

UNIVERSITE DE LIEGE

LABORATOIRE DE TECHNIQUES
AERONAUTIQUES ET SPATIALES

RUE ERNEST SOLVAY, 21
4000 LIEGE
BELGIQUE

RAPPORT RF-4

**ANALYSE CINEMATIQUE
DE MECANISMES
LOGICIEL CINEMA**

SEPTEMBRE 1986

Yannic WERA
INGENIEUR DE RECHERCHE IRSIA

J. F. DEBONGNIE
CHARGE DE COURS A.G.C.D.

THE MATHS

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

—————

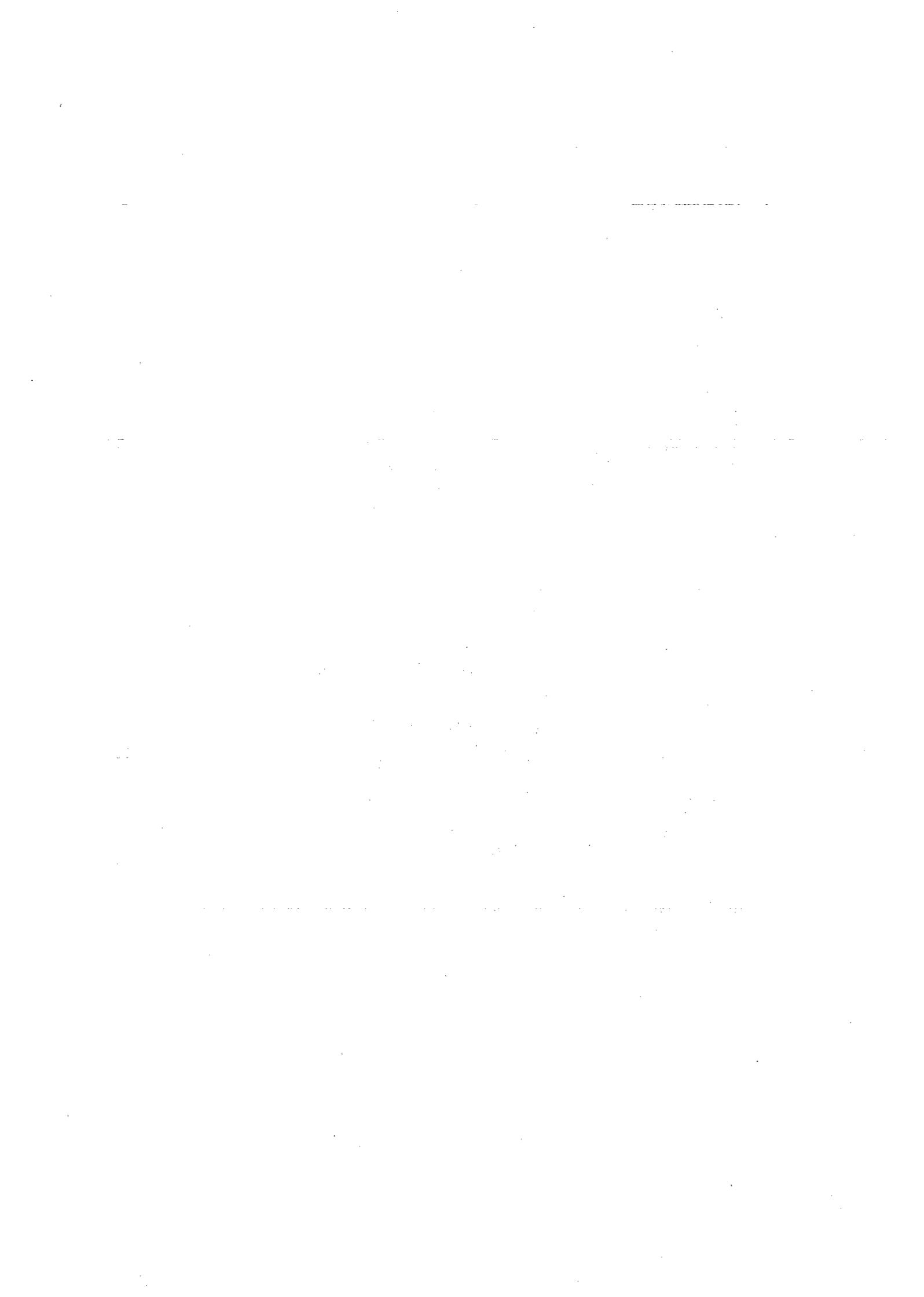
—————

—————

—————

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
2. CONCEPTS GENERAUX	2
2.1 Description du mouvement d'un solide	2
2.2 Liaisons	2
2.3 Fixations de composantes	3
2.4 Le bâti	3
2.5 Paramètres moteurs	3
2.6 Assemblage du mécanisme	4
2.7 Principe de l'algorithme de calcul	4
3. DESCRIPTION DU PROGRAMME	5
3.1 Menu principal	5
3.2 Menu secondaire Saisie des Données	6
3.3 Menu secondaire Analyse Cinématique	8
3.4 Menu secondaire Visualisation	8
4. DESCRIPTION DES DONNEES	10
4.1 Géométrie du mécanisme	10
4.2 Conditions aux limites	13
4.3 Commandes d'animation	17
5. FICHIERS	20
5.1 Fichiers nécessaires au fonctionnement du programme	20
5.2 Fichiers d'utilisation	20
6. EXEMPLE : LE MECANISME DE BRICARD	21
6.1 Description séparée des différents corps qui composent le mécanisme	22
6.2 Description des joints	27
6.3 Fin de la description topologique	28
6.4 Fixations	28
6.5 Assemblage du mécanisme au départ	28
6.6 Fin des données	29
ANNEXE : Détermination de l'axe et de l'angle d'une rotation finie	43



1. INTRODUCTION

Le programme CINEMA permet de réaliser l'analyse cinématique de mécanismes spatiaux quelconques.

Le mécanisme y est modélisé au moyen des corps qui le constituent et de liaisons qui introduisent les relations cinématiques entre ces corps.

Cette approche présente l'avantage de permettre une description unique d'une pièce indépendamment du mécanisme étudié. La description peut donc provenir d'une base de données susceptible d'être utilisée pour différents mécanismes.

Le programme est totalement interactif et le dialogue avec l'utilisateur est réalisé par des menus hiérarchisés et des commandes interactives.

Le chapitre 2 décrit les concepts généraux de la modélisation d'un problème.

Le chapitre 3 est consacré à l'utilisation du programme.

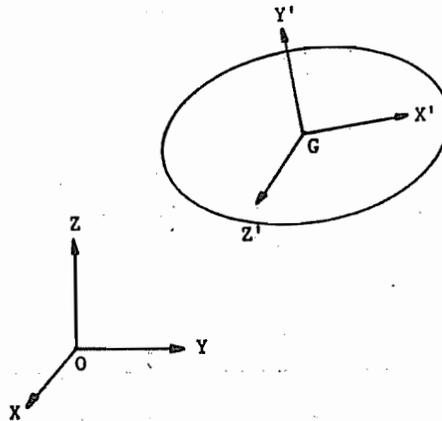
Le chapitre 4 contient la description et la syntaxe des différentes commandes de saisie des données et de visualisation.

Le chapitre 5 décrit l'environnement informatique du programme.

Le chapitre 6 contient un exemple d'utilisation du programme.

2. CONCEPTS GENERAUX

2.1 Description du mouvement d'un solide



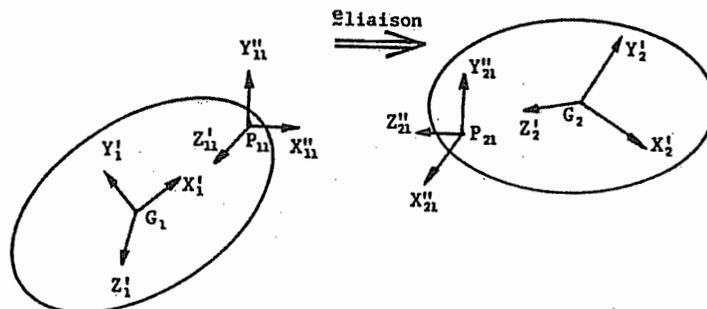
Pour décrire le mouvement d'un solide, on peut procéder comme suit : par son centre de gravité G, on fait passer un système d'axes principaux d'inertie $G X'Y'Z'$. Etant alors donné un système d'axes globaux (fixes) $OXYZ$, on définit la position du corps par la transformation qui fait passer du système $OXYZ$ au système $G X'Y'Z'$. Cette transformation comporte une translation de composantes T_x, T_y, T_z et une rotation du système d'axes, que l'on peut représenter par les quatre paramètres d'Euler e_0, e_1, e_2, e_3 , soumis à la condition de normation

$$e_0^2 + e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 = 1$$

Remarque

Si l'on se limite à une analyse *cinématique*, le fait que les axes soient principaux d'inertie ne joue aucun rôle. On peut alors choisir *arbitrairement* le point B et les axes $X'Y'Z'$ sans modifier la solution, ce qui simplifie souvent l'écriture des données.

