

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

19/80

Alex

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

المدرسة الوطنية للدراسات  
BIBLIOTHEQUE - المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat)

### SUJET

**Etude des vibrations  
longitudinales d'un vehicule  
produit par S. N. V. I.  
de ROUIBA**

Proposé par :

M. KSIAZEK

Etudié par :

Y. AMIROUCHE

Dirigé par :

M. KSIAZEK

PROMOTION : JUIN 1986

Faint blue markings or text, possibly a stamp or header, located in the upper left quadrant of the page.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

«\*»

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

«\*»

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

«\*»

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

## PROJET DE FIN D'ETUDES

(En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat)

### SUJET

**Etude des vibrations  
longitudinales d'un vehicule  
produit par S. N. V. I.  
de ROUIBA**

Proposé par :

M. KSIAZEK

Etudié par :

Y. AMIROUCHE

Dirigé par :

M. KSIAZEK

PROMOTION : JUIN 1986

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier chaleureusement  
M<sup>r</sup> M. KSIĄZEK notre promoteur pour l'aide  
qu'il nous a apporté et pour les précieux  
Conseils qui m'ont largement aidé à l'élabo-  
-ration de ce modeste travail.

Je remercie également tous les enseignants  
qui ont contribué à notre formation.



## DEDICACES

C'est :

- A mes chers parents
- A mes frères et sœurs
- A toute la famille
- Et à tous les amis et  
notamment B. Abdelhafid  
que je dédie ce travail

YASSINE

.....

الموضوع: دراسة الاهتزازات الطولية لعربة من انتاج: ش، (و، ع ص برويبة  
الملخص: ان مشروعنا هذا يمثل فى دراسة الاهتزازات الطولية لعربة من انتاج: ش،  
ع، ص برويبة، ولقد اقترحنا فى هذا الموضوع طريقة تقديرية لحساب توزع  
التسارعات والانتعالات النسبية للكتل المعتمدة بدلالة السرعة ومعامل الاحتكاك  
بالاضافة الى عرض الكيفيات والبرامج المتعلقة بالحساب،

!Sujet:Etude des vibrations longitudinales d'un vehicule produit par  
! S.N.V.I de Rouiba

! Resume:Notre projet consiste a etudier les vibrations longitudinales  
! d'un vehicule produit par S.N.V.I de Ruiba.Dans ce sujet on a propo-  
! se une methode de calcul estimatif des dispersions des accelerations  
! et des déplacements relatifs des masses prises en consideration en  
! fonction de la vitesse et du coefficient de frottement.la procedure  
! de calcul et les programmes ont etes presentes .

!Subject:Astudy of longitudinal vibrations of a truch made by S.N.V.I  
! Rouiba .

! Abstract:This study consists in analisis of longitudinal vibrations  
! of a truch made by S.N.V.I Rouiba .The dispersions of accelerations  
! and displacements relative to the masses tacken under consideration  
! have been calculated as fonctions of velocity and coefficient of  
! damping .The procedure of calculation and the programmes have been  
! presented.

# SOMMAIRE

CH 1	<b>Mise en thème</b>	
1.1	Introduction	1
1.2	Objet de l'étude	2
CH.2	<b>Description microprofil de la route par une densité spectrale <math>S(w)</math> :</b>	
2.1	Représentation des enregistrements du microprofil de la route.	3
2.2	Types des densités spectrales choisies	4
CH 3	<b>Choix du véhicule à étudier</b>	
3.1	Présentation de la gamme SONACOME	6
3.2	Shéma du modèle physique	7
3.3	Choix des degrés de libertés	8
3.4	Choix et représentation du véhicule	8
3.5	Types des paramètres de suspension	8
3.6	Données de base.	8
3.7	Détermination des masses et des moments d'inerties utilisés dans le calcul	10
CH.4	<b>Calcul des fréquences propres pour les vibrations libres non amorties.</b>	
4.1	Détermination de l'équation donnant les fréquences propres des vibrations	13
4.2	Calcul numérique exact ; et approximatif.	16
CH 5	<b>Calcul numérique des dispersions des accélérations et des déplacements relatifs.</b>	

51 équations de Langrange ————— 19

52 équations différentielles des mouvements — 19

53 solution du système d'équations différentielles  
 en fonction des excitations  $\bar{x}_1(s)$  et  $\bar{x}_2(s)$  ——— 21

54 Détermination des différentes fonctions de  
 transfert en fonction de l'excitation  $\bar{x}_1(s)$  ——— 25

55 Formules donnant les différentes dispersions 26

56 Application de la formule des trapèzes pour  
 le calcul des intégrales donnant les différentes  
 dispersions ————— 27

**C.H6 Présentation des programmes et résultats**

61 L'organigramme du programme des dispersions — 283

62 Les programmes et les résultats ————— 30

**C.H7 Conclusion ————— 69**

**Bibliographie**

# LEGENDE DES SYMBOLES



- $M_1$  = masse combinée de l'essieu et les deux roues avant
- $M_2$  = masse combinée du pont et les quatre roues arrière.
- $M_3$  = masse de la Carrosserie
- $I$  = moment d'inertie
- $T$  = Energie Cinétique
- $U$  = Energie potentielle
- $L$  = Lagrangien
- $D$  = Fonction de dissipation
- $L_1, L_2$  = Sont respectivement les distances entre l'essieu avant et arrière et le Centre de gravité du Véhicule.
- $X_1, X_2$  = Sont respectivement les excitations des roues avant et arrière.
- $C_1, C_3$  = Sont respectivement les constantes de plasticité des roues avant et arrière.
- $C_2, C_4$  = Sont respectivement les constantes de raideur des roues avant et arrière.
- $\alpha_1, \alpha_3$  = Sont respectivement les coefficients d'amortissement des roues avant et arrière.
- $\alpha_2, \alpha_4$  = respectivement les coefficients d'amortissement des amortisseurs avant et arrière.
- $V$  = Vitesse du déplacement du Véhicule.
- $M_p$  = masse de pont arrière.
- $M_R$  = masse d'une roue
- $M_B$  = Masse de la benne.
- $M_E$  = masse de l'essieu.



$M_{CC}$  = masse du chassis cabine

$M_{SAV}$  = masse suspendue avant

$M_{SAR}$  = masse suspendue arriere

$M_{EAD}$  = masses des éléments additionnés pour le montage de la benne

$C_{SEAV}$  = charge a sous essieu avant

$C_{SEAR}$  = charge a sous essieu arriere

$C_u$  = charge utile.

$Z$  = Le déplacement vertical du centre de gravité de la caisse

$Z_1; Z_2$  = sont respectivement les déplacements verticaux de l'avant et de l'arriere de la caisse.

# CH1 MISE EN THEME

## 11 INTRODUCTION

On sait qu'un véhicule routier est caractérisé par une grande variété de mouvement, Un véhicule sur ses ressorts et ses pneus est un ensemble vibrant très compliqué qui comprend trois masses distinctes ; à savoir celle du châssis et de la carrosserie combinés, Celle de l'essieu avant ; et Celle de l'essieu arrière. Puisque le véhicule est composé de trois "Corps" donc en réalité il y'a plusieurs degrés de libertés ; mais la plus part des mouvements naturels sont négligeables. Les plus intéressants sont :

- 1° - Mouvement vertical alternatif de toute la carrosserie (mouvement de pompage) les essieux sont presque immobiles.
- 2° - Un balancement de tangage de toute la carrosserie (Autour de l'axe transversal) les essieux sont presque immobiles.
- 3° - Un mouvement vertical alternatif de chaque essieu, sur les pneus, carrosserie presque immobile.

Dans l'ensemble on a considéré que quatre degrés de libertés trois translations et une rotation. Les deux premiers mouvements ont des fréquences très près, les deux derniers ont encore des fréquences très voisines ; mais beaucoup plus élevées que les précédentes.

Les vibrations du véhicule sont dues aux excitations qui sont de différentes natures. Les sources principales des vibrations sont :

- a - Les irrégularités de la surface de la route

b. Excentricité et déséquilibre des roues.

c. Des excitations par les mécanismes fonctionnants (moteurs, boîte de vitesse, etc...)

- La chaussée prend parfois à cause de l'usure, la forme d'une succession de vagues, les véhicules qui y circulent à une certaine vitesse peuvent entrer en résonance, ce qui provoque des vibrations puissantes et dangereuses. Les vibrations de l'ensemble du véhicule sont fâcheuses pour les voyageurs et les marchandises y compris le véhicule lui-même, elles peuvent provoquer des sollicitations puissantes dans <sup>les</sup> éléments de suspension et présente un danger pour la stabilité du véhicule aux vitesses élevées.

## 1.2 Objet de l'étude:

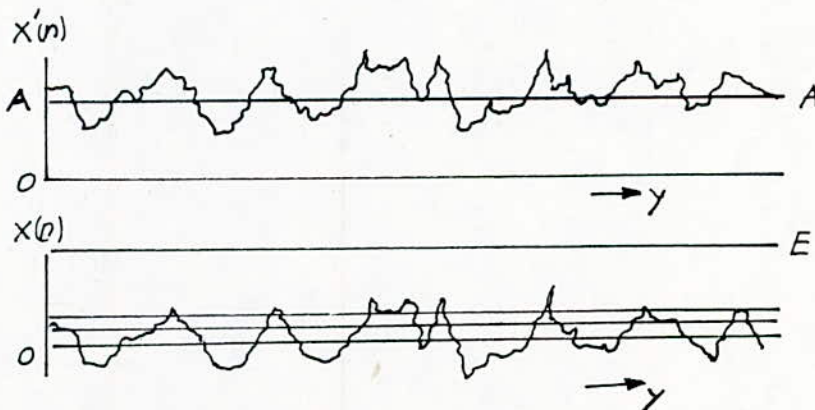
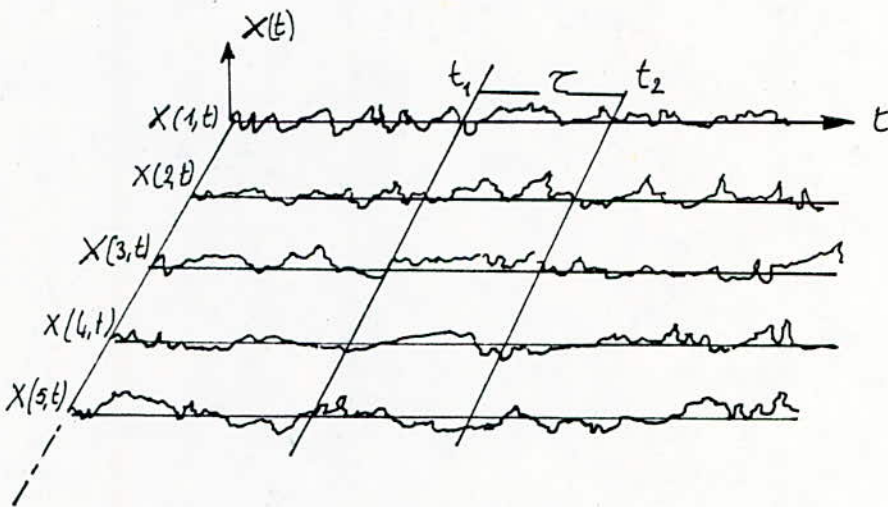
Considérons un véhicule qui se déplace sur une route dont le profil présente des irrégularités. A cause de ce profil les roues avant et arrière sont soumises à des vibrations de nature aléatoire qui se transmettent aux essieux et au châssis du véhicule.

On suppose que les vibrations sont verticales, puisque ces dernières sont fâcheuses pour les voyageurs et les marchandises y compris le véhicule lui-même. Pour des types des densités spectrales et des coefficients d'amortissement choisis on procède à un calcul des différentes dispersions d'accélération et des déplacements relatifs en fonction de la vitesse du déplacement du véhicule.

## CH2 DESCRIPTION <sup>du</sup> MICROPROFIL DE LA ROUTE PAR UNE DENSITE SPECTRALE $S(W)$

### 21 Représentation des enregistrements du microprofil de la route.

- Le microprofil de la route est une fonction aléatoire du chemin parcouru  $x(t)$ ; c'est à dire les ordonnées pour  $x(t)$  quelconque sont des valeurs aléatoires. Un enregistrement d'une fonction aléatoire décrivant le microprofil de la route est représenté sur la figure ci dessous.



Les conditions remplies par la fonction aleatoire dont on a parlé sont:

- 1°. La fonction aleatoire est stationnaire et érgodique
- 2°. Les longueurs des irrégularités sont limitées de haut et de bas.
- 3°. Les ordonnées du microprofil sont distribuées suivant la loi normale.
- 4°. Le microprofil varie aleatoirement seulement dans le plan vertical et longitudinal de la route

## 2.2 Les types des densités spectrales choisies:

Dans notre calcul on a utilisé deux formes de densités spectrales:

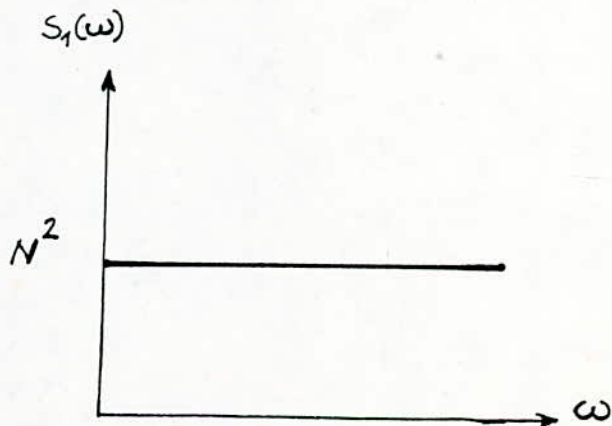
a- Une densité spectrale bruit blanc; c'est à dire une excitation constante, a pour expression  $S_1(\omega) = N^2$

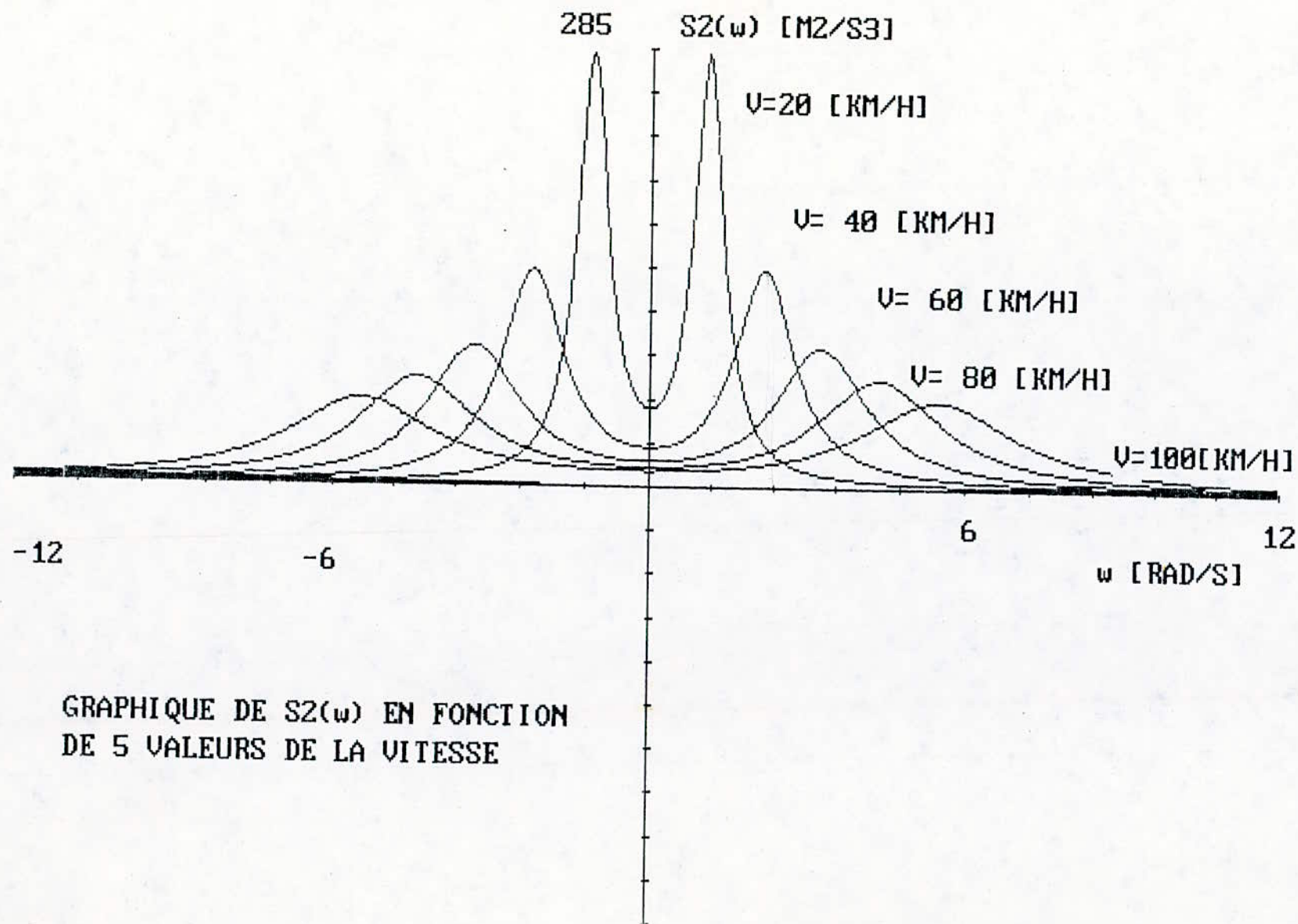
b- Une densité spectrale variable et dependant de la vitesse du déplacement du vehicule et des fréquences des vibrations des masses considérées, l'expression de cette densité est donnée par la forme:

$$S_2(\omega) = \frac{12,088 V (\omega^2 + 4,3 \cdot 10^{-2} V^2)}{\omega^4 - 7 \cdot 10^{-2} V^2 \omega^2 + 18,4 \cdot 10^{-4} V^4}$$

et les graphes des fonctions  $S_1(\omega)$ ;  $S_2(\omega)$  sont:

graphique de  
 $S_1(\omega) = N^2$





GRAPHIQUE DE  $S_2(\omega)$  EN FONCTION  
DE 5 VALEURS DE LA VITESSE

### CH 3: CHOIX DU VEHICULE A ETUDIER

#### 3.1. Présentation de la gamme Sonacome

La SNVI Sonacome Produit dans son usine de Rouiba  
 Une gamme de Vehicules industriels très variées telque  
 des Camions tracteurs, et des Camions porteurs et des autobus.

Les principaux Vehicules sont :

Camions : K 66 ; K120 à cabine avancée

B170 ; B230 à cabine basculante.

C170 ; C230 (4x2) ; C230 (6x4) ; de chantier

M170 ; M210 militaire.

TB230 ; TC230 tout terrain

Autobus : 49 VC ; 49 VB

100 VB.

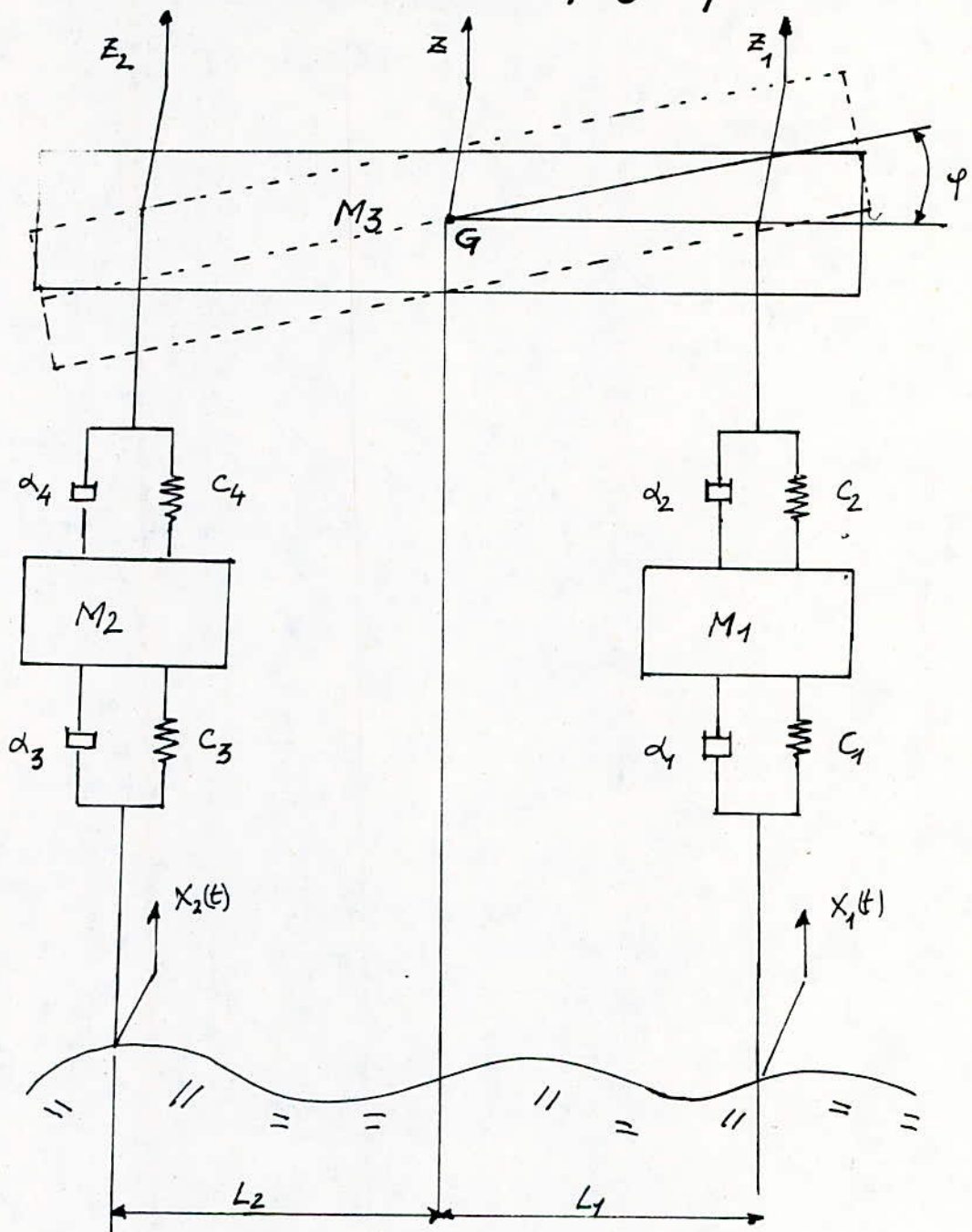
Symbolisation : 170 ; 230 ; 210 : puissances respectives  
 des moteurs en CV.

66 ; 120 : charge totale du Vehicule  
 (6,6 ou 12 tonnes).

49 ; 100 : nombre de places des différents bus.

V6 ; VB : moteur diesel avec 6 ou 8 cylindre  
 en V.

## 3.2 - Schéma du modèle physique





### 3.3 - Choix des degrés de liberté

On considère dans notre projet que 4 degrés de liberté  
3 translations  $y_1(t)$ ;  $y_2(t)$ ;  $Z(t)$  et une rotation  $\varphi(t)$ .

### 3.4 - Choix et représentation du véhicule

Le type du véhicule qu'on a choisi dans notre étude est un camion porteur K66 normal et à cabine avancée

Voir figure : page: 9

### 3.5 - Types des paramètres de suspension

Des ressorts à lames semi-elliptiques avec amortisseurs hydraulique à l'avant et à l'arrière

### 3.6 - Données de base.

La masse du châssis cabine  $M_{cc} = 2467 [kg]$

La masse de la benne  $M_B = 843 [kg]$

La masse de l'essieu  $M_E = 143 [kg]$

La masse d'une roue  $M_R = 45 [kg]$

La masse du pont arrière  $M_P = 230 [kg]$ .

La charge utile  $C_u = 3290 [kg]$

Dans le cas où le camion est nu on a:

La masse totale  $M_T = 2392 [kg]$

La charge à sous essieu avant  $C_{SEAV} = 1640 [kg]$

La charge à sous essieu arrière  $C_{SEAR} = 752 [kg]$

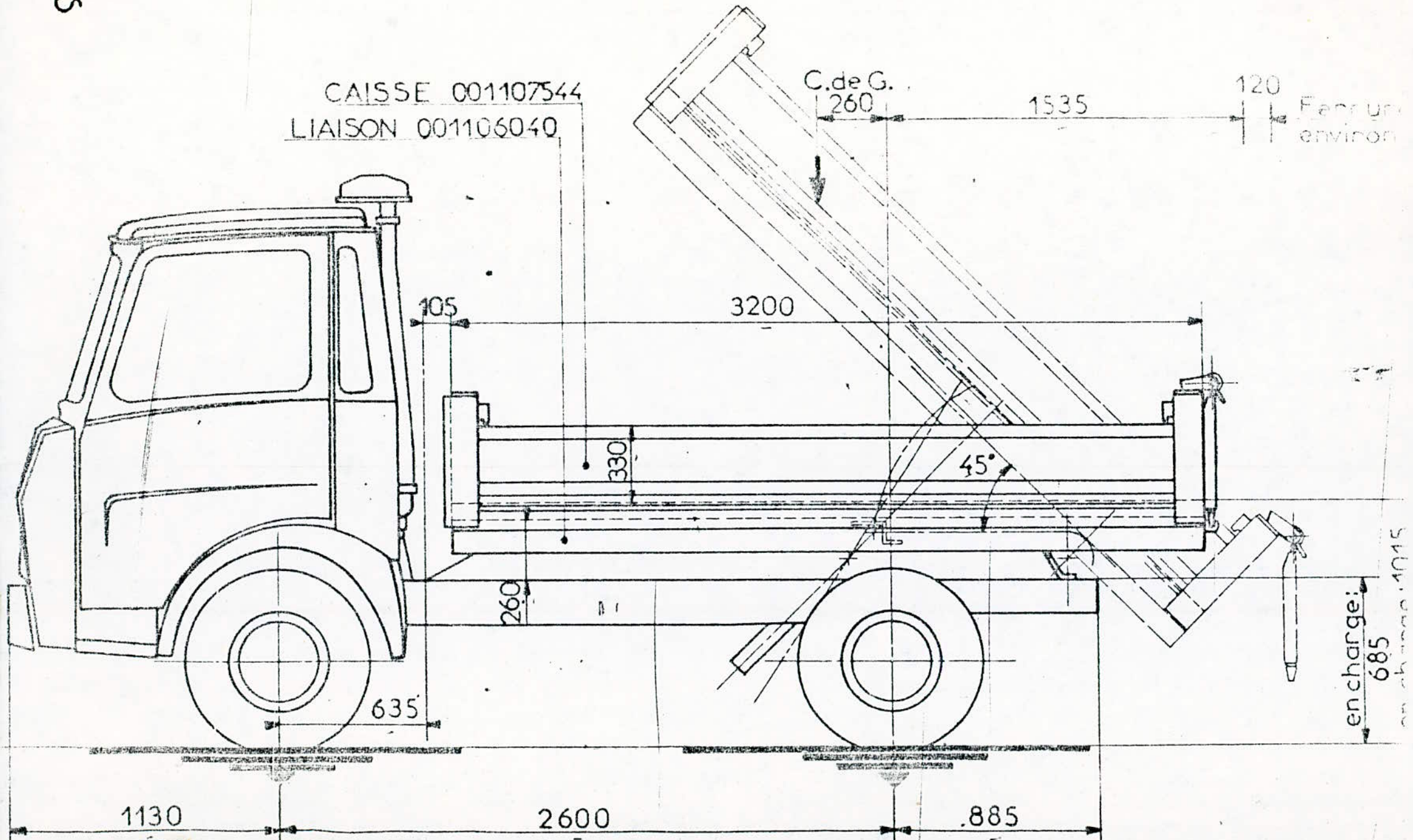
L'emboîtement  $L = 2,6 [m]$

La distance entre l'essieu avant et le centre de gravité du véhicule  $L_2 = 0,260 [m]$

Les constantes de raideur des ressorts:

9

CAISSE 001107544  
LIAISON 001106040



La charge due à la masse de la benne sous l'essieu arrière est:  $\frac{843 \times 2340}{2600} = 758,7 \text{ [kg]}$ .

