

# Automatique Systèmes linéaires continus et invariants

1	PRESI	ENTATION DE L'ETUDE	1
		NFORT VIBRATOIRE ET COMPORTEMENT PHYSIOLOGIQUE DU CORPS HUMAIN	3 <i>3</i>
2	PRESI	ENTATION DE LA SUSPENSION ACTIVA V6	4
		S MODES DE FONCTIONNEMENT DE LA SUSPENSION ACTIVA	
3	ÉTUD	E DE FT12 : MAINTENIR LA GARDE AU SOL	5
	3.2 Mo 3.2.1 3.2.2 3.2.3 3.2.4	NTEXTE DE L'ETUDE  DELE D'ETUDE DE LA SUSPENSION HYDROPNEUMATIQUE EN MODE FERME  Modèle associé à la sphère de roue  Modèle associé au correcteur de hauteur de caisse  Étude en poursuite de la suspension hydropneumatique en mode ferme $\left(E_m(s)=0\right)$ Etude en régulation de la suspension hydropneumatique en mode ferme $\left(X_C(s)=0\right)$ IALYSE DU SYSTEME SC/MAC	7 8 9
4	ETUD	E DE FT11 : ASSURER LE CONFORT VIBRATOIRE DES OCCUPANTS	9
5	DOSSI	ER RESSOURCES	11
		SUSPENSION HYDRACTIVE A CONTROLE ACTIF DE ROULIS	

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

# 1 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.

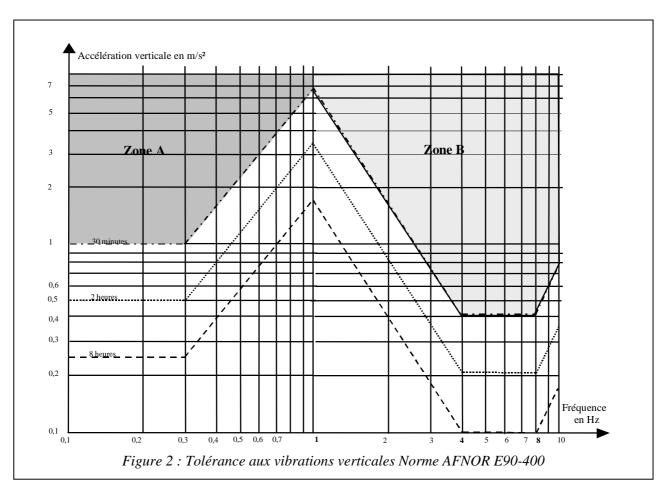
Pour une masse de caisse donnée, une **raideur** faible de la suspension permet d'absorber efficacement les irrégularités de la route.

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).



#### **Ouestion 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  $f_C = 1 \, Hz$ . 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 hydractive

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.

#### 1.2.2 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,

Problème 1 citroen Xantia Activa énoncé Page 3 sur 3

- 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 **M**aintien 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.

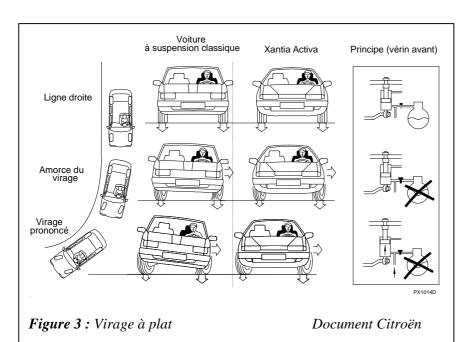
## 2 PRESENTATION DE LA SUSPENSION ACTIVA V6

#### 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).



anti roulis avant et arrière.

# 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 :

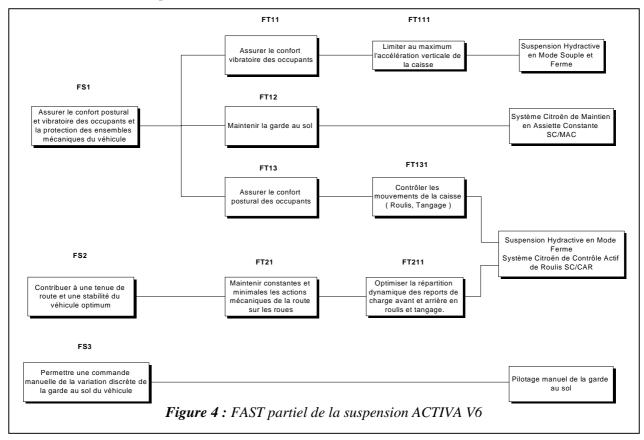
La tenue de route est privilégiée, le Mode ferme est maintenu, le roulis augmente. La caisse est ramenée horizontalement par l'action conjuguée des vérins SC/CAR et des barres

#### **Ouestion 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.



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 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.

