

**UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO**  
**ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE**  
**DÉPARTEMENT DE LA FORMATION INITIALE SCIENTIFIQUE**  
CENTRE D'ÉTUDE ET DE RECHERCHE EN PHYSIQUE CHIMIE  
N° d'ordre : 06-237 /PC

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE POUR L'OBTENTION DU CERTIFICAT  
D'APTITUDE DE L'ÉCOLE NORMALE (CAPEN)

**CONCEPTION ÉLABORATION ET EXPLOITATION D'UN  
DISPOSITIF  
POUR L'ÉTUDE DES CHUTES DES CORPS**

présenté par  
**RAKOTOARIMANANA Hasina Tantely**  
le 30 mars 2006

Membres du Jury

**Président :**

Mr RASOANAIVO René Yves – Maître de conférence

**Juges :**

-Mr RASOLONDRAMANITRA Henri – Maître de conférence

-Mme RAHARIJAONA Parsonnette – Assistant

**Directeur :**

Mr ANDRIANARIMANANA Jean Claude Omer – Maître de conférence

**AU 2005-2006**



## REMERCIEMENT



**CE TRAVAIL EST LE FRUIT DES EFFORTS CONJUGUÉS DE PLUSIEURS PERSONNES. SI NOUS EN SOMMES LÀ MAINTENANT, C'EST, D'ABORD, GRÂCE A :**

- Mr RASOANAIVO RENÉ YVES QUI A BIEN VOULU PRÉSIDER CETTE SOUTENANCE DE MÉMOIRE MALGRÉ SES AUTRES PLUS IMPORTANTES PREOCCUPATIONS QU'IL A AILLEURS QU'ICI**
- Mr RASOLONDRAMANITRA HENRI ET Mme RAHARIJAONA PARSONNETTE QUI ONT ACCEPTE DE JUGER NOTRE TRAVAIL, SANS VOUS, LE PRÉSENT MÉMOIRE N'AURAIT NULLEMENT AUCUNE VALEUR**
- Mr ANDRIANARIMANANA JEAN CLAUDE OMER, NOTRE ENCADREUR, QUI A DEPENSÉ BEAUCOUP DE SON TEMPS POUR L'ACHÈVEMENT DE CE TRAVAIL DURANT CES 10 DERNIERS MOIS.**

**VEUILLEZ TROUVER ICI, CHERS PROFESSEURS, L'EXPRESSION DE NOTRE PROFONDE RECONNAISSANCE.**

**ET ENSUITE A :**

- Mr Ranaivoson Rivo, celui qui nous a enseigné l'atelier didactique, non seulement vous nous avez appris la matière mais aussi, vous nous avez fait profiter de vos expériences professionnelles durant notre travail d'élaboration du matériel ;**
- Mr Fanantenana Aimé à qui nous devons la connaissance et le développement de programmes avec C++ ;**
- Mr Nirry de l'informatique car vous nous avez partagé vos expériences en C++ et aussi sur l'informatique en général.**

**NOUS VOUS ADRESSONS NOTRE VIF ET SINCÈRE REMERCIEMENT.**

**Nous remercions également les responsables des ateliers avec lesquels nous avons collaboré étroitement pour réussir les parties du matériel nécessitant vos machines, en particulier ceux de l'atelier fer et bois de l'église FJKM Ambohitarahaba.**

**ENFIN NOUS EXPRIMONS NOTRE GRATITUDE ENVERS LES QUELQUES PERSONNES SUIVANTES : Mr Jérémie, Mr Arsène , Mr Nirina, ceux qui sont responsables du nettoyage et aussi tous mes collègues qui nous ont beaucoup aidé durant ces quelques mois de travail.**

**NOUS REITERONS UNE FOIS DE PLUS NOTRE REMERCIEMENT ENVERS CHACUN DE VOUS TOUS CITES EN HAUT ET REAFFIRMONS UNE FOIS ENCORE QUE NOTRE EFFORT SEUL NE POUVAIT MENER A RIEN.**

**A TOUS, MERCI.**

## Résumé

Ce mémoire propose l'étude des forces qui s'appliquent à un corps en chute à partir de valeurs expérimentales obtenues grâce à un dispositif. Bien que nous ne puissions étudier qu'un cas singulier avec le dispositif (car on ne peut varier qu'un seul paramètre : la masse du corps en chute) la méthode associée est valable pour tous les autres cas, car on a :

- élaboré un dispositif qui donne l'évolution de  $z(t)$  pour le corps en chute ;
- utilisé la programmation pour faire l'interpolation des valeurs expérimentales afin de trouver la loi horaire du mouvement et calculer ensuite l'expression des forces de frottements.

La programmation a été faite avec Visual C++, un langage adapté aux calculs de ce genre et permettant aussi une interface graphique évoluée c'est-à-dire Windows.

## Liste des figures

1.1 diagramme des vitesses pour MRU

4

1.2 diagramme des espaces

4

1.3 diagramme des accélérations pour un MRUV

6

1.4 diagramme de  $v(t)$  pour un MRUV

6

1.5 diagramme des espaces pour un MRUV

6

1.6 variation de la vitesse angulaire pour un MCU

8

1.7 variation de l'angle pour un MCU

8

1.8 diagramme des vitesses

9

1.9 diagramme des accélérations

9

1.10 diagramme des espaces pour une chute libre avec vitesse initiale

10

1.11 diagramme des espaces si  $V_0 = 0$

10

1.12 Variation de l'accélération si la verticale est orientée vers le haut

11

1.13 Variation du module de la vitesse si  $V_0$  est vers le haut

---

11

1.14 diagramme des espaces

---

12

2.1 Schéma du circuit électrique

---

17

2.2 Photo numérique du dispositif

---

18

2.3 Vue globale du dispositif

---

19

2.4 Le cylindre

---

20

2.5 Le mobile

---

21

2.6 Le système qui maintient le mobile

---

22

2.7 Le socle du bas

---

23

2.8 Les étapes du traçage

---

26

2.9 Allure de  $z(t)$  obtenue avec le dispositif

---

27

2.10 Exploitation de la courbe  $z(t)$  si  $A_0$  est connue

---

28

3.1 Les courbes à tracer

---

34

3.2	Allures	de	courbe
37			
3.3	Schéma	du	montage (exercice)
40			
3.4	courbe	obtenue	à analyser (exercice)
41			
3.5	L'interface	de	Visual C++
43			
3.6	Interface	d'un	programme sous DOS
44			
3.7	Fonctionnement	de	l'ensemble
46			

## Liste des tableaux

2.1	Estimation	des	prix
24			
2.2	Estimation	des	temps des travaux
24			
2.3	Tableau	à dresser	si Ao est connue
29			
3.1	Première	série de	valeurs : origine déterminée
35			
3.2	Deuxième	série de	valeurs
35			

3.3	Analyse de la première série de valeurs	
35		
3.4	Tableau à compléter par les élèves	
38		
3.5	Tableau des résultats finaux	
49		
3.6	Troisième série de valeurs	
49		

## Annexes

**Annexe 1** : rappels de mathématiques

**Annexe 2** : Vocabulaire, exemples de code

**Annexe 3** : Quelques mots sur le plateforme SDK

## TABLES DES MATIERES

Introduction .....	1
<b>Partie 1 : PARTIE THEORIQUE</b> .....	3
<b>I I. QUELQUES MOUVEMENTS TYPES EN CINEMATIQUE</b> .....	4
I.1 Les mouvements rectilignes uniformes ou MRU.....	4
I.1.1 Définition.....	4
I.1.2 Les équations des MRU.....	4
I.1.3 Propriétés fondamentales des MRU .....	4
I.1.4 Courbes d'un MRU.....	4
I.2 Les mouvements rectilignes uniformément variés ou MRUV.....	5
I.2.1 Définition.....	5
I.2.2 Les équations des MRUV.....	5
I.2.3 Propriétés fondamentales des MRUV.....	5
I.2.4 Courbes d'un MRUV.....	6
I.3 Les mouvements circulaires uniformes ou MCU.....	7
I.3.1 Définition.....	7
I.3.2 Les équations des MCU.....	7
I.3.3 Propriétés fondamentales des MCU.....	7
I.3.4 Courbe d'un MCU.....	8
<b>I-II. LA CHUTE DES CORPS DANS LE VIDE</b> .....	8
II.1 Nature du mouvement.....	8
II.2 Chute avec vitesse initiale vers le bas.....	9
II.3 Chute avec vitesse initiale vers le haut.....	11
<b>I-III. CHUTE AVEC FROTTEMENTS VERTICAUX</b> .....	13
Si $\sum R_v$ dépend du temps.....	13
Si $\sum R_v$ ne dépend pas du temps.....	14
 <b>Partie 2 : CONCEPTION ELABORATION</b> .....	15
<b>II- I. CONCEPTION ELABORATION</b> .....	16
I.1 Le cylindre.....	16
I.2 Le mobile et le système qui le maintient.....	16
I.3 Le socle.....	17
I.4 Durée des travaux et prix d'achat.....	24

I.4.1 Estimation des prix .....	24
I.4.2 Durée des travaux.....	24
<b>II- II. PRINCIPE ET EXPLOITATION.....</b>	<b>25</b>
II.1 Le principe.....	25
II.2 Déroulement d'une séance de manipulation.....	25
II.3 Explication et justification.....	27
II.4 Etude d'une courbe expérimentale.....	28
II.5 Analyses quantitatives.....	30
 <b><u>Partie 3 : EXPLOITATION PEDAGOGIQUE</u>.....</b>	 <b>32</b>
<b>III- I.FICHE TP POUR ENSEIGNANT.....</b>	<b>33</b>
<b>III- II.FICHE TP POUR ELEVES.....</b>	<b>37</b>
II.1 Si l'origine du mouvement est déterminée.....	38
II.2 Si l'origine n'est pas déterminée.....	39
Exercices d'extension	
<b>III- III.UTILISATION DE LA PROGRAMMATION.....</b>	<b>42</b>
III.1 Introductions.....	42
III.2 Algorithmes et description des programmes.....	46
III.2.1 thewinnew.exe.....	47
III.2.2 inters.exe.....	48
III.2.3 Polynome.exe.....	48
III.2.4 Vecteurs.exe.....	49
III 2-5 Le fichier d'aide.....	49
III 2.6 Tableaux des résultats finaux.....	50
 Conclusion.....	 51

## Introduction

L'utilisation des matériels didactiques est nécessaire pour un enseignement apprentissage efficace des Sciences Physiques. Voilà une théorie qui n'est pas du tout récente mais qui n'a pas été faussée par d'autres. Puisque nous cherchons ce qui est meilleure dans notre future carrière d'enseignant de la matière, c'est la raison principale du choix de notre sujet de travail qui s'intitule :

### **« Conception élaboration et exploitation d'un dispositif d'étude des chutes des corps ».**

Ayant vu les tarifs proposés par le Centre National de Production de MAtériels Didactiques (CNAPMAD), l'élaboration de matériels (qui peut sous entendre adaptation, remise en état, conception, assemblage, améliorations, ...) par soi même est avantageux au moins sur trois plans :

- produit du CNAPMAD est en général plus cher par rapport à ce que vous pouvez élaborer par vous-même. A titre d'exemple, le tableau comparatif suivant

SOURCE	CNAPMAD	BROCANTEUR
TRANSFORMATEUR	>10 000 ar	< 4 000 ar
BT 220V – 12V	neuf	en état de marche

- l'élaboration par soi même offre une expérience de plus pour l'enseignant. C'est-à-dire une connaissance sur l'industrie de transformation à Madagascar. Par exemple : qu'est on peut faire du verre, comment on traite les aciers, les matières plastiques, ... .
- on maîtrise toujours mieux un matériel que l'on a réalisé avec ses propres mains. L'enseignant assure toutes les situations car à la fois technicien, ingénieur et savant.

Le matériel élaboré peut être exploité dans les TP et cours de Mécanique des classes de premières et terminales scientifiques. Il est indiqué dans le programme des classes de premières : « il est souhaitable d'établir expérimentalement les lois de la chute libre – pour les chutes sans vitesse initiale – à savoir  $\mathbf{v} = \mathbf{gt}$  et  $\mathbf{z} = \frac{1}{2}\mathbf{gt}^2$  » [1]. Les pièces utilisées sont des produits locaux et le matériel est facile à réparer si une panne

survient. L'enseignant doit expliquer l'origine de l'écart entre les résultats expérimentaux et ceux du cours.

Le dispositif en question s'appelle machine de Morin (inventé par Morin). Au départ, il l'a conçu pour prouver la loi de la chute libre

$z(t) = kt^2$  [2]. Dans notre cas, on ne peut pas réaliser cette étude à cause des forces de frottement qui ne sont plus négligeables. Nous avons envisagé une approche plus générale du système en utilisant la programmation car nous avons conçu un programme avec Visual C++ qui permet de calculer l'accélération du corps en chute par interpolation des valeurs expérimentales obtenues avec le dispositif. Connaissant la vitesse de rotation du cylindre et la masse du corps en chute on peut chercher l'expression de la résultante verticale des forces de frottement.

Compte tenu de ces observations, ce travail comprend trois parties.

- partie I : contient un rappel des généralités sur quelques mouvements de base en Cinématique, suivi d'une étude dynamique des chutes des corps ;
- partie II : explique l'élaboration et l'exploitation des courbes expérimentales obtenues qui peut être l'étude quantitative avec la programmation ou l'étude qualitative seulement qui s'arrête au niveau de l'allure des courbes.
- partie III : traite de l'approche éducatif, pédagogique et informatique (programmation) de ce travail.

## Partie I

# PARTIE THEORIQUE

Cette première partie est un groupe de rappels de quelques parties des programmes des classes de premières et terminales scientifiques de Cinématique et de Dynamique. L'important est l'étude des chutes des corps que ce soit dans le vide ou avec frottements.

## I-I- QUELQUES MOUVEMENTS TYPES EN CINEMATIQUE

### I-1-Les mouvements rectilignes uniformes ou MRU

#### **I-1-1.Définition**

Un mobile ou un corps est animé d'un MRU si :

- la trajectoire de son mouvement est une portion de droite
- sa vitesse garde une valeur constante au cours du temps d'étude

#### **I-1-2.Les équations des MRU :**

$$\begin{cases} x = vt + x_0 & \text{abscisse en m} \\ v = C^{te} & \text{vitesse en m/s} \\ a = 0 & \text{accélération en } ms^{-2} \end{cases}$$

La première équation peut encore s'écrire :

$$(1.1) \Delta x = v \Delta t$$

Où  $\Delta x$  désigne la distance parcourue pendant la durée  $\Delta t$

#### **I-1-3.Propriétés fondamentales des MRU**

L'espace parcouru par un mobile en MRU est toujours proportionnel à la durée du parcours.