Donc la charge à sous essieu arrière est:

$$CSEAR = 775,58 + 758,7 = 1534,28 \text{ [kg]}.$$

Considérons le Camion en charge:

La charge due à la charge utile sur l'essieu avant est:

$$\frac{3290 \times 260}{2600} = 329 \text{ [kg]}.$$

Donc la charge à sous essieu avant est:

$$CSEAV = 1775,72 + 329 = 2104,72 \text{ [kg]}.$$

La charge due à la charge utile sur l'essieu arrière est:

$$\frac{3290 \times 2340}{2600} = 2961 \text{ [kg]}.$$

Donc la charge à sous l'essieu arrière est:

$$CSEAR = 1534,28 + 2981 = 4495,28 \text{ [kg]}.$$

Calculons les masses suspendues

1°. A vide

La masse suspendue en avant:

$$\begin{aligned} MS_{AV} &= CSEAV - (M_E + 2M_R) \\ &= 1775,72 - (143 + 2 \cdot 45) = 1542,72 \text{ [kg]}. \end{aligned}$$

La masse suspendue en arrière:

$$\begin{aligned} MS_{AR} &= CSEAR - (M_P + 4M_R) \\ &= 1534,28 - (230 + 4 \cdot 45) = 1124,28 \text{ [kg]}. \end{aligned}$$

2°. En charge

La masse suspendue en avant:

$$MS_{AV} = 2104,72 - (143 + 2 \cdot 45) = 1871,72 \text{ [kg]}$$

La masse suspendue en arrière:

$$MS_{AR} = 4495,28 - (230 + 4 \cdot 45) = 4085,28 \text{ [kg]}$$

Calculons la masse  $M_3$ .

$$M_3 = M_{SAV} + M_{SAR}$$

1° A vide :  $M_3 = 1542,72 + 1124,28 = 2667 \text{ [kg]}$

2° En charge :  $M_3 = 1871,72 + 4085,28 = 5957 \text{ [kg]}$ .

Déterminons les masses  $M_1$  et  $M_2$ .

La masse de l'essieu + les deux roues est :

$$M_1 = M_E + 2M_R = 143 + 90 = 233 \text{ [kg]}.$$

La masse d'un pont arrière + Les quatre roues est :

$$M_2 = M_P + 4M_R = 230 + 180 = 410 \text{ [kg]}$$

Calculons les moments d'inertie :

$$I = M_{SEAV} L_1^2 + M_{SEAR} L_2^2$$

1° A vide

$$I = 1775,72 (2,34)^2 + 1534,28 (0,260)^2 = 9826,85 \text{ kg.m}^2.$$

2° En charge

$$I = 2104,72 (2,34)^2 + 4495,28 (0,260)^2 = 11828,485 \text{ kg.m}^2$$

Résultats

A vide	En charge
$M_1 = 233 \text{ [kg]}$	$233 \text{ [kg]}$
$M_2 = 410 \text{ [kg]}$	$410 \text{ [kg]}$
$M_3 = 2667 \text{ [kg]}$	$5957 \text{ [kg]}$
$I = 9826,85 \text{ [kg.m}^2\text{]}$	$11828,485 \text{ [kg.m}^2\text{]}$

# CH4 CALCUL DES FREQUENCES PROPRES POUR LES VIBRATIONS LIBRES NON AMORTIES

## 4.1 Détermination de l'équation donnant les Fréquences propres des vibrations

- L'expression de l'énergie Cinétique est donnée par:

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

On sait que  $\frac{\partial}{\partial \dot{q}_i} (2T) = 2 \mathcal{E} / \dot{q}_i$

$$\frac{\partial}{\partial \dot{q}_i} (2T) = 2M_3 \dot{z} + 2I \dot{\varphi} + 2M_1 \dot{y}_1 + 2M_2 \dot{y}_2$$

$$2\mathcal{E} / \dot{q}_i = \begin{bmatrix} 2M_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2M_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2M_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{z} \\ \dot{\varphi} \\ \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{bmatrix}$$

$$2\mathcal{E} = \begin{bmatrix} 2M_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2M_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2M_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \mathcal{E} = \begin{bmatrix} M_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_2 \end{bmatrix}$$

La matrice inverse de  $\mathcal{E}$  est:

$$\mathcal{E}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{M_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{I} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{M_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{M_2} \end{bmatrix}$$

L'expression de l'énergie potentielle est donnée par:

$$U = \frac{1}{2} C_2 (Z_1 - \gamma_1)^2 + \frac{1}{2} C_4 (\gamma_1 - x_1)^2 + \frac{1}{2} C_3 (\gamma_2 - x_2)^2 + \frac{1}{2} C_4 (Z_2 - \gamma_2)^2$$

On exprime  $Z_1$  et  $Z_2$  en fonction de  $Z$  et  $\varphi$

$$Z = \frac{L_2}{L_1 + L_2} Z_1 + \frac{L_1}{L_1 + L_2} Z_2$$

$$\varphi = \frac{1}{L_1 + L_2} Z_2 - \frac{1}{L_1 + L_2} Z_1$$

Après le calcul on trouve

$$Z_1 = Z - L_1 \varphi; \quad Z_2 = Z + L_2 \varphi$$

On remplace dans l'expression de  $U$

$$U = \frac{1}{2} C_2 [Z - L_1 \varphi - \gamma_1]^2 + \frac{1}{2} C_4 [\gamma_1 - x_1]^2 + \frac{1}{2} C_3 [\gamma_2 - x_2]^2 + \frac{1}{2} C_4 [Z + L_2 \varphi - \gamma_2]^2$$

D'après la relation  $\frac{\partial}{\partial q_i} (2U) = 2U / q_i$

et après un calcul détaillé et de la même

méthode que pour la détermination de  $Z$  on trouve.

$$U = \begin{bmatrix} C_2 + C_4 & C_4 L_2 - C_2 L_1 & -C_2 & -C_4 \\ C_4 L_2 - C_2 L_1 & C_2 L_1^2 - C_4 L_2^2 & C_2 L_1 & -C_4 L_2 \\ -C_2 & C_2 L_1 & C_1 + C_2 & 0 \\ -C_4 & -C_4 L_2 & 0 & C_3 + C_4 \end{bmatrix}$$

Pour simplifier les calculs on pose:

$$A_{11} = (C_2 + C_4) / M_3$$

$$A_{12} = (C_4 L_2 - C_2 L_1) / M_3$$

$$A_{13} = -C_2 / M_3$$

$$A_{14} = -C_4 / M_3$$

$$A_{21} = (L_2 C_4 - L_1 C_2) / I$$

$$A_{41} = -C_4 / M_2$$

$$A_{22} = (C_4 L_2^2 + C_2 L_1^2) / I$$

$$A_{42} = -C_4 L_2 / M_2$$

$$A_{23} = C_2 L_1 / I$$

$$A_{43} = 0$$

$$A_{24} = -C_4 L_2 / I$$

$$A_{44} = (C_3 + C_4) / M_2$$

$$A_{31} = -C_2 / M_1$$

Les pulsations propres sont les solutions du déterminant  $|\mathcal{A} - \omega^2 I| = 0$

où  $\mathcal{A} = \tilde{E}^{-1} U$  et  $I$  est une matrice unitaire.

$$|\mathcal{A} - \omega^2 I| = \begin{vmatrix} A_{11} - \omega^2 & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} - \omega^2 & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} - \omega^2 & 0 \\ A_{41} & A_{42} & 0 & A_{44} - \omega^2 \end{vmatrix}$$

On pose  $\omega^2 = x$  et on écrit le déterminant ( $\Delta$ )

sous la forme:  $\Delta = Ax^4 + Bx^3 + Cx^2 + Dx + E$

$$\text{Où } A = 1 ; B = -(A_{11} + A_{44} + A_{22} + A_{33})$$

$$C = C_{11} + C_{12} \quad \text{où}$$

$$C_{11} = A_{11} A_{44} + A_{11} A_{22} + A_{11} A_{33} + A_{44} A_{22} + A_{44} A_{33} + A_{22} \cdot A_{33}$$

$$C_{12} = -A_{23} \cdot A_{32} + A_{24} \cdot A_{42} + A_{12} \cdot A_{21} + A_{13} \cdot A_{31} + A_{14} \cdot A_{41}$$

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 \quad \text{où}$$

$$D_1 = A_{11} A_{32} \cdot A_{23} + A_{11} A_{24} \cdot A_{42} - A_{44} \cdot A_{22} \cdot A_{33} + A_{23} A_{32} \cdot A_{44}$$

$$D_2 = A_{24} A_{42} \cdot A_{33} - A_{11} A_{22} \cdot A_{33} - A_{44} \cdot A_{11} A_{22} - A_{11} A_{44} A_{33}$$

$$D_3 = A_{12} (A_{21} \cdot A_{33} + A_{21} A_{44} - A_{23} A_{31} - A_{24} \cdot A_{41})$$

$$D_4 = A_{13} A_{31} A_{44} + A_{13} A_{31} \cdot A_{22} - A_{13} A_{21} \cdot A_{32}$$

$$D_5 = -A_{14} (A_{21} \cdot A_{42} - A_{41} \cdot A_{22} - A_{41} \cdot A_{33})$$

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 \quad \text{où}$$

$$E_1 = -A_{11} A_{24} \cdot A_{33} A_{42} + A_{11} A_{44} A_{22} \cdot A_{33} - A_{11} A_{23} A_{32} A_{44}$$

$$E_2 = -A_{12} (A_{21} A_{33} A_{44} - A_{23} A_{31} A_{44} - A_{24} A_{41} A_{33})$$

$$E_3 = A_{13} A_{24} A_{31} A_{42} - A_{13} A_{24} A_{41} A_{32} + A_{13} A_{21} A_{32} A_{44}$$

$$E_4 = -A_{31} A_{22} A_{44} A_{13}$$

$$E_5 = -A_{14} (-A_{21} A_{42} A_{33} + A_{41} A_{22} A_{33} + A_{23} \cdot A_{31} \cdot A_{42} - A_{23} A_{41} \cdot A_{32})$$

## 4.2 Calcul numérique exact, et approximatif

- Calcul exact

Les racines de l'équation

$y(x) = Ax^4 + Bx^3 + Cx^2 + Dx + E = 0$  sont les carrés des pulsations propres des vibrations.

Avec un programme en basic on détermine les 4 racines de l'équation  $y(x) = 0$  et on déduit après les quatre fréquences propres de vibration.

Le programme et les résultats sont exposés dans le chapitre Six.



calcul approximatif

les ressorts et les roues de chaque axe sont montés en série donc:

$$\frac{1}{k'_1} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \Rightarrow k'_1 = \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} = 225076,21 \text{ [N/m]}$$

$$\frac{1}{k'_2} = \frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_4} \Rightarrow k'_2 = \frac{c_3 c_4}{c_3 + c_4} = 585945,58 \text{ [N/m]}.$$

si le système est découplé les 2 fréquences de pompage et de tangage sont approximées par:

1°. A vide

$$\omega_p = \left( \frac{k'_1 + k'_2}{m_3} \right)^{1/2} = 17,43 \text{ [Rad/s]} \Rightarrow F_p = \frac{\omega_p}{2\pi} = 2,775 \text{ [Hz]}$$

$$\omega_t = \left( \frac{k'_1 l_1^2 + k'_2 l_2^2}{I} \right)^{1/2} = 11,37 \text{ [Rad/s]} \Rightarrow F_t = 1,80 \text{ [Hz]}$$

Les fréquences de  $m_1$  et  $m_2$  sont approximées par

$$\omega_{m_1} = \left( \frac{c_1 + c_2}{m_1} \right)^{1/2} = 75,26 \text{ [Rad/s]} \Rightarrow F_{m_1} = 11,97 \text{ [Hz]}$$

$$\omega_{m_2} = \left( \frac{c_3 + c_4}{m_2} \right)^{1/2} = 85,85 \text{ [Rad/s]} \Rightarrow F_{m_2} = 13,6 \text{ [Hz]}.$$

2°. En charge

$$\omega_p = 11,66 \text{ [Rad/s]} \Rightarrow F_p = 1,85 \text{ [Hz]}$$

$$\omega_t = 10,37 \text{ [Rad/s]} \Rightarrow F_t = 1,65 \text{ [Hz]}$$

$$F_{m_1} = 11,97 \text{ [Hz]} ; F_{m_2} = 13,65 \text{ [Hz]}.$$

mais notre système est couplé parce que la condition de couplage  $m_3 l_1 l_2 = I$  n'est pas vérifiée donc les deux fréquences du centre de gravité de la caisse et du mouvement de rotation sont données par:

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{k_1}{m} + \frac{k_2}{I} \right) + \left[ \frac{1}{4} \left( \frac{k_1}{m} - \frac{k_2}{I} \right)^2 + \frac{c^2}{mI} \right]^{1/2}$$

$$\text{ou : } \frac{k_1}{m} = \omega_p^2 \text{ et } \frac{k_2}{I} = \omega_t^2.$$

Posons  $\delta = \frac{c^2}{mI} / \left( \frac{k_1}{m} - \frac{k_2}{I} \right)^2$

où  $k_1 = k_1' + k_2'$  et  $k_2 = k_1' L_1^2 + k_2 L_2^2$

$$c = k_2' L_2 - k_1' L_1$$

après calcul on trouve  $\delta = 0,18 \ll 1$

donc on peut poser

$$\omega_1^2 = \omega_p^2 + \delta(\omega_p^2 - \omega_t^2)$$

$$\omega_2^2 = \omega_t^2 - \delta(\omega_p^2 - \omega_t^2)$$

on trouve après le calcul.

1° - A vide

$$f_1 = 2,91 \text{ [Hz]}$$

$$f_2 = 1,58 \text{ [Hz]}$$

2° - En charge

$$f_1 = 1,89 \text{ [Hz]}$$

$$f_2 = 1,61 \text{ [Hz]}$$

# CH5. CALCUL NUMERIQUE DES DISPERSIONS DES ACCELERATIONS ET DES DEPLACEMENTS RELATIFS

## 5.1 EQUATIONS de lagrange

Le lagrangien  $L = T - U$

$$L = \frac{1}{2} M_3 \dot{z}^2 + \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} M_1 \dot{\gamma}_1^2 + \frac{1}{2} M_1 \dot{\gamma}_1^2 + \frac{1}{2} M_2 \dot{\gamma}_2^2 \\ - \frac{1}{2} C_2 [(z - L_1 \varphi) - \gamma_1]^2 - \frac{1}{2} C_1 (\gamma_1 - x_1)^2 - \frac{1}{2} C_3 (\gamma_2 - x_2)^2 \\ - \frac{1}{2} C_4 [(z + L_2 \varphi) - \gamma_2]^2$$

La fonction de dissipation est:

$$D = \frac{1}{2} d_1 (\dot{\gamma}_1 - \dot{x}_1)^2 + \frac{1}{2} d_3 (\frac{\dot{\gamma}_2}{2} - \dot{x}_2)^2 + \frac{1}{2} d_2 [\dot{z} - L_1 \dot{\varphi} - \dot{\gamma}_1]^2 \\ + \frac{1}{2} d_4 [\dot{z} + L_2 \dot{\varphi} - \dot{\gamma}_2]^2$$

Les équations de Lagrange sont données par:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = - \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i}$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\gamma}_1} \right) - \frac{\partial L}{\partial \gamma_1} = - \frac{\partial D}{\partial \dot{\gamma}_1} \text{ ----- } \rightarrow 1$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\gamma}_2} \right) - \frac{\partial L}{\partial \gamma_2} = - \frac{\partial D}{\partial \dot{\gamma}_2} \text{ ----- } \rightarrow 2$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{z}} \right) = \frac{\partial L}{\partial z} = - \frac{\partial D}{\partial \dot{z}} \text{ ----- } \rightarrow 3$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi} = - \frac{\partial D}{\partial \dot{\varphi}} \text{ ----- } \rightarrow 4$$

## 5.2 Equations différentielles des mouvements

Après le calcul on arrivera au système d'équations différentielles suivant:

on obtient le système suivant:

$$m_1 \ddot{y}_1 + (\alpha_1 + \alpha_2) \dot{y}_1 - \alpha_2 \dot{z} + \alpha_2 L_1 \dot{\varphi} - \alpha_1 \dot{x}_1 + (C_1 + C_2) y_1 - C_2 z + C_2 L_1 \varphi - C_1 x_1 = 0 \quad \text{-----} \rightarrow 1$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + (\alpha_3 + \alpha_4) \dot{y}_2 - \alpha_4 \dot{z} - \alpha_4 L_2 \dot{\varphi} - \alpha_3 \dot{x}_2 + (C_3 + C_4) y_2 - C_4 z - C_4 L_2 \varphi - C_3 x_2 = 0 \quad \text{-----} \rightarrow 2$$

$$m \ddot{z} + (\alpha_2 + \alpha_4) \dot{z} + (\alpha_4 L_2 - \alpha_2 L_1) \dot{\varphi} - \alpha_2 \dot{y}_1 - \alpha_4 \dot{y}_2 + (C_2 + C_4) z + (C_4 L_2 - C_2 L_1) \varphi - C_2 y_1 - C_4 y_2 = 0 \quad \text{-----} \rightarrow 3$$

$$I \ddot{\varphi} + (\alpha_2 L_1^2 + \alpha_4 L_2^2) \dot{\varphi} + (\alpha_4 L_2 - \alpha_2 L_1) \dot{z} + \alpha_2 L_1 \dot{y}_1 - \alpha_4 L_2 \dot{y}_2 + (C_2 L_1^2 + C_4 L_2^2) \varphi + (C_4 L_2 - C_2 L_1) z + C_2 L_1 y_1 - C_4 L_2 y_2 = 0 \quad \text{-----} \rightarrow 4$$

on passe au transformation de fourrier

$$\ddot{y} = s^2 \bar{y}, \quad \dot{y} = s \bar{y}, \quad y = \bar{y}.$$

$$[m_1 s^2 + (\alpha_1 + \alpha_2) s + (C_1 + C_2)] \bar{y}_1 - (\alpha_1 s + C_1) \bar{x}_1 - (\alpha_2 s + C_2) \bar{z} + (\alpha_2 L_1 s + C_2 L_1) \bar{\varphi} = 0 \quad \text{-----} \rightarrow 1'$$

$$[m s^2 + (\alpha_3 + \alpha_4) s + (C_3 + C_4)] \bar{y}_2 - (\alpha_3 s + C_3) \bar{x}_2 - (\alpha_4 s + C_4) \bar{z} - (C_4 L_2 + \alpha_4 L_2 s) \bar{\varphi} = 0 \quad \text{-----} \rightarrow 2'$$

$$[m s^2 + (\alpha_2 + \alpha_4) s + (C_2 + C_4)] \bar{z} - (\alpha_2 s + C_2) \bar{y}_1 - (\alpha_4 s + C_4) \bar{y}_2 + [(\alpha_4 L_2 - L_1 \alpha_2) s + (C_4 L_2 - L_1 C_2)] \bar{\varphi} = 0 \quad \text{---} \rightarrow 3'$$

$$[I s^2 + (\alpha_2 L_1^2 + \alpha_4 L_2^2) s + (C_2 L_1^2 + C_4 L_2^2)] \bar{\varphi} + [(\alpha_4 L_2 - \alpha_2 L_1) s + C_4 L_2 - C_2 L_1] \bar{z} + (\alpha_2 L_1 s + C_2 L_1) \bar{y}_1 - (\alpha_4 L_2 s + C_4 L_2) \bar{y}_2 = 0 \quad \text{---} \rightarrow 4'$$

Pour simplifier le calcul on pose

$$A = m_1 s^2 + (d_1 + d_2) s + (c_1 + c_2)$$

$$B = (a_1 s + c_1)$$

$$C = -(d_2 s + c_2)$$

$$D = d_2 L_1 s + c_2 L_1$$

$$E = m_2 s^2 + (d_3 + d_4) s + (c_3 + c_4)$$

$$F = d_3 s + c_3$$

$$G = -(d_4 s + c_4)$$

$$I = -(c_4 L_2 + d_4 L_2 s)$$

$$J = m s^2 + (d_2 + d_4) s + (c_2 + c_4)$$

$$L = -(d_2 s + c_2)$$

$$M = -(d_4 s + c_4)$$

$$N = (d_4 L_2 - L_1 d_2) s + (c_4 L_2 - L_1 c_2)$$

$$P = I s^2 + (d_2 L_1^2 + L_2^2 d_4) s + (c_2 L_1^2 + L_2^2 c_4)$$

$$Q = (d_4 L_2 - d_2 L_1) s + (c_4 L_2 - c_2 L_1)$$

$$U = d_2 L_1 s + c_2 L_1$$

$$V = -(d_4 L_2 s + c_4 L_2)$$

donc on aura le système suivant:

$$A \bar{y}_1 + 0 \bar{y}_2 + C \bar{z} + D \bar{p} = B \bar{x}_1$$

$$0 \bar{y}_1 + E \bar{y}_2 + G \bar{z} + I \bar{p} = F \bar{x}_2$$

$$L \bar{y}_1 + M \bar{y}_2 + J \bar{z} + N \bar{p} = 0$$

$$U \bar{y}_1 + V \bar{y}_2 + Q \bar{z} + P \bar{p} = 0$$

5.3 Solution du système d'équations différentielles en fonction des excitations  $\bar{x}_1(s)$  et  $\bar{x}_2(s)$

On détermine  $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{z}, \bar{p}$  en fonction de  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$

$$\Delta = \begin{vmatrix} A & 0 & C & D \\ 0 & E & G & I \\ L & M & J & N \\ U & V & Q & P \end{vmatrix}$$

$$\Delta y_1 = \begin{vmatrix} B\bar{x}_1 & 0 & C & D \\ F\bar{x}_2 & E & G & I \\ 0 & M & J & N \\ 0 & V & Q & P \end{vmatrix}$$

la solution est de la forme suivante:

$$y_1 = T_1 \bar{x}_1 + T_2 \bar{x}_2$$

$$\text{avec : } T_1 = \frac{\Delta y_{11}}{\Delta} \text{ et } T_2 = \frac{\Delta y_{12}}{\Delta}$$

$$\text{ou } \Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6 + \Delta_7$$

$$\Delta_1 = AE(JP - QN)$$

$$\Delta_2 = -AG(MP - VN)$$

$$\Delta_3 = AI(MQ - VJ)$$

$$\Delta_4 = -CE(LP - UN)$$

$$\Delta_5 = DE(LQ - UJ)$$

$$\Delta_6 = CI(LV - UM)$$

$$\Delta_7 = -DG(LV - UM)$$

$$\Delta \bar{y}_2 = \begin{vmatrix} A & B\bar{x}_1 & C & D \\ 0 & F\bar{x}_2 & G & I \\ L & 0 & J & N \\ U & 0 & Q & P \end{vmatrix}$$

$$\Delta \bar{z} = \begin{vmatrix} A & 0 & B\bar{x}_1 & D \\ 0 & E & F\bar{x}_2 & I \\ L & M & 0 & N \\ U & V & 0 & P \end{vmatrix}$$

$$\Delta \bar{y} = \begin{vmatrix} A & 0 & C & B\bar{x}_1 \\ 0 & E & G & F\bar{x}_2 \\ L & M & J & 0 \\ U & V & Q & 0 \end{vmatrix}$$

$$\Delta y_{11} = BE[JP - QN] - GB[MP - VN] - BI[MQ - VJ]$$

$$\Delta y_{12} = CF[MP - VN] - DF[MQ - VJ]$$

$$\bar{y}_2 = T_3 \bar{x}_1 + T_4 \bar{x}_2$$

$$\text{Avec } T_3 = \frac{\Delta y_{21}}{\Delta} \text{ et } T_4 = \frac{\Delta y_{22}}{\Delta}$$

$$\text{ou } \Delta y_{21} = BG[LP - UN] - BI[LQ - JU]$$

$$\Delta y_{22} = DF[LQ - JU] + AF[JP - QN] - CF[LP - UN]$$

$$\bar{z} = T_5 \bar{x}_1 + T_6 \bar{x}_2 ; \text{ avec } T_5 = \frac{\Delta z_{11}}{\Delta} \text{ et } T_6 = \frac{\Delta z_{22}}{\Delta}$$

$$\text{ou } \Delta z_{11} = BI[LV - UM] - BE[LP - UN]$$

$$\Delta z_{22} = -AF[MP - VN] - DF[LV - UM]$$

$$\bar{p} = T_7 \bar{x}_1 + T_8 \bar{x}_2$$

$$\text{avec } T_7 = \frac{\Delta p_1}{\Delta} \text{ et } T_8 = \frac{\Delta p_2}{\Delta}$$

$$\Delta \bar{\Psi}_1 = EB[LA - 4J] - BG[LV - UM]$$

$$\Delta \bar{\Psi}_2 = [AF MQ - VJ] + CF[LV - UM].$$

done on obtient les Solutions suivantes :

$$\bar{y}_1 = T_1 \bar{x}_1 + T_2 \bar{x}_2$$

$$\bar{y}_2 = T_3 \bar{x}_1 + T_4 \bar{x}_2$$

$$\bar{z} = T_5 \bar{x}_1 + T_6 \bar{x}_2$$

$$\bar{\varphi} = T_7 \bar{x}_1 + T_8 \bar{x}_2$$

et les differentes accélerations seront :

$$\bar{\ddot{y}}_1 = S^2 [T_1 \bar{x}_1 + T_2 \bar{x}_2].$$

$$\bar{\ddot{y}}_2 = S^2 [T_3 \bar{x}_1 + T_4 \bar{x}_2]$$

$$\bar{\ddot{z}} = S^2 [T_5 \bar{x}_1 + T_6 \bar{x}_2]$$

$$\bar{\ddot{\varphi}} = S^2 [T_7 \bar{x}_1 + T_8 \bar{x}_2].$$

or :  $\bar{x}_2 = E^{j\omega} \bar{x}_1$  ou

$$E(s) = \exp(-s \tau); \text{ avec } s = j\omega$$

$$E(s) = \cos(\omega \tau) - j \sin(\omega \tau); \text{ avec } \tau = \frac{L}{V}$$



## 5.4 Détermination des différentes fonctions de transfert en fonction de l'excitation $\bar{x}_1(s)$ .

On pose  $\bar{x}_2(s) = \bar{x}_1(s) \cdot E(s)$ .

$$E(s) = e^{-s\tau}; \quad \tau = \frac{L}{V}$$

Les solutions en fonction de  $\bar{x}_1$  seront:

$$\bar{y}_1 = (T_1 + T_2 E) \bar{x}_1$$

$$\bar{y}_2 = (T_3 + T_4 E) \bar{x}_1$$

$$\bar{z} = (T_5 + T_6 E) \bar{x}_1$$

$$\bar{y} = (T_7 + T_8 E) \bar{x}_1$$

Les expressions des accélérations:

$$\ddot{\bar{y}}_1 = s^2 (T_1 + T_2 E) \bar{x}_1$$

$$\ddot{\bar{y}}_2 = s^2 (T_3 + T_4 E) \bar{x}_1$$

$$\ddot{\bar{z}} = s^2 (T_5 + T_6 E) \bar{x}_1$$

$$\ddot{\bar{y}} = s^2 (T_7 + T_8 E) \bar{x}_1$$

Les expressions de fonctions de transfert:

$$H \frac{\ddot{\bar{z}}}{\bar{x}_1} = (T_5 + T_6 E) s^2; \quad H \frac{\ddot{\bar{y}}_1}{\bar{x}_1} = (T_1 + T_2 E) s^2$$

$$H \frac{\ddot{\bar{y}}}{\bar{x}_1} = (T_7 + T_8 E) s^2; \quad H \frac{\ddot{\bar{y}}_2}{\bar{x}_1} = (T_3 + T_4 E) s^2$$

$$\frac{\ddot{\bar{z}}_1}{\bar{x}_1} = \frac{\ddot{\bar{z}}}{\bar{x}_1} - \frac{\ddot{\bar{y}}}{\bar{x}_1}; \quad \frac{\ddot{\bar{z}}_2}{\bar{x}_1} = \frac{\ddot{\bar{z}}}{\bar{x}_1} + \frac{1}{2} \frac{\ddot{\bar{y}}}{\bar{x}_1}$$

donc on déduit que:

$$H \frac{\ddot{\bar{z}}_1}{\bar{x}_1} = s^2 [(T_5 - L_1 T_7) + (T_6 - L_1 T_8) E]$$

$$H \frac{\ddot{\bar{z}}_2}{\bar{x}_1} = s^2 [(T_5 + L_2 T_7) + (T_6 + L_2 T_8) E]$$

$$H \frac{\ddot{\bar{z}}_1 - \ddot{\bar{y}}_1}{\bar{x}_1} = (T_5 - L_1 T_7 - T_1) + (T_6 - T_2 - L_1 T_8) E$$

$$H \frac{\ddot{\bar{z}}_2 - \ddot{\bar{y}}_2}{\bar{x}_1} = (T_5 + L_2 T_7 - T_3) + (T_6 + L_2 T_8 - T_4) E$$

