

وزارة التعليم و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : Genie Mecanique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

2er

SUJET

MICROPROFIL DE LA ROUTE  
ET SON INFLUENCE SUR LA  
DYNAMIQUE DU VEHICULE

Proposé Par :

M. KSIAZEK

Etudié par :

A. MEDDAD

Dirigé par :

M. KSIAZEK

PROMOTION : Juin 89

وزارة التعليم العالي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

المدرسة الوطنية المتفردة للتقنيات

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

دائرة الهندسة الميكانيكية

PROMOTEUR : M. KSIAZEK

الموجود: م. كسيازاك

ELEVE INGENIEUR : MEDDAD ABDERRAHMANE

مداد عبدالرحمن

المكتبة  
BIBLIOTHEQUE - المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

الموضوع: حالة سطح الطرق وتأثيرها على المظهر الديناميكي للشاحنات

الملخص: إن مشرونا هذا يمثل في دراسة حالة سطح الطريق وتأثيرها على المظهر الديناميكي للشاحنات وإعداد طرح يقف راقية تسمح بتحسين وسائط الإجهاد وذلك انطلاقاً من معيار الإرتكاز الأمثل.

Sujet: Microprofil de La route et son influence sur La dynamique du véhicule.

Résumé: Notre étude consiste à étudier L'influence des irrégularités de La route sur La dynamique d'un véhicule et élaborer une méthode numérique permettant d'optimiser les paramètres d'amortissement en se basant sur Le critère d'une suspension optimale

Subject: : An influence of a randomly profiled road on a behaviour of a truck

Abstract: This study describes an influency of ramdomly profiled road. The numerical method of optimization of truck's suspension has been carried out.

# Dedicaces

Je dédie ce modeste travail

- A mon père pour les soins qu'il a prêtés à ma formation et à mon éducation, lui qui m'a encouragé dans mes études
- A ma mère qui s'est sacrifiée pour me voir atteindre ce but
- A mes frères et à toutes mes sœurs
- A toute ma famille.
- A tous mes amis

- A. Meddad -

# Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je tiens à exprimer mes remerciements à tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique qui ont contribué à ma formation et en particulier les professeurs du département **GENIE MECANIQUE**.

Je réitère ma gratitude et ma reconnaissance à **MR M. KSIAZEK** pour avoir constamment suivi ce travail ; pour les conseils judicieux qu'il m'a prodigués.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet (**Rekkal.M**) trouveront ici l'expression de ma profonde gratitude.

— — — SOMMAIRE — — —

|        |                                                                                                                        |    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CHAP 1 | - INTRODUCTION .....                                                                                                   | 1  |
|        | - BUT DE L'ETUDE .....                                                                                                 | 3  |
| CHAP 2 | - RAPPEL SUR LES FONCTIONS ALEATOIRES .....                                                                            | 4  |
| 2.1    | - FONCTIONS ALEATOIRES (PROCESSUS) .....                                                                               | 9  |
| 2.2    | - PROPRIETES FONDAMENTALES D'UN PROCESSUS<br>ALEATOIRE .....                                                           | 6  |
| 2.3    | - FONCTIONS ALEATOIRES STATIONNAIRES .....                                                                             | 8  |
| 2.4    | - REPRESENTATION SPECTRALE D'UNE FONCTION<br>ALEATOIRE STATIONNAIRE .....                                              | 11 |
| 2.5.1  | - SOLUTION STATIONNAIRE DES EQUATIONS<br>DIFFERENTIELLES A COEFFICIENTS CONSTANTS .....                                | 16 |
| 2.5.2  | - CALCUL DES DISPERSIONS .....                                                                                         | 19 |
| CHAP 3 |                                                                                                                        |    |
| 3.1    | - GENERALITES .....                                                                                                    | 20 |
| 3.2    | - CARACTERISTIQUES DES FONCTIONS ALEATOIRES .....                                                                      | 23 |
| 3.3    | - LES METHODES D'APPROXIMATION DE LA COURBE<br>DE LA DENSITE SPECTRALE ET L'APPLICATION<br>DE L'UNE D'ENTRE ELLE ..... | 27 |
| CHAP 4 |                                                                                                                        |    |
| 4.1    | - MODELISATION ET CARACTERISTIQUES PHYSIQUES<br>DU VEHICULE .....                                                      | 33 |
| 4.2    | - CALCUL DES FREQUENCES PROPRES POUR LES<br>VIBRATIONS NON AMORTIES .....                                              | 36 |
| 4.3    | - ETABLISSEMENT DES EQUATIONS DIFFERENTIELLES .....                                                                    | 38 |

4.4 - CALCUL DES DISPERSIONS D'ACCELERATION ET  
 DES DEPLACEMENTS RELATIFS . . . . . 45

4.5 - FORME DES CRITERES . . . . . 62

4.6 - CHOIX DU CRITERE DE QUALITE DU VEHICULE . 67

4.7 - OPTIMISATION SELON LE CRITERE CHOISI DE  
 SUSPENSION DANS L'ENSEMBLE DES PARAMETRES  
 D'AMORTISSEMENT . . . . . 75

4.8 - OPTIMISATION SUIVANT LES DIFFERENTS  
 TYPES DU MICRO PROFILS DE LA ROUTE . . . . . 77

CHAP 5 - CONCLUSION . . . . . 80

## CHAPITRE 1:

### → Introduction :

Tout véhicule fait partie des systèmes qui présentent des phénomènes vibratoires très complexes. On est confronté à l'analyse d'influences possibles dont la nature ne nous est pas complètement évidente.

Ces actions peuvent se présenter, comme des perturbations intérieures dues aux mécanismes fonctionnant ou extérieures dues aux irrégularités de la surface de la route, au vent, etc.

On s'intéresse particulièrement aux excitations extérieures provenant du microprofil de la route.

Souvent, ces vibrations conduisent à des perturbations non contrôlables, intolérables pour l'occupant et dangereuses pour les structures.

Pour atténuer leurs effets, il est nécessaire de faire appel à la théorie des vibrations aléatoires.

A L'heure actuelle, La théorie de corrélation est L'une des méthodes connues pour analyser ce processus. Elle permet d'obtenir Les caractéristiques probabilistes de La sortie pour des caractéristiques connues à L'entrée.



## -BUT DE L'ETUDE &

L'objet de cette étude est de faire valoir l'influence des irrégularités de la surface de la route sur la dynamique du véhicule et mettre en évidence une méthode permettant d'optimiser les paramètres d'amortissement en se basant sur la forme du critère d'optimisation.

Pour résoudre ce problème, il faut connaître le spectre des perturbations se rapportant à cette route, déterminer les caractéristiques probabilistes de la sortie correspondant aux différents paramètres.

La méthode ainsi choisie est une méthode numérique, car la solution analytique dans notre cas est très compliquée dont l'analyse est presque impossible analytiquement.

## CHAPITRE 2 :

### RAPPEL SUR LES FONCTIONS ALÉATOIRES

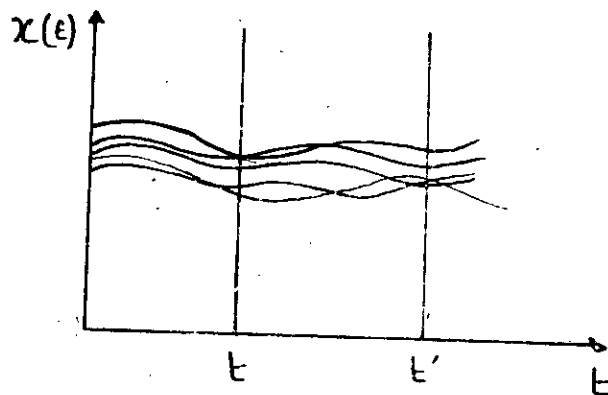
#### 2-1. Fonctions aléatoires (Processus)

Dans les problèmes appliqués, on rencontre des grandeurs aléatoires dont les valeurs varient au cours du processus expérimental, par exemple des grandeurs aléatoires qui changent avec le temps.

On appelle fonction aléatoire (Processus) une fonction par laquelle, à chaque valeur donnée de l'argument, il correspond une variable aléatoire.

Les valeurs concrètes des fonctions aléatoires résultant d'une expérience sont appelées : réalisations de la fonction aléatoire.

Fig(2-1)



Les caractéristiques probabilistes des fonctions aléatoires peuvent être construites de manière analogue à celles des variables aléatoires. Les caractéristiques des fonctions aléatoires s'opposent à celles des variables aléatoires en ce qu'elles se présentent, non pas comme des nombres fixés, mais en général comme des fonctions non aléatoires.

Il convient de souligner que dans la méthode d'étude statistique des fonctions aléatoires on étudie, non pas les propriétés de chacune des fonctions  $X_i(t)$  caractérisant le processus, mais les propriétés de l'ensemble complet des fonctions, cela permet dans l'analyse du mouvement d'un système mécanique soumis à des perturbations aléatoires d'étudier son comportement, non pas par rapport à une quelconque des influences perturbatrices mais par rapport à l'ensemble complet des influences aléatoires possibles.

## 2.2 Propriétés fondamentales d'un processus aléatoire:

Pour décrire les propriétés fondamentales d'un processus aléatoire, on utilise cinq fonctions non aléatoires caractérisant ce processus:

- 1) L'espérance mathématique de la fonction aléatoire.
- 2) L'espérance mathématique du carré de la fonction aléatoire (Dispersion).
- 3) La densité de répartition en fonction du temps.
- 4) La fonction de corrélation.
- 5) La densité spectrale

L'espérance mathématique du processus aléatoire caractérise le comportement moyen du processus en fonction du temps. L'espérance mathématique du carré de la fonction aléatoire caractérise, en fonction du temps, la dispersion des valeurs de la fonction autour de sa valeur moyenne.

La densité de répartition donne une idée de la répartition de la fonction aléatoire à un instant donné.

Considérons une section de la fonction aléatoire  $x(t)$  correspondant à un instant  $t$  fixé (voir fig 2-1). En cet instant nous avons une variable aléatoire discrète pour laquelle l'espérance mathématique est

$$m_x(t) = M[x(t)]$$

est une fonction du temps.

La variance de la fonction aléatoire est définie de façon analogue

$$D_x(t) = M[\dot{x}(t)^2]$$

n'est autre que la dispersion où  $\dot{x}(t)$  désigne la fonction et son écart-type est :

$$\sigma_x(t) = \sqrt{D_x(t)}$$

Pour caractériser plus complètement la fonction aléatoire, on introduit encore une fonction non aléatoire qui permet d'établir le degré de dépendance de deux valeurs de la fonction aléatoire (correspondant par exemple sur la fig 2-1 aux instants  $t$  et  $t'$ ). Cette caractéristique est appelée fonction de corrélation (ou fonction d'auto-corrélation) et elle est définie par la formule :

$$K_x(t, t') = M[\dot{X}(t) \dot{X}(t')]$$

On appelle aussi fonction de corrélation d'une fonction aléatoire  $X(t)$ . La fonction non aléatoire de deux arguments  $K_x(t, t')$  qui, pour chaque couple de valeurs  $(t, t')$ , est égale au moment de corrélation des valeurs de la fonction aléatoire en ces instants. De la définition d'une fonction de corrélation, il résulte que :

$$K_x(t, t') = K_x(t', t)$$

On en déduit que la fonction de corrélation est symétrique.

## 2.3. Fonctions Aléatoires Stationnaires :

Les processus aléatoires qui se déroulent toujours approximativement de la même façon dans le temps et qui présentent l'aspect de vibrations aléatoires continues relativement à une certaine valeur moyenne ; Avec des caractéristiques probabilistes ne variant pas sensiblement avec le temps ont obtenu une très large diffusion. De tels processus aléatoires (fonctions) sont dits stationnaires. Un processus stationnaire est analogue au régime de vibrations permanente lorsque les paramètres des vibrations établies ne dépendent plus de l'origine des temps ; C'est pourquoi on peut choisir un instant quelconque pour étudier un processus stationnaire.

La fonction aléatoire  $X(t)$  est dite stationnaire si toutes ses caractéristiques probabilistes ne dépendent pas du temps ; - c'est à dire si :

$$m_x(t) = \text{constante}$$

$$D_x(t) = \text{constante}$$

Considérons la fonction de corrélation qui reste invariable pour une seule et même translation de valeur  $t_2$  des instants  $t, t'$  :

$$K_x[t, t'] = K_x[t + t_2, t' + t_2] = \text{constante}$$

En posant  $t_2 = -t'$ , nous obtenons

$$K_x[t, t'] = K_x[t - t', 0]$$

La fonction de corrélation d'une fonction aléatoire stationnaire dépend seulement de la différence entre  $t$  et  $t'$

Introduisons la notation  $\tau = t - t'$ , alors :

$$K_x[t - t', 0] = K_x[\tau]$$

Ainsi, la fonction de corrélation d'une fonction aléatoire stationnaire (Processus) est une fonction non de deux arguments mais d'un seul argument  $\tau$ . Comme la fonction de corrélation est symétrique, il en résulte pour une fonction aléatoire stationnaire :

$$K_x[t - t'] = K_x[t' - t] \quad \text{soit} \quad K_x[\tau] = K_x[-\tau]$$



Puisque la variance est :

$$D_x(t) = K_x[t, t]$$

Alors pour une fonction aléatoire stationnaire, elle s'écrit

$$D_x = K_x(0)$$

2-4: Représentation Spectrale d'une fonction aléatoire stationnaire :

Comme on le sait, une fonction périodique  $f(t)$  peut être développée en série de Fourier, soit :

$$f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin \frac{2\pi k t}{T} + B_k \cos \frac{2\pi k t}{T} \quad \textcircled{A}$$

ou  $a_0$  désigne la valeur moyenne de  $f(t)$  sur une période  $T$  de la fonction

Les coefficients de la série  $\textcircled{A}$  sont définis par les relations :

$$A_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cdot \sin \frac{2\pi k t}{T} dt$$

$$B_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cdot \cos \frac{2\pi k t}{T} dt$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt$$

complexe suivante :

$$f(t) = \sum_{K=-\infty}^{\infty} C_K e^{j2\pi K \cdot \frac{t}{T}}$$

où  $C_K = \frac{1}{2} (A_K - jB_K)$  ;  $\omega_K = \frac{2\pi K}{T}$

L'amplitude complexe :

$$C_K = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cdot e^{-j2\pi K \cdot \frac{t}{T}} \cdot dt$$

L'ensemble des fréquences  $\omega_K$  est appelé Spectre de la fonction  $f(t)$ . Dans le cas envisagé le spectre est discret, une série de Fourier représente le développement d'une fonction périodique à l'aide de fonctions trigonométriques. Ce développement peut s'étendre au cas d'une fonction non périodique. Une méthode approchée de développement d'une fonction non périodique en série de Fourier consiste à effectuer le passage à la limite  $T \rightarrow \infty$ . En effet, une fonction non périodique peut être considérée comme une fonction

périodique dont la période serait non bornée supérieurement

Après substitution de  $C_k$  dans l'expression de la série de Fourier, nous obtenons :

$$f(t) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{j \frac{2\pi k}{T} t} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cdot e^{-j \frac{2\pi k}{T} t} dt$$

Après passage à la limite en faisant tendre  $T$  vers l'infini, on trouve :

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{j\omega t} d\omega \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

Soit

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} s(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega \quad (2)$$

Avec

$$s(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (3)$$

La fonction  $f(t)$  écrite sous la forme (1) possède un spectre continu.

L'expression (2) représente une intégrale de Fourier, c'est une somme de sinusoides ayant une suite de fréquences  $(\omega, \omega + d\omega)$

et  $S(\omega) d\omega$ , cela signifie qu'on peut considérer  $S(\omega)$  comme "la densité" d'amplitude répartie sur l'intervalle de fréquence  $(\omega, \omega + d\omega)$ . C'est pourquoi la fonction  $S(\omega)$  donnée par l'expression (3) s'appelle densité spectrale

Cas Particulier :

Si on prend la fonction de corrélation  $K_x(\tau)$  à titre de fonction  $f(t)$ , on obtient :

$$K_x(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega) \cdot e^{j\omega\tau} \cdot d\omega \quad (4)$$

$$S_x(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} K_x(\tau) \cdot e^{-j\omega\tau} \cdot d\tau \quad (5)$$

la fonction de corrélation étant une fonction paire de  $\tau$

$$[K_x(\tau) = K_x(-\tau)]$$

nous déduisons alors des formules (4) et (5) dite de

WIENER - KHINCHINE :

$$K_x(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_x(\omega) \cdot \cos(\omega\tau) \cdot d\omega$$

$$S_x(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} K_x(\tau) \cdot \cos \omega \tau \cdot d\tau$$

la variance d'une fonction aléatoire stationnaire étant égale à  $K_x(0)$  nous déduisons de la relation précédente :

$$K_x(0) = D_x = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_x(\omega) \cdot d\omega$$

C'est à dire la variance d'une fonction aléatoire stationnaire est égale à la somme des termes élémentaires  $\frac{1}{2\pi} S_x(\omega) \cdot d\omega$ , chacun d'entre eux représentant une variance élémentaire  $dD_x$

$$\Delta D_{xj} = \frac{1}{2\pi} S_x(\omega_j) \cdot \Delta \omega_j$$

où

$\Delta D_{xj}$  est la variance élémentaire de

L'amplitude de l'harmonique correspondant à

L'intervalle de fréquence  $[\omega_j, \omega_j + \Delta \omega_j]$

## 2-5: Solutions stationnaires des équations différentielles à coefficients constants

Considérons un système d'équations différentielles linéaires où les  $y_k$  sont les réponses (sorties) et les  $w_i$  les excitations d'entrée (entrées).

Pour que les réponses du système à des actions stationnaires soient également stationnaires, il est nécessaire que les paramètres du système (masse, raideur, etc...) soient des constantes par rapport au temps.