Autre propriété : le vecteur vitesse est un vecteur constant c'est à dire

$$\frac{d\vec{v}(t)}{dt} = 0 \quad \text{donc} \quad (1.2) a = 0$$

#### **I-1-4.Courbes d'un MRU**

Figure 1.1 : Diagramme de vitesse  $v(t)$  d'un MRU

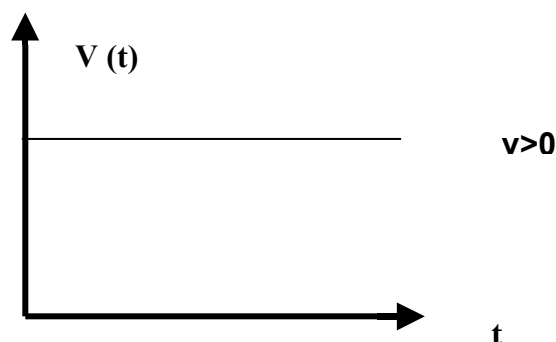
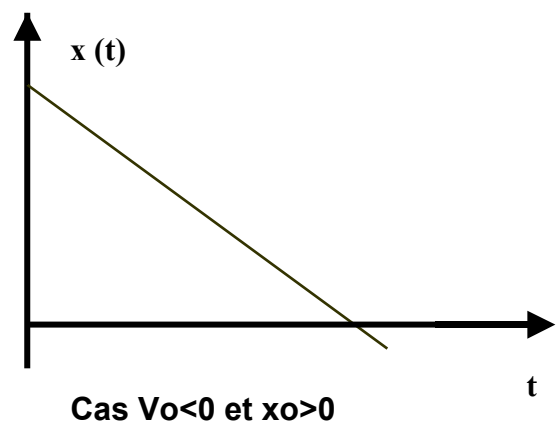


Figure 1.2 : diagramme des espaces  $x(t)$



## **I-2-Les mouvements rectilignes uniformément variés ou MRUV**

On distingue

- ❖ le mouvement rectiligne uniformément accéléré ou MRUA
- ❖ le mouvement rectiligne uniformément retardé ou MRUR

### **I-2-1.Définition**

Un mobile est animé d'un MRUA/MRUR si :

- la trajectoire de son mouvement est une portion de droite
- son accélération garde une valeur constante au cours du temps d'étude telle que :

pour un MRUA la vitesse et l'accélération sont de même sens

pour un MRUR la vitesse et l'accélération sont de sens opposés

### **I-2-2.Les équations des MRUV :**

$$\begin{cases} x(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 & (m) \\ v(t) = at + v_0 & (m.s^{-1}) \\ a(t) = C^{te} & (m.s^{-2}) \end{cases}$$

Où  $v_0$  et  $x_0$  sont respectivement la vitesse et l'espace à la date initiale

### **I-2-3.Propriétés fondamentales des MRUV**

L'augmentation de la vitesse entre deux instants  $t_1$  et  $t_2$  est proportionnelle à la durée

$t_2 - t_1$  puisque la deuxième relation peut encore s'écrire

$$(1.3) \Delta v = a \Delta t$$

Où  $\Delta v$  désigne l'écart  $v(t_2) - v(t_1)$

Il existe une relation indépendante du temps entre les abscisses et les vitesses respectives en deux dates différentes

$$(1.4) 2a(x(t_2) - x(t_1)) = v^2(t_2) - v^2(t_1)$$

Le vecteur accélération est un vecteur constant c'est-à-dire

$$(1.5) \frac{d}{dt} \vec{a}(t) = \vec{0}$$

### **I-2-4.Courbes d'un MRUV**

Figure 1.3 : diagramme des accélérations pour un MRUV

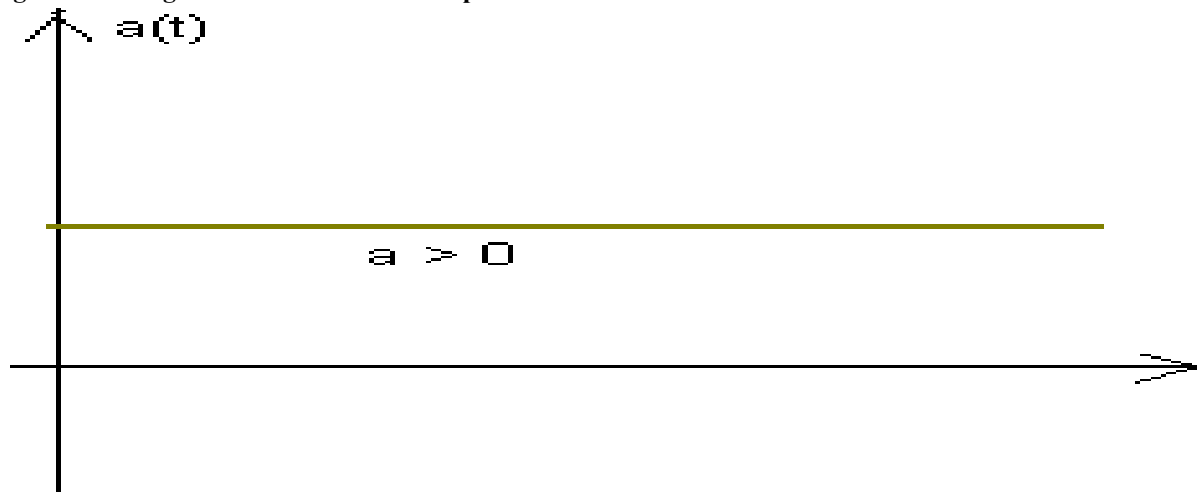
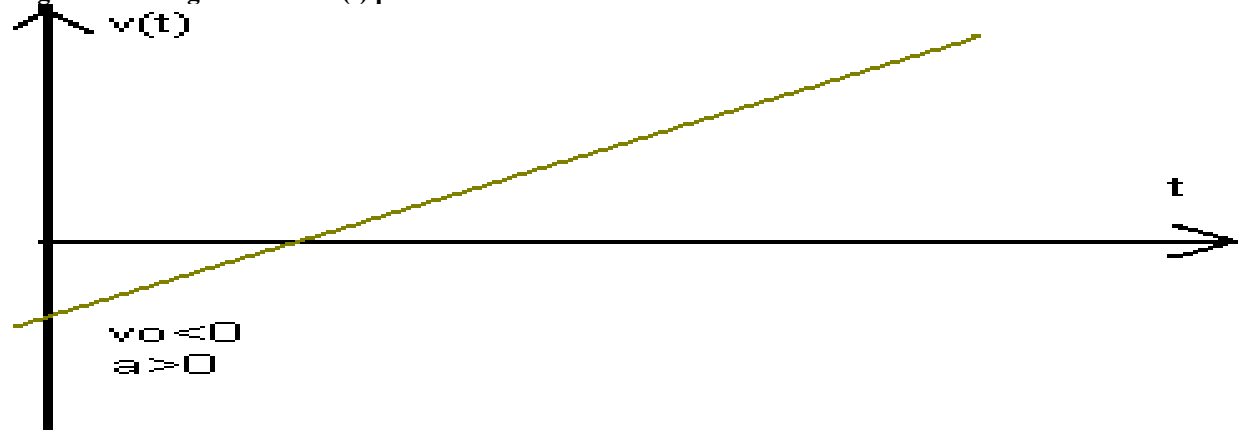
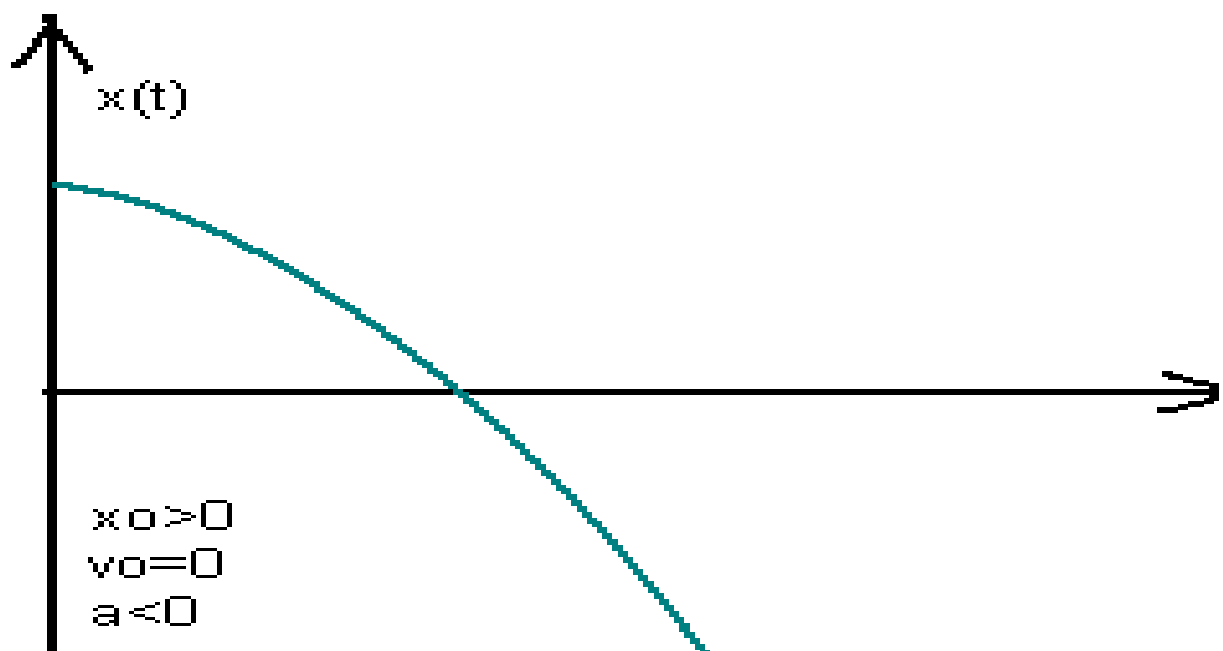
Figure 1.4 : diagramme de  $v(t)$  pour un MRUV

Figure 1.5 : diagramme des espaces pour un MRUV



### **I-3-Les mouvements circulaires uniformes ou MCU**

#### **I-3-1.Définition**

Un corps est animé d'un mouvement circulaire uniforme (MCU) si :

- sa trajectoire est un arc de cercle
- sa vitesse garde une valeur constante au cours du temps.

On utilise  $\theta$  pour l'abscisse angulaire, et ainsi

#### **I-3-2.Les équations des MCU :**

$$\begin{cases} \theta(t) = \dot{\theta} t + \theta_0 & (rad) \\ \dot{\theta}(t) = C^{te} & (rad.s^{-1}) \\ \ddot{\theta}(t) = 0 & (rad.s^{-2}) \end{cases}$$

Où  $\theta_0$  position angulaire initiale  $\theta(t=0)$

$\dot{\theta}$  la vitesse angulaire

$\ddot{\theta}$  l'accélération angulaire.

La relation entre la vitesse linéaire et la vitesse angulaire est :

$$v = R\dot{\theta}$$

R : rayon de la trajectoire

v : vitesse du mobile

#### **I-3-3.Propriétés fondamentales des MCU**

Ces propriétés sont très similaires à celles d'un MRU, la seule différence est le rayon de la trajectoire. En effet :

$$\Delta \theta = \dot{\theta} \Delta t$$

$\Delta \theta$  désignant la variation angulaire

Et : l'espace parcouru est proportionnel à la durée du parcours. Cette propriété est utilisée ultérieurement dans le cadre de la conception du matériel.

### I-3-4. Courbes d'un MCU

Figure 1.6 : variation de la vitesse angulaire pour un MCU

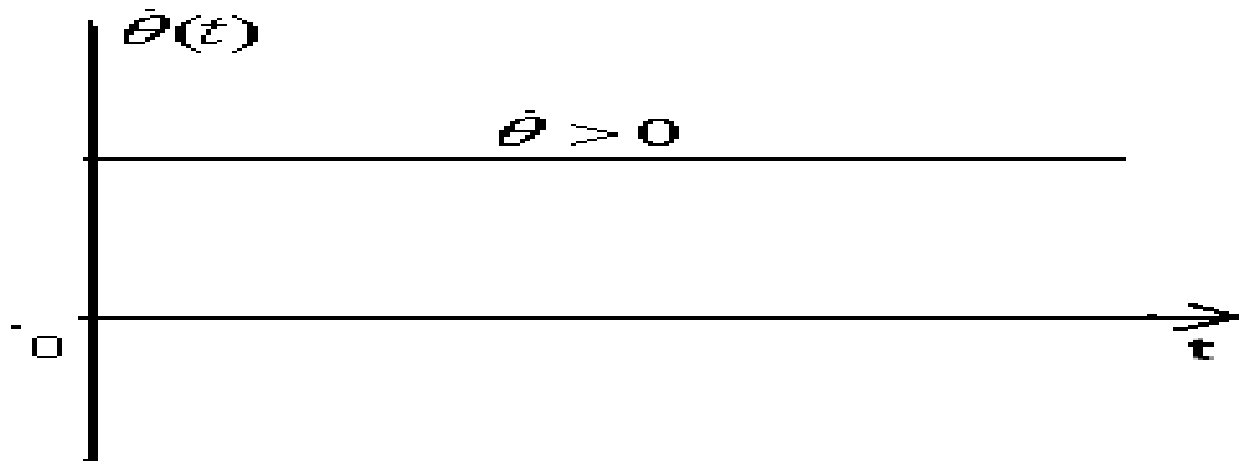
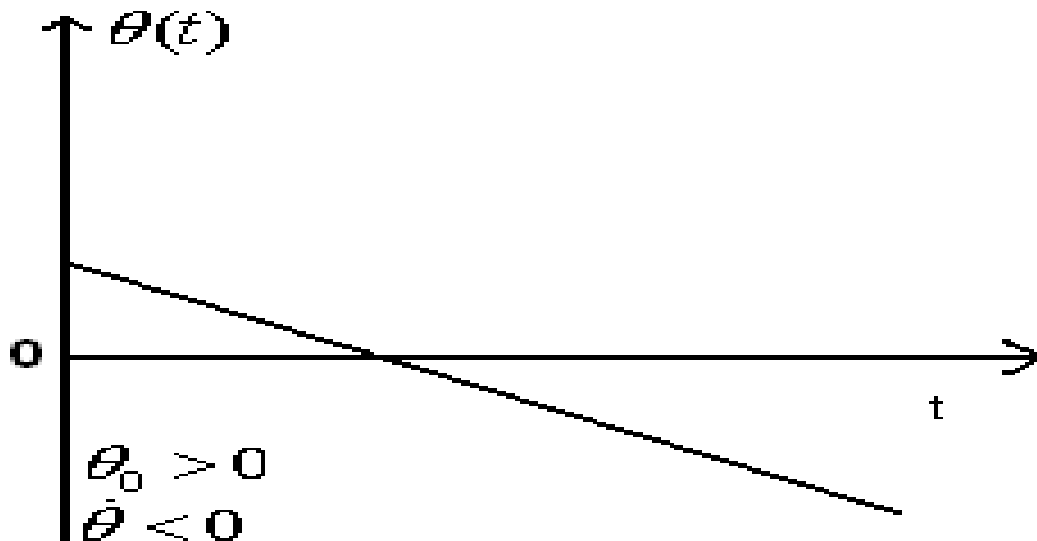


Figure 1.7 : variation de l'angle pour un MCU



## I- II LA CHUTE DES CORPS DANS LE VIDE (étude cinématique)

Un corps est en chute libre s'il est soumis à la seule action de son poids  $\vec{P}$ . Il existe deux cas de mouvements de chute libre avec vitesses initiales verticales :

- la vitesse initiale  $\vec{v}_0$  est orientée vers le haut
- la vitesse est orientée vers le bas

### II-1 Nature du mouvement

Un mouvement de chute libre a pour vecteur accélération l'attraction gravitationnelle  $g$ .

