

~~CONFIDENTIEL~~ 10 ans

50376

1996

508.2

N° d'ordre :

**THESE**

Présentée à

**L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE**

Pour obtenir le grade de Docteur d'Université

**Spécialité Productique : Automatique et Informatique Industrielle**

par

**Franck GUILLEMARD**  
Ingénieur Centrale Lille

**PRESENTATION D'UNE METHODOLOGIE GENERALE**  
**POUR L'ANALYSE ET LA COMMANDE**  
**DES SYSTEMES PHYSIQUES :**  
**APPLICATION AU CAS DE**  
**LA SUSPENSION OLEOPNEUMATIQUE ACTIVE**

**- ANNEXES -**

Soutenue le 05 Novembre 1996 devant le Jury d'examen :

<b>P. BORNE</b>	Président du Jury
<b>M. LEBRUN</b>	Rapporteur
<b>A. OUSTALOUP</b>	Rapporteur
<b>D. CAMON</b>	Examineur
<b>J.P. CASSAR</b>	Examineur
<b>G. DAUPHIN-TANGUY</b>	Examineur
<b>N. LARTIGUE</b>	Examineur
<b>A. RAULT</b>	Examineur

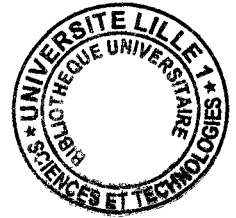
Directeur de travail : Professeur **G. DAUPHIN-TANGUY**

SCD LILLE 1



D 030 301810 1





## Annexes.

## Annexe (3-1)

### Définitions des valeurs caractéristiques en boucle fermée

❶ **Marge de gain :**

La marge de gain exprime l'écart en gain par rapport à 0 dB pour un déphasage de -180° du signal en boucle ouverte.

$$m_g = -20 \log_{10} |G_{BO}(j\omega_{-180})| \quad \{3-1-1\}$$

avec :

$$\arg G_{BO}(j\omega_{-180}) = -180^\circ$$

❷ **Marge de phase :**

Elle caractérise l'écart en phase par rapport à -180° lorsque le gain du système en boucle ouverte est égal à 1 ( 0 dB ) ( pour la fréquence la plus faible s'il y a plusieurs possibilités ).

$$m_\varphi = 180 + \varphi_0 \quad \{3-1-2\}$$

avec :

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= \arg G_{BO}(j\omega_0) \\ |G_{BO}(j\omega_0)| &= 1 \end{aligned} \quad \{3-1-3\}$$

❸ **Surtension (ou facteur de résonance):**

Il s'agit de la différence entre le gain à la résonance et le gain statique en boucle fermée de la fonction de transfert en boucle fermée du paramètre asservi.

$$S = 20 \log_{10} |G_{BF}(j\omega_{res})| - 20 \log_{10} |G_{BF}(0)| \quad \{3-1-4\}$$

❹ **Bande passante à -3dB:**

Fréquence la plus faible pour laquelle le gain de la fonction de transfert considérée en boucle fermée est égal au gain statique - 3dB.

❺ **Fréquence de résonance:**

La fréquence pour laquelle le gain de la fonction de transfert considérée est le plus grand. (Cela n'exclut pas la présence d'autres fréquences de résonance secondaires dont les gains sont plus faibles mais constituent néanmoins des optimums locaux).

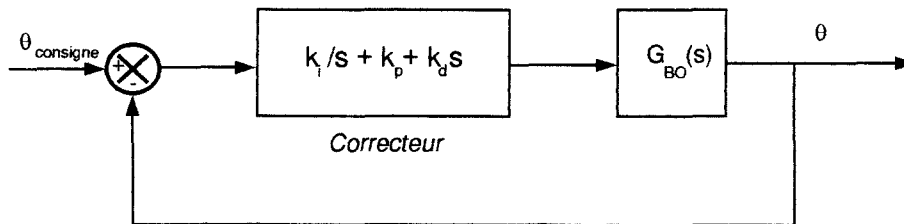
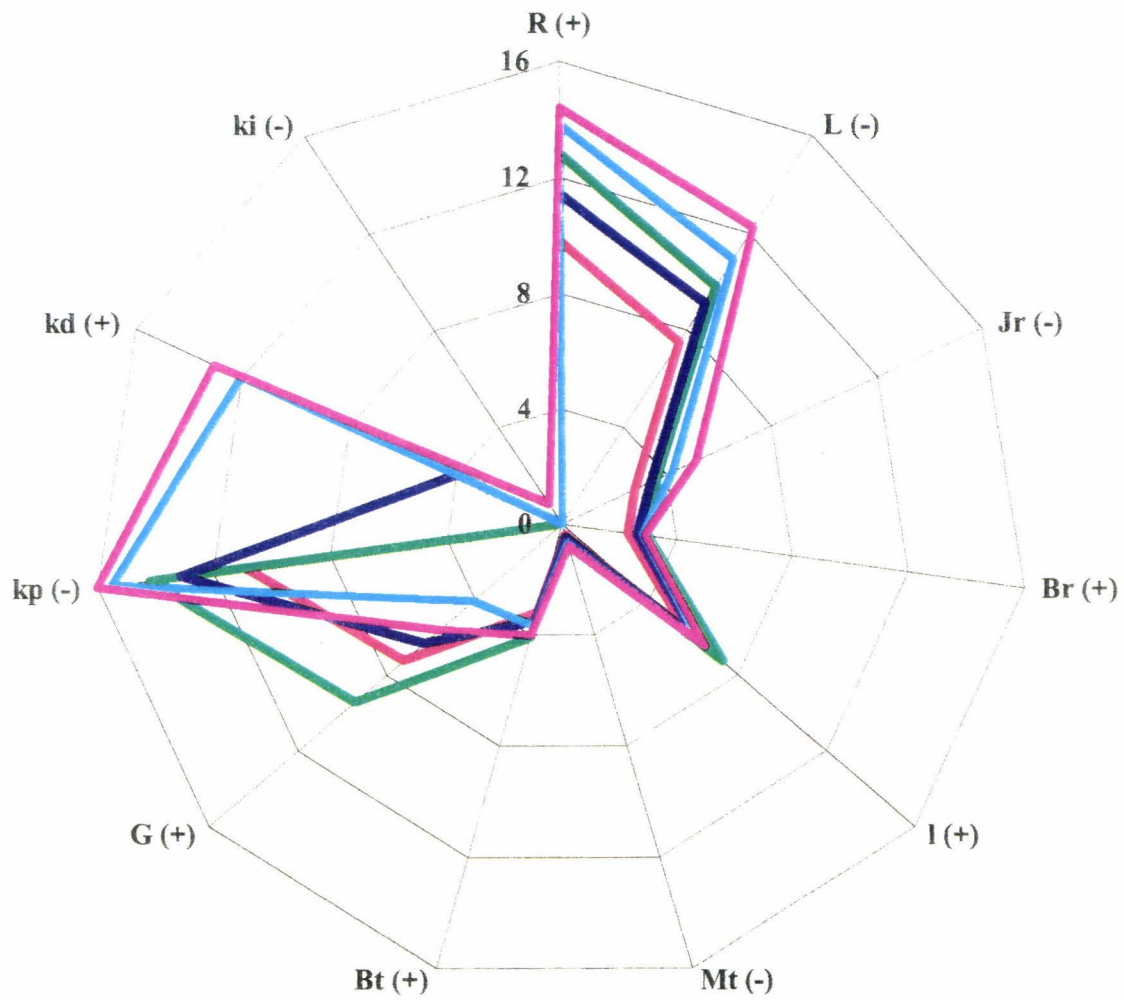


Figure (3-1-1) Asservissement réalisé

## Annexe (3-2)

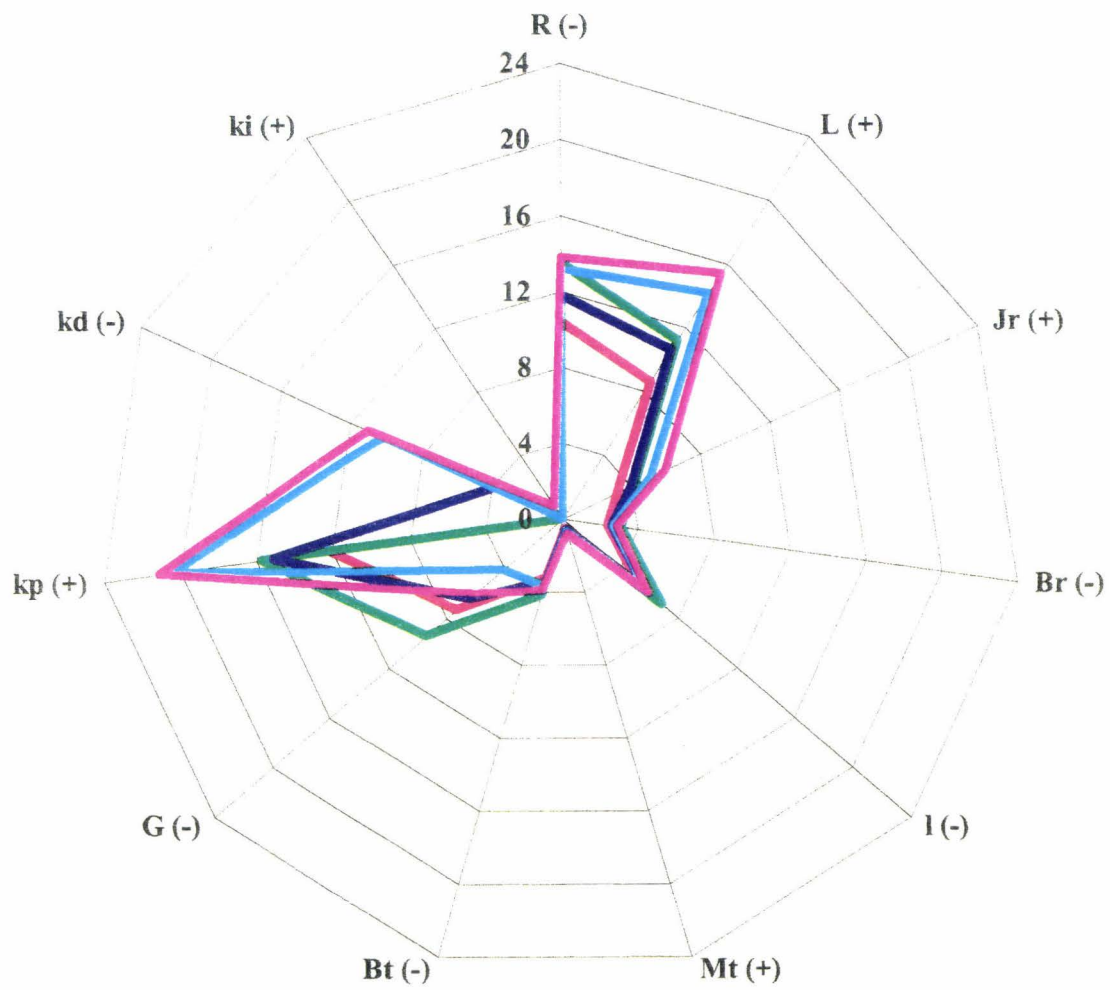
### Etude de sensibilité de la servovalve en boucle fermée

### Variation marge de gain (%) sur +10% variation paramètres



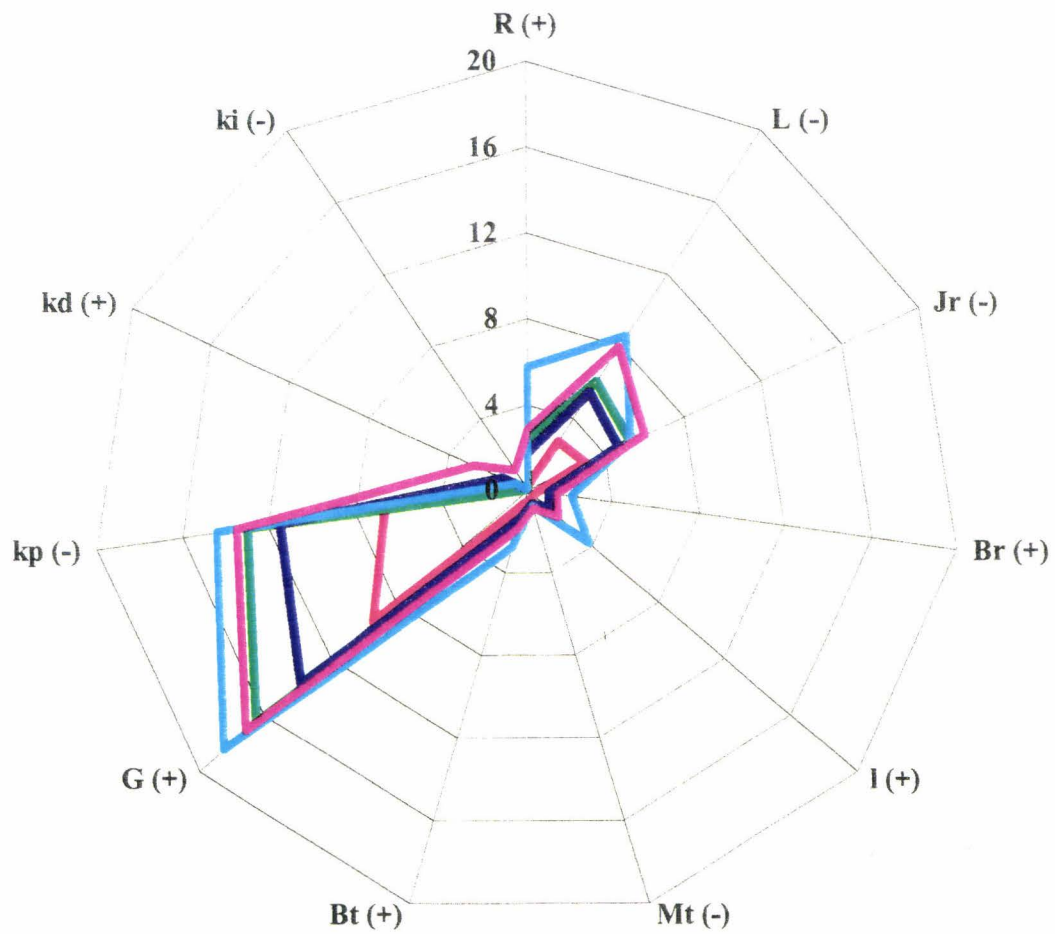
— kp=13   
 — kp=15.9   
 — kp=16, kd=0.02   
 — kp=18, kd=0.05   
 — kp=18, kd=0.05, ki=500

### Variation marge de gain (%) sur -10% variation paramètres



—  $kp=13$    
 —  $kp=15.9$    
 —  $kp=16, kd=0.02$    
 —  $kp=18, kd=0.05$    
 —  $kp=18, kd=0.05, ki=500$

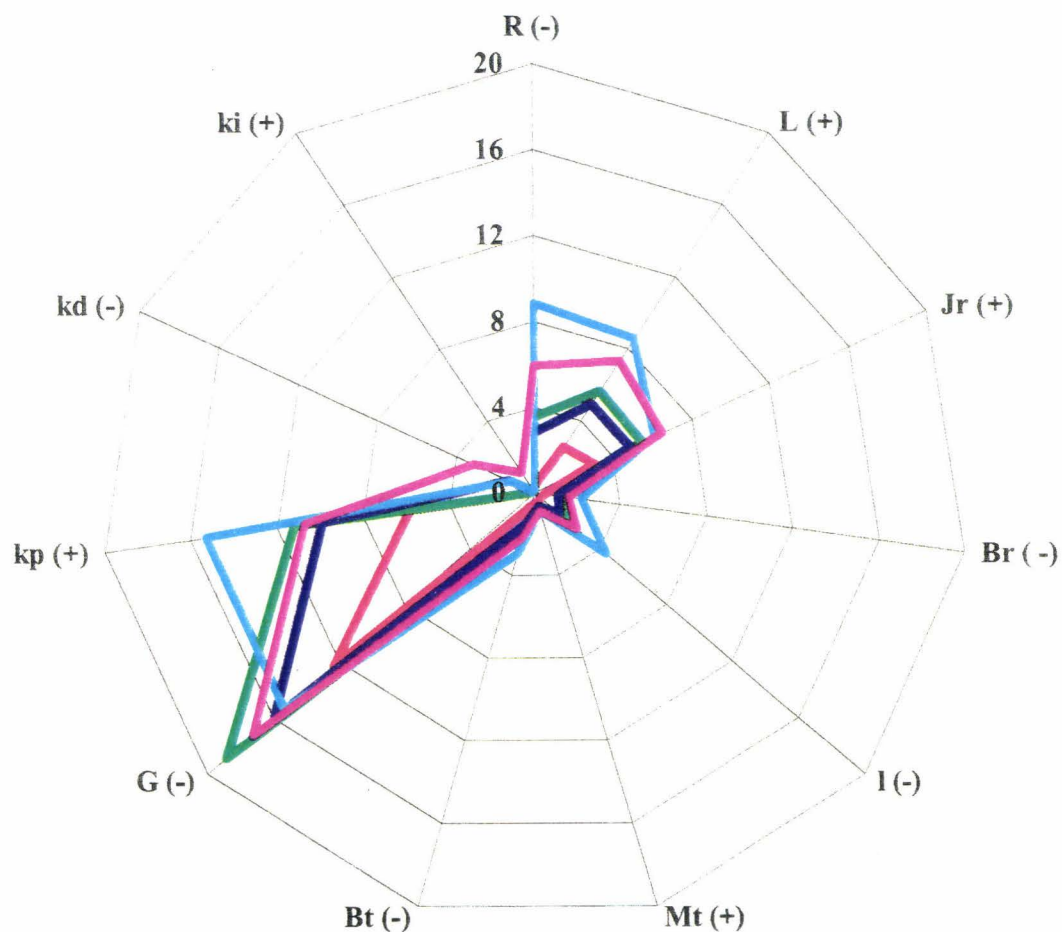
## Variation marge de phase (%) sur +10% variation paramètres



—  $k_p=13$   
 —  $k_p=15.9$   
 —  $k_p=16, k_d=0.02$   
 —  $k_p=18, k_d=0.05$   
 —  $k_p=18, k_d=0.05, k_i=500$

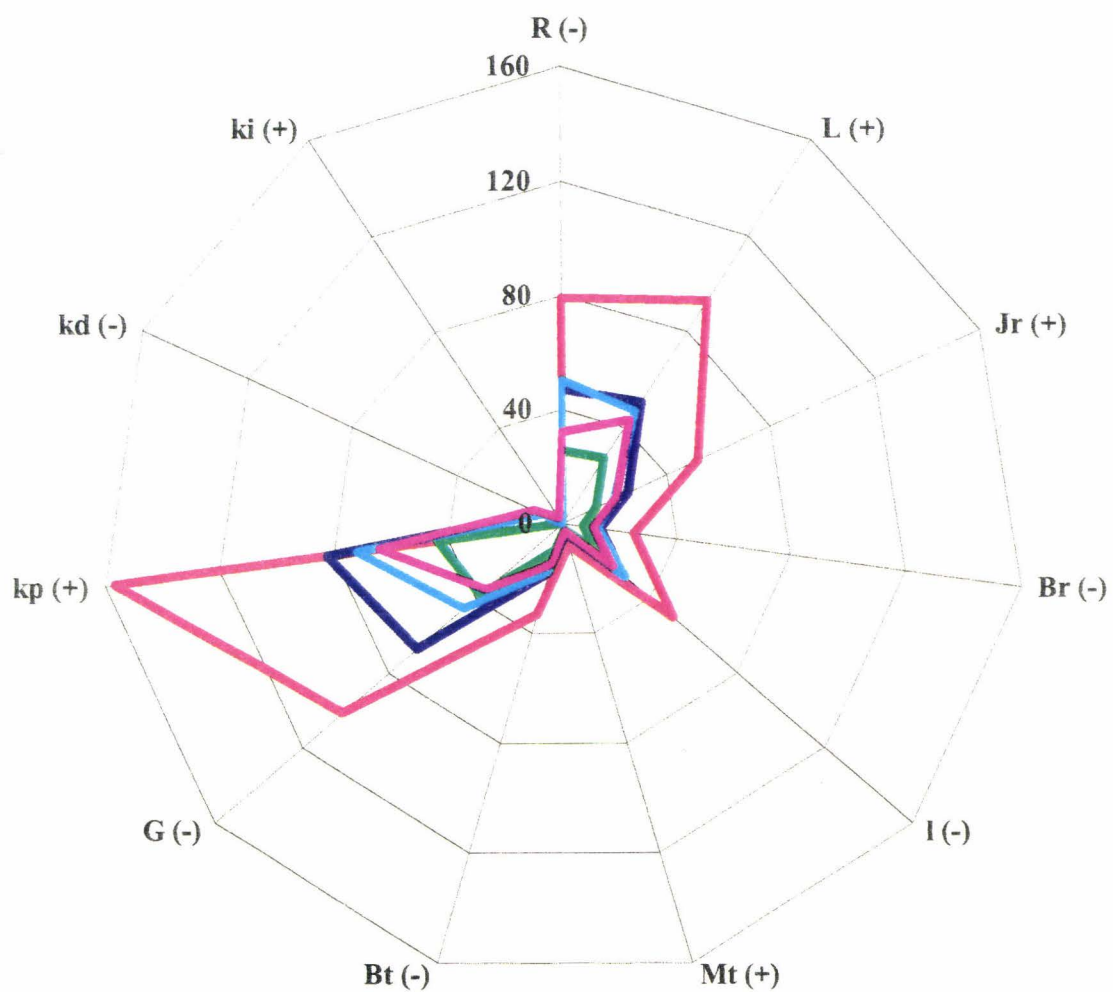


### Variation marge de phase (%) sur -10% variation paramètres



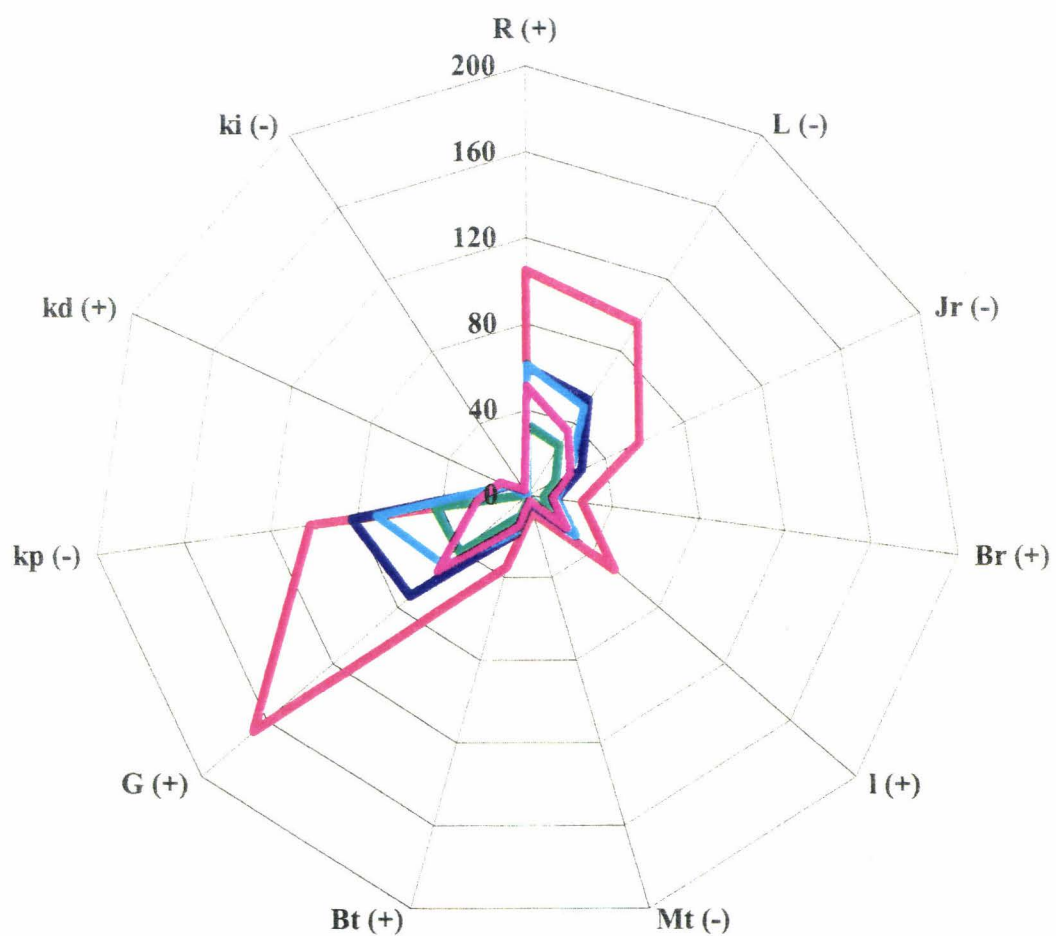
— kp=13   
 — kp=15.9   
 — kp=16, kd=0.02   
 — kp=18, kd=0.05   
 — kp=18, kd=0.05, ki=500

### Variation de la surtension (%) sur +10% variation paramètres



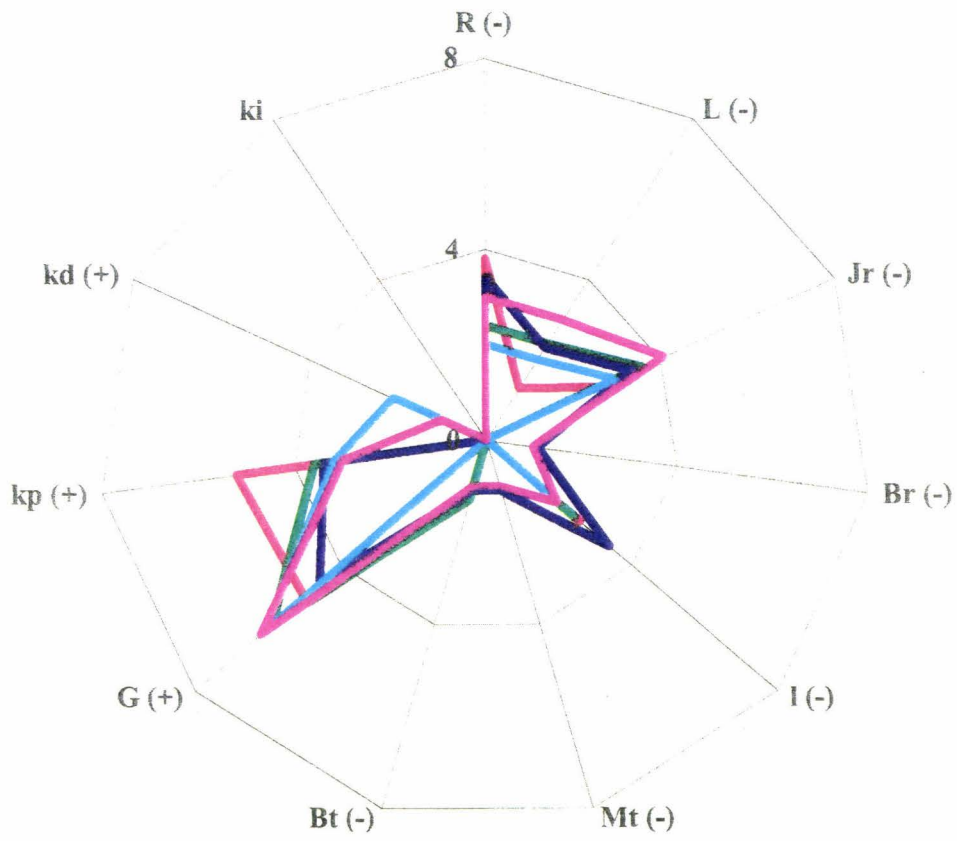
—  $kp=13$   
 —  $kp=15.9$   
 —  $kp=16, kd=0.02$   
 —  $kp=18, kd=0.05$   
 —  $kp=18, kd=0.05, ki=500$

### Variation de la surtension (%) sur -10% variation paramètres



—  $k_p=13$   
 —  $k_p=15.9$   
 —  $k_p=16, k_d=0.02$   
 —  $k_p=18, k_d=0.05$   
 —  $k_p=18, k_d=0.05, k_i=500$

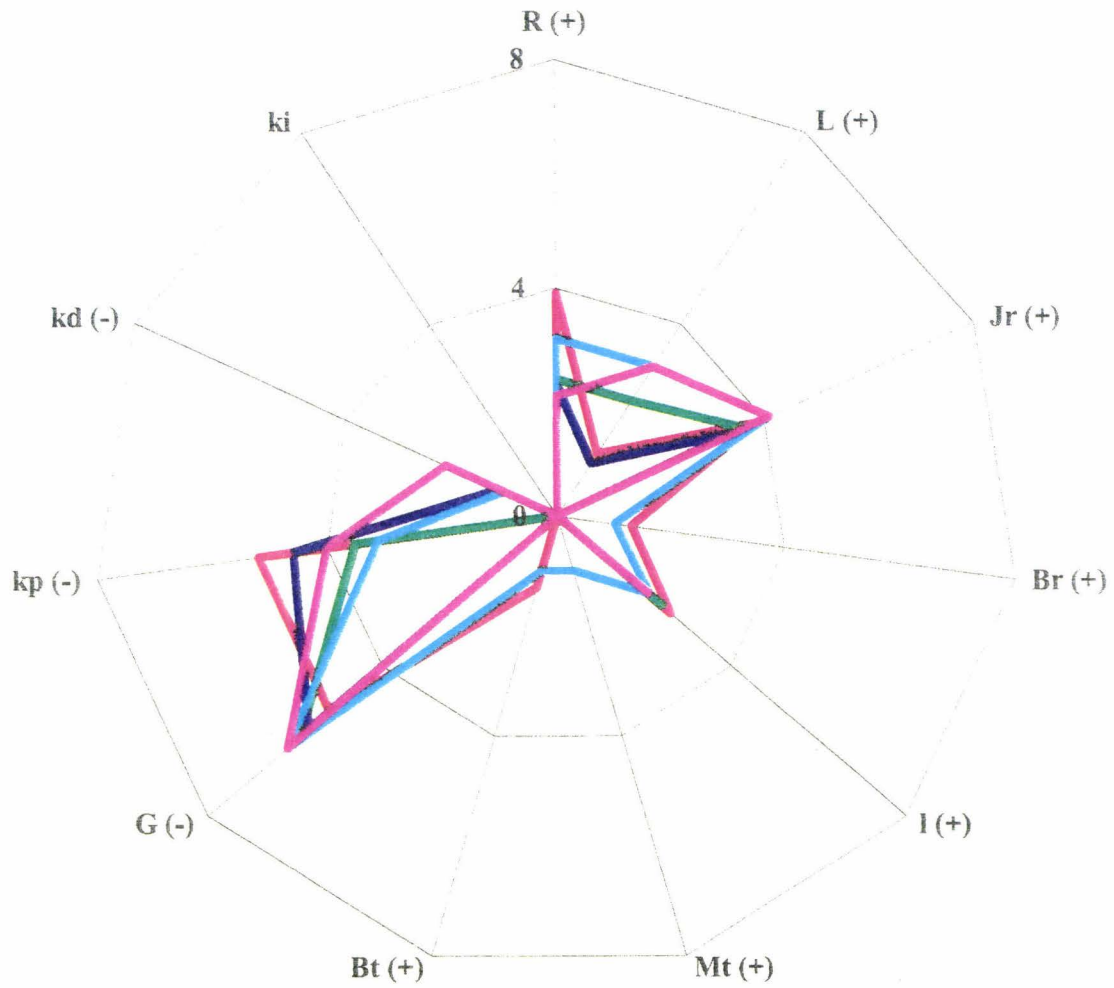
Variation bande passante à -3dB (%) sur +10% variation paramètres



—  $k_p=13$   
 —  $k_p=15.9$   
 —  $k_p=16, k_d=0.02$   
 —  $k_p=18, k_d=0.06$   
 —  $k_p=18, k_d=0.06, k_i=500$

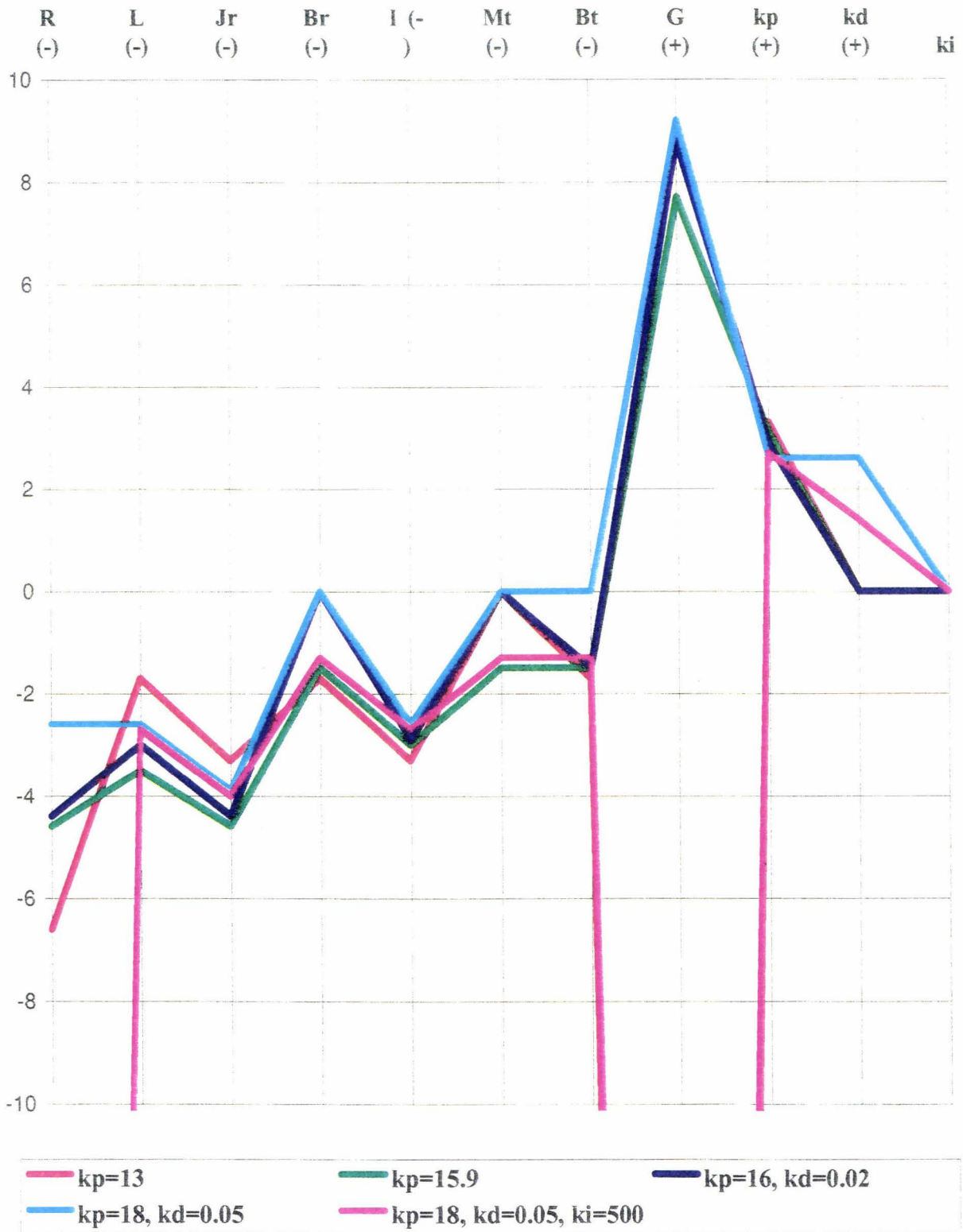


### Variation bande passante à -3dB (%) sur -10% variation paramètres

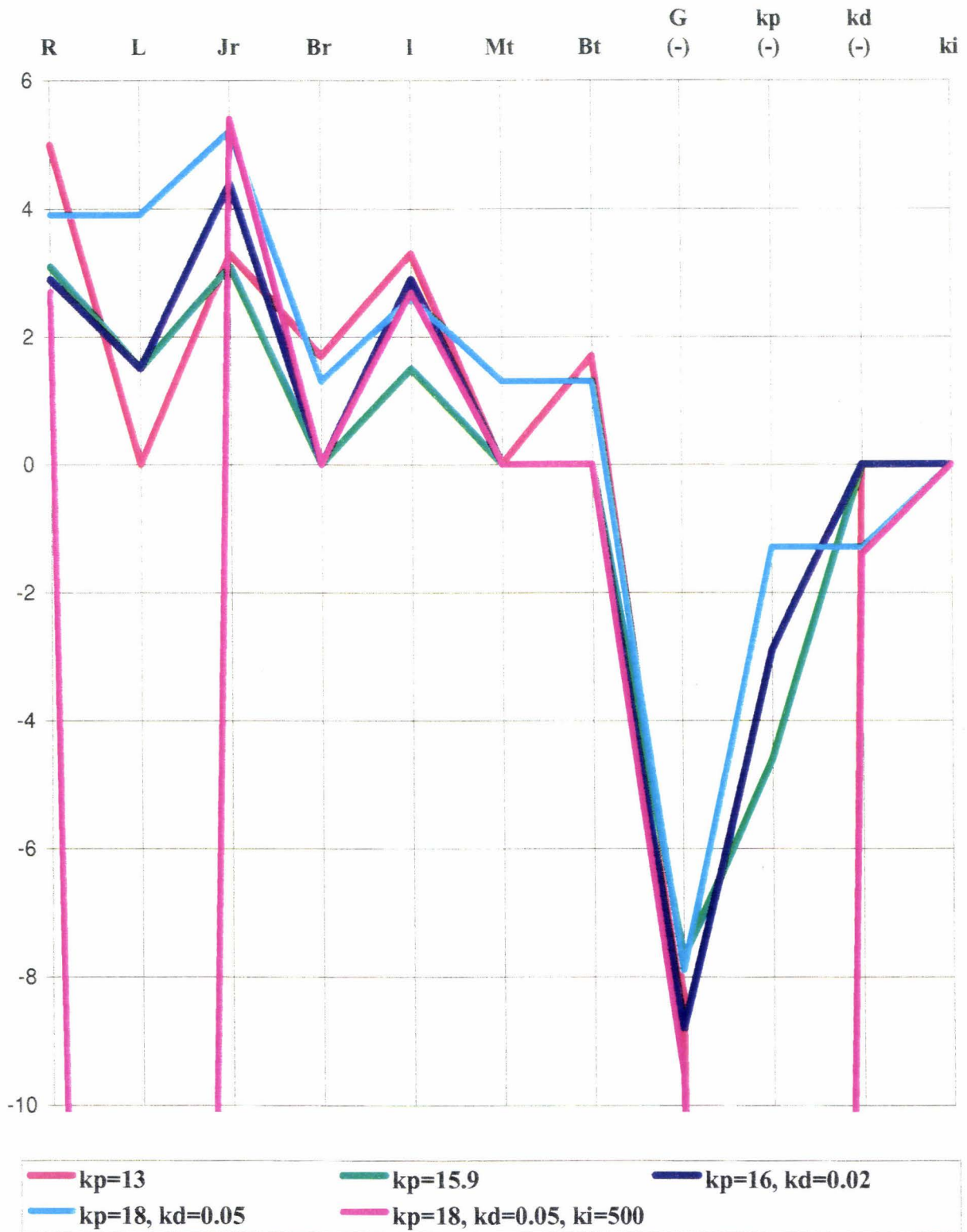


— kp=13   
 — kp=15.9   
 — kp=16, kd=0.02   
 — kp=18, kd=0.05   
 — kp=18, kd=0.05, ki=500