Pour les calculs ultérieurs, il est nécessaire de présenter le système d'équations sous forme opérationnelle. Utilisons dans ce but les transformées de LAPLACE

Si on a une fonction quelconque  $f(t)$  d'une variable matricielle indépendante  $t$ , la transformée de LAPLACE est définie par la relation:

$$F(p) = \int_0^{+\infty} f(t) \cdot e^{-pt} \cdot dt$$

où  $p$  représente une certaine variable arbitraire complexe.  
La fonction  $f(t)$  est appelée originale de la fonction  $F(p)$ ,  
transformée

Les propriétés des transformées de LAPLACE utilisées pour  
présenter le système d'équations différentielles sous forme  
opérationnelle sont :

$$af(t) \quad : \quad aF(p)$$

$$f_1(t) \pm f_2(t) \quad : \quad F_1(p) \pm F_2(p)$$

$$\frac{d^n f(t)}{dt^n} \quad : \quad p^n F(p) \text{ pour des conditions}$$

initiales nulles

$$\int f(t) dt \quad : \quad \frac{F(p)}{p}$$

$$f(t-a) \quad : \quad e^{-ap} \cdot F(p)$$

En utilisant les transformées de LAPLACE, on peut mettre  
les solutions sous la forme :

$$Y_k = \sum_{i=1}^n W_{ik}(p) \cdot X_i(p)$$

où  $Y_k(p)$  et  $X_i(p)$  sont les transformées de LAPLACE des fonctions  $Y_k(t)$  et  $X_i(t)$

et  $W_{ik}(p)$  est la fonction de transfert du système pour l'entrée  $X_i(p)$  et la sortie  $Y_k(p)$

2-5-1 : Relation entre les densités spectrales d'entrée et de sortie

Dans le cas où les signaux d'entrée sont indépendants on montre que :

$$S_{YK}(\omega) = \sum_{i=1}^n |W_{ik}(j\omega)|^2 S_{X_i}(\omega)$$

où  $W_{ik}(j\omega)$  est la fonction de transfert dans laquelle on remplace  $p$  par  $j\omega$ .

Cas particuliers :

$$n=1 \quad : \quad S_{YK}(\omega) = |W_K(j\omega)|^2 S_X(\omega)$$

$$n=2 \quad : \quad S_{YK}(\omega) = |W_{1K}(j\omega)|^2 S_{X_1}(\omega) + |S_{2K}(j\omega)|^2 S_{X_2}(\omega)$$

La densité spectrale des deux premières dérivées de la sortie sont :

$$S_{\dot{Y}K} = \omega^2 S_{YK}$$

$$S_{\ddot{Y}K} = \omega^2 S_{YK}$$



## 2-5-2 Calcul des dispersions :

Connaissant les densités spectrales des grandeurs de sortie et des deux premières dérivées, on peut calculer les différentes dispersions (variances) grâce à la formule établie au paragraphe 2-4

$$\sigma_{y_k}^2 = D_{y_k} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_{y_k}(\omega) \cdot d\omega$$

$$\sigma_{\dot{y}_k}^2 = D_{\dot{y}_k} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_{\dot{y}_k}(\omega) d\omega$$

$$\sigma_{\ddot{y}_k}^2 = D_{\ddot{y}_k} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_{\ddot{y}_k}(\omega) d\omega$$

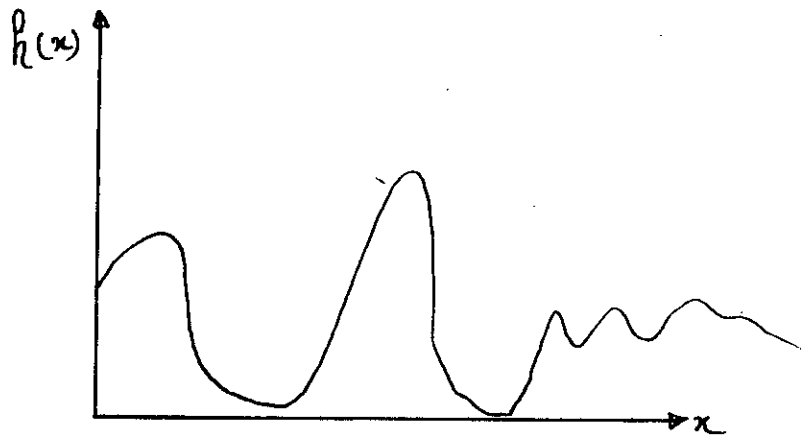
## CHAPITRE 3 :

# DESCRIPTION DU MICROPROFIL DE LA ROUTE

### 3-1. Généralités :

Pour résoudre le déplacement d'un véhicule sur une route comportant des irrégularités aléatoires, il faut connaître quelle influence exerce la route sur ce véhicule aux diverses vitesses du mouvement, c'est à dire qu'il faut connaître le spectre de perturbation se rapportant à cette route, spectre qui dépend du microprofil de la route et de la vitesse du mouvement

fig(3.1)



Sur la fig(3-1) est représentée une portion de route (microprofil de la portion de route), comportant des irrégularités aléatoires. Chaque portion route comporte des irrégularités d'étendue et des formes différentes. La succession des saillies et des creux est tout à fait aléatoire; aussi la grandeur et la durée de l'action des forces d'impulsion agissant sur le mouvement de la roue sont-elles aléatoires en raison de ces irrégularités.

Pour étudier les oscillations aléatoires d'un corps se déplaçant sur une route comportant des irrégularités aléatoires, il faut connaître la dépendance entre  $h$  et le temps. Pour cela, il suffit de diviser l'abscisse du graphique 3.1 par la vitesse  $V$  du déplacement. Le résultat obtenu consiste une idéalisation de la fonction aléatoire  $h$  par rapport au temps.

La valeur de la fonction  $R(x)$  représentant le microprofil de la route coïncide alors avec les valeurs de la fonction d'influence  $h(t)$ .

L'influence sur le véhicule de la portion de la route considérée est unique et reste la même à tout autre moment, c'est à dire qu'elle constitue un processus stationnaire.

Les conditions remplies par cette fonction aléatoire stationnaire sont :

1°) La fonction aléatoire est stationnaire et ergodique :

- c'est à dire qu'à partir d'une réalisation, on peut estimer les caractéristiques probabilistes.

2°) Les longueurs des irrégularités sont limitées de haut

et de bas suivant la hauteur quadratique moyenne des irrégularités

3°) Les ordonnées du microprofil sont distribuées suivant

La normale.

### 3-2. Caractéristique de la fonction aléatoire $h(t)$ :

Le traitement statistique des résultats des mesures des microprofils de la route permet d'obtenir les caractéristiques probabilistes de la fonction aléatoire stationnaire  $h(t)$  à savoir  $m_h(t)$  et  $K_h(\tau)$ . On ne peut pas obtenir de telles caractéristiques valables pour tous les types de routes; aussi les obtient-on en prenant la précaution de diviser les routes en série de classes suivant la hauteur quadratique moyenne des irrégularités. En particulier les fonctions de corrélation  $K_h(\tau)$  de l'influence des routes sur les corps peuvent être approchées avec un degré de précision suffisantes par des fonctions de la forme:

$$K_h(\tau) = D_h e^{-\alpha|\tau|} \cdot \cos \beta \tau$$

où  $\alpha$  et  $\beta$  sont des paramètres dépendant du type de route et de la vitesse du mouvement

On peut présenter les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  sous forme de fonctions dépendant de manière explicite de la vitesse  $V$  du mouvement :

$$\alpha = \alpha_1 \cdot V \quad , \quad \beta = \beta_1 \cdot V$$

où  $\alpha_1$  et  $\beta_1$  sont les valeurs des paramètres pour une vitesse égale à l'unité et caractérisent le type de la route.

La densité spectrale de l'influence de la route sur le corps est :

$$S_h = \int_{-\infty}^{+\infty} K_h(\tau) \cdot \cos \omega \tau \, d\tau = \frac{2D_R \alpha (\alpha^2 + \beta^2 + \omega^2)}{(\alpha^2 + \beta^2) + 2(\alpha^2 - \beta^2)\omega^2 + \omega^4}$$

Soit en tenant compte de la dépendance des coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  vis à vis de la vitesse  $V$  du corps :

$$S_h(\omega) = \frac{2D_R \cdot \alpha_1 (V^2 \delta_1 + \omega^2)}{V^2 \delta_1 + 2V^2 \delta_2 \omega^2 + \omega^4}$$

$$\delta_1 = \alpha_1^2 + \beta_1^2 \quad , \quad \delta_2 = \alpha_1^2 - \beta_1^2$$

Dans certains ouvrages, les fonctions de corrélation sont en fonction de  $X_s$ , dans ce cas on effectue le changement de variable qui est :

$$X_s = v\tau$$

Les différents types des fonctions de corrélation et leurs densités spectrales :

A. chaque type de route correspond une fonction de corrélation donc une densité spectrale.

Vu l'indisponibilité des ouvrages spécialisés, on a dressé le tableau suivant :

| Type de route             | fonction de Corrélation                                        | Densité Spectrale                                                                                                  |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Béton                     | $e^{-0,15 x_s }$                                               | $\frac{0,05 V}{\omega^2 + 0,0225\omega^2}$                                                                         |
| sphaltée                  | $0,85 e^{-0,2 x_s } + 0,15 e^{-0,05 x_s } \times \cos 0,16x_s$ | $\frac{0,054 V}{\omega^2 + 0,04V^2} + \frac{0,0024 V (\omega^2 + 0,36V^2)}{(\omega^2 - 0,36V^2)^2 + 0,0036V^4}$    |
| Pavée assez régulier      | $e^{-0,45 x_s }$                                               | $\frac{0,143 V}{\omega^2 + 0,2V^2}$                                                                                |
| Pavée                     | $0,85 e^{-0,5 x_s } + 0,15 e^{-0,2 x_s } \cdot \cos 2x_s$      | $\frac{0,135 V}{\omega^2 + 0,25V^2} + \frac{0,01V (\omega^2 + 4V^2)}{(\omega^2 - 4V^2)^2 + 0,64V^4}$               |
| Herbeuse (Chemin vecinal) | $96,4 e^{-0,0627 \tau } \cdot \cos 0,196\tau$                  | $12,2 V \frac{\omega^2 + 4,3 \cdot 10^{-2} V^2}{\omega^2 - 7 \cdot 10^{-2} V^2 \omega^2 + 18,4 \cdot 10^{-4} V^4}$ |
| Bruit blanc               | $\frac{S_0}{2\pi} \delta(\tau) = 15,9$                         | 7,056                                                                                                              |



Le type de route ainsi choisi pour notre étude est : route herbeuse (Chemin vicinal) avec  $V = 50 \text{ km/h}$ .

3.3 - Les méthodes d'approximation de la courbe de la densité spectrale et l'application de l'une d'entre elles.

En pratique, très souvent la densité spectrale n'est connue que par sa représentation graphique. Ainsi, pour trouver l'expression analytique qui lui correspond, il faut avoir recours aux diverses méthodes d'approximation d'une courbe par une fraction analytique.

D'autre part, généralement la densité spectrale se présente sous forme d'une fonction rationnelle à coefficients constants.

Par les méthodes qu'on retrouve sont :

1. Méthode d'approximation basée sur l'expansion en série de Fourier.

2. Méthode d'approximation basée sur l'application des fonctions de LAGUERRE.

3. Méthode d'approximation basée sur le remplacement de la courbe logarithmique de la densité spectrale par des segments de droite.

4. Méthode d'interpolation

- Choix d'une méthode :

- Méthode d'interpolation :

On suppose avoir la courbe de la densité spectrale  $F(\omega)$ .

on peut l'approximer par une fraction rationnelle telle que :

$$S(\omega) = \frac{b_0 + b_1 \omega^2 + b_2 \omega^4 + \dots + b_m \omega^{2m}}{a_0 + a_1 \omega^2 + a_2 \omega^4 + \dots + a_n \omega^{2n}} \quad (n) m$$

Le qui équivaut logiquement à :

$$(1) \quad (b_0 + b_1 \omega^2 + b_2 \omega^4 + \dots + b_m \omega^{2m}) - S(\omega)(a_0 + a_1 \omega^2 + a_2 \omega^4 + \dots + a_n \omega^{2n}) = 0$$

On choisit  $(n+m+2)$  points parmi ceux qui ont servi à tracer la courbe originale  $S(\omega)$ .

On remplace dans (1), on obtient alors un système d'équations

linéaires de la forme

$$(2) \left\{ \begin{array}{l} (b_0 + b_1 \omega_1^2 + \dots + b_m \omega_1^{2m}) - S(\omega_1) (a_0 + a_1 \omega_1^2 + \dots + a_n \omega_1^{2n}) = 0 \\ \dots \\ (b_0 + b_1 \omega_{n+m+2}^2 + \dots + b_m \omega_{n+m+2}^{2m}) - S(\omega_{n+m+2}) (a_0 + a_1 \omega_{n+m+2}^2 + \dots + a_n \omega_{n+m+2}^{2n}) = 0 \end{array} \right.$$

on peut l'écrire sous la forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} 1 & \omega_1^2 & \omega_1^4 & \dots & \omega_1^{2m} & -S(\omega_1) & -S(\omega_1)\omega_1^2 & \dots & -S(\omega_1)\omega_1^{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \omega_{n+m+2}^2 & \dots & \omega_{n+m+2}^{2m} & -S(\omega_{n+m+2}) & -S(\omega_{n+m+2})\omega_{n+m+2}^2 & \dots & -S(\omega_{n+m+2})\omega_{n+m+2}^{2n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_0 \\ X_1 \\ \dots \\ X_m \\ X_{m+n} \\ X_{n+m+1} \\ \dots \\ X_{m+n} \end{bmatrix} = 0$$

revient à résoudre le système d'équations  $[A]\{X\} = 0$

où

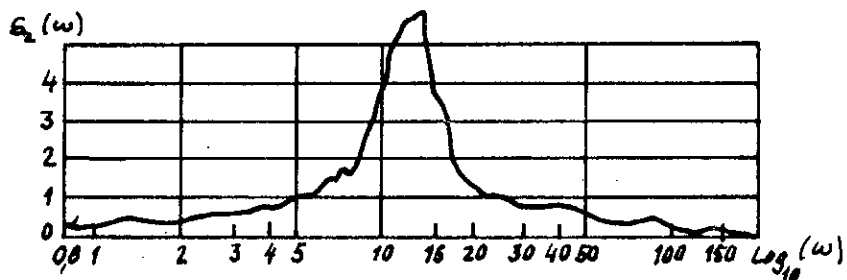
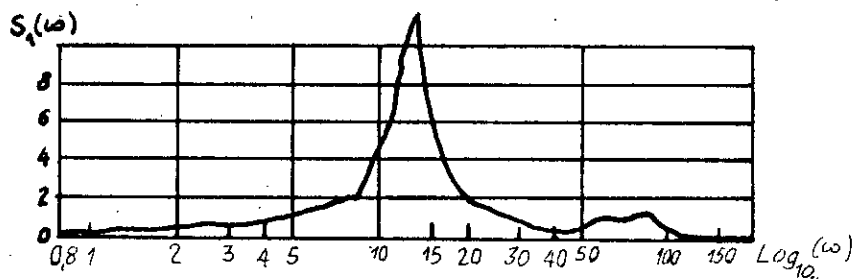
$$\begin{cases} X_i = b_i & i = 0, m \\ X_i = a_i & i = m+n, n+m \end{cases}$$

- Exemple d'application :

Les courbes ci-dessous représentent les densités spectrales du microprofil d'une route.

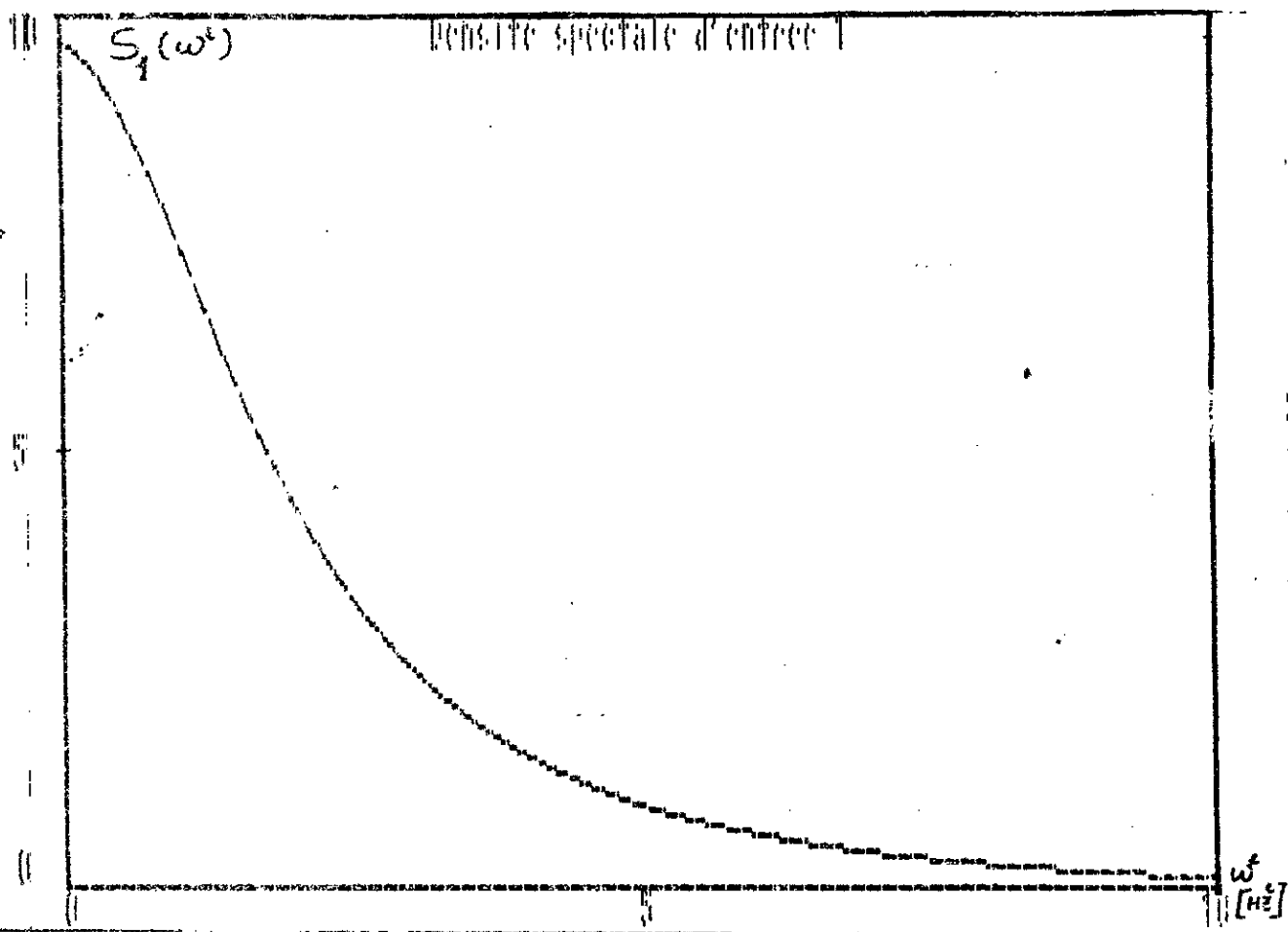
$S_1(\omega)$  : densité spectrale d'entrée côté roues avant.