2.2 Liaisons



Supposons que les deux corps 1 et 2, de centres de gravité G_1 et G_2 , soient liés par leurs points respectifs P_{11} et P_{21} . La plupart des liaisons possèdent un axe préférentiel $e_{liaison}$ selon lequel se calcule l'éventuel déplacement relatif du corps 2 par rapport au corps 1 et autour duquel se fait, dans le sens du tire-bouchon de Maxwell, l'éventuelle rotation relative du corps 2 par rapport à 1. Pour exprimer ce fait, on définit aux points P_{11} et P_{21} des trièdres locaux $P_{11}X''_{11}Y''_{11}Z''_{11}$ et $P_{21}X''_{21}Y''_{21}Z''_{21}$ dont un des axes doit nécessairement coïncider en direction (mais non en sens) avec l'axe préférentiel $e_{liaison}$.

Les différentes liaisons que peut traiter le programme sont, en notant T le déplacement selon $e_{liaison}$ et θ la rotation,

- liaison sphérique :
 - pas d'axe préférentiel (il est inutile de définir des trièdres locaux)
 - déplacement nul
 - 3 rotations libres
- charnière : $T = 0$, θ libre
- prismatique : T libre, $\theta = 0$
- cylindrique : T et θ libres
- soudé : $T = 0$, $\theta = 0$
- hélicoïdal : $T = \rho\theta$, $\rho = \text{pas}$, en m/tour

Il s'agit des liaisons les plus courantes en pratique.

Remarque importante

Lors de la modélisation de liaisons composées, pour pouvoir les représenter par juxtaposition de liaisons simples, il est nécessaire d'interposer un corps : en effet, le formalisme ne permet pas de lier directement deux liaisons.

2.3 Fixations de composantes

Il arrive que certaines restrictions soient imposées a priori sur le mouvement des corps constituant le mécanisme. Ainsi, pour un mécanisme astreint à se déplacer dans le plan OXY, les composantes T_z , e_1 , e_2 sont nulles au centre de gravité de chaque corps.

2.4 Le bâti

Le bâti se représente par un corps (ou un assemblage de corps) dont tout mouvement est fixé ($T_x = T_y = T_z = e_1 = e_2 = e_3 = 0$).

2.5 Paramètres moteurs

Les sollicitations consistent à imposer des déplacements ou des vitesses *sur des liaisons*. Il n'est pas question, en cinématique, d'imposer des forces ou des couples.

La liaison se faisant entre deux points P_1 et P_2 , dans l'ordre, on décrit le déplacement ou la vitesse du système d'axes locaux en P_2 par rapport au système d'axes en P_1 .

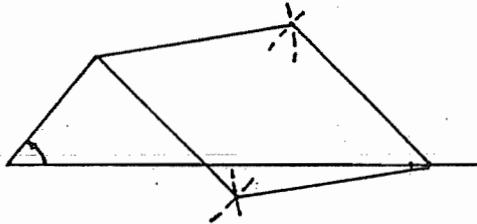
Il est possible de définir

- une loi à valeur constante,
- une loi paramétrée définie par l'utilisateur.

2.6 Assemblage du mécanisme

Pour éviter à l'utilisateur un calcul des positions initiales souvent fastidieux, le programme se charge d'assembler le mécanisme à partir d'un positionnement *approximatif*.

On remarquera cependant que dans certains cas, plusieurs positions assemblées relativement voisines sont possibles. Dans ce cas, une trop faible précision des positions approximatives peut parfois amener, après assemblage, à une autre position que celle qu'attendait l'utilisateur. Le remède consiste, bien entendu, à fournir des données plus précises.



2.7 Principe de l'algorithme de calcul

On remarquera que, dès que la position des éléments menants est connue, le problème du calcul de la position des autres éléments se ramène toujours à celui de l'assemblage d'un mécanisme (on part de la position précédente). Or, ce dernier problème revient à résoudre des équations de liaison du type

$$m(q) = 0$$

moynnant des conditions de normation de la forme

$$e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + e_0^2 = 1$$

que l'on peut encore regrouper en

$$n(q) = 0$$

Considérant alors le vecteur

$$\ell^T = (m^T, n^T)$$

on l'annule progressivement par la méthode des moindres carrés, consistant à minimiser la fonction

$$\Phi(q) = \ell^T \ell$$

Le programme s'arrête lorsque

$$\text{grad} \Phi = \left| \ell^T \frac{\partial \ell}{\partial q} \right| \leq \epsilon,$$

ϵ étant une tolérance fixée (voir les paramètres généraux - fichier CINEMA.PAR).

3. DESCRIPTION DU PROGRAMME

Le programme d'analyse cinématique des mécanismes est totalement interactif et l'utilisateur est guidé dans son utilisation par des *menus* structurés hiérarchiquement.

L'utilisateur accède au menu principal en donnant le nom du problème à analyser (pour fixer les idées, nous l'appellerons : NOM). Les différents fichiers liés au problème sont définis automatiquement et s'appellent tous NOM. Ils sont décrits en détail au chapitre 5.

La structure du programme est représentée en fig. 3.1.

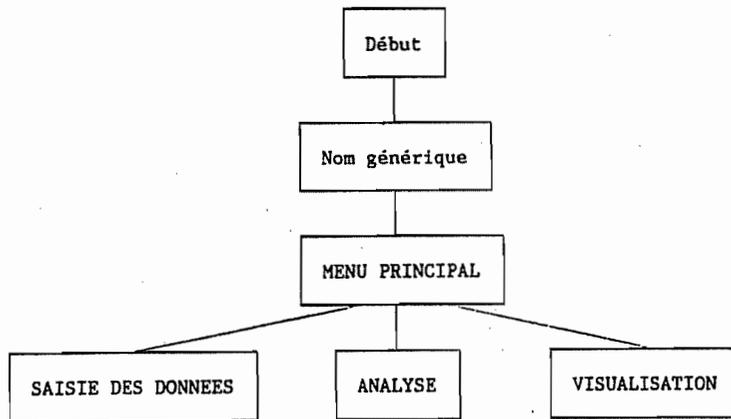


figure 3.1

Structuration du programme

Dans chacun des sous-menus, la commande RETURN ramène l'utilisateur au menu appelant le sous-menu en cours. Tout choix non valide équivaut à un RETURN.

3.1 Menu principal

Le menu principal est donné en fig. 3.2. Il donne accès aux *trois menus secondaires*

```

SAISIE DES DONNEES
ANALYSE CINEMATIQUE
VISUALISATION
  
```

Le choix FIN clôture l'exécution du programme.

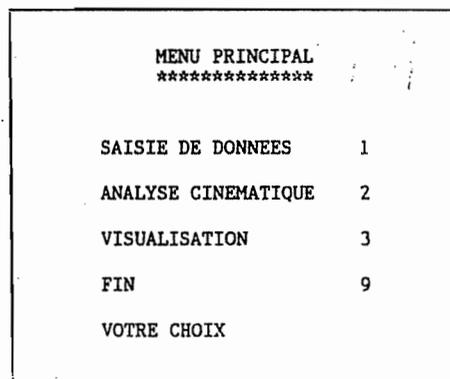


figure 3.2

Menu principal

3.2 Menu secondaire SAISIE des DONNEES

Ce menu régit l'introduction des données. Il est représenté en fig. 3.4. La structure du programme de saisie est donnée par la fig. 3.3.

Supposons d'abord que rien ne soit encore spécifié pour le problème considéré. On appelle alors le menu tertiaire SAISIE DE NOUVELLES DONNEES, donné en fig. 3.5, qui permet d'introduire les données. Si l'on veut sauver les données préparées, on appelle le menu tertiaire GENERATION D'UN FICHER FORMATTE, qui crée le fichier de résultats NOM.TRA de la saisie.

Si l'on désire compléter un jeu de données sauvé sur fichier déjà formaté auparavant, la structure des données doit d'abord être remise dans l'état où elle se trouvait avant le sauvetage. A cette fin, on appelle le sous-menu RELECTURE D'UN FICHER FORMATTE. Ceci n'est possible *qu'avant d'effectuer toute nouvelle saisie de données.*

3.2.1 Menu tertiaire SAISIE DE NOUVELLES DONNEES (fig. 3.3 et 3.5)

a) L'option CHOIX DU MODE D'INTRODUCTION permet de déterminer l'origine des données :

- directement sous forme interactive : code TERM
- fichiers spécifiés
- option standard : NOM.BAN