### Variation (%) de la fréquence de résonance sur +10% variation paramètres



Variation (%) de la fréquence de résonance sur -10%  
variation paramètres

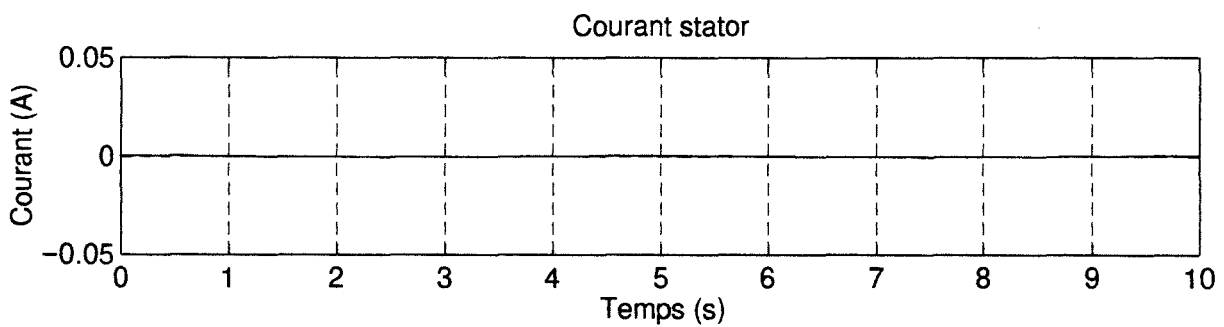
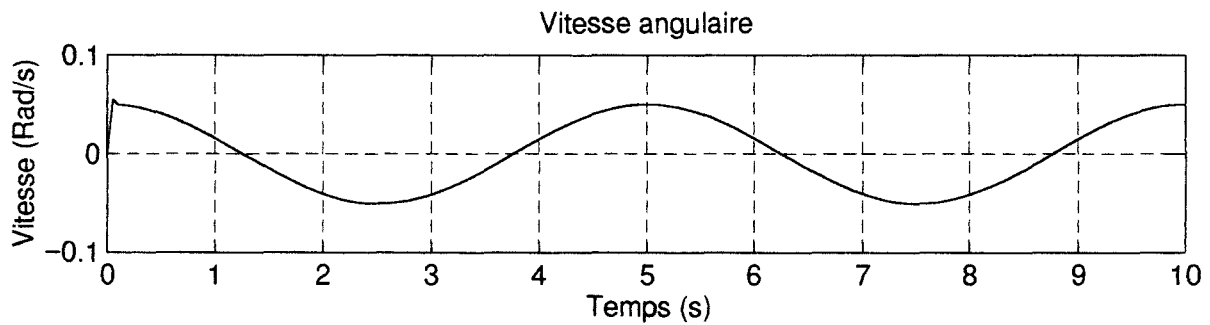
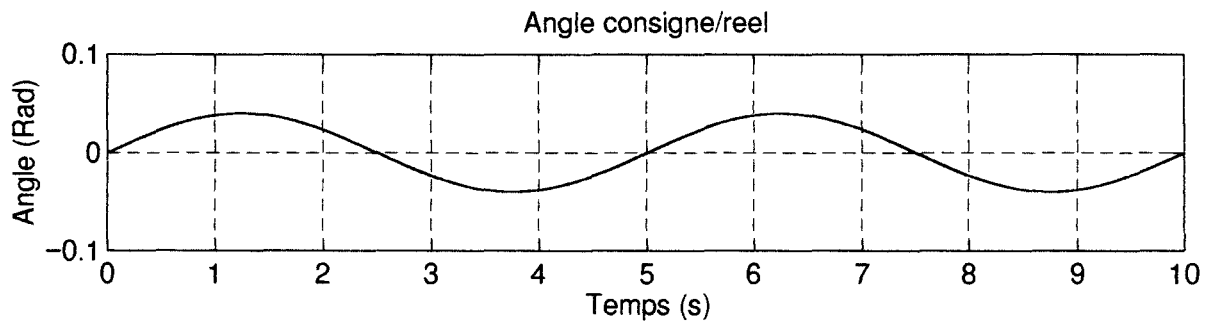
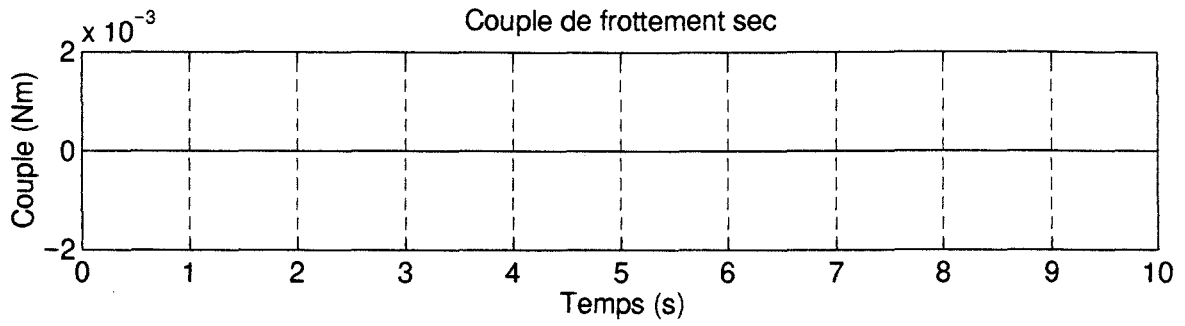


## Annexe (3-3)

### Etude de l'influence du frottement sec

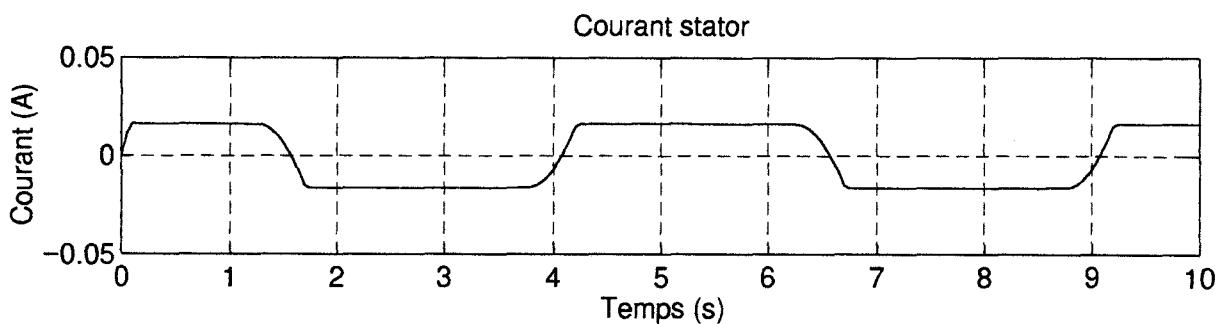
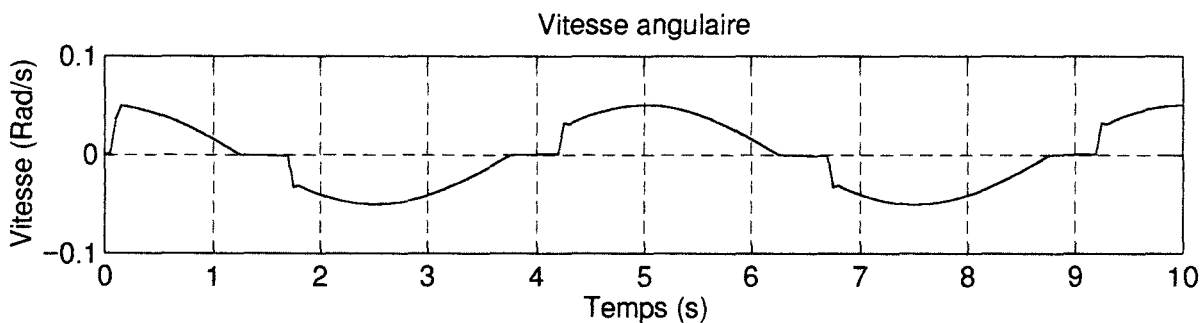
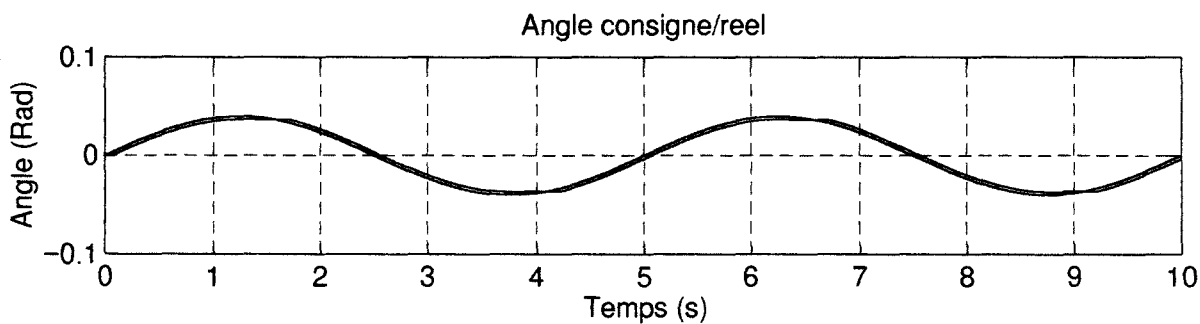
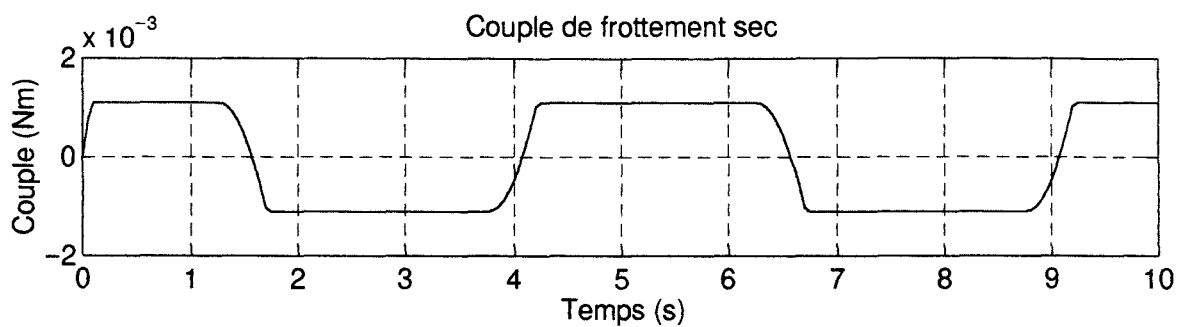


**Modèle sans frottements secs**  
**Consigne sinusoidale : Fréquence : 0.2 Hz, Amplitude 0.04 Rad**



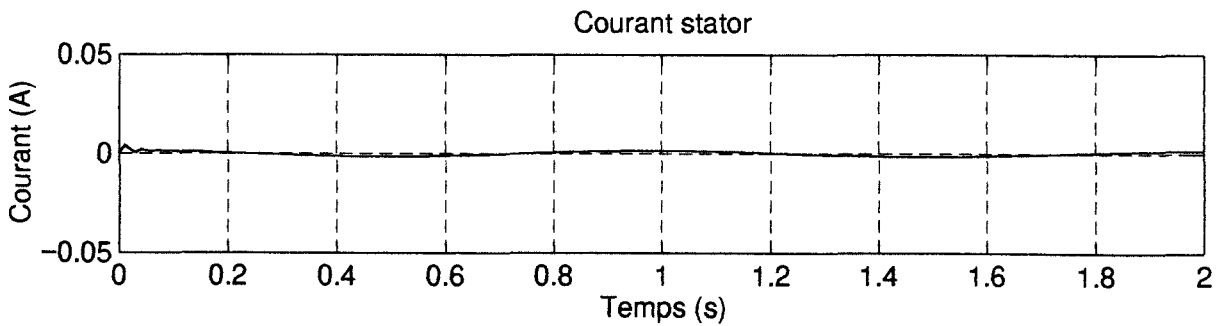
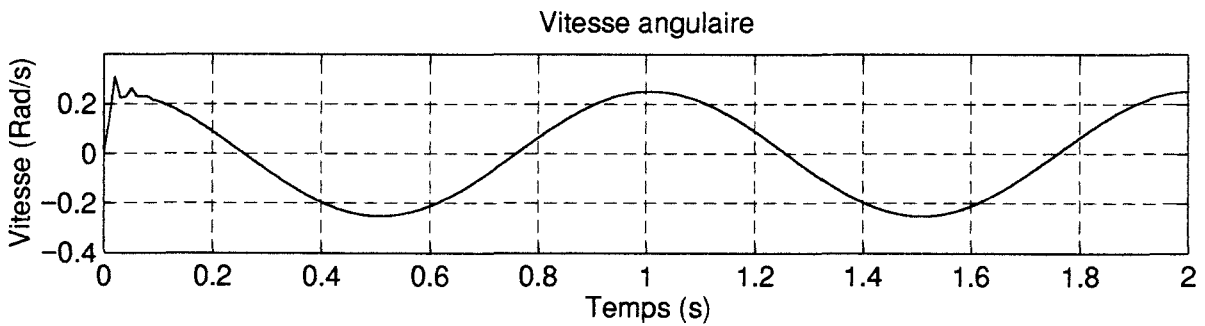
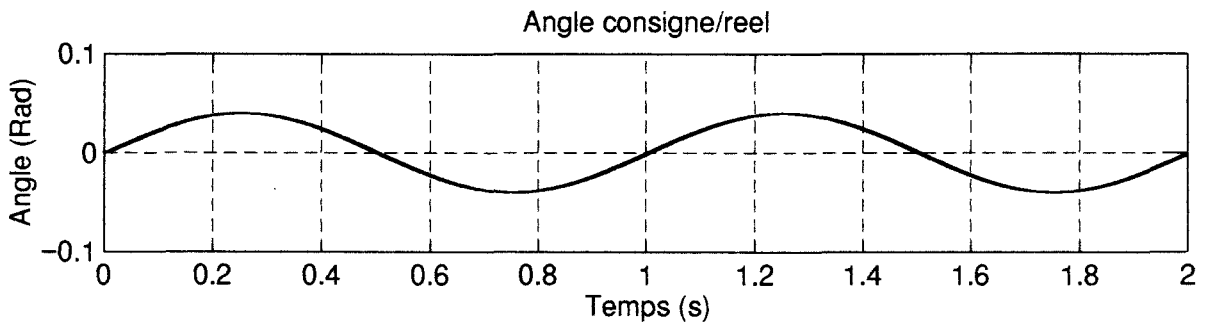
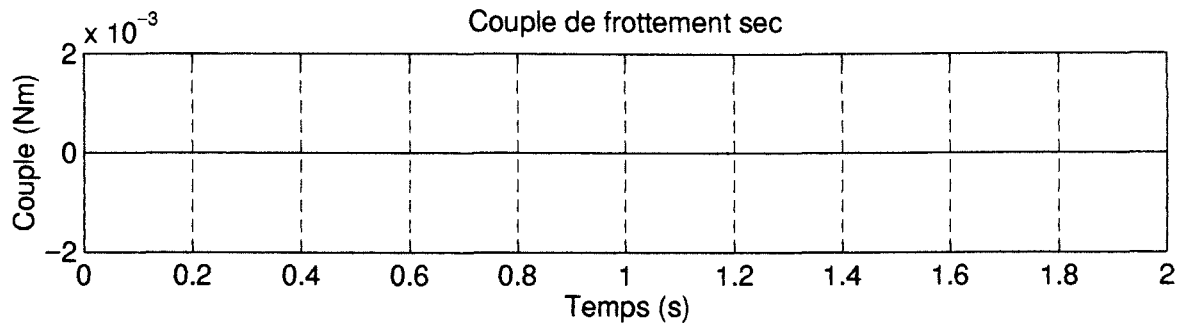
*Etude du frottement sec*

**Modèle avec frottements secs**  
**Consigne sinusoïdale : Fréquence : 0.2 Hz, Amplitude 0.04 Rad**



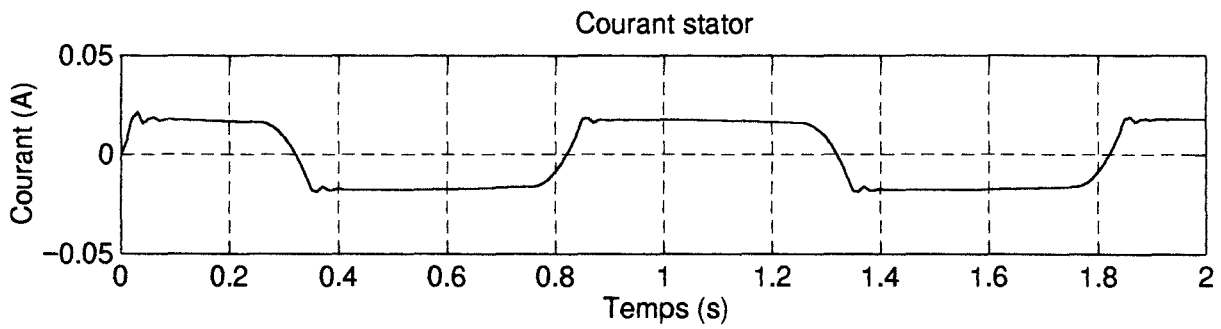
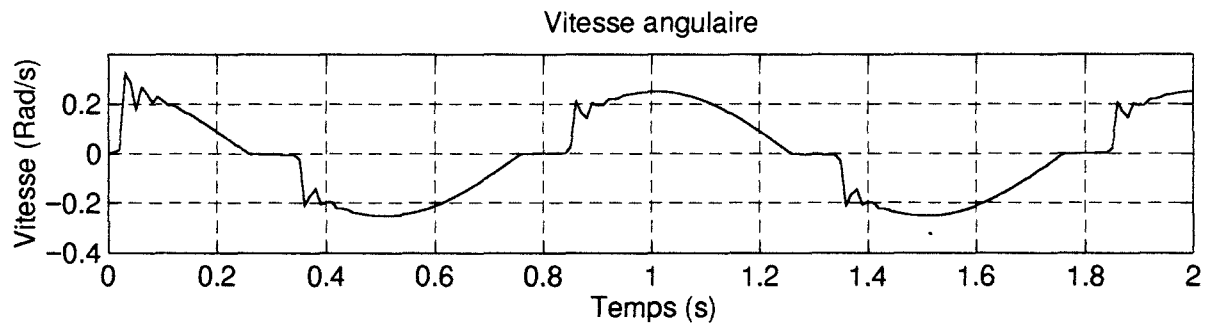
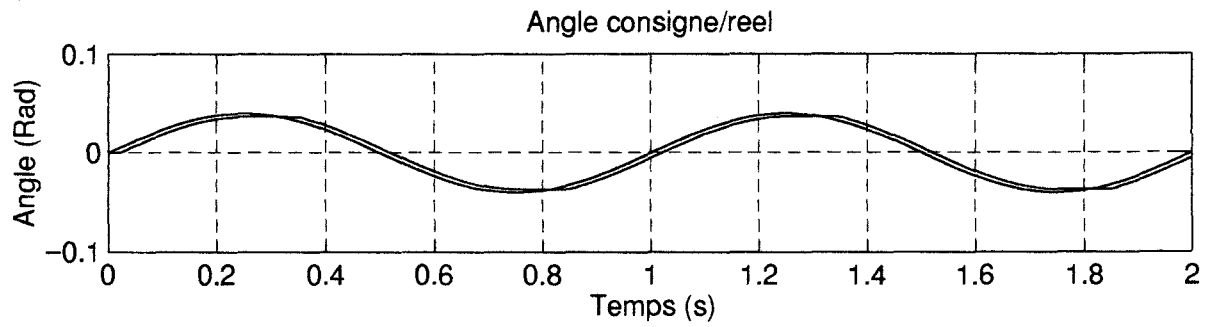
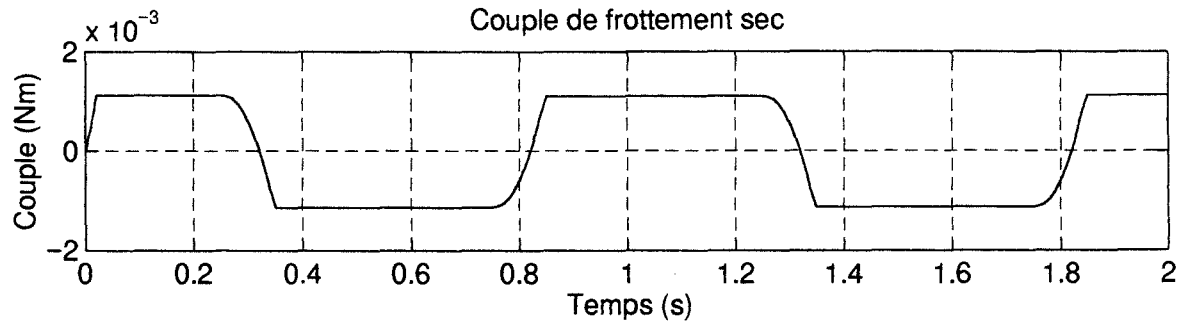
*Etude du frottement sec*

**Modèle sans frottements secs**  
**Consigne sinusoidale : Fréquence : 1 Hz, Amplitude 0.04 Rad**



*Etude du frottement sec*

**Modèle avec frottements secs**  
**Consigne sinusoidale : Fréquence : 1 Hz, Amplitude 0.04 Rad**

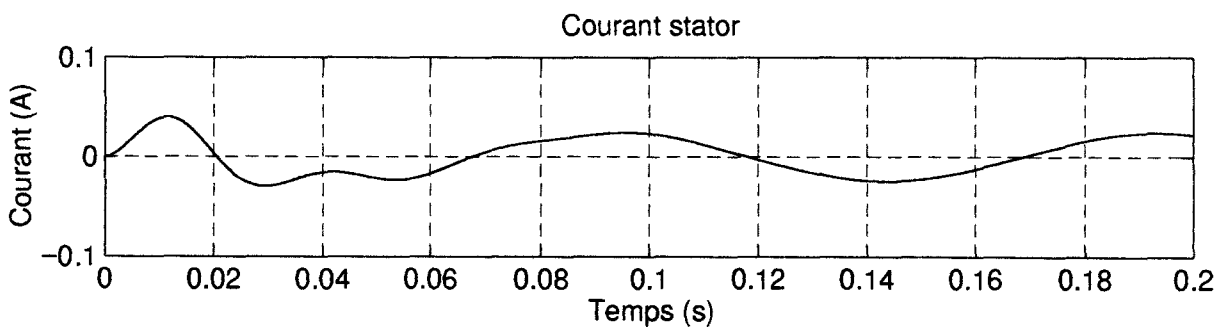
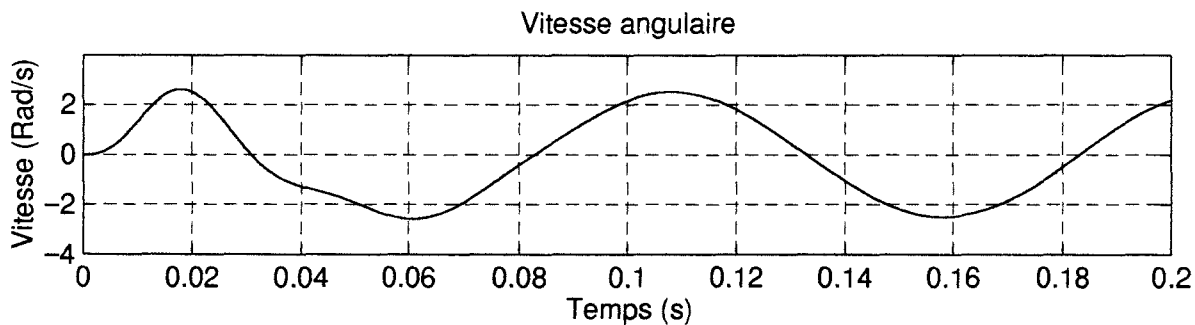
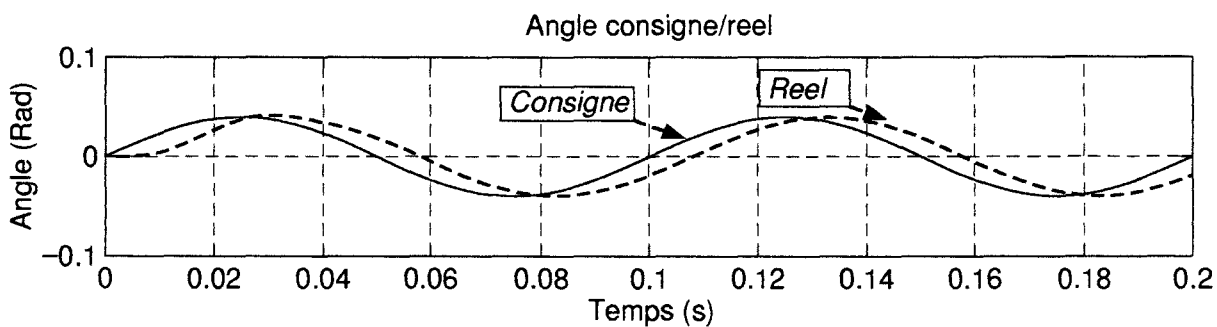
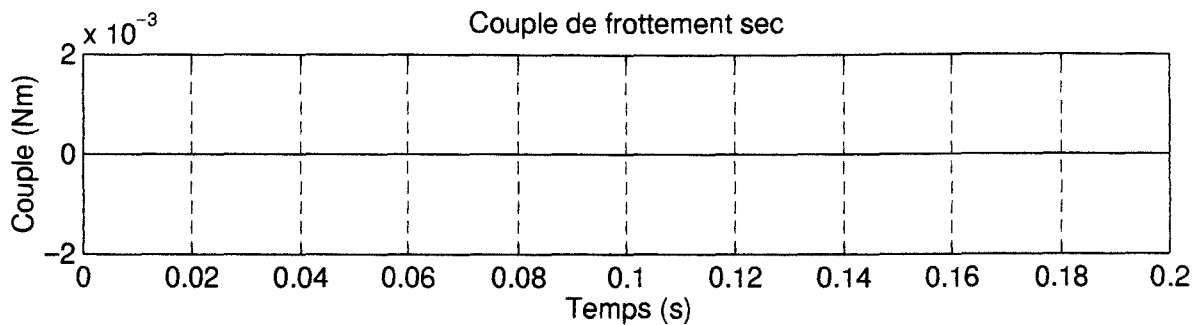


*Etude du frottement sec*



### Modèle sans frottements secs

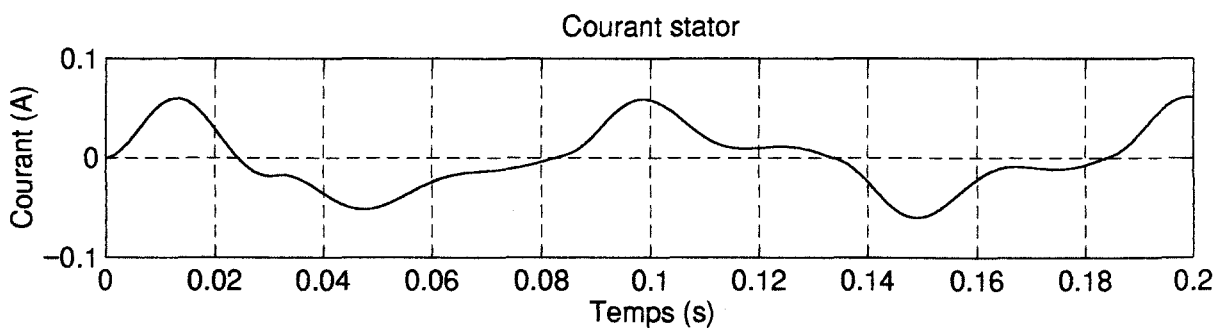
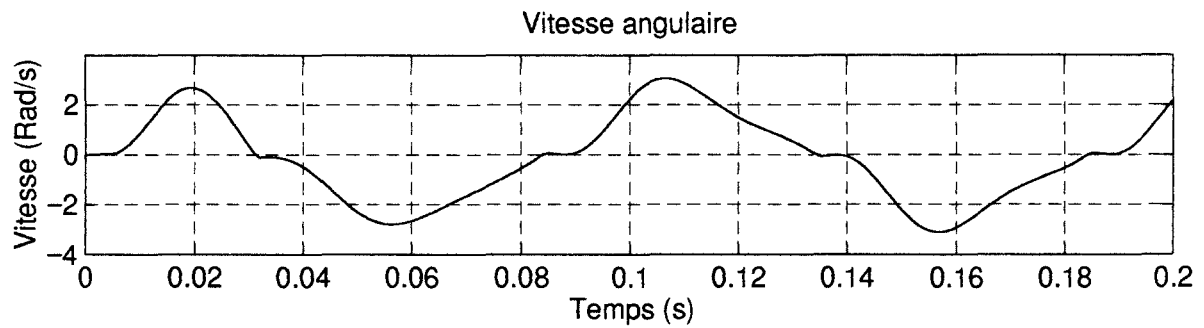
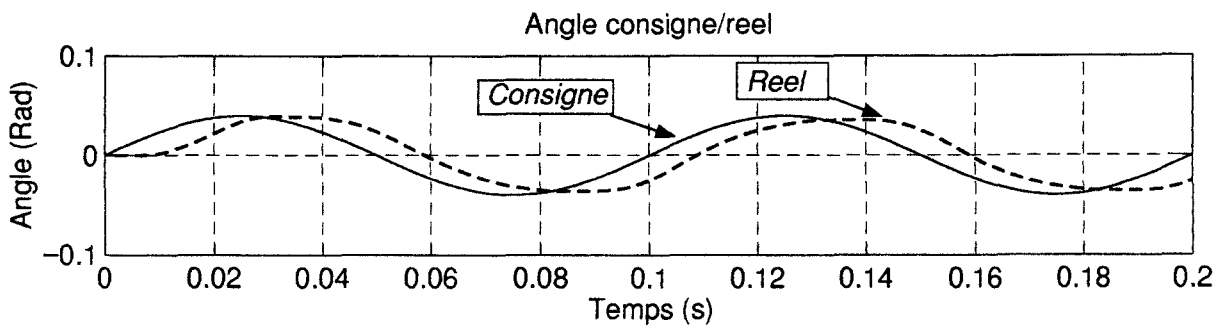
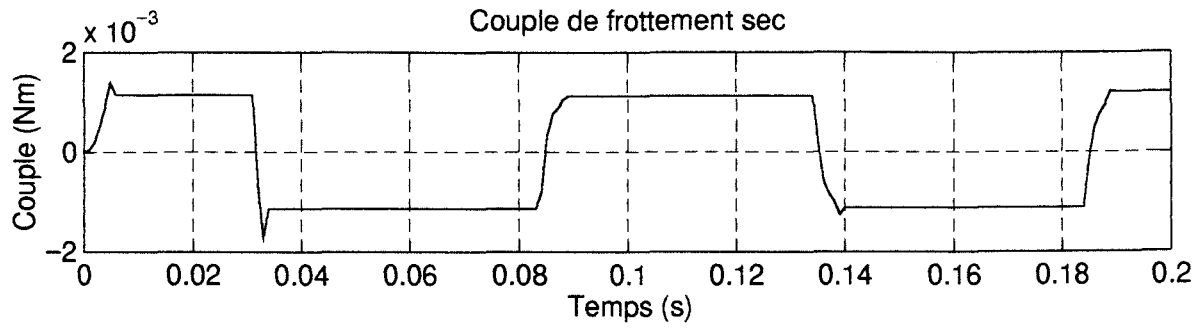
Consigne sinusoïdale : Fréquence : 10 Hz, Amplitude 0.04 Rad



Etude du frottement sec

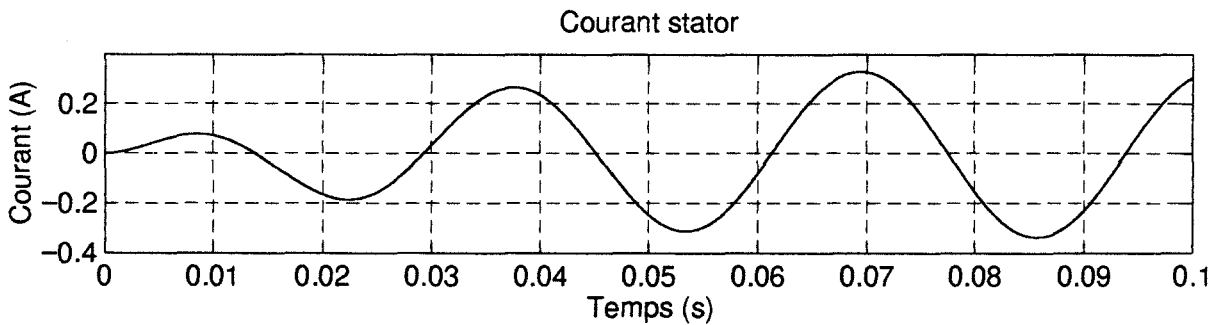
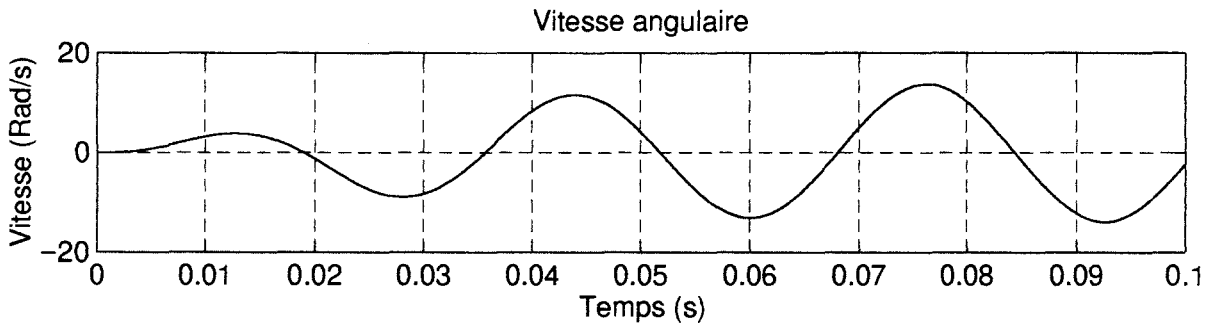
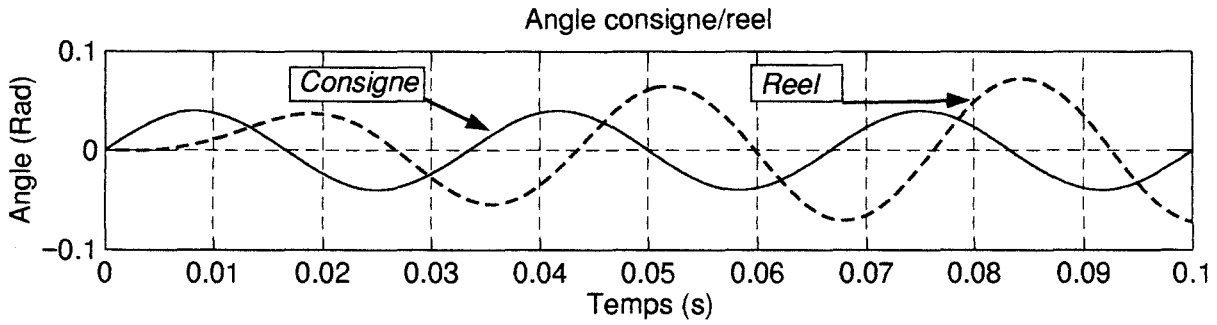
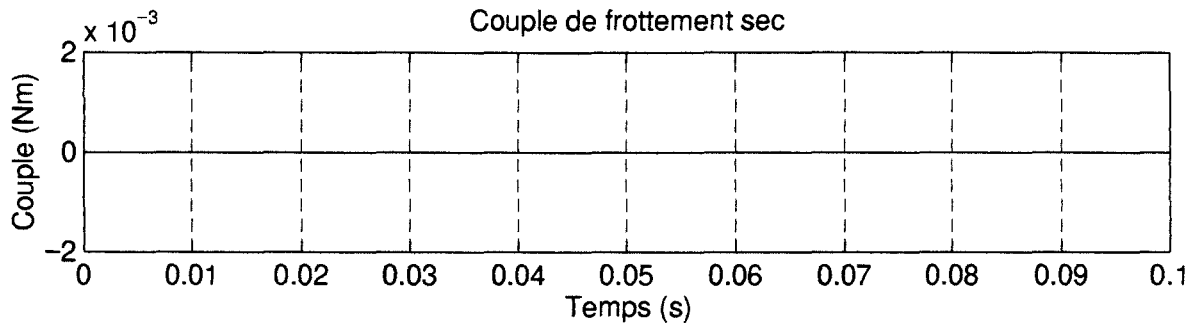
### Modèle avec frottements secs