$S_2(\omega)$  : densité spectrale d'entrée côté roues arrière.

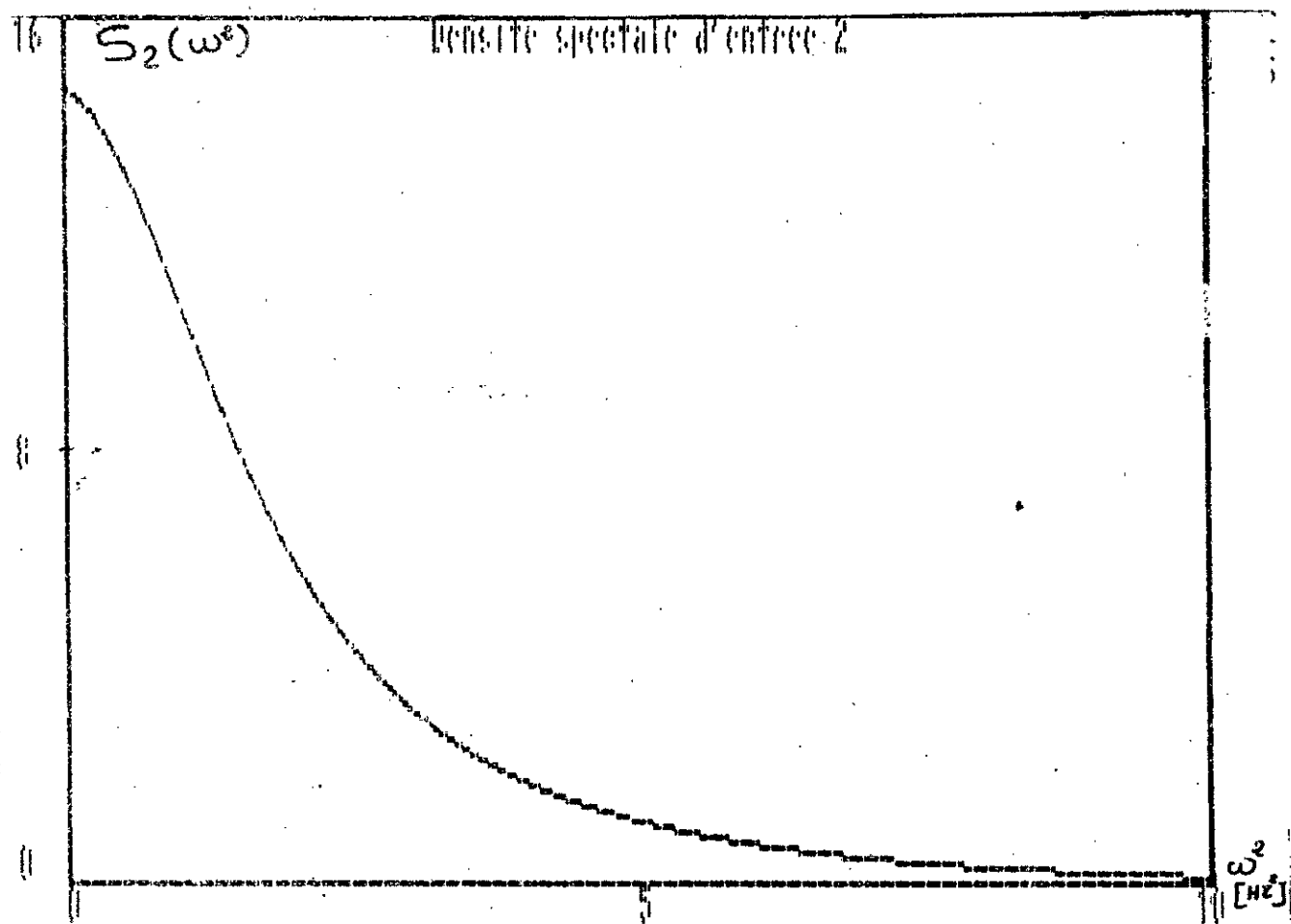


Après transformation (Coord  $\log_{10}$   $\rightarrow$  Coord. cartésiennes),  
et l'application du programme, on aura les fonctions suivantes :

$$S_1(\omega) = \frac{44.725 - 3.294\omega^2}{4.611 - .0382\omega^2 + \omega^4}$$



$$S_2(\omega^2) = \frac{52.56 - 3.95 \omega^2}{3.586 - 0.0636 \omega^2 + \omega^4}$$



## CHAPITRE 4.

### 4.1. MODELE ET CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

#### DU VEHICULE :

Considérons le mouvement d'un véhicule sur une route comportants des irrégularités aléatoires. Il s'agit de déterminer les caractéristiques probabilistes des oscillations stationnaires du véhicule.

Pour résoudre ce problème, on a considéré comme principales masses vibrantes ; les masses suivantes :

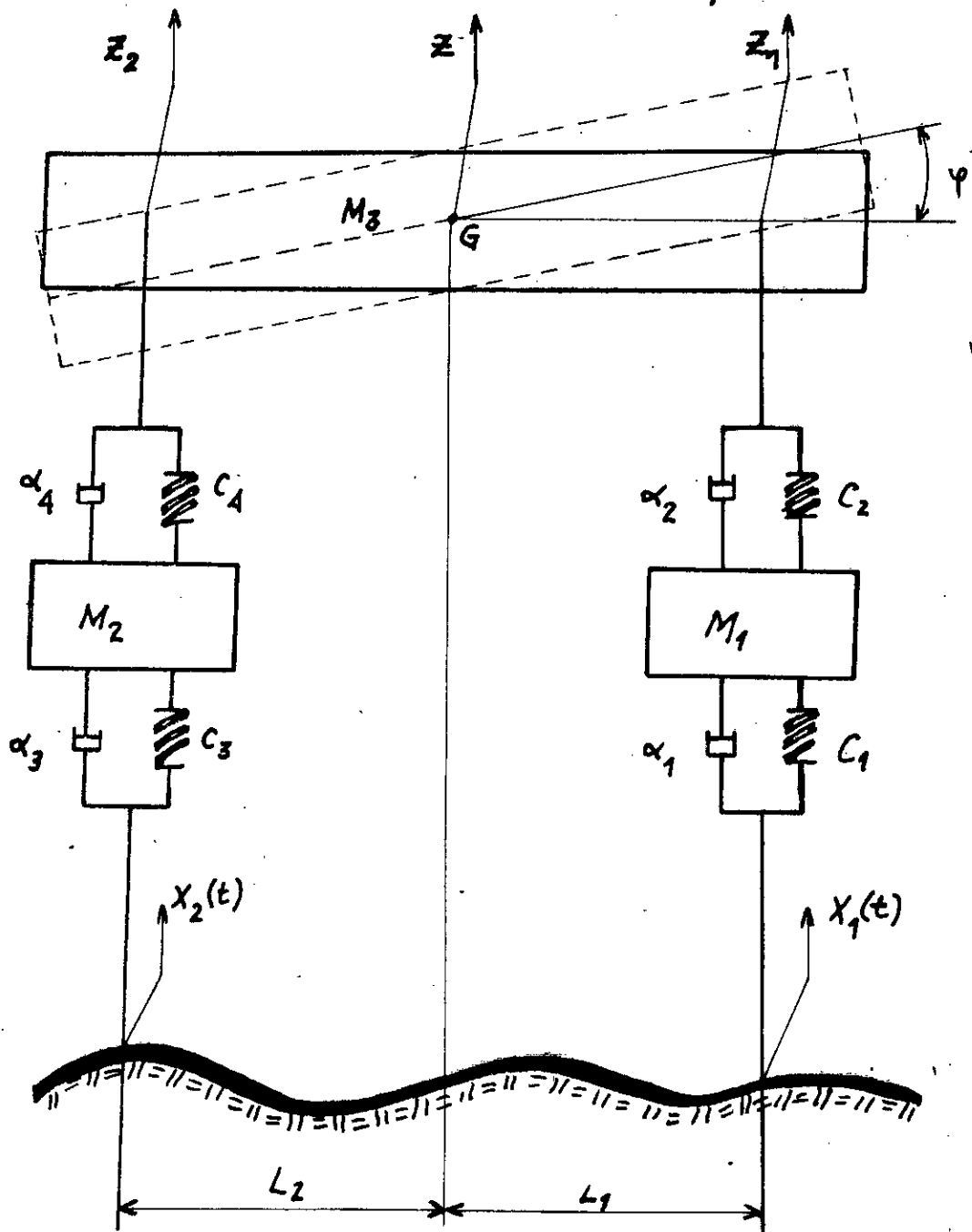
$M_3$  : masse du châssis-cabine, carrosserie - l'ensemble de ses accessoires.

$M_1$  : masse de l'essieu avant.

$M_2$  : masse de l'essieu arrière.

Vu que le véhicule présente plusieurs degrés de Liberté, on a choisi le modèle suivant permettant de simplifier quelques degrés de liberté peu importants dans les mouvements naturels.

modele physique





Puisque le véhicule est composée de trois masses (corps),  
les degrés de liberté les plus importants, choisis sont en nombre  
de quatre :

- La masse de l'essieu avant  $M_1$  : Un seul degré de liberté  $Y_1$   
translation verticale.
- La masse de l'essieu arrière  $M_2$  : Un seul degré de liberté  $Y_2$   
translation verticale
- La masse du châssis-ensemble  $M_3$  : 2 degrés de liberté :
  - Translation verticale  $Z_1$  -
  - Rotation dans le plan longitudinal ( $\psi_1$ ) (Tangage)

Le type de véhicule qu'on a choisi est le camion K66  
normal et à cabine avancée dont les caractéristiques sont  
les suivantes :

| A VIDE                       | EN CHARGE                   |
|------------------------------|-----------------------------|
| $M_1 = 233 \text{ kg}$       | 233 kg                      |
| $M_2 = 410 \text{ kg}$       | 410 kg                      |
| $M_3 = 2667 \text{ kg}$      | 5957 kg                     |
| $I = 9826,85 \text{ kg.m}^2$ | 11828,485 kg.m <sup>2</sup> |

Les constantes de raideur des ressorts sont :

$$C_1 = 1032000 \text{ [N/m]}$$

$$C_2 = 287857 \text{ [N/m]}$$

$$C_3 = 2227000 \text{ [N/m]}$$

$$C_4 = 795160 \text{ [N/m]}$$

Les coefficients d'amortissement sont :

$$\alpha_1 = [4000, 13000] \text{ [Ns/m]}$$

$$\alpha_2 = [4000, 13000] \text{ [Ns/m]}$$

$$\alpha_3 = [1000, 19000] \text{ [Ns/m]}$$

$$\alpha_4 = [4000, 13000] \text{ [N.s/m]}$$

les longueurs au centre de gravité sont :

$$l_1 = 2,34 \text{ [M]}$$

$$l_2 = 0,26 \text{ [M]}$$

## 4.2. CALCUL DES FREQUENCES PROPRES POUR LES VIBRATIONS NON AMORTIES :

L'expression de l'énergie cinétique pour notre système est donnée par :

$$T = \frac{1}{2} M_3 \dot{z}^2 + \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} M_1 \dot{Y}_1^2 + \frac{1}{2} M_2 \dot{Y}_2^2$$

L'expression de l'énergie potentielle pour notre système est donnée par :

$$U = \frac{1}{2} C_2 (z_1 - Y_1)^2 + \frac{1}{2} C_1 (Y_1 - X_1)^2 + \frac{1}{2} C_3 (Y_2 - X_2)^2 + \frac{1}{2} C_4 (z_2 - Y_2)^2$$

Nous utilisons les équations de Lagrange de second espèce :

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial U}{\partial q_i} = 0 \quad i=1,4$$

avec :

$$q_1 = z'$$

$$q_2 = \varphi$$

$$q_3 = Y_1$$

$$q_4 = Y_2$$

Les relations géométriques entre les déplacements et les rotations sont :

$$\left. \begin{aligned} Z &= \frac{L_2}{L_1+L_2} Z_1 + \frac{L_1}{L_1+L_2} Z_2 \\ \varphi &= \frac{1}{L_1+L_2} Z_1 - \frac{1}{L_1+L_2} Z_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} Z_1 &= Z - L_1 \varphi \\ Z_2 &= Z + L_2 \varphi \end{aligned}$$

Après substitution, on aura :

$$\left\{ \begin{aligned} M_3 \ddot{Z} &= (C_2 + C_4) Z + (C_4 L_2 - C_2 L_1) \varphi - C_2 Y_1 - C_4 Y_2 \\ I \ddot{\varphi} &= (C_4 L_2 - C_2 L_1) Z + (C_2 L_1^2 + C_4 L_2^2) \varphi + C_2 L_1 Y_1 - C_4 L_2 Y_2 \\ M_2 \ddot{Y}_1 &= -C_2 Z + L_1 C_2 \varphi + (C_1 + C_2) Y_1 + 0 Y_2 \\ M_2 \ddot{Y}_2 &= -C_4 Z - C_4 L_2 \varphi + 0 Y_1 + (C_3 + C_4) Y_2 \end{aligned} \right.$$

Le système peut s'écrire sous la forme matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} M_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{Z} \\ \ddot{\varphi} \\ \ddot{Y}_1 \\ \ddot{Y}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_2 + C_4 & C_4 L_2 - C_2 L_1 & -C_2 & -C_4 \\ C_4 L_2 - C_2 L_1 & C_2 L_1^2 + C_4 L_2^2 & C_2 L_1 & -C_4 L_2 \\ -C_2 & C_2 L_1 & C_1 + C_2 & 0 \\ -C_4 & -C_4 L_2 & 0 & C_3 + C_4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Z \\ \varphi \\ Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix}$$

où  $[M] \{ \ddot{q}_i \} - [K] \{ q_i \} = 0$

où  $[M]$  : matrice masse ,  $[K]$  : matrice rigidité .

Dans le cadre de notre travail, on a choisi la méthode de JACOBI, elle nous permet de calculer les  $N$  valeurs propres d'un système à  $N$  degrés de liberté ( $N < 100$ ) dont les matrices  $[K]$  et  $[M]$  sont symétriques et définies positives.

Cette méthode consiste à appliquer aux matrices  $[K]$  et  $[M]$  une série de transformation  $P_K$  telle que :

$$[K_1] = [K]$$

$$[K_{K+1}] = [P_K]^T [K_K] [P_K]$$

et

$$[M_1] = [M]$$

$$[M_K] = [P_K]^T [M_K] [P_K]$$

$[P_K]$  : est une matrice rotation généralisée, définie par :

$$[P_K] = \left\{ P_{ij} = T_{ij} ; P_{1m} = a, P_{m1} = b \right\}$$

C'est à dire une matrice diagonale unitaire, sauf deux termes hors diagonale non nuls aux positions  $(1, m)$  et  $(m, 1)$ ; annuler les termes hors diagonale  $K_{m1}$  et  $M_{m1}$  des matrices  $[K]$  et  $[M]$ .

On applique ces transformations successivement à tous les termes non diagonaux et non nuls de  $[M]$  et  $[K]$  et on réitère jusqu'à ce que  $[K]$  et  $[M]$  soient quasi-diagonales.

On applique les transformations  $[P_K]$  tant que :

$$[T_K] = \frac{[K_{ij}]^2}{K_{ii} \times K_{jj}} > E$$

et

$$T_m = \frac{[M_{ij}]^2}{M_{ii} \times M_{jj}} > E$$

où

$E$  : précision demandée à l'itération

Après convergence, on en déduit

$$W_i^2 = K_{ii} / M_{ii} \quad (\text{valeurs propres})$$

Les pulsations propres seront les racines  $W_i^2$

$$P_{ue_i} = \sqrt{W_i^2}$$

les périodes sont :

$$T_i = \frac{2\pi}{P_{ue_i}}$$

les fréquences propres sont :

$$F_{RPi} = \frac{1}{T_i}$$

Dans notre cas :

$F_{RP1}$  est : fréquence du centre de gravité du châssis-cabine et l'ensemble de ses accessoires.

$F_{RP2}$  est : fréquence du mouvement de rotation du châssis-cabine et l'ensemble de ses accessoires

$F_{RP3}$  est : fréquence du mouvement de l'essieu avant.

$F_{RP4}$  est : fréquence du mouvement de l'essieu arrière.