## 5.5 Formules donnant les différentes dispersions

- Les dispersions d'accélération

$$\sigma_{\ddot{z}}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \left[ H \frac{\ddot{z}}{x_1} \cdot H^* \frac{\ddot{z}}{x_1} \right] S_{x_1}(s) ds$$

$$\sigma_{\ddot{\varphi}}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \left[ H \frac{\ddot{\varphi}}{x_1} \cdot H^* \frac{\ddot{\varphi}}{x_1} \right] S_{x_1}(s) ds$$

$$\sigma_{\ddot{y}_1}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \left[ H \frac{\ddot{y}_1}{x_1} \cdot H^* \frac{\ddot{y}_1}{x_1} \right] S_{x_1}(s) ds$$

$$\sigma_{\ddot{y}_2}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \left[ H \frac{\ddot{y}_2}{x_1} \cdot H^* \frac{\ddot{y}_2}{x_1} \right] S_{x_1}(s) ds$$

- Les dispersions des déplacements relatifs

$$\sigma_{\frac{\bar{z}_1 - \bar{y}_1}{x_1}}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \left[ H \frac{\bar{z}_1 - \bar{y}_1}{x_1} \cdot H^* \frac{\bar{z}_1 - \bar{y}_1}{x_1} \right] S_{x_1}(s) ds$$

$$\sigma_{\frac{\bar{z}_2 - \bar{y}_2}{x_1}}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \left[ H \frac{\bar{z}_2 - \bar{y}_2}{x_1} \cdot H^* \frac{\bar{z}_2 - \bar{y}_2}{x_1} \right] S_{x_1}(s) ds$$

on remplace les fonctions de transfert par ces valeurs:

$$\sigma_{\ddot{z}}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} S^4 (T_5 + T_6 E) (T_5^* + T_6^* E) S_{x_1}(s) ds$$

$$\sigma_{\ddot{\varphi}}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} S^4 (T_7 + T_8 E) (T_7^* + T_8^* E) S_{x_1}(s) ds$$

$$\sigma_{\ddot{y}_1}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} S^4 (T_1 + T_2 E) (T_1^* + T_2^* E) S_{x_1}(s) ds$$

$$\sigma_{\ddot{y}_2}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} S^4 (T_3 + T_4 E) (T_3^* + T_4^* E) S_{x_1}(s) ds$$

$$\sigma_{\frac{\bar{z}_1 - \bar{y}_1}{x_1}}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \left[ (T_5 - L_1 T_7 - T_1) + T_6 - T_2 - L_1 T_8 \right] E \left[ (T_5^* - L_1 T_7^* - T_1^*) + T_6^* - T_2^* - L_1 T_8^* \right] E^* S_{x_1}(s) ds$$

$$\sigma_{\frac{\bar{z}_2 - \bar{y}_2}{x_1}}^2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \left[ T_5 + L_2 T_7 - T_3 \right] + (T_6 + L_2 T_8 - T_4) E \left[ (T_5^* + L_2 T_7^* - T_3^*) + T_6^* + L_2 T_8^* - T_4^* \right] E S_{x_1}(s) ds$$

## 5.6 Application de la formule des trapèzes pour le calcul des intégrales donnant les différentes dispersions.

La formule des trapèzes est donnée par:

$$\int_a^b f(x) dx \approx h \left[ \frac{f(x_0) + f(x_n)}{2} + f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_{n-1}) \right]$$

où  $h = \frac{b-a}{n}$  et  $n$  c'est le nombre des divisions de l'intervalle d'intégration.

Dans notre cas toutes les fonctions à intégrer sont des fonctions paires donc :

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

Pour  $\omega \geq 100$  [Rad/s] les valeurs de chaque intégrale étant pratiquement constantes aussi a-t-on posé

$$\omega_{\max} = 150 \text{ [Rad/s]}$$

prenons un pas de 0,25 sur l'axe des pulsations; donc

on utilise le changement de variable  $\omega = \frac{k-0,9999}{4}$

où  $k = 1, 2, 3, \dots, 601$  avec  $k_0 = 1$  et  $k_n = 601$ .

$$\omega(k_n) = 150 \text{ [Rad/s]} = \omega_{\max}.$$

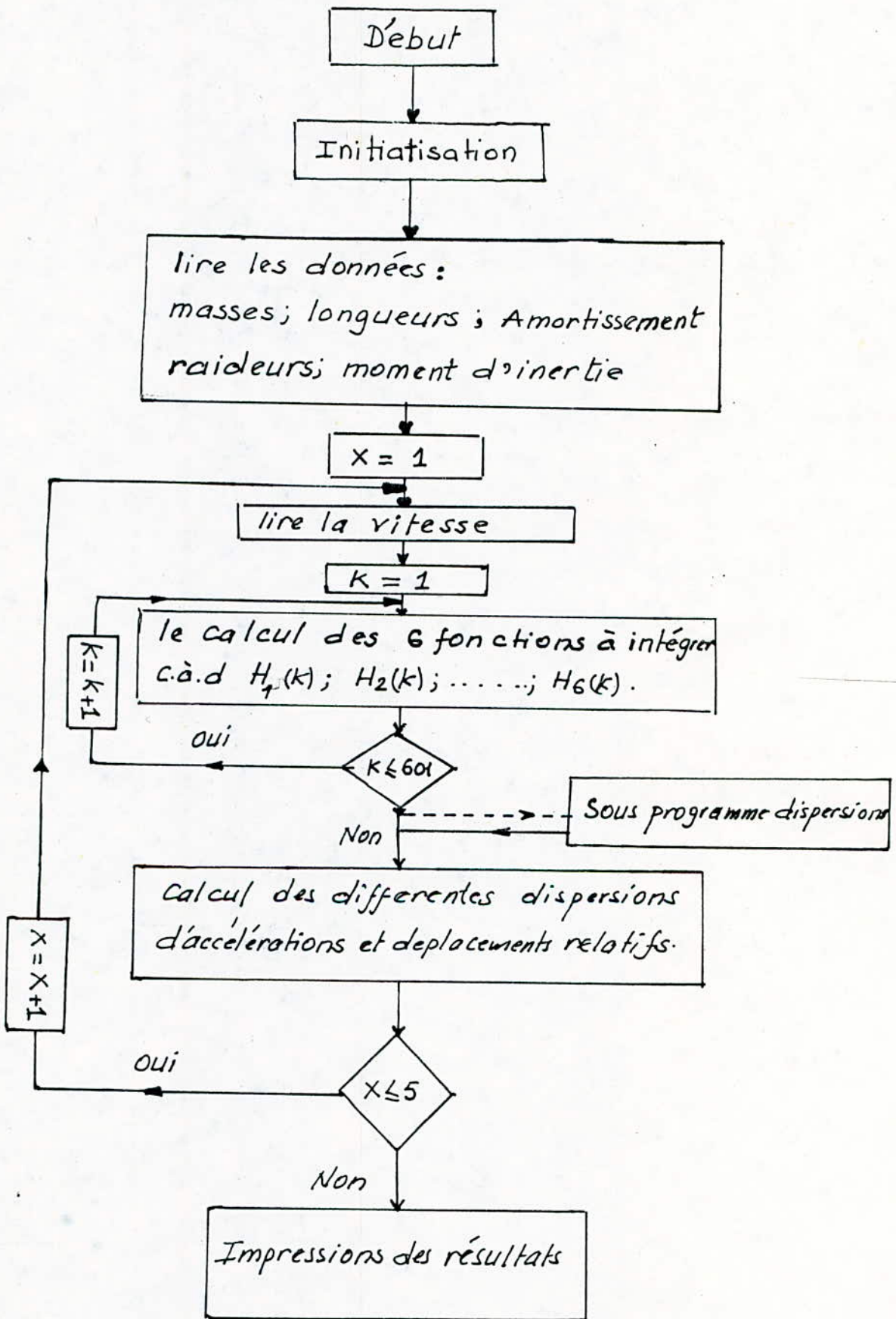
$$\omega(k_0) = 0 \text{ [Rad/s]} = \omega_{\min}.$$

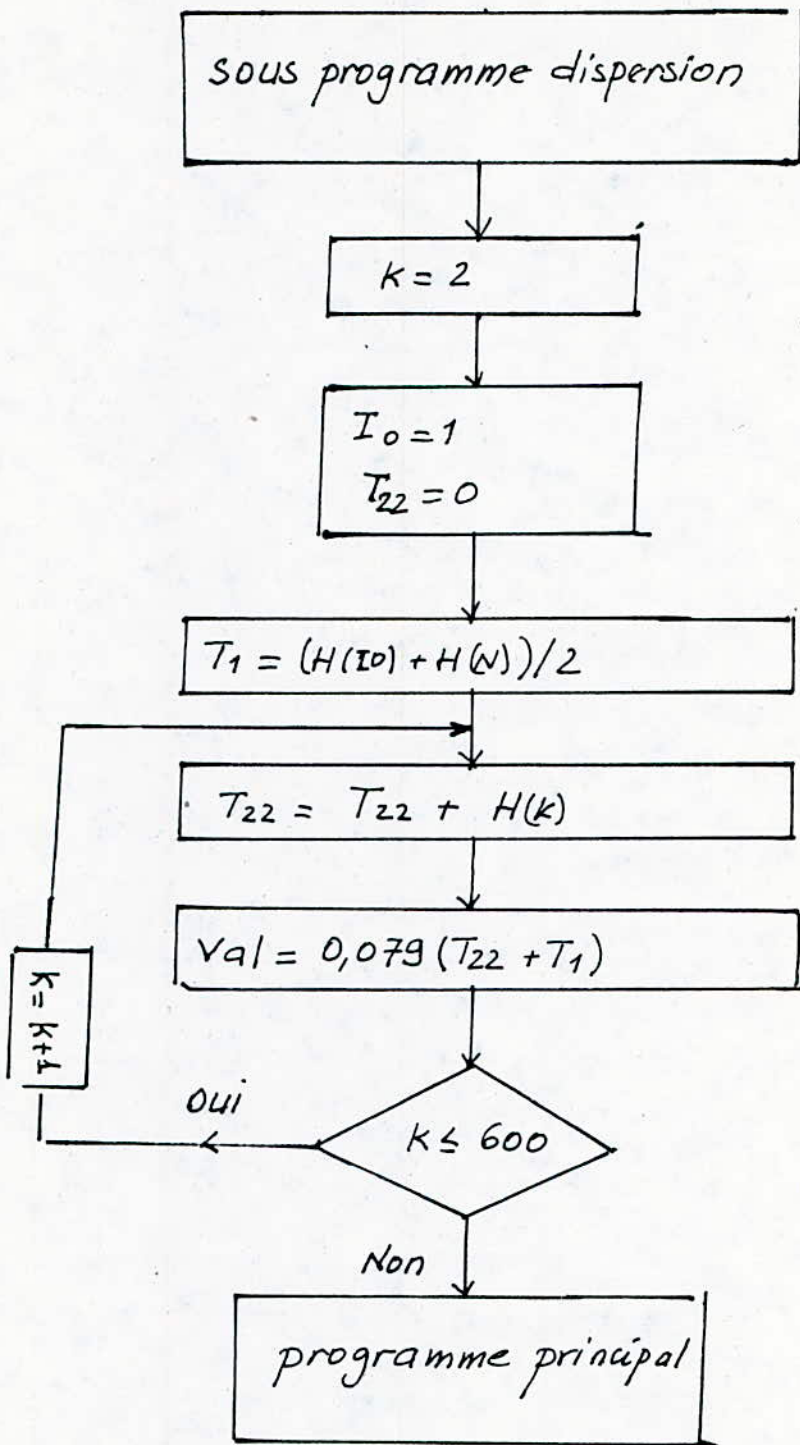
L'expression de la formule des trapèzes prend la forme:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{1}{4\pi} \left[ \frac{f(k_0) + f(k_n)}{2} + f(k_1) + f(k_2) + \dots + f(k_{n-1}) \right] \\ &= 0,079 \left[ \frac{f(1) + f(601)}{2} + f(2) + f(3) + \dots + f(601) \right] \end{aligned}$$

## CH 6. PRESENTATION DES PROGRAMMES ET RESULTATS:

6.1 L'organigramme du programme des dispersions:





## 6.2 Les programmes, et les résultats

on a utilisé deux Langages

- Le Langage FORTRAN pour les calcul des différentes dispersions.

- Le Langage BASIC pour le calcul des fréquences propres des vibrations et le tracé des graphes.

Notation utilisée.

$$W = V ; T_{11} = \tau , R = L_1 + L_2 .$$

$$I_1 = \sigma_{\bar{z}} ; I_3 = \sigma_{\bar{y}_2}$$

$$I_2 = \sigma_{\bar{\phi}} ; I_5 = \sigma_{\frac{\bar{z}_1 - \bar{y}_1}{\bar{x}_1}}$$

$$I_3 = \sigma_{\bar{y}_1} ; I_6 = \sigma_{\frac{\bar{z}_2 - \bar{z}_1}{\bar{x}_1}}$$

$$E_1(k) = E(k) ; S_{11} = S_{\bar{x}_1}(k)$$

$$H_1 = H \frac{\bar{z}}{\bar{x}_1} \cdot H^* \frac{\bar{z}}{\bar{x}_1} \quad H_{11} = H_1 S_{11}$$

$$H_2 = H \frac{\bar{\phi}}{\bar{x}_1} \cdot H^* \frac{\bar{\phi}}{\bar{x}_1} \quad H_{22} = H_2 S_{11}$$

$$H_3 = H \frac{\bar{y}_1}{\bar{x}_1} \cdot H^* \frac{\bar{y}_1}{\bar{x}_1} \quad H_{33} = H_3 S_{11}$$

$$H_4 = H \frac{\bar{y}_2}{\bar{x}_1} \cdot H^* \frac{\bar{y}_2}{\bar{x}_1} \quad H_{44} = H_4 S_{11}$$

$$H_5 = H \frac{\bar{z}_1 - \bar{y}_1}{\bar{x}_1} \cdot H^* \frac{\bar{z}_1 - \bar{y}_1}{\bar{x}_1} \quad H_{55} = H_5 \cdot S_{11}$$

$$H_6 = H \frac{\bar{z}_2 - \bar{y}_2}{\bar{x}_1} \cdot H^* \frac{\bar{z}_2 - \bar{y}_2}{\bar{x}_1} \quad H_{66} = H_6 \cdot S_{11}$$

```

10 REM  CALCUL DES FREQUENCES PROPRES POUR LES VIBRATIONS
11 REM  LIBRES NON AMORTIES
12 INPUT "DONNER C1";C1
14 INPUT "DONNER C2";C2
16 INPUT "DONNER C3";C3
18 INPUT "DONNER C4";C4
60 INPUT "DONNER M1";M1
70 INPUT "DONNER M2";M2:INPUT "DONNER M3";M3
80 INPUT "DONNER I";I
90 INPUT "DONNER L1";L1:INPUT "DONNER L2";L2
100 XMAX=8000:YMAX=5E+14:GOSUB 550
110 A11=(C2+C4)/M3
120 A12=(C4*L2-C2*L1)/M3
130 A13=-C2/M3
140 A14=-C4/M3
150 A21=(L2*C4-L1*C2)/I
160 A22=(C4*L2^2+C2*L1^2)/I
170 A23=C2*L1/I
180 A24=-C4*L2/I
190 A31=-C2/M1
200 A32=C2*L1/M1
210 A33=(C2+C1)/M1
220 A41=-C4/M2
230 A42=-C4*L2/M2
240 A44=(C3+C4)/M2
250 A=1
260 B=- (A11+A44+A22+A33)
270 C11=(A11*A44+A11*A22+A11*A33+A44*A22+A44*A33+A22*A33)
280 C12=- (A23*A32+A24*A42+A12*A21+A31*A13+A14*A41)
290 C=C11+C12
300 D1=A11*A32*A23+A11*A24*A42-A44*A22*A33+A23*A32*A44
310 D2=A24*A42*A33-A11*A22*A33-A11*A44*A22-A11*A44*A33
320 D3=A12*(A21*A33+A21*A44-A23*A31-A24*A41)
330 D4=A13*A31*A44+A13*A31*A22-A13*A21*A32
340 D5=-A14*(A21*A42-A41*A22-A41*A33)
350 D=D1+D2+D3+D4+D5
360 E1=-A11*A24*A33*A42+A11*A44*A22*A33-A11*A23*A32*A44
370 E2=-A12*(A21*A33*A44-A23*A31*A44-A24*A41*A33)
380 E3=A13*A24*A31*A42-A13*A24*A41*A32+A13*A21*A32*A44
390 E4=-A31*A22*A44*A13
400 E5=-A14*(-A21*A42*A33+A41*A22*A33+A23*A31*A42-A23*A41*A32)
410 E=E1+E2+E3+E4+E5:
420 FOR X=-XMAX TO XMAX STEP XMAX/200
430 Y=A*X^4+B*X^3+C*X^2+D*X+E:PRINT "X=";X,"Y=";Y
440 PSET (X,Y)
450 NEXT X
540 END
550 CLS:SCREEN 3
560 VIEW (0,0)-(480,300)
570 WINDOW (-XMAX,-YMAX)-(XMAX,YMAX)
580 LINE (-XMAX,0)-(XMAX,0)
590 LINE (0,-YMAX)-(0,YMAX)
600 FOR I=-XMAX TO XMAX STEP XMAX/10
610 LINE (I,-YMAX/200)-(I,YMAX/200)
620 NEXT I
630 FOR I=-YMAX TO YMAX STEP YMAX/10
640 LINE (-XMAX/200,I)-(XMAX/200,I)
650 NEXT I
660 RETURN

```

3 REM ===== RESULTATS POUR LE CALCUL DES FREQUENCES PROPRES =====  
4 REM ===== DES VIBRATIONS LIBRES NON AMORTIES =====  
5 REM ===== LE VEHICULE EST A VIDE =====  
7 REM F1=LA FREQUENCE DU CENTRE DE GRAVITE DE LA CAISSE  
8 REM F2=LA FREQUENCE DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA CAISSE  
9 REM F3===== DE LESSIEU AVANT  
10 REM F4=====DE LESSIEU ARRIERE  
20 REM F1=2.869 [HZ]  
30 REM F2=1.610 [HZ]  
40 REM F3=12.042 [HZ]  
50 REM F4=13.741 [HZ]  
70 REM SI LE VEHICUL EST EN CHARGE ON A LES  
80 REM RESULTATS SUIVANT  
90 REM F1=2.058 [HZ]  
100 REM F2=1.375 [HZ]  
200 REM F3=12.0214 [HZ]  
300 REM F4=13.6985 [HZ]



```

=====
***** PROGRAMME POUR LE CALCUL DES DISPERSIONS DES *****
***** ACCELERATIONS ET DES DEPLACEMENTS RELATIFS *****
***** AVEC UNE DENSITE SPECTRALE BRUIT BLANC C.A.D *****
***** S(S)=N**2*****
=====

```

```

=====
REAL M3,M1,M2,L1,L2,IN,OMEGA(602),
1 H1(602),H2(602),H3(602),H4(602),H5(602),H6(602),H(602)
COMPLEX A(602),B(602),C(602),D(602),E(602),F(602),G(602),I(602)
1 ,J(602),L(602),M(602),N(602),P(602),Q(602),U(602),V(602)
COMPLEX JC,T1(602),T2(602),T3(602),T4(602),T5(602)
COMPLEX T6(602),E1(602),DEL21(602),DELY22(602)
COMPLEX DELTA(602),DELY11(602),DELY12(602)
COMPLEX DELZ11(602),DELZ22(602),DELFI1(602),DELFI2(602)
COMPLEX T7(602),DEL1(602),DEL2(602)
COMPLEX DEL3(602),DEL4(602),DEL5(602),DEL6(602)
COMPLEX DEL7(602),E2(602),A1(602),A2(602),A3(602),A4(602),A5(602),
1 A6(602),A7(602),A8(602),T8(602)
PRINT *, 'M1='
PRINT *, 'M2='
PRINT *, 'M3='
PRINT *, 'C1='
PRINT *, 'C2='
PRINT *, 'C3='
PRINT *, 'C4='
PRINT *, 'L1='
PRINT *, 'L2='
ACCEPT *, M1,M2,M3,C1,C2,C3,C4,L1,L2
PRINT *, ' M1=',M1 , '[KGS]', ' M2=',M2 , '[KGS]', ' M3=',M3 , '[KGS]'
PRINT *, ' C1=',C1 , '[N/M]', ' C2=',C2 , '[N/M]'
PRINT *, ' C3=',C3 , '[N/M]', ' C4=',C4 , '[N/M]'
PRINT *, ' L1=',L1 , '[M]', ' L2=',L2 , '[M]'
PRINT *, 'ALFA1='
PRINT *, 'ALFA2='
PRINT *, 'ALFA3='
PRINT *, 'ALFA4='
PRINT *, 'IN='
ACCEPT *, ALFA1,ALFA2,ALFA3,ALFA4,IN
PRINT *, ' ALFA1=',ALFA1 , '[N.S/M]', ' ALFA2=',ALFA2 , '[N.S/M]'
PRINT *, ' ALFA3=',ALFA3 , '[N.S/M]', ' ALFA4=',ALFA4 , '[N.S/M]'
PRINT *, ' IN=',IN , '[KGS.M**2]'
DO 250 X=1,5
PRINT *, ' W'
ACCEPT *, w
PRINT *, 'w=',w , '[M/S]',X
R=L1+L2
T11=R/W
JC=(0,1)
PI=3.14151
DO 100 K=1,601
OMEGA(K)=(K-0.9999)/4
A(K)=((-M1*OMEGA(K)**2+C1+C2)+JC*(ALFA1+ALFA2)*OMEGA(K))
B(K)=(C1+JC*ALFA1*OMEGA(K))
C(K)=- (C2+JC*OMEGA(K)*ALFA2)
D(K)=(C2*L1+JC*OMEGA(K)*ALFA2*L1)
E(K)=((-M2*OMEGA(K)**2+C3+C4)+JC*OMEGA(K)*(ALFA3+ALFA4))
F(K)=(C3+JC*OMEGA(K)*ALFA3)

```

```

G(K)=- (C4+JC*OMEGA(K)*ALFA4)
I(K)=- (C4*L2+JC*OMEGA(K)*L2*ALFA4)
J(K)=((-M3*OMEGA(K)**2+C2+C4)+JC*OMEGA(K)*(ALFA2+ALFA4))
L(K)=- (C2+JC*OMEGA(K)*ALFA2)
M(K)=- (C4+JC*OMEGA(K)*ALFA4)
N(K)=((C4*L2-L1*C2)+JC*OMEGA(K)*(ALFA4*L2-L1*ALFA2))
P(K)=((-IN*OMEGA(K)**2+C2*L1**2+L2**2*C4)+JC*OMEGA(K)
1 *(ALFA2*L1**2+L2**2*ALFA4))
Q(K)=((C4*L2-C2*L1)+JC*OMEGA(K)*(ALFA4*L2-ALFA2*L1))
L(K)=(C2*L1+JC*OMEGA(K)*ALFA2*L1)
V(K)=- (C4*L2+JC*OMEGA(K)*ALFA4*L2)
E1(K)=COS(OMEGA(K)*T11)-JC*SIN(OMEGA(K)*T11)
DEL1(K)=A(K)*E(K)*(J(K)*P(K)-Q(K)*N(K))
DEL2(K)=-A(K)*G(K)*(M(K)*P(K)-V(K)*N(K))
DEL3(K)=A(K)*I(K)*(M(K)*Q(K)-V(K)*J(K))
DEL4(K)=-C(K)*E(K)*(L(K)*P(K)-U(K)*N(K))
DEL5(K)=C(K)*E(K)*(L(K)*Q(K)-U(K)*J(K))
DEL6(K)=C(K)*I(K)*(L(K)*V(K)-U(K)*M(K))
DEL7(K)=-D(K)*G(K)*(L(K)*V(K)-U(K)*M(K))
DELTA(K)=DEL1(K)+DEL2(K)+DEL3(K)+DEL4(K)
1 +DEL5(K)+DEL6(K)+DEL7(K)
DELY11(K)=B(K)*E(K)*(J(K)*P(K)-Q(K)*N(K))-G(K)*B(K)*
1 (M(K)*P(K)-V(K)*N(K))+B(K)*I(K)*(M(K)*Q(K)-V(K)*J(K))
T1(K)=DELY11(K)/DELTA(K)
DELY12(K)=C(K)*F(K)*(M(K)*P(K)-V(K)*N(K))-D(K)*F(K)*
1 (M(K)*Q(K)-V(K)*J(K))
T2(K)=DELY12(K)/DELTA(K)
DEL21(K)=B(K)*(L(K)*P(K)-U(K)*N(K))*G(K)-(L(K)*Q(K)-
1 J(K)*U(K))*I(K)*B(K)
T3(K)=DEL21(K)/DELTA(K)
DELY22(K)=(L(K)*Q(K)-J(K)*U(K))*D(K)*F(K)+(J(K)*P(K)-Q(K)
1 *N(K))*A(K)*F(K)-(L(K)*P(K)-U(K)*N(K))*C(K)*F(K)
T4(K)=DELY22(K)/DELTA(K)
DELZ11(K)=B(K)*I(K)*(L(K)*V(K)-U(K)*M(K))-B(K)*E(K)*
1 (L(K)*P(K)-U(K)*N(K))
T5(K)=DELZ11(K)/DELTA(K)
DELZ22(K)=-A(K)*F(K)*(M(K)*P(K)-V(K)*N(K))-D(K)*F(K)
1 *(L(K)*V(K)-U(K)*M(K))
T6(K)=DELZ22(K)/DELTA(K)
DELFI1(K)=E(K)*B(K)*(L(K)*Q(K)-U(K)*J(K))-B(K)*G(K)*
1 (L(K)*V(K)-U(K)*M(K))
T7(K)=DELFI1(K)/DELTA(K)
DELFI2(K)=A(K)*F(K)*(M(K)*Q(K)-V(K)*J(K))+C(K)*F(K)*
1 (L(K)*V(K)-U(K)*M(K))
T8(K)=DELFI2(K)/DELTA(K)
A1(K)=CONJG(T1(K))
A2(K)=CONJG(T2(K))
A3(K)=CONJG(T3(K))
A4(K)=CONJG(T4(K))
A5(K)=CONJG(T5(K))
A6(K)=CONJG(T6(K))
A7(K)=CONJG(T7(K))
A8(K)=CONJG(T8(K))
E2(K)=CONJG(E1(K))
H1(K)=OMEGA(K)**4*(T5(K)+T6(K)*E1(K))*(A5(K)+A6(K)*E2(K))
H2(K)=OMEGA(K)**4*(T7(K)+T8(K)*E1(K))*(A7(K)+A8(K)*E2(K))
H3(K)=OMEGA(K)**4*(T1(K)+T2(K)*E1(K))*(A1(K)+A2(K)*E2(K))
H4(K)=OMEGA(K)**4*(T3(K)+T4(K)*E1(K))*(A3(K)+A4(K)*E2(K))
H5(K)=(T5(K)-L1*T7(K)-T1(K)+(T6(K)-T2(K)-L1*T8(K))*E1(K))*
1 (A5(K)-L1*A7(K)-A1(K)+(A6(K)-A2(K)-L1*A8(K))*E2(K))