Consigne sinusoïdale : Fréquence : 10 Hz, Amplitude 0.04 Rad



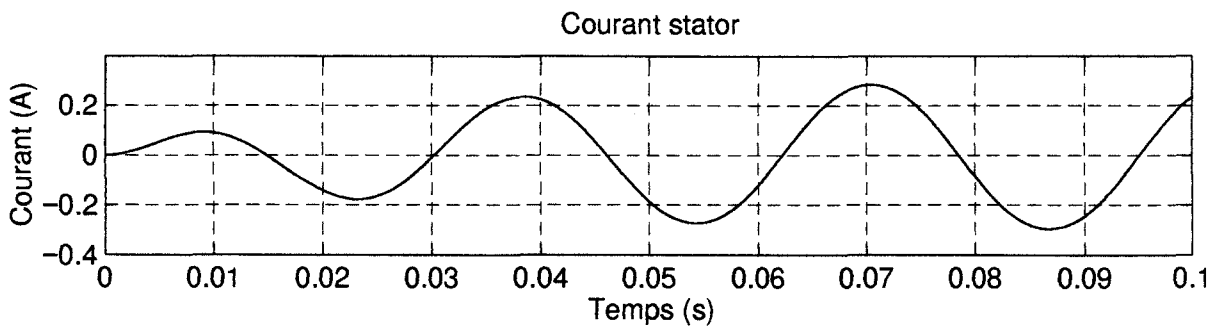
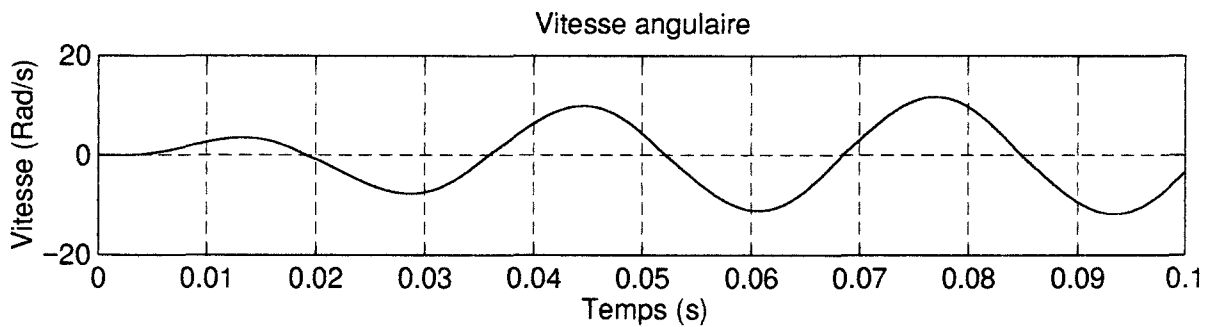
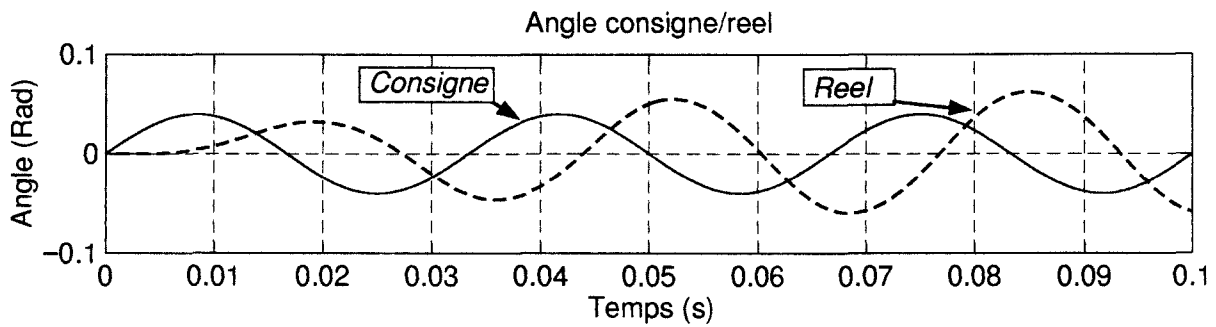
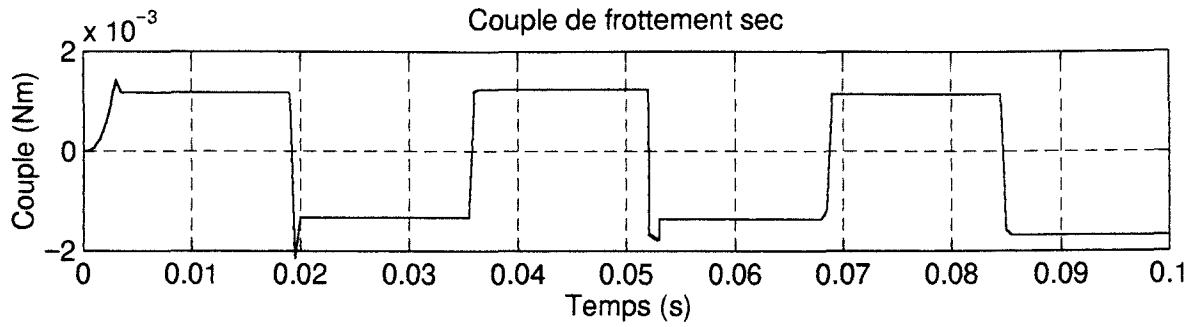
*Etude du frottement sec*

**Modèle sans frottements secs**  
**Consigne sinusoïdale : Fréquence : 30 Hz, Amplitude 0.04 Rad**



*Etude du frottement sec*

**Modèle avec frottements secs**  
**Consigne sinusoidale : Fréquence : 30 Hz, Amplitude 0.04 Rad**



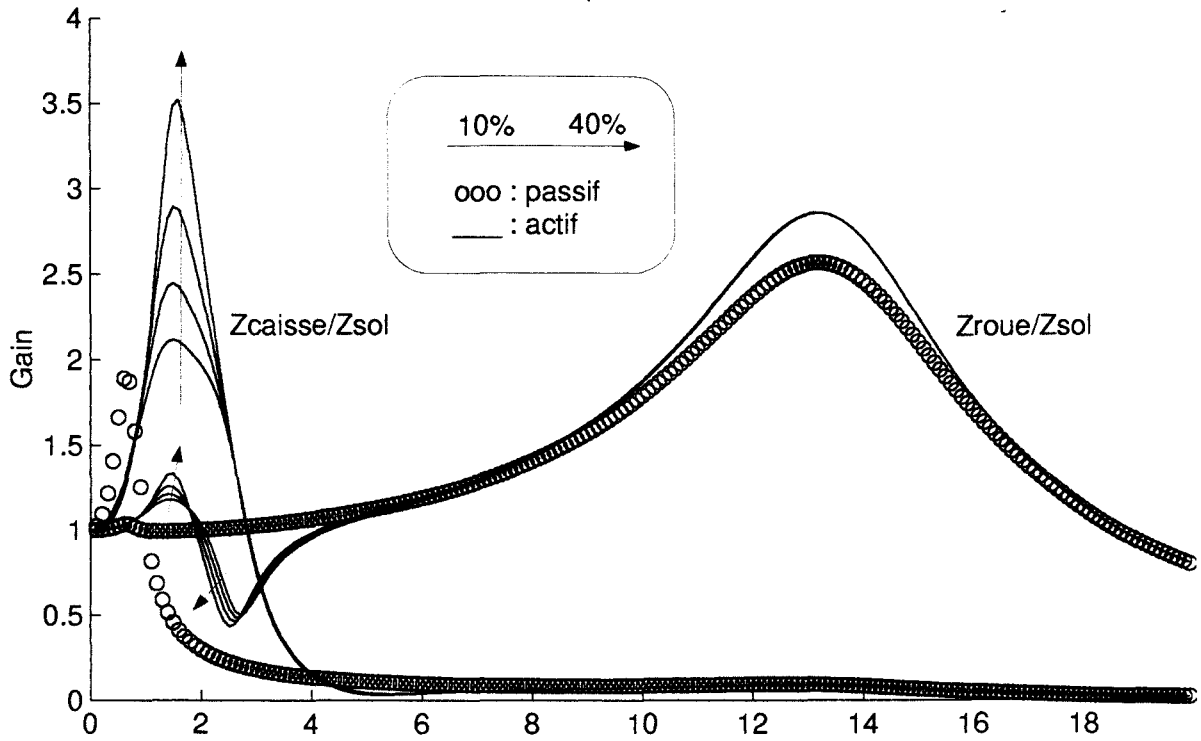
*Etude du frottement sec*



**Annexe (4-1)**

**Etude numérique du filtrage.**

Caractéristique caisse, roue / sol



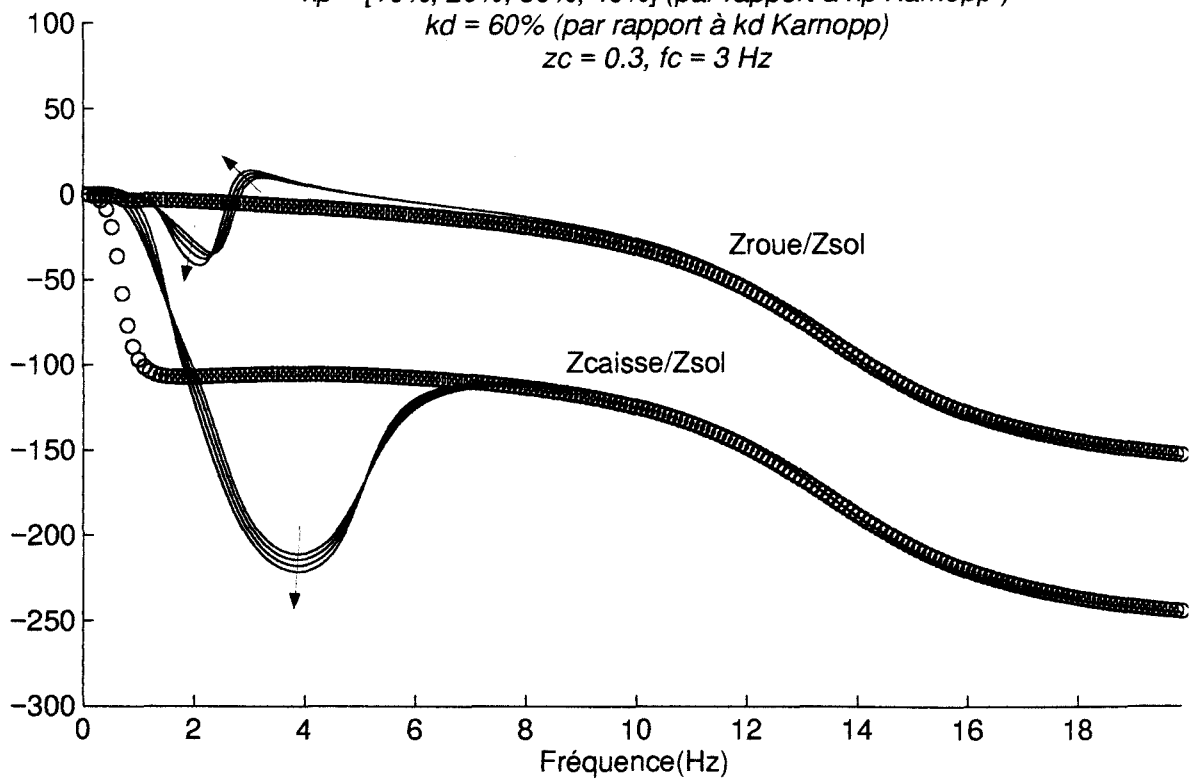
Modèle monoroue linéaire 2ddl actif.

Influence du gain en position.

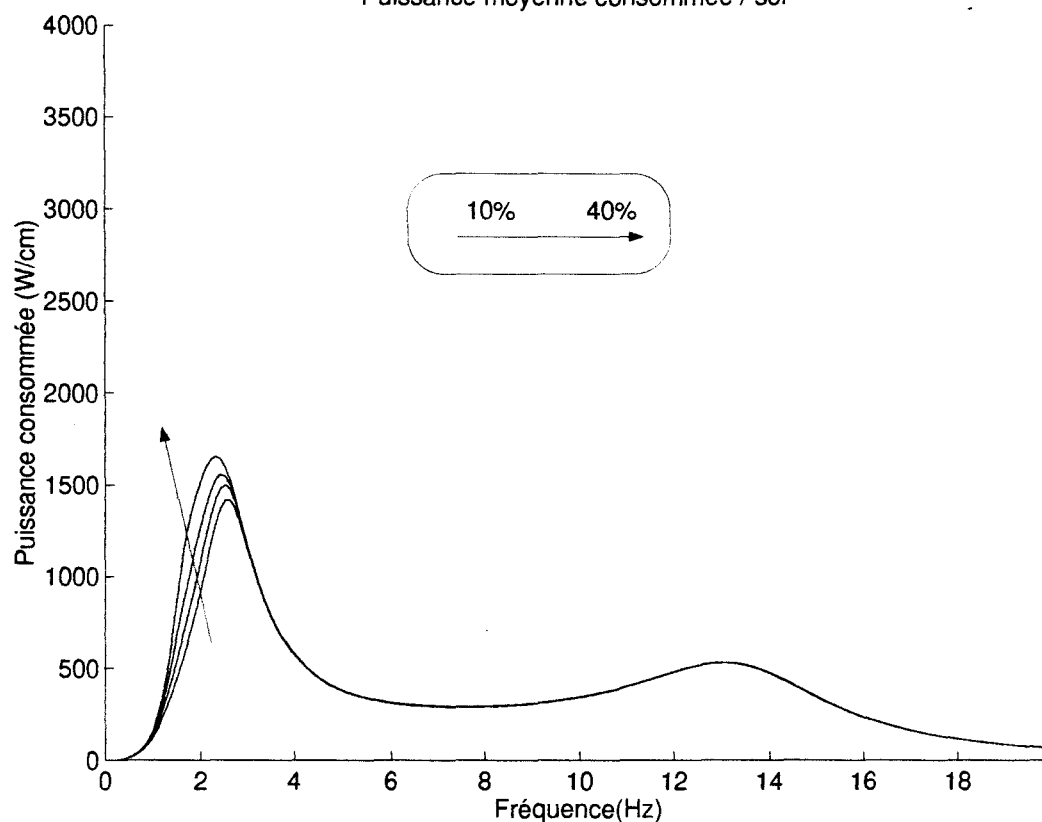
$k_p = [10\%, 20\%, 30\%, 40\%]$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)

$k_d = 60\%$  (par rapport à  $k_d$  Karnopp)

$z_c = 0.3, f_c = 3$  Hz

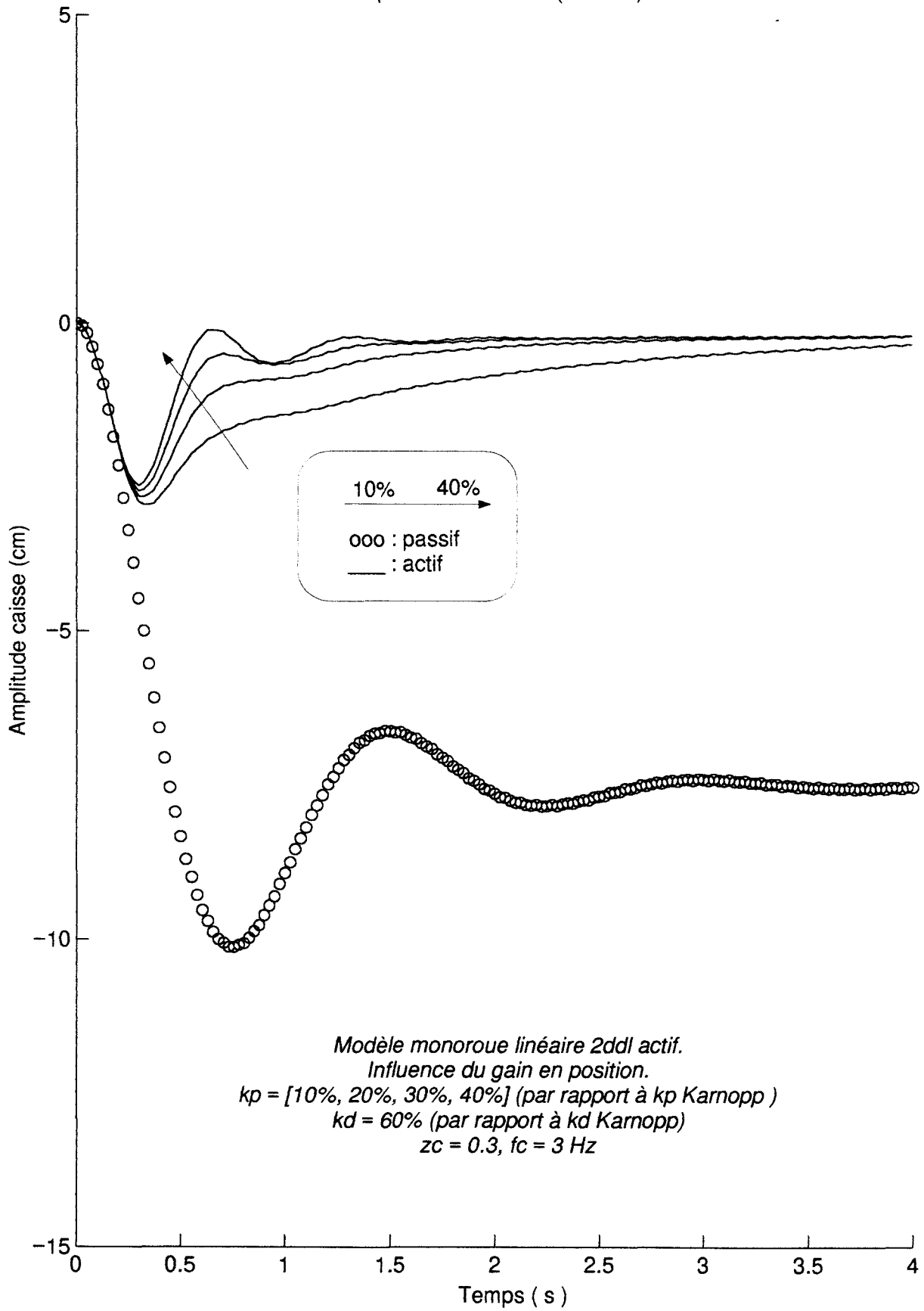


Puissance moyenne consommée / sol

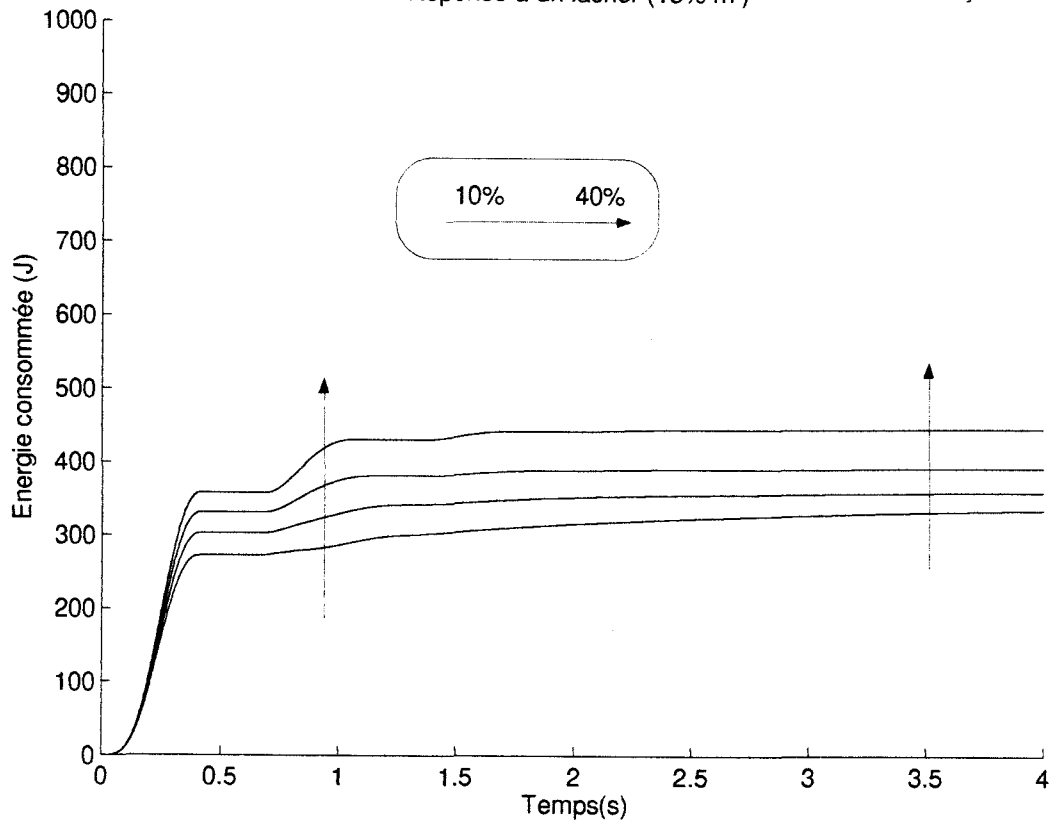


Modèle monoroue linéaire 2ddl actif.  
Influence de gain en position.  
 $k_p = [10\%, 20\%, 30\%, 40\%]$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $k_d = 60\%$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $z_c = 0.3, f_c = 3 \text{ Hz}$

Réponse à un lacher (15% m)

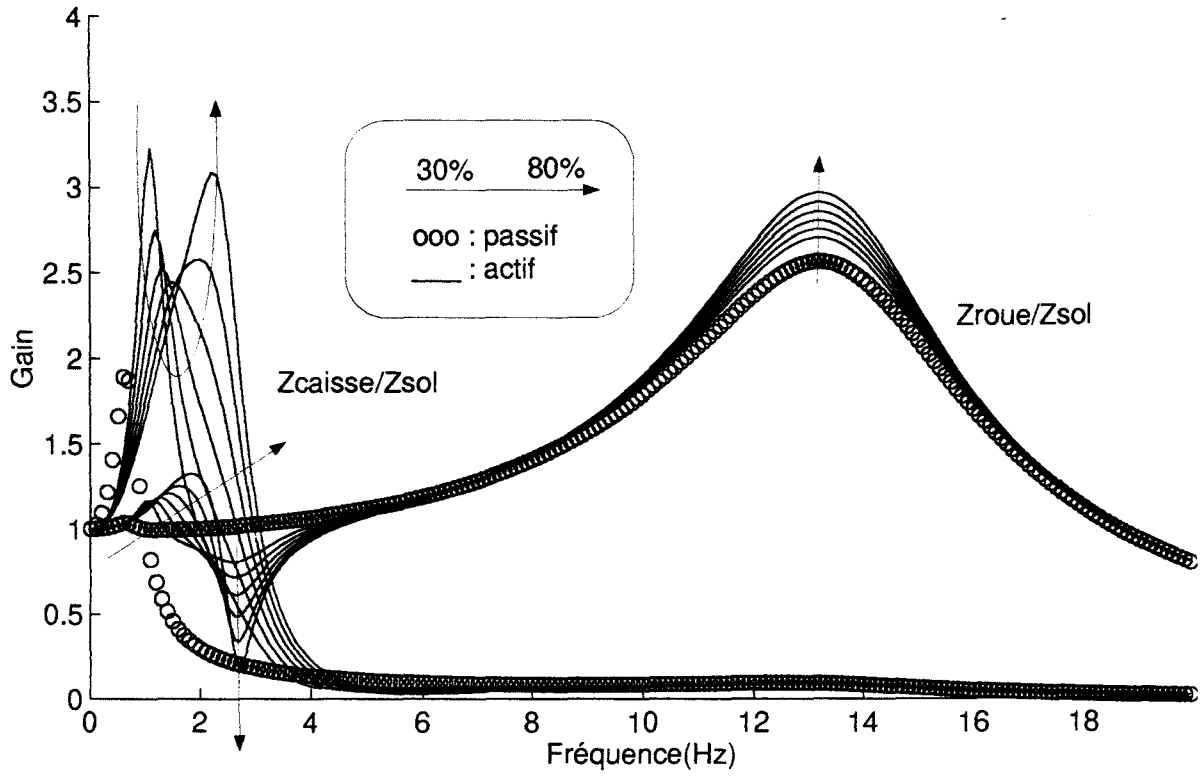


Réponse à un lacher (15% m)



Modèle monoroue linéaire 2ddl actif.  
Influence de gain en position.  
 $k_p = [10\%, 20\%, 30\%, 40\%]$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $k_d = 60\%$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $z_c = 0.3, f_c = 3$  Hz

Caractéristique caisse, roue / sol



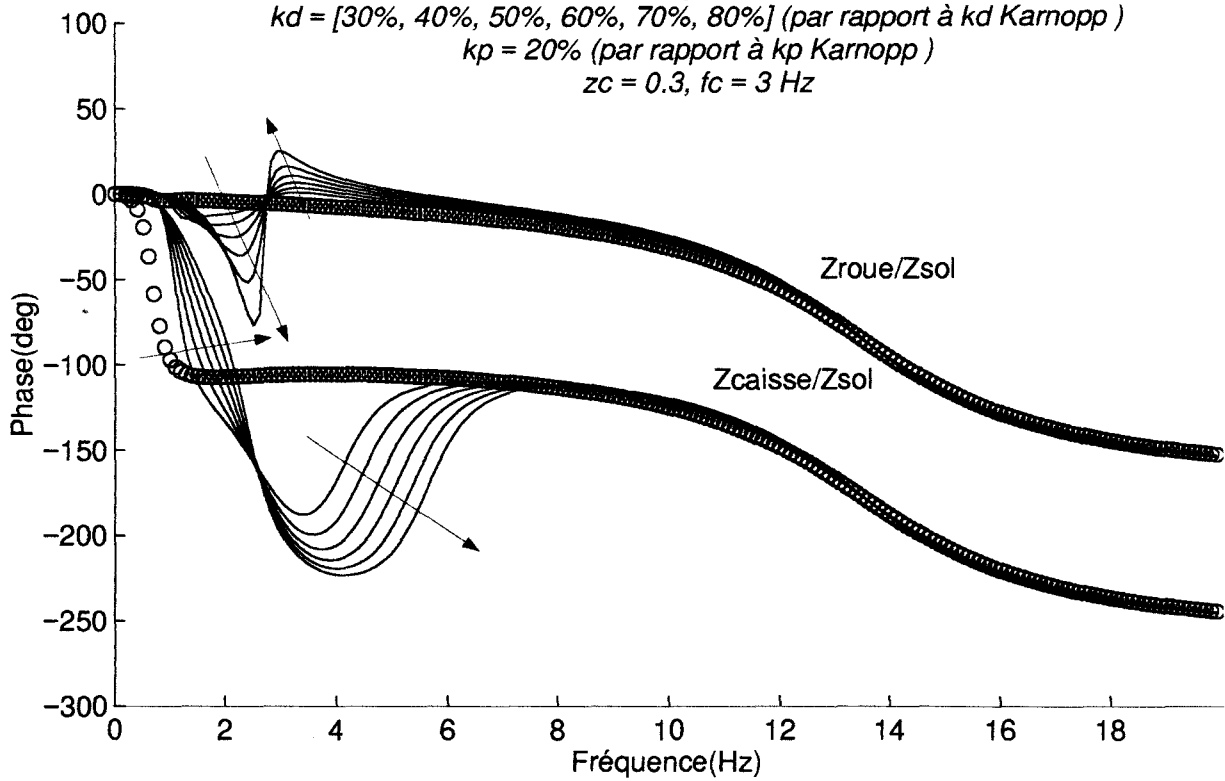
Modèle monoroue linéaire 2ddl actif.

Influence du gain en vitesse.

$k_d = [30\%, 40\%, 50\%, 60\%, 70\%, 80\%]$  (par rapport à  $k_d$  Karnopp)

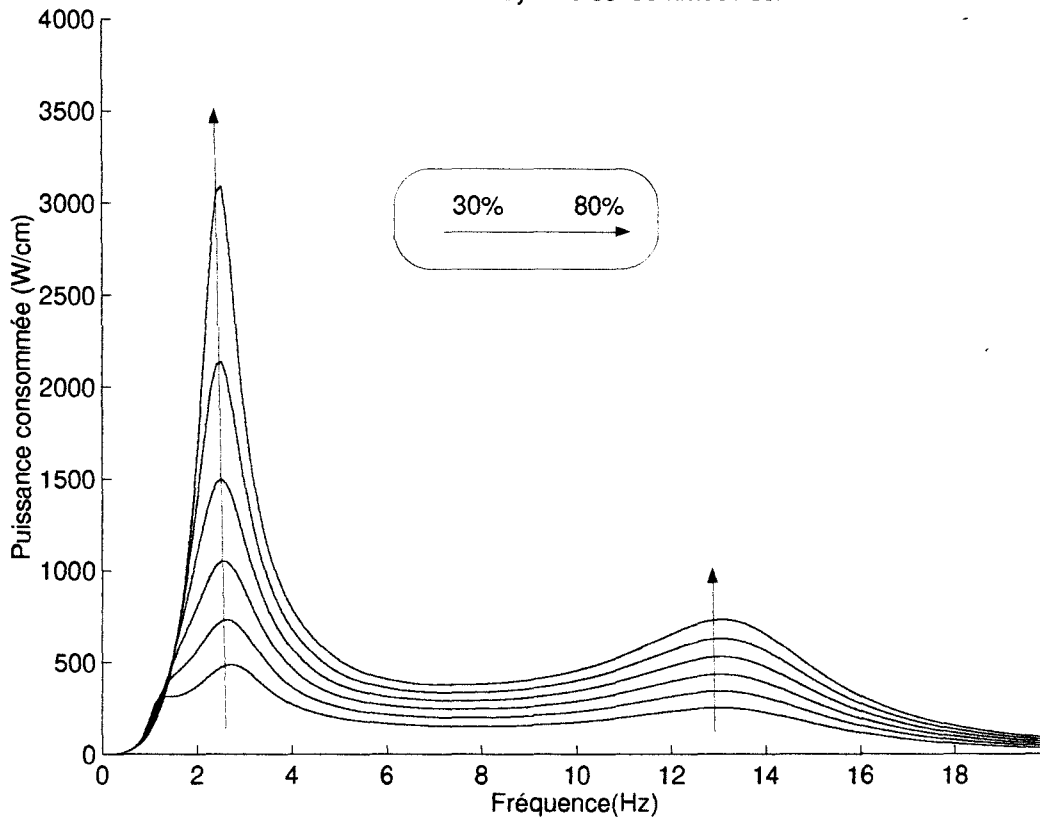
$k_p = 20\%$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)

$z_c = 0.3, f_c = 3$  Hz



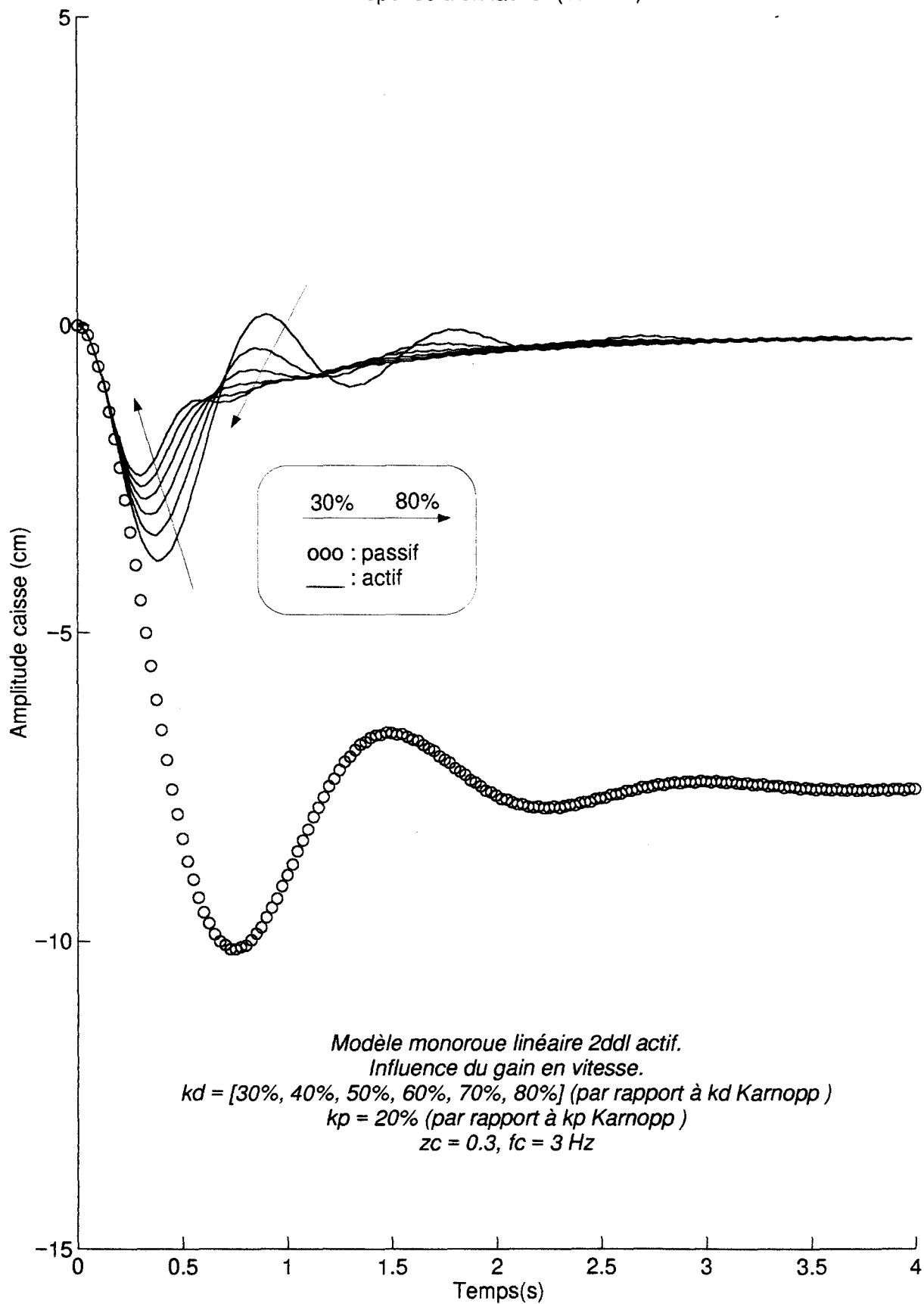


Puissance moyenne consommée / sol

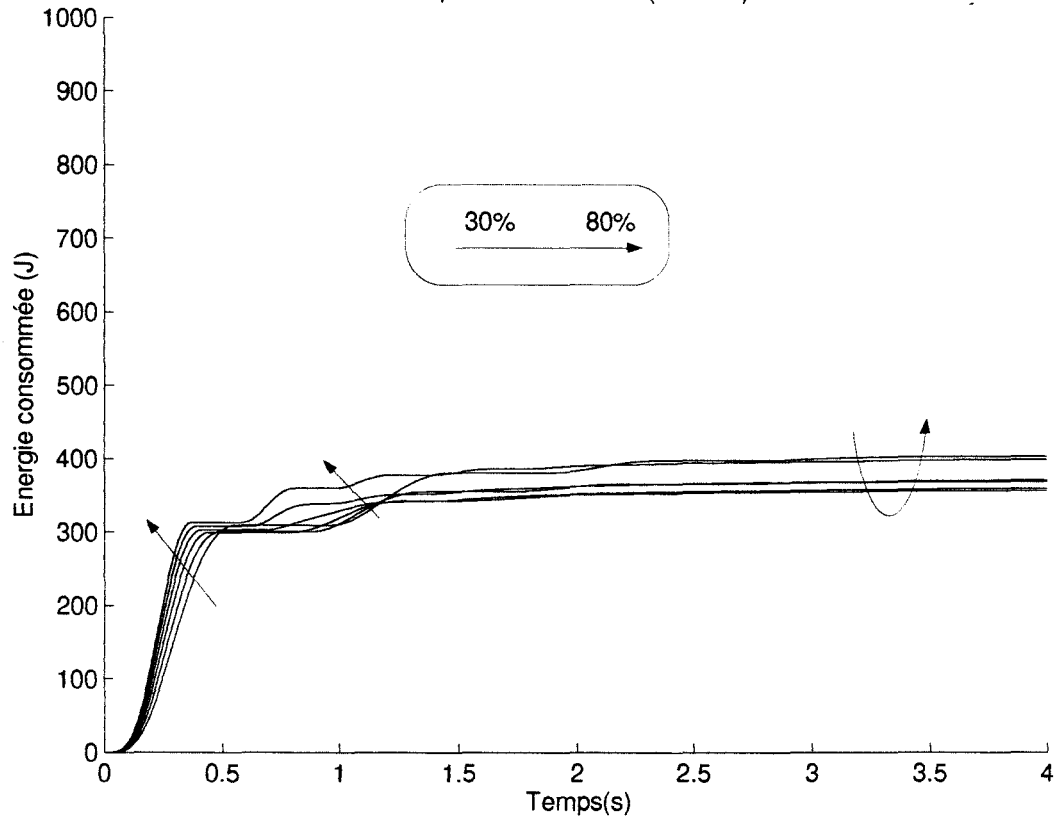


Modèle monoroue linéaire 2ddl actif.  
Influence de gain en vitesse.  
 $k_d = [30\%, 40\%, 50\%, 60\%, 70\%, 80\%]$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $k_p = 20\%$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $z_c = 0.3, f_c = 3$  Hz

Réponse à un lacher (15% m)

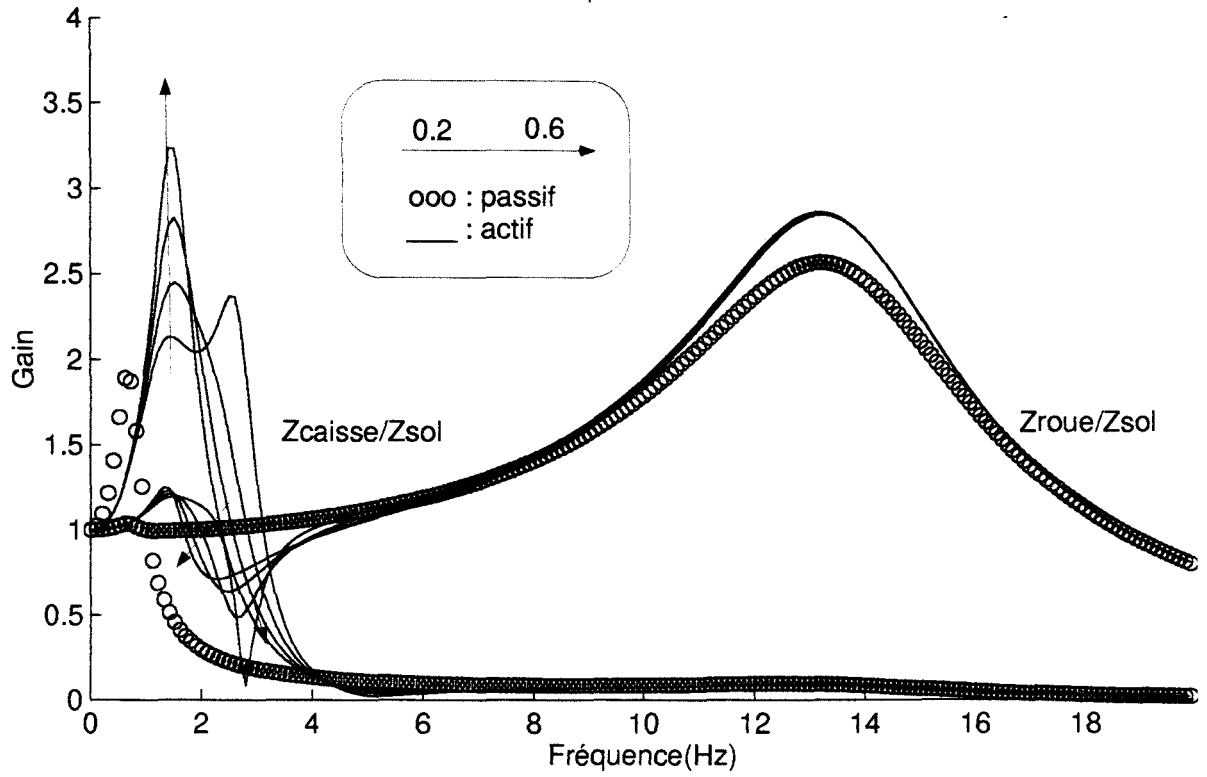


Réponse à un lacher (15% m)