=====
   
 EN CHARGE
   
 =====

MATRICE DE RIGIDITE

|                        |                    |                        |
|------------------------|--------------------|------------------------|
| 1083017.000000000      | -466843.7800000000 | -287857.0000000000     |
| -795160.0000000000     |                    |                        |
| -466843.7800000000     | 1829942.605200000  | 873388.3800005000      |
| -206741.6000000000     |                    |                        |
| -287857.0000000000     | 673585.3300000000  | 1319887.0000000000     |
| 0.0000000000000000E+00 |                    |                        |
| -795160.0000000000     | -206741.6000000000 | 0.0000000000000000E+00 |
| 3022160.000000000      |                    |                        |

MATRICE DE MASSE

|                        |                        |                        |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| 11828.48500000000      | 0.0000000000000000E+00 | 0.0000000000000000E+00 |
| 0.0000000000000000E+00 |                        |                        |
| 0.0000000000000000E+00 | 5957.000000000000      | 0.0000000000000000E+00 |
| 0.0000000000000000E+00 |                        |                        |
| 0.0000000000000000E+00 | 0.0000000000000000E+00 | 233.00000000000000     |
| 0.0000000000000000E+00 |                        |                        |
| 0.0000000000000000E+00 | 0.0000000000000000E+00 | 0.0000000000000000E+00 |
| 410.0000000000000      |                        |                        |

NDLT=

4

-----ITERATION NO-----

15

----les valeurs propres sont:

EIGV(1)= 91.56007722037100  
 EIGV(2)= 273.6180300822562  
 EIGV(3)= 5664.622317596567  
 EIGV(4)= 7371.121951219512

----les pulsations propres sont:

W(1)= 9.568703006174400  
 W(2)= 16.54140351004884  
 W(3)= 75.26368525123233  
 W(4)= 85.85523834456661

----les periodes sont:

T(1)= 0.6566391994788420 [s]  
 T(2)= 0.3798459712447093 [s]  
 T(3)= 8.3482299080249581E-02 [s]  
 T(4)= 7.3183484236584875E-02 [s]

---les frequences propres sont:  
 FS(1)= 1.522906340032205 [Hz]  
 FS(2)= 2.632646061041851 [Hz]  
 FS(3)= 11.97858720971165 [Hz]  
 FS(4)= 13.66428519264315 [Hz]

=====  
 ===== A VIDE =====  
 =====

MATRICE DE RIGIDITE

|                       |                   |                    |
|-----------------------|-------------------|--------------------|
| 1083017.000000000     | -466843.780000000 | -287857.000000000  |
| -795160.000000000     |                   |                    |
| -466843.780000000     | 1629942.605200000 | 673585.380000000   |
| -206741.600000000     |                   |                    |
| -287857.000000000     | 673585.380000000  | 1319857.000000000  |
| 0.000000000000000E+00 |                   |                    |
| -795160.000000000     | -206741.600000000 | 0.000000000000000E |
| 3022160.000000000     |                   |                    |

MATRICE DE MASSE

|                       |                       |                    |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| 9826.850000000000     | 0.000000000000000E+00 | 0.000000000000000E |
| 0.000000000000000E+00 |                       |                    |
| 0.000000000000000E+00 | 2667.000000000000     | 0.000000000000000E |
| 0.000000000000000E+00 |                       |                    |
| 0.000000000000000E+00 | 0.000000000000000E+00 | 233.0000000000000  |
| 0.000000000000000E+00 |                       |                    |
| 0.000000000000000E+00 | 0.000000000000000E+00 | 0.000000000000000E |
| 410.0000000000000     |                       |                    |

NDLT=

4

-----ITERATION NO-----

15

---les valeurs propres sont:

EIGV(1)= 110.2099859059617  
 EIGV(2)= 611.1520829396325  
 EIGV(3)= 5664.622317596567  
 EIGV(4)= 7371.121951219512

---les pulsations propres sont:

W(1)= 10.49809439402989  
 W(2)= 24.72149030579735  
 W(3)= 75.26368525123233  
 W(4)= 85.85523834466661

---les periodes sont:

T(1)= 0.5985072391896568 [s]  
T(2)= 0.2541588473956887 [s]  
T(3)= 8.3482299080249581E-02 [s]  
T(4)= 7.3182484236584875E-02 [s]

---les frequences propres sont:

FS(1)= 1.670823859360270 [Hz]  
FS(2)= 3.934547273277268 [Hz]  
FS(3)= 11.97858720971165 [Hz]  
FS(4)= 13.66428519264315 [Hz]

### 4-3-ETABLISSEMENT DES EQUATIONS DIFFERENTIELLES :

En considérant le système amorti, L'énergie de dissipation de

RAYLEIGH sera :

$$D = \frac{1}{2} \alpha_1 (\dot{y}_1 - \dot{x})^2 + \frac{1}{2} \alpha_3 (\dot{y}_2 - \dot{x}_2)^2 + \frac{1}{2} \alpha_2 [\dot{z} - L_1 \dot{\psi} - \dot{y}_1]^2 \\ + \frac{1}{2} \alpha_4 [\dot{z} + L_2 \dot{\psi} - \dot{y}_2]^2$$

De la même façon, on utilisera l'équation de Lagrange de second espèce et les mêmes relations géométriques :

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial U}{\partial q_i} + \frac{\partial U}{\partial \dot{q}_i} = 0$$

Après substitution et passage aux transformées de Laplace, on aboutira au système d'équations différentielles suivant sous forme matricielle :

$$A \bar{q} = B_1 \bar{X}_1 + B_2 \bar{X}_2$$

où  $[A] = a_{ij}$  ( $i = 1, 4 ; j = 1, 4$ ) symétrique :

$$a_{11} = M15^2 + (\alpha_1 + \alpha_2)s + C_1 + C_2$$

$$a_{12} = 0$$

$$a_{13} = -(\alpha_2 s + c_2)$$

$$a_{14} = \alpha_2 L_1 s + c_2 L_1$$

$$a_{22} = M_2 s^2 + (\alpha_3 + \alpha_4) s + (c_3 + c_4)$$

$$a_{23} = -(\alpha_4 s + c_4)$$

$$a_{24} = -(c_4 L_2 + \alpha_4 L_2 s)$$

$$a_{33} = M_3 s^2 + (\alpha_2 + \alpha_4) s + (c_2 + c_4)$$

$$a_{34} = (\alpha_4 L_2 - L_1 \alpha_2) s + (c_4 L_2 - L_1 c_2)$$

$$a_{44} = I s^4 + (\alpha_2 L_1^2 + L_2^2 \alpha_4) s + (c_2 L_1^2 + L_2^2 c_4)$$

La matrice  $[B_1] = b_{i1}$  ( $i = 1, 4$ )

$$b_{11} = (\alpha_1 s + c_1)$$

$$b_{21} = 0$$

$$b_{31} = 0$$

$$b_{41} = 0$$

La matrice  $[B_2] = b_{i2}$  ( $i = 1, 4$ )

$$b_{12} = 0$$

$$b_{22} = (\alpha_3 s + c_3)$$

$$b_{32} = 0$$

$$b_{42} = 0$$

Comme la première roue est en retard par rapport à la deuxième roue d'un temps:  $\tau = \frac{l_1 + l_2}{v}$

où :  $v$  : vitesse du déplacement

$l_1 + l_2$  : L'empattement

on aura:

$$\bar{X}_2(s) = \bar{X}_1(s) \cdot E(s)$$

avec  $E(s) = \text{Exp}(-s\tau)$

4-4- Calcul des dispersions d'accélération et des déplacements relatifs :

Comme le système est linéaire donc : Les solutions du système

$A\bar{q} = B_1\bar{X}_1 + B_2\bar{X}_2$  est la somme des deux termes respectivement solutions

des équations:  $A\bar{q} = B_1\bar{X}_1$  et  $A\bar{q} = B_2\bar{X}_2$

$$A\left(\frac{\bar{q}}{\bar{X}_1}\right) = B_1 \quad \text{et} \quad A\left(\frac{\bar{q}}{\bar{X}_2}\right) = B_2$$

les fonctions de transfert sont :

$$\frac{\bar{q}}{\bar{X}_1} = \bar{H}_1 = (\bar{H}_{\lambda 1}) \quad \lambda = 1, 4$$

$$\frac{\bar{q}}{\bar{X}_2} = \bar{H}_2 = (\bar{H}_{\lambda 2}) \quad \lambda = 1, 4$$

les deux systèmes deviennent :

$$A\bar{H}_1 = B_1 \quad \text{et} \quad A\bar{H}_2 = B_2$$

En résolvant ces deux systèmes d'équations, on trouve

$$\bar{q}_1 = \bar{H}_{11}\bar{X}_1 + \bar{H}_{12}\bar{X}_2$$

$$\bar{q}_2 = \bar{H}_{21}\bar{X}_1 + \bar{H}_{22}\bar{X}_2$$

$$\bar{q}_3 = \bar{H}_{31}\bar{X}_1 + \bar{H}_{32}\bar{X}_2$$

$$\bar{q}_4 = \bar{H}_{41}\bar{X}_1 + \bar{H}_{42}\bar{X}_2$$

D'où les déplacements du châssis-cabine (Avant et Arrière) sont :

$$Z_1 = q_3 - L_1 q_4 \quad , \quad Z_2 = q_3 + L_2 q_4$$

le déplacement relatif du châssis-cabine par rapport à :

- L'essieu avant est :

$$\begin{aligned} Z_1 - Y_1 &= q_3 - L_1 q_4 + q_1 = (\bar{H}_{31} - L_1 \bar{H}_{41} - \bar{H}_{11})\bar{X}_1 + (\bar{H}_{32} - L_1 \bar{H}_{42} - \bar{H}_{12})\bar{X}_2 \\ &= W H_{11} \bar{X}_1 + W H_{12} \bar{X}_2 \end{aligned}$$

- L'essieu arrière est :

$$\begin{aligned} Z_2 - Y_2 &= q_3 + L_2 q_4 - q_2 = (\bar{H}_{31} + L_2 \bar{H}_{41} - \bar{H}_{21}) \bar{X}_1 + (\bar{H}_{32} + L_2 \bar{H}_{42} - \bar{H}_{22}) \bar{X}_2 \\ &= WH_{21} \bar{X}_1 + WH_{22} \bar{X}_2 \end{aligned}$$

En remplaçant  $s$  par  $(j\omega)$ , les densités spectrales seront :

$$S_{q_1}(\omega) = [\bar{H}_{11}(j\omega) \cdot \bar{H}_{11}(j\omega)] SH_1(\omega) + [\bar{H}_{12}(j\omega) \cdot \bar{H}_{12}(j\omega)] SH_2(\omega)$$

$$S_{q_2}(\omega) = [\bar{H}_{21}(j\omega) \cdot \bar{H}_{21}(j\omega)] SH_1(\omega) + [\bar{H}_{22}(j\omega) \cdot \bar{H}_{22}(j\omega)] SH_2(\omega)$$

$$S_{q_3}(\omega) = [\bar{H}_{31}(j\omega) \cdot \bar{H}_{31}(j\omega)] SH_1(\omega) + [\bar{H}_{32}(j\omega) \cdot \bar{H}_{32}(j\omega)] SH_2(\omega)$$

$$S_{q_4}(\omega) = [\bar{H}_{41}(j\omega) \cdot \bar{H}_{41}(j\omega)] SH_1(\omega) + [\bar{H}_{42}(j\omega) \cdot \bar{H}_{42}(j\omega)] SH_2(\omega)$$

$$S_{Z_1 - Y_1}(\omega) = [WH_{11}(j\omega) \cdot WH_{11}(j\omega)] SH_1(\omega) + [WH_{12}(j\omega) \cdot WH_{12}(j\omega)] SH_2(\omega)$$

$$S_{Z_2 - Y_2}(\omega) = [WH_{21}(j\omega) \cdot WH_{21}(j\omega)] SH_1(\omega) + [WH_{22}(j\omega) \cdot WH_{22}(j\omega)] SH_2(\omega)$$

Celles des accélérations seront :

$$S_{\ddot{q}_i}(\omega) = \omega^4 S_{q_i}(\omega)$$

Et les dispersions seront :

$$\sigma^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_{q_i}(\omega) d\omega = \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} S(\omega) d\omega$$

Pour notre étude, on a choisi le type du microprofil de la

route : Route HERBEUSE avec  $v = 50 \text{ km/h}$ .