```

```

1      F6(K)=(T5(K)+L2*T7(K)-T3(K)+(T6(K)+L2*T8(K)-T4(K))*E1(K))
100    *(A5(K)+L2*A7(K)-A3(K)+(A6(K)+L2*A8(K)-A4(K))*E2(K))
      CONTINUE
      CALL DISPER(601,F1,VAL)
      VAL=SQRT(VAL)
      PRINT*, 'I1=', VAL, ' [CM/S**2]'
      CALL DISPER(601,F2,VAL)
      VAL=SQRT(VAL)
      PRINT*, 'I2=', VAL, ' [RAD/S**2]'
      CALL DISPER(601,F3,VAL)
      VAL=SQRT(VAL)
      PRINT*, 'I3=', VAL, ' [CM/S**2]'
      CALL DISPER(601,F4,VAL)
      VAL=SQRT(VAL)
      PRINT*, 'I4=', VAL, ' [CM/S**2]'
      CALL DISPER(601,F5,VAL)
      VAL=SQRT(VAL)
      PRINT*, 'I5=', VAL, ' [CM]'
      CALL DISPER(601,F6,VAL)
      VAL=SQRT(VAL)
      PRINT*, 'I6=', VAL, ' [CM]'
250    CONTINUE
      STOP
      END
      SUBROUTINE DISPER(N,H,VAL)
      DIMENSION H(N)
      IO=1
      T22=0.
      T1=(H(IO)+H(N))/2
      DO 3 K=2,N-1
      T22=T22+H(K)
3      CONTINUE
      VAL=0.079*(T22+T1)
      RETURN
      END

```

M1=  
 M2=  
 M3=  
 C1=  
 C2=  
 C3=  
 C4=  
 L1=  
 L2=  
 M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 2667.000 [KG]  
 C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]  
 C3= 2227000. [N/M] C4= 795160.0 [N/M]  
 L1= 2.340000 [M] L2= 0.2600000 [M]

ALFA1=  
 ALFA2=  
 ALFA3=  
 ALFA4=

IN=  
 ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 5000.000 [N.S/M]  
 ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]  
 IN= 9826.850 [KG.M\*\*2]

W  
 W= 5.550000 [M/S] 1.000000  
 I1= 9.355391 [M/S\*\*2]  
 I2= 2.635670 [RAD/S\*\*2]  
 I3= 120.5794 [M/S\*\*2]  
 I4= 173.8638 [M/S\*\*2]  
 I5= 2.7845614E-02[CM]  
 I6= 2.5940517E-02[CM]

W  
 W= 11.11000 [M/S] 2.000000  
 I1= 9.890634 [M/S\*\*2]  
 I2= 2.847438 [RAD/S\*\*2]  
 I3= 120.6125 [M/S\*\*2]  
 I4= 173.8104 [M/S\*\*2]  
 I5= 3.1066524E-02[CM]  
 I6= 2.8349480E-02[CM]

W  
 W= 16.66000 [M/S] 3.000000  
 I1= 8.962968 [M/S\*\*2]  
 I2= 2.647810 [RAD/S\*\*2]  
 I3= 120.5770 [M/S\*\*2]  
 I4= 173.6608 [M/S\*\*2]  
 I5= 2.7402919E-02[CM]  
 I6= 2.5563750E-02[CM]

W  
 W= 22.22000 [M/S] 4.000000  
 I1= 8.748554 [M/S\*\*2]  
 I2= 2.649874 [RAD/S\*\*2]  
 I3= 120.7306 [M/S\*\*2]  
 I4= 174.2652 [M/S\*\*2]  
 I5= 2.7319636E-02[CM]  
 I6= 2.4785003E-02[CM]

W  
 W= 27.77000 [M/S] 5.000000  
 I1= 9.480075 [M/S\*\*2]  
 I2= 2.564349 [RAD/S\*\*2]  
 I3= 120.3097 [M/S\*\*2]  
 I4= 173.6917 [M/S\*\*2]  
 I5= 2.7770413E-02[CM]

I6= 2.4679990E-02[CM]  
 FORTRAN STOP

```

M1=
M2=
M3=
C1=
C2=
C3=
C4=
L1=
L2=
M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 2667.000 [KG]
C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]
C3= 2227000. [N/M] C4= 795160.0 [N/M]
L1= 2.340000 [M] L2= 0.2600000 [M]
ALFA1=
ALFA2=
ALFA3=
ALFA4=
IN=
ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 10000.00 [N.S/M]
ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]
IN= 9826.350 [KG.M**2]
W
W= 5.550000 [M/S] 1.000000
I1= 9.570440 [M/S**2]
I2= 3.042116 [RAD/S**2]
I3= 94.90734 [M/S**2]
I4= 173.8726 [M/S**2]
I5= 2.1488287E-02[M]
I6= 2.5395455E-02[M]
W
W= 11.11000 [M/S] 2.000000
I1= 10.03108 [M/S**2]
I2= 3.193400 [RAD/S**2]
I3= 94.96531 [M/S**2]
I4= 173.8519 [M/S**2]
I5= 2.4378577E-02[M]
I6= 2.7456079E-02[M]
W
W= 16.66000 [M/S] 3.000000
I1= 9.336346 [M/S**2]
I2= 3.060053 [RAD/S**2]
I3= 94.98185 [M/S**2]
I4= 173.7477 [M/S**2]
I5= 2.1470133E-02[M]
I6= 2.5350844E-02[M]
W
W= 22.22000 [M/S] 4.000000
I1= 9.075265 [M/S**2]
I2= 3.046692 [RAD/S**2]
I3= 94.97840 [M/S**2]
I4= 174.2134 [M/S**2]
I5= 2.1065960E-02[M]
I6= 2.4371171E-02[M]
W
W= 27.77000 [M/S] 5.000000
I1= 9.348047 [M/S**2]
I2= 3.010534 [RAD/S**2]
I3= 94.72327 [M/S**2]
I4= 173.9415 [M/S**2]
I5= 2.1297848E-02[M]

```

```

I6= 2.3945536E-02[M]
FORTRAN STOP

```

M1=  
M2=  
M3=  
C1=  
C2=  
C3=  
C4=  
L1=  
L2=

M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 2667.000 [KG]  
C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]  
C3= 2227000. [N/M] C4= 795160.0 [N/M]  
L1= 2.340000 [M] L2= 0.2600000 [M]

ALFA1=  
ALFA2=  
ALFA3=  
ALFA4=

IN=

ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 15000.00 [N.S/M]  
ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]  
IN= 9826.850 [KG.M\*\*2]

W

W= 5.550000 [M/S] 1.000000  
I1= 9.913638 [M/S\*\*2]  
I2= 3.445106 [RAD/S\*\*2]  
I3= 78.49720 [M/S\*\*2]  
I4= 173.8800 [M/S\*\*2]  
I5= 1.7926987E-02 [M]  
I6= 2.5331177E-02 [M]

W

W= 11.11000 [M/S] 2.000000  
I1= 10.28224 [M/S\*\*2]  
I2= 3.584416 [RAD/S\*\*2]  
I3= 78.57741 [M/S\*\*2]  
I4= 173.8793 [M/S\*\*2]  
I5= 2.0607319E-02 [M]  
I6= 2.7261363E-02 [M]

W

W= 16.66000 [M/S] 3.000000  
I1= 9.805775 [M/S\*\*2]  
I2= 3.457847 [RAD/S\*\*2]  
I3= 78.60220 [M/S\*\*2]  
I4= 173.8071 [M/S\*\*2]  
I5= 1.8095998E-02 [M]  
I6= 2.5584649E-02 [M]

W

W= 22.22000 [M/S] 4.000000  
I1= 9.536523 [M/S\*\*2]  
I2= 3.427222 [RAD/S\*\*2]  
I3= 78.59010 [M/S\*\*2]  
I4= 174.1669 [M/S\*\*2]  
I5= 1.7521339E-02 [M]  
I6= 2.4485173E-02 [M]

W

W= 27.77000 [M/S] 5.000000  
I1= 9.574003 [M/S\*\*2]  
I2= 3.410263 [RAD/S\*\*2]  
I3= 78.35883 [M/S\*\*2]  
I4= 174.0383 [M/S\*\*2]  
I5= 1.7651752E-02 [M]

I6= 2.3855571E-02 [M]

FORTRAN STOP

M1=  
M2=  
M3=  
C1=  
C2=  
C3=  
C4=  
L1=  
L2=

M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 5957.000 [KG]  
C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]  
C3= 2227000. [N/M] C4= 795160.0 [N/M]  
L1= 2.340000 [M] L2= 0.2600000 [M]

ALFA1=  
ALFA2=  
ALFA3=  
ALFA4=

IN=  
ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 5000.000 [N.S/M]  
ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]  
IN= 11828.48 [KG.M\*\*2]

W

W= 5.550000 [M/S] 1.000000  
I1= 4.504033 [M/S\*\*2]  
I2= 2.405241 [RAD/S\*\*2]  
I3= 121.5467 [M/S\*\*2]  
I4= 175.3293 [M/S\*\*2]  
I5= 3.1914797E-02[M]  
I6= 2.9264314E-02[M]

W

W= 11.11000 [M/S] 2.000000  
I1= 4.054654 [M/S\*\*2]  
I2= 2.225637 [RAD/S\*\*2]  
I3= 121.5539 [M/S\*\*2]  
I4= 175.3087 [M/S\*\*2]  
I5= 2.6550720E-02[M]  
I6= 2.7924057E-02[M]

W

W= 16.66000 [M/S] 3.000000  
I1= 3.945725 [M/S\*\*2]  
I2= 2.219051 [RAD/S\*\*2]  
I3= 121.5421 [M/S\*\*2]  
I4= 175.2530 [M/S\*\*2]  
I5= 2.7291166E-02[M]  
I6= 2.6014263E-02[M]

W

W= 22.22000 [M/S] 4.000000  
I1= 3.898135 [M/S\*\*2]  
I2= 2.267922 [RAD/S\*\*2]  
I3= 121.6054 [M/S\*\*2]  
I4= 175.4802 [M/S\*\*2]  
I5= 2.8436692E-02[M]  
I6= 2.5446782E-02[M]

W

W= 27.77000 [M/S] 5.000000  
I1= 4.204092 [M/S\*\*2]  
I2= 2.211743 [RAD/S\*\*2]  
I3= 121.4464 [M/S\*\*2]  
I4= 175.2571 [M/S\*\*2]  
I5= 2.9132698E-02[M]

M1=  
M2=  
M3=  
C1=  
C2=  
C3=  
C4=  
L1=  
L2=

M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 5957.000 [KG]  
C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]  
C3= 2227000. [N/M] C4= 795160.0 [N/M]  
L1= 2.340000 [M] L2= 0.2600000 [M]

ALFA1=  
ALFA2=  
ALFA3=  
ALFA4=

IN=

ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 10000.00 [N.S/M]  
ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]  
IN= 11828.48 [KG.M\*\*2]

W

W= 5.550000 [M/S] 1.000000  
I1= 4.426698 [M/S\*\*2]  
I2= 2.653904 [RAD/S\*\*2]  
I3= 95.97323 [M/S\*\*2]  
I4= 175.3297 [M/S\*\*2]  
I5= 2.4237193E-02[M]  
I6= 2.7928360E-02[M]

W

W= 11.11000 [M/S] 2.000000  
I1= 4.238715 [M/S\*\*2]  
I2= 2.565563 [RAD/S\*\*2]  
I3= 95.99072 [M/S\*\*2]  
I4= 175.3197 [M/S\*\*2]  
I5= 2.1324072E-02[M]  
I6= 2.7135178E-02[M]

W

W= 16.66000 [M/S] 3.000000  
I1= 4.054496 [M/S\*\*2]  
I2= 2.556860 [RAD/S\*\*2]  
I3= 95.99884 [M/S\*\*2]  
I4= 175.2798 [M/S\*\*2]  
I5= 2.1305481E-02[M]  
I6= 2.5414739E-02[M]

W

W= 22.22000 [M/S] 4.000000  
I1= 4.008022 [M/S\*\*2]  
I2= 2.574524 [RAD/S\*\*2]  
I3= 96.00177 [M/S\*\*2]  
I4= 175.4626 [M/S\*\*2]  
I5= 2.1880593E-02[M]  
I6= 2.4846997E-02[M]

W

W= 27.77000 [M/S] 5.000000  
I1= 4.160327 [M/S\*\*2]  
I2= 2.547803 [RAD/S\*\*2]  
I3= 95.90243 [M/S\*\*2]  
I4= 175.3484 [M/S\*\*2]  
I5= 2.2298217E-02[M]

I6= 2.4627036E-02[M]

FORTRAN STOP



M1=  
M2=  
M3=  
C1=  
C2=  
C3=  
C4=  
L1=  
L2=

M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 5957.000 [KG]  
C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]  
C3= 2227000. [N/M] C4= 795160.0 [N/M]  
L1= 2.340000 [M] L2= 0.2600000 [M]

ALFA1=  
ALFA2=  
ALFA3=  
ALFA4=

IN=

ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 15000.00 [N.S/M]  
ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]  
IN= 11828.48 [KG.M\*\*2]

W

W= 5.550000 [M/S] 1.000000  
I1= 4.513693 [M/S\*\*2]  
I2= 2.952815 [RAD/S\*\*2]  
I3= 79.40669 [M/S\*\*2]  
I4= 175.3299 [M/S\*\*2]  
I5= 2.0022860E-02[CM]  
I6= 2.7529808E-02[CM]

W

W= 11.11000 [M/S] 2.000000  
I1= 4.434187 [M/S\*\*2]  
I2= 2.893371 [RAD/S\*\*2]  
I3= 79.43285 [M/S\*\*2]  
I4= 175.3268 [M/S\*\*2]  
I5= 1.8163234E-02[CM]  
I6= 2.7026046E-02[CM]

W

W= 16.66000 [M/S] 3.000000  
I1= 4.246214 [M/S\*\*2]  
I2= 2.881585 [RAD/S\*\*2]  
I3= 79.44453 [M/S\*\*2]  
I4= 175.2991 [M/S\*\*2]  
I5= 1.7870635E-02[CM]  
I6= 2.5423307E-02[CM]

W

W= 22.22000 [M/S] 4.000000  
I1= 4.198123 [M/S\*\*2]  
I2= 2.889261 [RAD/S\*\*2]  
I3= 79.44141 [M/S\*\*2]  
I4= 175.4443 [M/S\*\*2]  
I5= 1.8221840E-02[CM]  
I6= 2.4828497E-02[CM]

W

W= 27.77000 [M/S] 5.000000  
I1= 4.270944 [M/S\*\*2]  
I2= 2.877877 [RAD/S\*\*2]  
I3= 79.35246 [M/S\*\*2]  
I4= 175.3849 [M/S\*\*2]  
I5= 1.8539766E-02[CM]

I6= 2.4569001E-02[CM]  
FORTRAN STOP

```

2 REM ***** PROG POUR TRACER TOUTE LES DIFFERENTES DISPERSIONS ****
3 REM ***** EN FONCTION DE LA VITESSE DE DEPLACEMENT *****
5 GOSUB 70
10 FOR I=1 TO 5:READ A(I):NEXT I:DATA 5.55,11.11,16.66,22.22,27.77
20 FOR I=1 TO 5:READ B(I):NEXT I:DATA 1.890,1.966,2.190,2.921,3.889
30 FOR I=1 TO 5:IF I=1 THEN 42
40 LINE (A(I-1),B(I-1))-(A(I),B(I))
42 NEXT I
44 FOR I=1 TO 5:READ E(I):NEXT I:DATA 5.55,11.11,16.66,22.22,27.77
46 FOR I=1 TO 5:READ F(I):NEXT I:DATA 1.610,1.885,1.917,2.386,3.117
48 FOR I=1 TO 5:IF I=1 THEN 52
50 LINE (E(I-1),F(I-1))-(E(I),F(I))
52 NEXT I
54 FOR I=1 TO 5:READ C(I):NEXT I:DATA 5.55,11.11,16.66,22.22,27.77
56 FOR I=1 TO 5:READ D(I):NEXT I:DATA 1.530,1.943,1.967,2.339,2.981
58 FOR I=1 TO 5:IF I=1 THEN 62
60 LINE (C(I-1),D(I-1))-(C(I),D(I))
62 NEXT I:END
64 CLS:SCREEN 3: XMAX=30:YMAX=5:VIEW (0,0)-(480,300)
66 WINDOW (-XMAX/10,-YMAX/10)-(XMAX,YMAX)
68 LINE (0,0)-(XMAX,0):LINE (0,0)-(0,YMAX)
70 CLS:SCREEN 3: XMAX=30:YMAX=5:VIEW (0,0)-(480,300)
80 WINDOW (-XMAX/10,-YMAX/10)-(XMAX,YMAX)
90 LINE (0,0)-(XMAX,0):LINE (0,0)-(0,YMAX)
100 FOR I=0 TO XMAX STEP XMAX/4
110 LINE (I,-YMAX/200)-(I,YMAX/200)
120 NEXT I
130 FOR I=0 TO YMAX STEP YMAX/4
140 LINE (-XMAX/200,I)-(XMAX/200,I)
150 NEXT I
160 RETURN

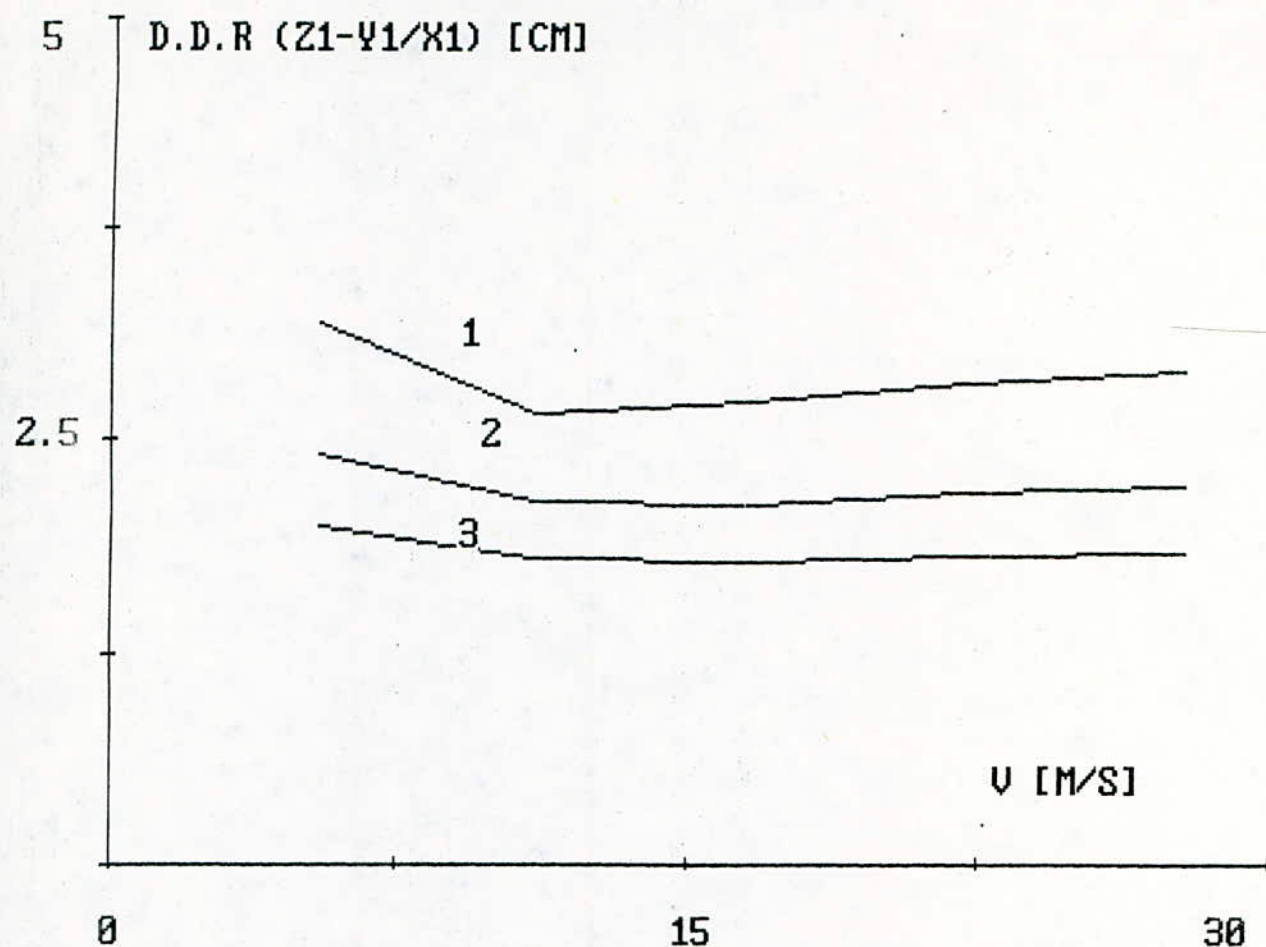
```

```

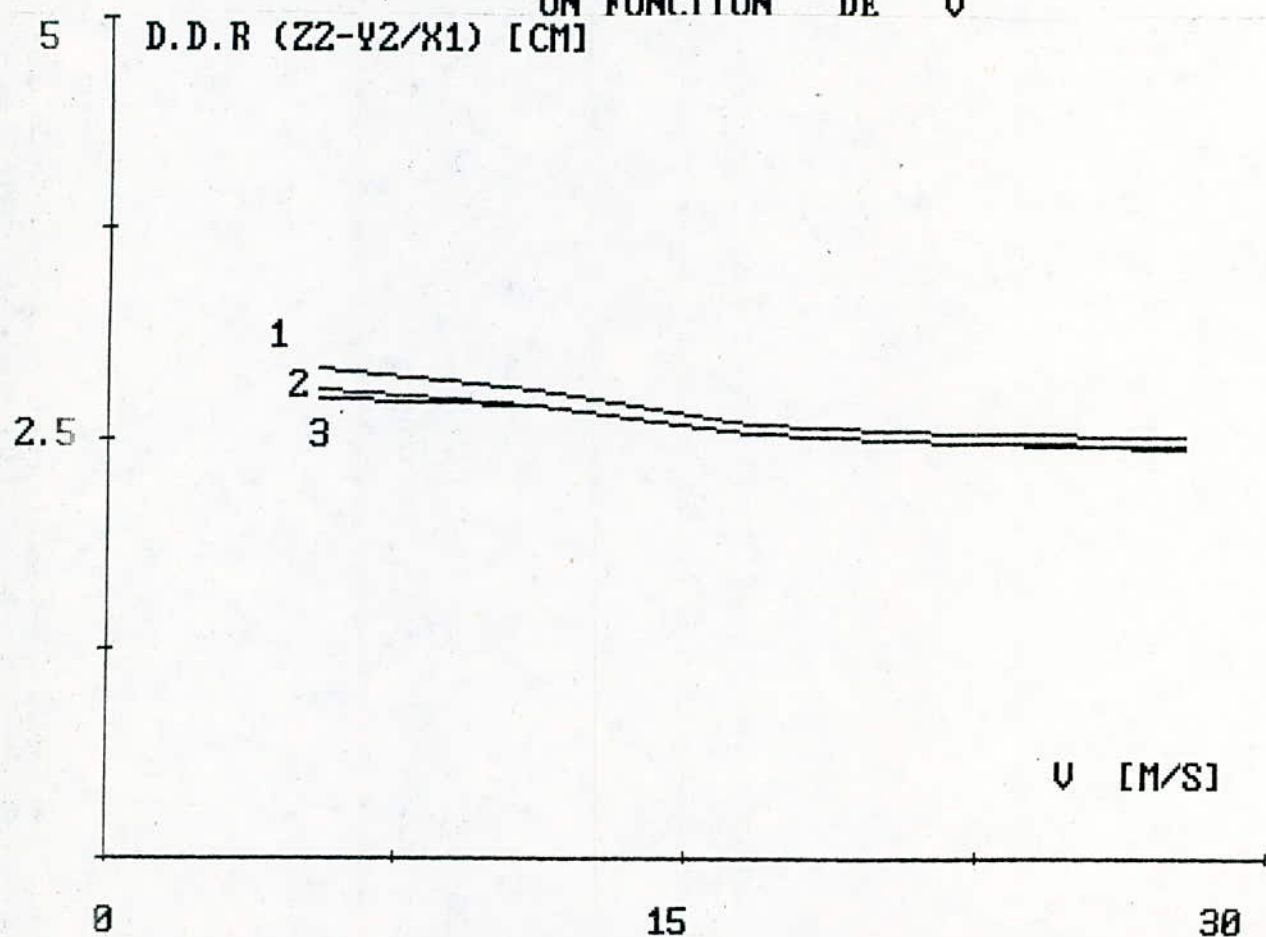
2 REM *****
3 REM PROG POUR TRACER TOUTE LES DIFF.. DISPERS.. EN FONCTION DE ALF2
4 GOSUB 70
5 FOR I=1 TO 3:READ A(I):NEXT I:DATA 5000,10000,15000
6 FOR I=1 TO 3:READ B(I):NEXT I:DATA 4.054,4.238,4.434
7 FOR I=1 TO 3:IF I=1 THEN 9
8 LINE (A(I-1),B(I-1))-(A(I),B(I))
9 NEXT I:END
70 CLS:SCREEN 3: XMAX=15000:YMAX=5:VIEW (0,0)-(480,300)
80 WINDOW (-XMAX/10,-YMAX/10)-(XMAX,YMAX)
90 LINE (0,0)-(XMAX,0):LINE (0,0)-(0,YMAX)
100 FOR I=0 TO XMAX STEP XMAX/4
110 LINE (I,-YMAX/200)-(I,YMAX/200)
120 NEXT I
130 FOR I=0 TO YMAX STEP YMAX/4
140 LINE (-XMAX/200,I)-(XMAX/200,I)
150 NEXT I
160 RETURN

```

Remarque : On a tracé les courbes que dans le cas où le camion est en charge, car c'est le cas le plus important à étudier.