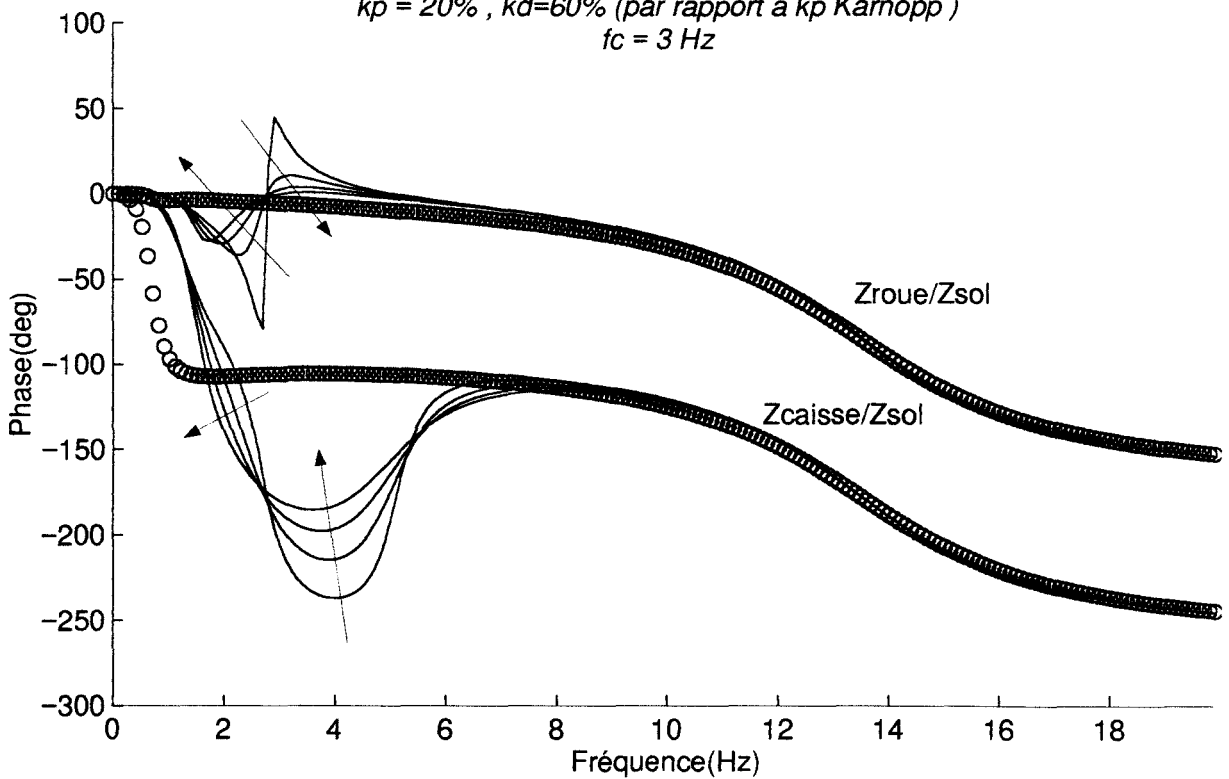


Modèle monoroue linéaire 2ddl actif.  
Influence de gain en vitesse.  
 $kd = [30\%, 40\%, 50\%, 60\%, 70\%, 80\%]$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $k_p = 20\%$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $z_c = 0.3, f_c = 3 \text{ Hz}$

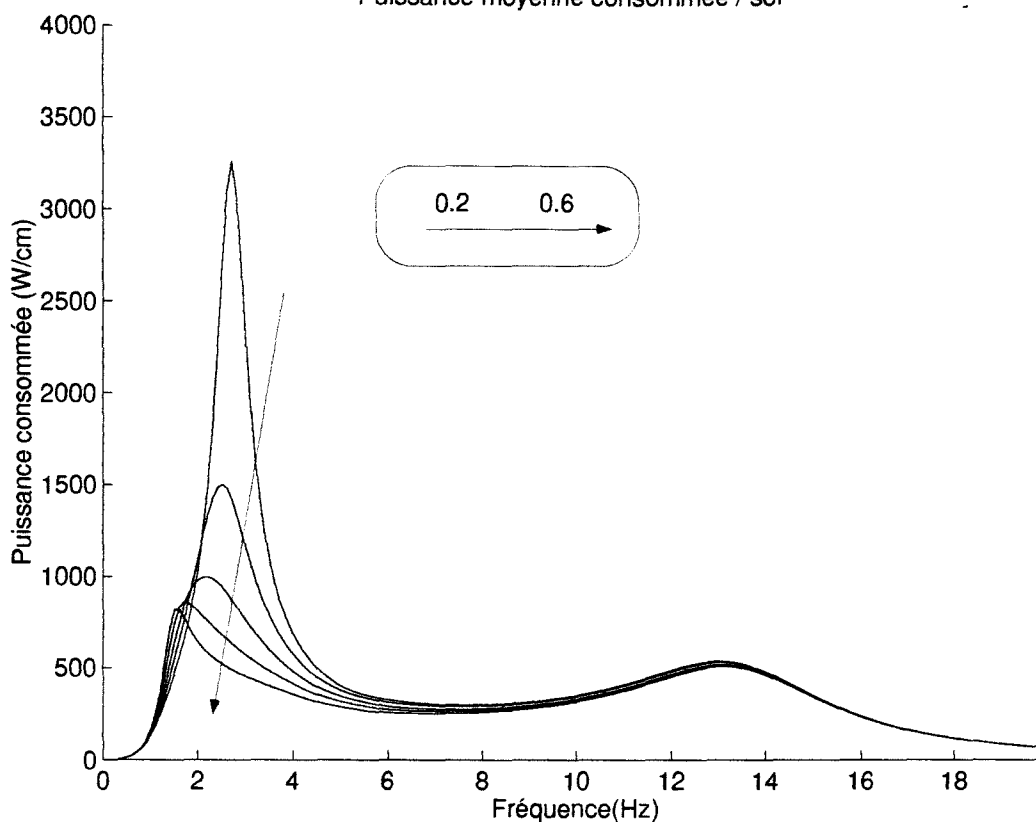
Caractéristique caisse, roue / sol



Modèle monoroue linéaire 2ddl actif.  
Influence de l'amortissement réduit de filtrage.  
 $z_c = [0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6]$   
 $k_p = 20\%$ ,  $k_d = 60\%$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $f_c = 3$  Hz

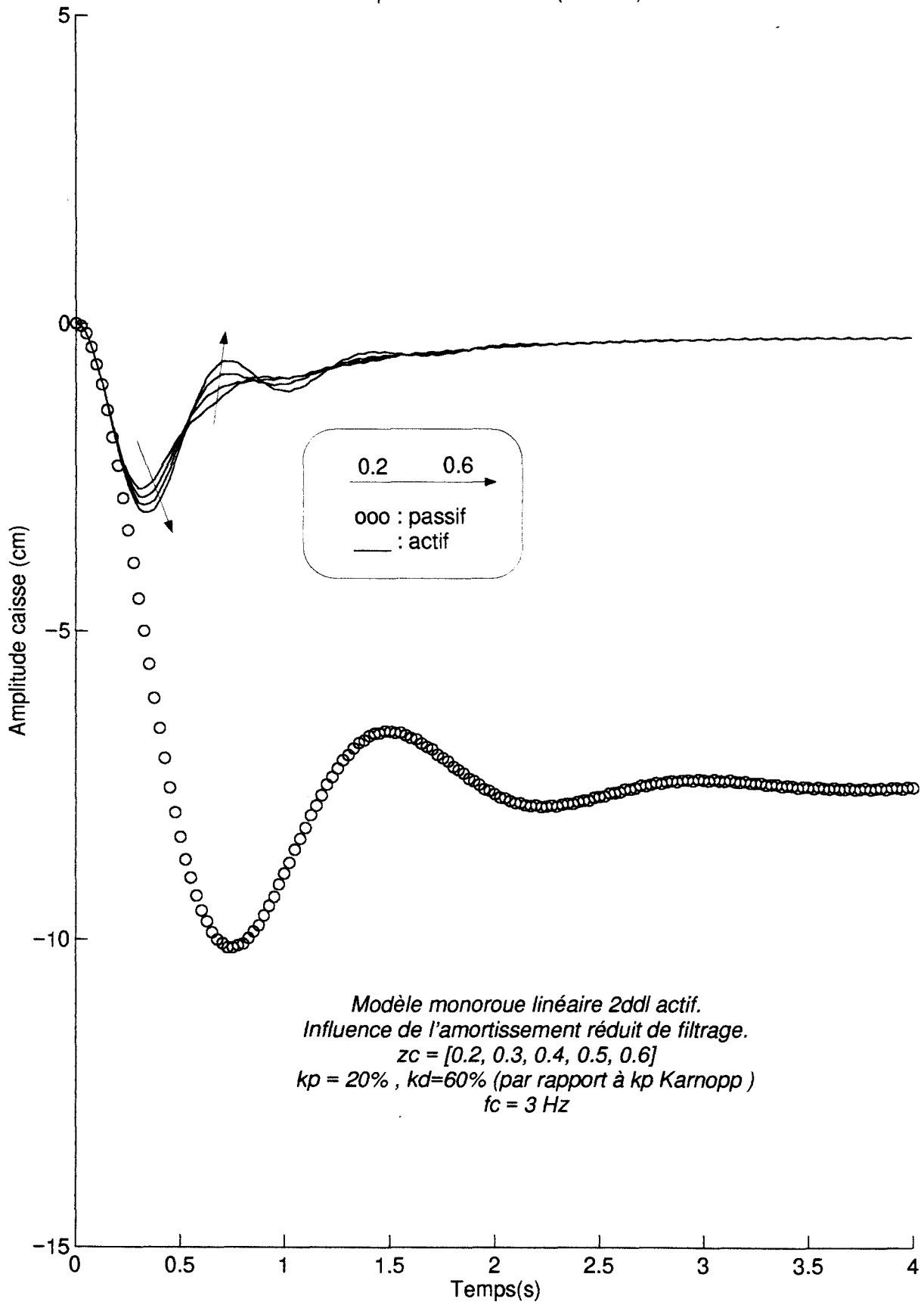


Puissance moyenne consommée / sol

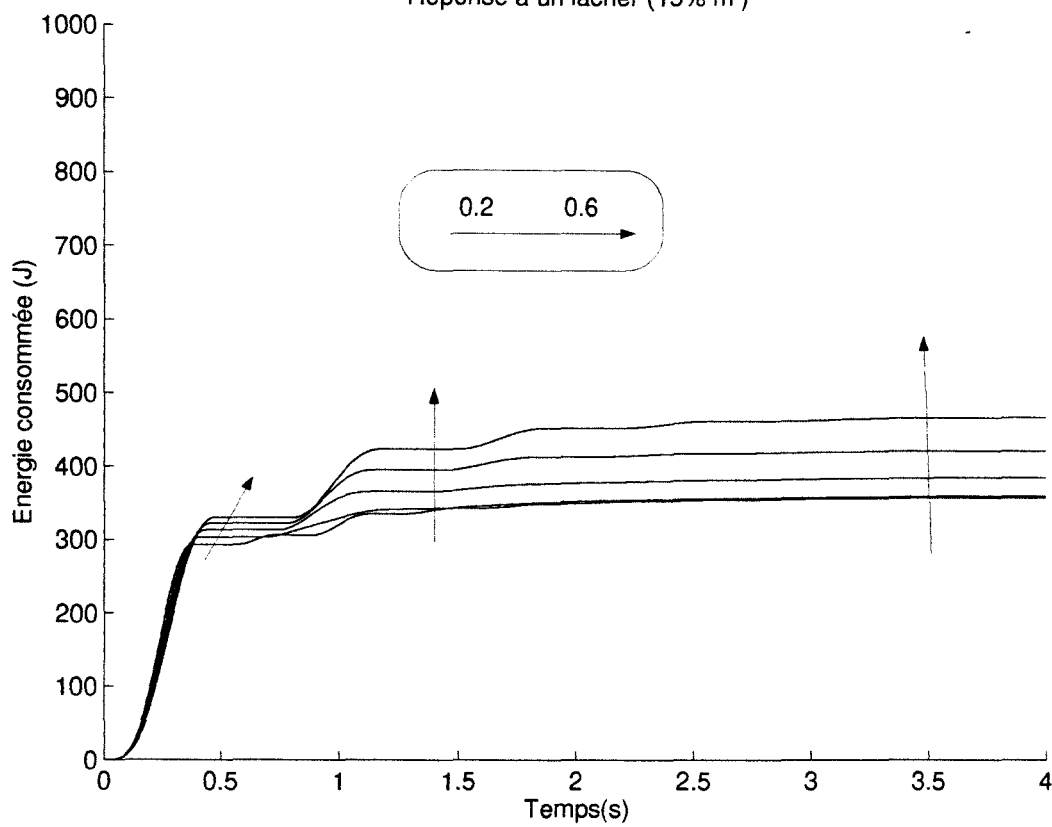


Modèle monoroué linéaire 2ddl actif.  
Influence de l'amortissement réduit de filtrage.  
 $k_p = 20\%$ ,  $k_d = 60\%$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $z_c = [0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6]$   
 $f_c = 3$  Hz

Réponse à un lacher (15% m)



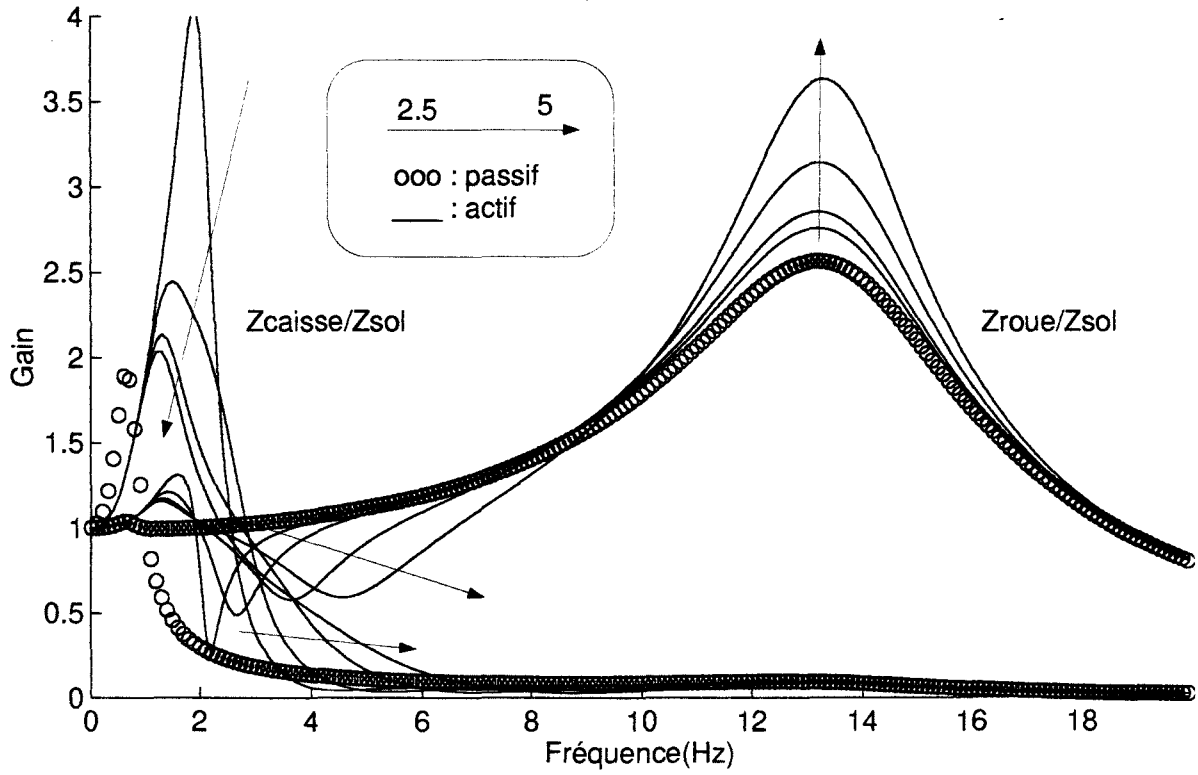
Réponse à un lacher (15% m)



Modèle monoroue linéaire 2ddl actif.  
Influence de l'amortissement réduit de filtrage.  
 $k_p = 20\%$ ,  $k_d = 60\%$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $z_c = [0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6]$   
 $f_c = 3$  Hz



Caractéristique caisse, roue / sol

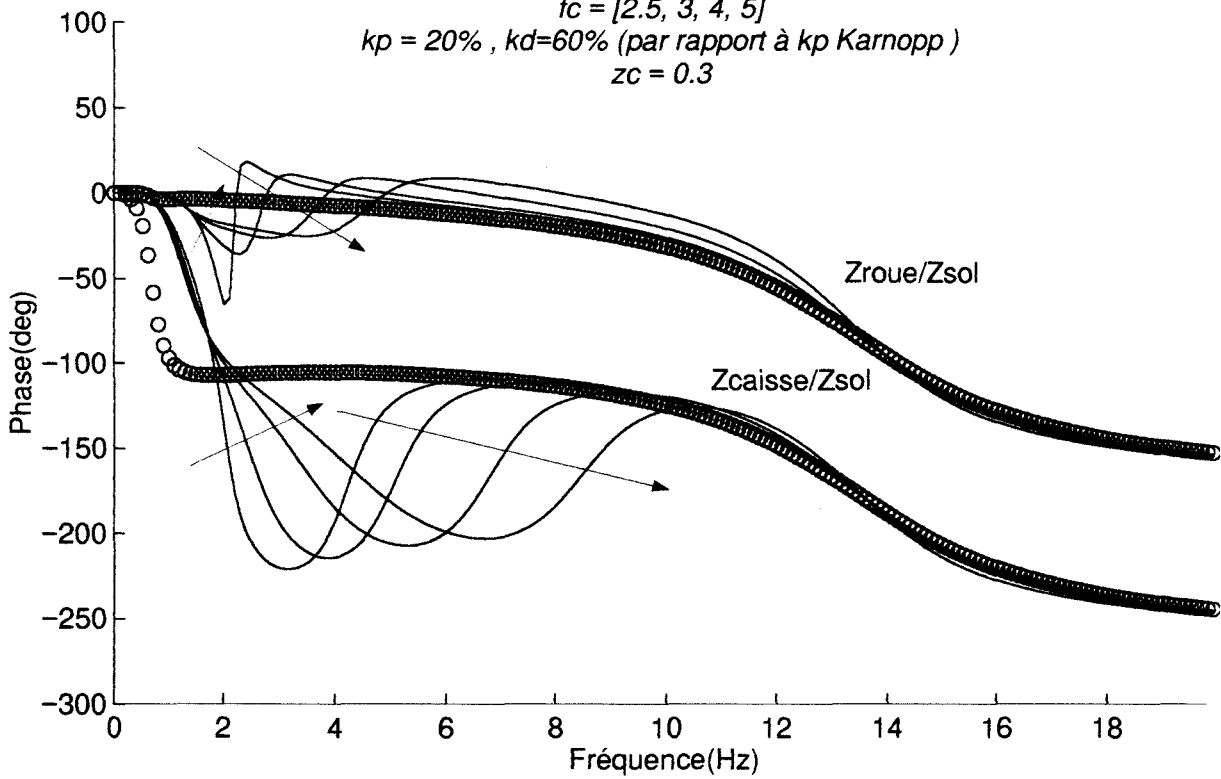


Modèle monoroue linéaire 2ddl actif.  
Influence de la fréquence naturelle de coupure du filtre.

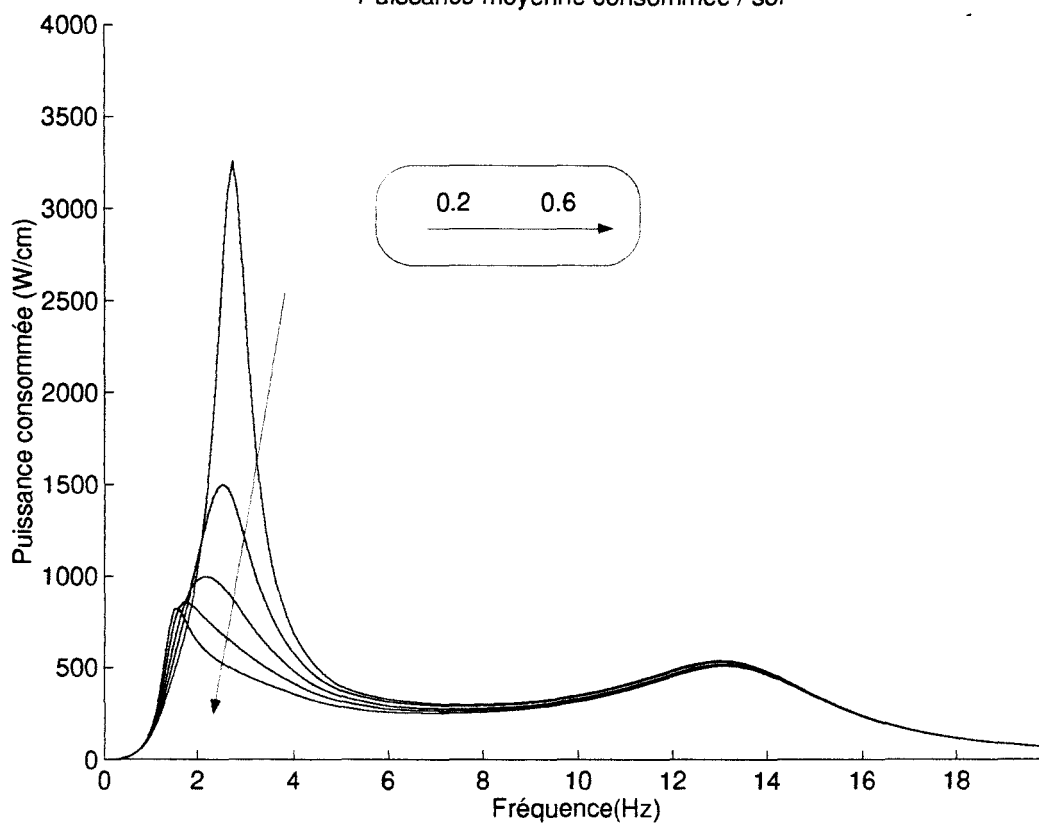
$$f_c = [2.5, 3, 4, 5]$$

$$k_p = 20\% , k_d = 60\% \text{ (par rapport à } k_p \text{ Karnopp)}$$

$$z_c = 0.3$$

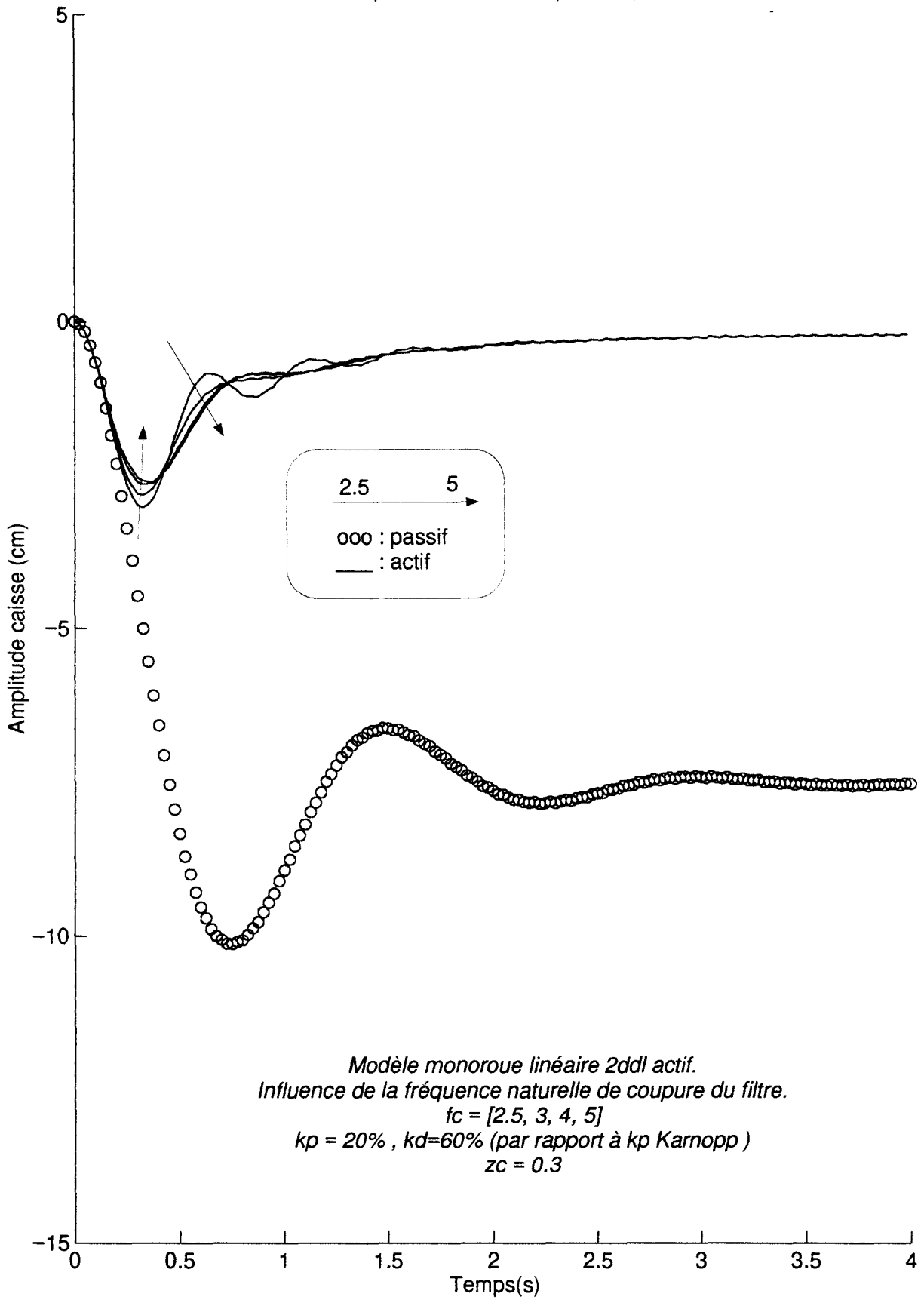


Puissance moyenne consommée / sol

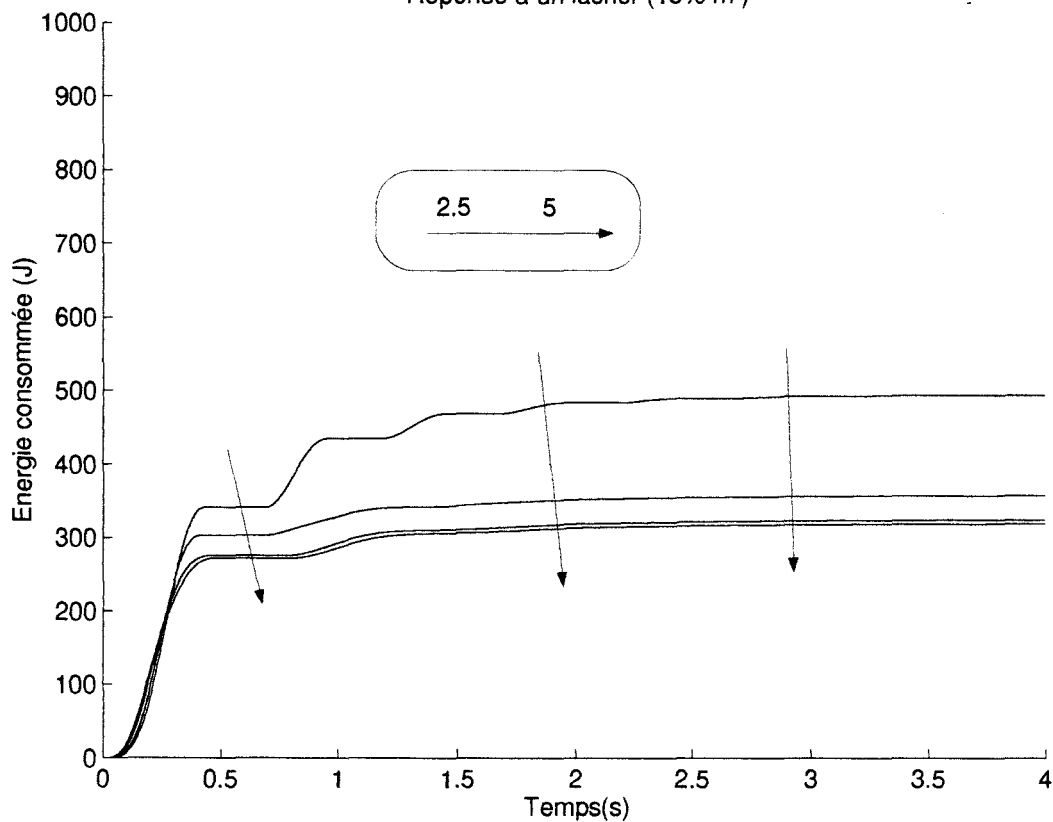


Modèle monoroue linéaire 2ddl actif.  
Influence de l'amortissement réduit de filtrage.  
 $k_p = 20\%$ ,  $k_d = 60\%$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $z_c = [0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6]$   
 $f_c = 3$  Hz

Réponse à un lacher (15% m)



Réponse à un lacher (15% m)



Modèle monoroue linéaire 2ddl actif.  
Influence de la fréquence de coupure de filtrage.  
 $k_p = 20\%$ ,  $k_d = 60\%$  (par rapport à  $k_p$  Karnopp)  
 $f_c = [2.5, 3, 4, 5]$  Hz  
 $z_c = 0.3$

Annexe (5-1)

Equations d'état suspension 3C.  
Modèle linéaire 3ddl.

Equation d'état du modèle 3C complet linéaire simplifié (a)

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{1}{r_l C_{av}} & 0 & \frac{1}{r_l C_{aux}} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{s_{av}}{M} & \frac{(2S_{av} - s_{av})d}{2J_\varphi} & -\frac{s_{av}e_{av}}{J_\theta} \\ 0 & -\frac{1}{r_l C_{av}} & 0 & \frac{1}{r_l C_{aux}} & 0 & 0 & 0 & -\frac{s_{av}}{M} & \frac{(2S_{av} - s_{av})d}{2J_\varphi} & -\frac{s_{av}e_{av}}{J_\theta} \\ \frac{1}{r_l C_{av}} & 0 & -\frac{1}{r_l C_{aux}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{(S_{ar} - s_{ar})d}{J_\varphi} & 0 \\ 0 & \frac{1}{r_l C_{av}} & 0 & -\frac{1}{r_l C_{aux}} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(S_{ar} - s_{ar})d}{J_\varphi} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{2s_{ar}}{M} & 0 & \frac{2s_{ar}e_{ar}}{J_\theta} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{d}{J_\varphi} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{d}{J_\varphi} & 0 \\ \frac{s_{av}}{C_{av}} & \frac{s_{av}}{C_{av}} & 0 & 0 & \frac{s_{ar}}{C_{ar}} & 0 & 0 & -2\frac{T_M}{M} & 0 & -2\frac{T_{M\theta}}{J_\theta} \\ d\frac{(2S_{av} - s_{av})}{2C_{av}} & -d\frac{(2S_{av} - s_{av})}{2C_{av}} & d\frac{(S_{ar} - s_{ar})}{C_{aux}} & -d\frac{(S_{ar} - s_{ar})}{C_{aux}} & 0 & dK_{av} & dK_{ar} & 0 & -d^2\frac{T_\varphi}{2J_\varphi} & 0 \\ e_{av}\frac{s_{av}}{C_{av}} & e_{av}\frac{s_{av}}{C_{av}} & 0 & 0 & -e_{ar}\frac{s_{ar}}{C_{ar}} & 0 & 0 & -2\frac{T_{M\theta}}{M} & 0 & -2\frac{T_\theta}{J_\theta} \end{bmatrix}$$

Equation d'état du modèle 3C complet linéaire simplifié (b)

$$B = \begin{bmatrix} S_{av} & -(S_{av}-s_{av}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -(S_{av}-s_{av}) & S_{av} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (S_{ar}-s_{ar}) & -(S_{ar}-s_{ar}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(S_{ar}-s_{ar}) & (S_{ar}-s_{ar}) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_{ar} & s_{ar} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \rho_{av} & \rho_{av} & \rho_{ar} & \rho_{ar} & 0 & 0 & s_{av}R_{av} & s_{av}R_{av} & s_{ar}R_{ar} \\ \frac{d}{2}\tau_{av} & -\frac{d}{2}\tau_{av} & \frac{d}{2}\tau_{ar} & -\frac{d}{2}\tau_{ar} & 1 & 0 & \frac{d}{2}(2S_{av}-s_{av})R_{av} & -\frac{d}{2}(2S_{av}-s_{av})R_{av} & 0 \\ e_{av}\rho_{av} & e_{av}\rho_{av} & -e_{ar}\rho_{ar} & -e_{ar}\rho_{ar} & 0 & 1 & e_{av}s_{av}R_{av} & e_{av}s_{av}R_{av} & -e_{ar}s_{ar}R_{ar} \end{bmatrix}$$

$$T_M = \rho_{av} + \rho_{ar}$$

$$T_\varphi = \tau_{av} + \tau_{ar}$$

$$T_\theta = e_{av}^2 \rho_{av} + e_{ar}^2 \rho_{ar}$$

$$T_{M\theta} = e_{av}\rho_{av} - e_{ar}\rho_{ar}$$

$$\rho_{av} = s_{av}^2 R_{av} + (S_{av} - s_{av})^2 r_t$$

$$\rho_{ar} = s_{ar}^2 R_{ar} + (S_{ar} - s_{ar})^2 r_t$$

$$\tau_{av} = (2S_{av} - s_{av})^2 R_{av} + (S_{av} - s_{av})^2 r_t$$

$$\tau_{ar} = (S_{ar} - s_{ar})^2 r_t$$

$$x = \begin{pmatrix} q_{Vav} \\ q_{Bav} \\ q_{Var} \\ q_{Bar} \\ q_R \\ q_{av} \\ q_{ar} \\ p_z \\ p_\varphi \\ p_\theta \end{pmatrix}, u = \begin{pmatrix} V_{avg} \\ V_{avd} \\ V_{arg} \\ V_{ard} \\ M_{0_\varphi} \\ M_{0_\theta} \\ Q_V \\ Q_B \\ Q_R \end{pmatrix}$$



Equation d'état du modèle 3C complet linéaire simplifié en roulis

$$\dot{x}_\varphi = A_\varphi x_\varphi + B_\varphi u_\varphi$$

$$A_\varphi = \begin{bmatrix} -\frac{1}{r_l C_{av}} & \frac{1}{r_l C_{aux}} & 0 & 0 & -\frac{(2S_{av} - s_{av})d}{2J_\varphi} \\ \frac{1}{r_l C_{av}} & -\frac{1}{r_l C_{aux}} & 0 & 0 & -\frac{(S_{ar} - s_{ar})d}{J_\varphi} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{d}{2J_\varphi} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{d}{2J_\varphi} \\ d\frac{(2S_{av} - s_{av})}{C_{av}} & d\frac{2(S_{ar} - s_{ar})}{C_{aux}} & 2dK_{av} & 2dK_{ar} & -d^2\frac{T_\varphi}{2J_\varphi} \end{bmatrix}$$

$$B_\varphi = \begin{bmatrix} (2S_{av} - s_{av}) & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2(S_{ar} - s_{ar}) & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ d((2S_{av} - s_{av})^2 R_{av} + (S_{av} - s_{av})^2 r_l) & d(S_{ar} - s_{ar})^2 r_l & 1 & d(2S_{av} - s_{av})R_{av} \end{bmatrix}$$

$$T_\varphi = (2S_{av} - s_{av})^2 R_{av} + [(S_{av} - s_{av})^2 + (S_{ar} - s_{ar})^2] r_l$$

$$x_\varphi = \begin{pmatrix} q_{\varphi_{av}} \\ q_{\varphi_{ar}} \\ q_{\varphi_{Kav}} \\ q_{\varphi_{Kar}} \\ p_\varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{q_{Vav} - q_{Bav}}{2} \\ \frac{q_{Var} - q_{Bar}}{2} \\ \frac{q_{Kav}}{2} \\ \frac{q_{Kar}}{2} \\ p_\varphi \end{pmatrix}, u_\varphi = \begin{pmatrix} V_{\varphi_{av}} \\ V_{\varphi_{ar}} \\ M_{0-\varphi} \\ Q_\varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{V_{avg} - V_{avd}}{2} \\ \frac{V_{arg} - V_{ard}}{2} \\ \frac{2}{M_{0-\varphi}} \\ \frac{Q_y - Q_B}{2} \end{pmatrix}$$