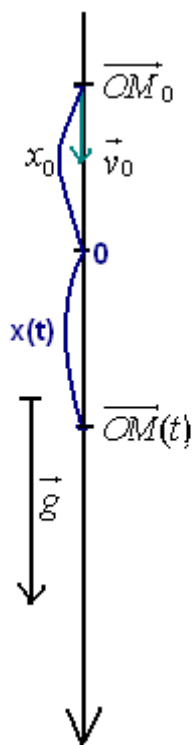
D'où les équations du mouvement :

$$\begin{cases} z(t) = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t + z_0 & (m) \\ v(t) = gt + v_0 & (m.s^{-1}) \\ a(t) = g = C^{te} & (m.s^{-2}) \end{cases}$$

## **II-2 Chute avec vitesse initiale vers le bas**

Sur un axe des espaces orientés vers le bas, l'équation horaire du mouvement est :

$$(1.6) \quad z = \frac{1}{2}gt^2 + v_0t + z_0$$



On a un MRUA car  $v$  et  $g$  sont de même sens

La vitesse croît avec le temps selon l'équation

$$v = gt + v_0$$

Particulièrement si  $v_0 = 0$  on a une croissance linéaire

$$v = gt$$

Et entre deux dates  $t_1$  et  $t_2$  la relation indépendante du temps s'écrit

$$2g(x(t_2) - x(t_1)) = v_2^2 - v_1^2$$

Voici les diagrammes respectifs, des vitesses, des accélérations et des espaces pour un tel mouvement :

Figure 1.8 : diagramme des vitesses

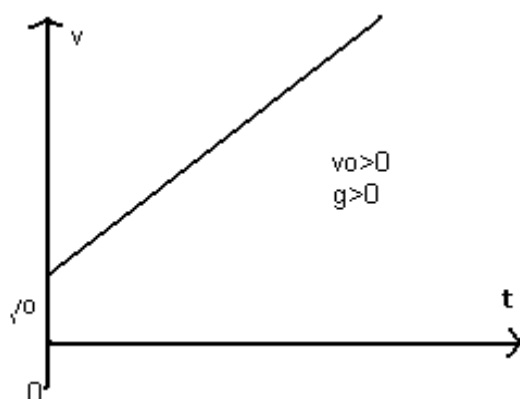


Figure 1.9 : diagramme des accélérations

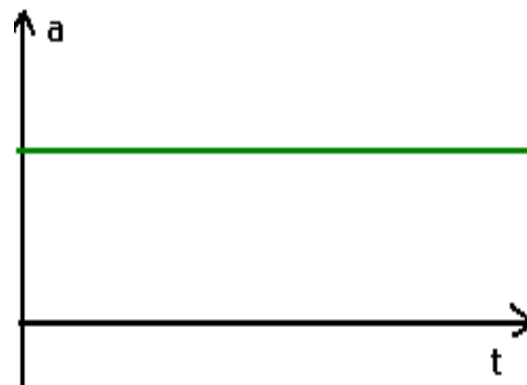
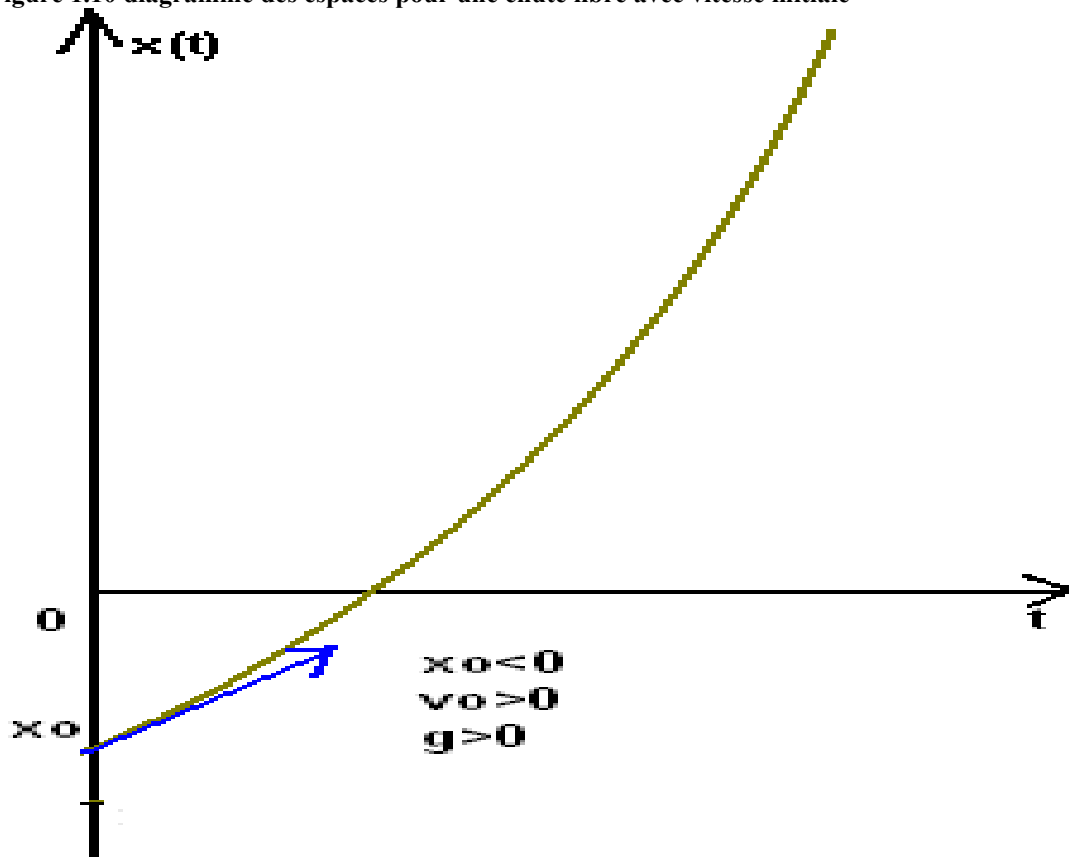
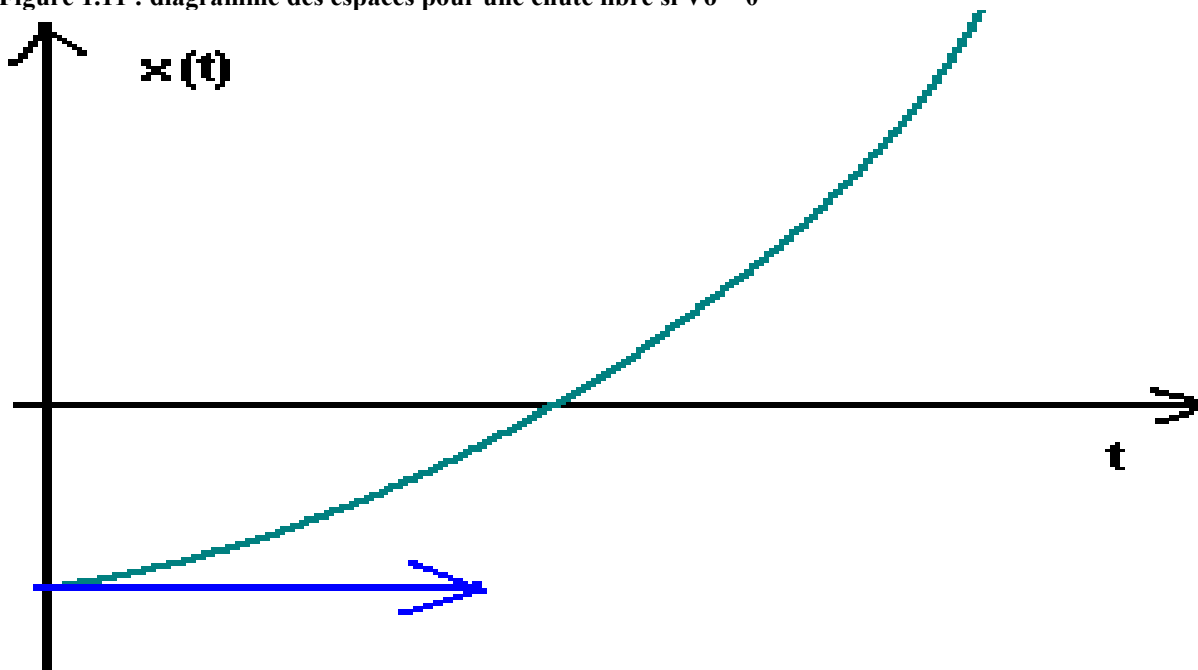


Figure 1.10 diagramme des espaces pour une chute libre avec vitesse initiale



A la date  $t = 0$ , le mobile a une vitesse  $v_0 \neq 0$  et la tangente en ce point n'est pas horizontale.

Particulièrement si  $v_0 = 0$  on aurait le diagramme 1.10

Figure 1.11 : diagramme des espaces pour une chute libre si  $V_0 = 0$ 

### **II-3 Chute avec vitesse initiale vers le haut**

Sur un axe orienté vers le haut, l'équation horaire du mouvement s'écrit

$$z = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t + z_0$$

On a un MRUR car

$$v(t) \cdot g < 0$$

La vitesse décroît avec le temps suivant l'équation

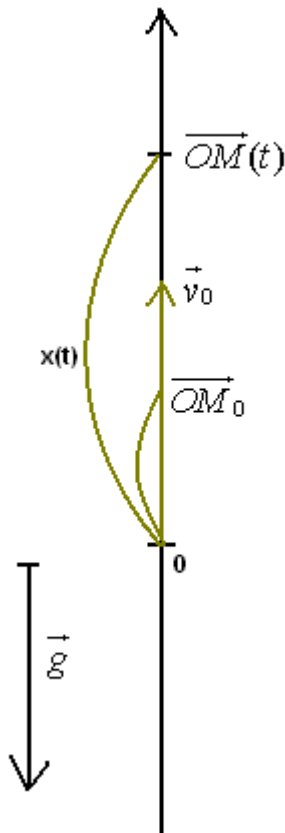
$$v = -gt + v_0$$

Et il existe alors une date  $t_m$  où l'effet de  $v_0$  prend fin

$$v(t_m) = 0$$

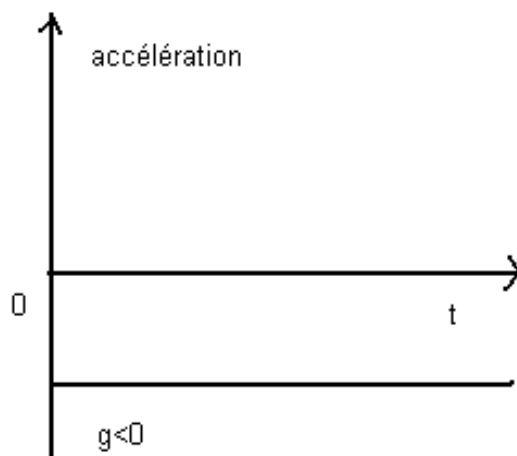
$$t_m = \frac{v_0}{g}$$

Après, le mouvement change de sens ; le mobile redescend le long de la même verticale avec un mouvement accéléré sans vitesse initiale.



Les diagrammes suivants résument les caractéristiques de ces mouvements

**Figure 1.12 : variation de l'accélération si la verticale est orientée vers le haut**



**Figure 1.13: variation du module de la vitesse si  $v_0$  est le vers le haut**

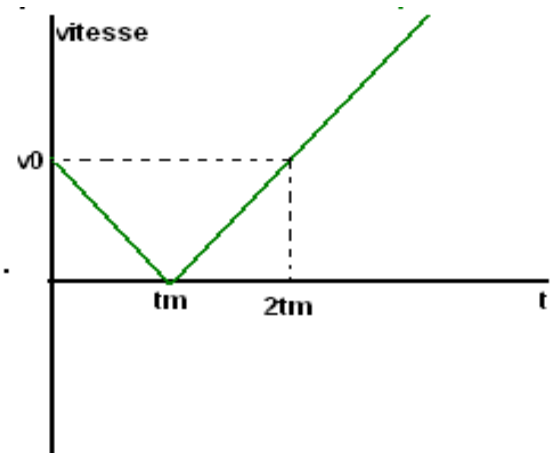
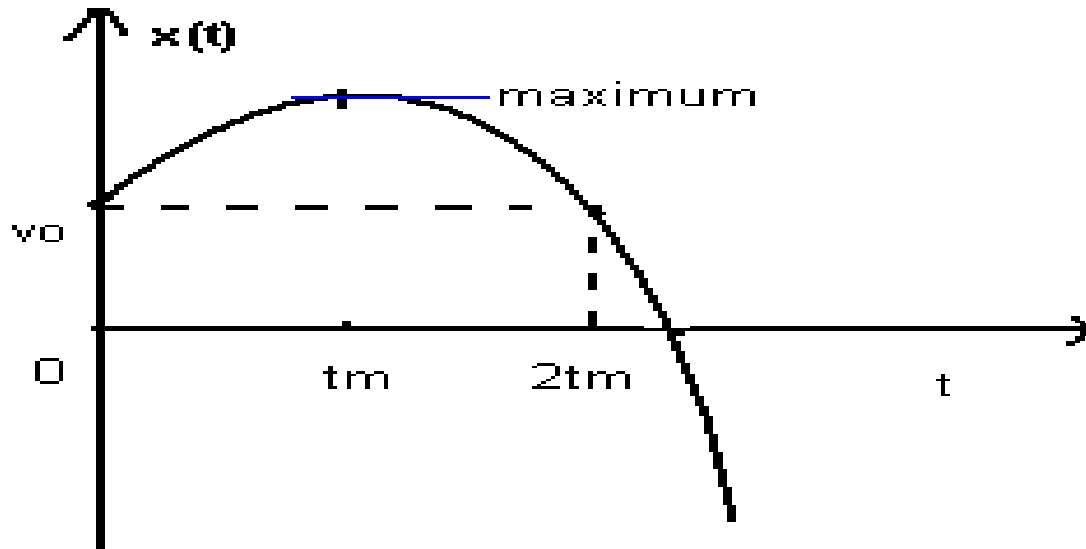


Figure 1.14 : diagramme des espaces si  $V_0$  est vers le haut

Dans les MRUV, les équations qui donnent  $x_0$  et  $v_0$  n'ont pas les mêmes valeurs : la condition sur  $\vec{v}_0$  influe sur la nature du mouvement, tandis que la condition sur la position n'a aucun effet.

Alors dès fois on annule  $x_0$  sans modifier pour autant la nature du mouvement.

### I-III- CHUTE AVEC FROTTEMENTS

En réalité, les mouvements de chute « libre » ne le sont jamais parce qu'ils ne s'effectuent pas dans le vide. Il y a toujours d'autres forces qui interviennent : la résistance de l'air, à priori. Et on fait appel à la dynamique.

Rappelons la méthode dynamique :

- faire l'inventaire des forces qui entrent en jeu
- écrire la (les) relation(s) adéquate(s) (transformer en équations)
- résoudre les équations.

Les forces qui s'appliquent à un corps en chute sont :

-son poids  $P = mg$

-les résistances verticales  $\sum R_v$  (rassemblant toutes forces opposées en sens au poids)

-les résistances non verticales  $\sum R_{nv}$  (souffle du vent, frottement avec d'autres corps,...)

Mais on ne tiendra compte ici que de  $\sum R_v$  pour que la trajectoire soit toujours verticale.

La relation fondamentale de la dynamique s'écrit alors :

$$(1.7) \quad P + \sum R_v = ma$$

Si on connaît à tout instant la forme explicite de  $\sum \vec{R}_v$  on résout le problème.

Unités

$$\sum R_v, P \text{ en } N \quad ; a, g \text{ en } ms^{-2} ; m \text{ en } kg$$

○ **Si  $\sum R_v$  ne dépend pas du temps**

Le cas de chute libre où  $\sum R_v = 0$  est un cas particulier de ces cas. Un exemple est la résistance statique de l'air ou poussée d'Archimède, du fait que le corps soit plongé dans un fluide.

En projetant sur un axe vertical orienté vers le bas,

$$mg - \sum R_v = ma$$

D'où 
$$a = g - \frac{\sum R_v}{m} = C^{te}$$

En intégrant, on trouve 
$$v(t) = \left(g - \frac{\sum R_v}{m}\right)t + v_0$$

Si  $v_0 = 0$

$$(1.8) \quad z(t) = \frac{1}{2} \left( g - \frac{\sum R_v}{m} \right) t^2 + z_0 \quad (\text{polynôme de degré 2 en } t)$$

Si on néglige les frottements

$$(1.9) \quad z(t) = \frac{1}{2} g t^2 + z_0 \quad (\text{polynôme de degré 2 en } t)$$

Finalement, on a l'équation horaire d'un MRUV.

Si  $\frac{\sum R_v}{m} \neq 0$ , l'accélération du mouvement n'est plus « g » et la chute n'est plus « libre ».

On tire aussi que les corps denses tombent plus vite que les moins denses à cause de leurs termes  $\frac{\sum R_v}{m}$  beaucoup plus réduits parce que la résistance de l'air (statique ou dynamique) est proportionnelle au volume de l'objet.

○ **Autrement :  $\sum R_v$  dépend du temps**

Généralement, l'expression des forces résistantes est très complexe. Si on définit le système à étudier dans un repère galiléen, on aura à intégrer l'équation différentielle (1.7). La résolution de l'équation différentielle donne l'équation horaire du mouvement. Avec le dispositif, on obtient des valeurs expérimentales de  $z$ . En effectuant l'interpolation de la série de valeurs, on peut faire le calcul à rebours pour retrouver  $\sum R_v$ . Ici ce terme est surtout composé de frottement de glissement, une force qui augmente avec la vitesse de glissement l'un par rapport à l'autre [3]. Comme la vitesse dépend du temps, la somme des frottements est aussi fonction du temps. C'est la raison pour laquelle nous avons mis au point en même temps que le dispositif, un programme interpolateur qui permet de déterminer l'équation du mouvement et les forces de frottement avec les valeurs empiriques.

