonction de service FT12.

ÉTUDE DE FT12 : MAINTENIR LA GARDE AU SOL

L'objet de cette étude est de valider le choix retenu par les ingénieurs de la Société PSA-PEUGEOT CITROEN pour maintenir la garde au sol du véhicule Xantia Activa V6. La garde au sol est la distance entre le bas de la caisse du véhicule et le plan de référence du sol. Compte tenu de la symétrie du problème, seule la suspension de la roue arrière gauche sera étudiée. Le véhicule est à l'arrêt.

	Fonction de service	Critères	Niveaux
FT12	Maintenir la garde au sol	<ul style="list-style-type: none">• Stabilité• Rapidité• Amortissement• Précision	<ul style="list-style-type: none">• Marge de gain $MG > 20$ dB• Temps de réponse à 5% < 18 s• Coefficient d'amortissement $> 0,3$• Ecart statique nul• Insensibilité aux perturbations

Le contexte de l'étude est précisé pages 4, 5 et 6 du sujet, ainsi que dans les documents de ressources DR1 et DR3.

La démarche d'analyse proposée aux candidats est représentée ci-dessous :

Étape n°1 : *Réaliser une analyse structurelle de la solution préconisée. La solution retenue est donnée par le schéma de principe figure 5 et le schéma fonctionnel figure 6.*

Domaines scientifiques concernés :

Analyse de schéma fonctionnel - Identification du point de fonctionnement par ses différentes coordonnées (variables intermédiaires du schéma fonctionnel) - Définition des conditions initiales - Étude en poursuite et ou en régulation.

Étape n°2 : *A partir des lois de comportement des différents sous systèmes de la chaîne fonctionnelle, déterminer les fonctions de transfert des différents blocs. Une représentation structurelle est alors nécessaire.*

Domaines scientifiques concernés :

Dessin d'ensemble - Schéma cinématique - Lecture et interprétation des données.
Paramétrage des différents mouvements - Répartition des masses.

Étape n°3 : *Formuler les hypothèses nécessaires pour établir les lois de comportement des différents sous systèmes.*

Domaines scientifiques concernés :

Linéarisation autour du point de fonctionnement, représentation d'un système d'équations en schéma bloc.

Étape n°4 : *Transformer le schéma fonctionnel en schéma bloc. Déterminer les différentes fonctions transferts (en boucle ouverte et en boucle fermée).*

Domaines scientifiques concernés :

Linéariser autour du point de fonctionnement, transformer un système d'équations en schéma bloc.

Étape n°5 : *Mettre en œuvre les outils adéquats pour obtenir les résultats par résolution du système d'équations différentielles linéarisées.*

Domaines scientifiques concernés :

Géométrie vectorielle - Linéarisation des équations autour du point de fonctionnement.

Étape n°6 : *Comparer les résultats obtenus avec les performances attendues et conclure par rapport à l'objectif initial.*