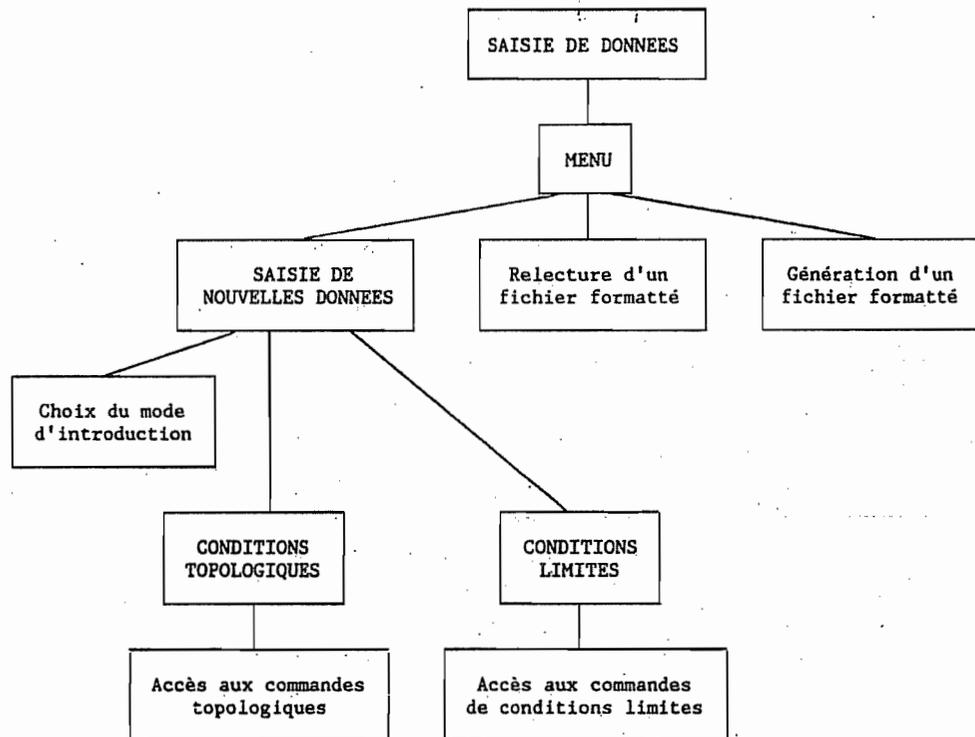


figure 3.3

SAISIE DE DONNEES *****	
SAISIE DE NOUVELLES DONNEES	1
RELECTURE D'UN FICHER FORMATTE	2
GENERATION D'UN FICHER FORMATTE	3
RETOUR	
VOTRE CHOIX	

figure 3.4

SAISIE DE NOUVELLES DONNEES *****	
CHOIX DU MODE D'INTRODUCTION	1
DONNEES TOPOLOGIQUES	2
CONDITIONS LIMITES	3
RETOUR	
VOTRE CHOIX	

figure 3.5

Remarques

- 1) De toute façon, le fichier en question doit contenir une carte FIN qui termine le jeu de données.
 - 2) Un jeu de données peut être réparti dans plusieurs fichiers. Par contre, un fichier ne peut contenir qu'un seul mécanisme.
- b) Les options DONNEES TOPOLOGIQUES et CONDITIONS LIMITES permettent d'introduire les données.

L'ordre d'introduction des données n'est soumis qu'à la condition de prédéfinition des objets dont on parle. Ainsi, les noeuds intervenant dans une liaison doivent être définis avant l'expression de celle-ci.

Il est possible de modifier une donnée quelconque en la récrivant correctement. Par contre, il n'est pas possible, en traitement interactif, de supprimer des données.

3.3 Menu secondaire ANALYSE CINEMATIQUE (fig. 3.6)

ANALYSE DU MENU	

ANALYSE CINEMATIQUE	1
ETUDE DE LA MOBILITE	2
RETOUR	

figure 3.6

Dans une première phase, le programme réalise d'office l'assemblage automatique du mécanisme. Ensuite, l'utilisateur peut choisir de réaliser, soit l'analyse cinématique, soit l'étude de la mobilité du mécanisme.

3.3.1 Analyse cinématique

L'utilisateur doit spécifier le nombre de pas de temps et la grandeur de ces pas. La simulation terminée, il est possible de reprendre une autre simulation à la suite de la précédente. En outre, à la fin d'une simulation, il est possible de sauver la dernière position obtenue pour qu'elle devienne la position initiale d'une nouvelle simulation (simulations récurrentes).

3.4 Menu secondaire VISUALISATION (fig. 3.7)

VISUALISATION	

DONNEES DE CORPS RIGIDES	1
DONNEES D'UNE LIAISON	2
ANIMATION	3
TRACE DE FONCTION	4
RETOUR	

figure 3.7

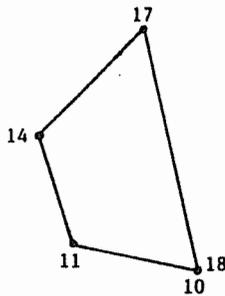
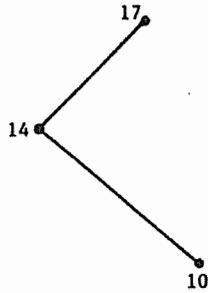
Les choix 1 et 2 permettent de visualiser les données d'un corps ou d'une liaison, par introduction de leur numéro.

Le choix 3 permet de visualiser l'animation du mécanisme, pour autant que l'utilisateur ait à sa disposition un terminal graphique à rafraîchissement.

De plus, il est possible de tracer la trajectoire de points du mécanisme dans le plan de projection (commande PLOT).

En standard, un corps est visualisé par des traits joignant les points de liaison pris dans l'ordre croissant de leurs numéros. On peut également spécifier des points supplémentaires à visualiser. Le corps sera alors

représenté par des traits liant les points de liaison et les points supplémentaires, dans l'ordre croissant des numéros. Soit par exemple un corps lié aux points 10, 14 et 17 : sa représentation standard sera formée des deux traits 10-14 et 14-17. En ajoutant les points 11 et 18, ce dernier confondu avec 10, on obtient une représentation en quadrilatère (voir figure ci-dessous).



4. DESCRIPTION DES DONNEES

Nous explicitons ci-dessous la syntaxe des données du programme, en trois groupes :

- géométrie du mécanisme
- conditions aux limites
- visualisation.

Les données sont regroupées en *commandes* possédant chacune un certain nombre de paramètres. On accède à une commande en introduisant son nom complet. Les règles suivantes sont toujours d'application.

- La liste des paramètres d'une commande peut être obtenue en introduisant au clavier un point d'interrogation (?).
- Les commandes et leurs paramètres peuvent être entrés indifféremment en majuscules ou en minuscules.
- Les valeurs numériques associées aux paramètres s'écrivent en format libre.
- Plusieurs commandes peuvent apparaître sur une même ligne : il suffit de les séparer par un point virgule (;).
- Un paramètre dont la valeur n'est pas introduite est pris égal à zéro, ou à la valeur standard éventuellement définie dans la description des données.
- Les paramètres peuvent être simplement donnés dans l'ordre (valeurs numériques) ou précédés de leur nom.

La spécification de certains paramètres est obligatoire ; d'autres, au contraire, sont facultatifs. Pour les distinguer, nous soulignerons les paramètres obligatoires en traits pleins et les paramètres facultatifs en traits pointillés.

4.1 Géométrie du mécanisme

Il faut d'abord définir les différents corps, puis leurs liaisons.

4.1.1 Définition du corps constituant le mécanisme

Commande CORP

Dans cette commande sont spécifiés

- le numéro du corps
- les numéros des noeuds et leurs coordonnées (il faut spécifier le numéro du centre de gravité, de coordonnées nulles, et les numéros et coordonnées des noeuds de liaisons)
- les trièdres locaux de liaisons.

La syntaxe est la suivante :

CORP NUM NOEUD TRIE

où

NUM est le numéro du corps considéré

NOEUD et TRIE sont les sous-commandes permettant de définir les noeuds et les trièdres locaux.

Sous-commande NOEUD

Syntaxe :

NOEUD NUM X Y Z

où

NUM est le numéro du point considéré

X,Y,Z sont ses trois coordonnées dans le repère propre du corps
(repère constitué des axes principaux d'inertie centrés au centre de gravité du corps).

Sous-commande TRIE

Elle définit les trièdres locaux de liaison.

Syntaxe :

TRIE APP X Z

où

APP est le numéro du point servant d'origine au trièdre

X et Z sont des numéros de noeuds définissant l'orientation du trièdre.

Notant $\underset{\sim}{g}_1 = APP \rightarrow X$

$\underset{\sim}{g}_3 = APP \rightarrow Z$

les trois axes du trièdre sont définis par

$$\underset{\sim}{e}_1 = \underset{\sim}{g}_1 / \|\underset{\sim}{g}_1\|$$

$$\underset{\sim}{e}_2 = \underset{\sim}{g}_3 \times \underset{\sim}{g}_1 / \|\underset{\sim}{g}_3 \times \underset{\sim}{g}_1\|$$

$$\underset{\sim}{e}_3 = \underset{\sim}{e}_1 \times \underset{\sim}{e}_2$$

Ainsi donc, le plan $(\underset{\sim}{e}_1, \underset{\sim}{e}_3)$ coïncide avec le plan (X, APP, Z) .

4.1.2 Définition des liaisons

Commande LIAI

Dans cette commande sont spécifiés

- le numéro de la liaison
- le type de liaison
- les points liés
- la position de l'axe préférentiel dans chacun des trièdres locaux des points liés.