Les détails sur la programmation seront abordés en troisième partie. Toutefois, nous signalons déjà que dans l'opération d'interpolation, l'utilisateur doit choisir l'ordre du polynôme d'interpolation et le choix du degré **2** ne donne pas toujours la meilleure approximation alors que des fonctions polynômes d'ordres plus élevés sont difficilement interprétables. C'est une faiblesse de l'interpolation de Lagrange, nous voulons surtout mentionner que la réalité physique ne se trouve pas toujours derrière des expressions simples, ici, cela est prouvé. En effet, l'accélération peut très bien dépendre du temps selon l'équation (1.7) et il n'est plus question de mouvements uniformément variés.

## **Partie II**

### **CONCEPTION – ELABORATION**

**Après avoir revu les parties de cours de Cinématique et Dynamique, nous allons, dans cette partie, d'abord décrire en détail la façon dont le dispositif a été élaboré, cela inclut évidemment les matériaux que nous avons travaillés et aussi les coûts respectifs, ensuite, développer aussi en détail le mode d'emploi du dispositif préalablement décrit.**

Il existe plusieurs méthodes pour repérer les positions successives d'un mobile en chute en plusieurs endroits de sa trajectoire :

- ❖ repérage par un film cinématographique ;
- ❖ repérage utilisant des émetteurs-récepteurs photosensibles ;
- ❖ repérage mécanique direct (arrêt à chaque position voulue,...) ;

Notre méthode est simple : le mobile trace lui-même sa trajectoire :  $z = f(t)$

Nous avons aussi mis au point un programme d'interpolation écrit en C++ avons-nous dit en fin de 1<sup>ère</sup> partie. Ce programme effectue des interpolations polynomiales des valeurs expérimentales obtenues avec le dispositif. Nous en reparlerons dans cette partie car le programme et le dispositif sont interdépendants.

## **II-I-CONCEPTION ET ELABORATION**

Le matériel élaboré est représenté dans la figure 2.2 (page 18) et aussi dans la figure 2.3 – (page 19).

La matière première essentielle est le bois (kesika) car il est facile à travailler, léger et peu coûteux. On a utilisé aussi le fer qui occupe aussi une place importante (poulie, boulons, fers en T, tête du mobile, écrous, axes, roulements, . . . .

Le matériel comprend :

- le cylindre
- le mobile
- le système qui le maintient
- le socle

### **I-1 Le cylindre (fig.2-4)**

Il est constitué par un tuyau en plastique ayant les spécifications suivantes

- hauteur 70,5cm
- diamètre extérieur 12,5cm
- épaisseur 3mm
- masse 0,6kg

Pour son entraînement, on y a introduit par entrée forcée des disques de bois, eux même percés en leur centre pour le passage de l'axe de rotation (fig. 2.4). Les disques assurent aussi un autre rôle : réduction des défauts du cylindre dans sa forme.

### **I-2 Le mobile en chute et le système qui le maintient (fig. 2.5 et 2.6)**

La masse est formée par du plomb et dont les spécifications sont :

- longueur 8,5cm

-masse	620g
-largeur	4cm
-hauteur	1,7cm

Elle est percée en deux endroits pour le passage des axes verticaux.

Au dessus d'elle, nous avons fixé une partie en fer plat qui sert à retenir le mobile au début de sa course.

Le stylet est un stylo à bille logé dans un bout de cylindre en bois troué suivant sa longueur (fig. 2.5). La tête du stylo est repoussée vers le cylindre pour assurer le contact vu les défauts du cylindre. Notre mobile a une masse de  $(625 \pm 2)$  g.

Un roulement est fixé sur l'extrémité supérieure de l'axe de rotation du cylindre (fig. 2.6), ce roulement est encastré dans cette partie du dispositif.

### **I-3 Le socle (fig. 2.7)**

C'est une boîte en forme de parallélépipède (36 x 21,5 x 12) cm. Il contient le moteur et la poulie permettant au cylindre de tourner.

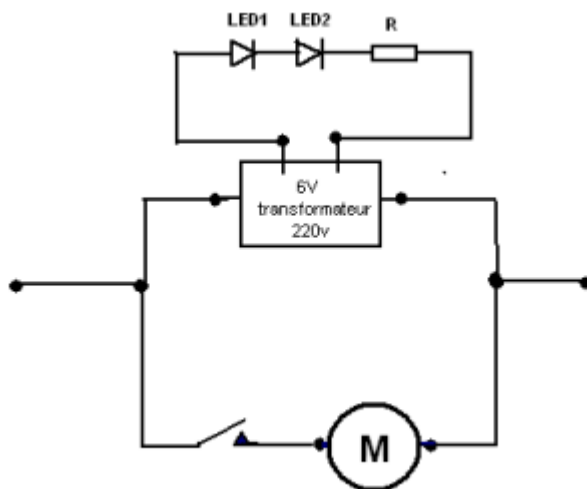
Les composants de cette partie du matériel sont :

#### **\*le moteur**

C'est un moteur qui fonctionne sous la tension ordinaire 220V. Il est muni d'un ralentisseur mécanique selon un système roue et vis sans fin : le rotor tourne à raison de 3000tr/min alors que la poulie dont on va extraire l'énergie cinétique fait 150tr/min. Ceci est essentiel car il faut simultanément une certaine puissance du moteur et une vitesse lente.

#### **\*le circuit électrique**

Figure 2.1: schéma du circuit électrique

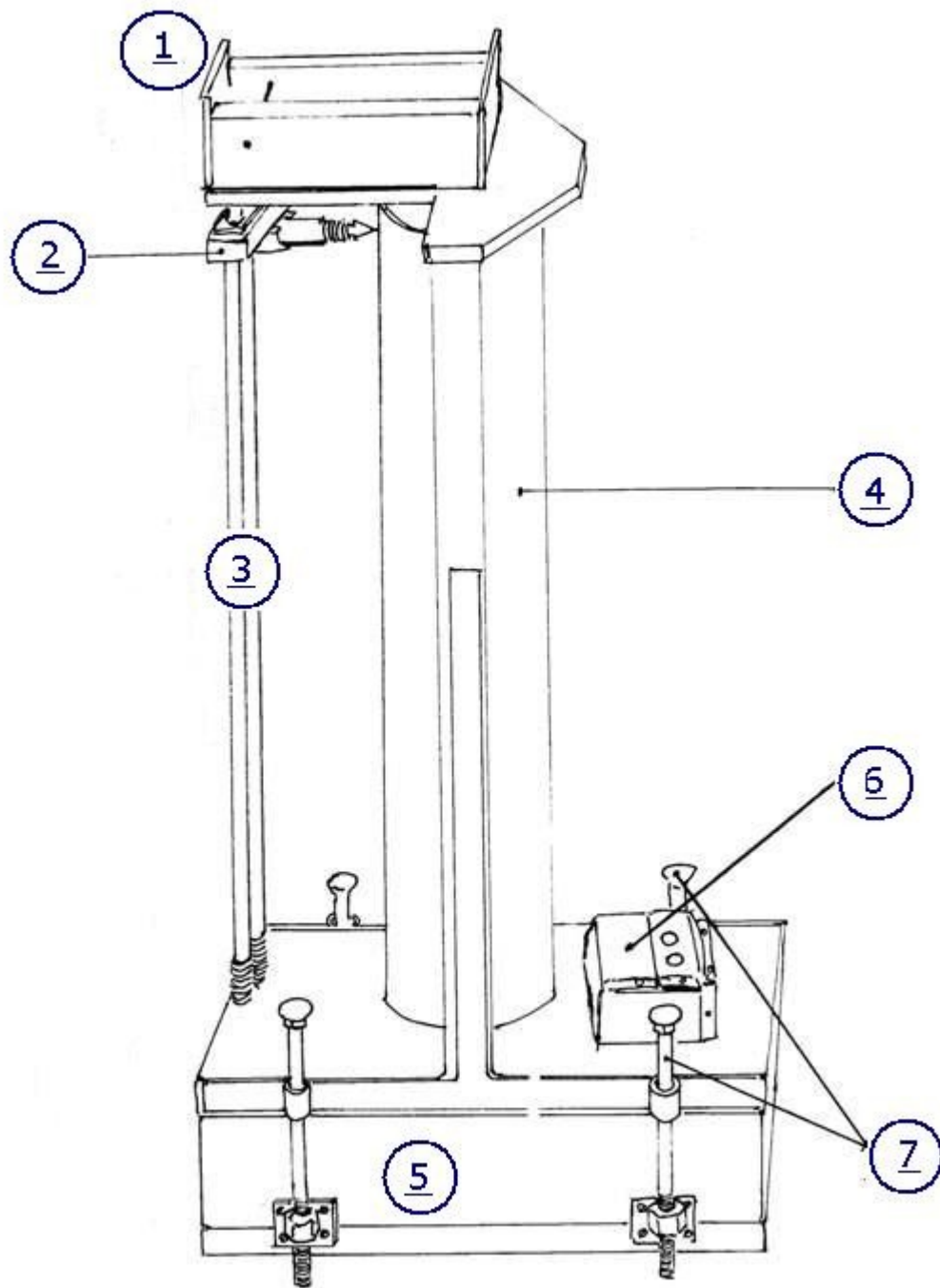


**\*les accessoires** le socle aussi est muni de quatre boulons que l'on ajuste si le terrain n'est pas parfaitement plan. Sur ce socle sont fixés deux fers en T qui renforcent les 2 tiges en bois eux même retenant le système qui maintient le stylet.

Figure 2.2 : photo numérique du dispositif



Fig. 2.3 : Vue globale du dispositif



0

Échelle 2/9

1 : système qui retient le stylet

2 : le stylet

3 : axes verticaux

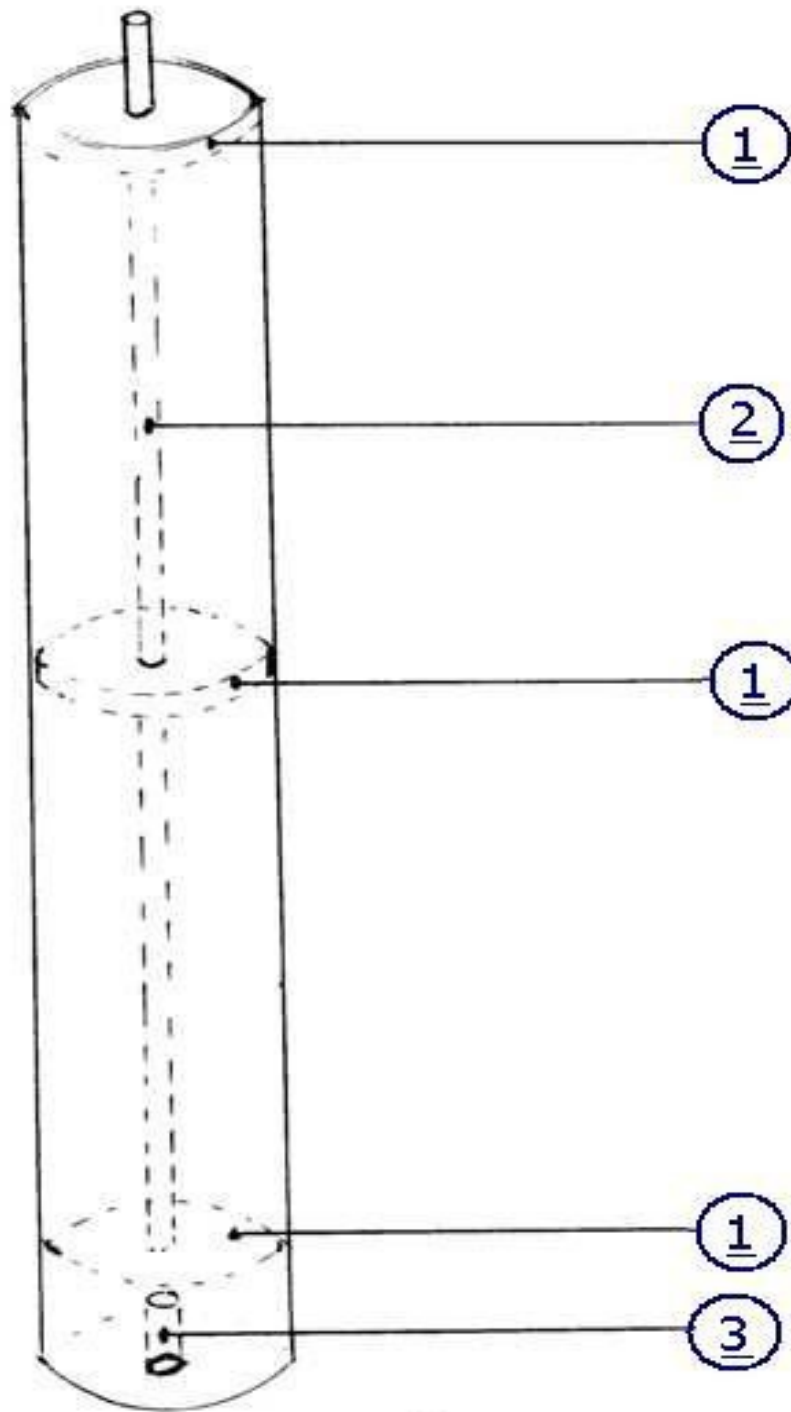
4 : le cylindre

5 : le socle

6 : la case du moteur

7 : boulons de réglage

Fig. 2.4 : le cylindre



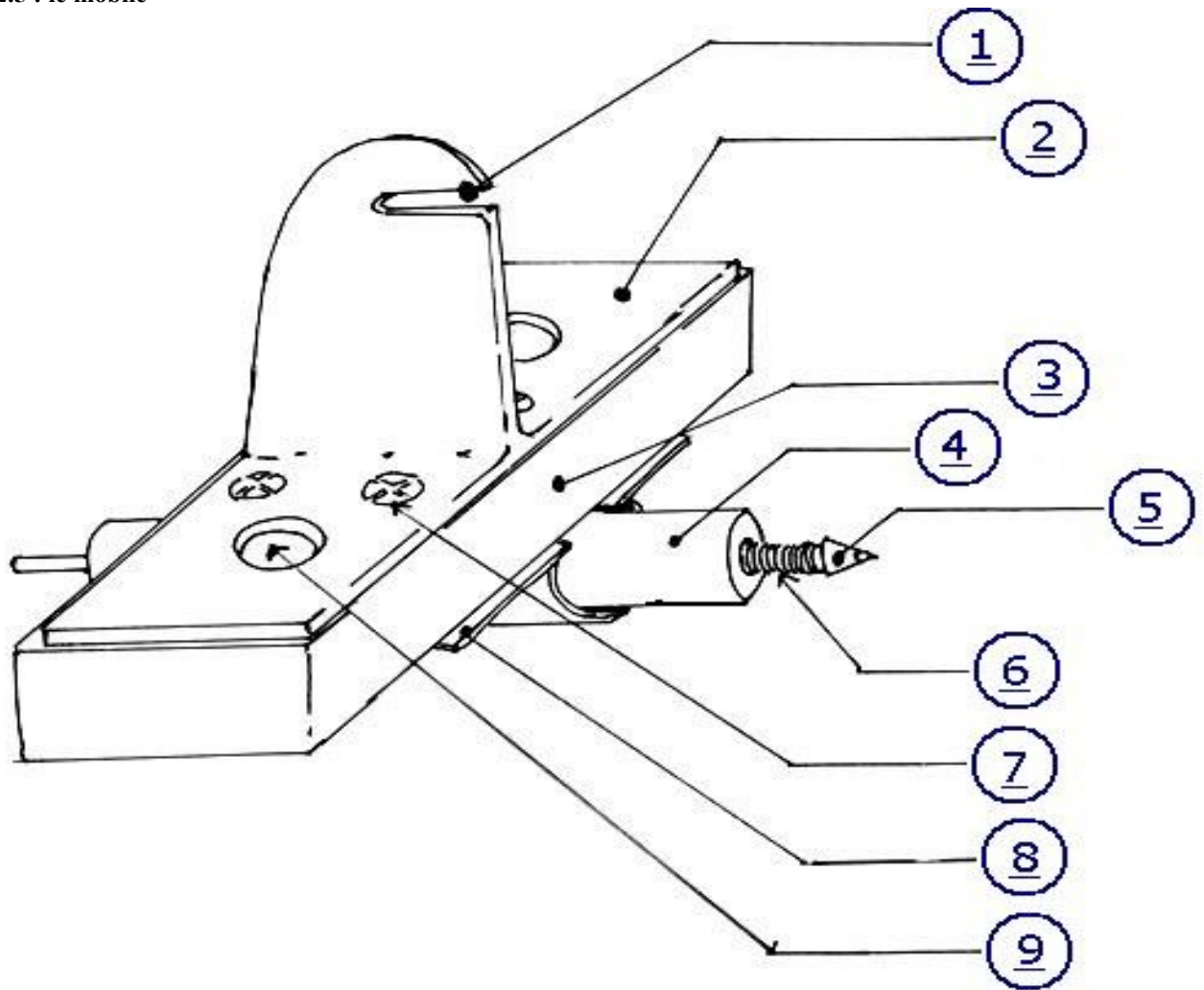
Echelle 1/3

1 : disques ou cylindre en bois

2 : axe supérieur de rotation

3 : trou pour l'axe inférieur.