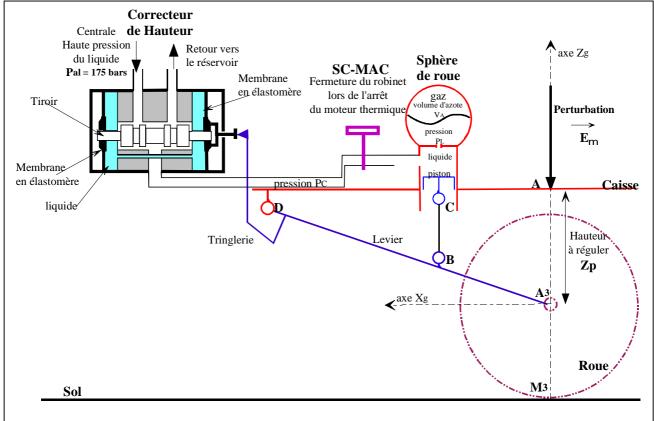
	Fonction de service	Critères	Niveaux
FT12	Maintenir la garde au sol	■ Stabilité	■ Marge de gain MG > 20 dB
		■ Rapidité	■ Temps de réponse à 5% <18 s
		<ul><li>Amortissement</li></ul>	■ Coefficient d'amortissement > 0,3
		<ul> <li>Précision</li> </ul>	■ Ecart statique nul
			<ul> <li>Insensibilité aux perturbations</li> </ul>

#### 3.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

Le document ressource DR3 présente l'organisation structurelle 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.

Problème 1 citroen Xantia Activa énoncé Page 5 sur 5



# Figure 5 : Suspension hydropneumatique avec correction de hauteur de caisse (roue arrière)

#### Modèle cinématique :

On associe le repère  $R_c(A,\vec{X}_c,\vec{Y}_c,\vec{Z}_c)$  à la caisse et le repère  $R_g(A_3,\vec{X}_g,\vec{Y}_g,\vec{Z}_g)$  à la roue.  $R_g(A_3,\vec{X}_g,\vec{Y}_g,\vec{Z}_g)$  est considéré comme galiléen. Le mouvement de la caisse par rapport au repère galiléen est une translation d'axe  $\vec{Z}_g$ , d'où  $\overline{A_3A} = Z_p(t)\vec{Z}_g$ .

On note 
$$\vec{V}(A \in R_C/R_g) = V_Z \vec{Z}_g$$
 et  $\vec{\Gamma}(A \in R_C/R_g) = \Gamma_Z \vec{Z}_g$ .

## Modèle dynamique :

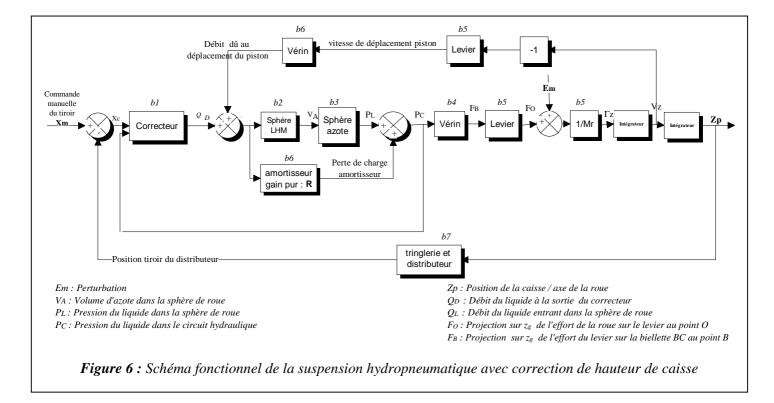
- La roue est supposée indéformable;  $\overrightarrow{A_3M_3} = -R \ \overrightarrow{Z}_g$ , R est le rayon de la roue.
- Le vecteur  $\overrightarrow{BC}$  est supposé vertical autour du point de fonctionnement  $M_0$ :  $\overrightarrow{BC} = \lambda \ \vec{Z}_g$
- Les actions mécaniques exercées par la roue sur le levier DA<sub>3</sub> sont modélisables par le torseur suivant :

$$T(\text{Roue} \rightarrow \text{Levier}) = \begin{cases} \vec{F}(R \rightarrow L) = \vec{f}(t) + M_r \text{ g } \vec{Z}_g \\ \vec{M}(A_3, R \rightarrow L).\vec{Y}_g = 0 \end{cases} \text{ avec } M_r = 400 \text{ kg.}$$

- L'accélération de la pesanteur : g = 9,81 ms<sup>-2</sup>
- La perturbation est créée par un effort  $\vec{E}_{\rm m} = -E_{\rm m}.\vec{Z}_{\rm g}$  appliqué en A.

Problème 1 citroen Xantia Activa énoncé Page 6 sur 6

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



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 :

$$Z_P(0) = Z_0$$
;  $X_C(0) = X_0$ ;  $P_L(0) = P_S$  (mode ferme);  $Q_D(0) = Q_0$ ;  $V(0) = V_S$ ;  $P_D(0) = M_R$  g

L'instant initial  $\,t=0\,$  correspond à l'instant où la caisse est à l'équilibre par rapport au repère galiléen  $\,R_{\,g}\,$ .

• 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
$P_0$	Pression de tarage de l'azote de la sphère de roue	40 10 <sup>5</sup> Pa
$V_0$	Volume initial de l'azote de la sphère de roue	450 cm <sup>3</sup>
$V_{\rm S}$	Volume statique de l'azote de la sphère de roue	
P <sub>s</sub>	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	
$P_{L}(t) = P_{A}(t)$	Pression instantanée du liquide dans la sphère de roue	
K <sub>L</sub>	Rapport du bras de levier. $F_O = K_L.F_B$	0,35
$D_{P}$	Diamètre du piston du vérin	37 mm
$S_{P}$	Section du piston du vérin	
R <sub>A</sub>	Gain d'amortisseur de sphère de roue	9,375 10 <sup>9</sup> N s m <sup>-5</sup>

Problème 1 citroen Xantia Activa énoncé Page 7 sur 7