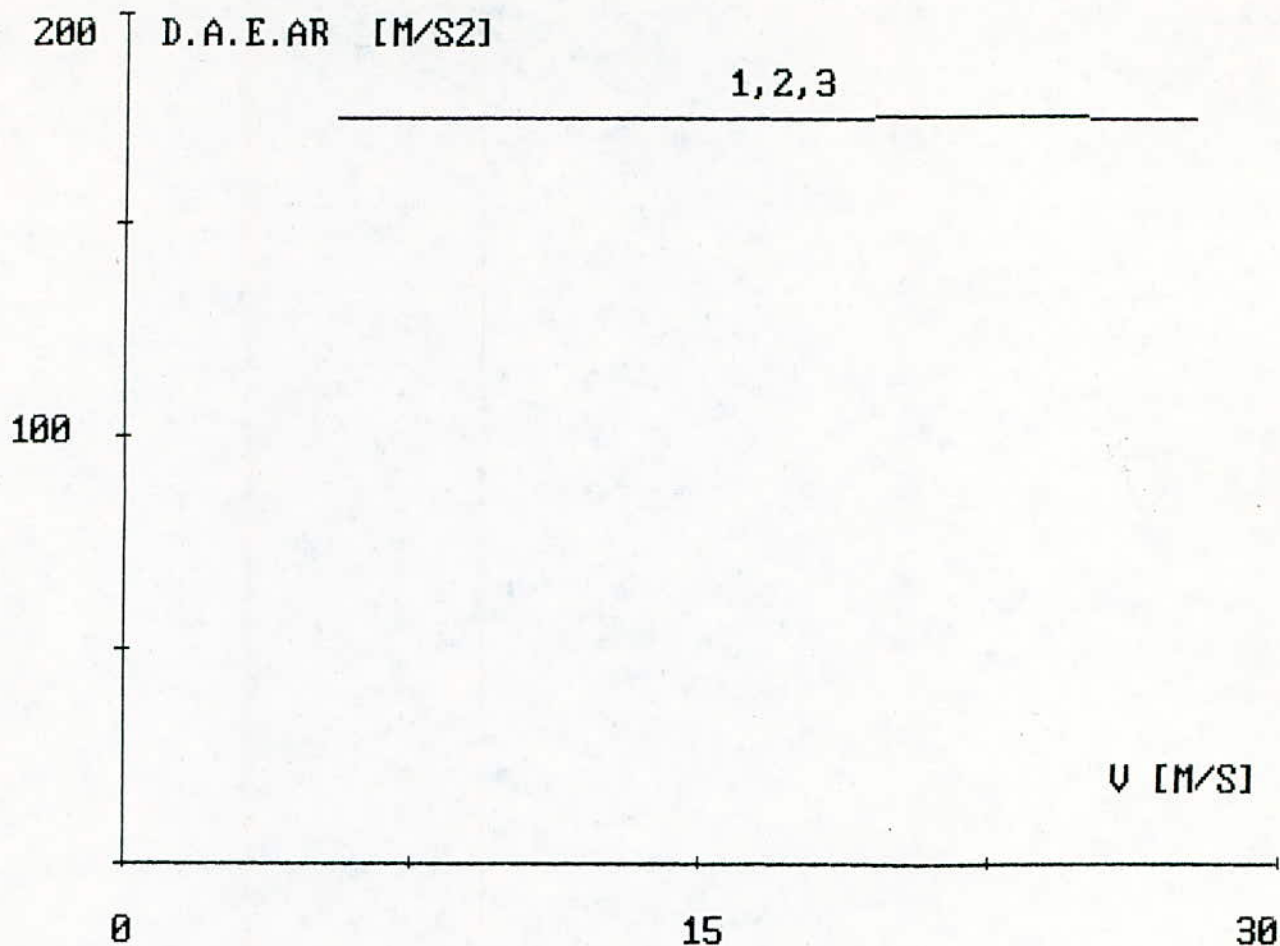
VARIATIONS DES DISPERSIONS DU DEPLACEMENT RELATIF (Z1-Ψ1/X1)  
ON FONCTION DE U



VARIATIONS DES DISPERSIONS DE DEPLACEMENT RELATIF (Z2-Ψ2/X1)  
EN FONCTION DE U

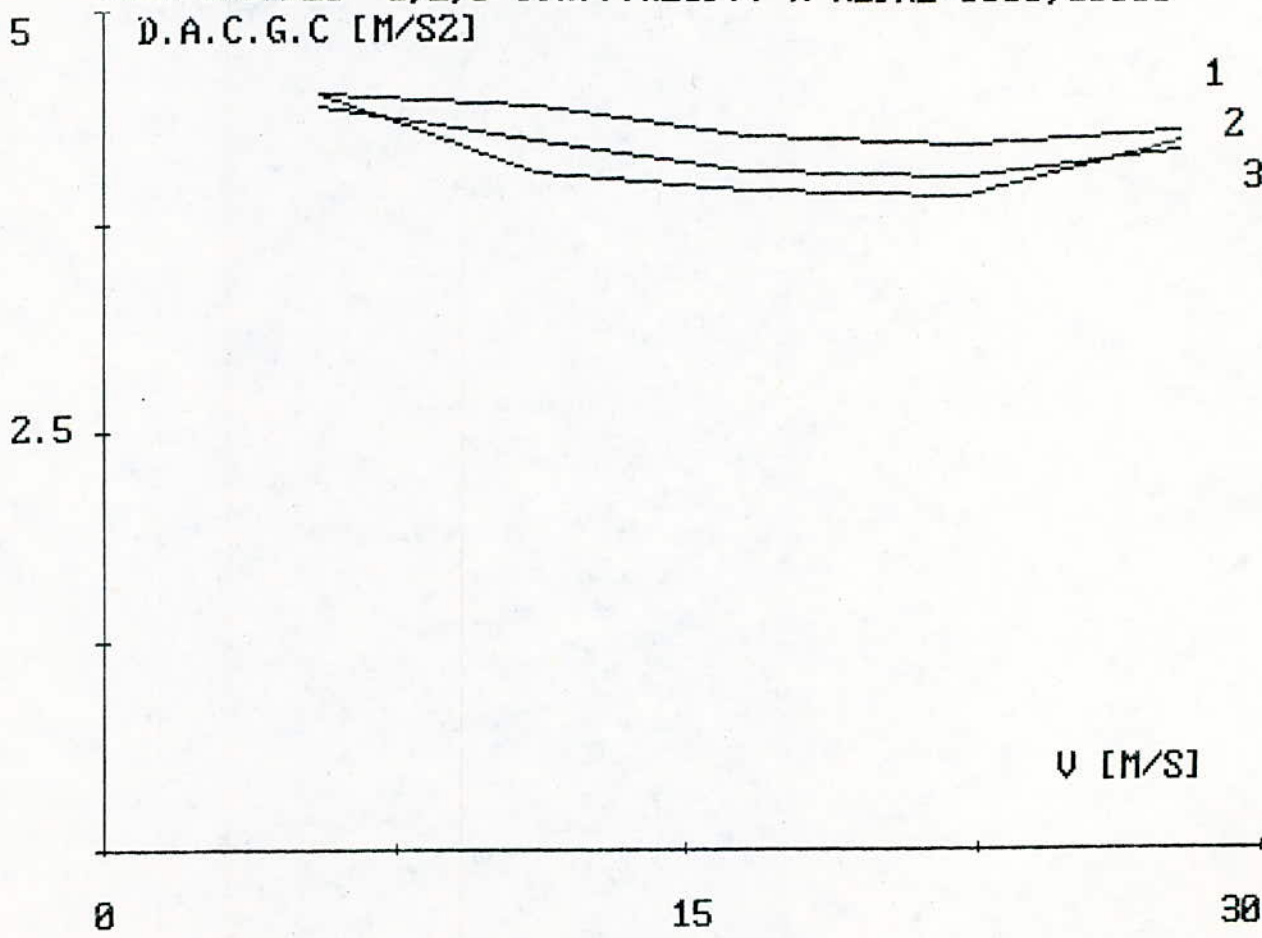
LES COURBES 1,2,3 CORRESPONDENT RESPECTIVEMENT A ALFA 2 =

5000 10000 15000 [N·S/M]

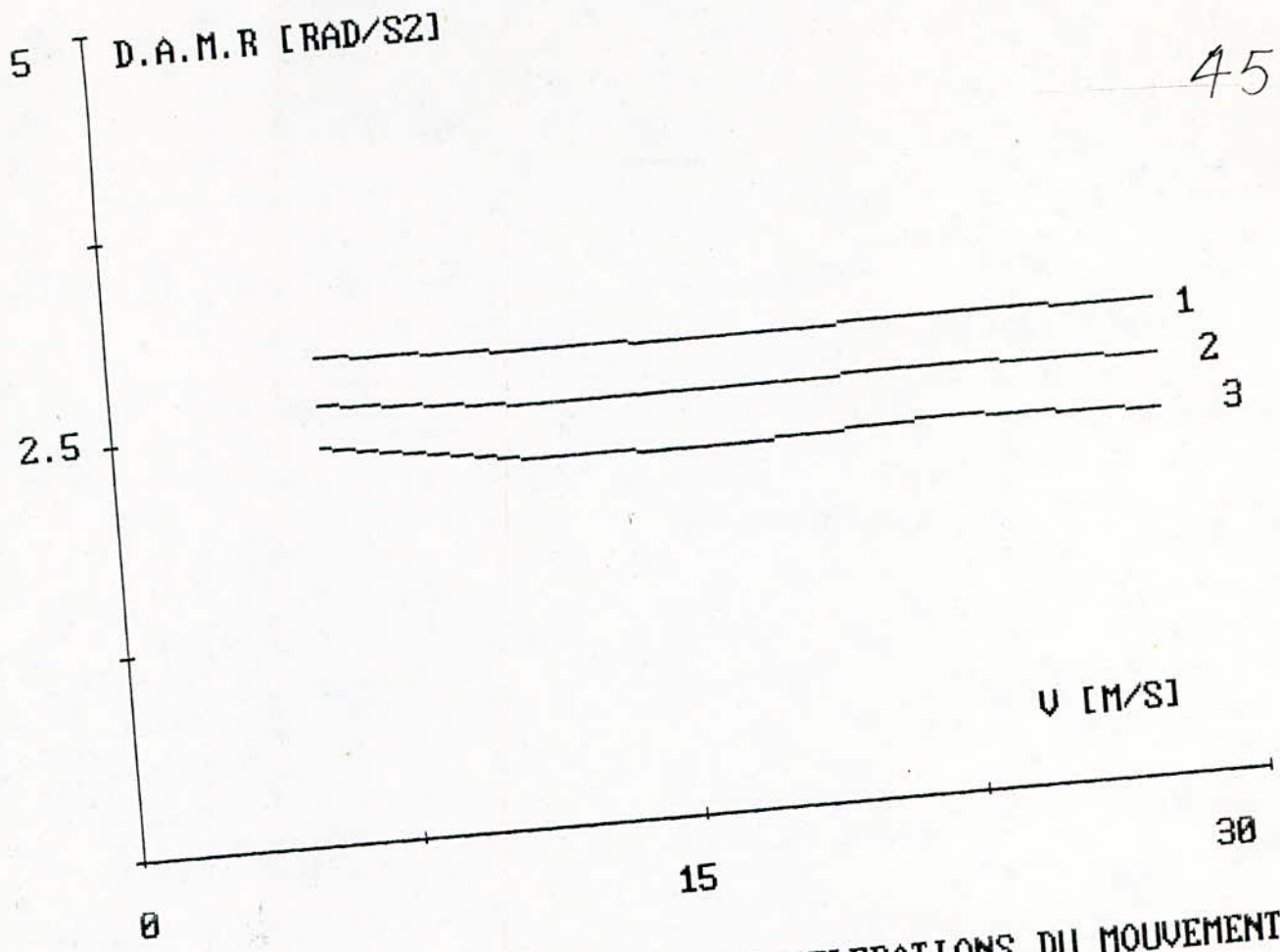


VARIATIONS DES DISPER... D'ACC...DE L'E.AR. EN FONCTION DE U

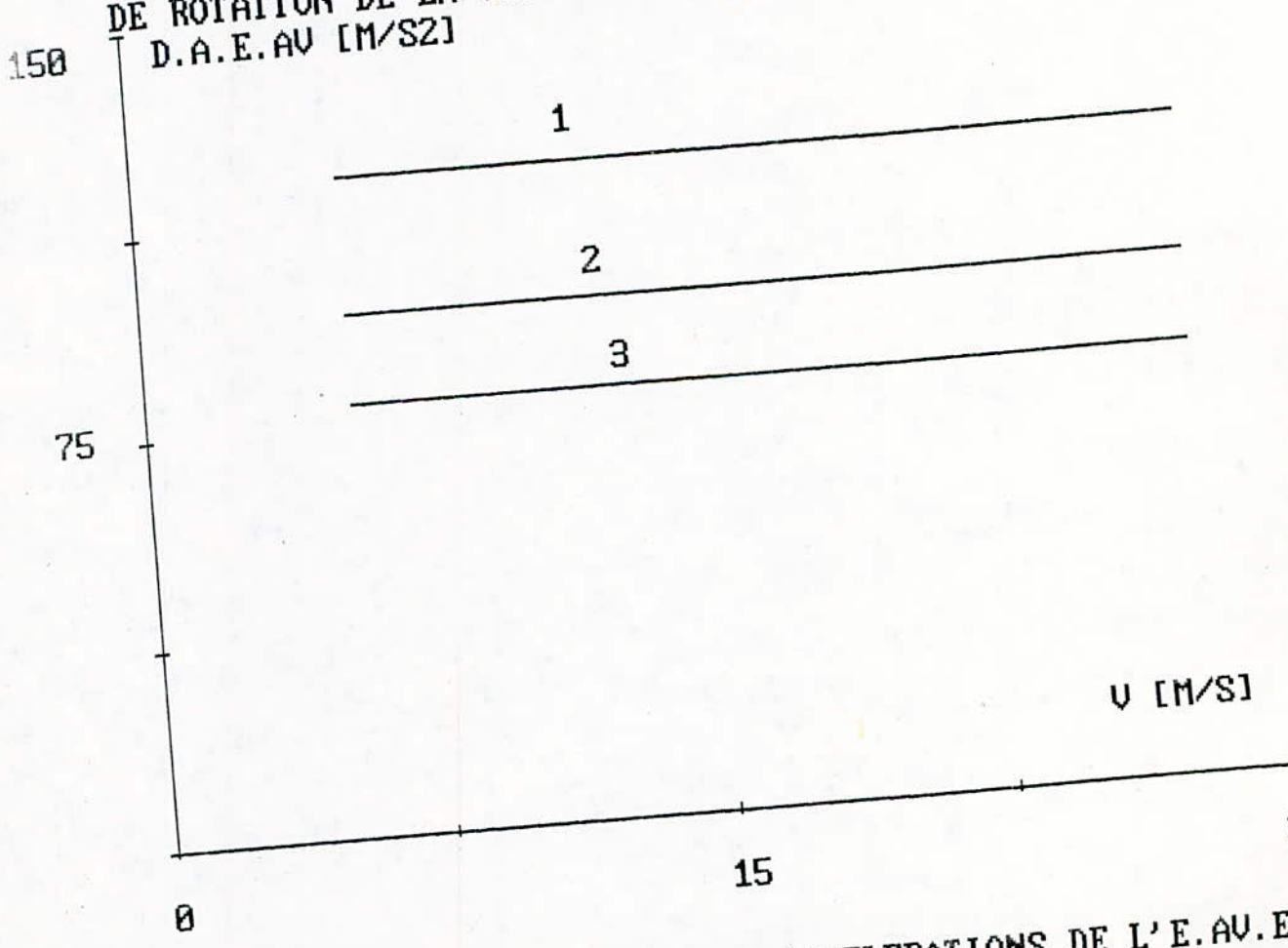
LES COURBES 1,2,3 COR...RESP... A ALFA2=5000, 10000



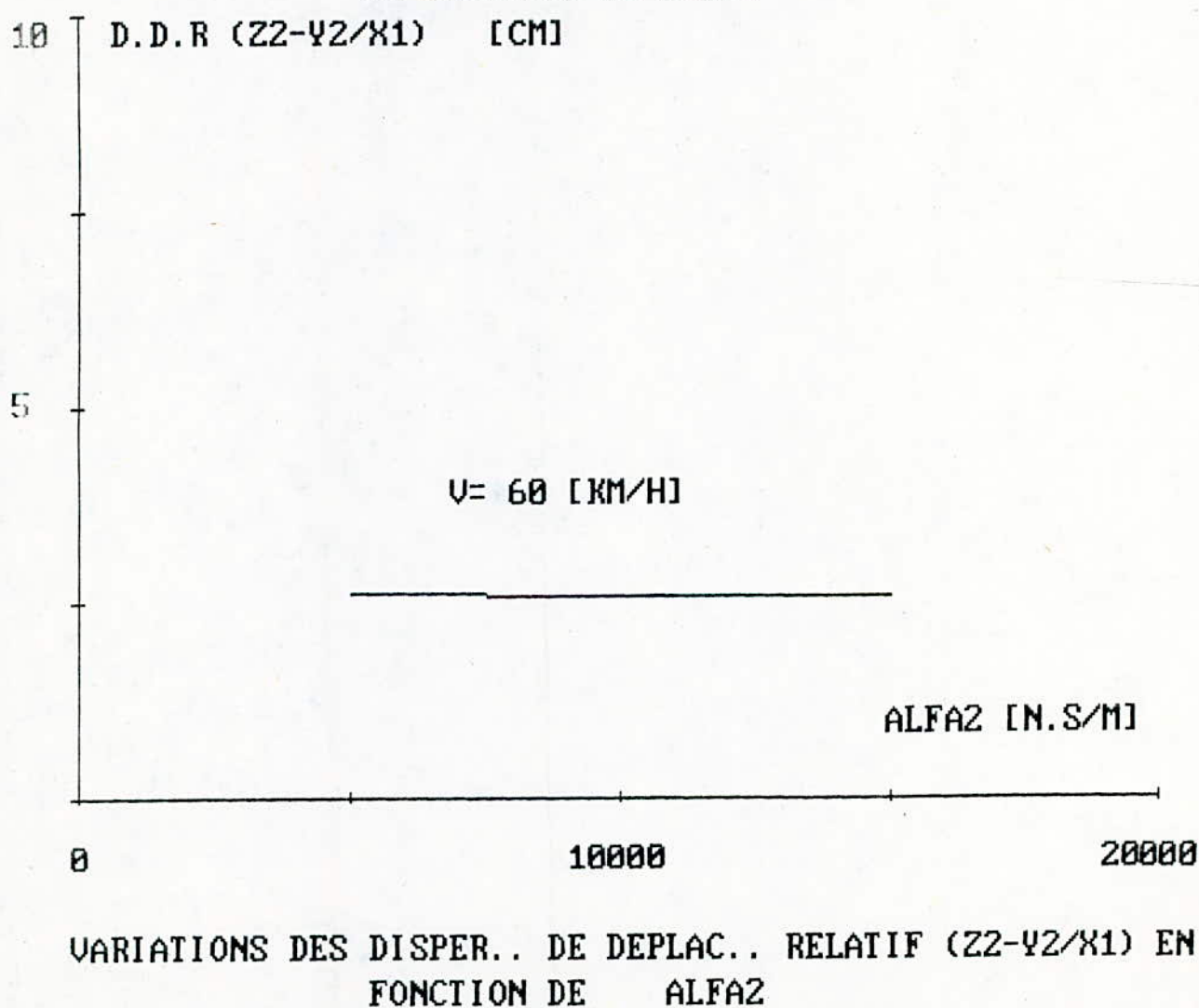
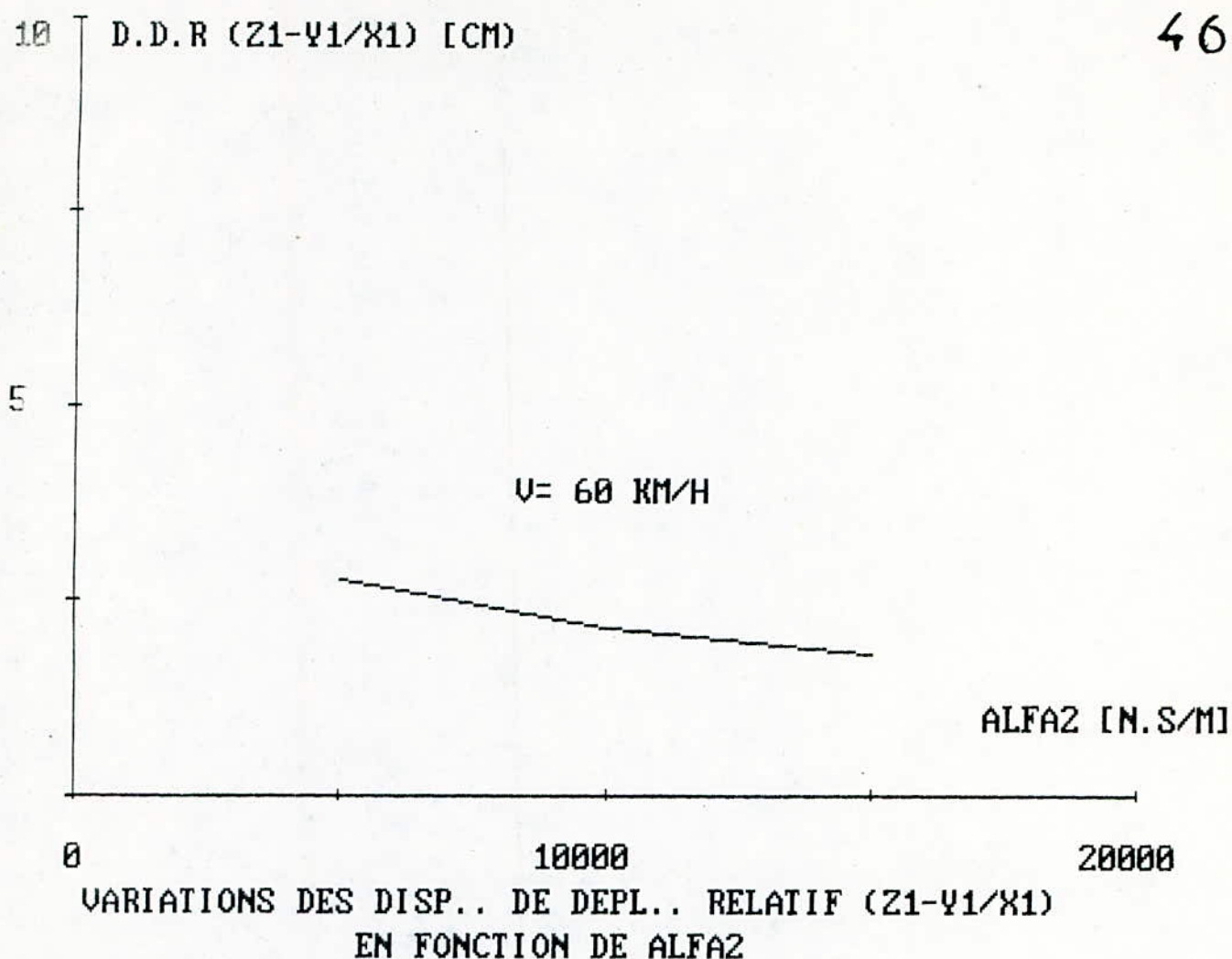
VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DU C.G.C EN FONCTION DE U

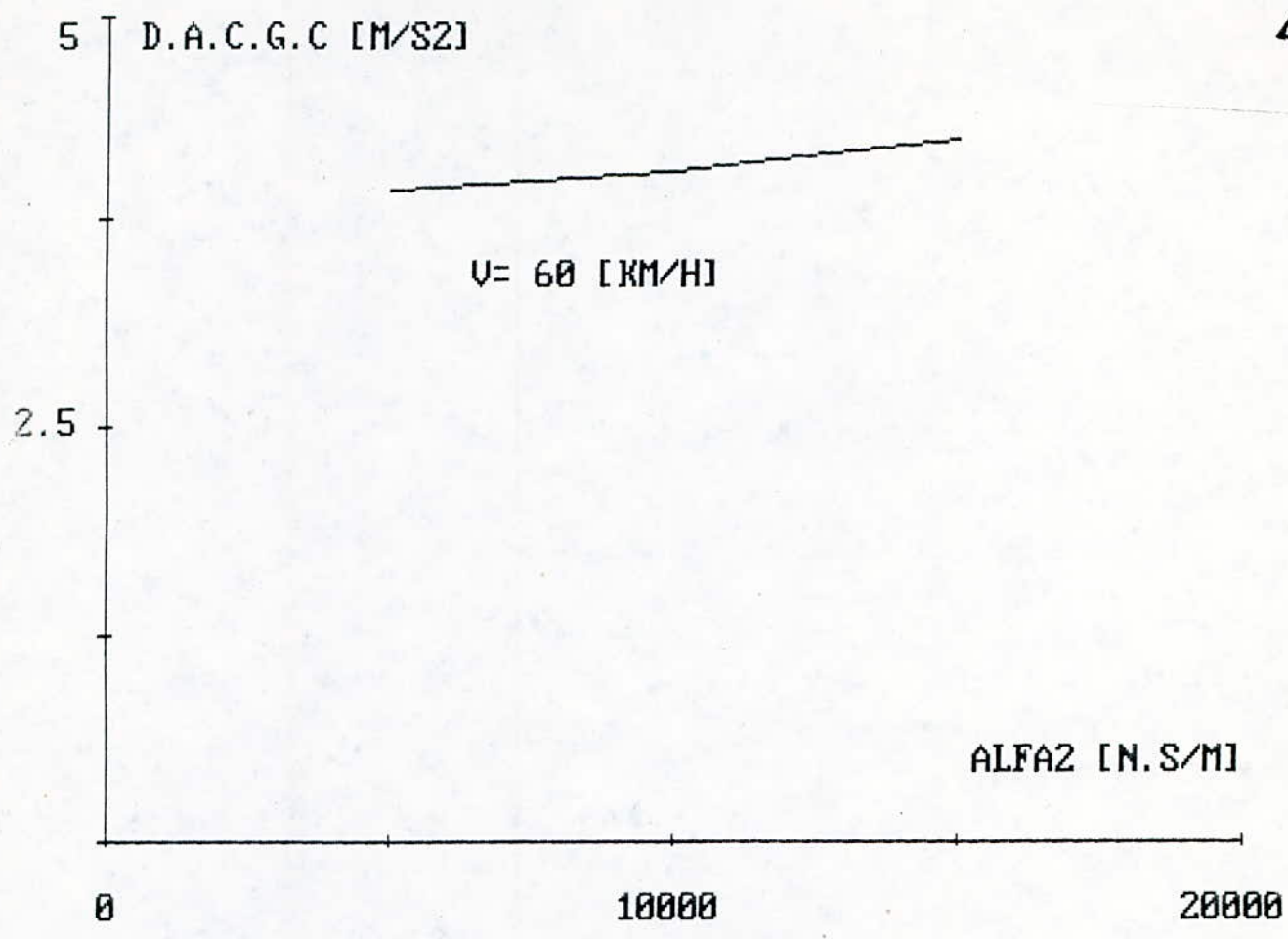


VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA CAISSE EN FONCTION DE LA VITESSE.