Fig. 2.5 : le mobile



Echelle 1/1

1 : fente pour retenir le mobile en question (en fer plat)

2 : fer plat

3 : plomb en forme de parallélépipède

4 : cylindre en bois

5 : tête du stylo ou encore le stylet

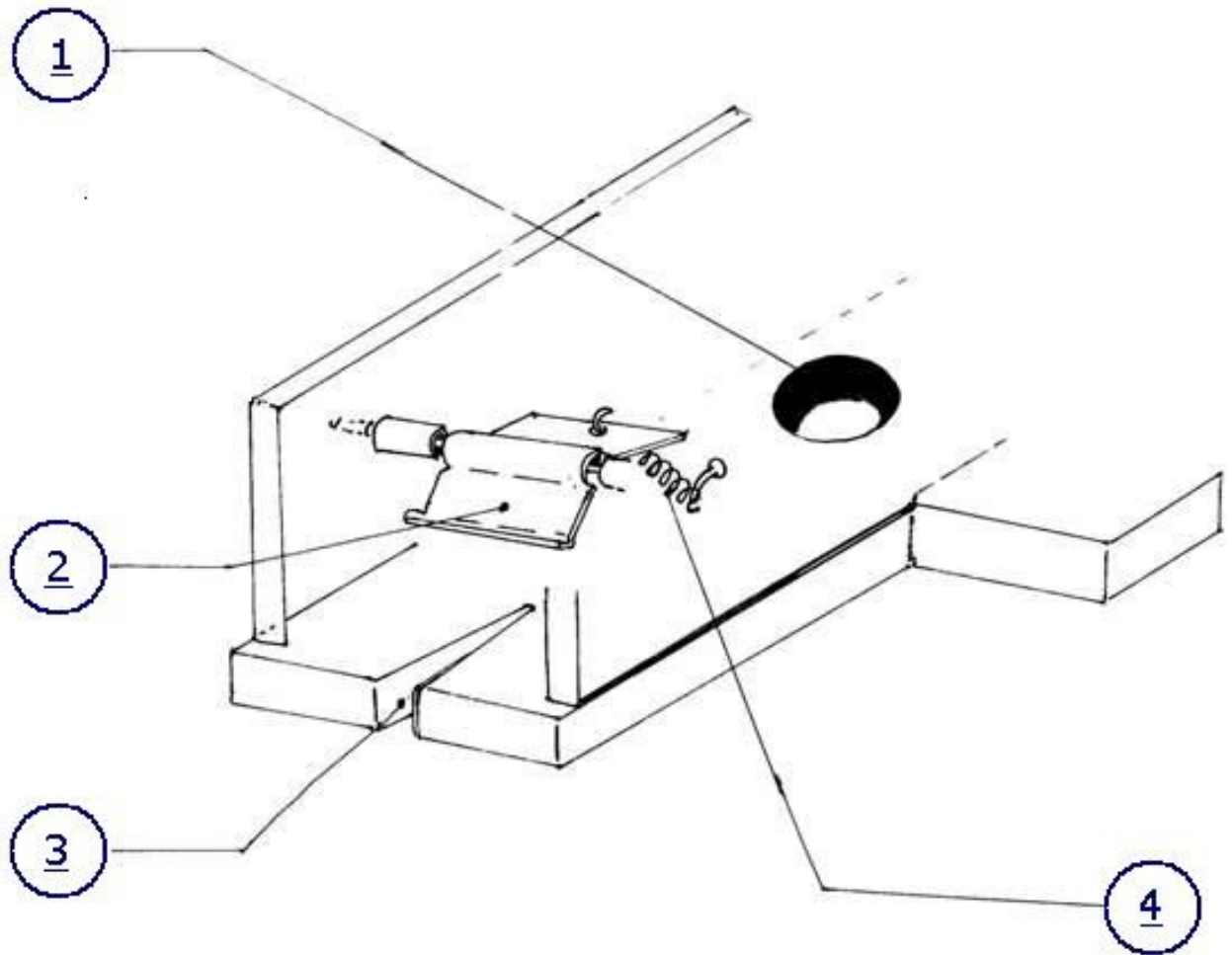
6 : ressort qui repousse le stylet

7 : boulon qui serre les éléments entre eux

8 : tôle pour fixer le stylet

9 : trou pour le passage des axes verticaux

Fig. 2.6 : le système qui maintient le stylet



Échelle  $\frac{1}{2}$

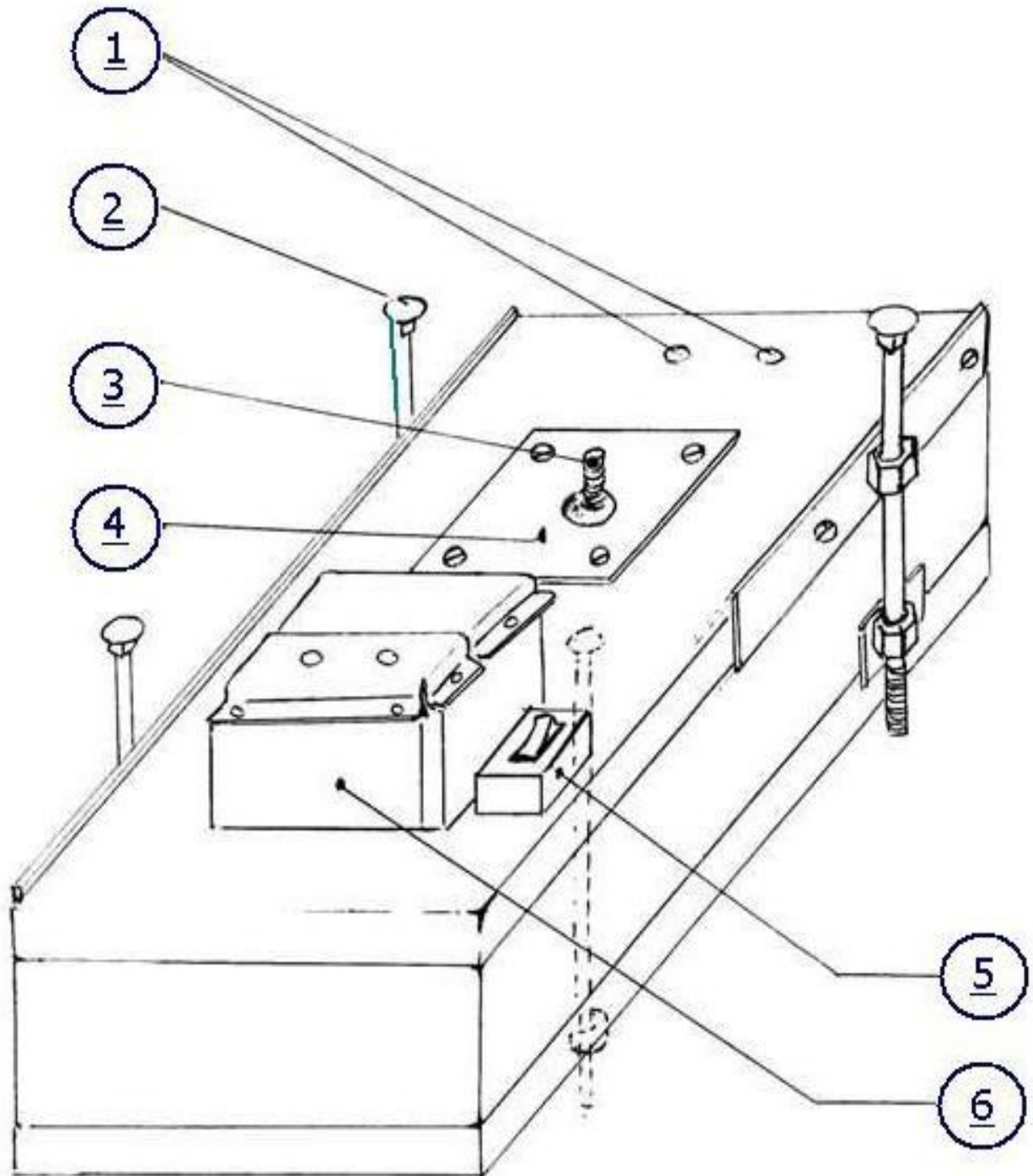
1 : trou pour le roulement supérieur

2 : tôle qui retient le stylet

3 : fente

4 : ressort de rappel

Fig.2.7 : le socle



Echelle 1/3

1 : trous pour les axes verticaux

2 : boulons de réglage

3 : axe inférieur de rotation

4 : tôle de fixation

5 : interrupteur

6 : case du moteur

**I-4 Durée des travaux et prix d'achat****I-4-1. Estimation des prix****Tableau 2-1 : prix approximatifs et coût des manœuvres**

Moteur+courroie	10 000 Ar	Cylindre	12 000 Ar	22 000 Ar
Roulements	2 000 Ar	Transfos+LED+R	2 000 Ar	4 000 Ar
Boulons et vis	5 000 Ar	Plomb	2 000 Ar	7 000 Ar
Bois	10 000 Ar	Fer	12 000 Ar	22 000 Ar
Manœuvre du bois	17 000 Ar	poulie	3 000 Ar	20 000 Ar
TOTAL	75 000 Ar			

**I-4-2. Durée des travaux**

Le travail se divise en quelques parties bien distinctes

**Tableau 2-2 : estimation des temps des travaux**

CATEGORIES	PERSONNES RESSOURCES	DUREE
Bois	menuisiers	+16h
Fer	ferrailleurs	+3h
Plomb (perçage, fonte, finition)	nous-même	3h
Peinture	nous-même	3h
Montage des parties	nous-même	
-Fixation du moteur		4h
-Système de rétention		4h
-Avant trous		8h
-Autres finitions		4h
Assemblage final	nous-même	12h
total		57h

Les améliorations envisageables sont :

- utiliser un seul axe de rotation ;

- appliquer à l'axe de rotation une force qui s'oppose à la traction causée par la courroie car cette force fait décliner l'axe et crée un angle de nutation<sup>1</sup> et de précession<sup>1</sup>;
- augmenter la précision sur la verticalité des axes car cela réduit les frottements.

## **II-II PRINCIPE ET EXPLOITATION**

### **II-1 Le principe :**

Le mobile trace lui-même sa trajectoire sur un plan vertical. Le mobile en chute porte avec lui un traceur qui est en contact permanent avec la paroi d'un cylindre en rotation uniforme.

Au début, on recouvre la face latérale du cylindre par une feuille de papier sur lequel vont se dessiner les courbes successives. Les génératrices du cylindre sont verticales. Le mouvement du mobile est vertical et grâce à deux axes verticaux servant de guide, la trace sur le cylindre est continue.

### **II-2 Déroulement d'une séance de manipulation**

- Première étape (fig. 2. 7a)

Le mobile est fixé pendant que le cylindre tourne autour de son axe. On obtient un cercle contenu dans un plan horizontal.

Dans la dernière étape, lorsque l'on développera la feuille, ce cercle devient l'axe des temps.

- Deuxième étape (fig. 2.7b)

Le cylindre est au repos pendant que le mobile tombe en chute libre : on vient de tracer l'axe des espaces, une droite verticale : trajectoire du mouvement.

- 3<sup>ème</sup> étape (fig.2.7c)

Le cylindre est en MCU et en même temps le mobile tombe en chute libre.

- 4<sup>ème</sup> étape (fig. 2.8)

On enlève la feuille de papier qui recouvre le cylindre, on obtient la courbe à exploiter.

---

<sup>1</sup> angles d'Euler  
1

Figures 2.7 : Les étapes du traçage

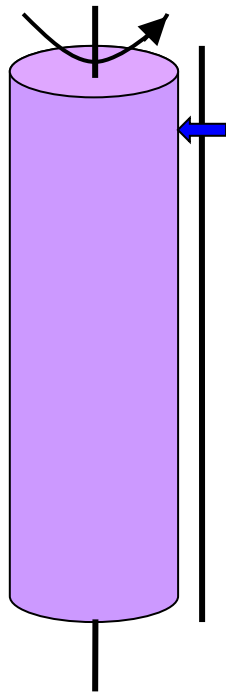


Fig. 2.7 a

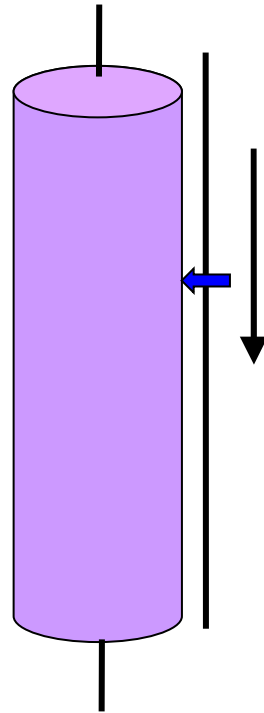


Fig. 2.7 b

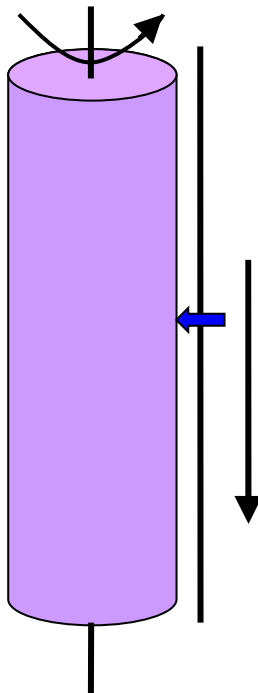
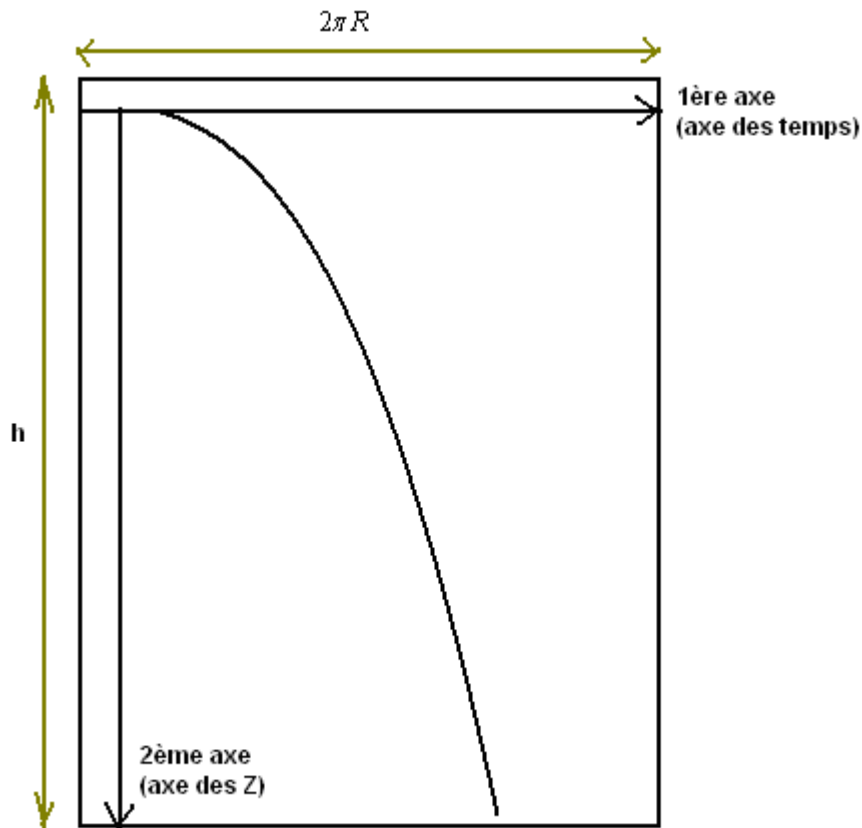


Fig. 2.7 c

Figure 2.8: allure de  $z(t)$  obtenue avec le dispositif

$h$  : hauteur du papier

$R$  : rayon du cylindre

### **II-3 Explications et justifications**

Désignons les repères suivants

$R_C$  dont le cylindre est le référentiel

$R_M$  celui du laboratoire

Le contact entre le mobile et le cylindre est ponctuel.