Syntaxe :

LIAI NUM TYPE PT1 axe PT2 axe

où

NUM est le numéro de la liaison

TYPE est constitué de quatre caractères qui définissent le type de la liaison :

- CYLI : joint cylindrique
- CHAR : charnière
- HELI : joint hélicoïdal
- PRIS : joint prismatique
- SOUD : joint soudé
- SPHE : joint sphérique

PT1, PT2 : numéros des points où se réalise la connexion des deux corps. En ces points doivent être définis des trièdres locaux (commande TRIE), excepté pour le joint sphérique.

axe : définit, aux points PT1 et PT2, l'axe du trièdre local qui coïncide avec l'axe préférentiel de la liaison. Il peut valoir 1,2,3, -1,-2,-3. Les valeurs négatives indiquent une opposition d'axe. Par défaut, le programme prend la valeur 1.

Remarque

Dans le cas d'une liaison *hélicoïdale*, il faut ajouter une sous-commande GEOM pour spécifier le pas de l'hélice.

Commande GEOM

Destinée à spécifier le pas de l'hélice.

Syntaxe :

GEOM NUM VAL

où

NUM est le numéro de la liaison à laquelle est associée la sous-commande

VAL est le pas de l'hélice (m/tour).

4.1.3 Fin de fichier : commande FIN4.2 Conditions aux limites4.2.1 FixationsCommande FIXA

Cette commande permet

- de fixer le bâti (sous-commande BATI)
- de fixer certaines composantes de certains corps (sous-commande COMP)

Syntaxe :

FIXA BATI ...
 COMP ...

Explication préliminaire

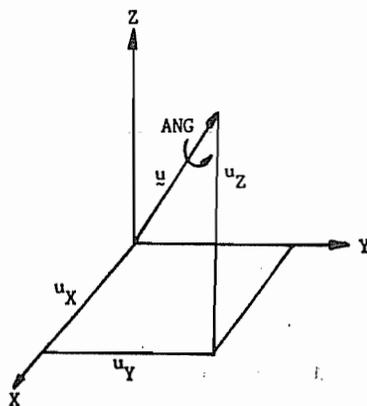
Chaque corps a été défini dans son système d'axes propres. On adopte comme *position de référence* celle où ses axes propres coïncident avec les axes globaux. On définit la *position réelle* du corps par la translation et la rotation qui l'amènent de la position de référence à cette position réelle. La *translation* du centre de gravité est donnée par ses trois composantes

T_x , T_y , T_z .

La *rotation* s'effectue autour d'un axe u de composantes u_x , u_y , u_z , dans le sens du tire-bouchon de Maxwell. Le corps tourne d'un angle ANG. Point n'est besoin de vérifier la condition de normation

$$u_x^2 + u_y^2 + u_z^2 = 1,$$

le programme se charge de normer le vecteur. L'angle s'exprime en *degrés*.



Remarque

Il peut arriver que la définition de l'axe de rotation soit malaisée a priori. On peut alors le définir par calcul si l'on connaît la position finale (voir annexe).

Sous-commande BATI

Objet : spécifier l'emplacement du bâti dans le repère absolu.

Syntaxe :

BATI NUM TX TY TZ UX UY UZ ANG

où

NUM est le numéro du corps qui sert de bâti

TX, TY, TZ sont les coordonnées du centre de gravité du bâti

UX, UY, UZ sont les composantes d'un vecteur de norme quelconque ayant la direction et le sens de l'axe de rotation

ANG : angle de rotation autour de cet axe (règle du tire-bouchon), *en degrés*

Sous-commande COMP

Objet : fixer certaines composantes d'un corps rigide (ex : mécanismes plans)

Syntaxe :

COMP NUM TX TY TZ UX UY UZ

où

- NUM est le numéro du corps considéré
- On donne les coordonnées fixées TX, TY, TZ du centre de gravité, précédées de leur nom
- On fixe u_x , u_y ou u_z à zéro en écrivant UX, UY ou UZ.

4.2.2 Positions initiales approchées des différents corps pour l'assemblageCommande VAL-APP

Syntaxe :

VAL-APP NUM TX TY TZ UX UY UZ ANG

où

NUM est le numéro du corps considéré

TX, TY, TZ les coordonnées de son centre de gravité

UX, UY, UZ les composantes d'un multiple quelconque du vecteur unitaire définissant l'axe de rotation

ANG l'angle de rotation autour de cet axe (*degrés*).

4.2.3 Définition du mouvement menant

Commande DEF_MOB

Elle possède deux sous-commandes : DEPL, pour l'introduction d'une loi temporelle de déplacements et VITE, pour l'introduction d'une loi de vitesses. Le mouvement menant le mécanisme est toujours appliqué à une liaison, sous forme du mouvement relatif du second noeud de la liaison par rapport au premier.

Sous-commande DEPL

```
DEPL  NUM    COMP    VAL
      SUBRnn  _A_  _B_  _C_  _D_
```

où

NUM est le numéro de la liaison sur laquelle est appliquée une loi de déplacement

COMP vaut 1 s'il s'agit d'une condition de translation
2 s'il s'agit d'une condition de rotation

(Cette variable ne doit être donnée que si la liaison comporte à la fois une liberté en translation et une liberté en rotation)

VAL valeur que prendra le déplacement généralisé durant toute la simulation

SUBRnn (nn peut valoir 01,02,...,15) : choix de la sous-routine donnant la loi de déplacement. Cette loi peut dépendre de quatre paramètres A,B,C,D (voir section 4.2.5).

Sous-commande VITE

Si l'on introduit une loi de vitesses, il faut en outre définir la position initiale. C'est le rôle de la variable C-I.

Syntaxe :

```
VITE  NUM    COMP    C_I    VAL
      SUBRnn  A__B__C__D
```

La signification des variables est la même que dans la sous-commande DEPL, hormis

C-I : valeur initiale du déplacement.

4.2.4 Fin du fichier : commande FIN

4.2.5 Règles relatives aux sous-routines SUBRnn

Les lois de sollicitations de l'utilisateur s'introduisent par des sous-routines reliées au programme par l'éditeur de liens. Dans l'état actuel du programme, on peut disposer de quinze noms de sous-routines, à savoir

SUBR01 , SUBR02, ... , SUBR15.

(Si nécessaire, ces noms de routines peuvent être modifiés. Ils sont prédéfinis dans la routine SUBNUM et dans le fichier CINEMA.DOC)

Les arguments sont

SUBRO1 (VAL, T, VECT)

où

T est l'instant de calcul

VECT(4) est le vecteur contenant les quatre paramètres A,B,C,D définis dans les données (sous-commande DEPL ou VITE)

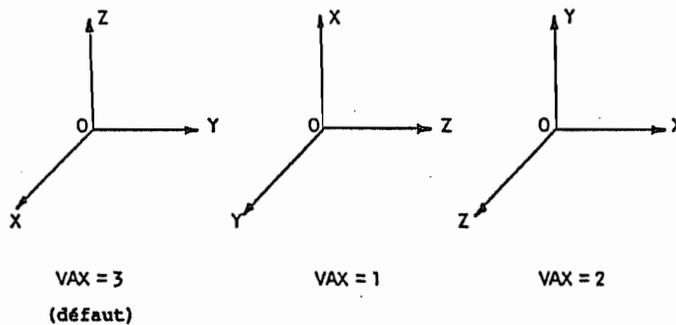
VAL(7) est un vecteur dont seule la première composante est la valeur du déplacement ou de la vitesse calculée (résultat de SUBRnn).

4.3 Commandes d'animation

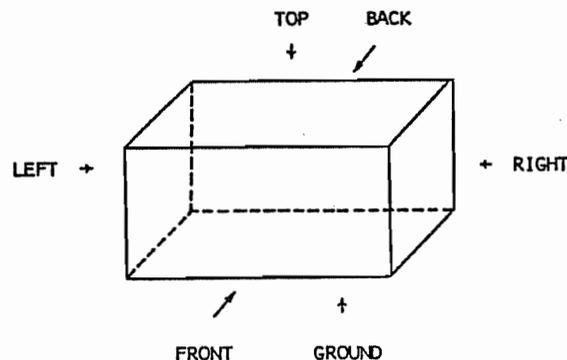
Commande BOX

Cette commande définit un parallépipède rectangle qui englobe le mécanisme. Il s'agit d'une représentation simplifiée de la scène. Par défaut, le programme calcule la position des faces d'un parallépipède englobant le mécanisme à l'instant initial. Ces faces peuvent ensuite être déplacées manuellement si besoin est. Trois systèmes d'axes cartésiens de référence sont disponibles. L'origine de ces systèmes est toujours en (0,0,0).

Choix du système d'axe : paramètre VAX (Vertical Axis)



Positionnement des faces du parallépipède : paramètres BACK, FRONT, LEFT, RIGHT, GROUND, TOP.

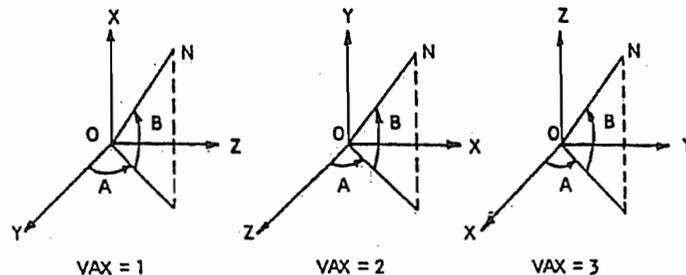


Les faces sont spécifiées en faisant suivre leur nom de la distance (en valeur algébrique) par rapport à l'origine (point O).