NB : 1:  $\sigma_{Z_1 - Y_1}$

2:  $\sigma_{Z_2 - Y_2}$



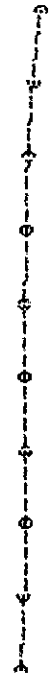
DEPARTS CH/SZL 08 ALPHAL EN/SMT

0.00

0.00

0.100

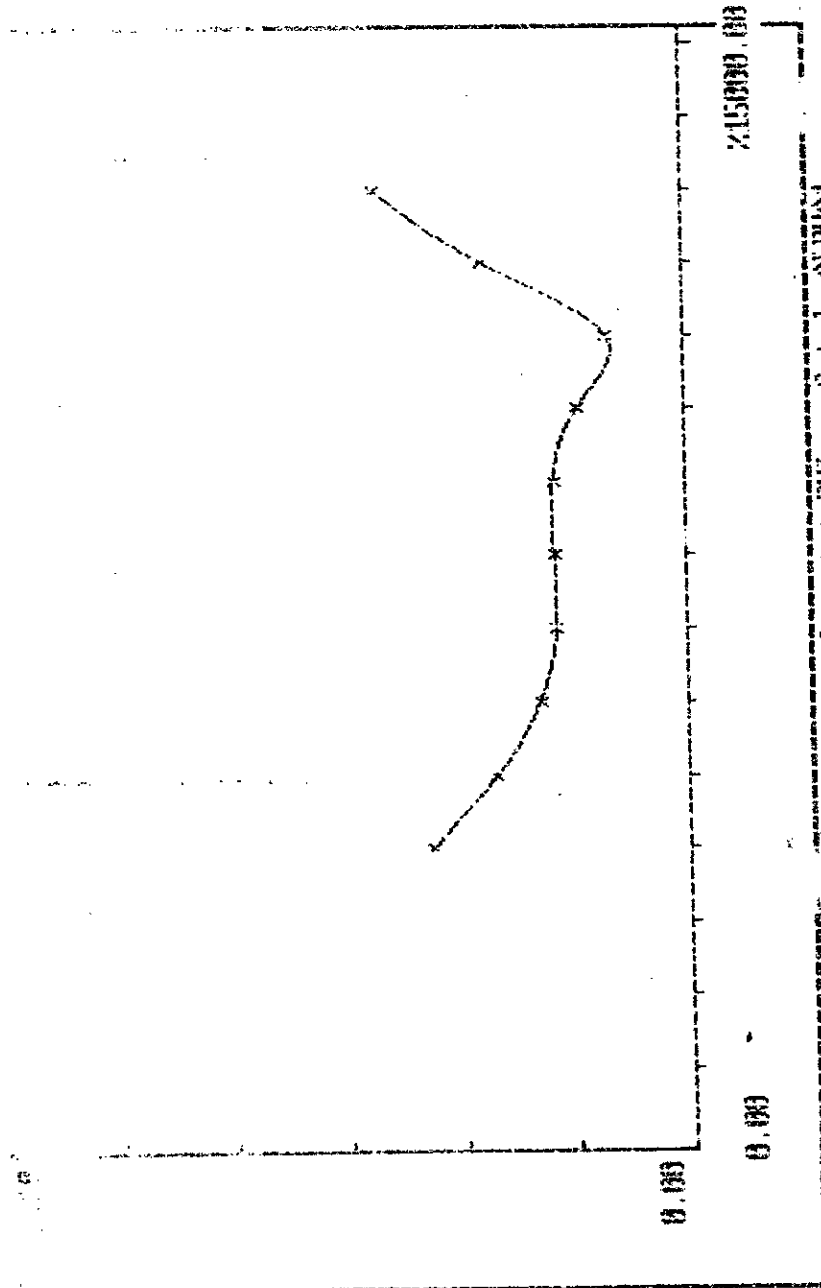
2.15000 .010



Variation des dispa d'accol Z en fonction de ALPHAL

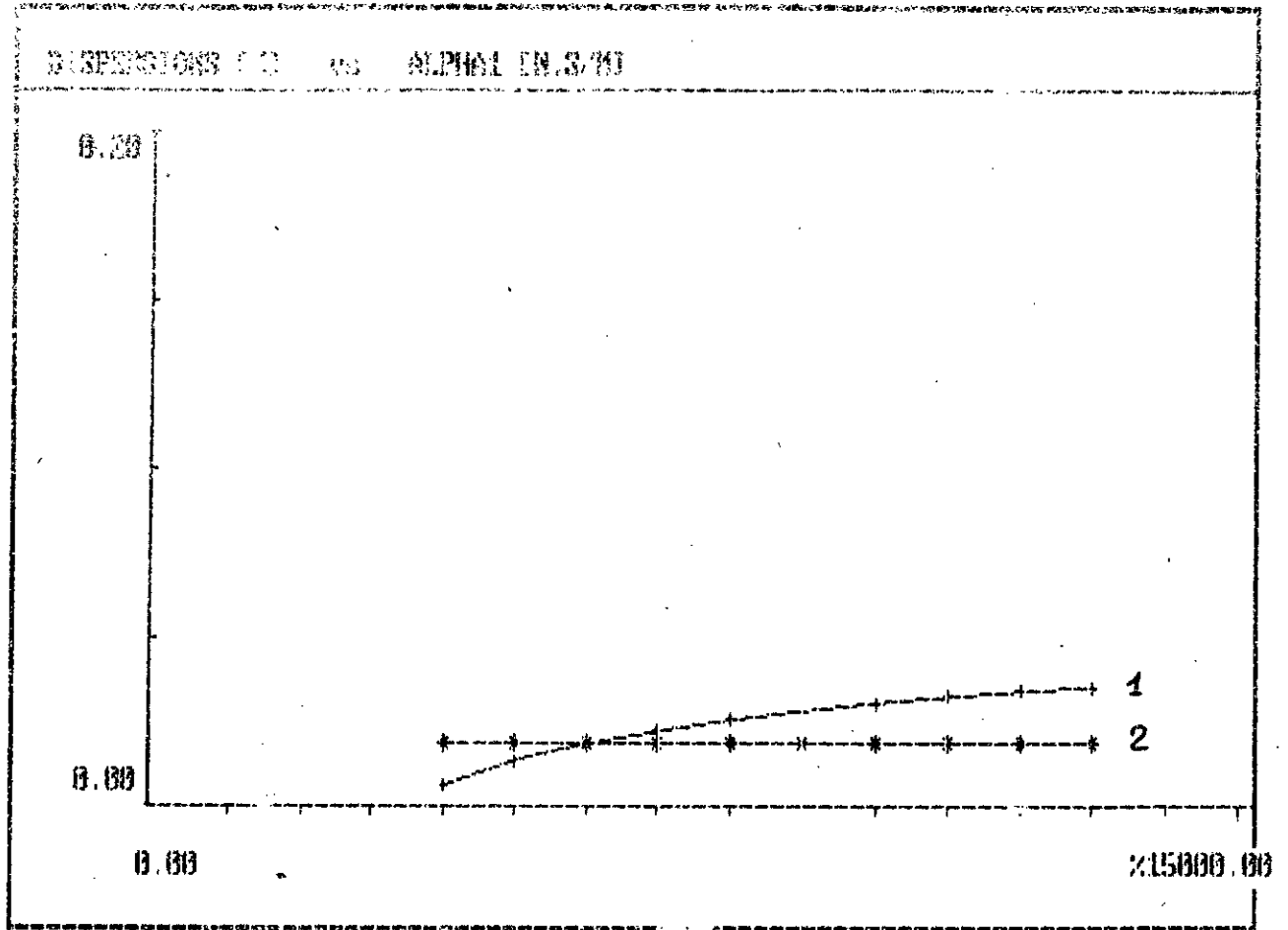
gr:1

CHIFFRE DE LA COTE

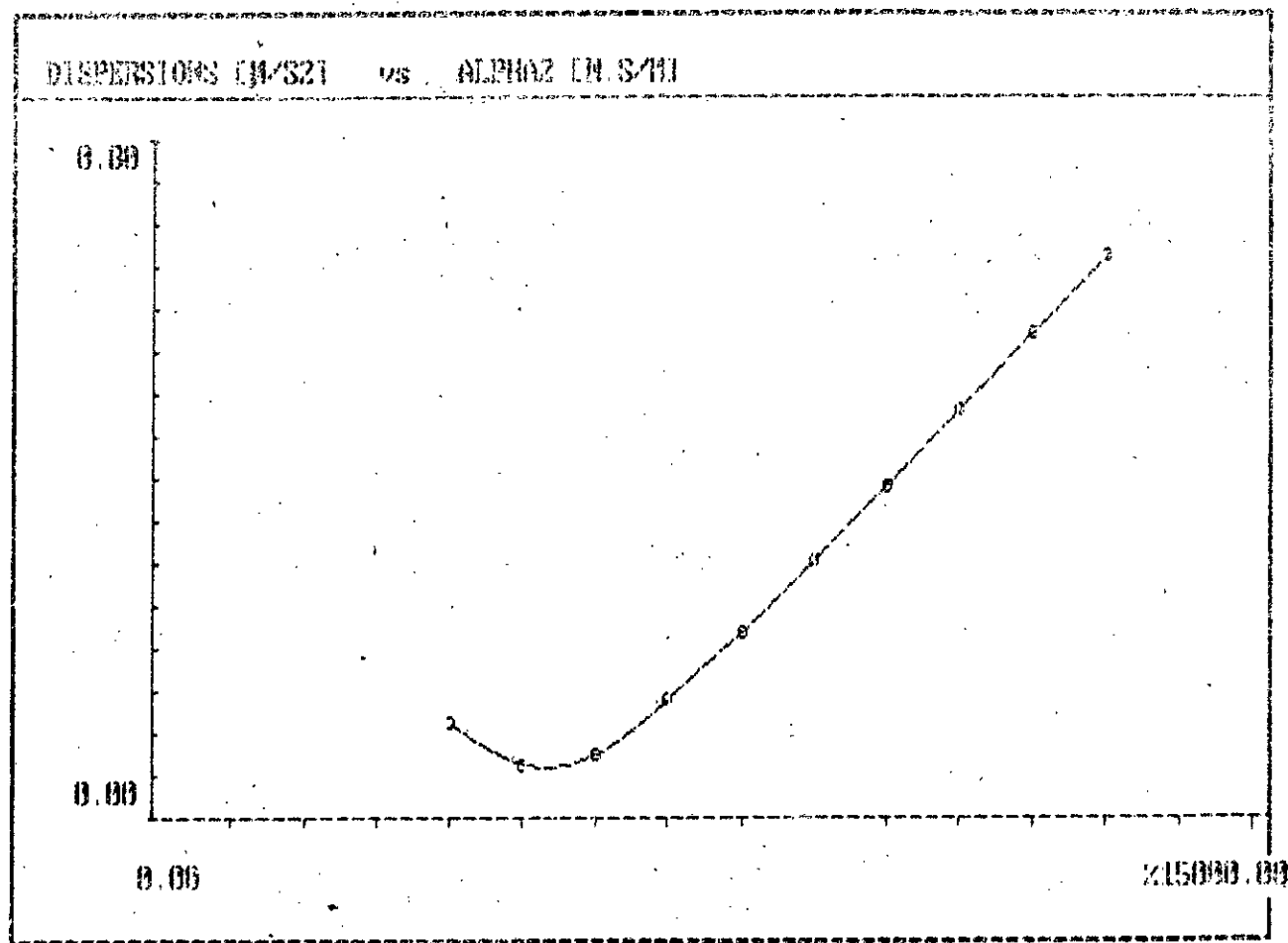


Variation des disp. d'axe du mt de rotat PHU en fct de ALPHAI

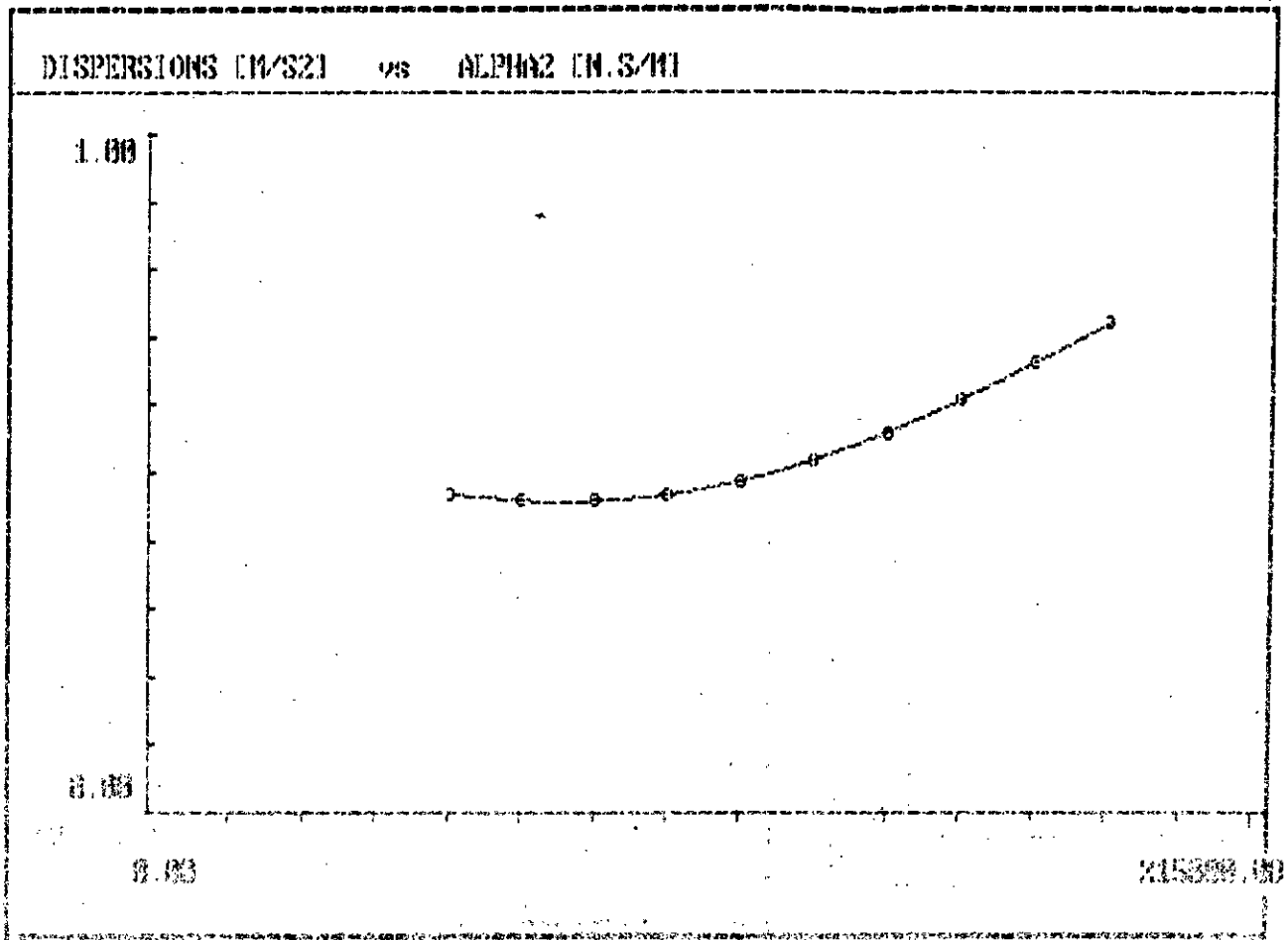
gr:2



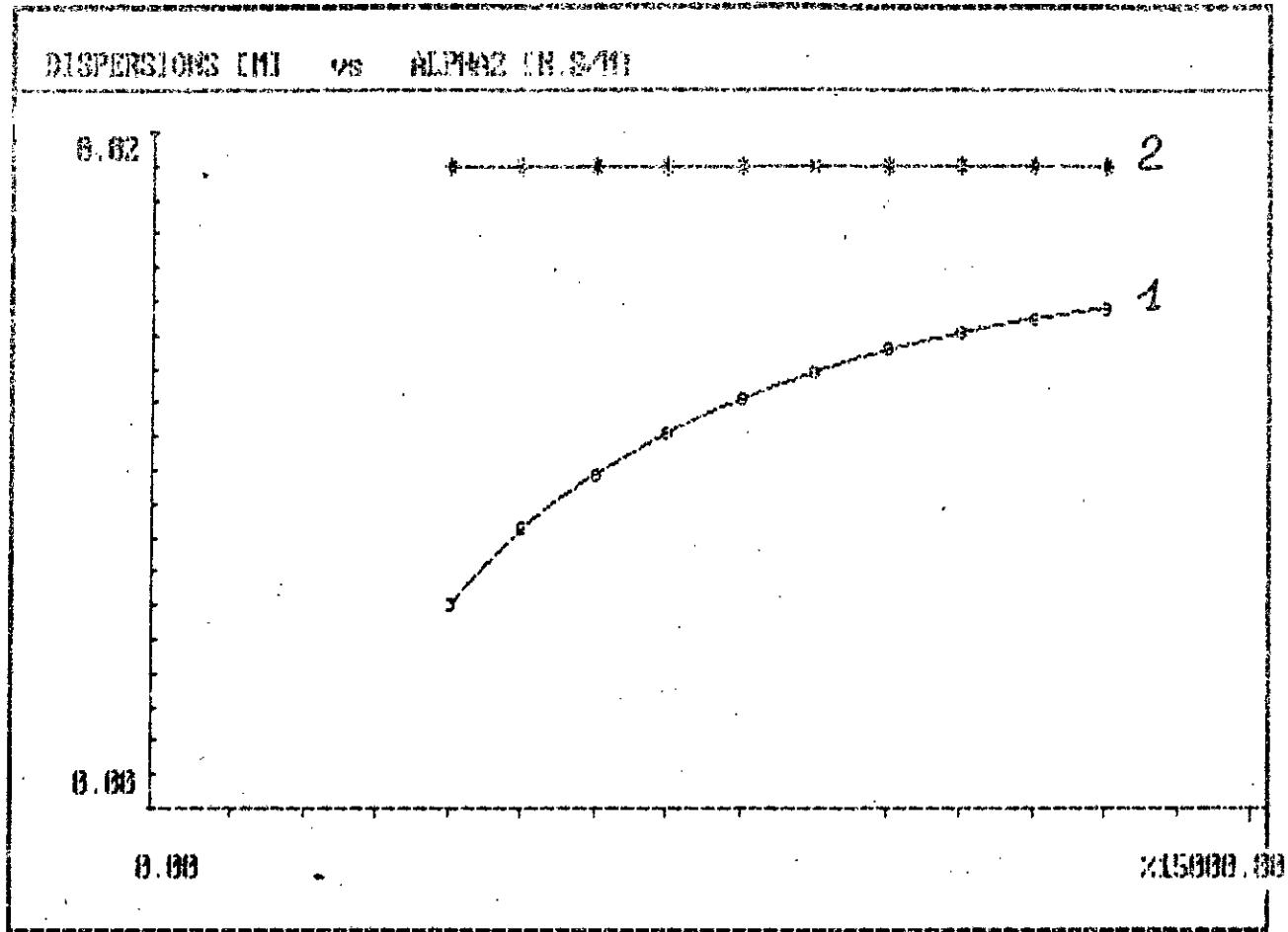
Variation des dispersions des déplacements en fonction de ALPHAI



Variat des disp d'acc du nut de rotat PHI en fct de ALPHAZ

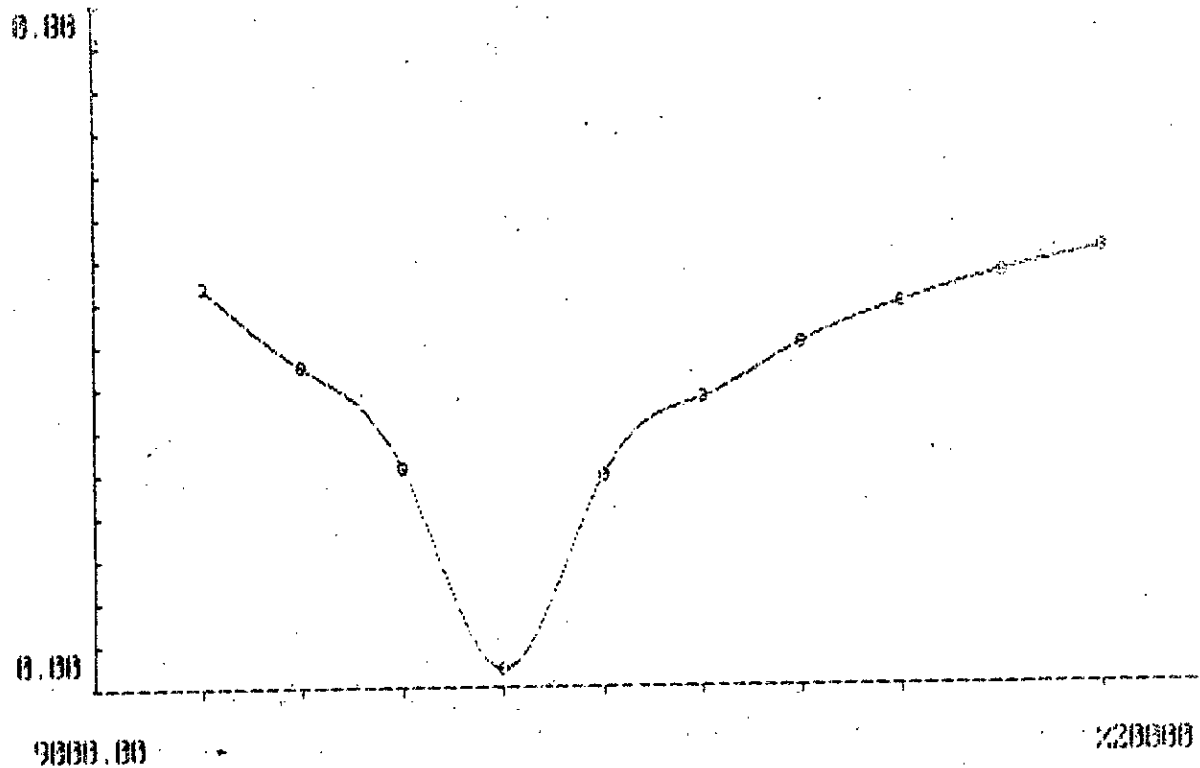


Variation des dispersions en fonction de ALPHA2



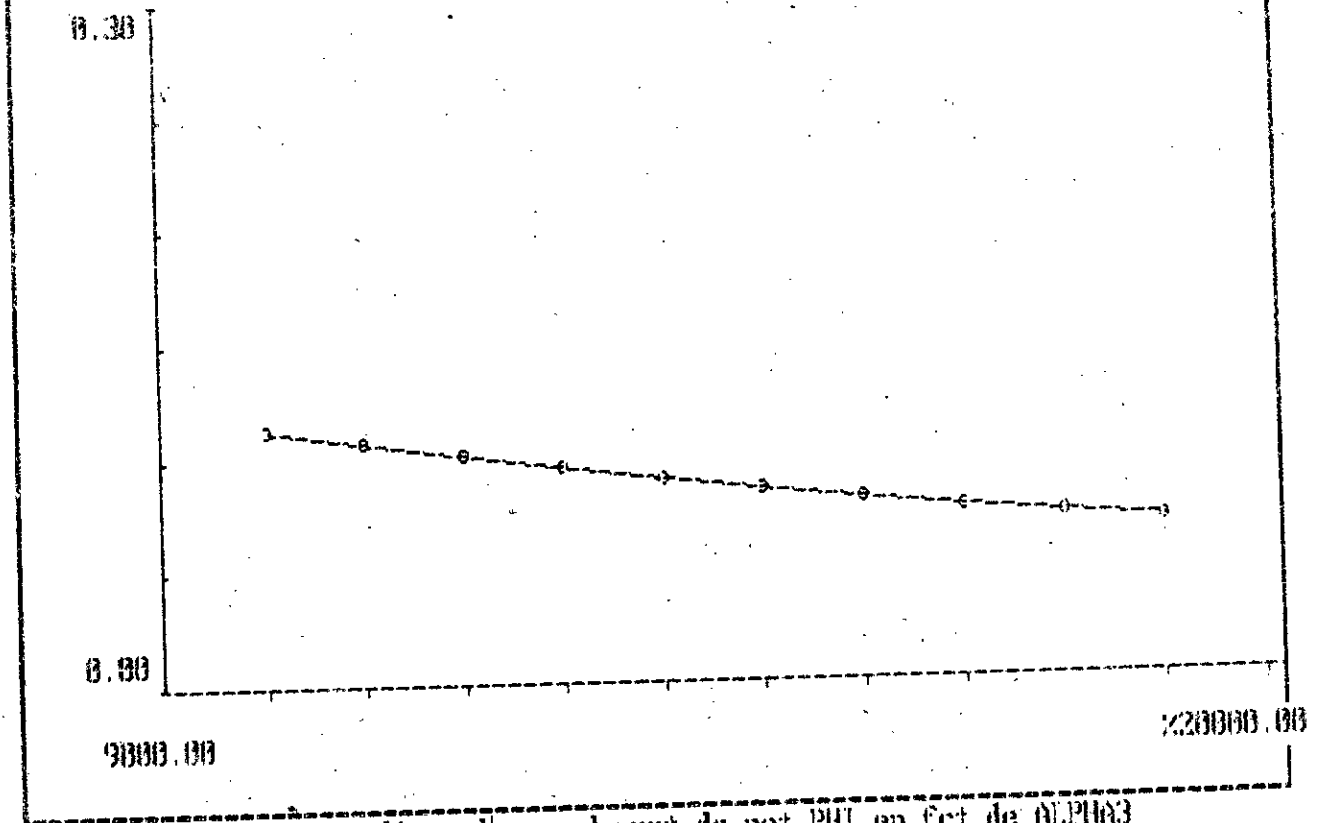
Variation des disper des depl relatifs en fonct de ALPHA2