Désignons par  $I$  ce point de contact.

Soit  $C(t)$  les points du cylindre successivement en contact avec le mobile.

Déterminons la vitesse de  $C(t)$  par rapport au repère  $R_C$

- Dans la 1ère étape

$$\mathbf{V}(C) = R\dot{\theta} \mathbf{u} \quad , \quad \mathbf{u} \text{ étant le vecteur unitaire horizontal}$$

(Contenu dans le plan horizontal)

- Dans la 2<sup>ème</sup> étape

$$\mathbf{V}(C) = a t \quad , \quad \text{où } a \text{ est l'accélération du mobile en chute}$$

contenu dans un plan vertical

- Dans la 3<sup>ème</sup> étape

$$\mathbf{v(C)} = R\dot{\theta} \mathbf{u} + a \mathbf{t}$$

La rotation est uniforme :  $R\dot{\theta} = C^{te}$  et en intégrant on obtient :

$$\begin{cases} R\dot{\theta} t & \text{suivant l'horizontale} \\ \left( \int \dot{a} dt \right) t + \frac{1}{2} a t^2 & \text{suivant la verticale} \end{cases}$$

D'où particulièrement, si notre mobile est en chute libre :

$$\begin{cases} R\dot{\theta} t & \text{suivant l'horizontale} \\ \frac{1}{2} g t^2 & \text{suivant la verticale} \end{cases} \Leftrightarrow (2.1) y(x) = K t^2$$

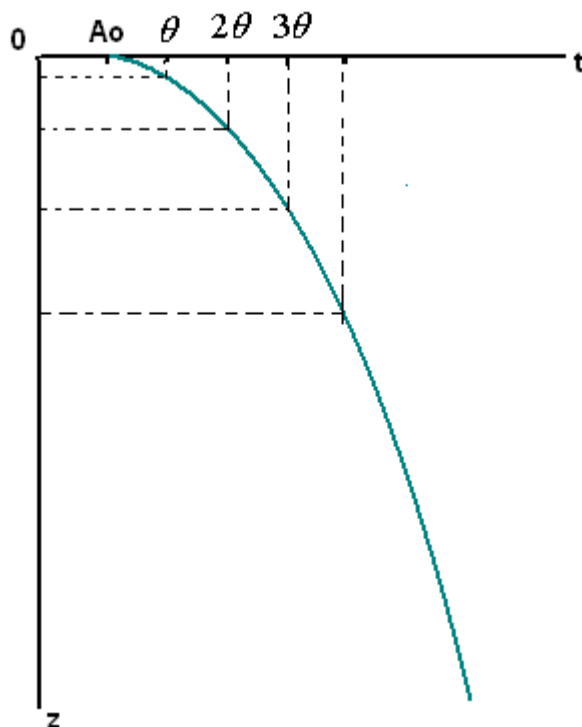
Parce que la rotation est uniforme, l'axe horizontal peut servir d'axe des temps et la réciproque est vraie.

\*particulièrement si la rotation est uniformément variée, on obtiendrait une droite.

#### **II-4 Etude d'une courbe expérimentale**

La figure 2.9 montre comment exploiter la courbe obtenue par rotation du cylindre et chute du mobile en même temps.

Figure 2.9 : exploitation de la courbe Z (t) si A<sub>0</sub> est connue



La position de A<sub>0</sub> sur l'axe horizontal est aléatoire (entre 0 et 60 centièmes de seconde) car elle dépend du temps de la libération du mobile. La chute est sans vitesse initiale, la tangente au point A<sub>0</sub> est horizontale.

OBSERVATIONS PRELIMINAIRES [2]

- La courbe obtenue n'est pas une droite ; il n'y a pas proportionnalité entre le temps de parcours et l'espace parcourue (fonction non linéaire, ni affine)
- Le mouvement n'est pas uniforme
- La courbe obtenue a une concavité orientée vers le bas (fonction convexe)
- L'espace croît plus vite que le temps ou encore que la fonction  $z(t)$  est une fonction du temps d'un degré supérieur à 1.

Il y a 2 cas à distinguer pour l'étude quantitative et qualitative.

a) ***Si l'origine du mouvement est nettement déterminée [2]***

Sur l'axe des temps, à partir de  $A_0$ , on porte des intervalles de temps égaux à  $\theta$ ,  $2\theta$ ,  $3\theta$  .....

En prenant  $\theta = 4\text{cm}$

On vient de munir l'axe des temps des dates  $t_1; t_2 = 2t_1; t_3 = 3t_1$  etc.

Il est à signaler que l'unité de temps n'a pas d'importance, c'est dans une étude quantitative seulement que le changement d'unité est nécessaire.

-On mesure les distances parcourues correspondants  $z_1, z_2, z_3, \dots$

-On dresse le tableau des valeurs expérimentales  $z_1, z_2, z_3, \dots$  : distances parcourues pendant les intervalles de temps  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$

Les éléments de la quatrième colonne du tableau 2.3 sont obtenus respectivement

par  $z_i = i^2 z_1$  où  $i = \{1, 2, 3, \dots\}$

Tableau 2-3 : tableau à dresser si  $A_0$  est connue

	temps	espaces lus	espaces prévus	différences
$\theta_1 = 4\text{cm}$	$\theta_1$	$z_1 = 4\text{cm}$	$z_1$	0
$2\theta_1 = 8\text{cm}$	$\theta_2 = 2\theta_1$	$z_2$	$4z_1$	$z_2 - 4z_1$
$3\theta_1 = 9\text{cm}$	$\theta_3 = 3\theta_1$	$z_3$	$9z_1$	$z_3 - 9z_1$
$4\theta_1 = 16\text{cm}$	$\theta_4 = 4\theta_1$	$z_4$	$16z_1$	$z_4 - 16z_1$

-Si les différences  $|\Delta Z_i| = |Z_i - i^2 Z_1|$  (où  $i$  représente successivement 1, 2, 3,...) sont de l'ordre de grandeur de l'incertitude sur  $z$ , on conclut que :

**Les espaces parcourus à partir de l'origine du mouvement sont proportionnels aux carrés des temps de parcours [2].**

$$(2.2) \quad z = kt^2$$

-Si ces différences  $|\Delta Z_i|$  décroissent au fur et à mesure que  $i$  augmente, alors **il y a des forces non négligeables devant le poids qui entrent en jeu : les frottements.** Leur effet est de diminuer l'accélération car l'évolution de  $z$  en fonction du temps dépend directement de  $a$ .

L'incertitude sur  $z$  est de 1mm (unité minimale observable avec les instruments de mesure), l'incertitude relative sur  $z$  est :

$$\frac{\Delta z}{z_{\max}} = \frac{1}{h} \quad \text{où} \quad h \approx 670 \text{ mm : longueur maximale exploitable}$$

sur le cylindre.

Plus la hauteur du cylindre est grande plus la précision est meilleure et surtout, on peut obtenir un grand intervalle de temps d'étude. Il faut aussi noter qu'il peut y avoir d'autres sources d'incertitudes notamment la non perpendicularité des projections si on n'utilise pas un papier millimétré. On peut effectuer le traçage sur le papier épais et utiliser un papier millimétré assez transparent pour repérer les points nécessaires.

**b) Si l'origine n'est pas nettement déterminée :[2]**

$$z = kt^2 \quad \text{alors} \quad \sqrt{z} = \sqrt{k} t$$

La courbe  $\sqrt{z} = f(t)$  est une droite qui passe par l'origine du mouvement

$A_0 (0, 0)$ . On cherche sur la courbe les points  $A_1, A_2$  etc. d'ordonnées respectives 1cm, 4cm, 9cm, ... pour avoir  $\sqrt{z} = 1, 2, 3, \dots$

On détermine les dates (abscisses)  $t_1, t_2, t_3$ , correspondantes.

De là, on peut vérifier :

-Géométriquement si les points  $B_i (t_i, i)$  sont alignés ;

-Par calcul si la suite  $(t_1, t_2, \dots)$  est proportionnelle à la suite d'entiers 1, 2, 3.

### **II-5 Analyses quantitatives**

Connaissant la vitesse de rotation du cylindre, on peut tirer l'accélération du mobile en chute et par suite l'expression de la force de frottement **F**. mais il faut d'abord prendre le maximum de valeurs c'est-à-dire repérer le plus de points possibles.

Pour cela, on prend des points dont les abscisses sont également espacées.

$$v = R \dot{\theta}, \text{ R étant le rayon du cylindre en m.}$$

$$\frac{s}{\Delta t} = R \dot{\theta}$$

s étant l'abscisse curviligne

C'est la constante de proportionnalité entre distance et temps. On utilise le logiciel pour effectuer tous ces calculs.

L'algorithme très global est :

➤ effectuer une interpolation polynomiale d'ordre n (n étant choisi par l'utilisateur)

$$z(t) = P_n(t) = a_0 + a_1 t + \dots + a_n t^n$$

après avoir transformé l'unité de temps.

➤ dériver deux fois z

$$\ddot{z}(t) = P_n''(t) = a(t) \text{ (en cm.s}^{-2}\text{)}$$

➤ tirer **F**

$$F(t) = m(g - P_n''(t)) \quad g=9,79 \text{ m.s}^{-2}$$

Le choix de l'ordre de l'interpolation au degré 2 (n=2) correspond à une valeur de **F** constante tout au long du mouvement. On peut utiliser toute machine à calculer munie du mode statistique à deux variables pour ces calculs si **n** ne dépasse pas **2**, il y a deux manières :

- soit transformer les valeurs de temps avant l'interpolation quadratique
- soit faire les transformations d'unités après l'interpolation telle que le coefficient du degré **2** est multiplié par **v**<sup>2</sup>, celui du degré **1** par **v**.

Il faut noter que l'ordre deux implique trois coefficients, quatre implique cinq, etc. Particulièrement pour l'ordre 2, le coefficient de l'ordre 1 est directement la vitesse initiale du mobile.

Les questions d'erreurs seront détaillées en totalité en troisième partie.

### Partie III

## **EXPLOITATION PEDAGOGIQUE**

Dans la deuxième partie nous avons eu l'occasion de comprendre comment fonctionne le dispositif et comment prendre des séries de valeurs avec lui selon l'étude que l'on veut faire. Dans la première sous section de cette troisième partie encore, nous aurons un deuxième approche sur : comment exploiter le dispositif ? mais ce sera sous une forme beaucoup plus pédagogique car nous le donnons sous forme de fiches TP pour les enseignants et pour les élèves. Dans la seconde sous section, nous verrons les détails sur le programme interpolateur qui accompagne le matériel. Ce programme n'est pas seulement un programme destiné aux calculs, en réalité, il s'agit d'un logiciel complet composé de plusieurs fichiers et possède une interface et un fichier d'aide propres à lui.

Nous proposons dans cette partie des fiches de travaux pratiques pour les enseignants ainsi que pour les élèves. C'est dans cette partie aussi que l'on va détailler les questions sur la programmation.

PLAN :

- Fiches TP pour enseignants
- Fiches TP pour élèves + petites questions de réflexion
- Utilisation de la programmation

### **III-I- FICHE TP POUR ENSEIGNANTS**

Voici d'abord quelques notes pour bien réussir une expérience devant les élèves :

- découper un papier épais (on peut utiliser un papier glacé) 70cm sur 41cm au minimum : 68 sur 40.
- vérifier le sens de rotation du cylindre et faire dépasser le papier de façon à ce que le chevauchement ne soit pas un obstacle
- si nécessaire, ajuster avec les boulons la position du socle du bas pour que le cylindre et les axes soient verticaux.
- effectuer le traçage cf. figures : 3.1a, 3.1b, 3.1c.

Répéter éventuellement 2 ou 3 fois la 3<sup>ème</sup> étape pour obtenir simultanément 2 ou 3 séries de valeurs.

- enlever le papier en le découpant de façon à garder entière la courbe trajectoire. Lors de la prise de valeurs, utiliser une équerre, règle en T, règle 50cm à 1m.
- utiliser un papier millimétré translucide (spécialisé pour les dessinateurs) pour repérer les points utiles en utilisant la transparence du papier millimétré.

La raison est qu'il est nécessaire de seconder le papier millimétré d'un papier assez épais pour minimiser les défauts morphologiques du cylindre si on veut directement tracer sur le papier millimétré. Mais aussi que l'encombrement ne permet pas cette option sauf si on démonte d'abord le cylindre.

A défaut du millimétré, repérer les points avec des règles de 50cm ou même 1m car il faut noter que les projections peuvent ne pas être orthogonales.