Un paramètre supplémentaire (SIZE) permet d'obtenir les dimensions effectives du parallélépipède, que celles-ci aient été calculées par le programme ou qu'elles aient été spécifiées par l'utilisateur.

Commande VIEW

Cette commande permet de choisir le point de vue, c'est-à-dire la position de l'oeil de l'observateur. Deux angles, A et B, servent à orienter la normale ON au plan de projection (voir figure ci-après). Par défaut, la projection est trimétrique. Cependant, on peut prendre en compte l'éloignement de l'observateur par rapport à la scène. Pour cela, on spécifie les coordonnées cartésiennes VX, VY, VZ d'un point de la scène ainsi que la distance P entre ce point et l'oeil de l'observateur. Les 6 paramètres de la commande sont donc A,B,P,VX,VY,VZ. Si la distance P est négative ou nulle, l'effet de perspective est annulé.



Commande MOVE

Le point de vue étant fixé, cette commande sert à obtenir l'animation du mécanisme si l'on dispose d'un écran à rafraîchissement. S'il s'agit simplement d'un écran rémanent, on obtiendra plutôt une séquence d'images montrant le mécanisme dans différentes positions. La commande possède actuellement deux paramètres :

RUN ce paramètre ramène le mécanisme dans sa position initiale et démarre l'animation

NODE ce paramètre spécifie le numéro du noeud du mécanisme dont on veut voir la trajectoire.

Commande PLOT

Cette commande est plus particulièrement destinée à tracer la trajectoire d'un point du mécanisme. Le plan de projection est gradué par deux réseaux de droites orthogonales et équidistantes. Le dessin obtenu dépend bien sûr du choix du point de vue. Cette commande possède les mêmes paramètres que la commande MOVE :

RUN ce paramètre effectue le tracé de la trajectoire

NODE ce paramètre spécifie le numéro du noeud du mécanisme dont on veut voir la trajectoire.

Commande EXIT

Cette commande n'est suivie d'aucun paramètre et provoque l'interruption de la partie de visualisation de trajectoire.

Exemple

Admettons que l'on veuille tracer la trajectoire du noeud numéro 8 d'un mécanisme hypothétique. Supposons que la trajectoire soit gauche. La liste des commandes suivantes permet d'obtenir les 3 projections de cette trajectoire dans les plans coordonnés OXY,OXZ,OYZ.

```
BOX > VAX 3
```

```
BOX > VIEW
```

```
VIEW > A 0 B 90
```

```
VIEW > PLOT
```

```
PLOT > NODE 8 RUN
```

```
PLOT > VIEW A -90 B 0 ; PLOT NODE 8 RUN
```

```
PLOT > VIEW A 0 B 0 ; PLOT NODE 8 RUN
```

5. FICHIERS

Le fonctionnement du programme nécessite la préexistence de certains fichiers ; par ailleurs, le programme lui-même crée des fichiers.

5.1 Fichiers nécessaires au fonctionnement du programme

Le programme ne peut fonctionner sans les deux fichiers suivants :

CINEMA.DOC
CINEMA.PAR

- a) CINEMA.DOC contient la description des commandes exposées au chapitre 4. Ce fichier ne doit pas être modifié.
- b) CINEMA.PAR contient certains paramètres d'exécution, qui peuvent éventuellement être modifiés par l'utilisateur :

(i) *Les trois paramètres de dimensionnement*

- (1) nb. max. de corps NCORP
- (2) nb. max. de points NPOIN
- (3) nb. max. de liaisons NJOIN

(ii) *Les numéros FORTRAN des fichiers*

- (4) fichier des données sans format (NOM.BAN)
- (5) fichier des données avec format (NOM.TRA)
- (6) fichier de messages et diagnostics (NOM.RES)
- (7) fichier de résultats à dessiner (NOM.GRA)
- (8) fichier de travail sans format (NOM.GRE)

(iii) *Les quatre paramètres d'exécution*

- (9) option d'impression
- (10) facteur d'échelle
- (11) nombre max. d'itérations avant convergence
- (12) tolérance ϵ de la convergence

5.2 Fichiers d'utilisation

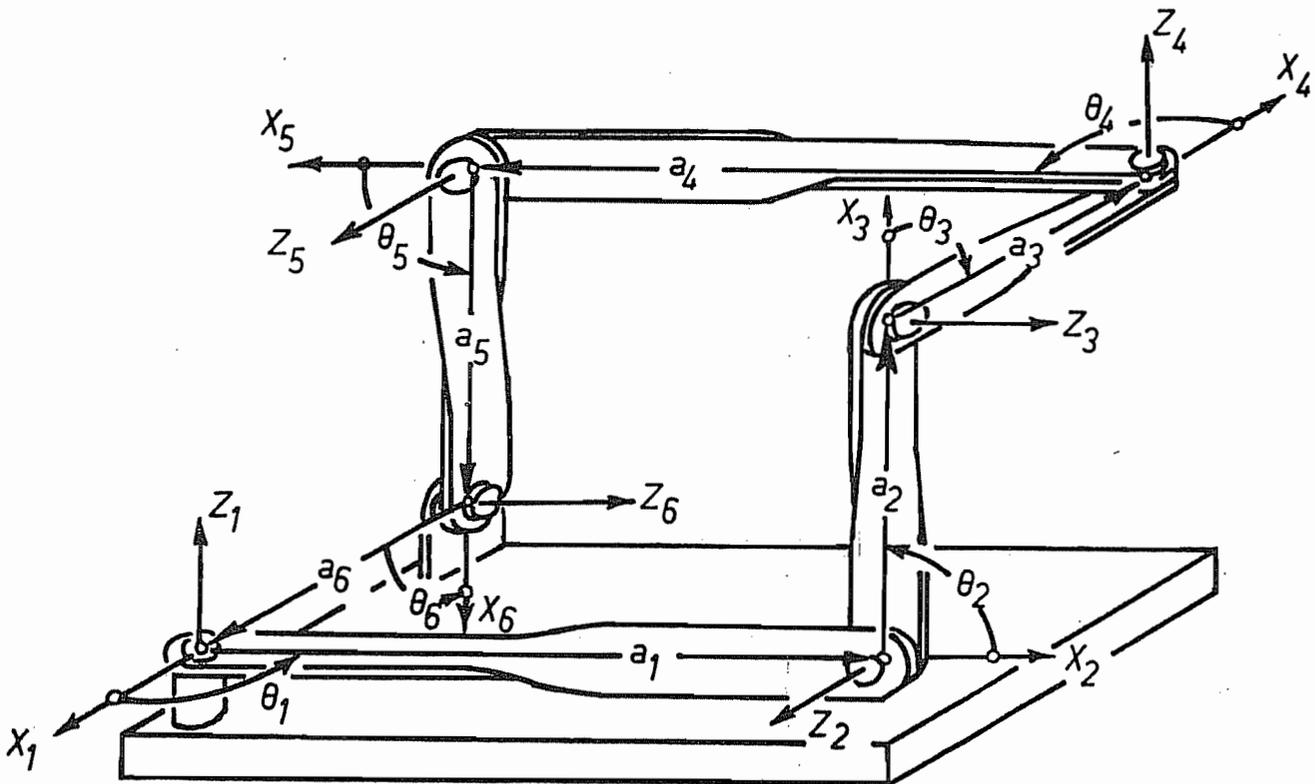
Selon le type de travail qu'il exécute, le programme peut engendrer plusieurs fichiers :

NOM.TRA NOM.RES NOM.GRA

- a) NOM.TRA : ce fichier, créé par la saisie de données, contient la traduction formatée des données.
- b) NOM.RES : - pour l'option d'impression minimale, ce fichier ne contient que les messages d'erreur ou d'avertissement issus du passage. Si le passage est normal, ce fichier est donc vide.
- En augmentant le niveau d'impression, on obtient sur ce fichier un certain nombre de résultats de calculs intermédiaires.
- c) NOM.GRA : archivage de déplacements de chaque corps pour chaque pas de temps. C'est en fait le véritable fichier de résultats. Il sert à la visualisation et peut être conservé si l'on désire garder une trace des résultats.

6. EXEMPLE : LE MECANISME DE BRICARD

Proposons-nous de faire l'étude cinématique du mécanisme de la fig. 6.1. Il possède un degré de mobilité que l'on gouvernera par l'angle au noeud N (fig. 6.2).