Equation d'état du modèle 3C complet linéaire simplifié en pompage tangage

$$\dot{x}_{z-\theta} = A_{z-\theta} x_{z-\theta} + B_{z-\theta} u_{z-\theta}$$

$$A_{z-\theta} = \begin{bmatrix} \frac{1}{r_l C_{av}} & \frac{1}{r_l C_{aux}} & 0 & -\frac{s_{av}}{M} & -\frac{s_{av} e_{av}}{J_\theta} \\ \frac{1}{r_l C_{av}} & -\frac{1}{r_l C_{aux}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{s_{ar}}{M} & \frac{s_{ar} e_{ar}}{J_\theta} \\ 2\frac{s_{av}}{C_{av}} & 0 & 2\frac{s_{ar}}{C_{ar}} & -2\frac{T_M}{M} & -2\frac{T_{M\theta}}{J_\theta} \\ 2e_{av}\frac{s_{av}}{C_{av}} & 0 & -2e_{ar}\frac{s_{ar}}{C_{ar}} & -2\frac{T_{M\theta}}{M} & -2\frac{T_\theta}{J_\theta} \end{bmatrix}$$

$$B_{z-\theta} = \begin{bmatrix} s_{av} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_{ar} & 0 & 0 & 1 \\ 2\rho_{av} & 2\rho_{ar} & 0 & 2s_{av}R_{av} & 2s_{ar}R_{ar} \\ 2e_{av}\rho_{av} & -2e_{ar}\rho_{ar} & 1 & 2e_{av}s_{av}R_{av} & -2e_{ar}s_{ar}R_{ar} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} T_M &= \rho_{av} + \rho_{ar} \\ T_\theta &= e_{av}^2 \rho_{av} + e_{ar}^2 \rho_{ar} \\ T_{M\theta} &= e_{av} \rho_{av} - e_{ar} \rho_{ar} \end{aligned}$$

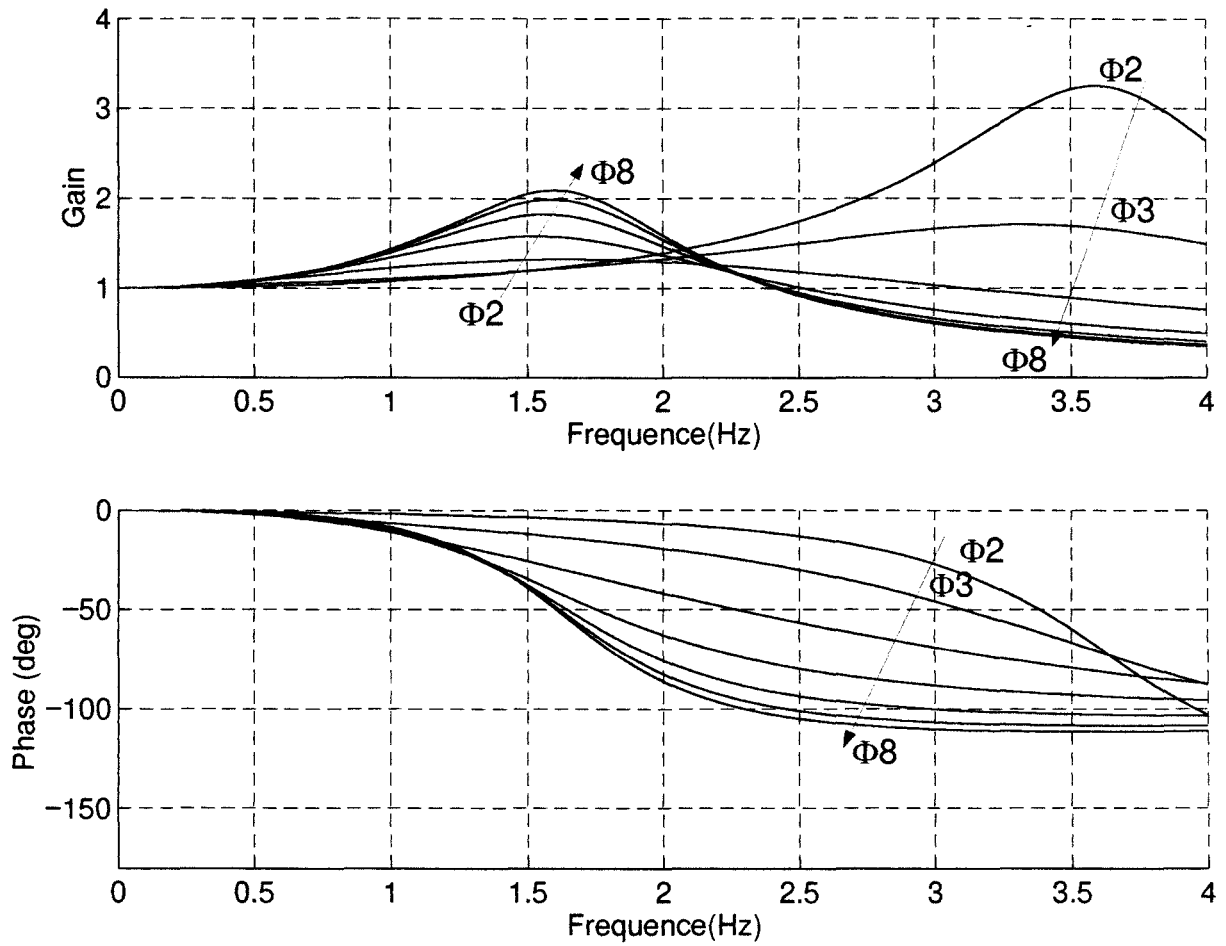
$$\begin{aligned} \rho_{av} &= s_{av}^2 R_{av} + (S_{av} - s_{av})^2 r_l \\ \rho_{ar} &= s_{ar}^2 R_{ar} + (S_{ar} - s_{ar})^2 r_l \end{aligned}$$

$$x_{z-\theta} = \begin{pmatrix} q_{av} \\ q_{aux} \\ q_{ar} \\ p_z \\ p_\theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{q_{Vav} + q_{Bav}}{2} \\ \frac{q_{Var} + q_{Bar}}{2} \\ \frac{q_R}{2} \\ p_z \\ p_\theta \end{pmatrix}, u_{z-\theta} = \begin{pmatrix} V_{av} \\ V_{ar} \\ Q_{av} \\ Q_{ar} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{V_{avg} + V_{avd}}{2} \\ \frac{V_{arg} + V_{ard}}{2} \\ \frac{M_{0,\theta}}{Q_V + Q_B} \\ \frac{Q_R}{2} \end{pmatrix},$$

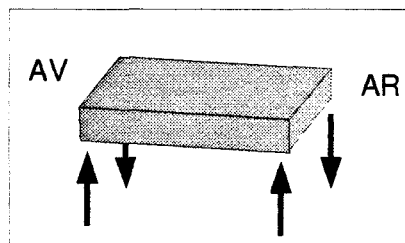
Annexe (5-2)

Evolution de la tenue de caisse en roulis  
en fonction de  
la répartition de raideur  
entre sphères avant et sphères de compensation arrière.  
Modèle linéaire 3ddl.

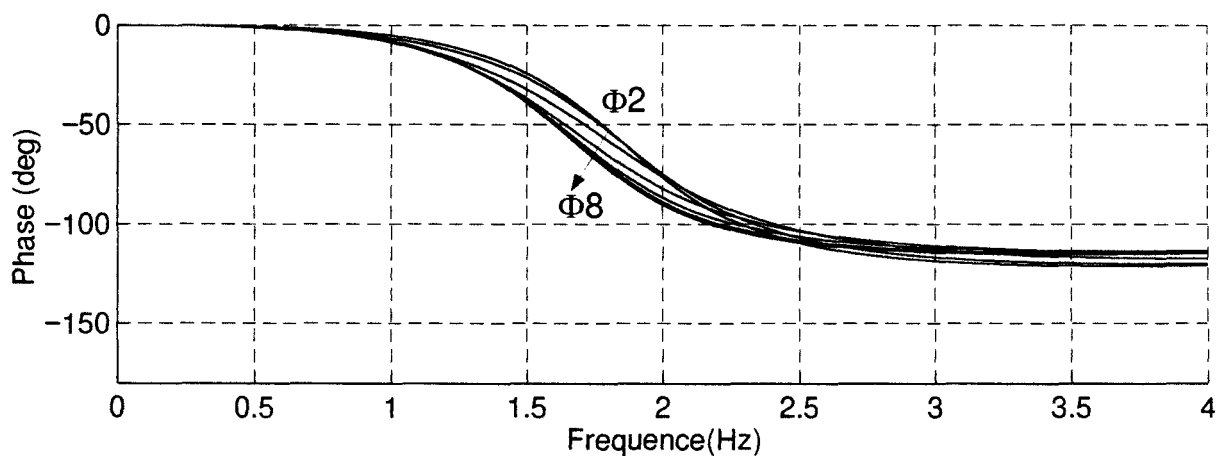
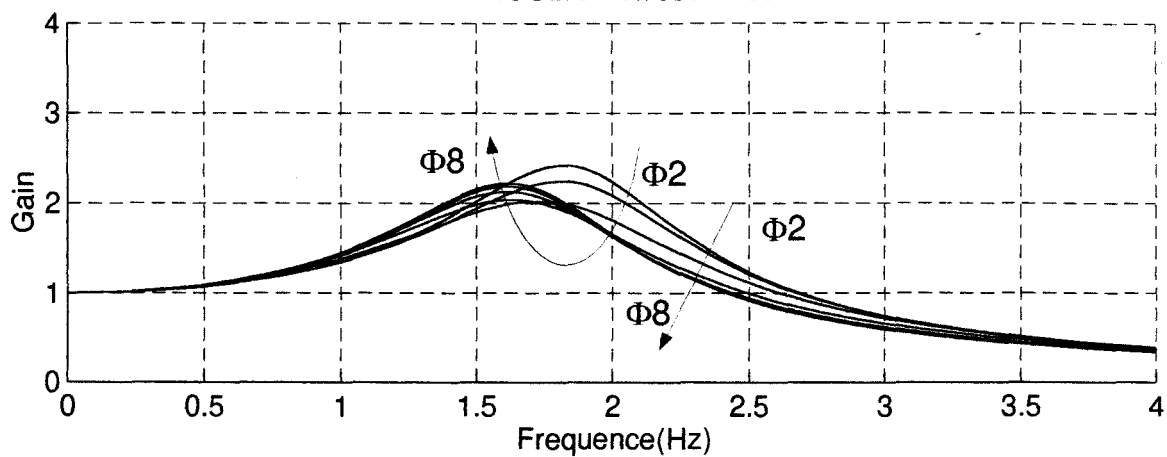
ROULIS Vcasse / Vsol



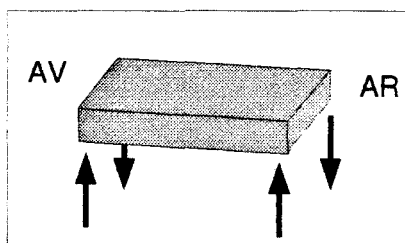
*Bode en roulis pour une répartition 95% / 5%  
entre sphères avants et sphères de compensation arrières  
Influence de l'amortissement conduites longitudinales  
Variation du diamètre de 2 à 8 mm*



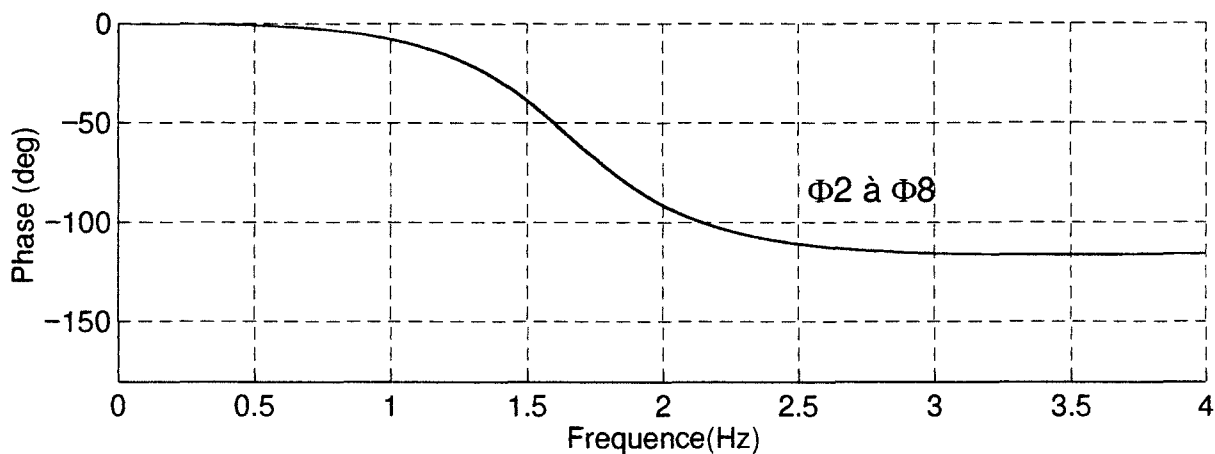
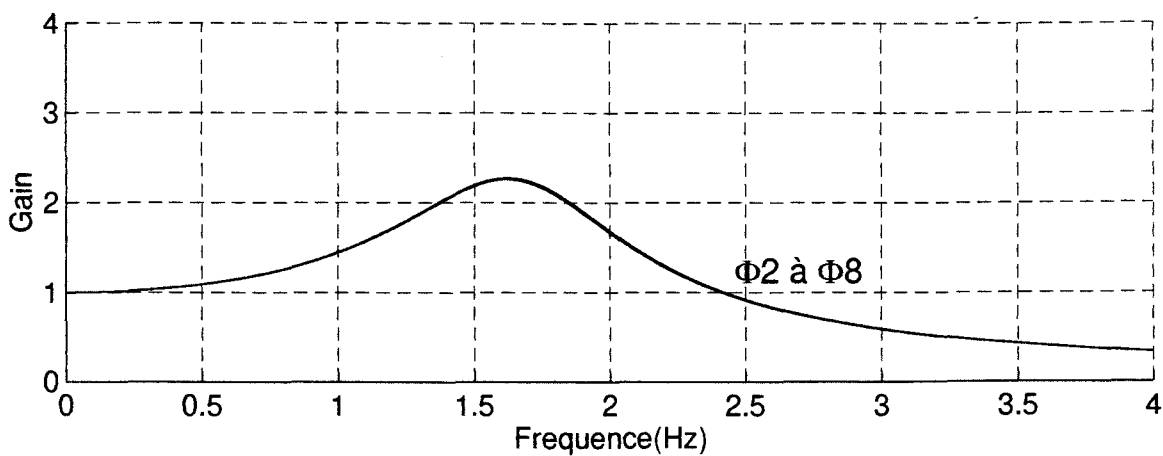
ROULIS Vcasse / Vsol



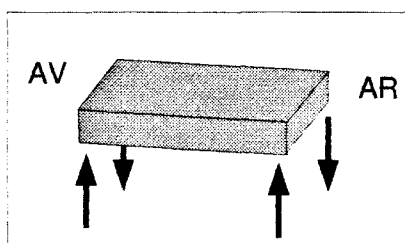
*Bode en roulis pour une répartition 75% / 25%  
entre sphères avant et sphères de compensation arrières  
Influence de l'amortissement conduites longitudinales  
Variation du diamètre de 2 à 8 mm*



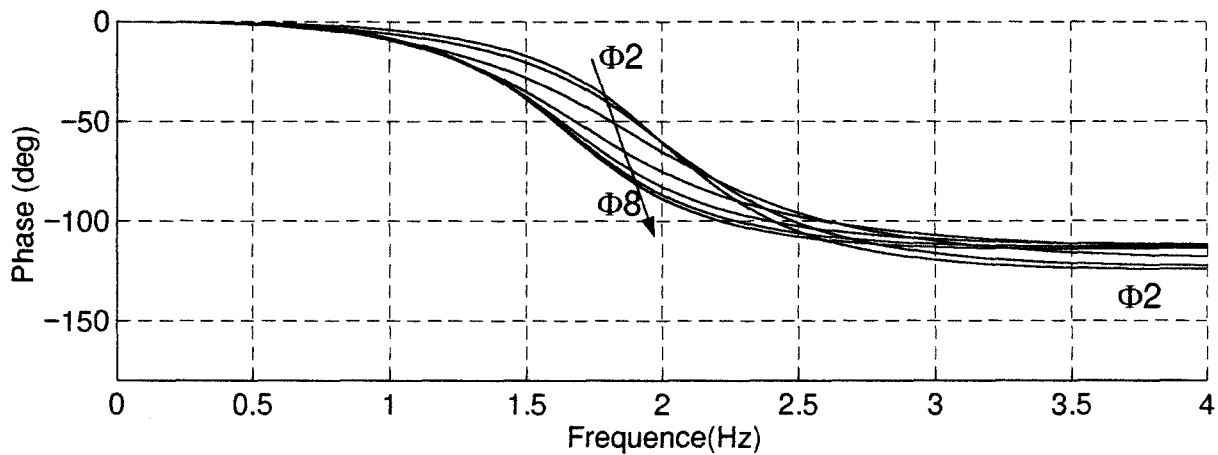
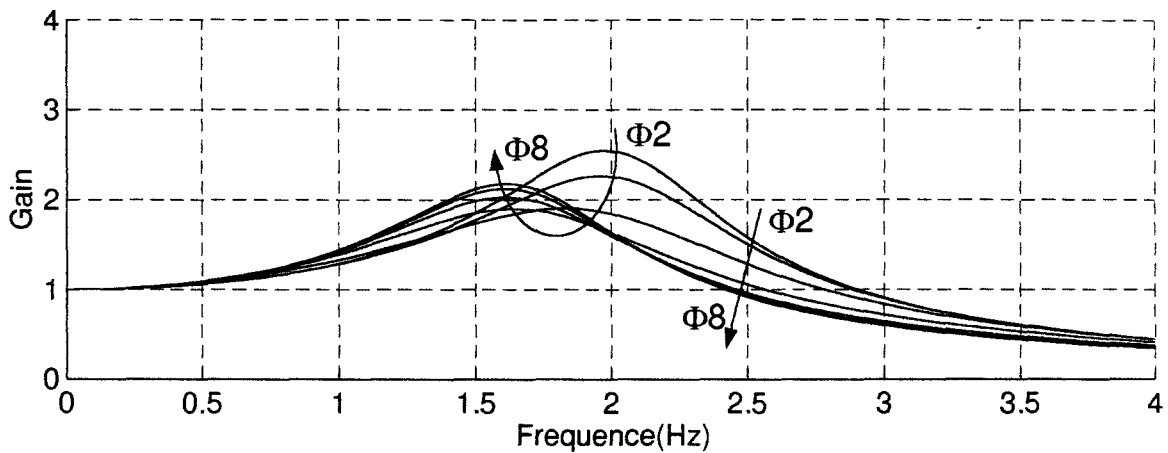
ROULIS Vcasse / Vsol



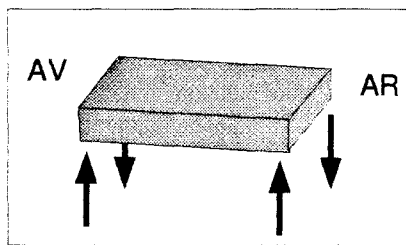
*Bode en roulis pour une répartition 50% / 50%  
entre sphères avants et sphères de compensation arrières  
Influence de l'amortissement conduites longitudinales  
Variation du diamètre de 2 à 8 mm*



ROULIS Vcasse / Vsol

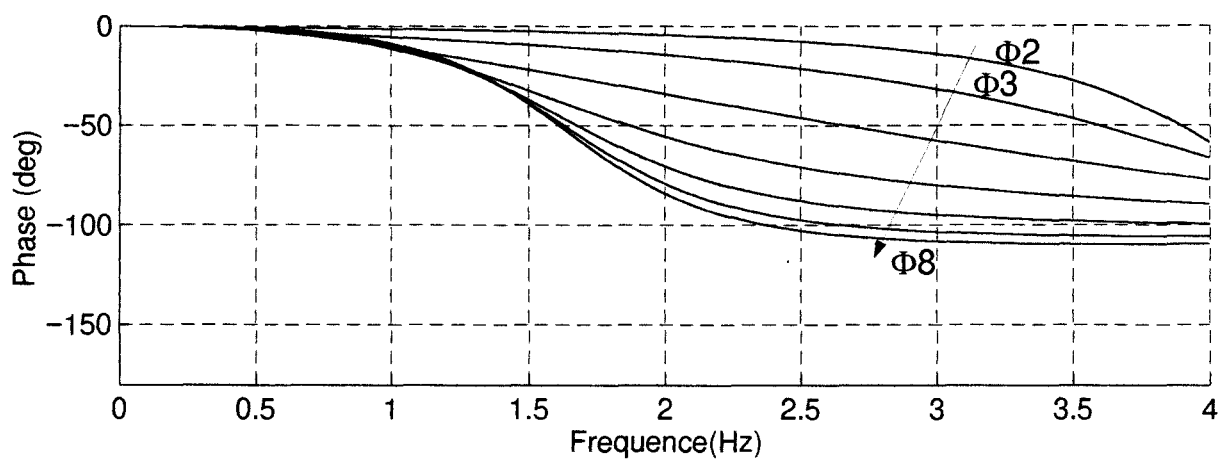
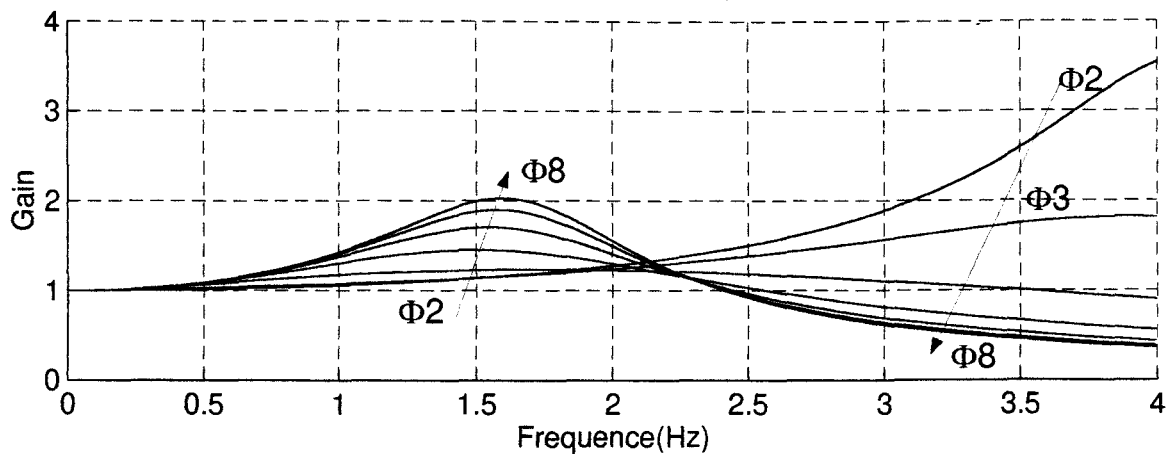


*Bode en roulis pour une répartition 25% / 75%  
entre sphères avant et sphères de compensation arrière  
Influence de l'amortissement conduites longitudinales  
Variation du diamètre de 2 à 8 mm*

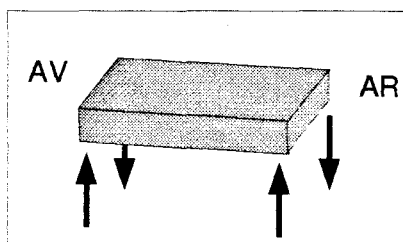




ROULIS Vcasse / Vsol

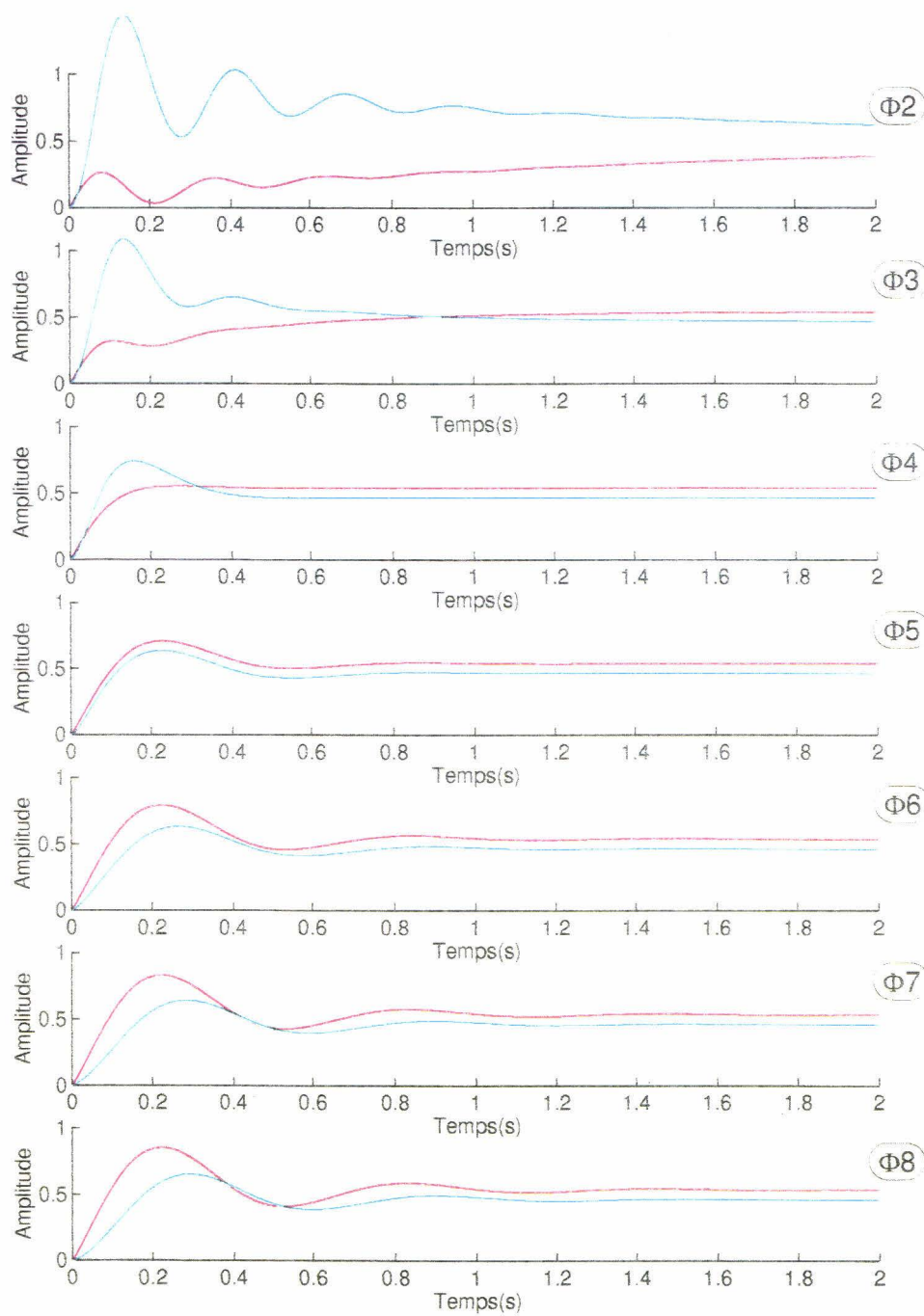


*Bode en roulis pour une répartition 5% / 95%  
entre sphères avants et sphères de compensation arrières  
Influence de l'amortissement conduites longitudinales  
Variation du diamètre de 2 à 8 mm*

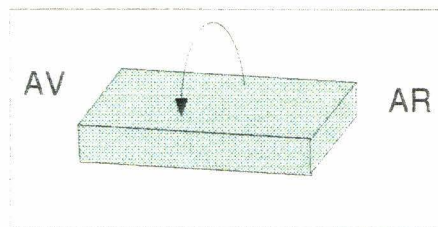


### Annexe (5-3)

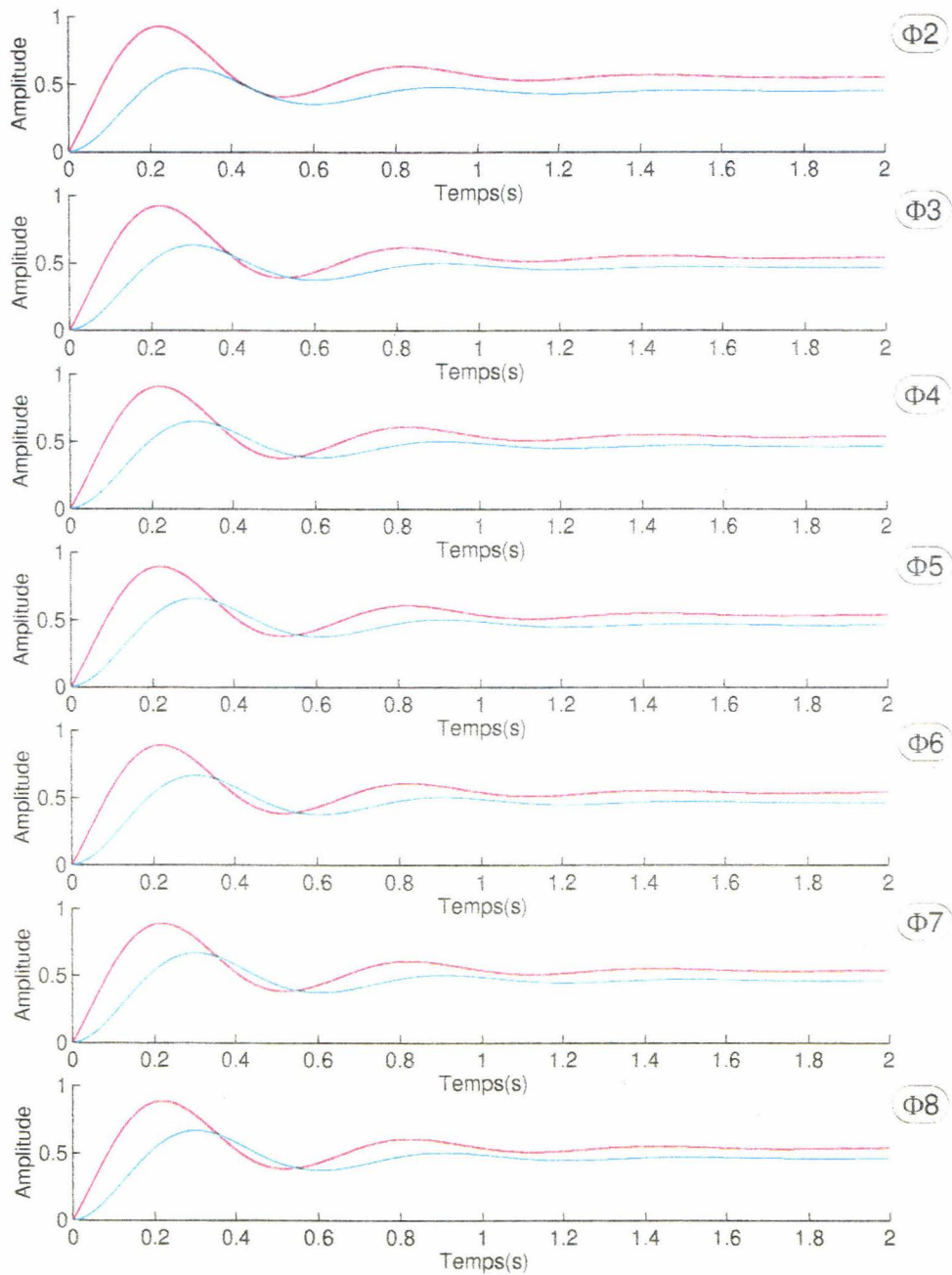
Evolution de la répartition des efforts au sol en roulis  
en réponse à un échelon  
en fonction de  
la répartition de raideur  
entre sphères avant et sphères de compensation arrière.  
Modèle linéaire 3ddl.



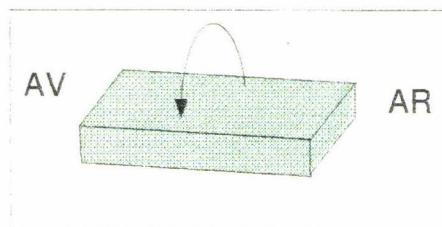
■ Avant  
■ Arrière



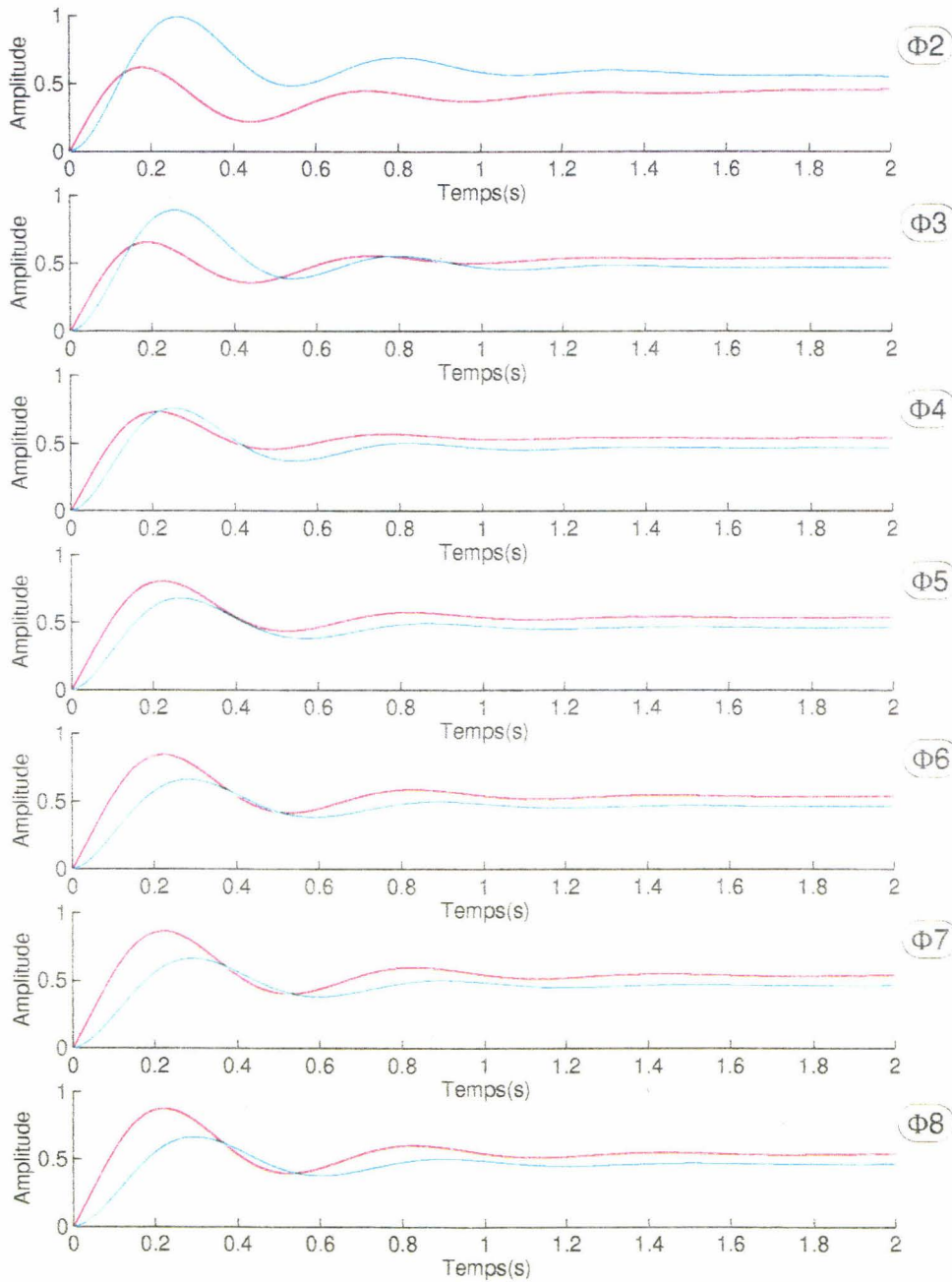
*Répartition des efforts de suspension av/ar en roulis  
 pour une répartition 95% / 05%  
 entre sphères avant et sphères de compensation arrière.  
 Réponse à un échelon de roulis.*



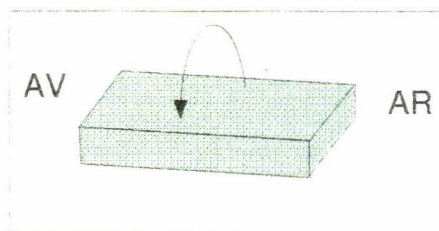
■ Avant  
■ Arrière



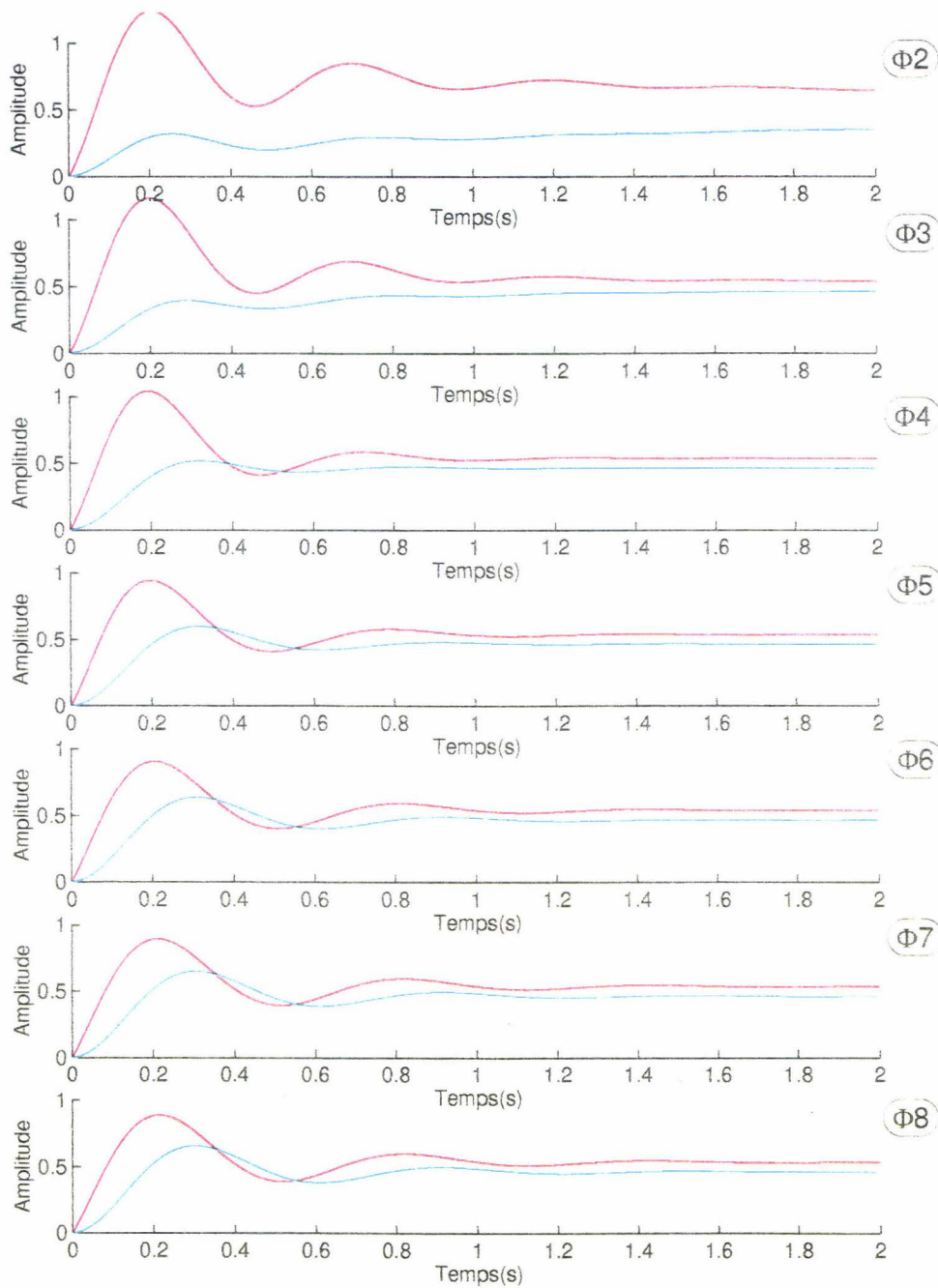
*Répartition des efforts de suspension av/ar en roulis  
 pour une répartition 50% / 50%  
 entre sphères avant et sphères de compensation arrière.  
 Réponse à un échelon de roulis.*