Figures 3.1 : Les courbes à tracer

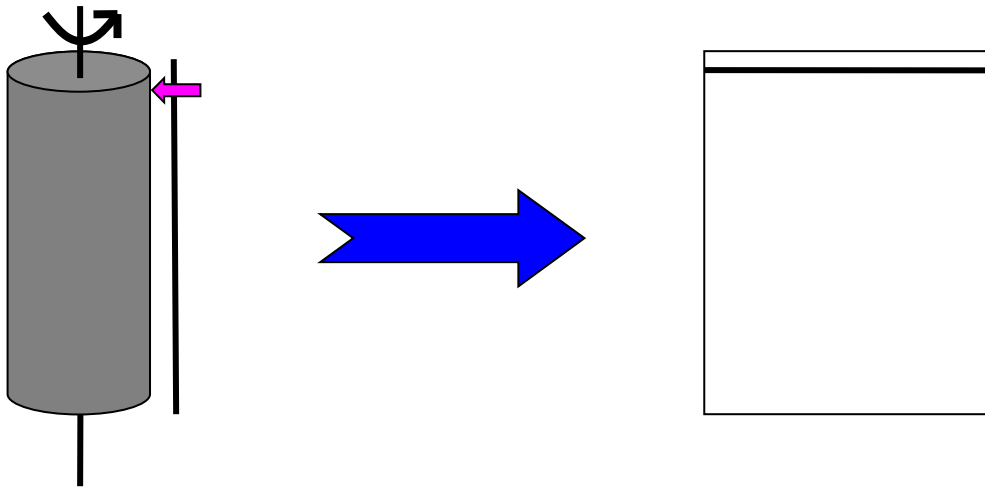


Fig. 3.1 a) : TRAÇAGE DE L'AXE DES TEMPS

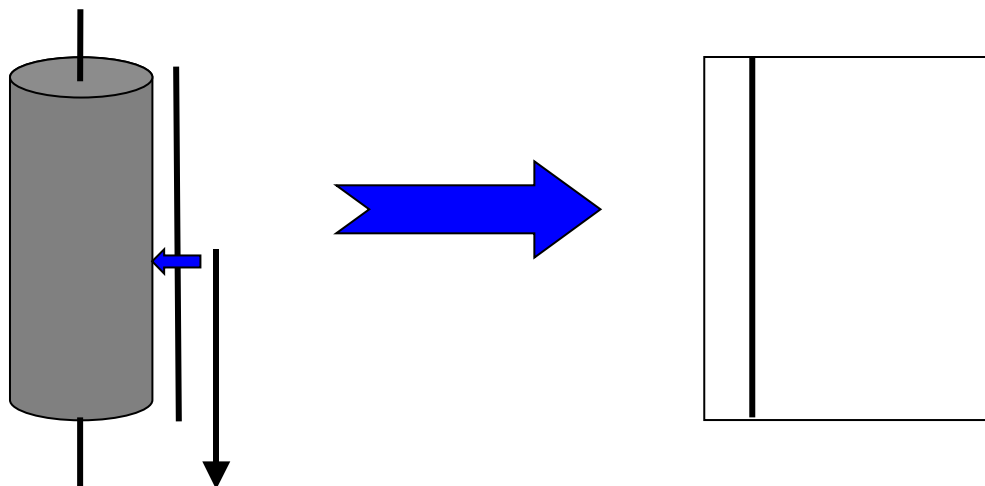
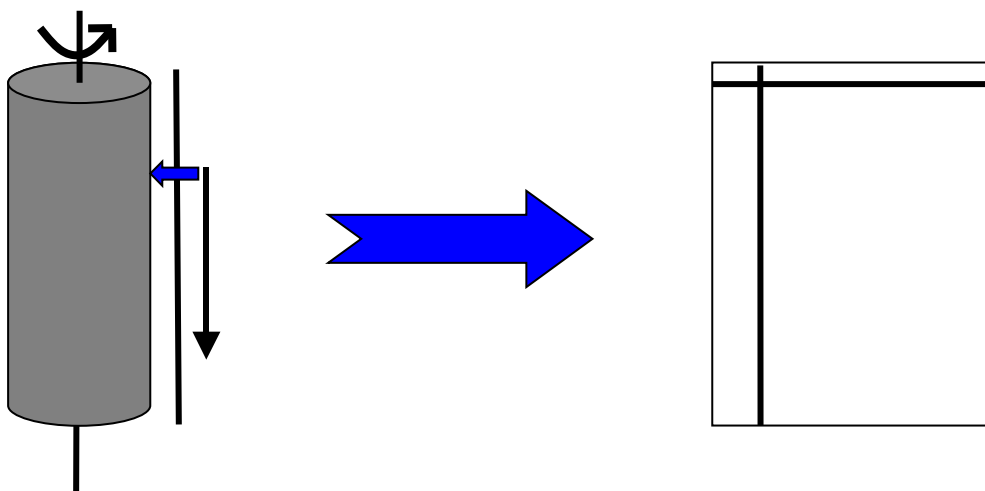


Fig. 3.1 b) : TRAÇAGE DE L'AXE DES ESPACES

Fig. 3.1 c) : TRAÇAGE DE LA TRAJECTOIRE  $Z = f(t)$

Lorsqu'on a effectué le traçage, on a obtenu des séries de valeurs

A).

**Tableau 3.1 : première série de valeurs : origine déterminée**

temps	$\theta = 3\text{cm}$	$\theta_2 = 2\theta$	$\theta_3 = 3\theta$	$\theta_4 = 4\theta$	$\theta_5 = 5\theta$	$\theta_6 = 6\theta$	$\theta_7 = 7\theta$
espace	1.4	5.2	11.1	20.5.2	30.4	42.6	57.8

B).

**Tableau 3.2 : deuxième série de valeurs**

espace en cm	4	9	16	25	36	49
temps	2,6	5,4	8,3	11,1	13,6	16,6

Comme convenu, voici les analyses sur ces valeurs.

A).

**Tableau 3.3 : analyse de la 1<sup>ère</sup> série de valeurs**

	temps	Espaces lus	Prévisions théoriques	Ecart
$\theta = 3\text{cm}$	$\theta_1$	$z_1 = 1,4$	$z_1$	0
$2\theta = 6\text{cm}$	$\theta_2 = 2\theta_1$	5,2	5,6	0,4
$3\theta = 9\text{cm}$	$\theta_3 = 3\theta_1$	11,1	12,6	1,5
$4\theta = 12\text{cm}$	$\theta_4 = 4\theta_1$	20,5	22,4	1,9
$5\theta = 15\text{cm}$	$\theta_5 = 5\theta_1$	30,4	35	4,6
$6\theta = 18\text{cm}$	$\theta_6 = 6\theta_1$	42,6	50,4	7,8
$7\theta = 21\text{cm}$	$\theta_7 = 7\theta_1$	57,8	68,6	10,8

On constate qu'au fur et à mesure que le temps augmente, les valeurs théoriques et les valeurs expérimentales s'écartent davantage. Le dernier écart 10,8 est très significatif, même s'il y a des incertitudes sur les mesures de  $z$  et  $t$ , le mobile n'est pas en « chute libre » : il y a trop de frottements, ils ne sont pas négligeables.

Pour la 2<sup>ème</sup> série, nous avons calculé les quotients  $\frac{ti}{\sqrt{z_i}}$

On obtient la suite

1,3    1,8            2,075            2,22            2,267            2,371

Là encore le mobile n'est pas en chute libre, car les quotients sont loin d'être uniformes. Lorsqu'on a effectué une régression quadratique de ces valeurs avec la machine à calculer et le logiciel :

A).

$$n = 7 \quad \sum t_i = 84 \quad \sum t_i^2 = 6652,22 \quad \sum t_i^3 = 21168 \quad \sum t_i^4 = 378756$$

$$\sum z_i = 169 \quad \sum t_i z_i = 2817,9 \quad \sum t_i^2 z_i = 50183,1$$

Dans ce cas, le coefficient du terme de degré 2 doit être divisé par  $(R\dot{\theta})^2$ , celui du premier degré par  $R\dot{\theta}$  et tous les trois par 100 (conversion du cm vers m).

Avec :

$$\dot{\theta} = 1,5 \text{tr/s et } R = 6.26 \text{cm, on a } v = 59 \text{cm.s}^{-1}$$

Ce qui donne

$$z(t) = 412,103t^2 + 17,302t - 0.686 \text{ en cm}$$

Avec le logiciel, on fait plus simplement, il suffit de faire entrer les données en **cm** et d'effectuer une division par **100** de tous les coefficients en sortent.

$$\underline{z(t) = 0,01.(412,103t^2 + 17,302t - 0.686) \text{ en m}}$$

B)

$$\sum t_i^2 = 688,54 \quad \sum z_i^2 = 4675 \quad \sum t_i^2 z_i^2 = 24632,97$$

$$\sum t_i = 57,6 \quad \sum z_i = 139 \quad \sum t_i^4 = 130966,055$$

$$\sum t_i^3 = 9204,21 \quad n = 6$$

$$\Rightarrow z(t) = 0,131t^2 + 0,724t + 1,877$$

$$\underline{\text{D'où } z(t) = 455,872t^2 + 42.716t + 1.188 \quad \text{en cm}}$$

A ce stade, le calcul de **g** n'est pas du tout intéressant parce qu'il y a trop d'incertitudes. C'est pourquoi nous avons inversé le problème, c'est-à-dire supposer la valeur de **g** et rechercher les forces de frottement. Ceci sera l'objet de la dernière section de cette partie.

Toutefois nous allons signaler les principales sources d'incertitudes.

### **Sources d'incertitudes :**

Vu les résultats, les erreurs sont énormes. Les forces de frottement en sont les causes, elles sont de deux sortes :

>frottement de la partie en plomb (le mobile) avec les axes verticaux, cette partie dépend aussi de la verticalité des axes (frottement de glissement, augmente avec la vitesse de déplacement mutuel des deux corps qui sont en glissement l'un par rapport à l'autre).

>frottement du stylet avec le cylindre.

Compte tenu des défauts du cylindre tant dans sa forme que dans sa rotation l'évaluation de ces frottements est très difficile puisqu'il y a des endroits du cylindre plus proches du stylet donc plus de frottement que d'autres.

### III-II-FICHES TP POUR ELEVES

**Objectif :** TRACAGE DE LA COURBE EXPERIMENTALE DU MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORMEMENT ACCELERE

**Pré requis :** – définition et propriétés du mouvement rectiligne uniforme (MRU), du mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA), du mouvement circulaire uniforme (MCU), du mouvement de chute libre verticale  
– définition du mouvement accéléré.

Questions préliminaires sur l'allure de la courbe :

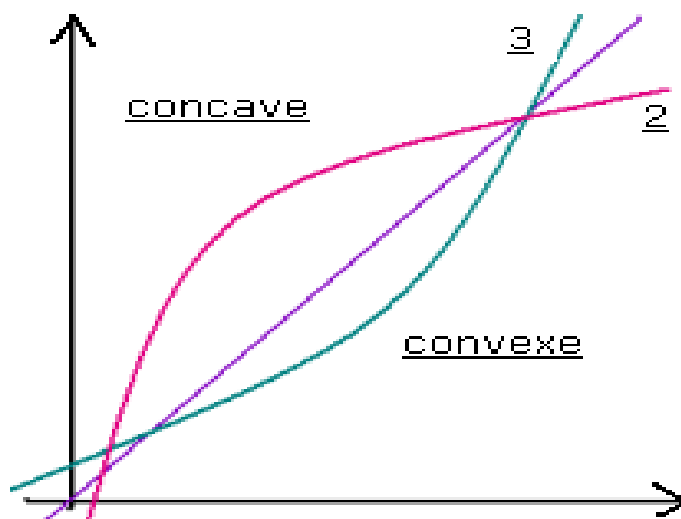
>comment est la courbe ?

1-une droite

Figure 3.2 : allures de courbe

2-concave : bombée vers le haut

3-convexe : bombée vers le bas



La courbe d'une fonction de degré supérieur à 1 est convexe ( $x^2$ ,  $x^{3/2}$ ,  $x^4$ , ...)

La courbe d'une fonction de degré inférieur à 1 est concave ( $1/x$ ,  $1/x^2$ ,  $\sqrt{x}$ , ...)

La courbe d'une fonction de degré égal à 1 est une droite ( $x$ ,  $0.56x + 12$ , ...)

**Protocole expérimentale :**

- 1) effectuer les tracages , se référer ,SVP au fiche TP pour enseignant (page 33–34)
- 2) ravivez les tracées pour qu'il n'y a pas de parties floues.

Il y a deux cas à distinguer :

**II-1 Si l'origine du mouvement est nettement déterminée**

Soit  $A_0$  cette origine. Le point  $A_0$  doit être sur l'axe des temps (axes des abscisses) si ce n'est pas le cas alors ce n'est pas l'origine du mouvement.

**1<sup>ère</sup> étape**

Choisir une distance fixe  $\theta = 2\text{cm}$  par exemple (vous pouvez changer la valeur pour une 2<sup>ème</sup> étude)

En commençant par  $A_0$ , placer sur l'axe des abscisses les points

$A_1$  tel que  $A_1A_0 = \theta$  ,  $A_2$  tel que  $A_2A_0 = 2\theta$  ,  $A_3$  tel que  $A_3A_0 = 3\theta$  etc. ; jusqu'à la limite de la courbe.

**2<sup>ème</sup> étape**

Repérer les points de la courbe d'abscisses  $\theta$  ,  $2\theta$  ,  $3\theta$  , etc et les nommer :  $C_i$

Si vous suivez bien les instructions, vous verrez que les segments  $A_1C_1$ ,  $A_2C_2$ ,  $A_3C_3$ ,..... sont parallèles à l'axe des ordonnées

**3<sup>ème</sup> étape**

Déterminer les ordonnées des points  $C_i$  et compléter le tableau suivant

**Tableau 3.4 : tableau à compléter par les élèves**

<b>Tableau</b>				
Temps	$\theta = 2$	$2\theta = 4$	$3\theta = 6$	....
Espace prévus	$Z_1$	$4Z_1$	$9Z_1$	....
Espaces lus sur dispositif	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	....

**4<sup>ème</sup> étape**

Calculer les différences successives

$Z_1 - Z_1, Z_2 - 4Z_1, Z_3 - 9Z_1$  etc.

C'est-à-dire les écarts respectifs entre 3<sup>ème</sup> et 2<sup>ème</sup> lignes du tableau 3.4.

### 5<sup>ème</sup> étape

Tirer les conclusions possibles.

## **II-2 Si l'origine n'est pas déterminée**

### 1<sup>ère</sup> étape

Placer sur l'axe des espaces (axe des ordonnées) les points  $M_i$  d'ordonnées 1, 4, 9,.....

Exemple : ordonnée  $M_1=1$

ordonnée  $M_2=4$

ordonnée  $M_3=9$  etc.....

### 2<sup>ème</sup> étape

Trouver les points de la courbe de même ordonnées.

On nommera  $C_i$  ces points

Exemple : ordonnée de  $C_2$ =ordonnée de  $M_2=4$

Là vous pouvez choisir entre la méthode géométrique et la méthode par calcul

### ***Méthode géométrique***

### 3<sup>ème</sup> étape

Tracer les segments parallèles à l'axe des ordonnées passant par les  $C_i$

### 4<sup>ème</sup> étape

Sur ces segments, placer les points  $B_i$  d'ordonnée 1, 2, 3,.....

$$B_1 \begin{cases} \text{abscisse de } C_1 \\ \text{ordonnée} = 1 \end{cases} \quad B_2 \begin{cases} \text{abscisse de } C_2 \\ \text{ordonnée} = 2 \end{cases} \quad \text{etc}$$

### 5<sup>ème</sup> étape

Joindre les points  $B_i$

### 6<sup>ème</sup> étape

Tirer les conclusions possibles

### ***Méthode par calcul***

### 3<sup>ème</sup> étape

Trouver les ordonnées des points  $C_i$  en projetant les  $C_i$  sur l'axe des abscisses.

Soit  $T_i$  l'abscisse de  $C_i$

### 4<sup>ème</sup> étape

Calculer les quotients  $k_i$  tel que

$$k_1 = \frac{t_1}{1}; k_2 = \frac{t_2}{4}; k_3 = \frac{t_3}{9} \text{ etc}$$

### 5<sup>ème</sup> étape

Tirer les conclusions possibles.

### **EXERCICES D'EXTENSION** (classe de 1<sup>ère</sup> –terminale)

Ayant vu l'expérience sur le dispositif d'étude de chute des corps, on peut poser aux élèves les questions suivantes. Elles sont à titre de petits exercices de prévisions théoriques.

Le principe étant le même, c'est-à-dire

- le cylindre recouvert de papier tourne autour de son axe de symétrie
- le stylet trace sa trajectoire sur le cylindre en glissant le long d'une des ses génératrices

1) Comment peut on obtenir une trace sinusoïdale ou pseudosinusoidale lorsqu'on développe le papier ?

Comment peut on obtenir une droite ?