MECANISME DE BRICARD

Figure 6.1

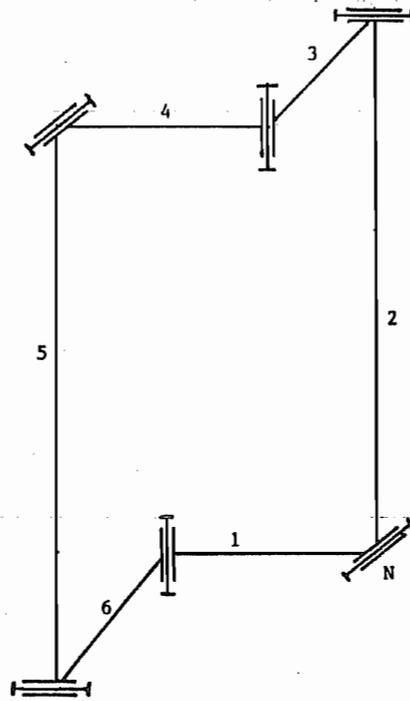
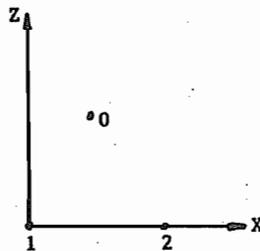


Figure 6.2

6.1 Description séparée des différents corps qui composent le mécanisme (fig. 6.3 et 6.4)

Commençons par dessiner les différents corps, dans un système d'axes principal d'inertie. En chaque point de liaison, il faudra définir un trièdre, ce qui nécessite l'utilisation de noeuds supplémentaires.

Les repères de liaison sont donnés par trois points : le point d'origine, un point définissant l'axe des X, un point définissant le plan XZ et le sens de l'axe des Z.



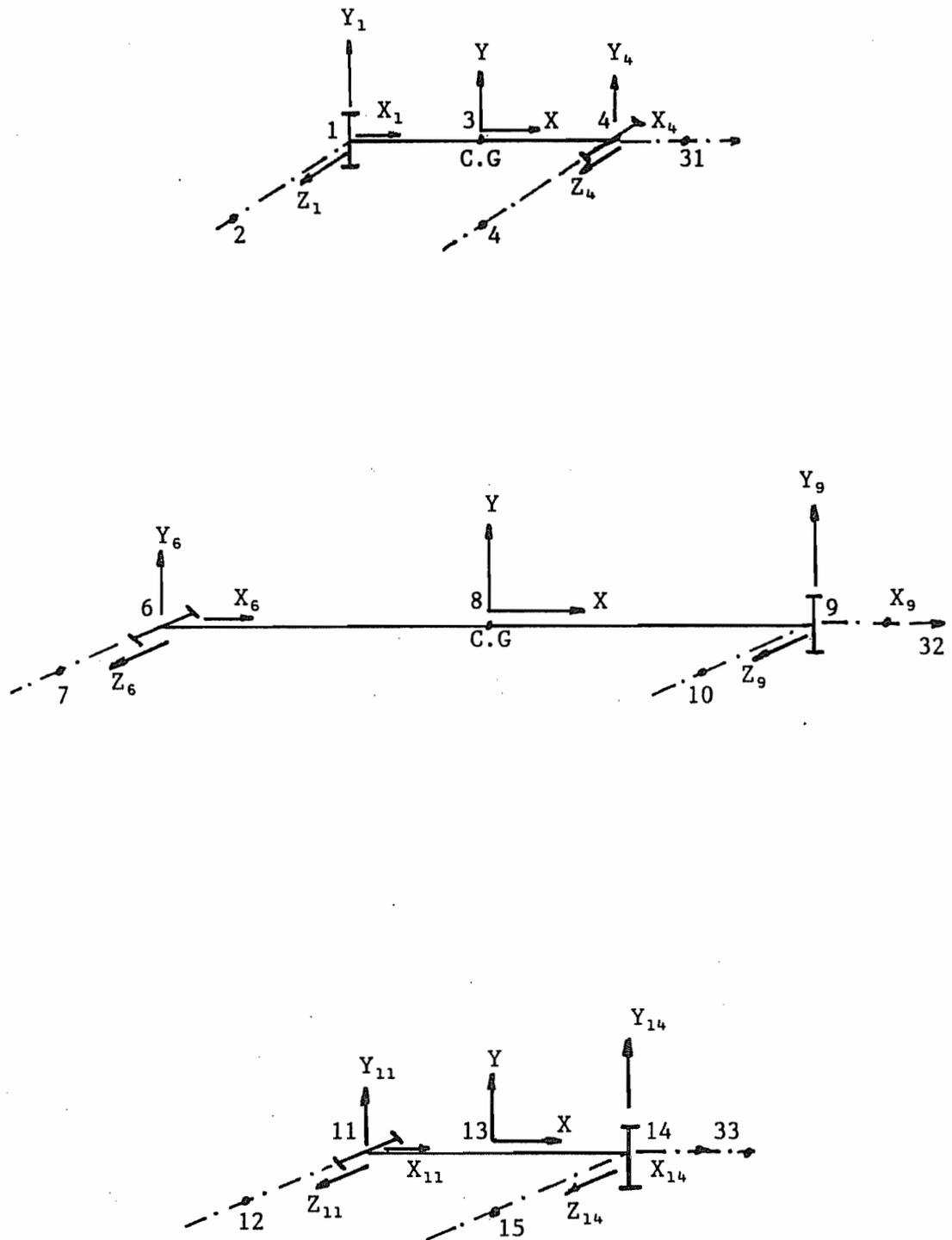


Figure 6.3

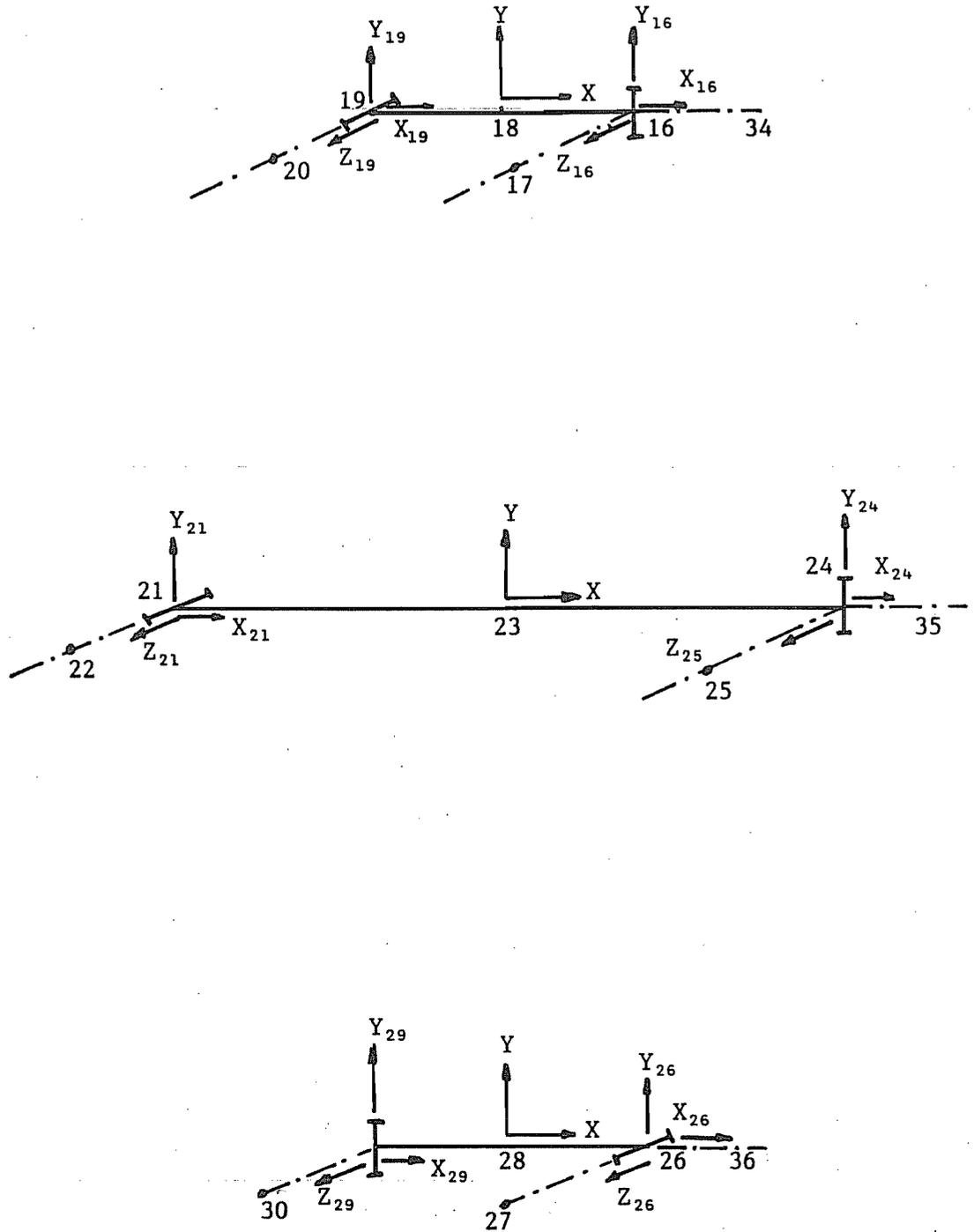


Figure 6.4

Ces données se mettent sous la forme

```

CORP      I      NOEUD
           |      |
           |      |-----> sous-commande appelée
           |-----> numéro du corps

(NOEUD)   I      COOR(3)
           |      |
           |      |-----> coordonnées (repère d'inertie du corps)
           |-----> numéro du point

CORP      I      TRIE

(TRIE)    APP      X      Z
  
```

Pour notre problème, les données associées aux différents corps seront

```

CORP      1      NOEUD
           1      -1
           2      -1      0      1
           3
           4      1
           5      1      0      1
           31     2

TRIE      1      3      2
           4      31     5

CORP      2      NOEUD
           6      -2.5
           7      -2.5      0      1
           8      2
           9      2.5
           10     2.5      0      1
           32     3

TRIE      6      8      7
           9      32     10
  
```

CORP	3	NOEUD		
	11	-1		
	12	-1	0	1
	13			
	14	1		
	15	1	0	1
	33	2		
TRIE	11	13	12	
	14	33	15	
CORP	4	NOEUD		
	16	1		
	17	1	0	1
	18			
	19	-1		
	20	-1	0	1
	34	2		
TRIE	16	34	17	
	19	18	20	
CORP	5	NOEUD		
	21	-2.5		
	22	-2.5	0	1
	23			
	24	2.5		
	25	2.5		
	35	3		
TRIE	21	23	22	
	24	35	25	

LIAI	1	CHAR	29	2	1	2
	2	CHAR	4	3	6	3
	3	CHAR	9	2	11	2
	4	CHAR	14	2	16	2
	5	CHAR	19	3	21	3
	6	CHAR	24	2	26	-3

Pour la dernière, on remarque en effet que les axes Y_{24} et Z_{26} sont opposés.