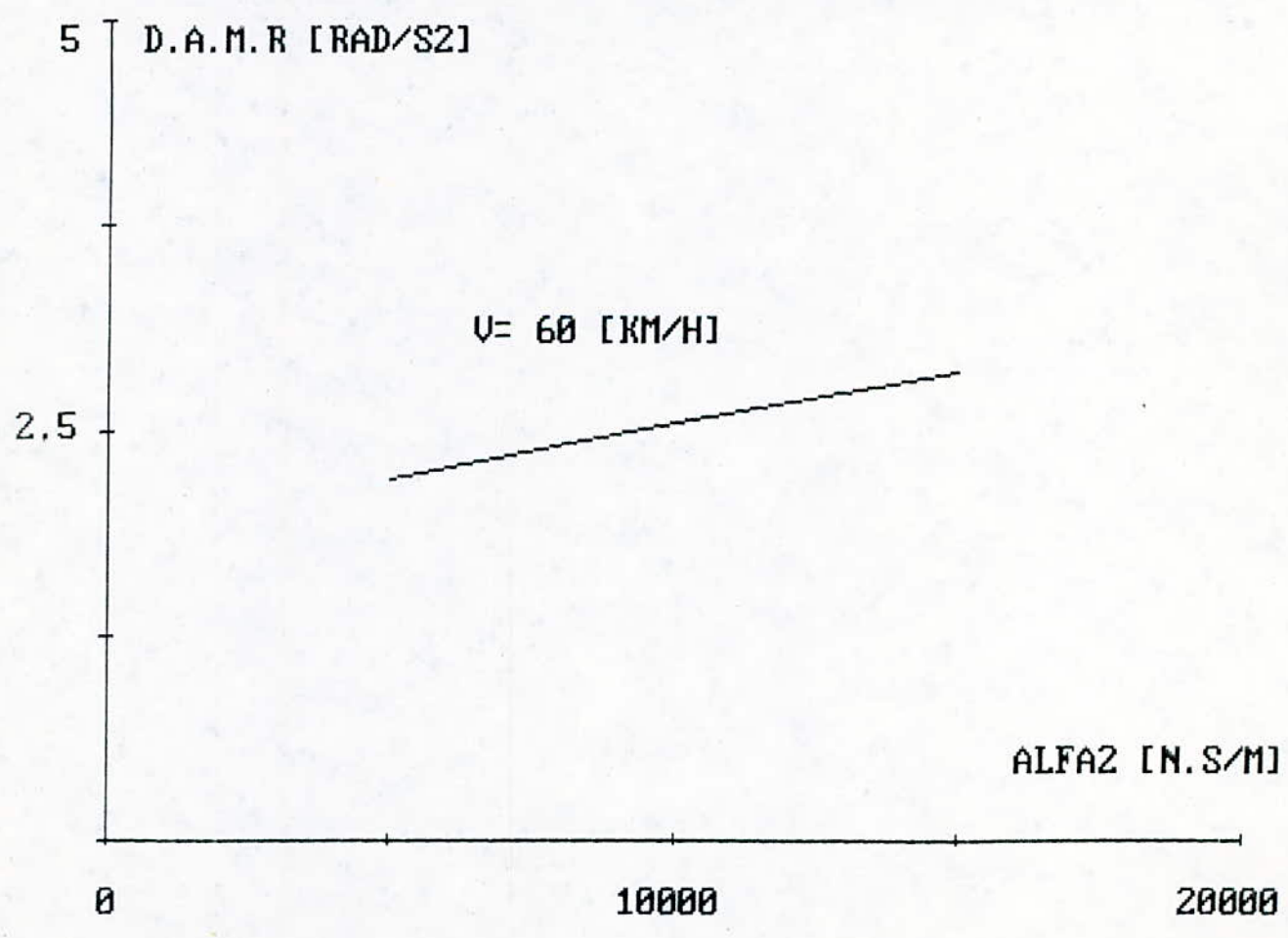


VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DE L'E.AV. EN FONCTION DE U  
 LES COURBES 1, 2, 3 CORES... RESP.... A ALFA2=5000, 10000,

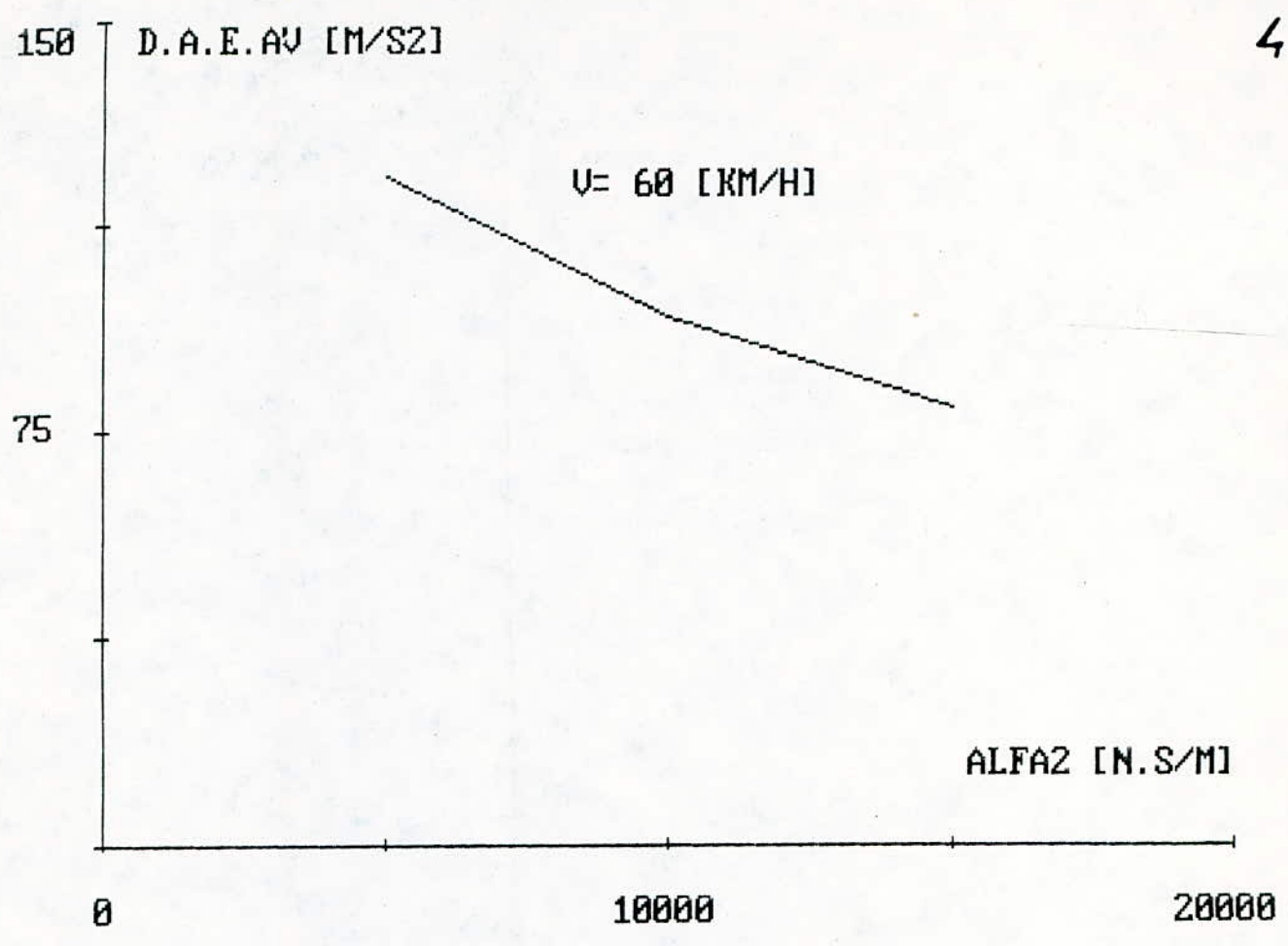




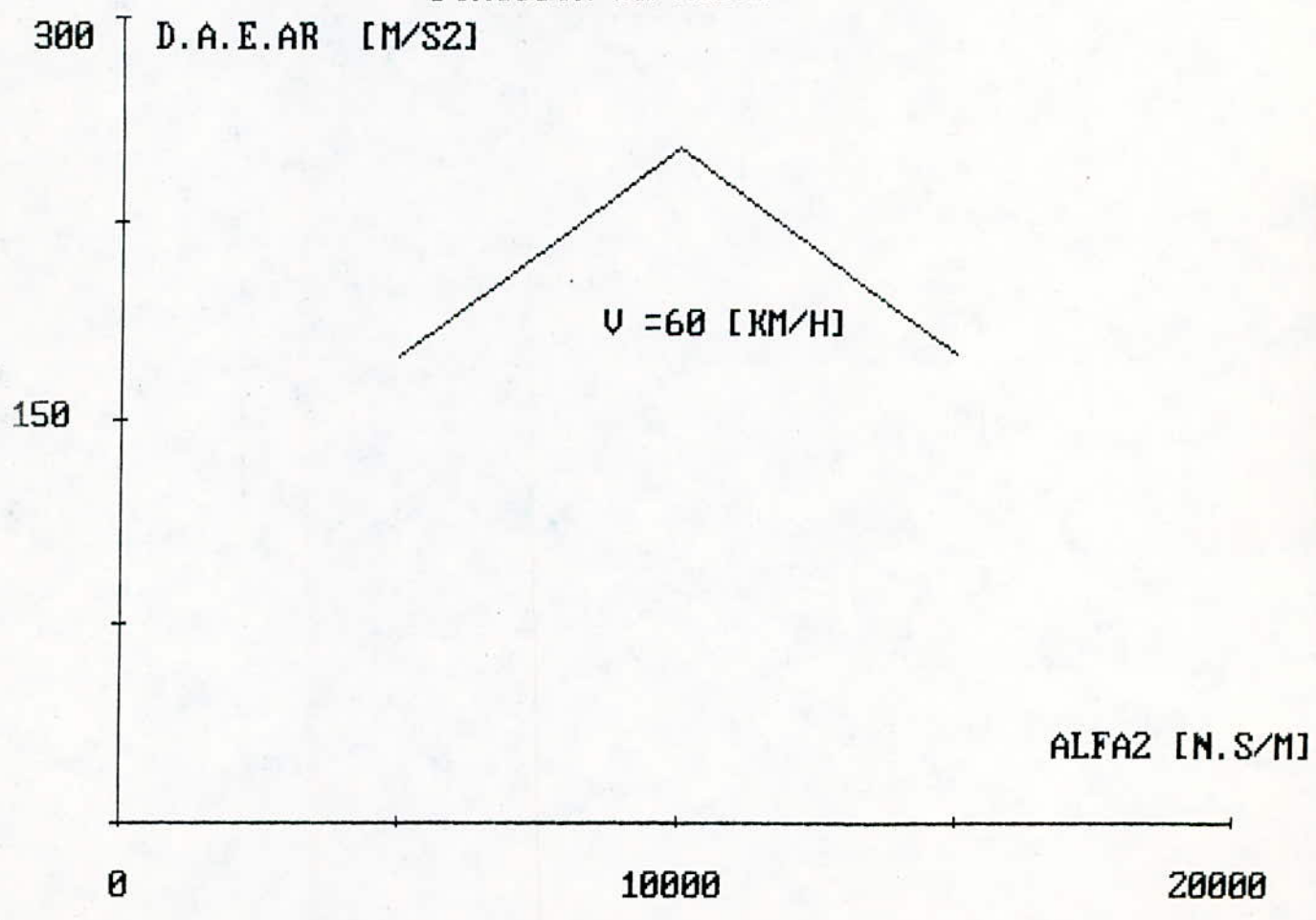
VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DU CENTRE DE GRAVITE DE LA CAISSE ON FONCTION DE ALFA2



VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA CAISSE ON FONCTUION DE ALFA2



VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DE L'E.AV. ON FONCTION DE ALFA2



VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DE L'E.AR. EN FONCTION DE ALFA2



```

=====
***** PROGRAMME POUR LE CALCUL DES DISPERSIONS DES *****
***** ACCELERATIONS ET DES DEPLACEMENTS RELATIFS *****
***** AVEC UNE DENSITE SPECTRALE VARIABLE A POUR EXPRESSION***
***** S(W)=(12.088*V*(W**2+4.3.E-2*V**2))/(W**4-7*E-2      ***
***          *V**2*W**2+18.4.E-4*V**4) *****
=====

```

```

REAL M3,M1,M2,L1,L2,IN,OMEGA(602),N1,
1 H1(602),F2(602),F3(602),F4(602),H5(602),H6(602),F(602)
REAL S11(602),H11(602),H22(602),H33(602),H44(602),
1 H55(602),H66(602)
COMPLEX A(602),B(602),C(602),D(602),E(602),F(602),G(602),I(602)
1 ,J(602),L(602),M(602),N(602),P(602),Q(602),U(602),V(602)
COMPLEX JC,T1(602),T2(602),T3(602),T4(602),T5(602)
COMPLEX T6(602),E1(602),DEL21(602),DELY22(602)
COMPLEX DELTA(602),DELY11(602),DELY12(602)
COMPLEX DELZ11(602),DELZ22(602),DELFI1(602),DELFI2(602)
COMPLEX T7(602),DEL1(602),DEL2(602)
COMPLEX DEL3(602),DEL4(602),DEL5(602),DEL6(602)
COMPLEX DEL7(602),E2(602),A1(602),A2(602),A3(602),A4(602),A5(602),
1 A6(602),A7(602),A8(602),T8(602)
PRINT *, "M1="
PRINT *, "M2="
PRINT *, "M3="
PRINT *, "C1="
PRINT *, "C2="
PRINT *, "C3="
PRINT *, "C4="
PRINT *, "L1="
PRINT *, "L2="
ACCEPT *, M1, M2, M3, C1, C2, C3, C4, L1, L2
PRINT *, " M1=", M1, "[K/G]", " M2=", M2, "[K/G]", " M3=", M3, "[K/G]"
PRINT *, " C1=", C1, "[N/M]", " C2=", C2, "[N/M]"
PRINT *, " C3=", C3, "[N/M]", " C4=", C4, "[N/M]"
PRINT *, " L1=", L1, "[M]", " L2=", L2, "[M]"
PRINT *, "ALFA1="
PRINT *, "ALFA2="
PRINT *, "ALFA3="
PRINT *, "ALFA4="
PRINT *, "IN="
ACCEPT *, ALFA1, ALFA2, ALFA3, ALFA4, IN
PRINT *, " ALFA1=", ALFA1, "[N.S/M]", " ALFA2=", ALFA2, "[N.S/M]"
PRINT *, " ALFA3=", ALFA3, "[N.S/M]", " ALFA4=", ALFA4, "[N.S/M]"
PRINT *, " IN=", IN, "[K.G.M**2]"
DO 250 X=1,5
PRINT *, " W"
ACCEPT *, W
PRINT *, " W=", W, "[M/S]", X
R=L1+L2
T11=R/W
JC=(0,1)
PI=3.14151
DO 100 K=1,601
OMEGA(K)=(K-0.9999)/4
A(K)=((-M1*OMEGA(K)**2+C1+C2)+JC*(ALFA1+ALFA2)*OMEGA(K))
B(K)=(C1+JC*ALFA1*OMEGA(K))
C(K)=- (C2+JC*OMEGA(K)*ALFA2)
D(K)=(C2*L1+JC*OMEGA(K)*ALFA2*L1)
E(K)=((-M2*OMEGA(K)**2+C3+C4)+JC*OMEGA(K)*(ALFA3+ALFA4))

```

```

F(K)=(C3+JC*OMEGA(K)*ALFA3)
G(K)=- (C4+JC*OMEGA(K)*ALFA4)
I(K)=- (C4*L2+JC*OMEGA(K)*L2*ALFA4)
J(K)=( (-M3*OMEGA(K)**2+C2+C4)+JC*OMEGA(K)*(ALFA2+ALFA4))
L(K)=- (C2+JC*OMEGA(K)*ALFA2)
M(K)=- (C4+JC*OMEGA(K)*ALFA4)
N(K)=( (C4*L2-L1*C2)+JC*OMEGA(K)*(ALFA4*L2-L1*ALFA2))
P(K)=( (-IN*OMEGA(K)**2+C2*L1**2+L2**2*C4)+JC*OMEGA(K)
1 *(ALFA2*L1**2+L2**2*ALFA4))
Q(K)=( (C4*L2-C2*L1)+JC*OMEGA(K)*(ALFA4*L2-ALFA2*L1))
L(K)=( C2*L1+JC*OMEGA(K)*ALFA2*L1)
V(K)=- (C4*L2+JC*OMEGA(K)*ALFA4*L2)
E1(K)=COS(OMEGA(K)*T11)-JC*SIN(OMEGA(K)*T11)
DEL1(K)=A(K)*E(K)*(J(K)*P(K)-Q(K)*N(K))
DEL2(K)=-A(K)*G(K)*(M(K)*P(K)-V(K)*N(K))
DEL3(K)=A(K)*I(K)*(M(K)*Q(K)-V(K)*J(K))
DEL4(K)=-C(K)*E(K)*(L(K)*P(K)-U(K)*N(K))
DEL5(K)=D(K)*E(K)*(L(K)*Q(K)-U(K)*J(K))
DEL6(K)=C(K)*I(K)*(L(K)*V(K)-U(K)*M(K))
DEL7(K)=-D(K)*G(K)*(L(K)*V(K)-U(K)*M(K))
DELTA(K)=DEL1(K)+DEL2(K)+DEL3(K)+DEL4(K)
1 +DEL5(K)+DEL6(K)+DEL7(K)
DELY11(K)=B(K)*E(K)*(J(K)*P(K)-Q(K)*N(K))-G(K)*B(K)*
1 (M(K)*P(K)-V(K)*N(K))+B(K)*I(K)*(M(K)*Q(K)-V(K)*J(K))
T1(K)=DELY11(K)/DELTA(K)
DELY12(K)=C(K)*F(K)*(M(K)*P(K)-V(K)*N(K))-D(K)*F(K)*
1 (M(K)*Q(K)-V(K)*J(K))
T2(K)=DELY12(K)/DELTA(K)
DEL21(K)=B(K)*(L(K)*P(K)-U(K)*N(K))*G(K)-(L(K)*Q(K)-
1 J(K)*L(K))*I(K)*B(K)
T3(K)=DEL21(K)/DELTA(K)
DELY22(K)=(L(K)*Q(K)-J(K)*U(K))*D(K)*F(K)+(J(K)*P(K)-Q(K)
1 *N(K))*A(K)*F(K)-(L(K)*P(K)-U(K)*N(K))*C(K)*F(K)
T4(K)=DELY22(K)/DELTA(K)
DELZ11(K)=B(K)*I(K)*(L(K)*V(K)-U(K)*M(K))-B(K)*E(K)*
1 (L(K)*P(K)-U(K)*N(K))
T5(K)=DELZ11(K)/DELTA(K)
DELZ22(K)=-A(K)*F(K)*(M(K)*P(K)-V(K)*N(K))-D(K)*F(K)
1 *(L(K)*V(K)-U(K)*M(K))
T6(K)=DELZ22(K)/DELTA(K)
DELFI1(K)=E(K)*B(K)*(L(K)*Q(K)-U(K)*J(K))-B(K)*G(K)*
1 (L(K)*V(K)-U(K)*M(K))
T7(K)=DELFI1(K)/DELTA(K)
DELFI2(K)=A(K)*F(K)*(M(K)*Q(K)-V(K)*J(K))+C(K)*F(K)*
1 (L(K)*V(K)-U(K)*M(K))
T8(K)=DELFI2(K)/DELTA(K)
A1(K)=CONJG(T1(K))
A2(K)=CONJG(T2(K))
A3(K)=CONJG(T3(K))
A4(K)=CONJG(T4(K))
A5(K)=CONJG(T5(K))
A6(K)=CONJG(T6(K))
A7(K)=CONJG(T7(K))
A8(K)=CONJG(T8(K))
E2(K)=CONJG(E1(K))
S11(K)=(12.088*W*(OMEGA(K)**2+4.3E-2*W**2))/
1 (OMEGA(K)**4-7.E-2*(W*OMEGA(K))**2+18.4E-4*W**4)
H1(K)=OMEGA(K)**4*(T5(K)+T6(K)*E1(K))*(A5(K)+A6(K)*E2(K))
H2(K)=OMEGA(K)**4*(T7(K)+T8(K)*E1(K))*(A7(K)+A8(K)*E2(K))
H3(K)=OMEGA(K)**4*(T1(K)+T2(K)*E1(K))*(A1(K)+A2(K)*E2(K))

```

```

H4(K)=OMEGA(K)**4*(T3(K)+T4(K)*E1(K))*(A3(K)+A4(K)*E2(K))
H5(K)=(T5(K)-L1*T7(K)-T1(K)+(T6(K)-T2(K)-L1*T8(K))*E1(K))*
1 (A5(K)-L1*A7(K)-A1(K)+(A6(K)-A2(K)-L1*A8(K))*E2(K))
H6(K)=(T5(K)+L2*T7(K)-T3(K)+(T6(K)+L2*T8(K)-T4(K))*E1(K))
1 *(A5(K)+L2*A7(K)-A3(K)+(A6(K)+L2*A8(K)-A4(K))*E2(K))
H11(K)=H1(K)*S11(K)
H22(K)=H2(K)*S11(K)
H33(K)=H3(K)*S11(K)
H44(K)=H4(K)*S11(K)
H55(K)=H5(K)*S11(K)
H66(K)=H6(K)*S11(K)
100 CONTINUE
CALL DISPER(601,H11,VAL)
VAL=SQRT(VAL)
PRINT*, 'I1=', VAL, '[M/S**2]'
CALL DISPER(601,H22,VAL)
VAL=SQRT(VAL)
PRINT*, 'I2=', VAL, '[RAD/S**2]'
CALL DISPER(601,H33,VAL)
VAL=SQRT(VAL)
PRINT*, 'I3=', VAL, '[M/S**2]'
CALL DISPER(601,H44,VAL)
VAL=SQRT(VAL)
PRINT*, 'I4=', VAL, '[M/S**2]'
CALL DISPER(601,H55,VAL)
VAL=SQRT(VAL)
PRINT*, 'I5=', VAL, '[M]'
CALL DISPER(601,H66,VAL)
VAL=SQRT(VAL)
PRINT*, 'I6=', VAL, '[M]'
250 CONTINUE
STOP
END
SUBROUTINE DISPER(N,H,VAL)
DIMENSION H(N)
I0=1
T22=0.
T1=(H(I0)+H(N))/2
DO 3 K=2,N-1
T22=T22+H(K)
3 CONTINUE
VAL=0.079*(T22+T1)
RETURN
END

```

M1=  
M2=  
M3=  
C1=  
C2=  
C3=  
C4=  
L1=  
L2=

M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 2667.000 [KG]  
C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]  
C3= 2227000. [N/M] C4= 795160.0 [N/M]  
L1= 2.340000 [M] L2= 0.2600000 [M]

ALFA1=  
ALFA2=  
ALFA3=  
ALFA4=

IN=

ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 5000.000 [N.S/M]  
ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]  
IN= 9826.850 [KG.M\*\*2]

W

W= 5.550000 [M/S] 1.000000  
I1= 2.123528 [M/S\*\*2]  
I2= 1.106020 [RAD/S\*\*2]  
I3= 10.94096 [M/S\*\*2]  
I4= 14.80145 [M/S\*\*2]  
I5= 1.3939598E-02 [M]  
I6= 8.5030915E-03 [M]

W

W= 11.11000 [M/S] 2.000000  
I1= 3.556044 [M/S\*\*2]  
I2= 2.054718 [RAD/S\*\*2]  
I3= 15.51615 [M/S\*\*2]  
I4= 20.93215 [M/S\*\*2]  
I5= 2.5767531E-02 [M]  
I6= 1.5656756E-02 [M]

W

W= 16.66000 [M/S] 3.000000  
I1= 2.855145 [M/S\*\*2]  
I2= 2.221938 [RAD/S\*\*2]  
I3= 19.01217 [M/S\*\*2]  
I4= 25.63708 [M/S\*\*2]  
I5= 2.7706379E-02 [M]  
I6= 1.5026714E-02 [M]

W

W= 22.22000 [M/S] 4.000000  
I1= 3.600224 [M/S\*\*2]  
I2= 2.462489 [RAD/S\*\*2]  
I3= 22.03115 [M/S\*\*2]  
I4= 29.81819 [M/S\*\*2]  
I5= 3.1373505E-02 [M]  
I6= 1.5693048E-02 [M]

W

W= 27.77000 [M/S] 5.000000  
I1= 4.963513 [M/S\*\*2]  
I2= 2.790095 [RAD/S\*\*2]  
I3= 24.63823 [M/S\*\*2]  
I4= 33.24944 [M/S\*\*2]  
I5= 3.6409430E-02 [M]

I6= 1.7703494E-02 [M]  
FORTRAN STOP

M1=  
M2=  
M3=  
C1=  
C2=  
C3=  
C4=  
L1=  
L2=

M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 2667.000 [KG]  
C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]  
C3= 2227000. [N/M] C4= 795160.0 [N/M]  
L1= 2.340000 [M] L2= 0.2600000 [M]

ALFA1=  
ALFA2=  
ALFA3=  
ALFA4=

IN=

ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 10000.00 [N.S/M]  
ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]  
IN= 9826.850 [KG.M\*\*2]

W

W= 5.550000 [M/S] 1.000000  
I1= 1.935903 [M/S\*\*2]  
I2= 0.9247680 [RAD/S\*\*2]  
I3= 8.415013 [M/S\*\*2]  
I4= 14.79825 [M/S\*\*2]  
I5= 1.0500115E-02[M]  
I6= 7.4006096E-03[M]

W

W= 11.11000 [M/S] 2.000000  
I1= 3.342648 [M/S\*\*2]  
I2= 1.691610 [RAD/S\*\*2]  
I3= 11.94619 [M/S\*\*2]  
I4= 20.93741 [M/S\*\*2]  
I5= 1.9537967E-02[M]  
I6= 1.3585065E-02[M]

W

W= 16.66000 [M/S] 3.000000  
I1= 2.848733 [M/S\*\*2]  
I2= 1.846140 [RAD/S\*\*2]  
I3= 14.63595 [M/S\*\*2]  
I4= 25.64044 [M/S\*\*2]  
I5= 2.1133667E-02[M]  
I6= 1.3057516E-02[M]

W

W= 22.22000 [M/S] 4.000000  
I1= 2.979226 [M/S\*\*2]  
I2= 2.065741 [RAD/S\*\*2]  
I3= 16.94466 [M/S\*\*2]  
I4= 29.80182 [M/S\*\*2]  
I5= 2.3956288E-02[M]  
I6= 1.3035795E-02[M]

W

W= 27.77000 [M/S] 5.000000  
I1= 3.717191 [M/S\*\*2]  
I2= 2.355555 [RAD/S\*\*2]  
I3= 19.02028 [M/S\*\*2]  
I4= 33.28712 [M/S\*\*2]  
I5= 2.7618865E-02[M]

I6= 1.4106938E-02[M]

FORTRAN STOP

M1=  
M2=  
M3=  
C1=  
C2=  
C3=  
C4=  
L1=  
L2=

M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 2667.000 [KG]  
C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]  
C3= 2227000. [N/M] C4= 795160.0 [N/M]  
L1= 2.340000 [M] L2= 0.2600000 [M]

ALFA1=  
ALFA2=  
ALFA3=  
ALFA4=

IN=

ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 15000.00 [N.S/M]  
ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]  
IN= 9826.850 [KG.M\*\*2]

W

W= 5.550000 [M/S] 1.000000  
I1= 1.924324 [M/S\*\*2]  
I2= 0.8728470 [RAD/S\*\*2]  
I3= 6.970966 [M/S\*\*2]  
I4= 14.79785 [M/S\*\*2]  
I5= 8.6262235E-03[M]  
I6= 7.0905341E-03[M]

W

W= 11.11000 [M/S] 2.000000  
I1= 3.322989 [M/S\*\*2]  
I2= 1.585158 [RAD/S\*\*2]  
I3= 9.911698 [M/S\*\*2]  
I4= 20.94407 [M/S\*\*2]  
I5= 1.6200272E-02[M]  
I6= 1.3123258E-02[M]

W

W= 16.66000 [M/S] 3.000000  
I1= 3.074241 [M/S\*\*2]  
I2= 1.735910 [RAD/S\*\*2]  
I3= 12.13518 [M/S\*\*2]  
I4= 25.64530 [M/S\*\*2]  
I5= 1.7594967E-02[M]  
I6= 1.2940599E-02[M]

W

W= 22.22000 [M/S] 4.000000  
I1= 2.975729 [M/S\*\*2]  
I2= 1.954212 [RAD/S\*\*2]  
I3= 14.05805 [M/S\*\*2]  
I4= 29.78522 [M/S\*\*2]  
I5= 1.9794799E-02[M]  
I6= 1.2762017E-02[M]

W

W= 27.77000 [M/S] 5.000000  
I1= 3.321670 [M/S\*\*2]  
I2= 2.243615 [RAD/S\*\*2]  
I3= 15.80267 [M/S\*\*2]  
I4= 33.30363 [M/S\*\*2]  
I5= 2.2860909E-02[M]

I6= 1.3468660E-02[M]  
FORTRAN STOP

```

M1=
M2=
M3=
C1=
C2=
C3=
C4=
L1=
L2=
M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 5957.000 [KG]
C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]
C3= 2227000. [N/M] C4= 795160.0 [N/M]
L1= 2.340000 [M] L2= 0.2600000 [M]
ALFA1=
ALFA2=
ALFA3=
ALFA4=
IN=
ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 5000.000 [N.S/M]
ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]
IN= 11828.48 [KG.M**2]
W
W= 5.550000 [M/S] 1.000000
I1= 1.890595 [M/S**2]
I2= 1.339920 [RAD/S**2]
I3= 11.05063 [M/S**2]
I4= 14.98588 [M/S**2]
I5= 1.9917157E-02[M]
I6= 1.6530463E-02[M]
W
W= 11.11000 [M/S] 2.000000
I1= 1.966998 [M/S**2]
I2= 1.806987 [RAD/S**2]
I3= 15.63375 [M/S**2]
I4= 21.20803 [M/S**2]
I5= 2.4824647E-02[M]
I6= 2.2282993E-02[M]
W
W= 16.66000 [M/S] 3.000000
I1= 2.190239 [M/S**2]
I2= 2.226215 [RAD/S**2]
I3= 19.18875 [M/S**2]
I4= 26.00009 [M/S**2]
I5= 3.2004464E-02[M]
I6= 2.4239499E-02[M]
W
W= 22.22000 [M/S] 4.000000
I1= 2.921210 [M/S**2]
I2= 2.774292 [RAD/S**2]
I3= 22.23832 [M/S**2]
I4= 30.13957 [M/S**2]
I5= 4.1358139E-02[M]
I6= 2.8667973E-02[M]
W
W= 27.77000 [M/S] 5.000000
I1= 3.889599 [M/S**2]
I2= 3.477206 [RAD/S**2]
I3= 24.92836 [M/S**2]
I4= 33.71210 [M/S**2]
I5= 5.2814085E-02[M]