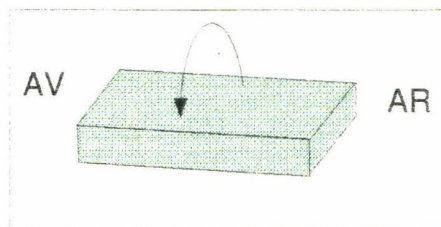
■ Avant  
■ Arrière



*Répartition des efforts de suspension av/ar en roulis  
 pour une répartition 75% / 25%  
 entre sphères avant et sphères de compensation arrière.  
 Réponse à un échelon de roulis.*

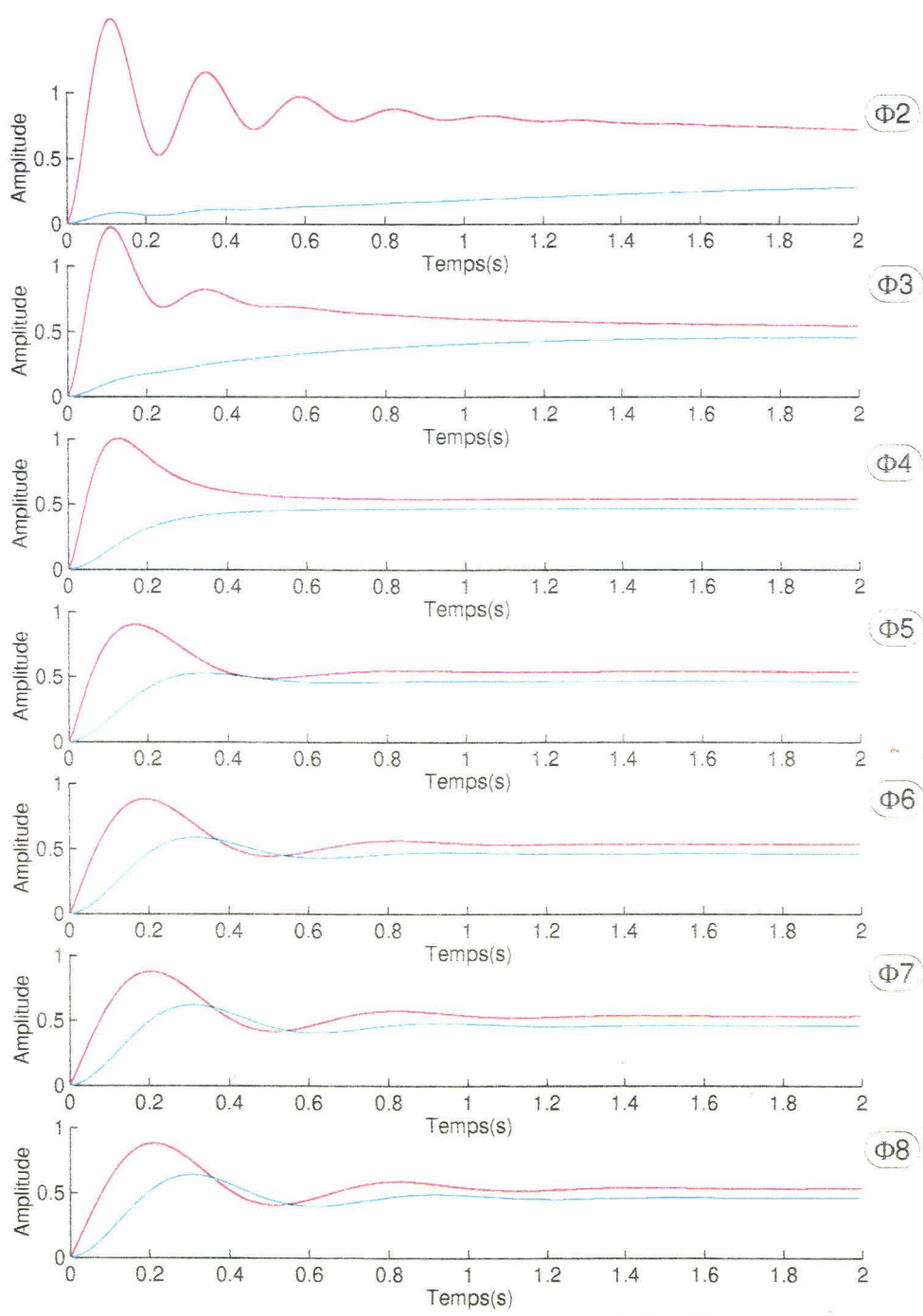


■ Avant  
■ Arrière

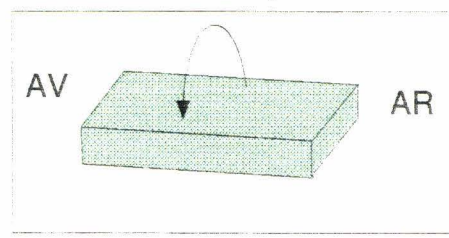


*Répartition des efforts de suspension av/ar en roulis  
 pour une répartition 25% / 75%  
 entre sphères avants et sphères de compensation arrière.  
 Réponse à un échelon de roulis.*





■ Avant  
■ Arrière

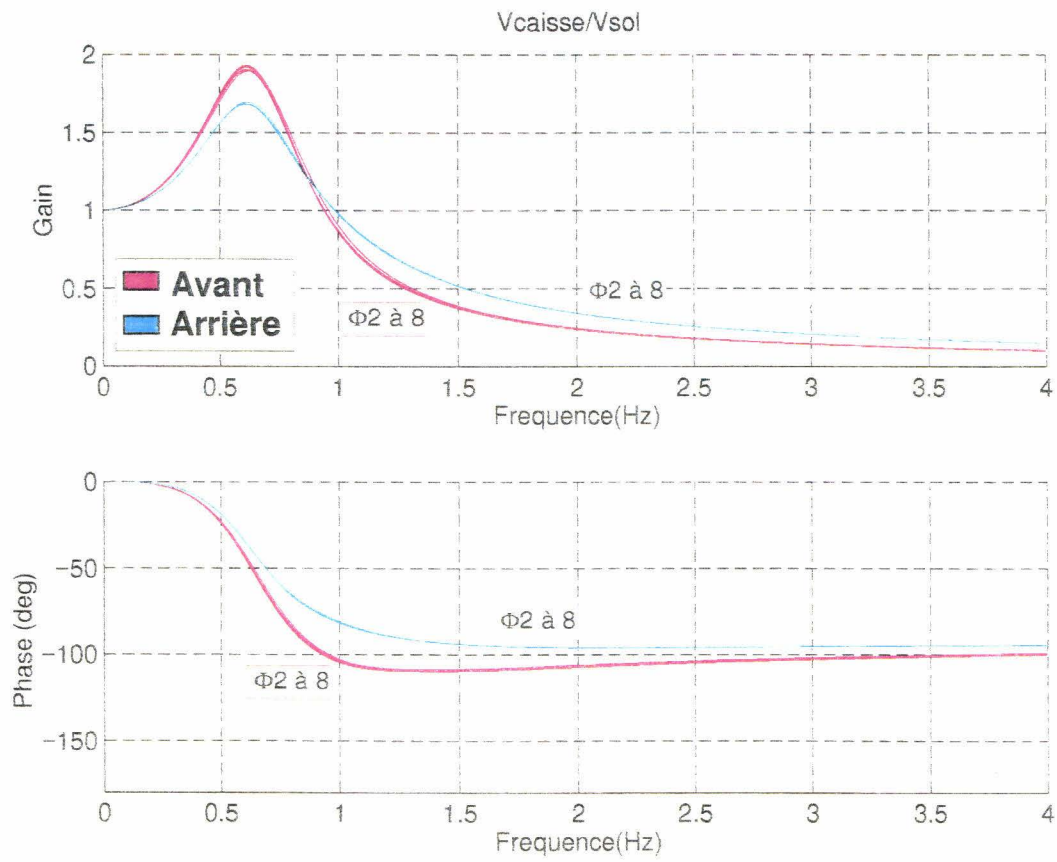


*Répartition des efforts de suspension av/ar en roulis  
 pour une répartition 5% / 95%  
 entre sphères avant et sphères de compensation arrière.  
 Réponse à un échelon de roulis.*

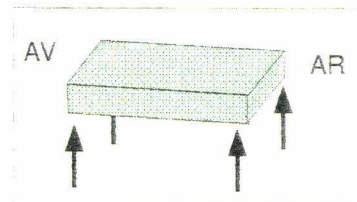
## Annexe (5-4)

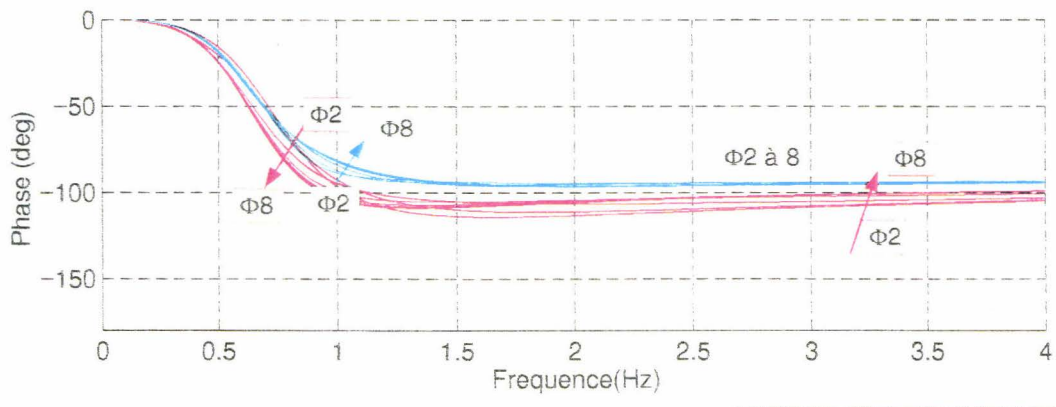
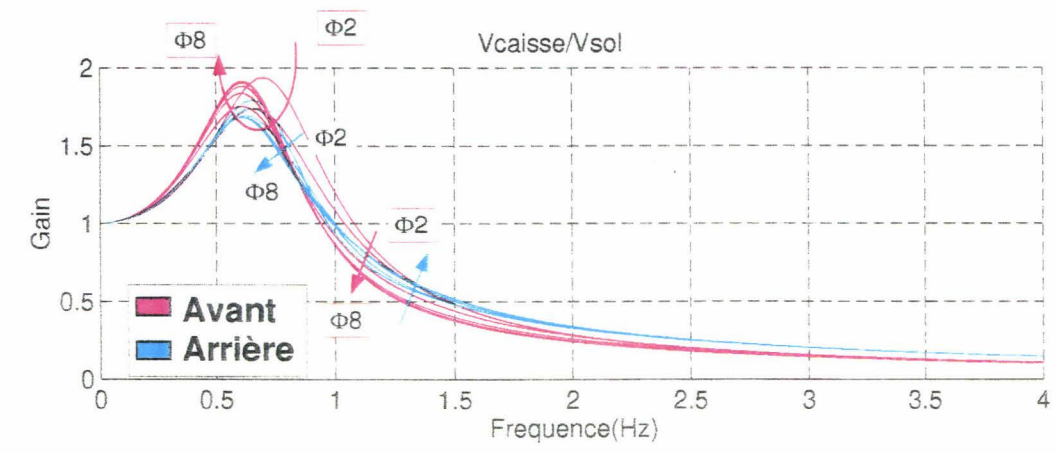
Evolution de la tenue de caisse en pompage  
en fonction de  
la répartition de raideur  
entre sphères avant et sphères de compensation arrière.  
Modèle linéaire 3ddl.



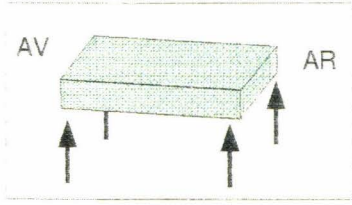


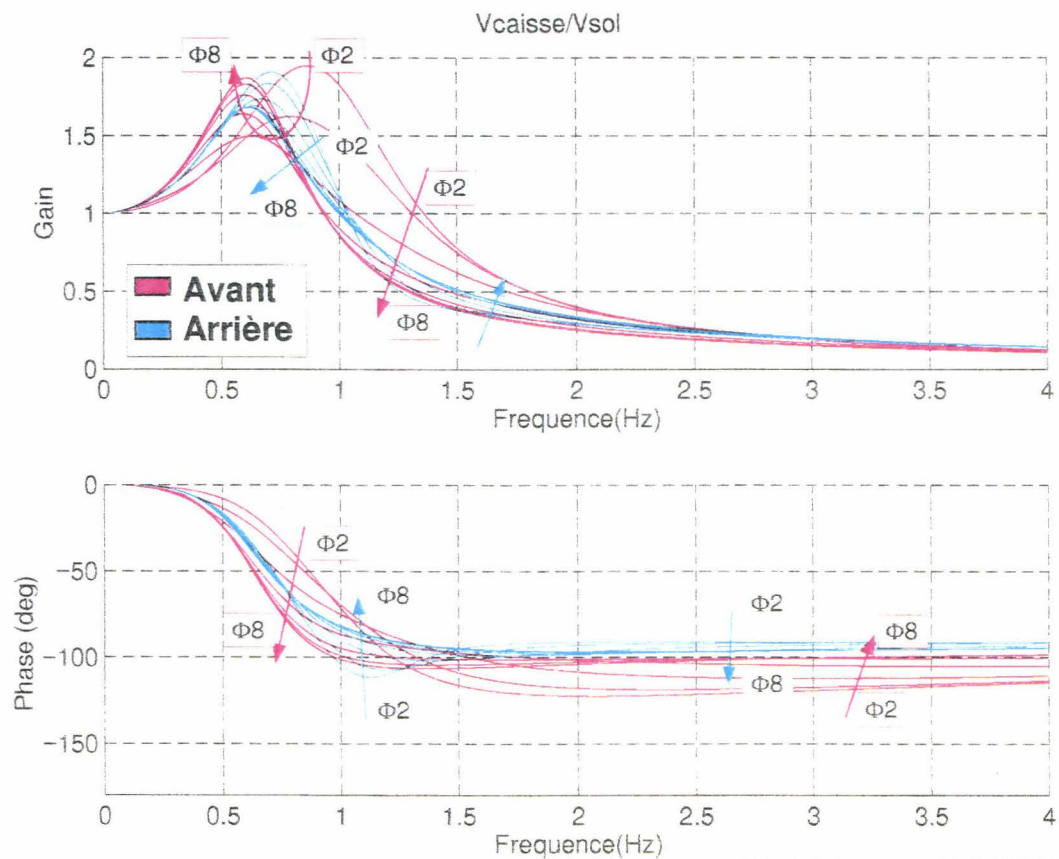
Bode en pompage pour une répartition 95% / 5%  
entre sphères avants et sphères de compensation arrières  
Influence de l'amortissement des conduites longitudinales  
Variation de 2 à 8 mm.



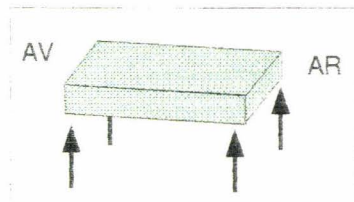


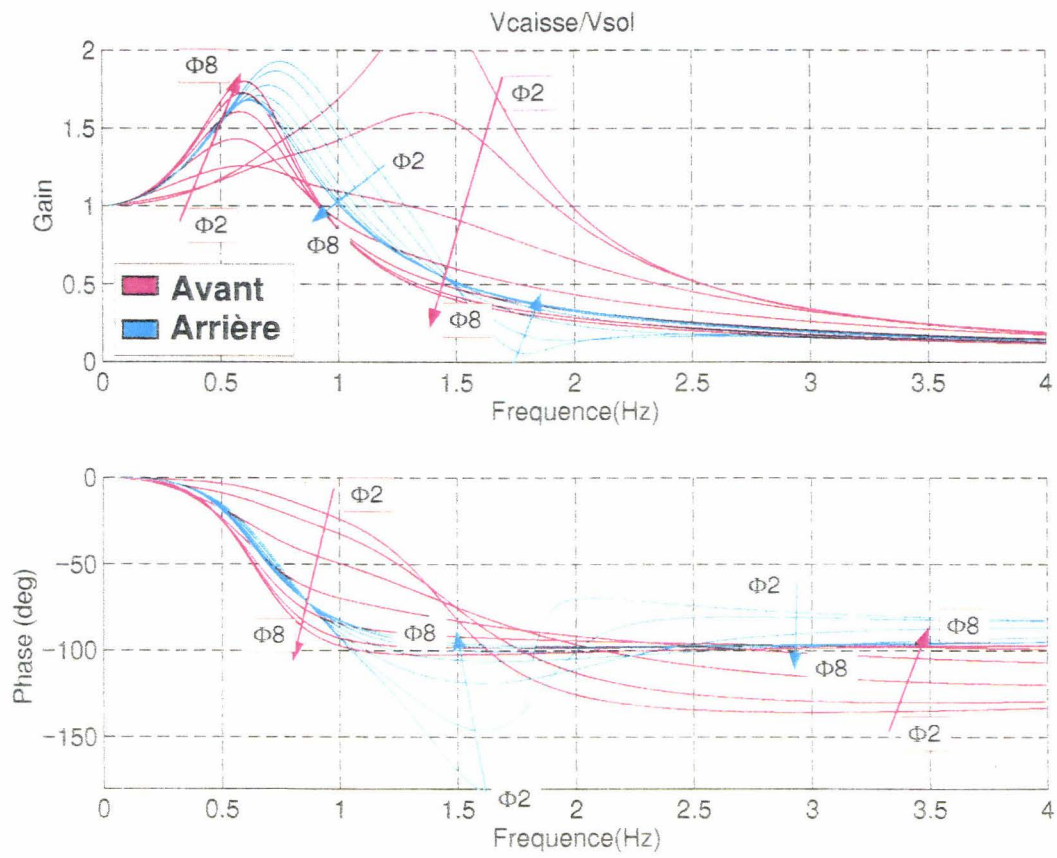
Bode en pompage pour une répartition 75% / 25%  
 entre sphères avants et sphères de compensation arrières  
 Influence de l'amortissement des conduites longitudinales  
 Variation de 2 à 8 mm.



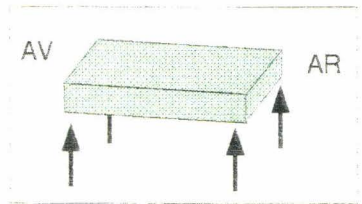


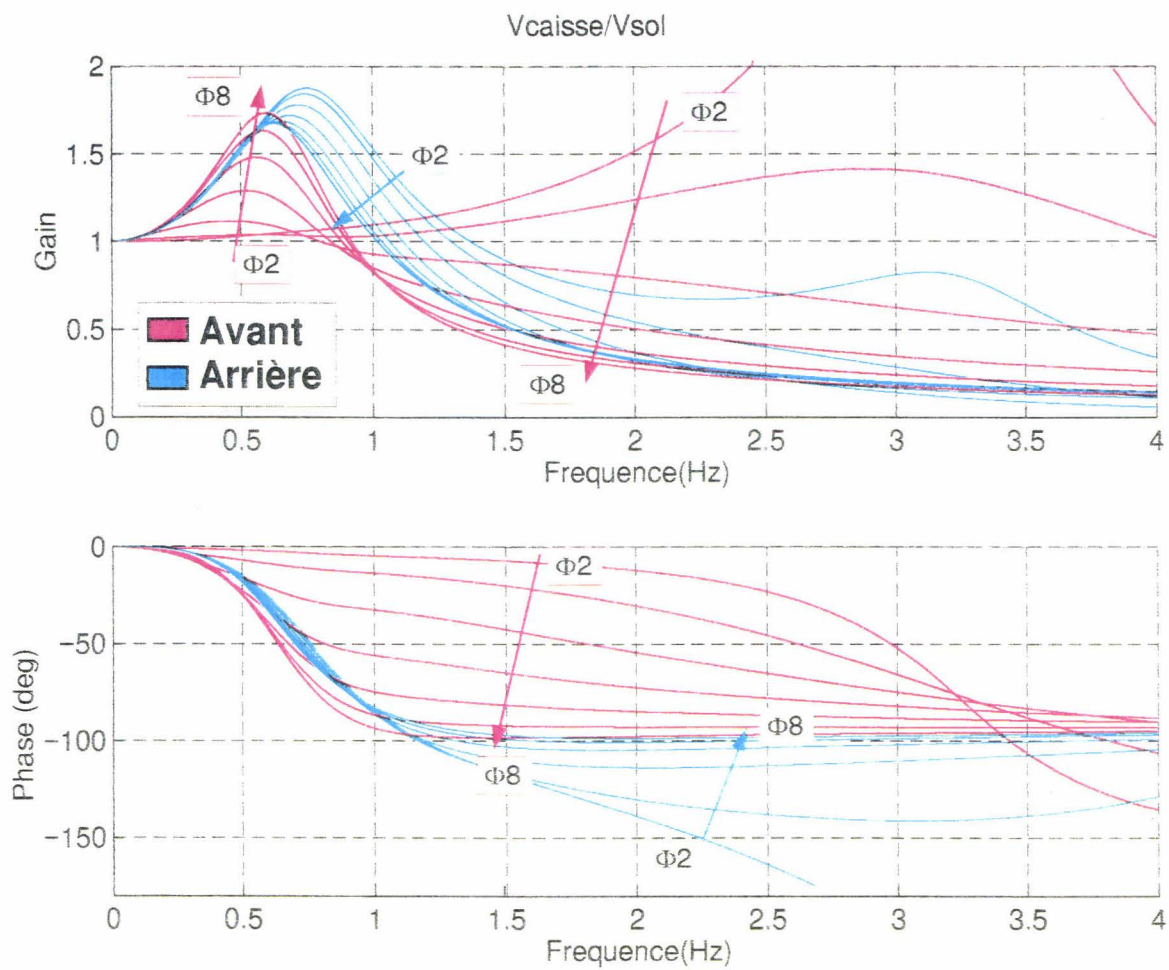
*Bode en pompage pour une répartition 50% / 50%  
entre sphères avant et sphères de compensation arrière  
Influence de l'amortissement des conduites longitudinales  
Variation de 2 à 8 mm.*



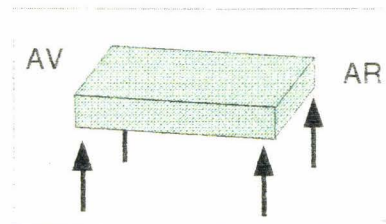


*Bode en pompage pour une répartition 25% / 75%  
entre sphères avant et sphères de compensation arrières  
Influence de l'amortissement des conduites longitudinales  
Variation de 2 à 8 mm.*





*Bode en pompage pour une répartition 5% / 95%  
entre sphères avants et sphères de compensation arrières  
Influence de l'amortissement des conduites longitudinales  
Variation de 2 à 8 mm.*

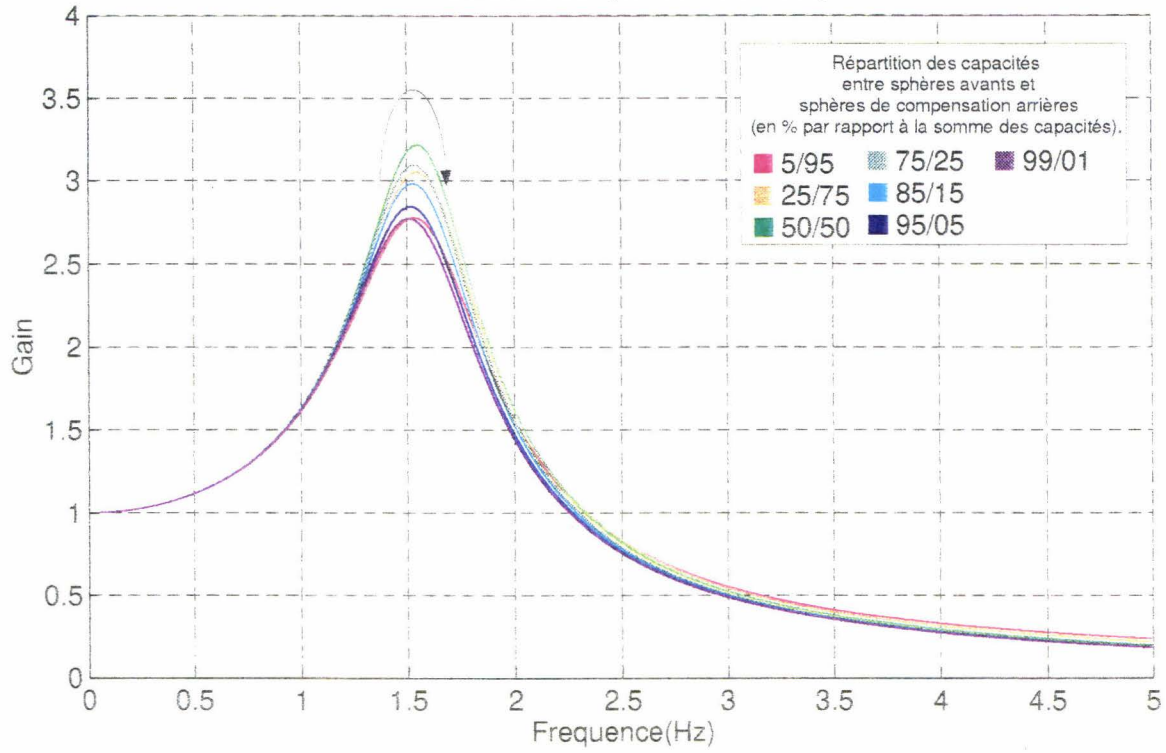


## Annexe (5-5)

Caractéristiques en roulis de la suspension 3C  
en fonction de  
la répartition de raideur  
entre sphères avant et sphères de compensation arrière.  
Modèle linéaire 7ddl.

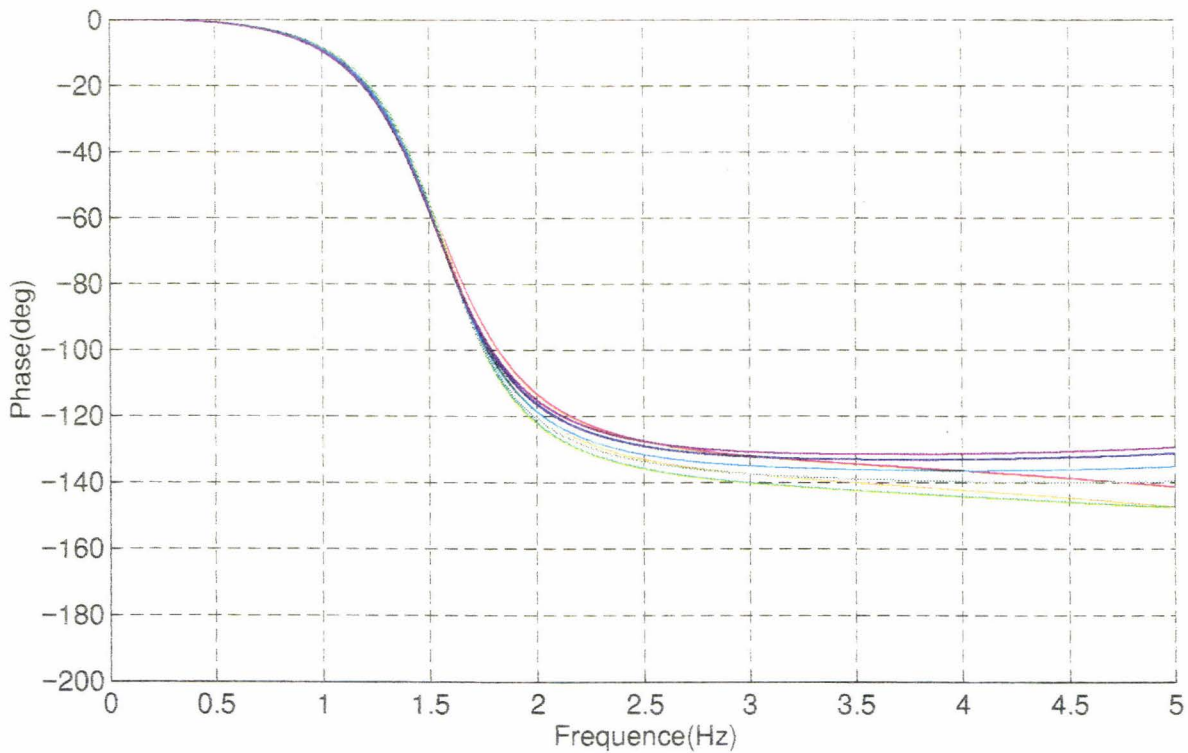


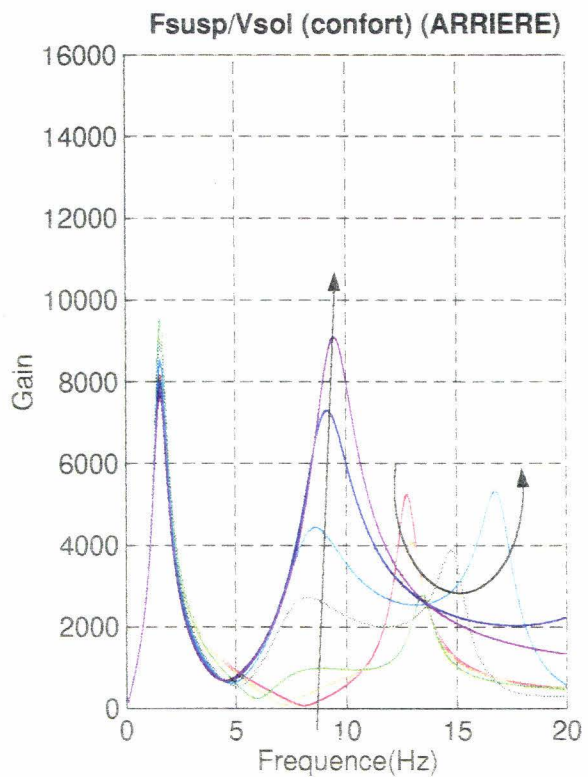
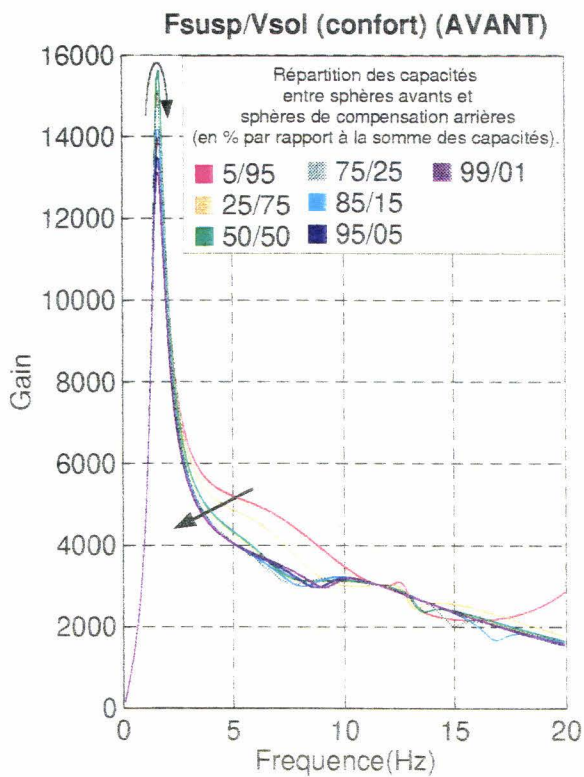
### Vcasse/Vsol (tenue de caisse)



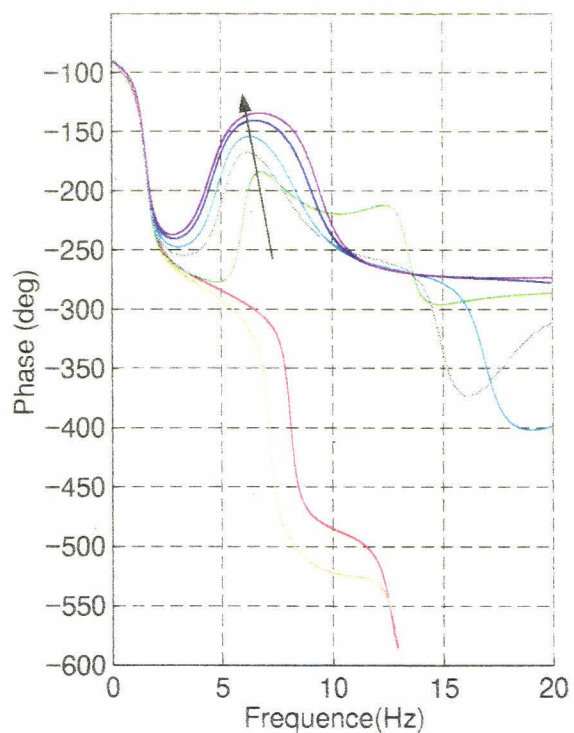
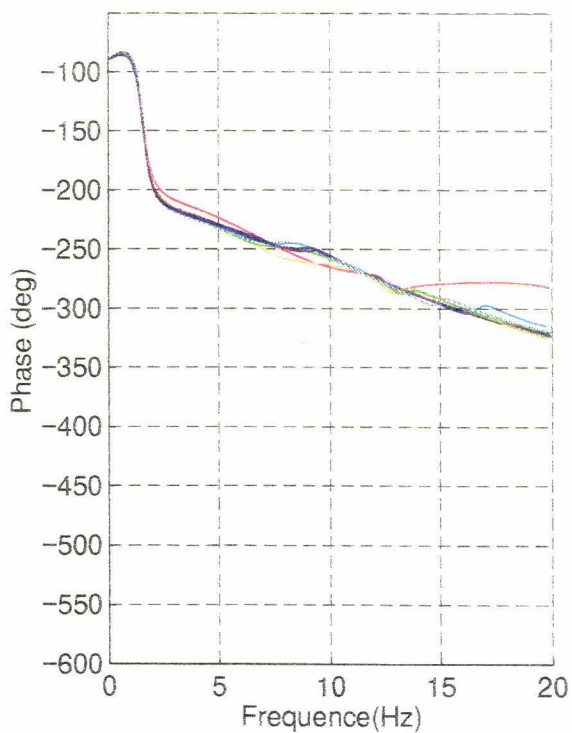
*Suspension 3C passive.*

*Influence de la répartition des capacités entre sphères avants / sphères de compensation arrières sur les caractéristiques tenue de caisse en roulis.*

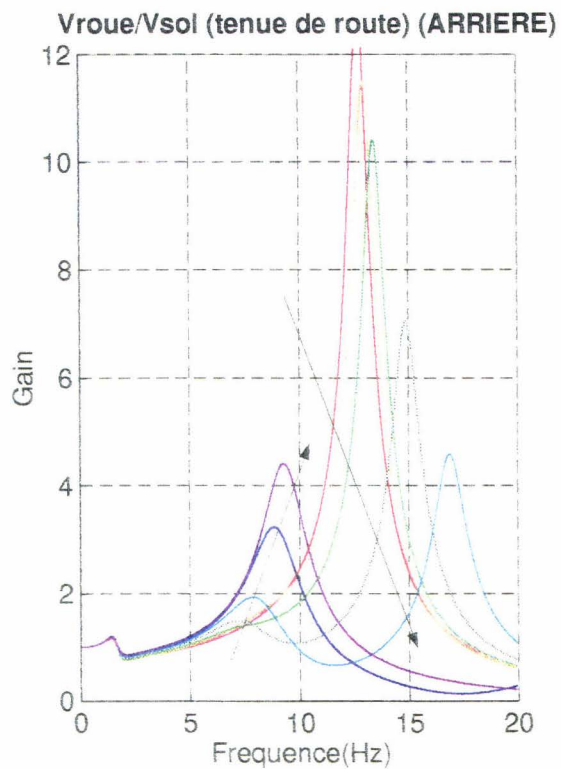
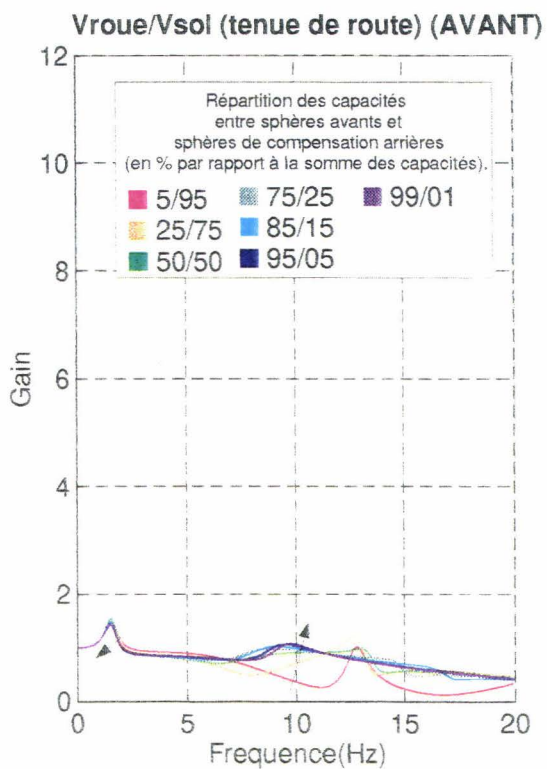