6.3 Fin de la description topologique

On termine la description topologique par la carte FIN.

6.4 Fixations

Le mécanisme est à présent décrit. Mais pour que les déplacements soient univoquement déterminés, il faut assurer quelques fixations. L'encastrement représenté à la fig. 6.1 revient à donner au point 3 du corps 1 les coordonnées suivantes

$$X = 1 \quad Y = 0 \quad Z = 0$$

et une rotation nulle,

ce qui s'écrit

```

FIXA   BATI
      1   1

```

Pour décrire le mouvement, on peut se donner une vitesse constante, par exemple un pas angulaire à l'articulation N (de numéro 2), avec un angle initial fixé. On écrira

```

DEF_MOB   VITE
      2   C-I 90   VAL -10

```

↳ numéro de la liaison

ce qui signifie que la vitesse angulaire du second corps lié (corps 2) par rapport au premier lié (corps 1), autour de la charnière (= Z_4 ou Z_6) est de (-10°) par seconde.

6.5 Assemblage du mécanisme au départ

Pour faciliter l'assemblage du mécanisme, il convient de donner au début des positions raisonnablement approchées des corps. On les obtient par translation et rotation à partir de la position de référence définie en NOEUD. A cet effet, on utilisera la commande VAL-APP.

VAL_APP	N1	X	Y	Z	UX	UY	UZ	
	n° corps	position centre de gravité			cos.dir.axes de rotation			de rot. autour de l'axe (degrés)

Nous écrivons

VAL_APP	1	1	0	0	0	0	1	0
	2	2	2.5	0	0	0	1	80
	3	2	5	1	0	1	0	-90
	4	1	5	2	0	0	1	0
	5	0	2.5	2	0	0	1	-90
	6	0	0	1	0	1	0	-75

On remarquera que les centres de gravité sont bien placés, mais que les angles ne sont qu'approchés pour les corps 2 et 6.

6.6 Fin des données

FIN

Les pages qui suivent illustrent le déroulement du programme, tel que l'aperçoit l'utilisateur à sa console.

```
*****  
*                                     *  
*   ETUDE CINEMATIQUE DE MECANISMES TRIDIMENSIONNELS   *  
*                                     *  
*****
```

Introduisez le nom du probleme a traiter BRICARD

MENU PRINCIPAL

=====

PREPARATION DES DONNEES	1
ANALYSE CINEMATIQUE	2
VISUALISATION	3
FIN DE SESSION	9

VOTRE CHOIX

PREPARATION DES DONNEES

SAISIE DE NOUVELLES DONNEES	1
RELECTURE D'UN JEU DE DONNEES	2
GENERATION D'UN FICHER FORMATTE	3
RETOUR AU NIVEAU SUPERIEUR	

VOTRE CHOIX

SAISIE DE NOUVELLES DONNEES

CHOIX DU MODE D'INTRODUCTION	1
DONNEES TOPOLOGIQUES	2
CONDITIONS LIMITEES	3
RETOUR AU NIVEAU SUPERIEUR	

La saisie de donnees peut etre realisee soit :

- au terminal --> introduire TERM
- au fichier de nom BRICARD.BAN
le defaut (--> <CR>)
- par un autre fichier contenant les donnees -->
introduire le nom du fichier

Votre choix :

Assemblage en 5 iterations

ANALYSE -- MENU

ANALYSE DU MECANISME 1

ETUDE DE LA MOBILITE 2

RETOUR AU NIVEAU SUPERIEUR

Votre choix :

Veillez introduire le nombre de pas 10

Veillez introduire le pas de temps 1

Pas :	1	Nombre d'iterations	5
Pas :	2	Nombre d'iterations	5
Pas :	3	Nombre d'iterations	5
Pas :	4	Nombre d'iterations	5
Pas :	5	Nombre d'iterations	5
Pas :	6	Nombre d'iterations	5
Pas :	7	Nombre d'iterations	5
Pas :	8	Nombre d'iterations	5
Pas :	9	Nombre d'iterations	5
Pas :	10	Nombre d'iterations	5

Voulez-vous executer une nouvelle analyse (O-N) ?

Voulez-vous conserver la derniere position
comme position initiale pour un redemarrage ? (O-N)

Enter Tektronix device type [Default: 4114] :
Output: terminal (1) or file (2) ? [Default: 1] :
Frame choice: grid (1) or axis (2) ? [Default: 1] :

VISUALISATION -- MENU

DES DONNEES D'UN CORPS RIGIDE	1
DES DONNES D'UNE LIAISON	2
ANIMATION DU MECANISME	3
TRACE DE FONCTION	4
RETOUR	
VOTRE CHOIX	

CORPS NUMERO : 1

=====

POINTS	COORDONNEES	X	Y	Z
1		-1.0000	0.0000	0.0000
2		-1.0000	0.0000	1.0000
3		0.0000	0.0000	0.0000
4		1.0000	0.0000	0.0000
5		1.0000	0.0000	1.0000
31		2.0000	0.0000	0.0000

TRIEDRES	POINT D'APPLICATION	AXE X	PLAN O X Z
	1	3	2
	4	31	5

POSITION INITIALE

X	1.0000	Y	0.0000	Z	0.0000	E0	1.0000	E1	0.0000	E2	0.0000	E3	0.0
---	--------	---	--------	---	--------	----	--------	----	--------	----	--------	----	-----

COMPOSANTE(S) FIXEE(S)

X	1.0000	Y	0.0000	Z	0.0000	E0	1.0000	E1	0.0000	E2	0.0000	E3	0.0
---	--------	---	--------	---	--------	----	--------	----	--------	----	--------	----	-----

2

Numero de la liaison a visualiser ?

LIAISON 2
 =====

TYPE : charniere

Premier point : 4 du corps 1

le triedre est defini par 31 5 axe choisi 3

Second point : 6 du corps 2

le triedre est defini par 8 7 axe choisi 3

PARAMETRES MOTEURS

comp : 2 vitesse

valeur -1.0000E+01 cond init 9.0000E+01

VISUALISATION -- MENU

DES DONNEES D'UN CORPS RIGIDE	1
DES DONNES D'UNE LIAISON	2
ANIMATION DU MECANISME	3
TRACE DE FONCTION	4
RETOUR	
VOTRE CHOIX	3