```

```

I6= 3.5527017E-02[M]
FORTRAN STOP

```

M1=  
M2=  
M3=  
C1=  
C2=  
C3=  
C4=  
L1=  
L2=  
M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 5957.000 [KG]  
C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]  
C3= 2227000. [N/M] C4= 795160.0 [N/M]  
L1= 2.340000 [M] L2= 0.2600000 [M]

ALFA1=  
ALFA2=  
ALFA3=  
ALFA4=  
IN=

ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 10000.00 [N.S/M]  
ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]  
IN= 11828.48 [KG.M\*\*2]

W  
W= 5.550000 [M/S] 1.000000  
I1= 1.610273 [M/S\*\*2]  
I2= 1.119010 [RAC/S\*\*2]  
I3= 3.477259 [M/S\*\*2]  
I4= 14.98414 [M/S\*\*2]  
I5= 1.5084951E-02[M]  
I6= 1.4600401E-02[M]

W  
W= 11.11000 [M/S] 2.000000  
I1= 1.885677 [M/S\*\*2]  
I2= 1.533843 [RAC/S\*\*2]  
I3= 11.99883 [M/S\*\*2]  
I4= 21.20682 [M/S\*\*2]  
I5= 1.9872995E-02[M]  
I6= 1.9639706E-02[M]

W  
W= 16.66000 [M/S] 3.000000  
I1= 1.917673 [M/S\*\*2]  
I2= 1.881268 [RAC/S\*\*2]  
I3= 14.73061 [M/S\*\*2]  
I4= 25.99870 [M/S\*\*2]  
I5= 2.5009820E-02[M]  
I6= 2.1152280E-02[M]

W  
W= 22.22000 [M/S] 4.000000  
I1= 2.386060 [M/S\*\*2]  
I2= 2.332081 [RAC/S\*\*2]  
I3= 17.07165 [M/S\*\*2]  
I4= 30.13397 [M/S\*\*2]  
I5= 3.1862345E-02[M]  
I6= 2.4885515E-02[M]

W  
W= 27.77000 [M/S] 5.000000  
I1= 3.117983 [M/S\*\*2]  
I2= 2.908373 [RAC/S\*\*2]  
I3= 19.17009 [M/S\*\*2]  
I4= 33.72583 [M/S\*\*2]  
I5= 4.0453862E-02[M]

I6= 3.0799299E-02[M]  
FORTRAN STOP



M1=  
M2=  
M3=  
C1=  
C2=  
C3=  
C4=  
L1=  
L2=

M1= 233.0000 [KG] M2= 410.0000 [KG] M3= 5957.000 [KG]  
C1= 1032000. [N/M] C2= 287857.0 [N/M]  
C3= 2227000. [N/M] C4= 755160.0 [N/M]  
L1= 2.340000 [CM] L2= 0.2600000 [CM]

ALFA1=  
ALFA2=  
ALFA3=  
ALFA4=

IN=  
ALFA1= 5000.000 [N.S/M] ALFA2= 15000.00 [N.S/M]  
ALFA3= 10000.00 [N.S/M] ALFA4= 5000.000 [N.S/M]  
IN= 11828.48 [KG.M\*\*2]

W  
W= 5.550000 [M/S] 1.000000  
I1= 1.530148 [M/S\*\*2]  
I2= 1.029405 [RAD/S\*\*2]  
I3= 6.952885 [M/S\*\*2]  
I4= 14.98378 [M/S\*\*2]  
I5= 1.2386649E-02[CM]  
I6= 1.3939939E-02[CM]

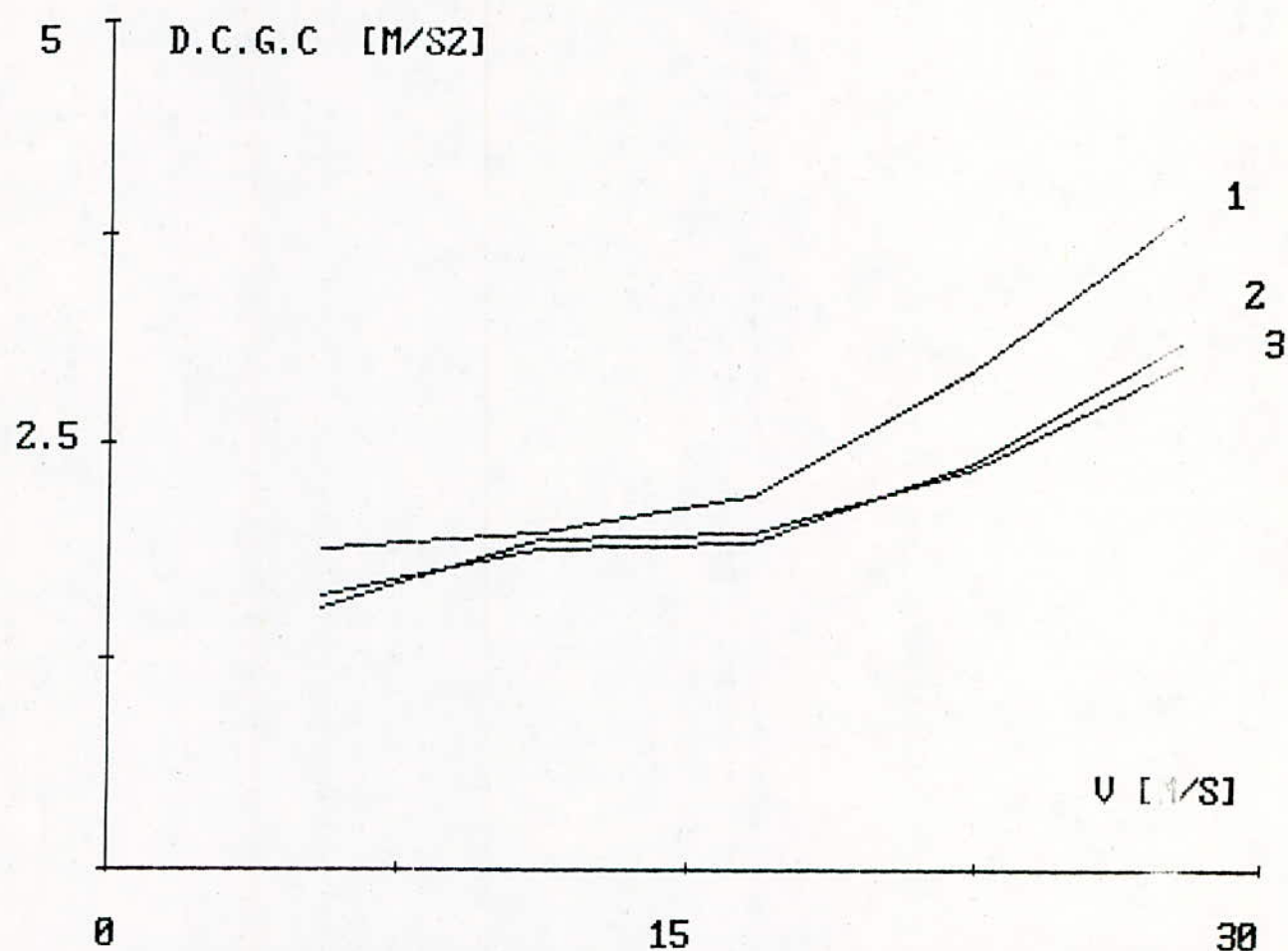
W  
W= 11.11000 [M/S] 2.000000  
I1= 1.943424 [M/S\*\*2]  
I2= 1.416220 [RAD/S\*\*2]  
I3= 9.845863 [M/S\*\*2]  
I4= 21.20709 [M/S\*\*2]  
I5= 1.6783683E-02[CM]  
I6= 1.8910090E-02[CM]

W  
W= 16.66000 [M/S] 3.000000  
I1= 1.967259 [M/S\*\*2]  
I2= 1.738116 [RAD/S\*\*2]  
I3= 12.08951 [M/S\*\*2]  
I4= 25.99943 [M/S\*\*2]  
I5= 2.0897325E-02[CM]  
I6= 2.0519428E-02[CM]

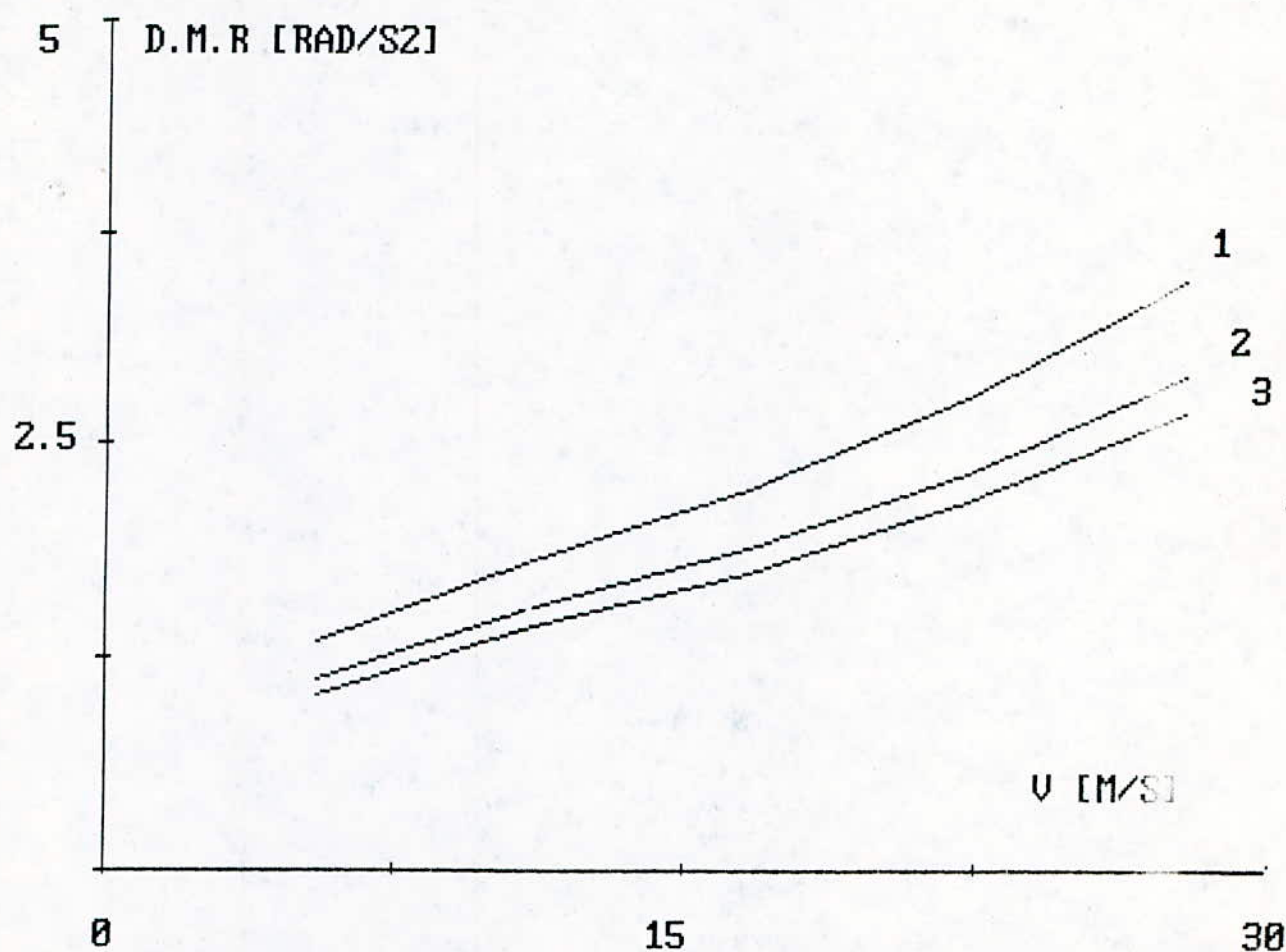
W  
W= 22.22000 [M/S] 4.000000  
I1= 2.339747 [M/S\*\*2]  
I2= 2.155747 [RAD/S\*\*2]  
I3= 14.02290 [M/S\*\*2]  
I4= 30.12898 [M/S\*\*2]  
I5= 2.6449822E-02[CM]  
I6= 2.4202252E-02[CM]

W  
W= 27.77000 [M/S] 5.000000  
I1= 2.981373 [M/S\*\*2]  
I2= 2.683853 [RAD/S\*\*2]  
I3= 15.76759 [M/S\*\*2]  
I4= 33.73395 [M/S\*\*2]  
I5= 3.3482049E-02[CM]

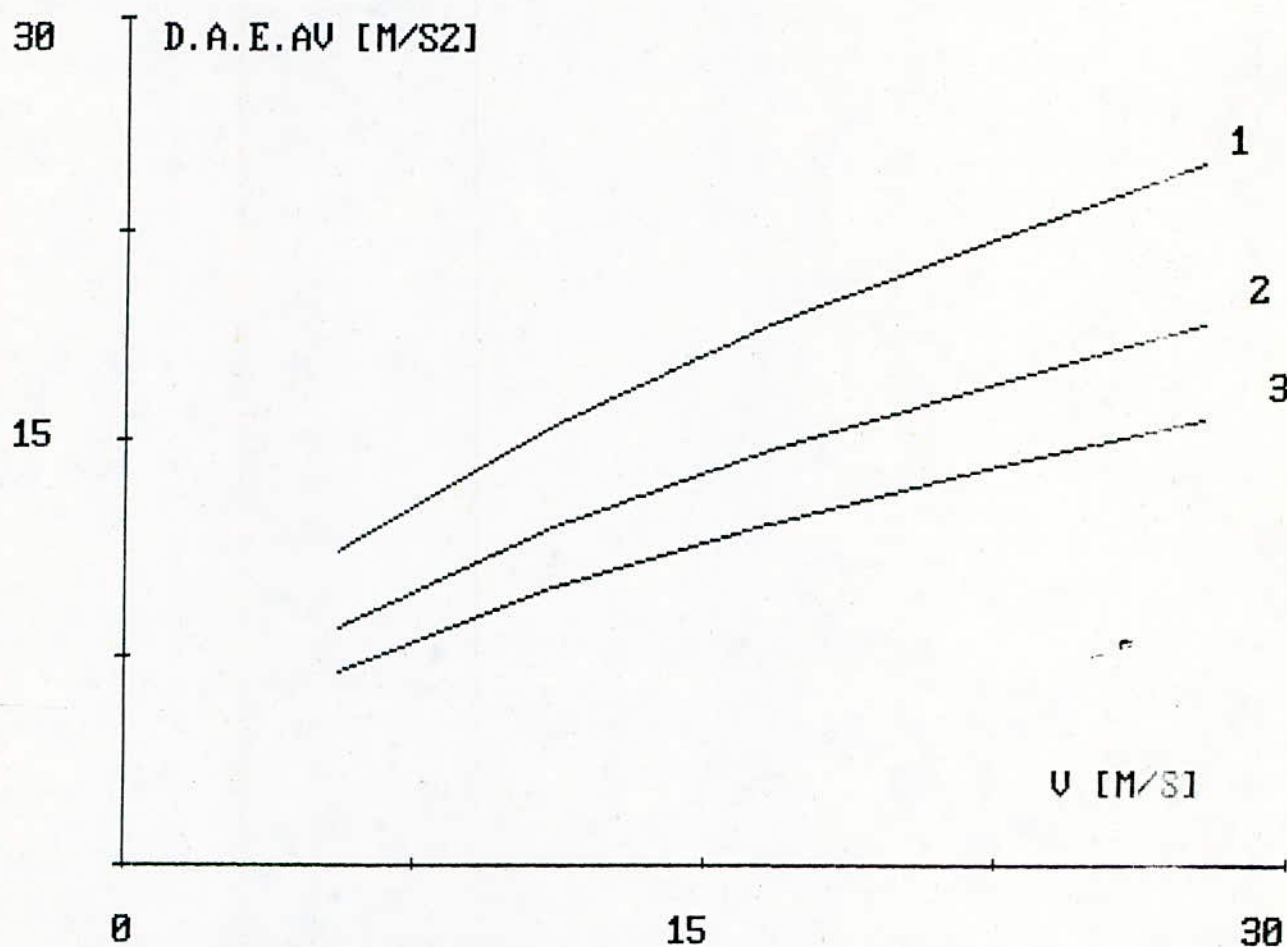
I6= 2.9999731E-02[CM]  
FORTRAN STOP



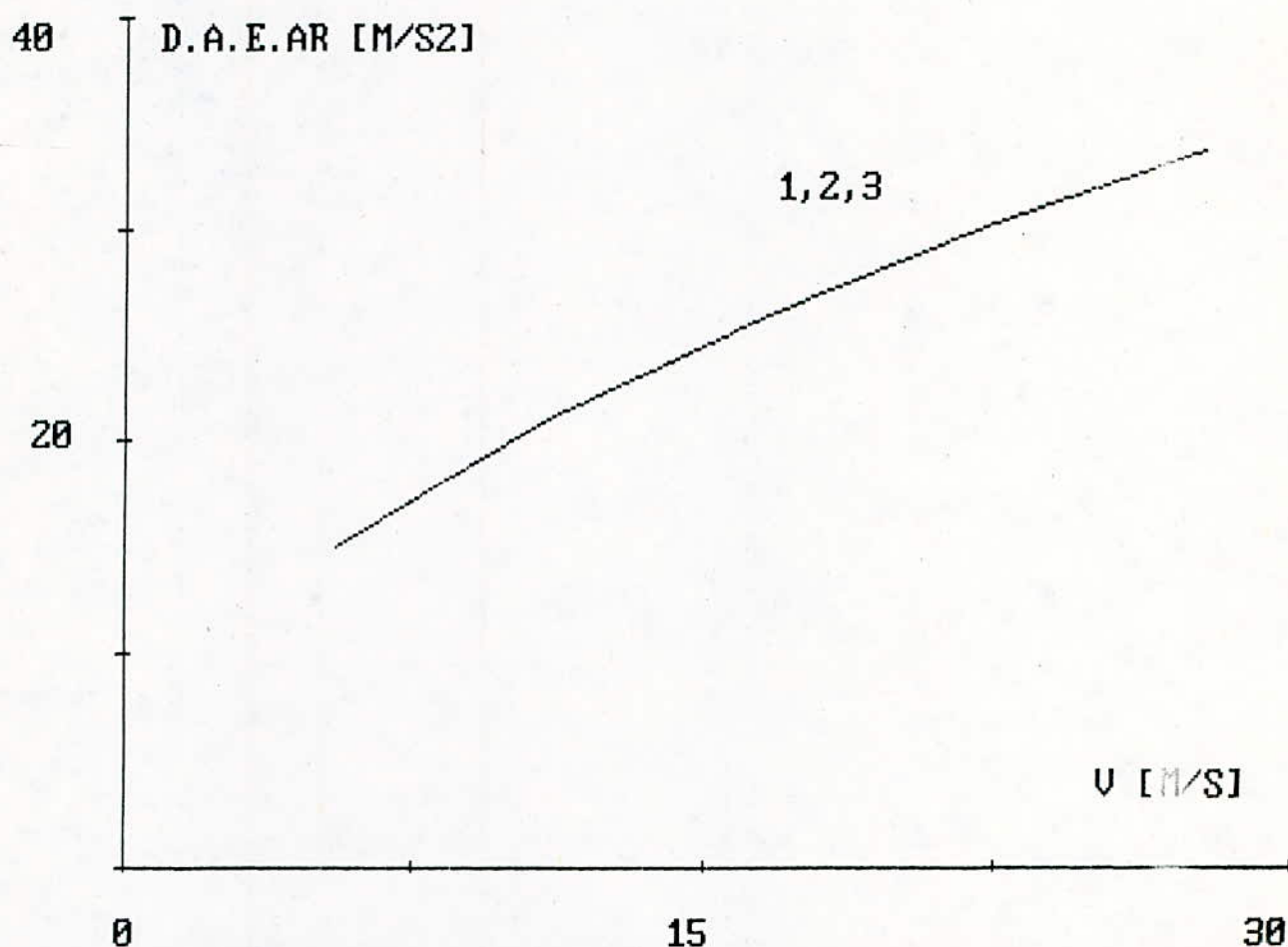
VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DU CENTRE DE GRAVITE DE LA CAISSE ON FONCTION DE LA VITESSE DE DEPLAC..  
 LES COURBE 1,2,3 CORESP RESP A ALFA2=5000, 10000, 15000(N.S/M)



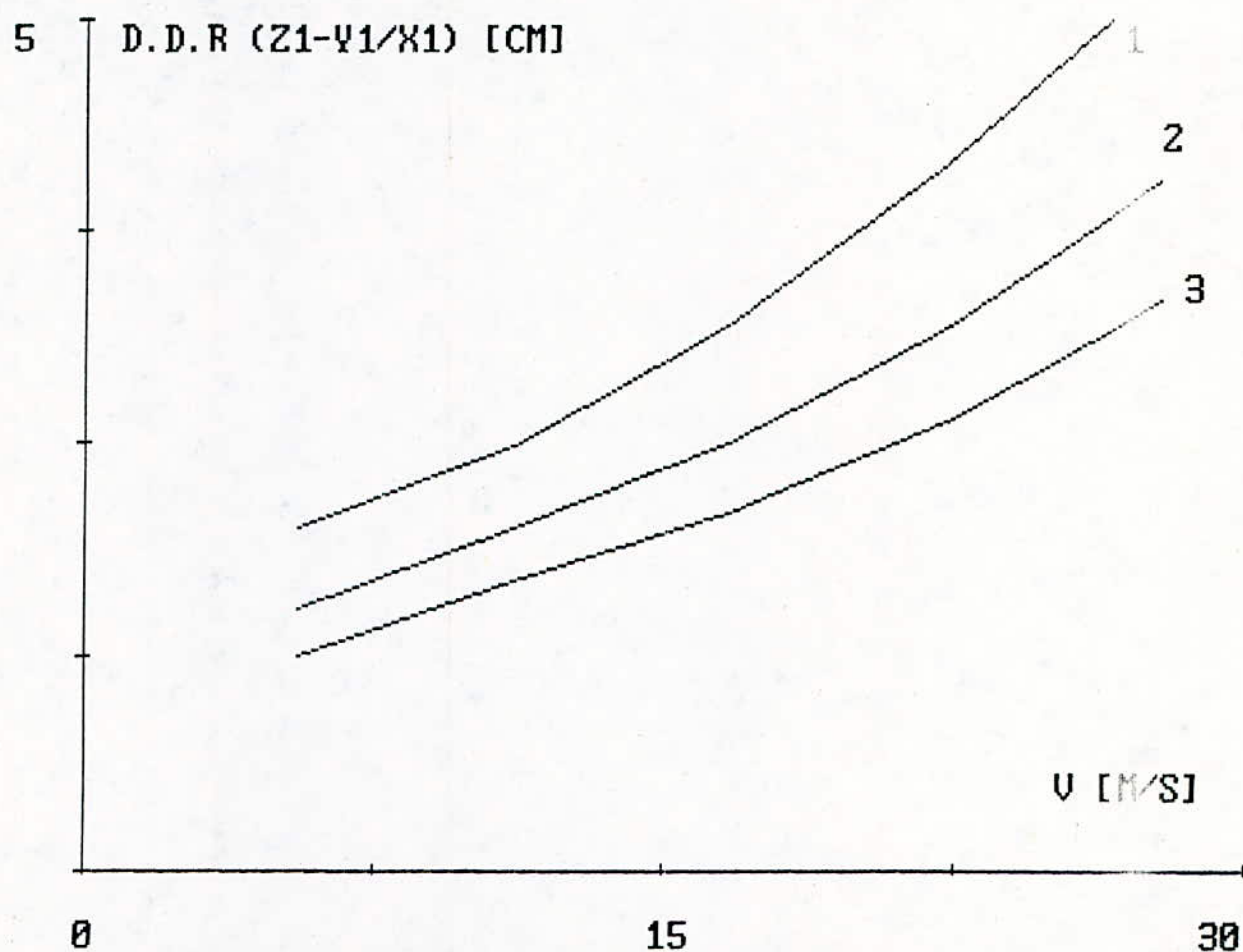
VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DU MOUVEMENT DE ROTATION DE LA CAISSE EN FONCTION DE LA VITESSE DE DEPLACEMENT LES COURBES 1,2,3 CORES.. RESPEC.. A ALFA2 EGALE A 5000, 10000, 15000 [N.S/M]



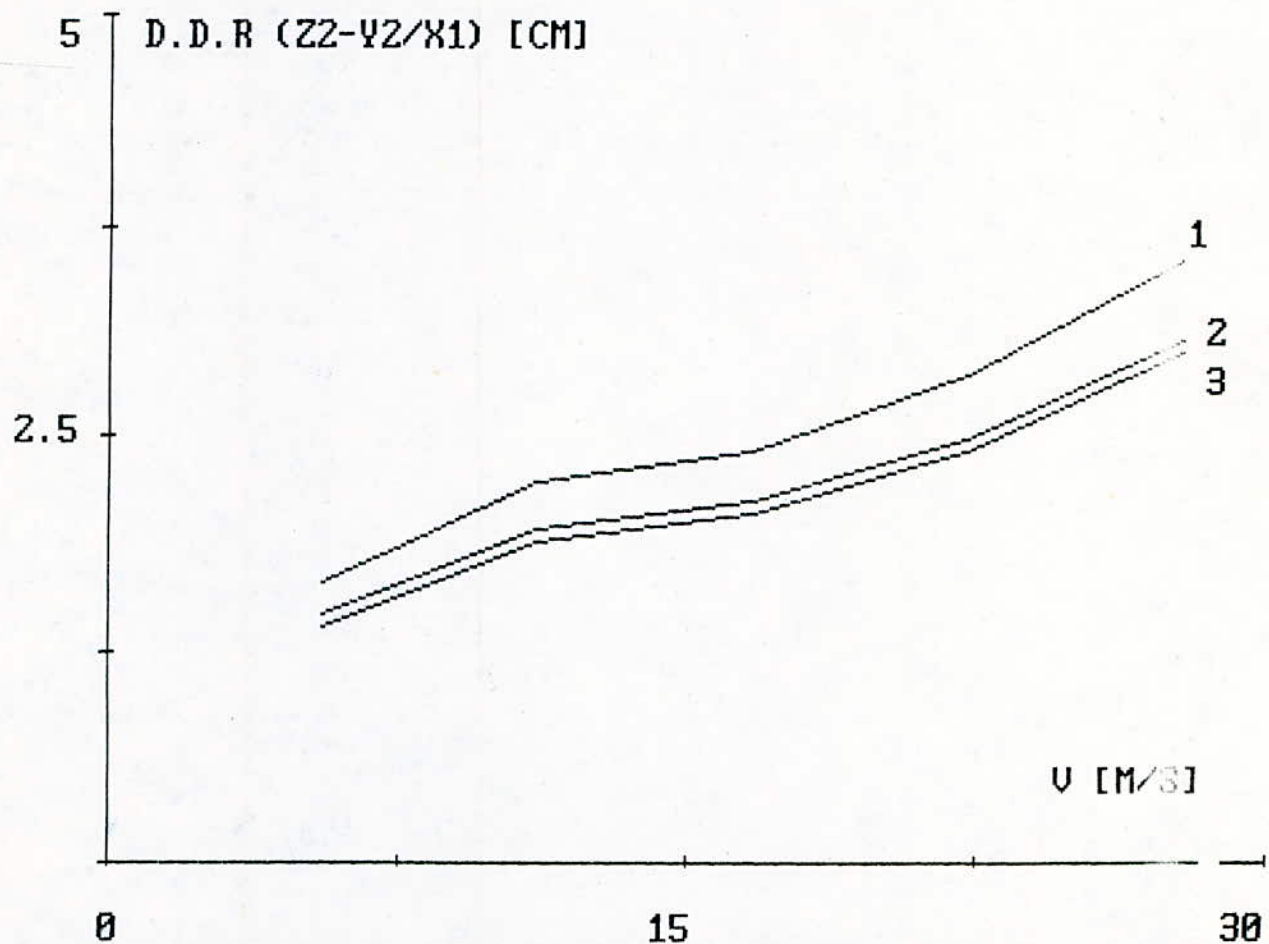
VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATION DE L'ESSIEU  
 AVANT EN FONCTION DE LA VITESSE DE DEPLACEMENT LES  
 COURBES 1, 2, 3 CORESP. . RESPEC. . A ALFA2=5000, 10000  
 15000 [N.S/M]