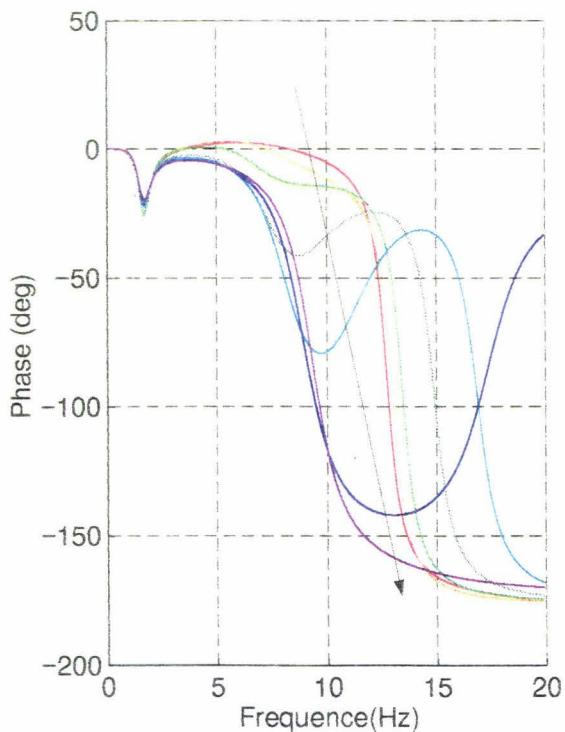
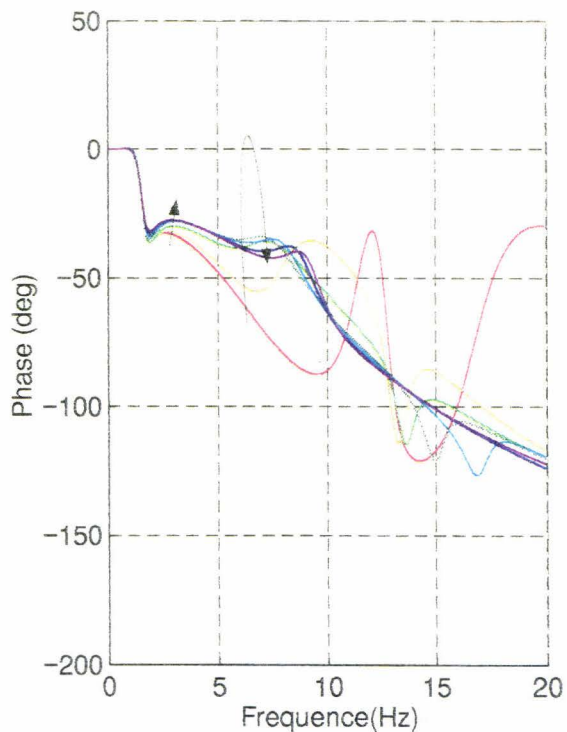
*Suspension 3C passive.*  
*Influence de la répartition des capacités entre sphères avant / sphères de compensation arrière sur les caractéristiques confort en roulis.*

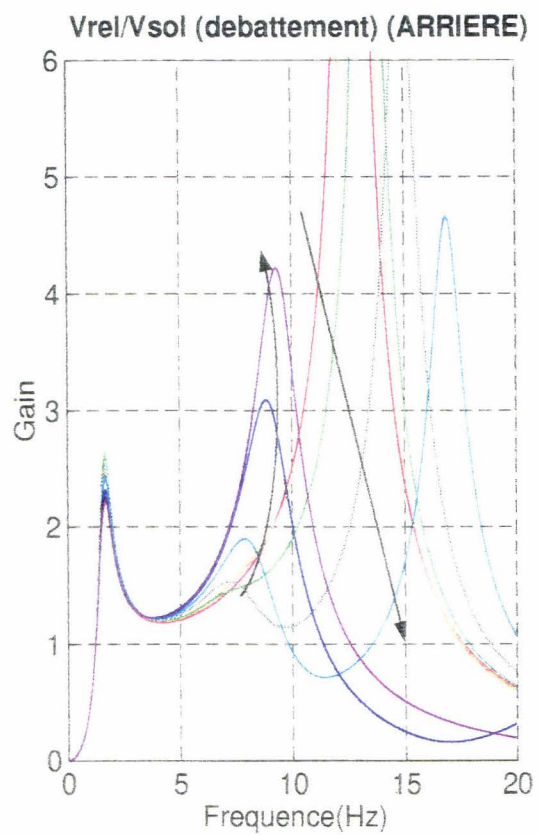
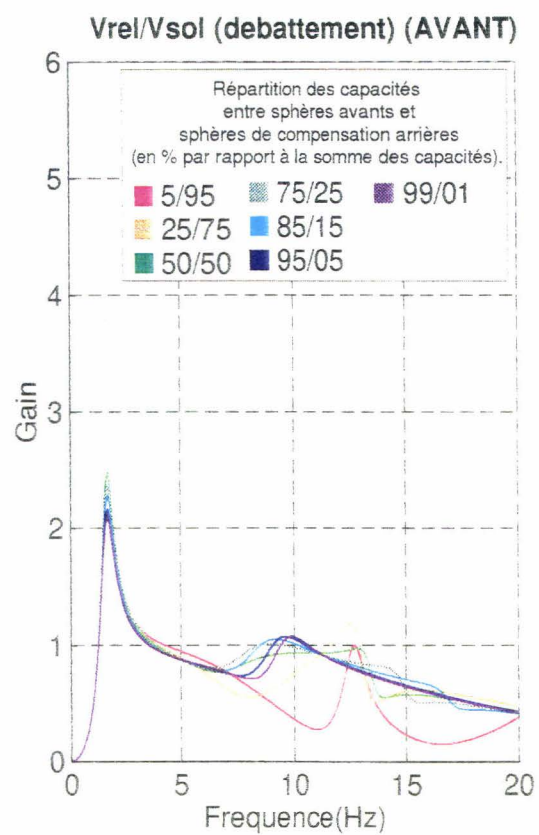




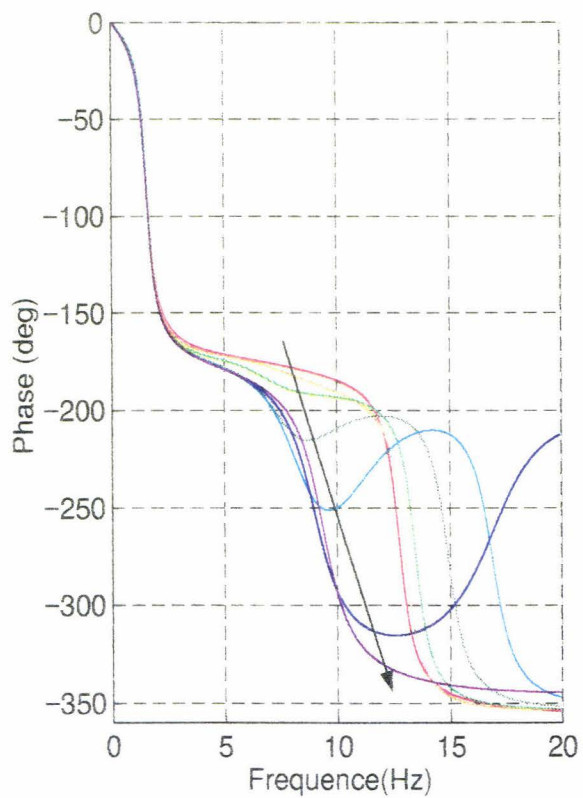
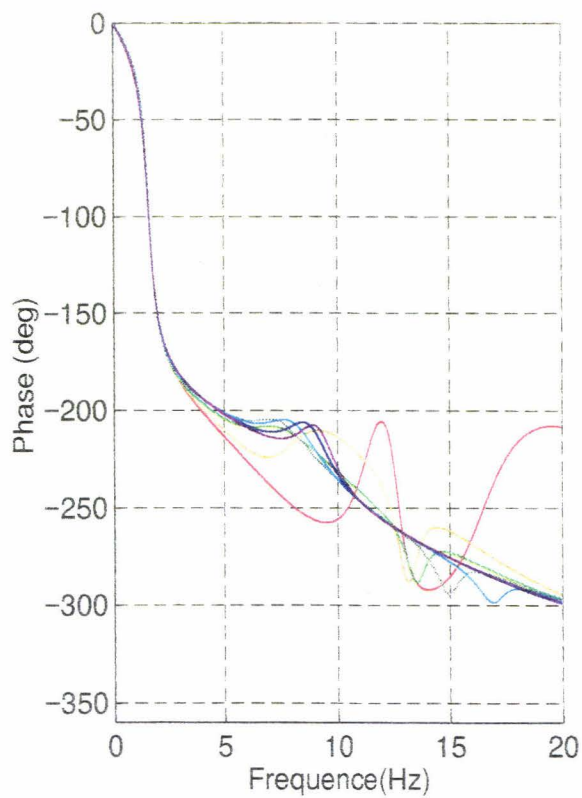


Suspension 3C passive.  
Influence de la répartition des capacités entre sphères avant / sphères de compensation arrières sur les caractéristiques tenue de route en **roulis**.





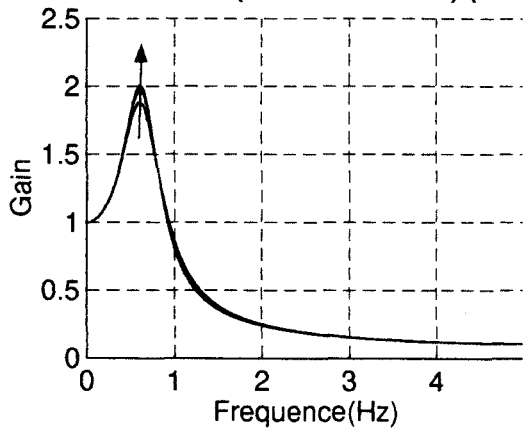
*Suspension 3C passive.*  
*Influence de la répartition des capacités entre sphères avant / sphères de compensation arrières sur les caractéristiques débattement en roulis.*



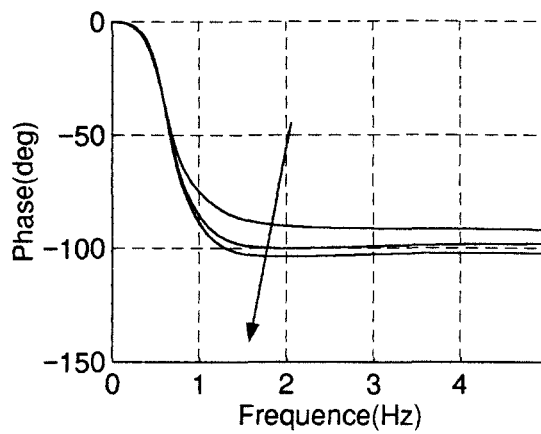
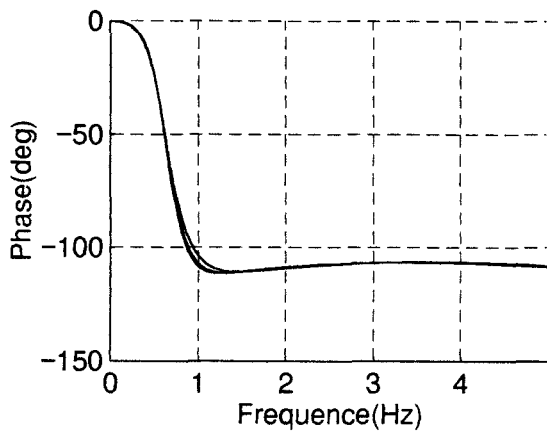
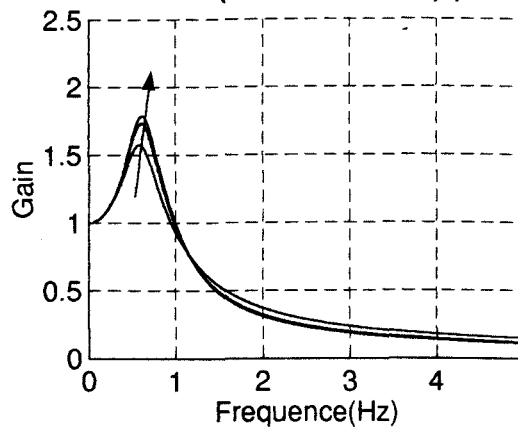
## **Annexe (5-6)**

**Influence du diamètre des conduites transversales  
sur les caractéristiques fréquentielles de la suspension 3C  
en pompage et en roulis  
Modèle linéaire 7ddl.**

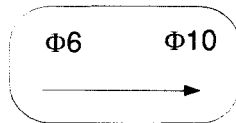
Vcasse/Vsol (tenue de caisse) (AVANT)

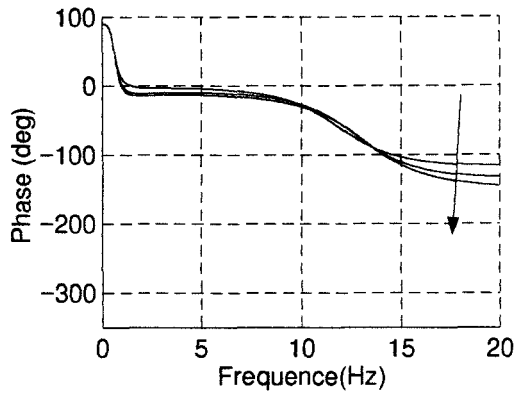
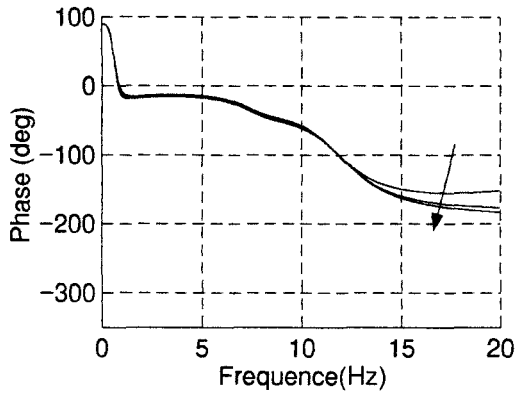
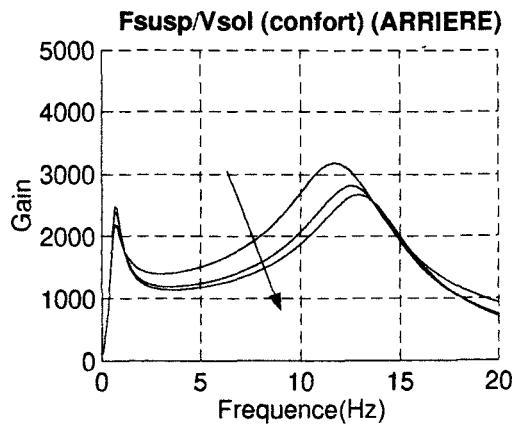
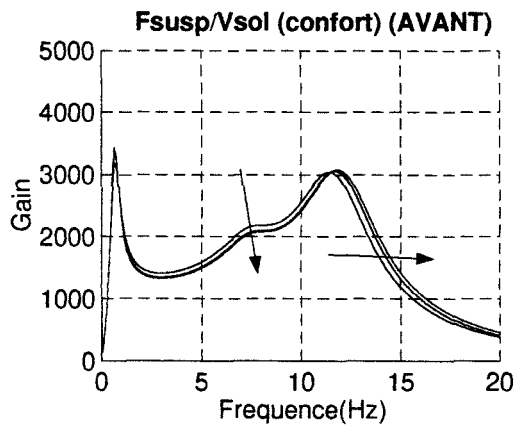


Vcasse/Vsol (tenue de caisse) (ARRIERE)

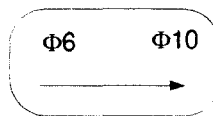


*Etude de l'influence des conduites transversales sur le **pompage**  
Suspension 3C passive.  
Diamètres 6, 8, 10 mm.*

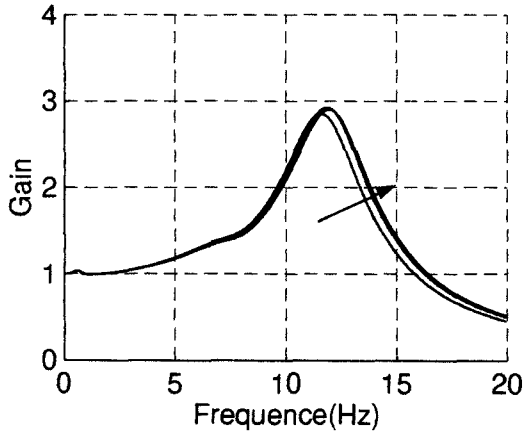




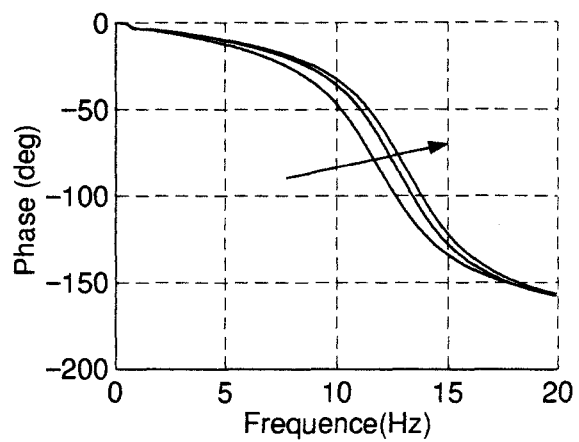
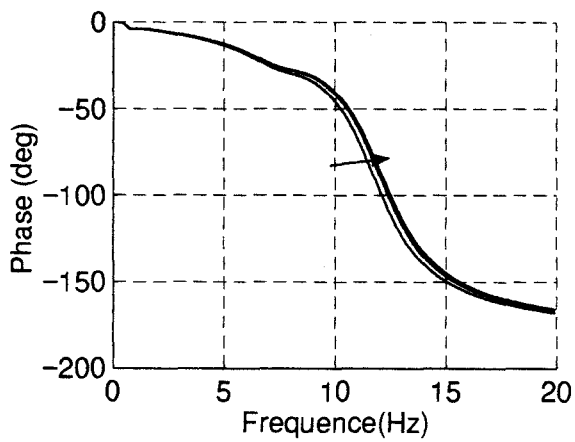
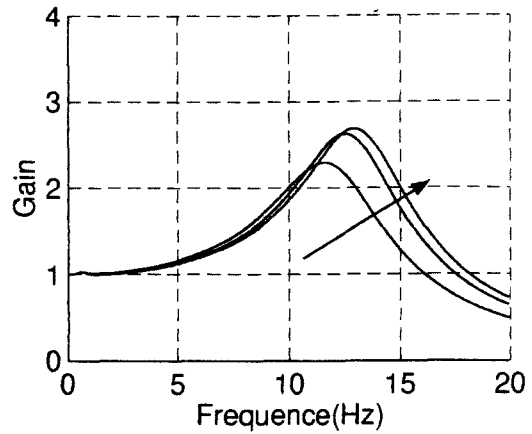
*Etude de l'influence des conduites transversales sur le **pompage**  
Suspension 3C passive.  
Diamètres 6, 8, 10 mm.*



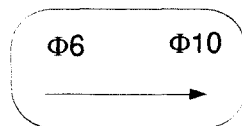
Vroue/Vsol (tenue de route) (AVANT)

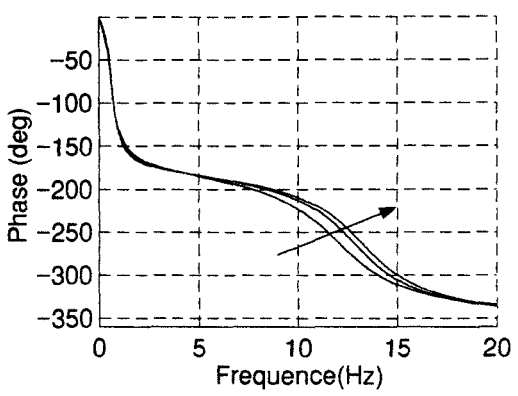
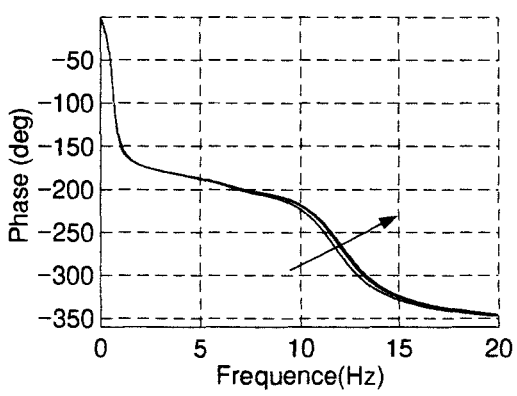
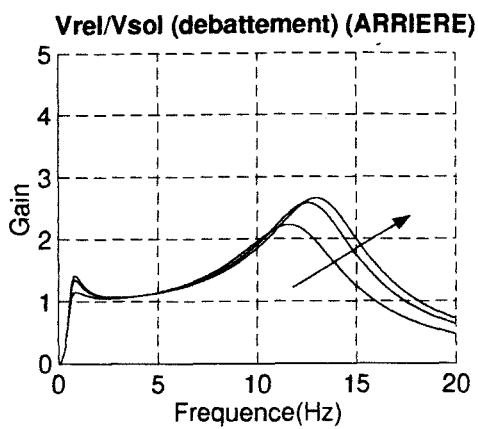
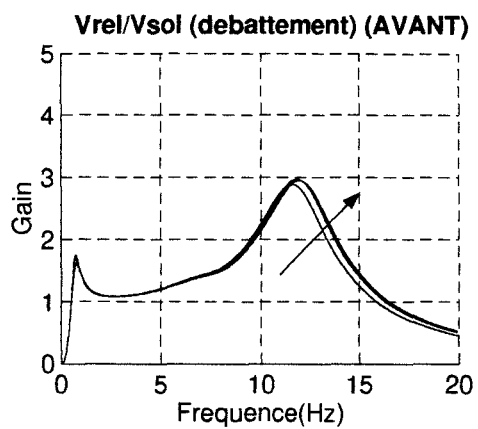


Vroue/Vsol (tenue de route) (ARRIERE)

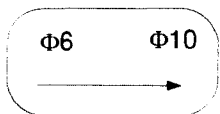


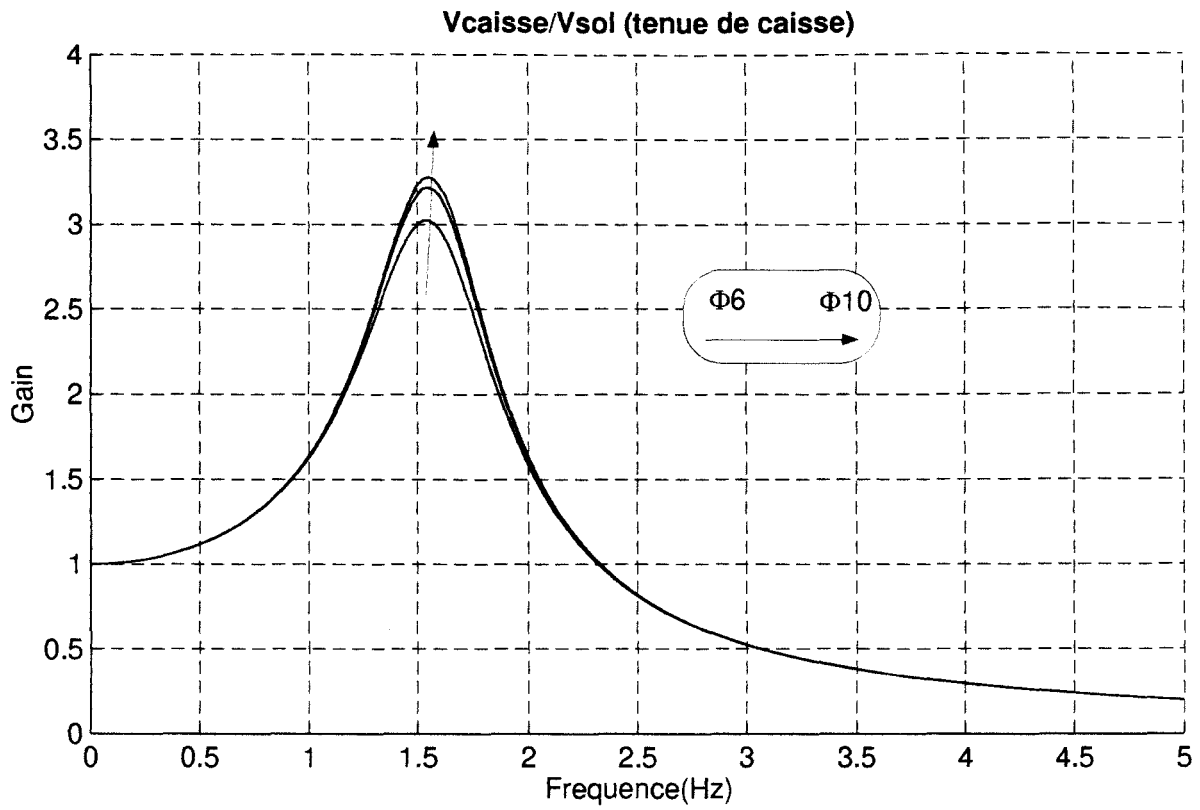
*Etude de l'influence des conduites transversales sur le **pompage**  
Suspension 3C passive.  
Diamètres 6, 8, 10 mm.*



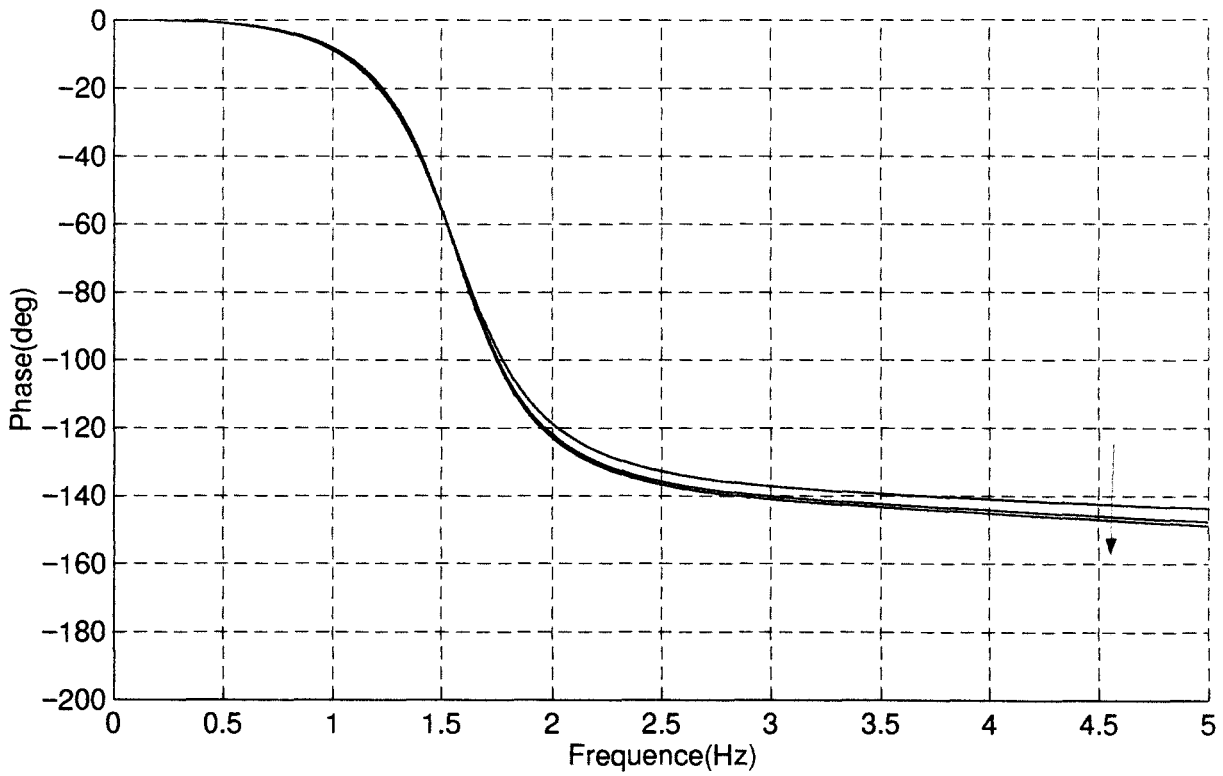


*Etude de l'influence des conduites transversales sur le **pompage**  
Suspension 3C passive.  
Diamètres 6, 8, 10 mm.*



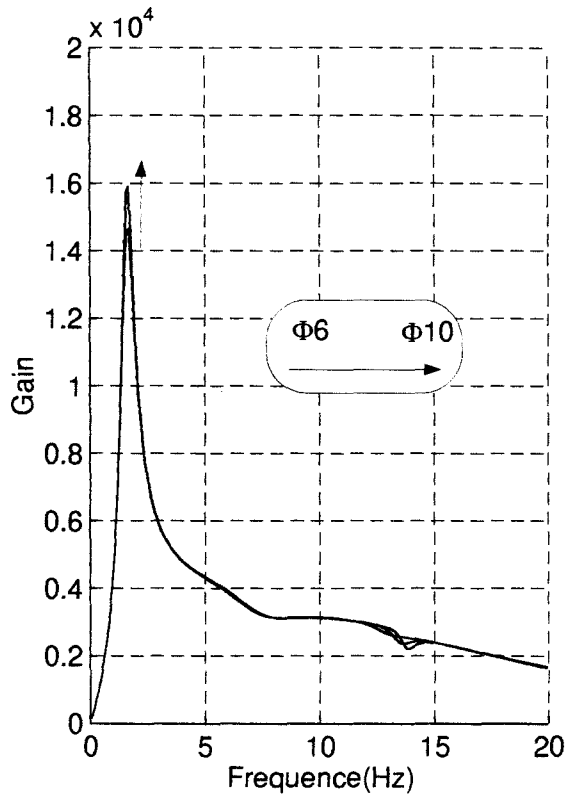


*Etude de l'influence du diamètre des conduites transversales sur roulis  
Suspension 3C passive  
Diamètres 6, 8, 10 mm*

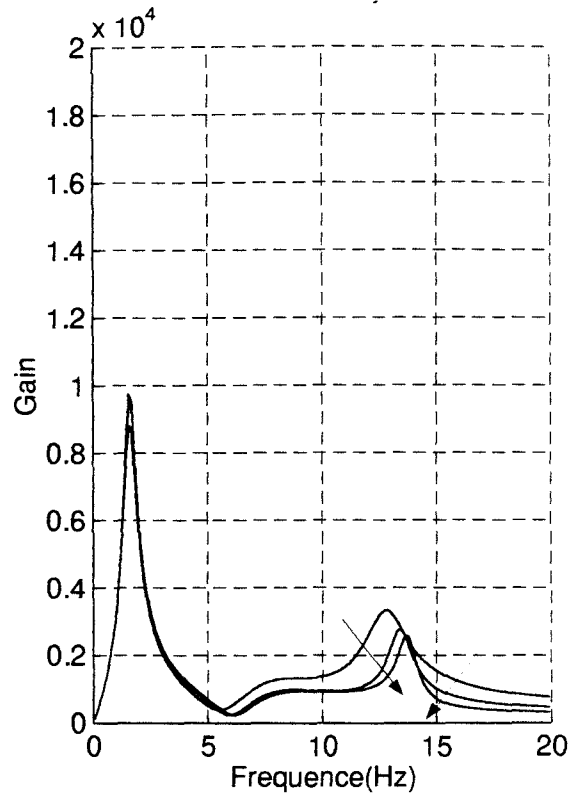




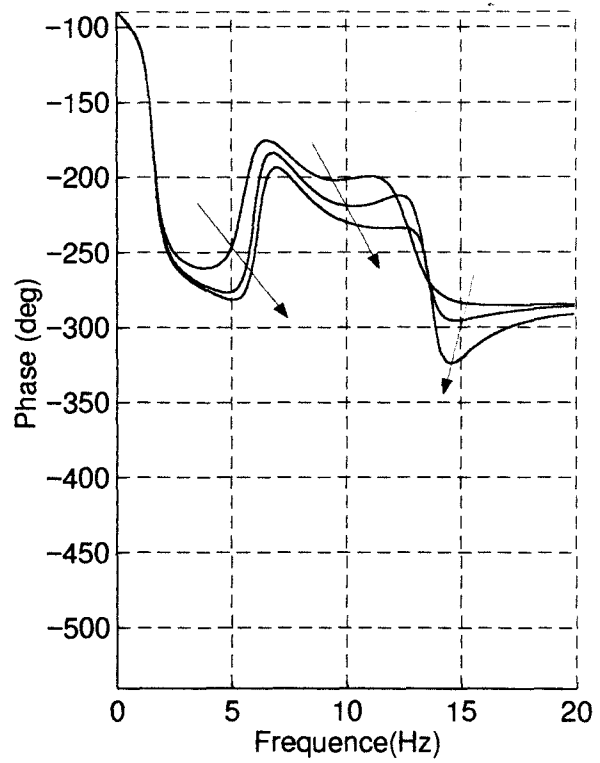
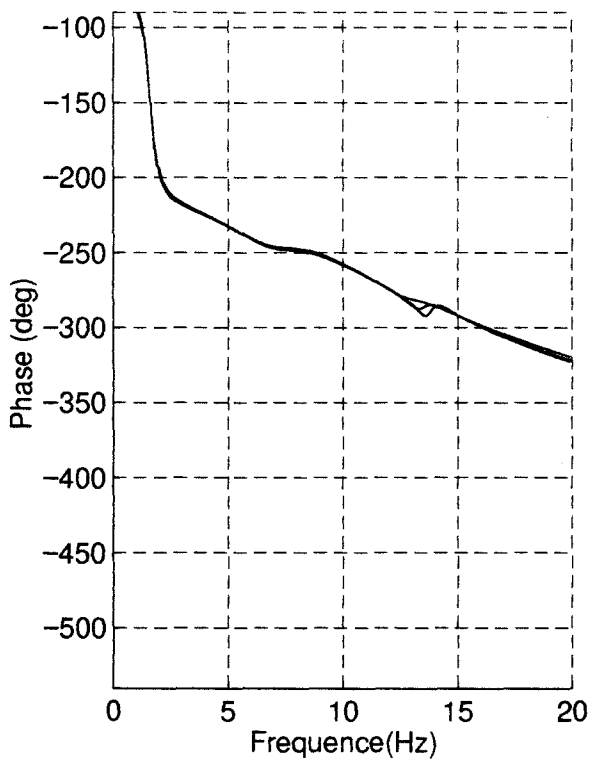
Fsusp/Vsol (confort) (AVANT)

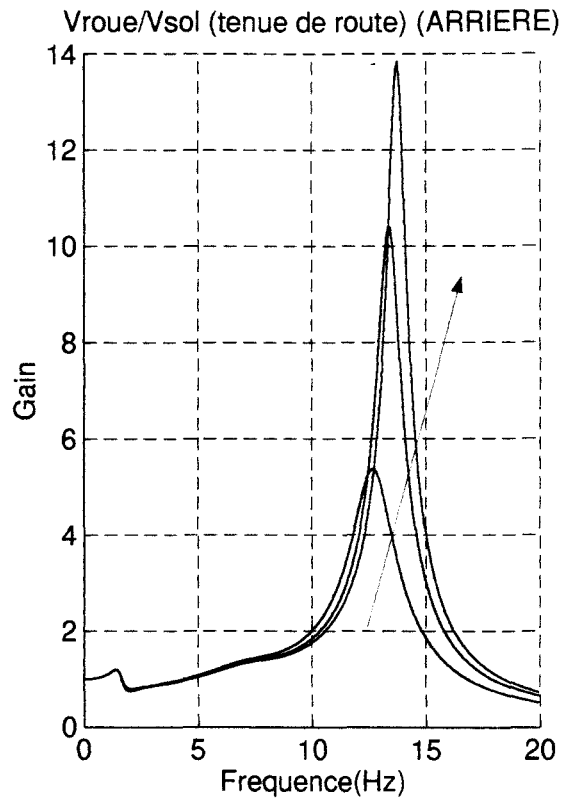
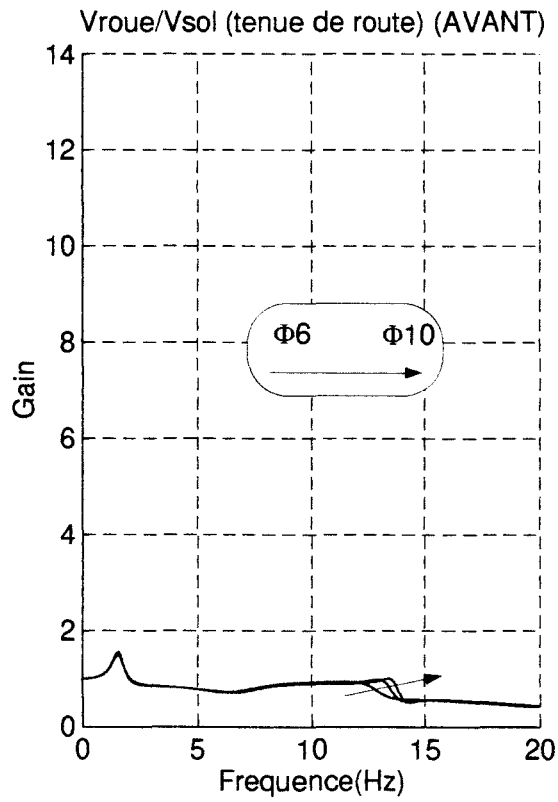


Fsusp/Vsol (confort) (ARRIERE)