DISPERCTIONS (14/321) vs ALPHAS (14/371)



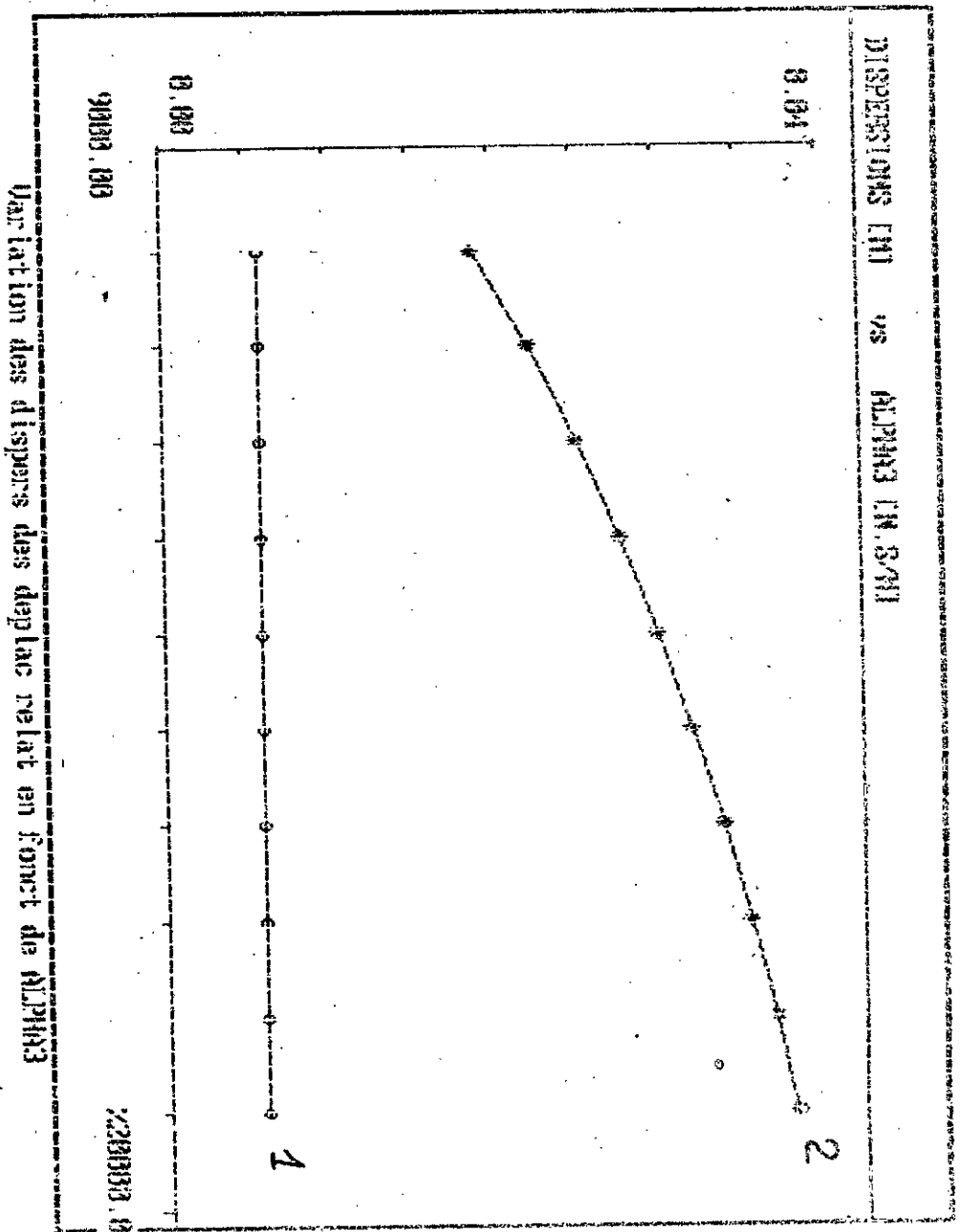
Variation des disper d'accel Z en fonct de ALPHAS

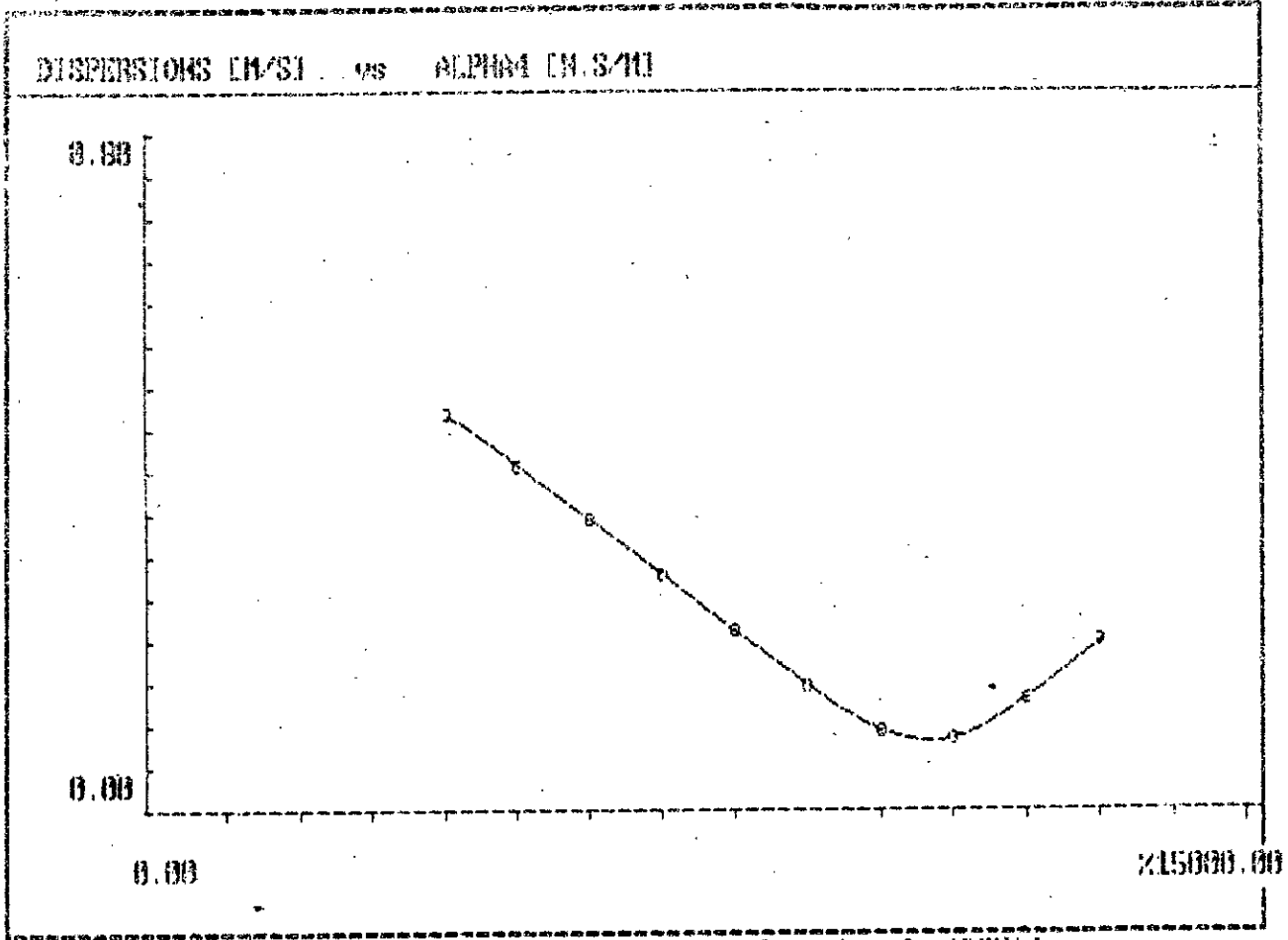
DISPERSTIONS ERD/821 vs ALPHAS EN 3/11

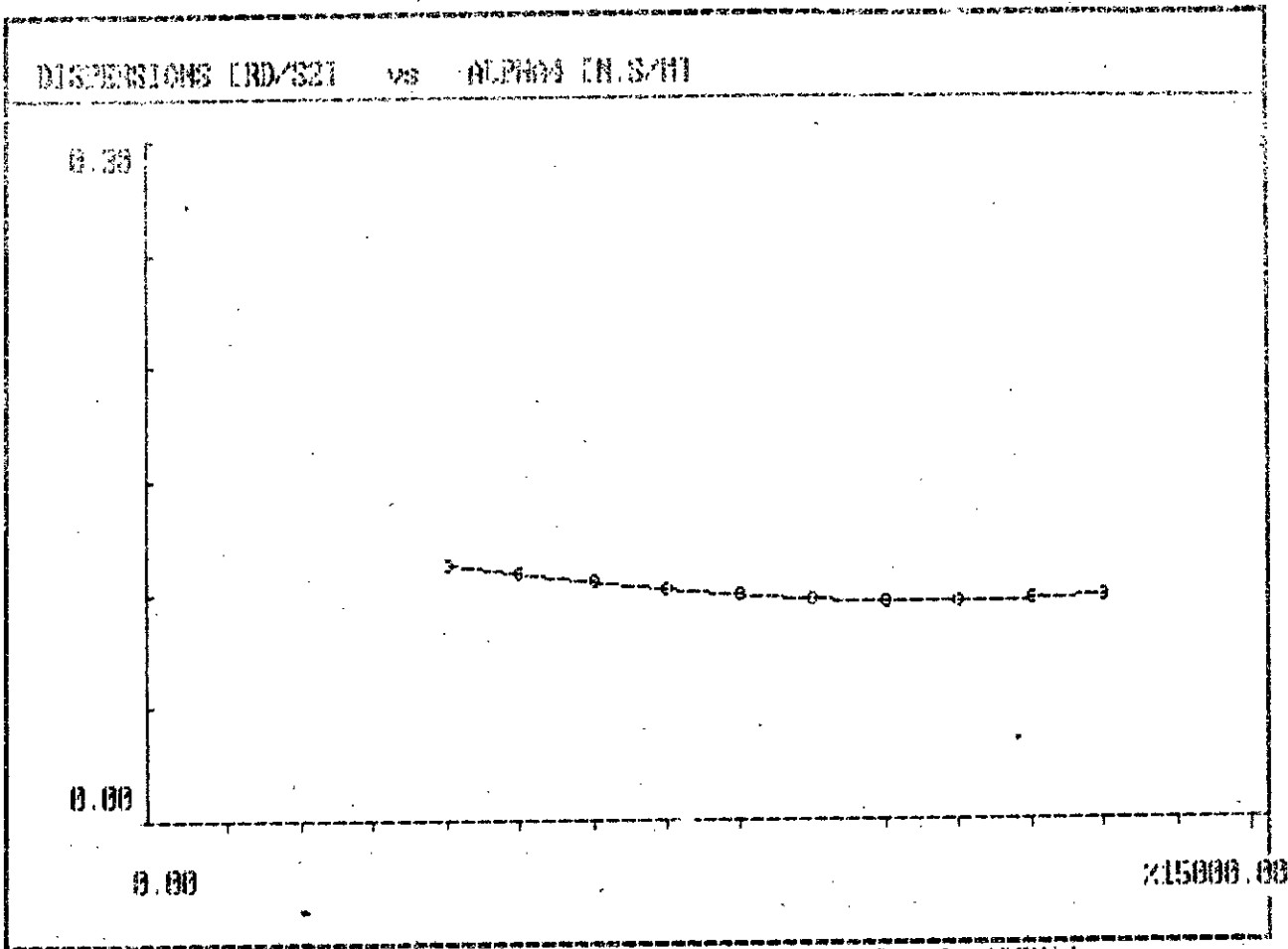


Variati des dispe d'acce du aut de rot PHI en fet de ALPHAS



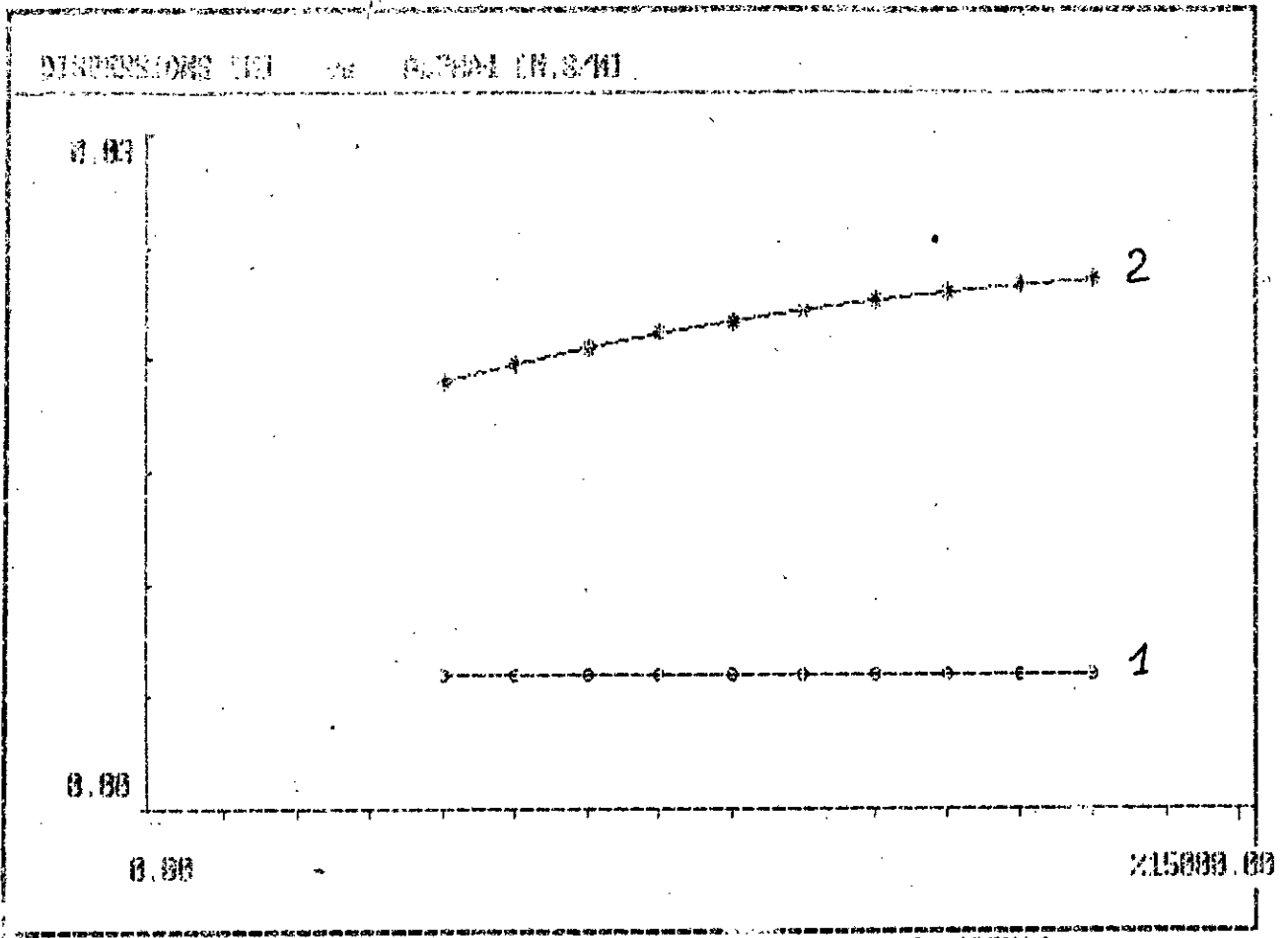






Variat des disp d' acc du mot de rot PHI en fct de ALPH04

-59-



Variation des disper des depl relat en Fonct de ALPHA4

## - Interpretation des courbes

Les courbes caractérisent l'influence des coefficients d'amortissement sur les dispersions d'accélération de la caisse de l'accélération du mouvement de rotation de la caisse et des déplacements relatifs  $\sigma_{z_1-y_1}$ ,  $\sigma_{z_2-y_1}$  pour une vitesse donnée 50 km/h.