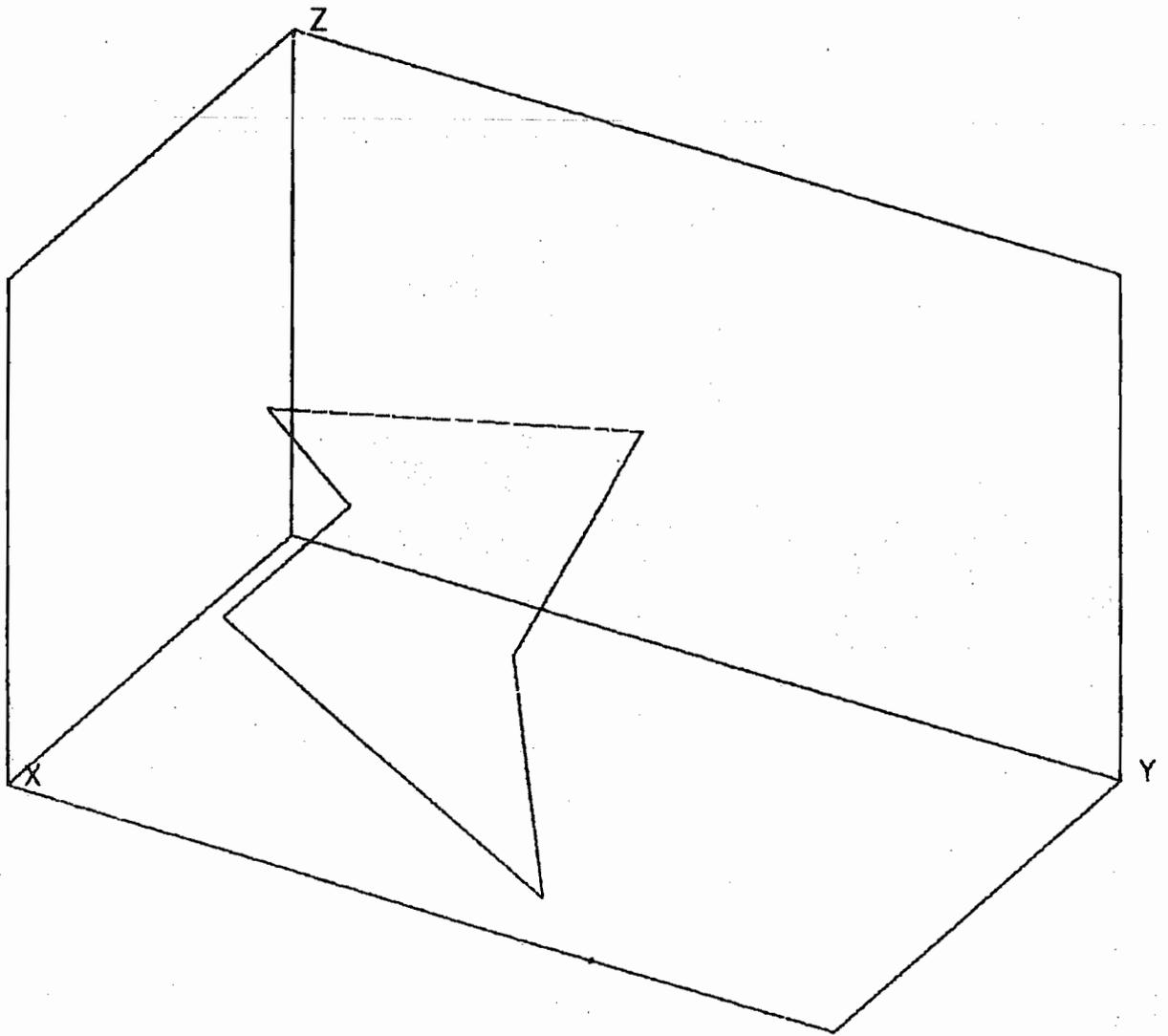
Voulez-vous visualiser des points particuliers
 si oui Tapez 0 ; sinon n'importe quelle touche 0
 Numero du point a visualiser ? 7

Voulez-vous visualiser des points particuliers
 si oui Tapez 0 ; sinon n'importe quelle touche

BOX> VAX 3

BOX> VIEW 30 30

VIEW> MOVE RUN



TRACE D EVOLUTIONS TEMPORELLES

NUMERO DU POINT A VISUALISER
ECRIVEZ 0 SI VOUS DESIREZ STOPPER LA VISUALISATION

8

QUELLE VARIABLE VOULEZ-VOUS COMME ABSCISSE?

1 = TEMPS

2 = X

3 = Y

4 = Z

1

QUELLE VARIABLE VOULEZ-VOUS COMME ORDONNEE?

1 = TEMPS

2 = X

3 = Y

4 = Z

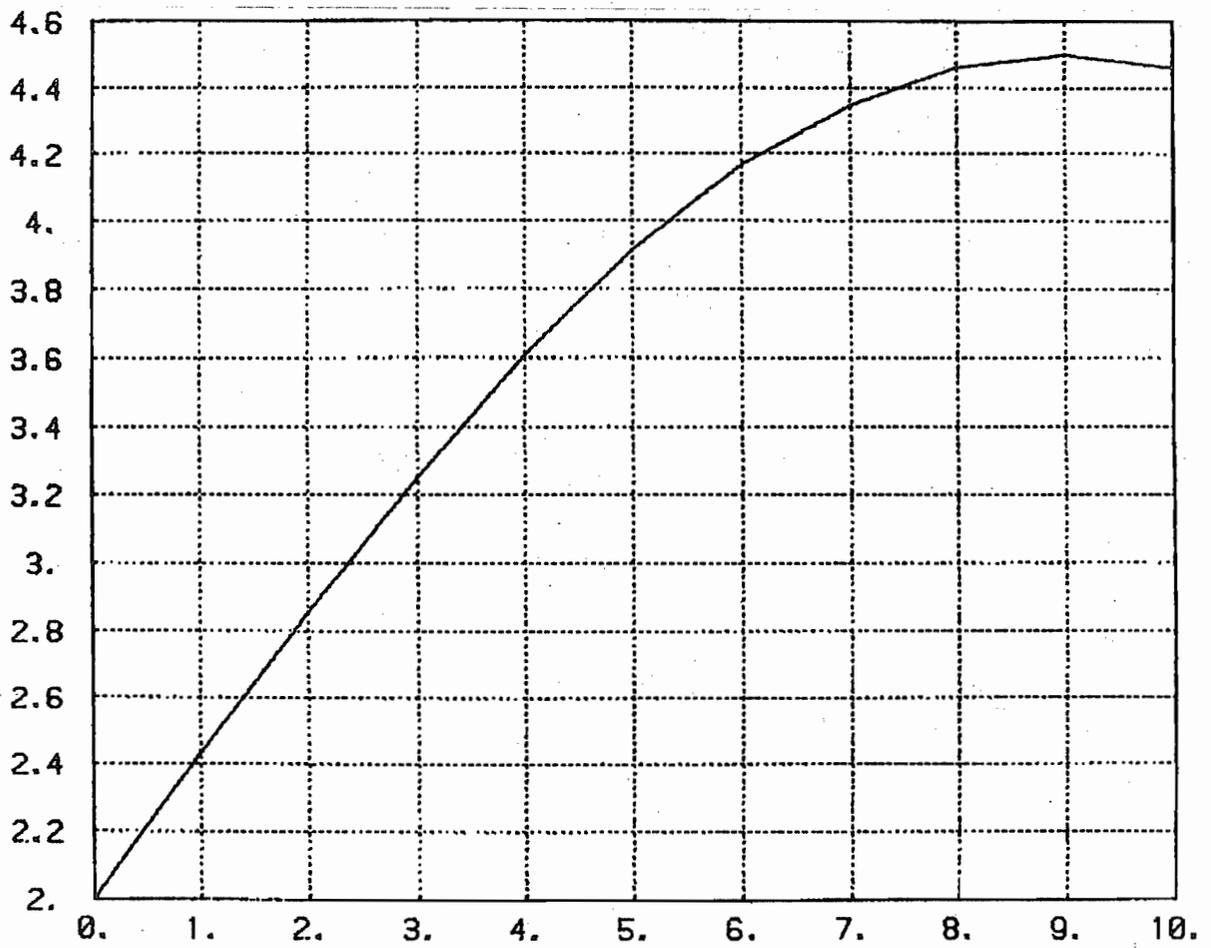
2

TITRE A DONNER A LA VISUALISATION?

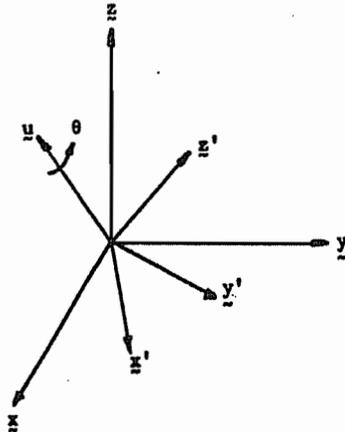
(60 CARACTERES MAXIMUM)

DEPLACEMENT SUIVANT X DU POINT 8

DEPLACEMENT SUIVANT X DU POINT 8



ANNEXE - DETERMINATION DE L'AXE ET DE L'ANGLE D'UNE ROTATION FINIE



Soit une rotation d'axes faisant passer du trièdre (x, y, z) au trièdre (x', y', z') , tous deux trirectangles, normés et droitiers. Cette rotation s'obtient en tournant d'un certain angle Φ autour d'un axe défini par le vecteur unitaire \underline{u} .

Convenons d'exprimer tous les vecteurs $\underline{x}', \underline{y}', \underline{z}'$ et \underline{u} dans le système de référence $(\underline{x}, \underline{y}, \underline{z})$. Leurs composantes forment alors les vecteurs unicolonnes

$$\underline{x}' = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad \underline{y}' = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \quad \underline{z}' = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} \quad \underline{u}' = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}$$

La matrice de transformation s'exprime par

$$R = [r_{ij}] = [\underline{x}', \underline{y}', \underline{z}'] = \cos\Phi \mathbf{I} + (1 - \cos\Phi) \underline{u} \underline{u}^T + \sin\Phi \begin{bmatrix} 0 & -u_3 & u_2 \\ u_3 & 0 & -u_1 \\ -u_2 & u_1 & 0 \end{bmatrix}$$

On peut en déduire

$$\text{tr}(R) = 1 - 2 \cos\Phi$$

d'où

$$\cos\Phi = 1/2 [1 - \text{tr}(R)] \quad (1)$$

et, en choisissant l'orientation de l'axe pour que l'angle soit compris entre 0 et 180° ,

$$\sin\Phi = \sqrt{1 - \cos^2\Phi} \quad (2)$$