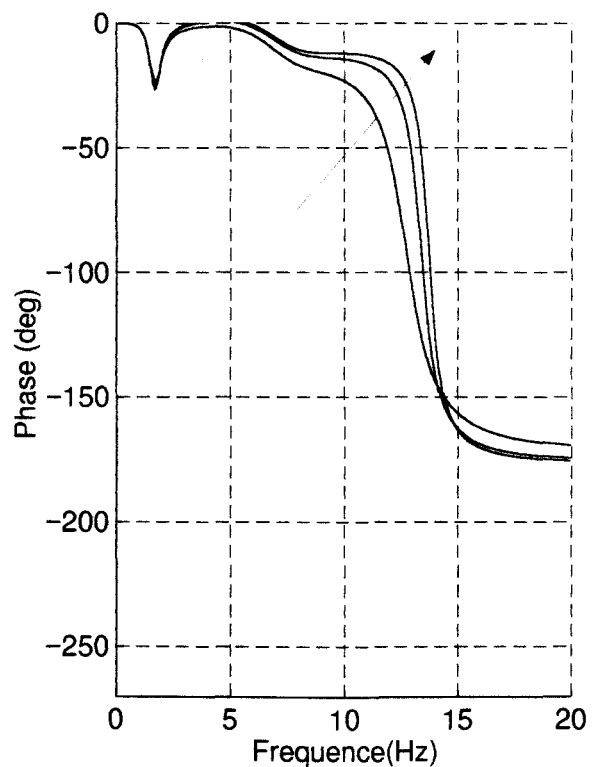
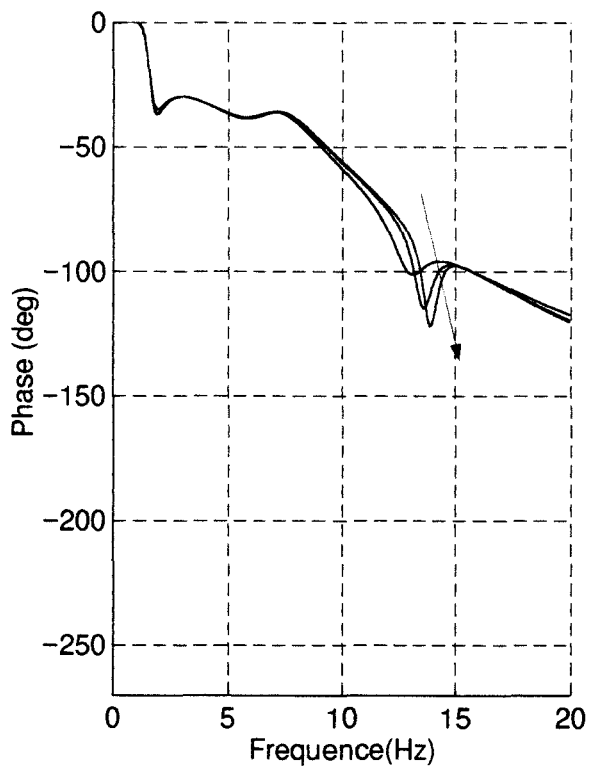


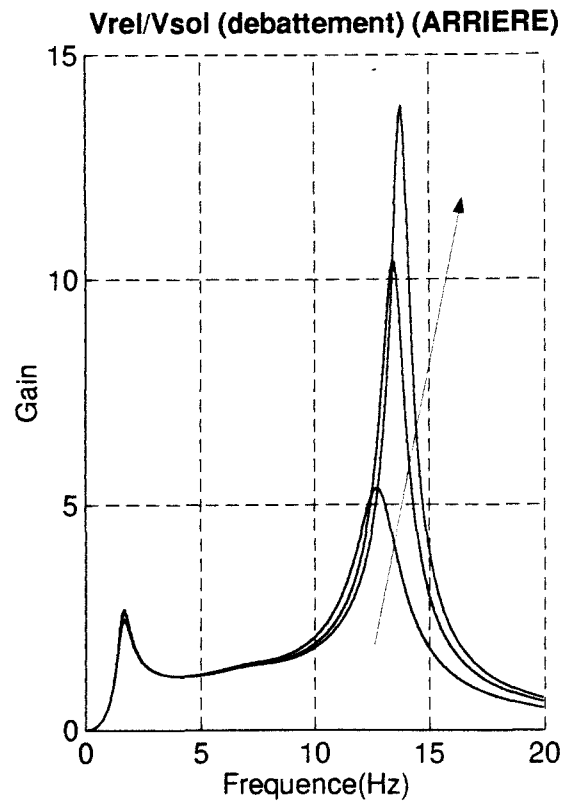
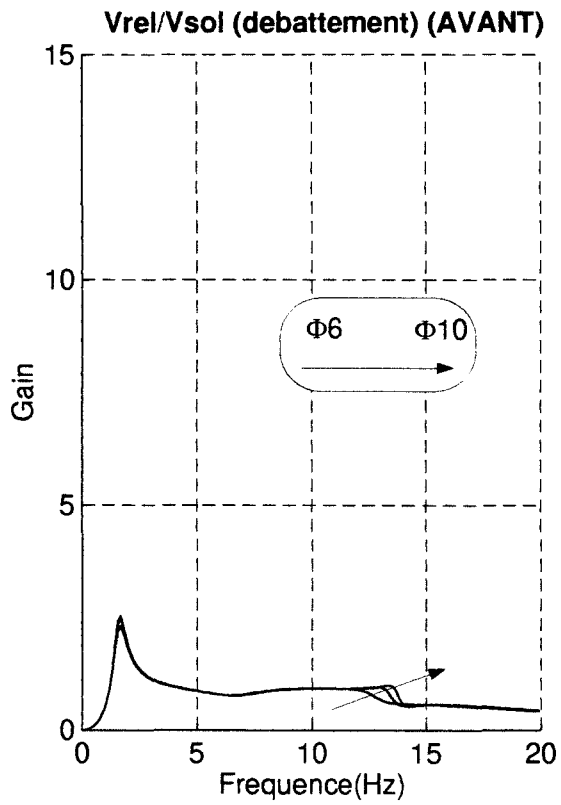
*Etude de l'influence du diamètre des conduites transversales sur roulis*  
*Suspension 3C passive*  
*Diamètres 6, 8, 10 mm*



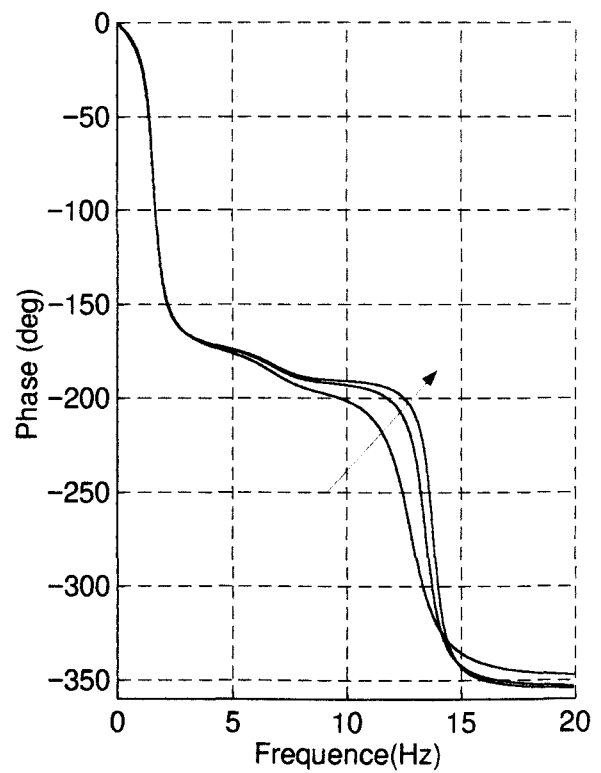
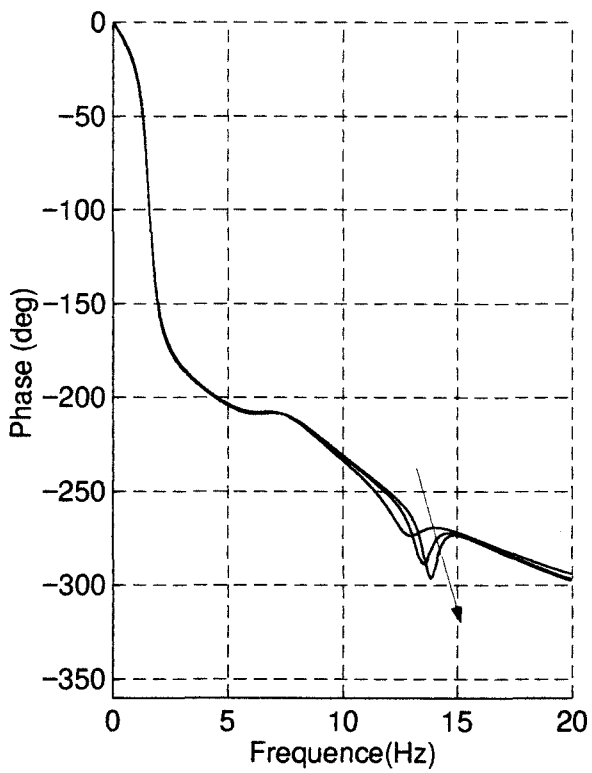


*Etude de l'influence du diamètre des conduites transversales sur roulis*  
*Suspension 3C passive*  
*Diamètres 6, 8, 10 mm*





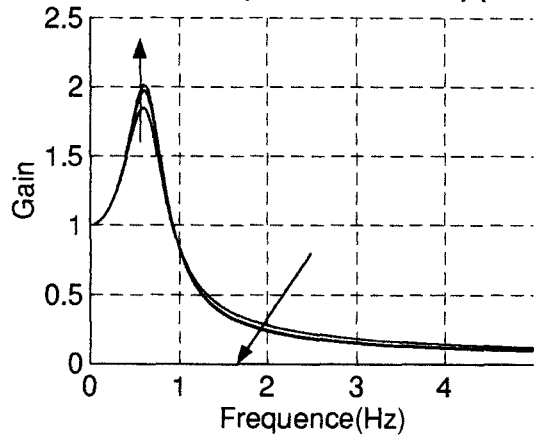
*Etude de l'influence du diamètre des conduites transversales sur roulis  
Suspension 3C passive  
Diamètres 6, 8, 10 mm*



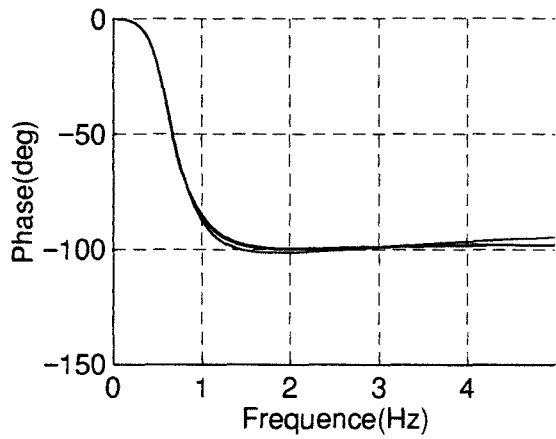
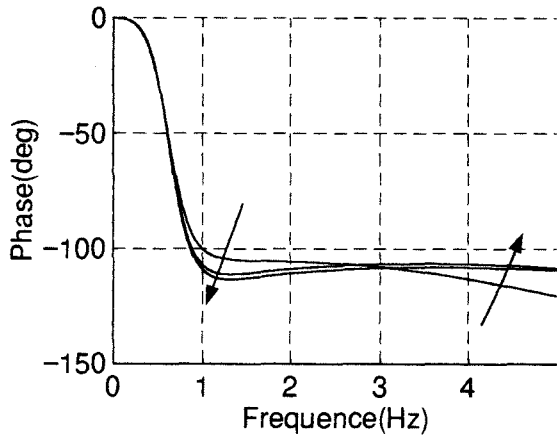
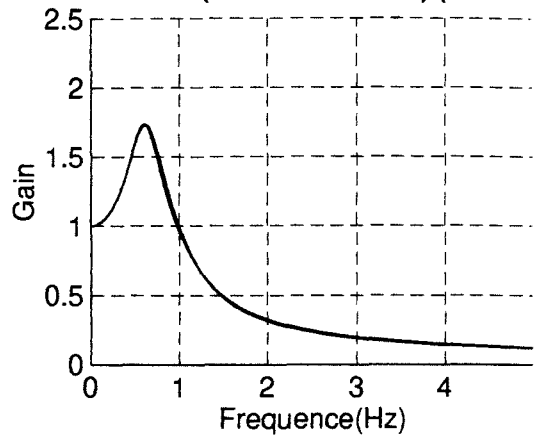
**Annexe (5-7)**

**Influence du diamètre des conduites longitudinales  
sur les caractéristiques fréquentielles de la suspension 3C  
en pompage et en roulis.  
Modèle linéaire 7ddl**

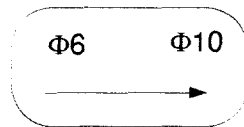
Vcasse/Vsol (tenue de caisse) (AVANT)

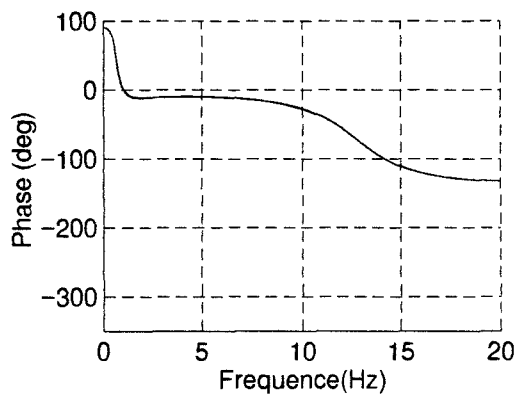
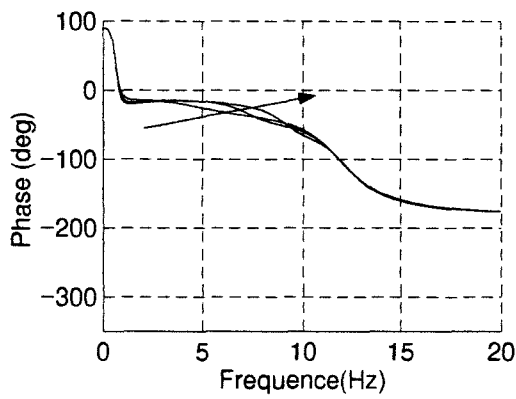
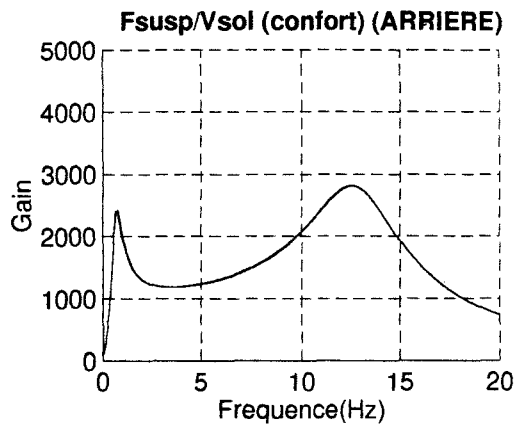
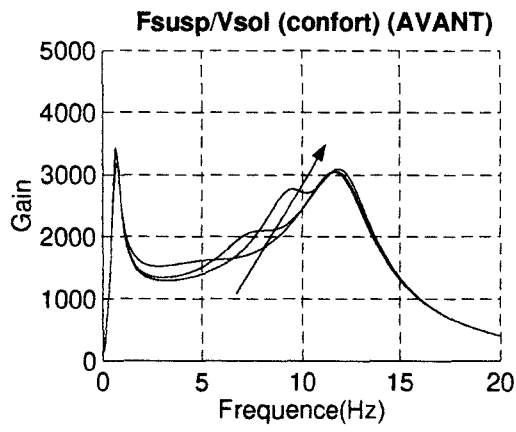


Vcasse/Vsol (tenue de caisse) (ARRIERE)

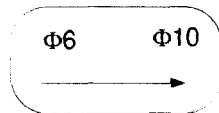


*Etude de l'influence des conduites longitudinales sur le **pompage**  
Suspension 3C passive.  
Diamètres 6, 8, 10 mm.*

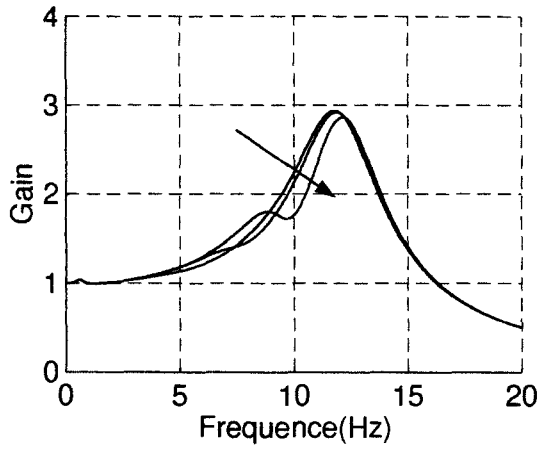




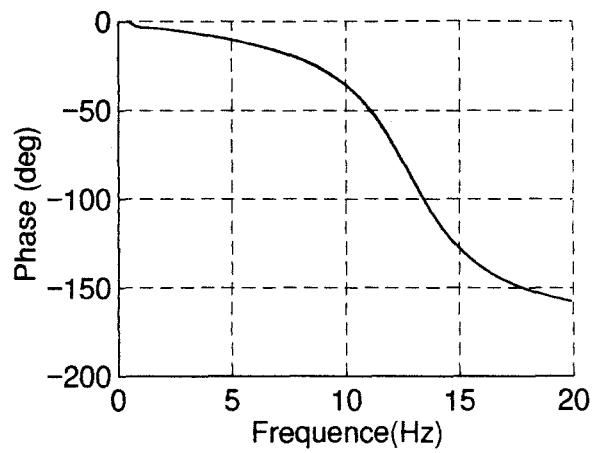
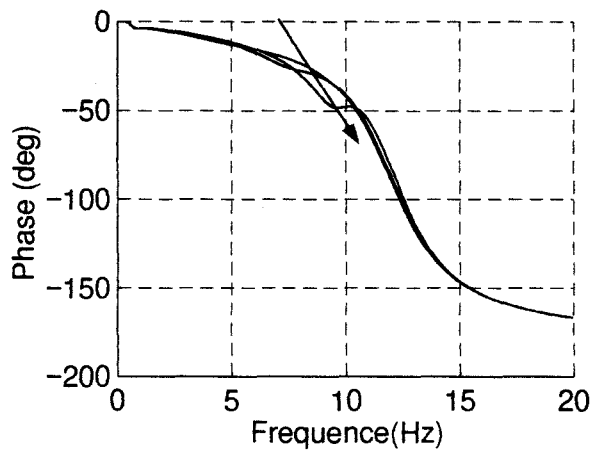
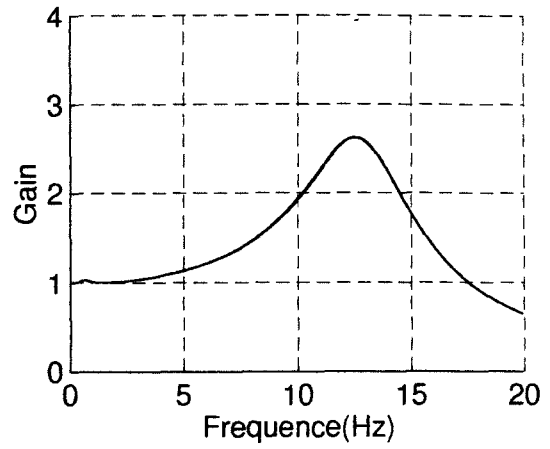
*Etude de l'influence des conduites longitudinales sur le **pompage**  
Suspension 3C passive.  
Diamètres 6, 8, 10 mm.*



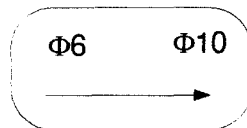
Vroue/Vsol (tenue de route) (AVANT)

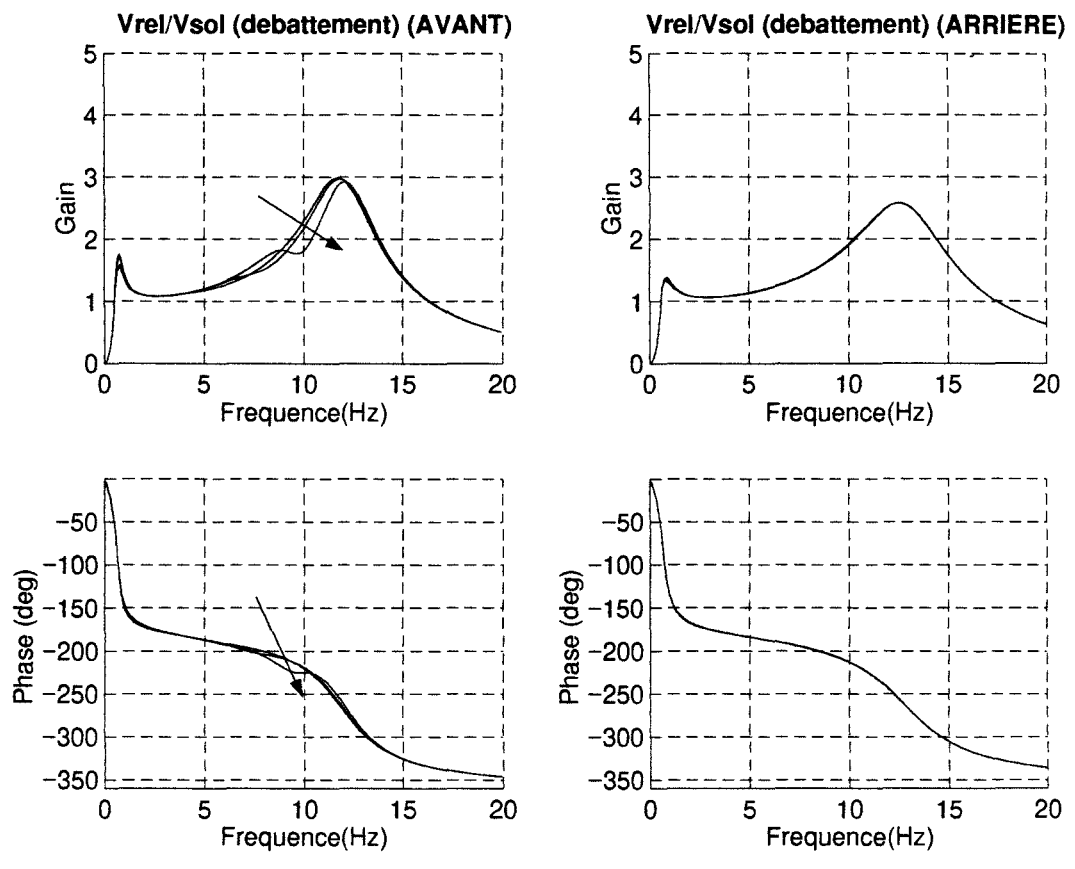


Vroue/Vsol (tenue de route) (ARRIERE)

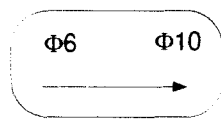


*Etude de l'influence des conduites longitudinales sur le **pompage**  
Suspension 3C passive.  
Diamètres 6, 8, 10 mm.*



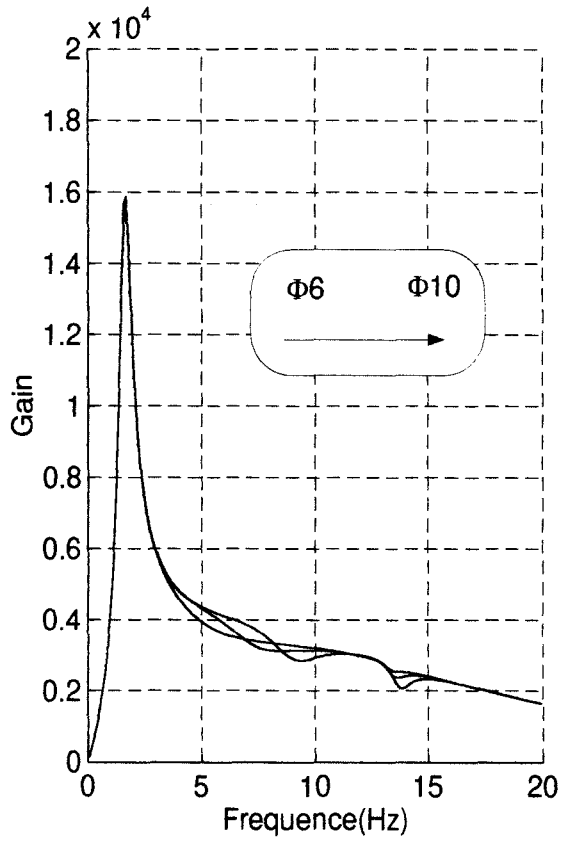


*Etude de l'influence des conduites longitudinales sur le **pompage**  
 Suspension 3C passive.  
 Diamètres 6, 8, 10 mm.*

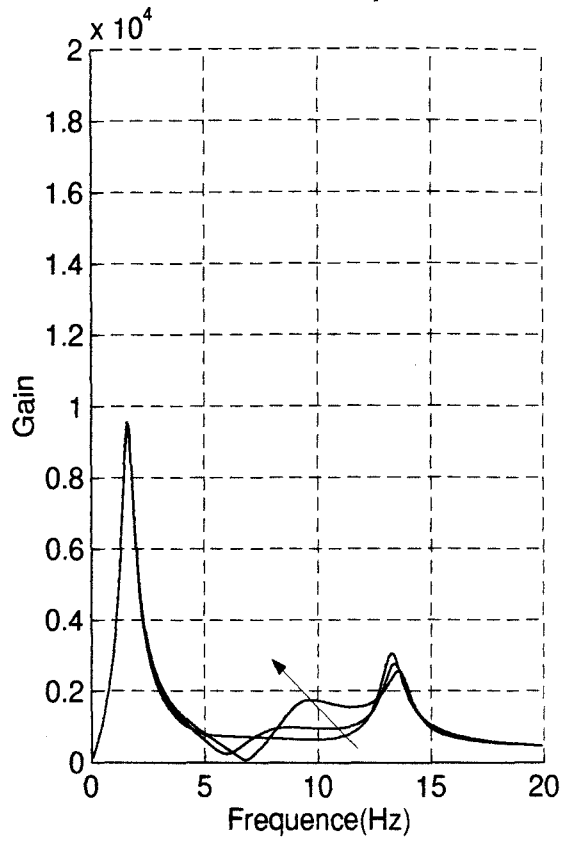




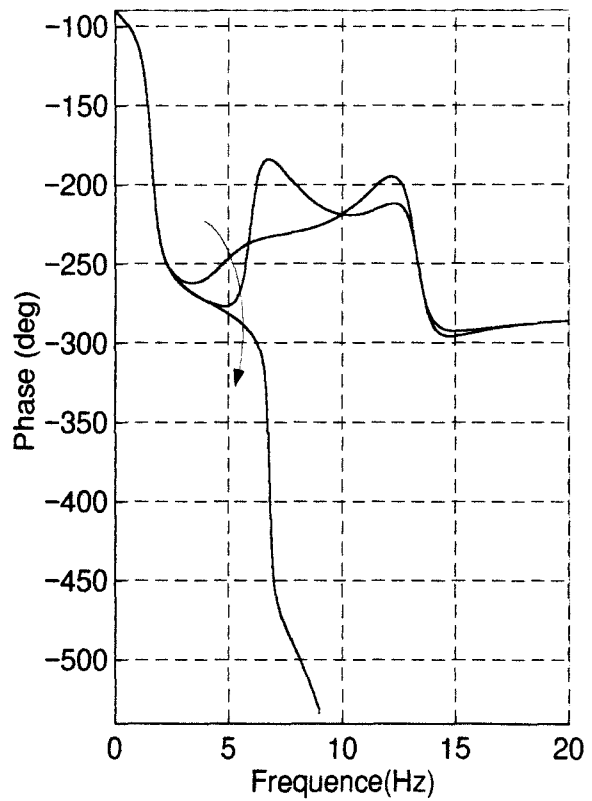
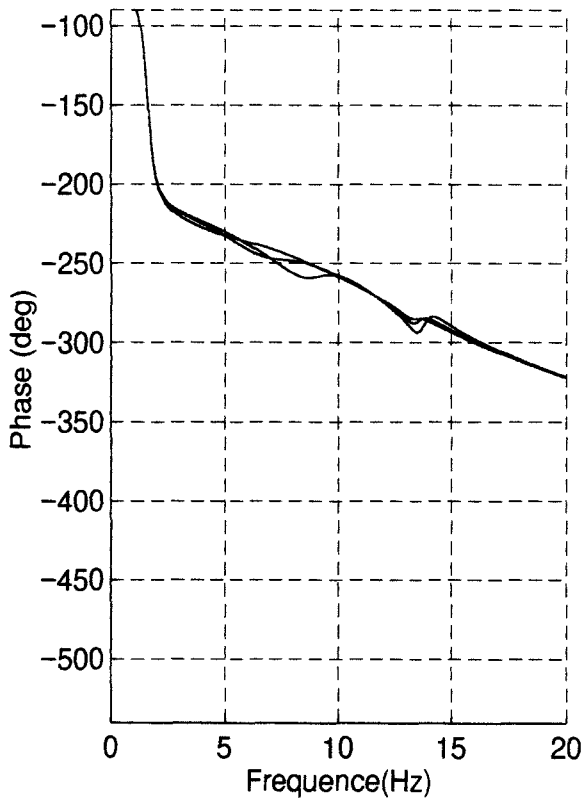
Fsusp/Vsol (confort) (AVANT)

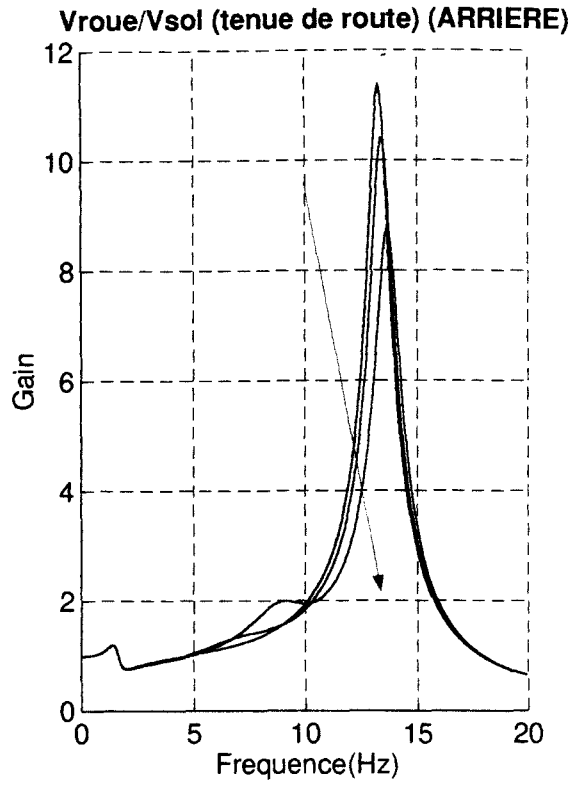
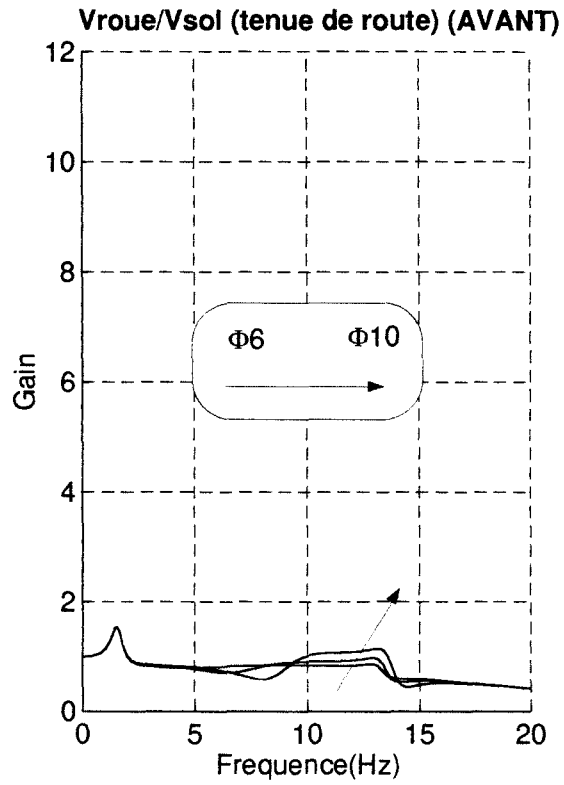


Fsusp/Vsol (confort) (ARRIERE)

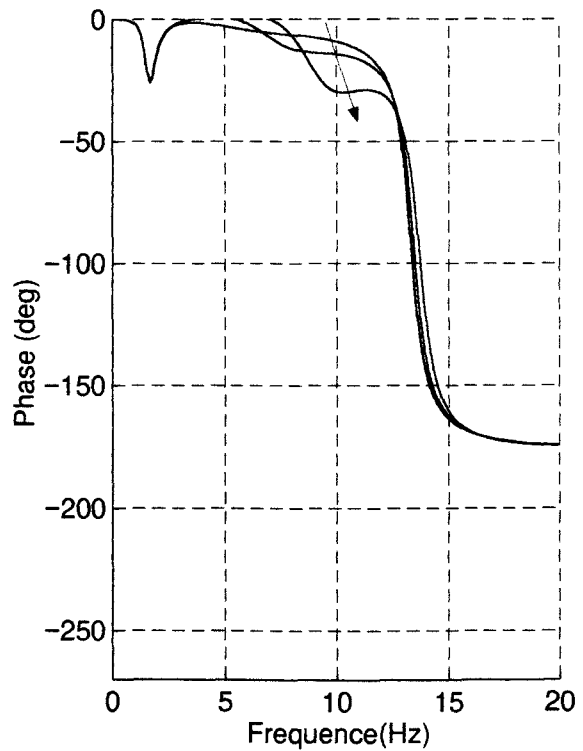
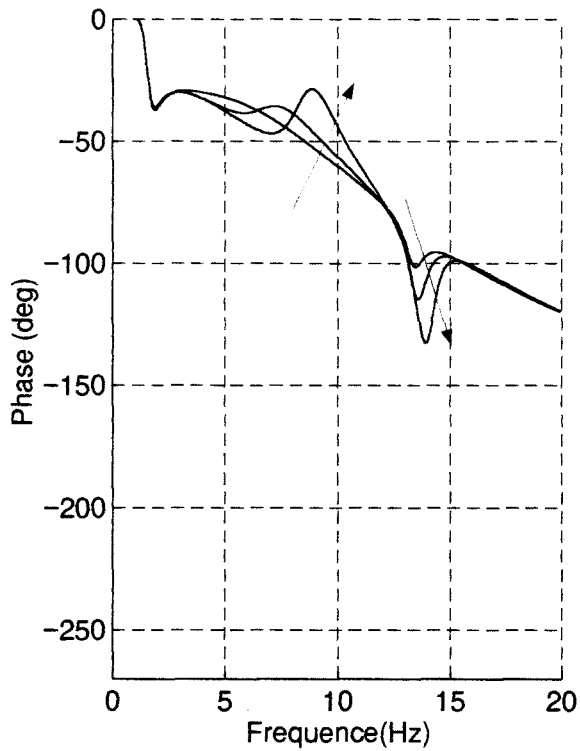


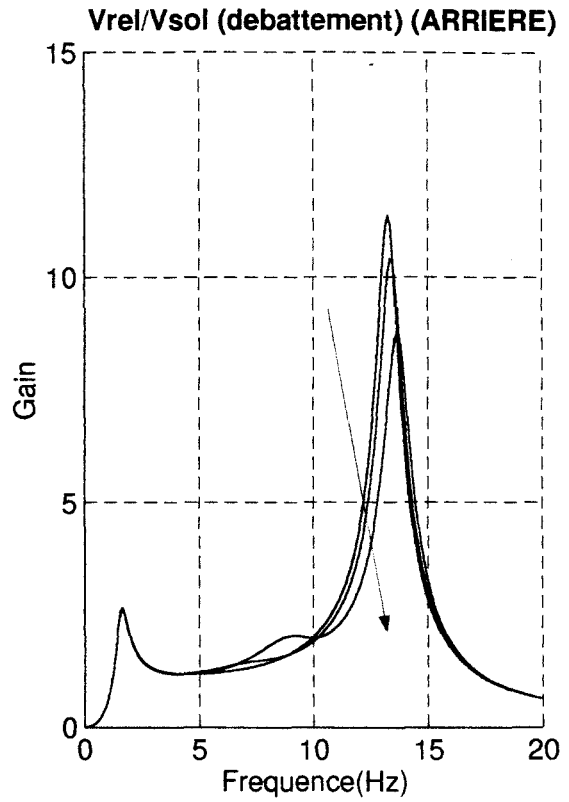
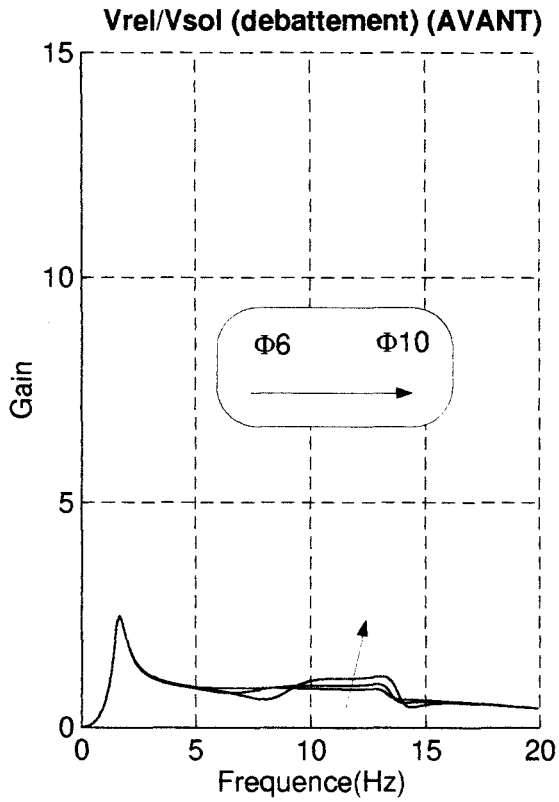
Etude de l'influence des conduites longitudinales sur le roulis  
Suspension 3C passive.  
Diamètres 6, 8, 10 mm.





*Etude de l'influence des conduites longitudinales sur le roulis  
Suspension 3C passive.  
Diamètres 6, 8, 10 mm.*





*Etude de l'influence des conduites longitudinales sur le roulis  
Suspension 3C passive.  
Diamètres 6, 8, 10 mm.*