### 1. Influence de ALPHA 1:

D'après les graphes (1.1), (1.2), on remarque que  $\sigma_{\ddot{z}}$  et  $\sigma_{\ddot{\varphi}}$  diminuera avec l'augmentation de ALPHA 1, à partir de la valeur  $\sigma_{\ddot{\varphi}} = 8,769 \cdot 10^{-2} [\text{rd/s}^2]$ ,  $\sigma_{\ddot{\varphi}}$  augmente, d'où la présence d'un minimum  $(\alpha_{110}; \sigma_{\ddot{\varphi}10})$ .

Les déplacements relatifs  $\sigma_{z_1-y_1}$  augmentent, par contre  $\sigma_{z_2-y_2}$  n'est que légèrement influencée.

### 2. Influence de ALPHA 2:

Dans ce cas, l'accroissement du coefficient de frottement visqueux ALPHA 2 conduit à une augmentation des valeurs

de  $\sigma_{\ddot{z}}$ ,  $\sigma_{\ddot{\varphi}}$  et  $\sigma_{z_1-\gamma_1}$ ; Alors que  $\sigma_{z_2-\gamma_2}$  reste constant.

### 3. Influence de ALPHA 3:

Dans ce cas, L'augmentation de ALPHA 3 entraîne une diminution de  $\sigma_{\ddot{\varphi}}$  et  $\sigma_{\ddot{z}}$  en premier lieu, cette dernière augmente à partir d'une certaine valeur critique  $\sigma_{\ddot{z}} = 0,02175 [M/s^2]$ .

Les dispersions du déplacement relatif  $\sigma_{z_2-\gamma_2}$  augmente, par contre  $\sigma_{z_1-\gamma_1}$  reste légèrement constant.

### 4. Influence de ALPHA 4:

L'augmentation de ALPHA 4 entraîne une diminution de  $\sigma_{\ddot{\varphi}}$  en revanche elle entraîne un accroissement de  $\sigma_{z_2-\gamma_2} \cdot \sigma_{\ddot{z}}$  diminue en premier lieu pour  $ALPHA 4 < 11000$

### - Comparaison des résultats:

La diminution des dispersions d'accélération ( $\sigma_{\ddot{z}}$ ,  $\sigma_{\ddot{\varphi}}$ ) et des dispersions des déplacements relatifs conduit à une diminution des surcharges dynamiques et l'accroissement des dispersions des déplacements relatifs entraîne un

claquement du système d'amortissement.

De ceux-ci, on compare les différentes influences des paramètres d'amortissement.

On remarque que pour les variations de ALPHA1 et ALPHA2, on a une augmentation des surcharges dynamiques pour un claquement du système d'amortissement.

Alors que des variations de ALPHA3 et ALPHA4, on a une diminution des surcharges dynamiques et un claquement;

Pour cela, on a recours à une optimisation minimisant ces phénomènes nuisibles.

#### 4-5- Forme des critères :

##### 1.1. Critère de déplacement relative :

Pour un système donné ayant pour entrée  $x_0(t)$  et sortie  $x(t)$  on désire que l'écart  $\varepsilon(t) = x_0(t) - x(t)$  soit minimum, qu'on caractérise par sa valeur quadratique moyenne.

$$\bar{\varepsilon}^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \varepsilon^2(t) dt$$

On utilise généralement ce critère pour limiter les déplacements relatifs.

### 1.2. Critère de vitesse :

Ce critère est caractérisé par une vitesse qui représente une valeur quadratique moyenne :

$$\langle \dot{x}^2(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \dot{x}^2(t) dt \quad (1)$$

### 1.3. Critère d'accélération minimale :

Ce critère a pour but de minimiser l'accélération d'un système. Cette accélération est caractérisée par sa valeur quadratique moyenne.

$$\langle \ddot{x}^2(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \ddot{x}^2(t) dt$$

### 1.4. Critère de Jerk :

Vue les grandes variations d'accélération, dans ce cas-ci on utilise le critère de Jerk qui minimise ces grandes

$\frac{d}{dt}(\ddot{x}(t)) = \ddot{\ddot{x}}(t)$  en utilisant la valeur moyenne quadratique

moyenne :

$$\langle \ddot{\ddot{x}}^2(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \ddot{\ddot{x}}^2(t) dt$$



Le critère est utilisé en général dans (Les vols spatiaux, spécialement pendant le décollage) car il présente une grande influence sur l'accélération.

## 2. Définition de la fonctionnelle :

Elle se rapporte, ou s'adapte aux fonctions mathématiques bien déterminées.

## 3. Énoncé des critères considérés :

a) Critère de déplacement relatif, d'accélération et de Jerk :

Pour qu'un système soit rigide, on doit limiter les déplacements relatifs, souple pour obtenir une accélération moyenne et enfin on doit limiter les grandes variations d'accélération minimale, tout revient donc à avoir un compromis entre ces trois conditions

On note par :

$$E(t) = x(t) - x_0(t)$$

$\ddot{x}_i(t)$  = accélération de la masse  $i$

$\ddot{x}_j(t)$  = accélération de la masse  $j$

Avec les hypothèses :

$$\dot{\varepsilon}(t) = 0 \text{ pour } t < 0$$

$$\ddot{x}_i(t) = 0 \text{ pour } t < 0$$

$$\ddot{\ddot{x}}(t) = 0 \text{ pour } t < 0$$

Mathématiquement, le problème se traduit par la minimisation de la fonctionnelle  $C$  :

$$C = \int_0^{\infty} [\dot{\varepsilon}(t)]^2 dt + \sum_{i=1}^n \lambda_i \int_0^{\infty} [\ddot{x}_i(t)]^2 dt + \sum_{j=1}^m \chi_j \int_0^{\infty} [\ddot{\ddot{x}}_j(t)]^2 dt$$

où  $\lambda_i$  et  $\chi_j$  sont les multiplicateurs de Lagrange.

b) Critère de déplacement relatif et de Jerk :

On a, d'une part, la condition de rigidité de notre système pour limiter les déplacements relatifs ; et d'autre part on doit limiter les grandes variations d'accélération. Le compromis entre ces deux exigences se traduit par la minimisation de la fonctionnelle ainsi définie :

$$C = \langle \varepsilon^2(t) \rangle + \sum_{i=1}^n \lambda_i \langle \ddot{x}_i^2(t) \rangle$$

c) Critère de déplacement relatif et d'accélération :

D'un côté, un système doit être souple pour avoir une accélération minimale, et d'un autre côté, il doit être rigide pour limiter les déplacements relatifs.

Le cas optimum de ces deux conditions se traduit par minimisation de la fonctionnelle de ce critère qui est :

$$C = \langle \varepsilon^2(t) \rangle + \sum_{\lambda=1}^n \delta_{\lambda} \langle \ddot{x}^2(t) \rangle$$

d) Critère de déplacement relatif et de vitesse :

Pour qu'un système soit rigide on doit limiter les déplacements relatifs, dans ce cas la fonctionnelle de critère ainsi définie est :

$$C = \langle \varepsilon^2(t) \rangle + \sum_{\lambda=1}^n \lambda_{\lambda} \langle \dot{x}^2(t) \rangle$$

#### 4-6-CHOIX DU CRITERE DE QUALITE DU VEHICULE:

Vu les grandes variations de  $\sigma_{\ddot{z}}$ ,  $\sigma_{z_1-\gamma_1}$ ,  $\sigma_{z_2-\gamma_2}$ , Le critere ainsi choisi est de la forme suivante :

$$C = \sigma_{\ddot{z}}^2 + \beta \sigma_{\ddot{\varphi}}^2 + \lambda_1 \sigma_{z_1-\gamma_1} + \lambda_2 \sigma_{z_2-\gamma_2}^2 \quad (1)$$

où  $\beta, \lambda_1, \lambda_2$  étant des multiplicateurs de Lagrange, dont l'unité diffère selon le type du critère considéré; dans notre cas l'unité de  $C$  est  $[M^2/s^4]$  d'où

$$\beta = [M^2]$$

$$\lambda_1 = [1/s^4]$$

$$\lambda_2 = [1/s^4]$$

En substituant les valeurs des différentes densités spectrales dans

L'équation (1), on aura :

$$C = \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} \omega^2 S_3(\omega) d\omega + \beta \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} \omega^4 S_4(\omega) d\omega + \lambda_1 \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} S_5(\omega) d\omega + \lambda_2 \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} S_6(\omega) d\omega$$

Les expressions de  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  sont :

$$\lambda_1 = \lambda_{01} \frac{\rho_{01}}{1 - \rho_{01}} \quad \text{avec } \rho_{01} = [0, 1]$$

$$\lambda_2 = \lambda_{02} \frac{\rho_{02}}{1 - \rho_{02}} \quad \text{avec } \rho_{02} = [0, 1]$$

Généralement  $\lambda_{01} = \lambda_{02} = 1$  d'où

$$\lambda_1 = [0, \infty] \quad , \quad \lambda_2 = [0, \infty]$$

Les valeurs de  $\beta$ ,  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  sont choisies de telle sorte que  $C$  soit de même ordre que  $\sigma_z^2$ .

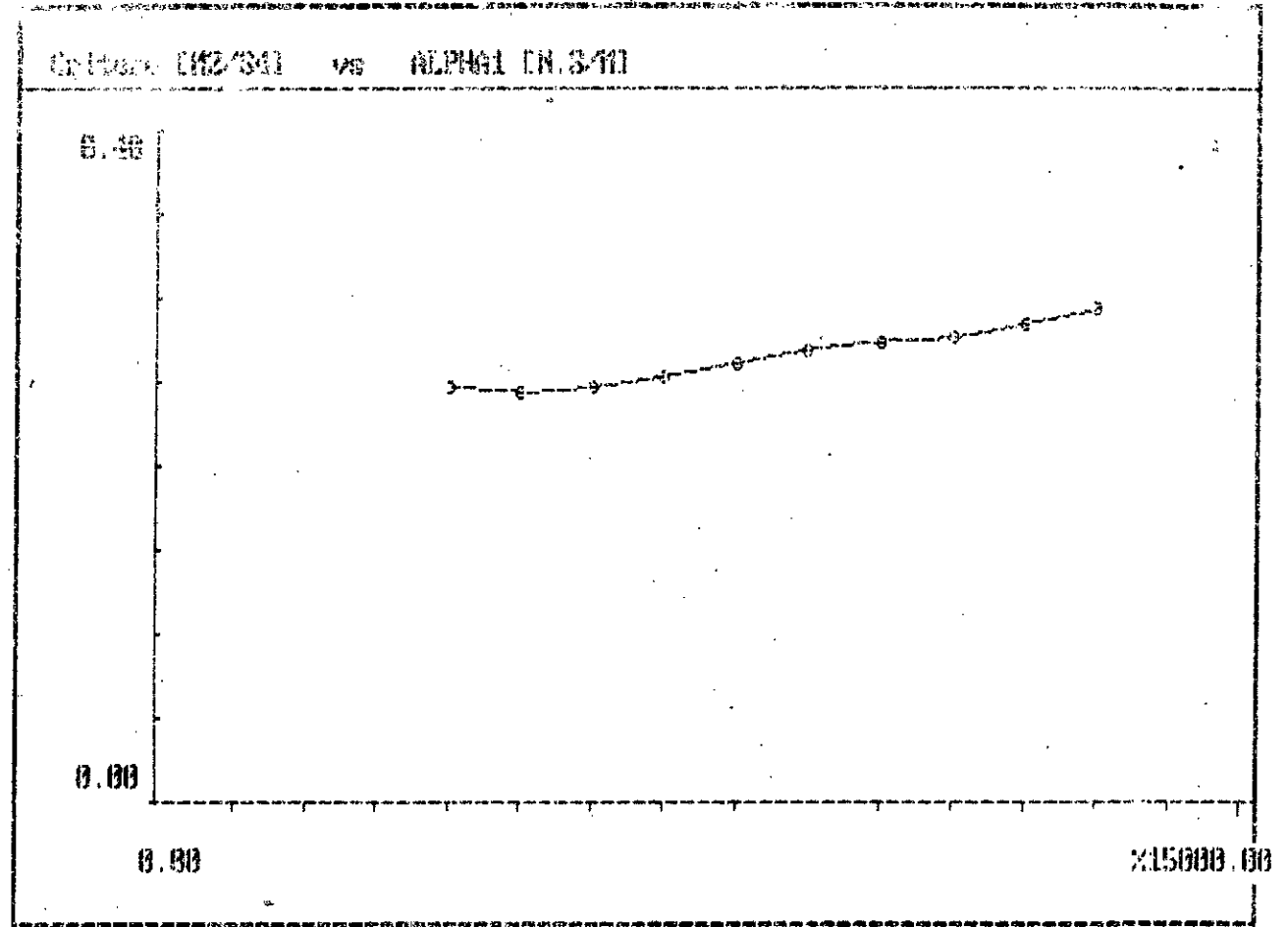
Pour étudier l'influence des paramètres d'amortissement de suspension sur le critère, on a choisi les valeurs suivantes pour  $\beta, \lambda_1, \lambda_2$

$$\beta = 1,1$$

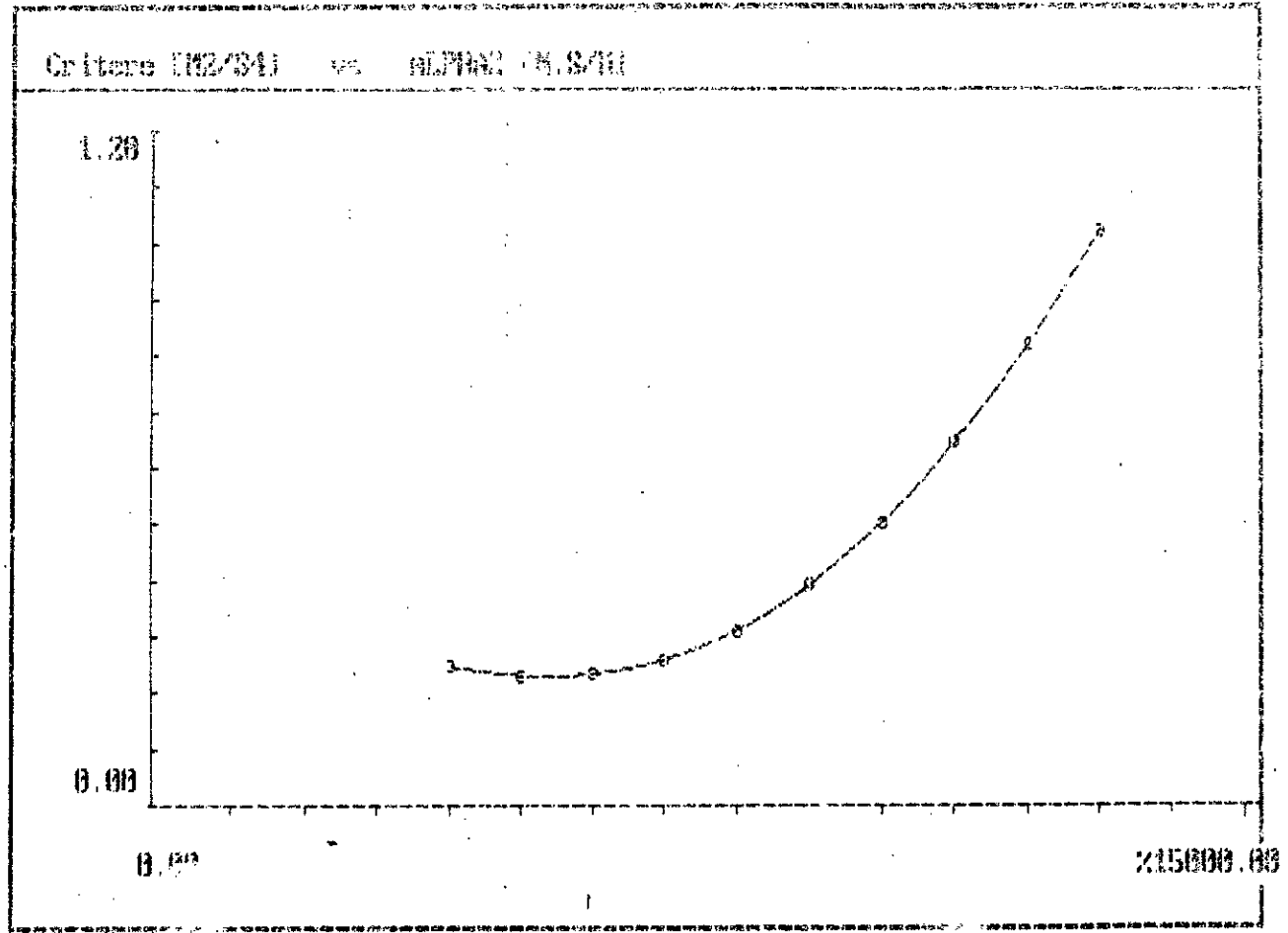
$$\lambda_1 = 51 \rightarrow \rho_1 = 0,98$$