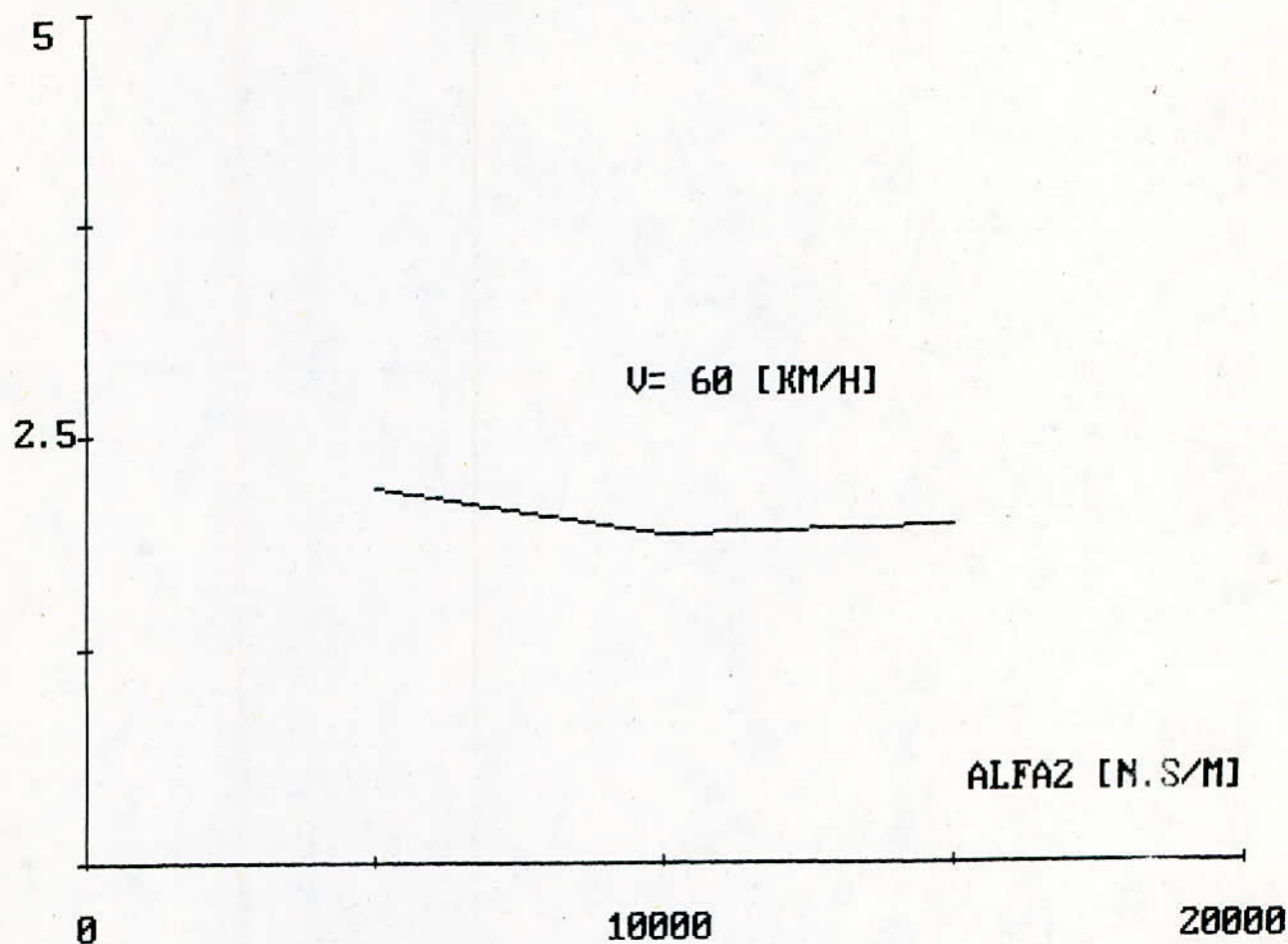
VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATION DE L'ESSIEU  
 ARRIERE ON FONCTION DE LA VITESSE DE DEPLACEMENT LES  
 COURBES 1 ,2,3 CORESP.. RESPE.. A ALFAZ=5000,10000  
 15000 [N.S/M] SONT SUPERPOSEES



VARIATIONS DES DISPERSIONS DE DEPLACEMENT RELATIF ( $Z1-V1/X1$ ) EN FONCTION DE LA VITESSE DE DEPLACEMENT LES COURBES 1,2,3 CORESP. .RESPEC. .A ALFA2=5000,10000,15000 [N.S/M]

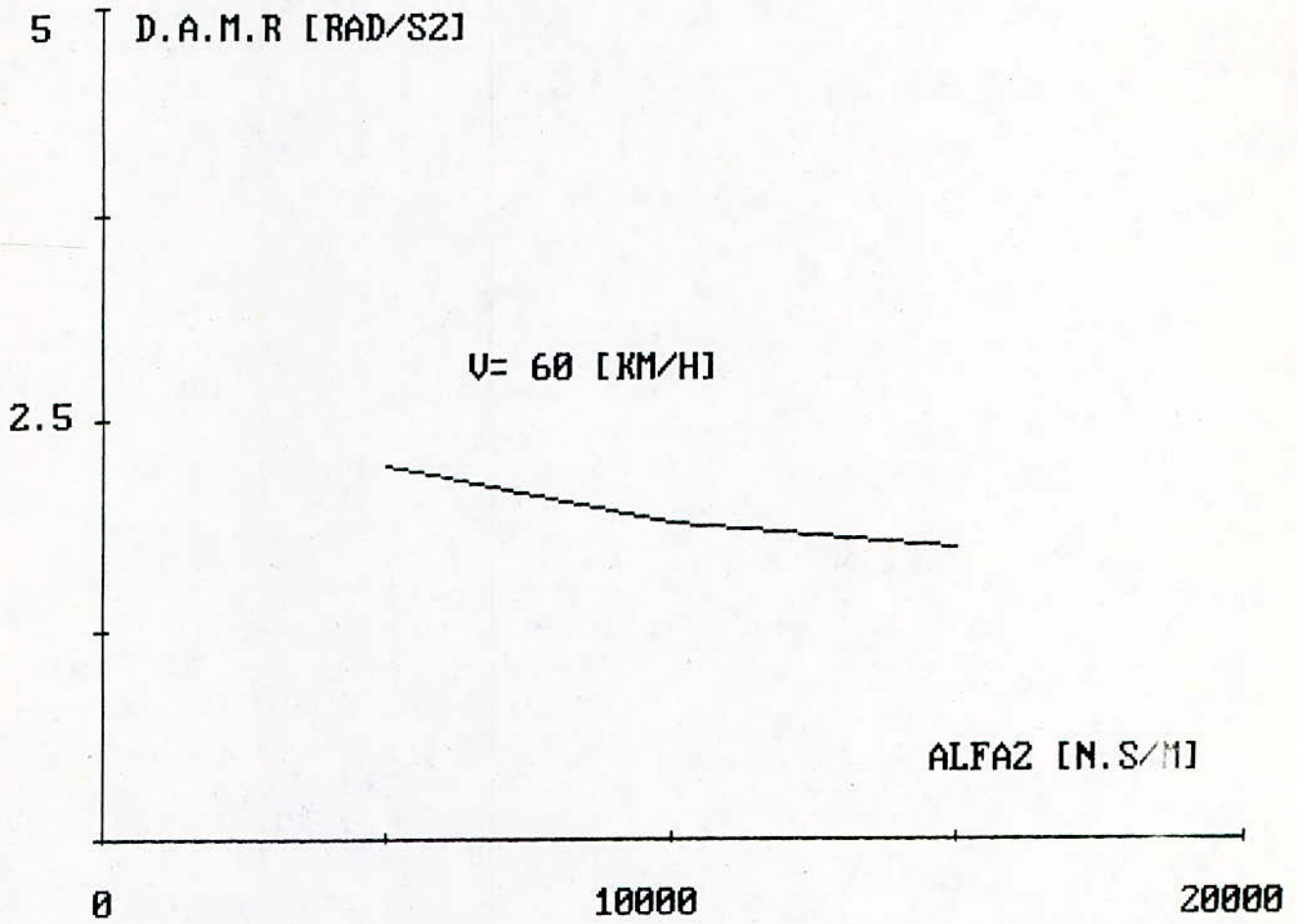


0 15 30  
 VARIATIONS DES DISPERSIONS DU DEPLACEMENT RELATIF (Z2-Y2/X1)  
 EN FONCTION DE LA VITESSE DE DEPLACEMENT LES COURBES 1,2,3  
 CORRESPONDENT RESPECTIVEMENT A ALFA2=5000, 10000, 15000 (N.M/S)

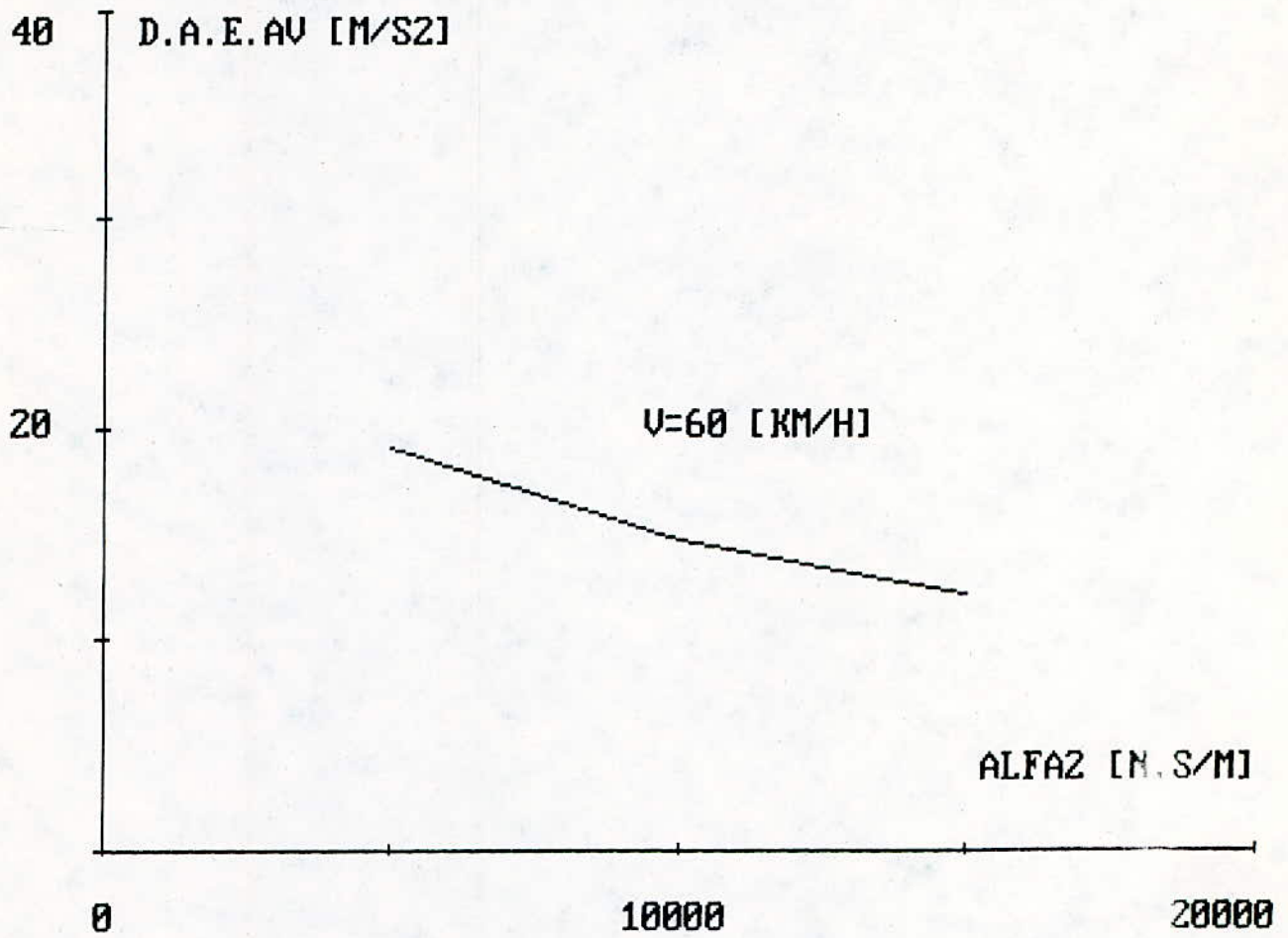


VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DU CENTRE DE GRAVITE DE LA CAISSE EN FONCTION DE ALFA 2

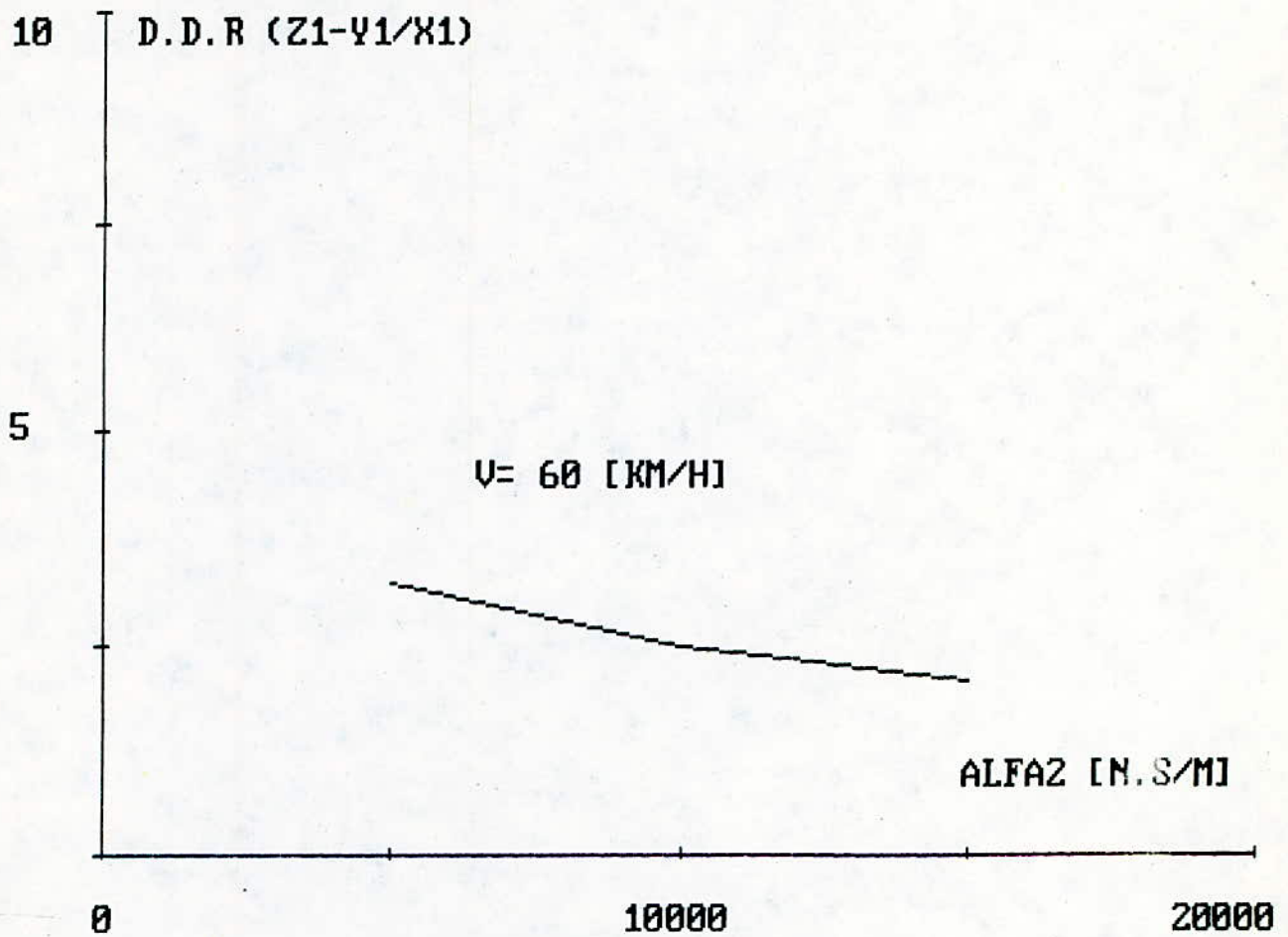




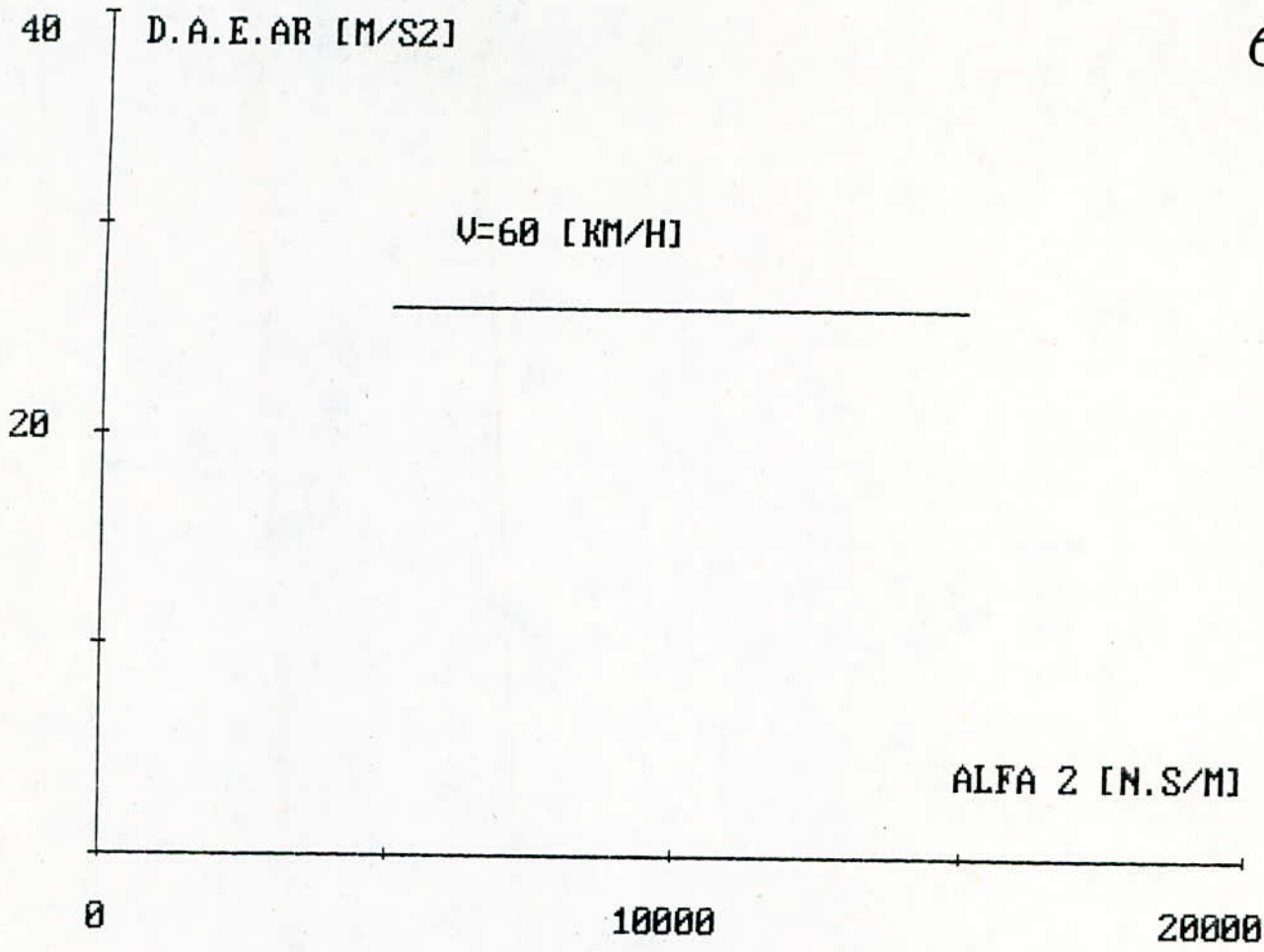
VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DU MOUVEMENT DE  
ROTATION DE LA CAISSE EN FONCTION DE ALFA 2



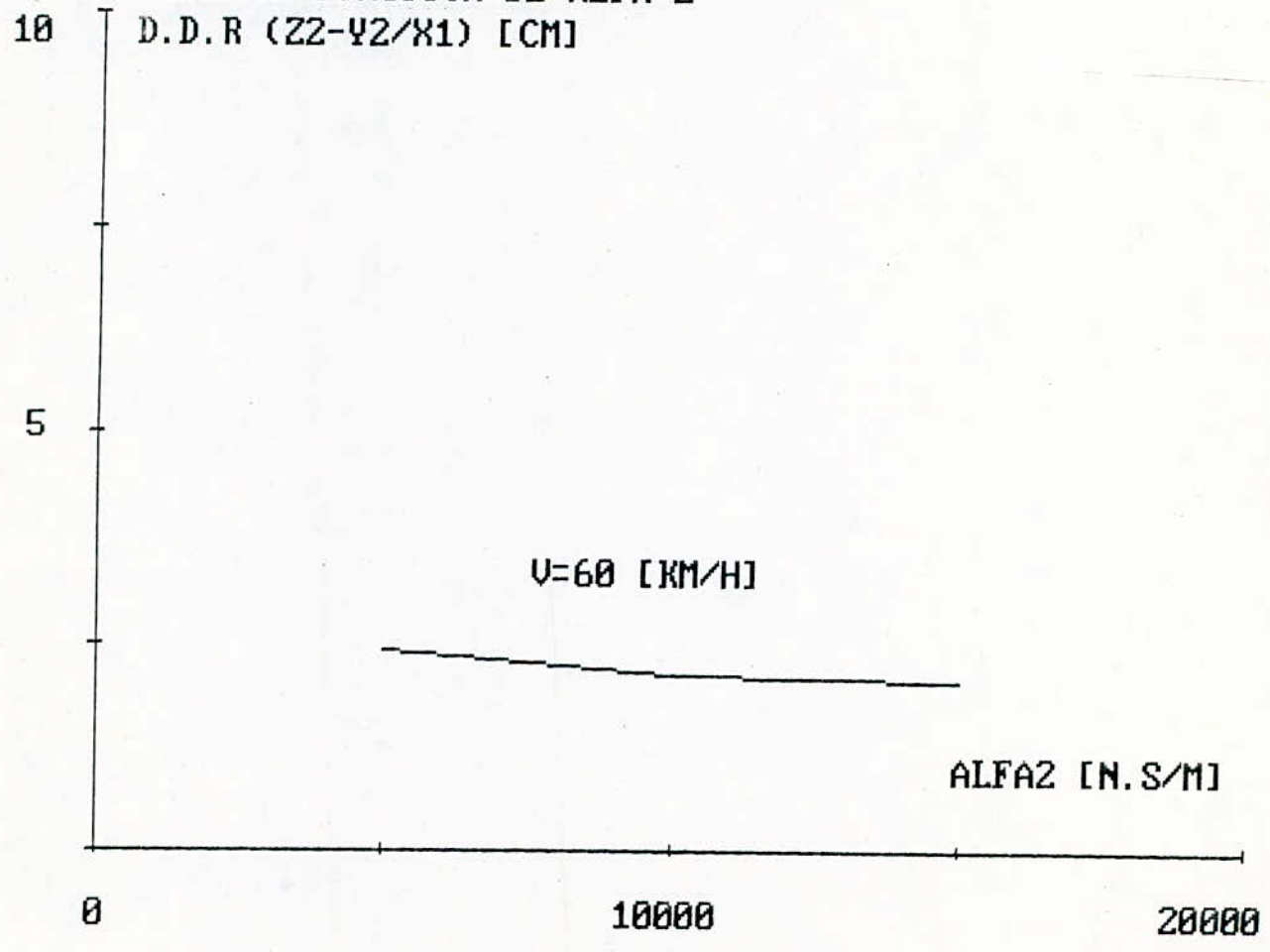
VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DE L'ESSIEU  
AVANT EN FONCTION DE ALFA 2



VARIATIONS DES DISPERSIONS DU DEPLACEMENT RELATIF (Z1-Y1/X)  
EN FONCTION DE ALFA 2



VARIATIONS DES DISPERSIONS D'ACCELERATIONS DE L'ESSIEU ARRIERE ON FONCTION DE ALFA 2



VARIATIONS DES DISPERSIONS DU DEPLACEMENT RELATIF (Z2-Y2/X1) EN FONCTION DE ALFA2

## CH 7 CONCLUSION

Pour le véhicule étudié et avec deux densités spectrales on a calculé toute les dispersions des accélérations et des déplacements relatifs en fonction de la vitesse et le coefficient d'amortissement des amortisseurs avant.

Durant notre modeste étude deux Conclusions principales s'imposent:

- 1°- on remarque que le calcul intégral des fonctions rationnelles complexes et avec plusieurs degrés exige des études spéciales, on a ressenti pour cela la nécessité d'un Centre de Calcul. On constate que l'application des programmes est un problème assez délicat: Pour arriver aux résultats il faudra définir le procédé de résolution mathématique, ensuite écrire un programme de calcul numérique sur ordinateur
- 2°- Pour une densité spectrale exprimée par une fonction rationnelle et avec des caractéristiques de suspension données. Toute les différentes dispersions d'accélérations et déplacements relatifs augmentent avec l'accroissement de la vitesse du déplacement du véhicule, Pour une vitesse donnée en faisant varier le coefficient d'amortissement des amortisseurs avant on a trouvé que l'augmentation de ce coefficient provoque une diminution de toute les différentes dispersions. Donc pour avoir un bon confort il suffit de ne pas atteindre de grande vitesses et de choisir des amortisseurs ayant un coefficient d'amortissement assez élevé à celui des données de base.

Pour une densité spectrale bruit blanc, on remarque que les dispersions d'accélération et de déplacements relatifs diminuent avec l'augmentation de la vitesse. Dans ce cas pour avoir un bon confort il suffit de prendre des faibles vitesses et des grands coefficients d'amortissement pour les amortisseurs avant.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1\_ vibrations Aleatoires des systemes mecaniques  
V.A. SVETLICKIJ      Technique et documentation  
Paris.
- 2\_ ПОДВЕСКА АВТОМОБИЛЯ  
P.B. РОТЕНБЕРГ      МОСКВА 72
- 3\_ vibrations mecaniques  
J.P. Den HARTOG      Dunod Paris 1960
- 4\_ vibrations et phenomenes de propagation  
R. Gabillard      Dunod unisversité
- 5\_ Dynamique statistique des systemes lineaires  
de Commande automatique.  
v.v solodovnikov      Dunod Paris 1965.
- 6\_ Les vibrations mecaniques  
Francisque Salles      Masson Paris 6<sup>e</sup> 1972