$$\lambda_2 = 34 \rightarrow \rho_2 = 0,97$$

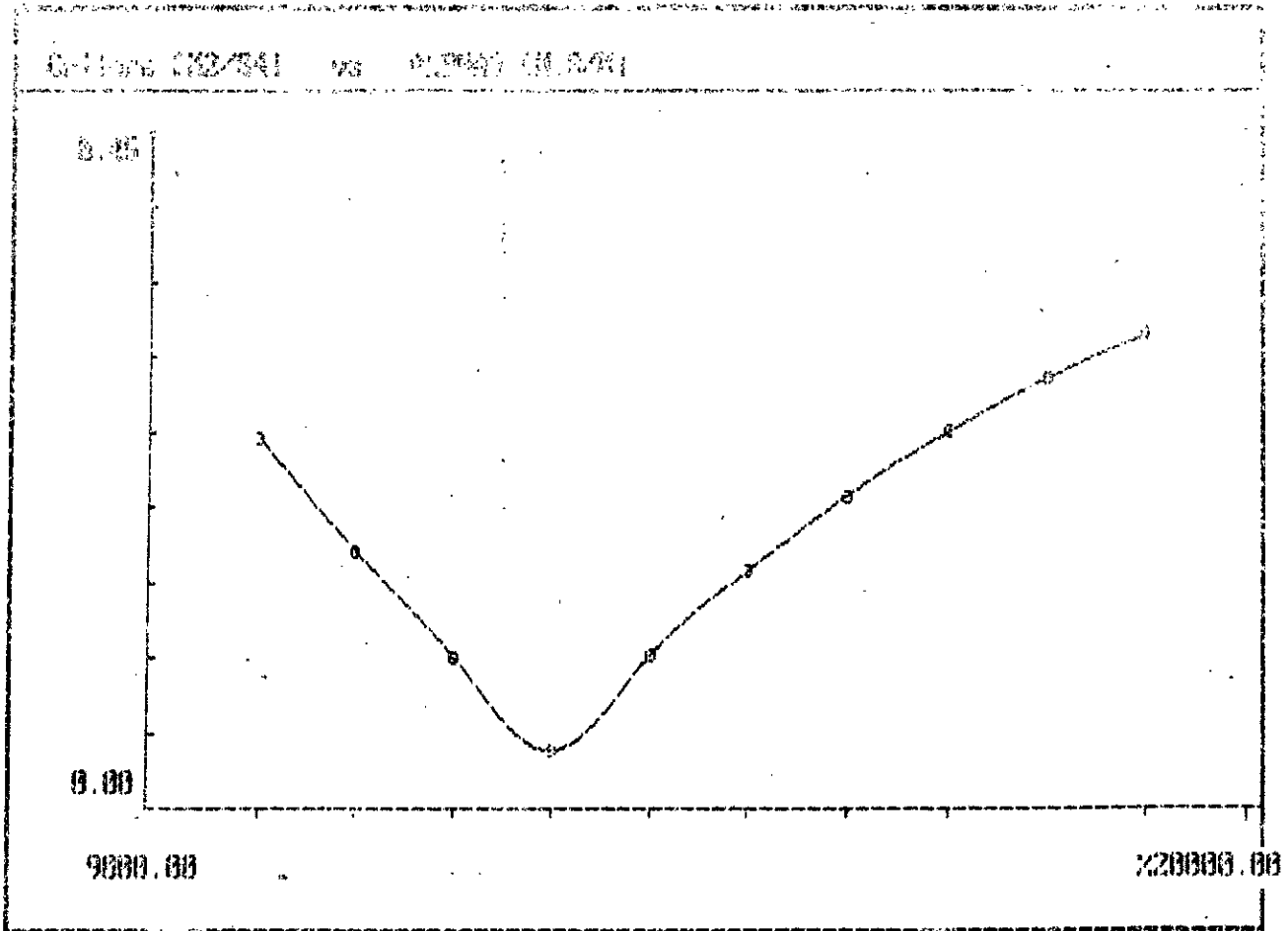
Les résultats obtenus avec ces valeurs sont résumés sur le tableau pour différents amortissements.



Influence de ALPHA sur le Critère



2.15000.00



Influence de ALPHA3 sur le critere



-72-

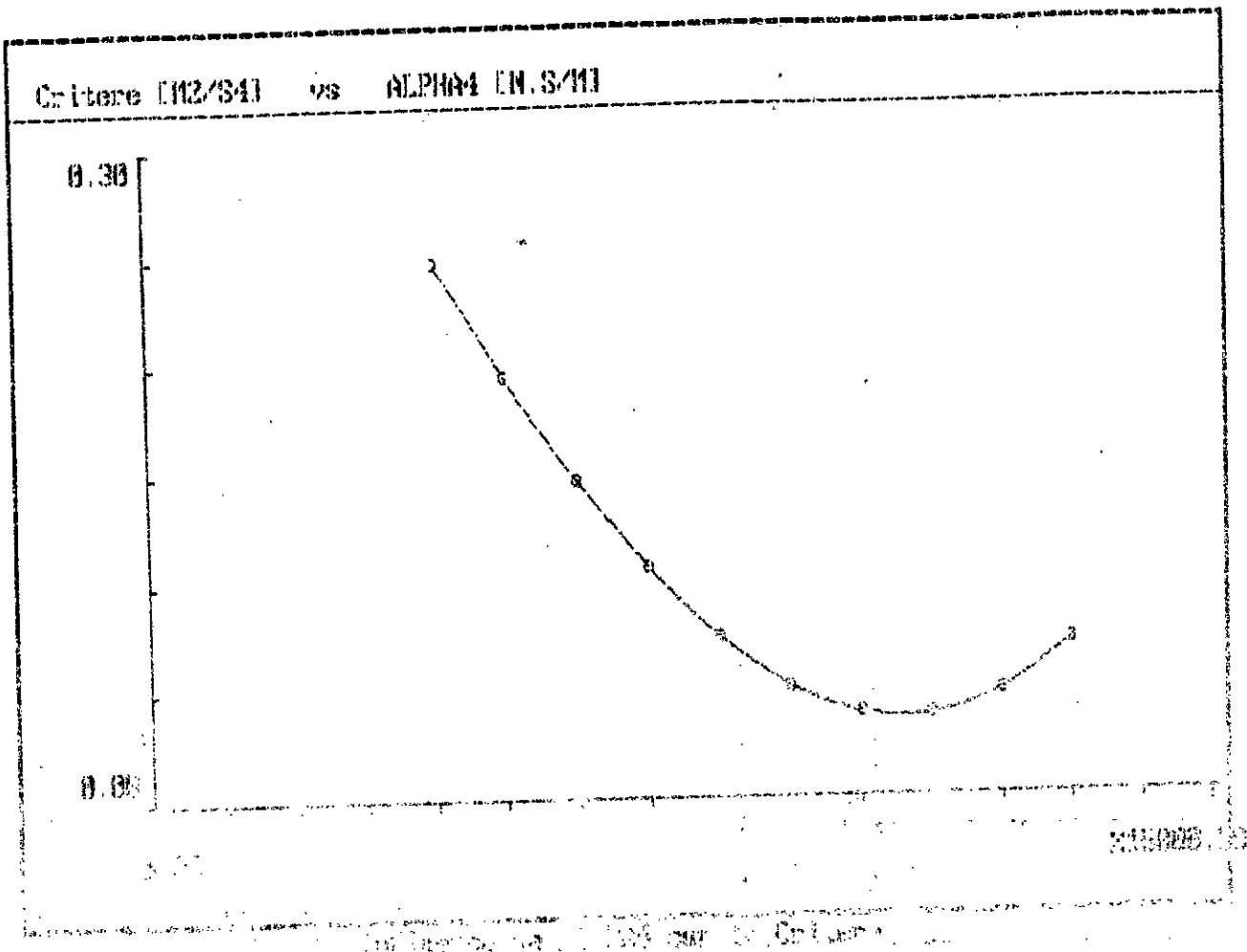


FIGURE 10

-----  
 ROUTE HERBEUSE avec V=50 [km/h]  
 -----

!LAMBDA1=51.0 [1/s4]!LAMBDA2=34.0 [1/s4]!BETA=1.1 [m2]!

| ALPHA1 [N.S/M] | Critere [M2/S4] |
|----------------|-----------------|
| 4000.00000     | 0.24690         |
| 5000.00000     | 0.24446         |
| 6000.00000     | 0.24720         |
| 7000.00000     | 0.25355         |
| 8000.00000     | 0.26158         |
| 9000.00000     | 0.26912         |
| 10000.00000    | 0.27400         |
| 11000.00000    | 0.27564         |
| 12000.00000    | 0.28454         |
| 13000.00000    | 0.29308         |

CMIN = 0.24446 [m2/s4]

ALPHA1=5000.00000 [N.S/M]  
 ALPHA2=4000.00000 [N.S/M]  
 ALPHA3=10000.00000 [N.S/M]  
 ALPHA4=4000.00000 [N.S/M]

!LAMBDA1=51.0 [1/s4]!LAMBDA2=34.0 [1/s4]!BETA=1.1 [m2]!

| ALPHA2 [N.S/M] | Critere [M2/S4] |
|----------------|-----------------|
| 4000.00000     | 0.24690         |
| 5000.00000     | 0.23150         |
| 6000.00000     | 0.23428         |
| 7000.00000     | 0.25974         |
| 8000.00000     | 0.31150         |
| 9000.00000     | 0.39219         |
| 10000.00000    | 0.50346         |
| 11000.00000    | 0.64604         |
| 12000.00000    | 0.81982         |
| 13000.00000    | 1.02397         |

CMIN = 0.23150 [m2/s4]

ALPHA1=4000.00000 [N.S/M]  
ALPHA2=5000.00000 [N.S/M]  
ALPHA3=10000.00000 [N.S/M]  
ALPHA4=4000.00000 [N.S/M]

-----  
|LAMBDA1=51.0 [1/s4]|LAMBDA2=34.0 [1/s4]|BETA=1.1 [m2]|

-----  
| ALPHA3 [N.S/M] | Critere [M2/S4] |  
-----  
| 10000.00000 | 0.24690 |  
| 11000.00000 | 0.17096 |  
| 12000.00000 | 0.10092 |  
| 13000.00000 | 0.03842 |  
| 14000.00000 | 0.10188 |  
| 15000.00000 | 0.15840 |  
| 16000.00000 | 0.20794 |  
| 17000.00000 | 0.25056 |  
| 18000.00000 | 0.28640 |  
| 19000.00000 | 0.31573 |  
-----

CMIN = 0.03842 [m2/s4]

ALPHA1=4000.00000 [N.S/M]  
ALPHA2=4000.00000 [N.S/M]  
ALPHA3=13000.00000 [N.S/M]  
ALPHA4=4000.00000 [N.S/M]

-----  
|LAMBDA1=51.0 [1/s4]|LAMBDA2=34.0 [1/s4]|BETA=1.1 [m2]|

-----  
| ALPHA4 [N.S/M] | Critere [M2/S4] |  
-----  
| 4000.00000 | 0.24690 |  
| 5000.00000 | 0.19432 |  
| 6000.00000 | 0.14695 |  
| 7000.00000 | 0.10634 |  
| 8000.00000 | 0.07392 |  
| 9000.00000 | 0.05091 |  
| 10000.00000 | 0.03834 |  
| 11000.00000 | 0.03705 |  
| 12000.00000 | 0.04770 |  
| 13000.00000 | 0.07074 |  
-----

CMIN = 0.03705 [m2/s4]

ALPHA1=4000.00000 [N.S/M]  
ALPHA2=4000.00000 [N.S/M]  
ALPHA3=10000.00000 [N.S/M]  
ALPHA4=11000.00000 [N.S/M]

- L'influence d'amortissement avant sur le critère :

- Influence de ALPHA 1 :

L'accroissement de ALPHA 1 entraîne une augmentation de la valeur de  $C$ , dans ce cas-ci d'après les résultats obtenus pour les dispersions, c'est que  $C$  subit une même variation que  $\sigma_{z_1}^2 - \gamma_1$

- Influence de ALPHA 2 :

Dans ce cas-ci, l'augmentation de ALPHA 2 entraîne une augmentation de  $C$ , vu que  $C$  augmente subitement, ceci est dû à l'augmentation des différentes dispersions pour ce cas-ci.

- Influence de ALPHA 3 :

L'augmentation de ALPHA 3 conduit à une diminution de la valeur de  $C$  en premier lieu, puis une augmentation, dans ce cas-ci c'est la dispersion d'accélération  $\sigma_z^2$  qui l'emporte.

- Influence de ALPHA 4 :

L'accroissement de ALPHA 4 entraîne une augmentation de  $C$  en premier lieu pour des valeurs de ALPHA  $< 11000$  Ns/m

puis une augmentation, ceci est dû à la grande variation de

$\sigma_z^2$  qui l'emporte sur les restes des dispersions.

#### 4.7. OPTIMISATION SELON LE CRITERE CHOISI DE SUSPENSION DANS L'ENSEMBLE DES PARAMETRES D'AMORTISSEMENT :

Le critere ainsi choisi exige que la valeur de  $c$  soit minimale ; Pour faire valoir, ces parametres d'amortissement et ces dispersions, tout en respectant le critere d'optimisation

$$(c = \sigma_{\ddot{z}}^2 + \beta \sigma_{\dot{\phi}}^2 + \lambda_1 \sigma_{z_1 - \gamma_1}^2 + \sigma_{z_2 - \gamma_2}^2 = \text{minimum}), \text{ nous considérons, dans ce cas les mêmes valeurs des multiplicateurs de}$$

Lagrange choisies. Auparavant on détermine le minimum pour chaque cas (Variation de chaque parametre de suspension).

Autrement dit  $c$  mathématiquement est définie par la fonction suivante:

$$c = f(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$$

Pour chaque minimum, on détermine les valeurs des parametres correspondants.

Les résultats obtenus sont résumés sur le tableau ②

Afin d'avoir une sécurité maximale, une bonne rigidité, et suspension de notre système, on détermine la valeur la plus faible des minimums obtenus. C'est à dire le  $\text{MIN}[C_{\text{min}}]$ .

La valeur ainsi optimisée est  $\text{MIN}[C_{\text{min}}] = 0,03705 [\text{M}^2/\text{s}^4]$

D'où les valeurs des paramètres d'amortissement optimisées seront les valeurs correspondantes à l'optimum:

$$\text{ALPHA1} = 4000, \text{ALPHA2} = 4000, \text{ALPHA3} = 10000,$$

$$\text{ALPHA4} = 11000 \dots [\text{N.s/M}]$$



-----  
: BETON -----  
-----

L OPTIMUM EST: 0.03705 [m2/s4]  
L OPTIMISATION DES PARAMETRES D AMORTISSEMENT SONT:  
4000.000 [N.S/M]  
4000.000 [N.S/M]  
10000.000 [N.S/M]  
11000.000 [N.S/M]

-----  
: ASPHALTE -----  
-----

L OPTIMUM EST: 0.00001 [m2/s4]  
L OPTIMISATION DES PARAMETRES D AMORTISSEMENT SONT:  
4000.000 [N.S/M]  
4000.000 [N.S/M]  
10000.000 [N.S/M]  
11000.000 [N.S/M]

-----  
: PAVEE ASSEZ-REGULIER -----  
-----

L OPTIMUM EST: 0.00003 [m2/s4]  
L OPTIMISATION DES PARAMETRES D AMORTISSEMENT SONT:  
4000.000 [N.S/M]  
4000.000 [N.S/M]  
10000.000 [N.S/M]  
11000.000 [N.S/M]

-----  
: PAVEE -----  
-----

L OPTIMUM EST: 0.00003 [m2/s4]  
L OPTIMISATION DES PARAMETRES D AMORTISSEMENT SONT:  
4000.000 [N.S/M]  
4000.000 [N.S/M]  
10000.000 [N.S/M]  
11000.000 [N.S/M]

-----  
: HERBEUX -----  
-----

L OPTIMUM EST: 0.03705 [m2/s4]  
L OPTIMISATION DES PARAMETRES D AMORTISSEMENT SONT:  
4000.000 [N.S/M]  
4000.000 [N.S/M]  
10000.000 [N.S/M]  
11000.000 [N.S/M]

-----  
: BRUIT BLANC -----  
-----

L OPTIMUM EST: 35.41836 [m2/s4]  
L OPTIMISATION DES PARAMETRES D AMORTISSEMENT SONT:  
4000.000 [N.S/M]  
4000.000 [N.S/M]  
10000.000 [N.S/M]  
11000.000 [N.S/M]

- CONCLUSION :

La méthode qui a été développée et le programme ainsi réalisé sont d'une grande importance pour l'étude de la suspension d'un véhicule. Ceci nous permet de déterminer les dispersions d'accélération, des déplacements et du système d'amortissement optimal pour n'importe quel type de véhicule, pour cela il suffit d'exprimer les caractéristiques physiques de celui-ci, sa vitesse de déplacement, ainsi que le type du microprofil de la route choisi.

A partir des résultats obtenus, on peut choisir les caractéristiques élastiques de la suspension convenables pour chaque type de route.

En conséquence, ce travail est très utile pour l'étude du confort et le transport de marchandises sous l'effet des excitations extérieures.

Ceci doit être complété pour l'étude du châssis sous l'effet des excitations intérieures provenant du moteur.

Pour conclure, je souhaite que cette étude sera d'un apport appréciable.

auetediants travaillant sur ce domaine (suspension).

## BIBLIOGRAPHIE

- P. B. РОМЕНОВЕРЪ : " ПОЯВЕСКА АВТОПОБИЛЯ "  
ПОСКВА, МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1972
- V. A. SVETLICKIJ : " VIBRATION ALEATOIRES DES  
SYSTEMES MECANIQUES "  
(EDITION FRANÇAISE, PARIS 1980)
- GOURI DHATT, GILBERT TOUZOT : " UNE PRESENTATION  
DE LA METHODE DES ELEMENTS  
FINIS "  
(COLLECTION DE L'UNIVERSITE DE  
COMPIENNE)
- MAREK RZIAZEK ET REZOUQ TAHAR : " CERTAINES  
FORMES DES CRITERES ET LEURS  
INFLUENCES SUR LA VIBROISO-  
LATION OPTIMUM DES SYSTEMES  
MECANIQUES "  
PROJET DE FIN D'ETUDES JANVIER 85
- MAREK RZIAZEK ET TAHI : " DISPERSION DE DEPLA-  
CEMENT ET D'ACCELERATION DES  
POINTS DE FIXATION DU MOTEUR "  
(PROJET DE FIN D'ETUDES JUIN 87)
- DEMIDOVITCH : " ANALYSE NUMERIQUE "  
(TRADUIT DU RUSSE)