2) Un cylindre disposé horizontalement (voir fig. 3.3) tourne à raison de 3tr/s autour de son axe de symétrie. Ses dimensions sont : hauteur 80cm, rayon 9cm. Un mobile animé d'un MRU glisse le long d'une génératrice de ce cylindre et laisse une trace de sa trajectoire sur la surface latérale de ce dernier. (Fig. 3.3)

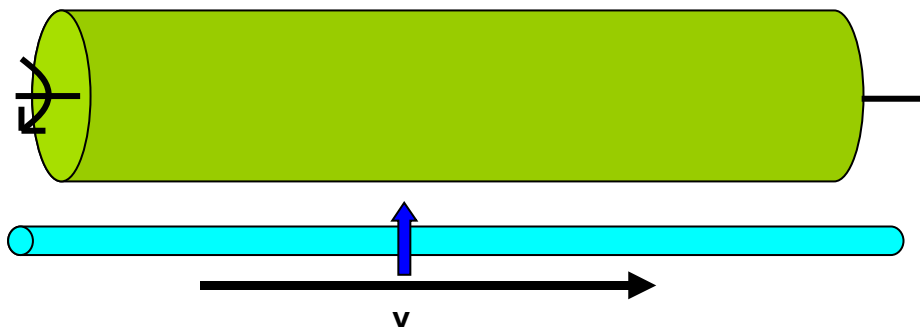
On effectue 3 tracées :

1/le mobile glisse le long du cylindre quand ce dernier garde une position angulaire fixe ; cet axe deviendra l'axe des espaces

2/le cylindre tourne tandis que le stylet est fixé : axe des temps —

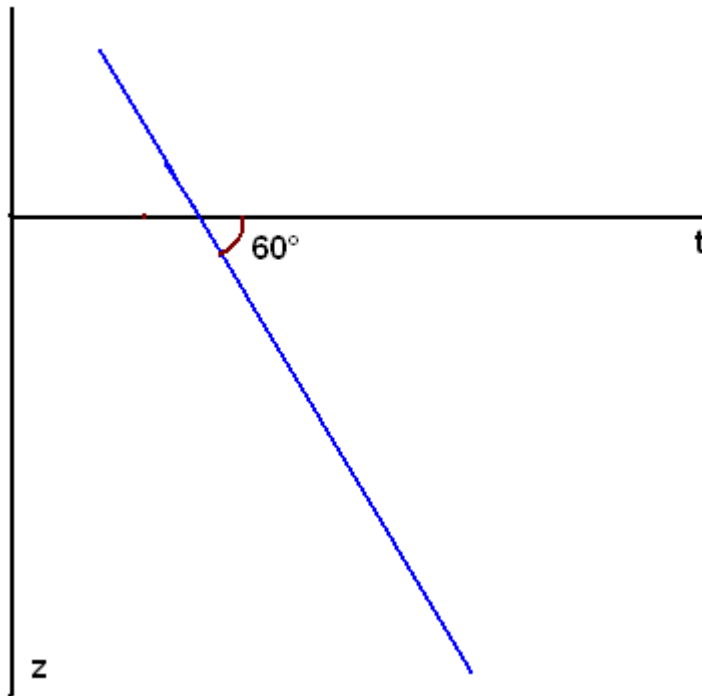
3/le cylindre tourne en même temps que le mobile est animé d'un MRU de vitesse  $v$ .

Figure 3.3 : Schéma du montage (exercice)



Lorsqu'on développe le papier à la fin des tracés, on obtient les tracées suivantes :

Figure 3.4 : courbe obtenue à analyser (exercice)



Calculer la vitesse du mobile.

### III-III-UTILISATION DE LA PROGRAMMATION

#### III-1 Introductions

Visual C++ ou Microsoft Developer Studio est le compilateur Microsoft du langage C/C++ fourni avec la grande famille Microsoft Visual Studio. Le C/C++ est un langage procédural [4], c'est-à-dire que les instructions sont exécutées linéairement et regroupées en bloc (comme dans Pascal). Mais les procédures n'existent pas en C/C++, on utilise des fonctions qui ne retournent pas de valeur. Tout programme écrit en C++ possède sa fonction principale nommée **main**, de type **void** (sans type) ou **int** (entier), la seule fonction qui s'exécute. Le C++ dérive du C et sa plus grande innovation par rapport à ce dernier est sa capacité de gérer des classes (langage orienté objet). Une classe est définie avec le mot « class ». C'est un nouveau type de structure de données exactement comme « struct » (structure de données reconnue par C et pouvant contenir simultanément des variables et des fonctions) mais qui possède en plus et en particulier la capacité de surcharger des opérateurs c'est-à-dire

de définir à sa façon des opérateurs reconnus par le langage ex +, ++, +=, etc [5]. Cette propriété sera très utilisée dans les programmes que nous avons écrits pour définir des opérations sur les vecteurs et les polynômes.

Il existe alors les classes de base de Microsoft ou *Microsoft Foundation Class* (MFC). Et, par conséquent, il y a des applications à base ou non de MFC. Seuls les projets qui utilisent MFC peuvent exploiter toute la fonctionnalité de Visual C++.

Les principaux avantages du C++ sont [4] :

- grands nombres de fonctionnalités, le plus important et dépend aussi de l'environnement de développement
- performances du C
- facilité d'utilisation des langages objets
- portabilité des fichiers sources
- facilité de conversion des programmes C en C++
- contrôle d'erreurs accru par rapport au C
- 

Le domaine d'application de Visual C++ est vaste, citons entre autres :

- applications .EXE standard
- services intranet, Internet, réseau, ....
- génération de bibliothèques de fonctions (réutilisables par d'autres applications) statiques (.LIB) et dynamiques (.DLL)
- génération des compléments de logiciels qui sont entre autre le fichier d'aide (.HLP ou .CHM) et le fichier d'installation (setup.exe)
- gestion de clusters
- utilisation de fichiers directX,
- création d'animations graphiques 3D utilisant les bibliothèques de OpenGL
- gestion de bases de données SQL

Le langage C++ est abstrait car la syntaxe est parfois très dense mais permet les calculs les plus complexes. Il est très souple vis à vis des conflits de nom (fonctions différentes mais de même nom), il faut seulement que l'un au moins soit différent pour deux fonctions :

la classe conteneur, les paramètres, le type retourné (le type de la fonction). Une autre puissance de C++ est l'existence des pointeurs et de plusieurs fonctions de transtypage (cf. annexe 2, SVP), opérations qui sont obligatoires pour des applications à base de fenêtres programmes graphiques. C++ est comme le C, un langage inventé avec la langue de Shakespeare, il est toujours plus facile d'attribuer des noms anglais à ses

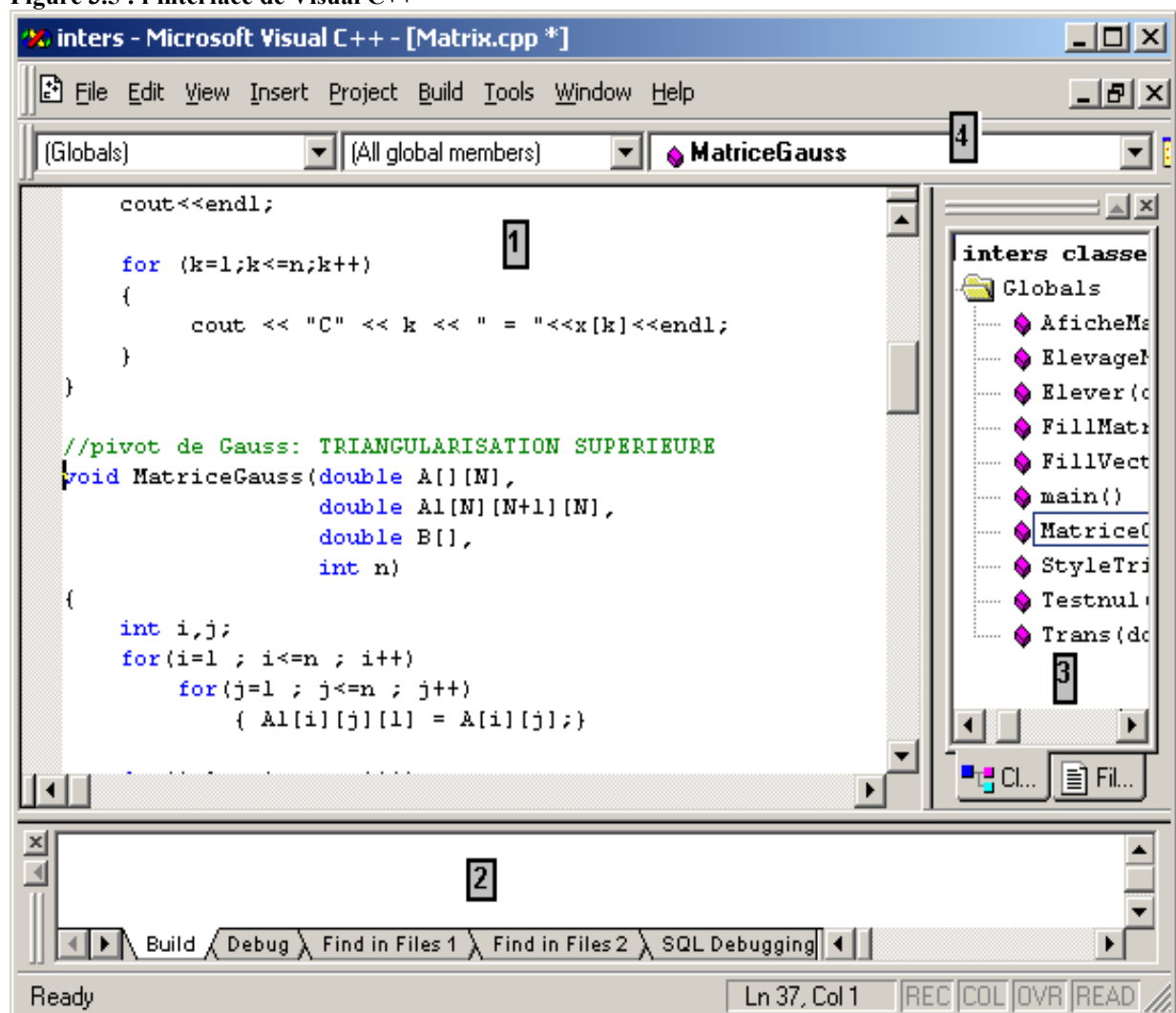
variables ou à ses fonctions dans son code. Nous en profitons pour laisser des expressions dans leur forme d'origine. L'interface de Visual C++ (Fig. 3.5) permet une exploration très facile des classes et de ses membres donc du code tout entier car plusieurs sous fenêtres et outils sont à la disposition du programmeur pour cela :

- le fichier .CLW ou « class view » qui contient la vue par classes d'un projet et en plus, détaille les membres d'une classe ainsi que la parenté
- la barre de menu « Wizard bar » qui liste les fonctions membres d'une classe sélectionnée.
- le MFC class wizard qui permet aux applications dépendants des MFC de s'orienter dans l'hierarchie MFC.

La coloration de la syntaxe est aussi très avantageuse.

La version 6.0 de Visual C++ est la première à utiliser le système d'aide sous forme de fichiers HTML compilés.

Figure 3.5 : L'interface de Visual C++



1 : fenêtre des codes sources

2 : fenêtre du résultat des compilations, entre autres :

CL.EXE compilateur du langage (forme d'erreur C 2105)

RC.EXE compilateur de ressources (forme d'erreur RC 1117)

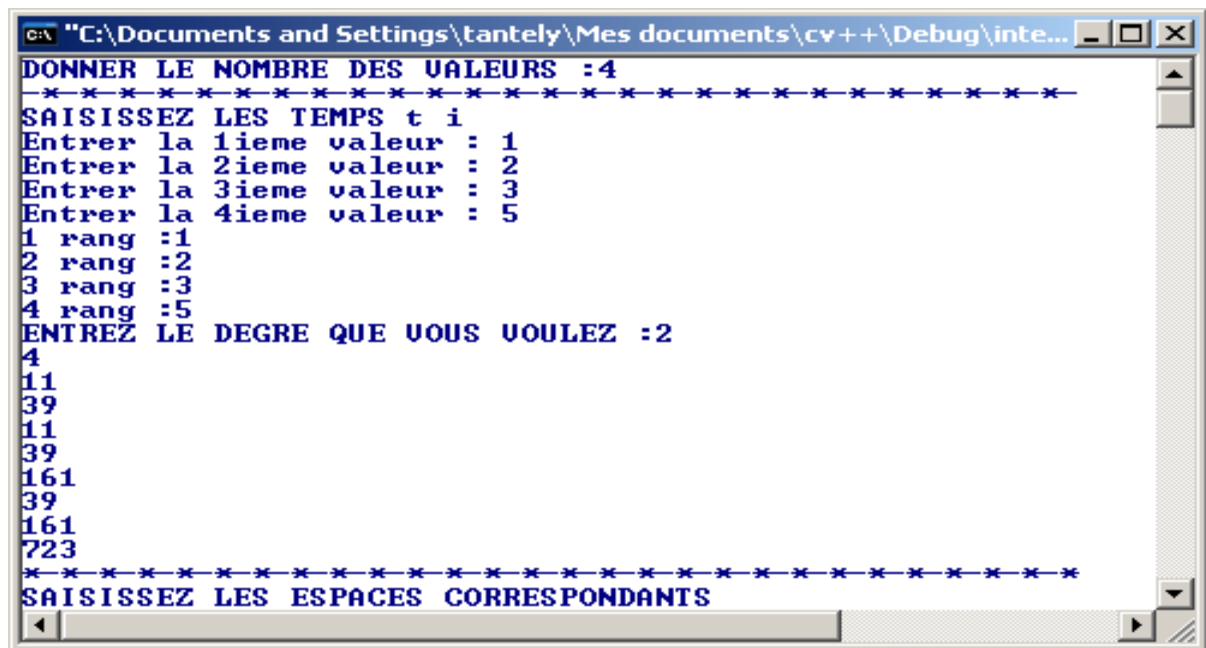
LINK.EXE éditeur de liens (forme d'erreur LNK 1250)

NMAKE gestionnaire de projet et d'espace de travail (forme d'erreur U 421)

3 : fenêtre d'exploration de l'espace de travail (ici en mode de vue par classes)

4 : barre d'exploration des classes et des fonctions membres (Wizard bar)

Figure 3.6 interface d'un programme sous DOS



Notre avantage est surtout d'avoir utilisé un compilateur Microsoft (Microsoft Visual C++) sur une machine Windows (Windows XP), nous avons pu généré 3 types de fichiers (tous portables sur toute machine Windows 32 bit) à savoir :

- des programmes consoles (cette mode étant le mode de sortie par défaut du C++ sur une machine Windows – programme qui s'exécute dans le sous-système DOS)
- une API<sup>1</sup> (grâce au plateforme SDK<sup>1</sup>) ou un programme graphique
- un fichier d'aide graphique (grâce au plateforme SDK)

Pour les programmes graphiques les données sont reçues par le système d'exploitation sous formes de messages<sup>2</sup> caractérisant les événements générés par l'utilisateur ou le système (clic, appui sur une touche,...). Le traitement des programmes graphiques est

<sup>1</sup> Cf. Annexe 3,SVP

<sup>2</sup> Cf. Annexe 2,SVP

une boucle infinie (Message Loop) qui permet de récupérer les messages et de prendre les actions en conséquence.

Alors que pour les programmes consoles, la saisie se fait directement par la fonction **cin** et la sortie par **cout** avec la bibliothèque « iostream.h » en entête.

Dans notre cas, on utilise les deux types pour obtenir un maximum de fonctionnalité.

Nous avons créé 4 exécutable (.EXE) et un fichier d'aide (.HLP)

- thewinnew.exe (Window based), l'interface graphique<sup>1</sup>
- inters.exe (console) ; calcul des coefficients du polynôme d'interpolation associé aux valeurs expérimentales de z
- Vecteurs.exe (console) ; calcul de l'accélération et de la résultante des frottements
- Polynome.exe (console) ; calcul l'erreur commise dans l'interpolation
- utiles.hlp (aide graphique)

Pourquoi générer des applications MS-DOS en même temps qu'une application à base de fenêtres ?

- difficultés de saisir les séries de nombres avec le fonctionnement par messages de Windows, si on utilise ce mode, les données sont reçues en utilisant WM\_GETTEXT, c'est-à-dire sous forme de textes d'abord ;
- nécessité de transcrire en texte les résultats numériques pour qu'ils s'affichent correctement à l'écran à la fin (pour les programmes graphiques)
- une souplesse de l'ensemble, en effet : tous les fichiers sont chacun indépendants et portables (sur une machine Windows 32bit)
- DOS n'est pas une interface graphique, et dans notre cas les programmes conçus pour ce mode n'effectuent que les calculs, des explications supplémentaires sont nécessaires (aide) et l'appel de l'aide nécessite une interface graphique (Windows)

Pourquoi avoir scindé les programmes consoles?

- économie de mémoire, vu les opérations sur les matrices dans l'algorithme de la triangularisation dans Inters.exe pour éviter que le programme plante
- une souplesse de l'ensemble, en effet :
- l'interpolateur inters.exe peut être utile pour plusieurs problèmes d'interpolation polynomiale, de même le calculateur d'erreur Polynome.exe.

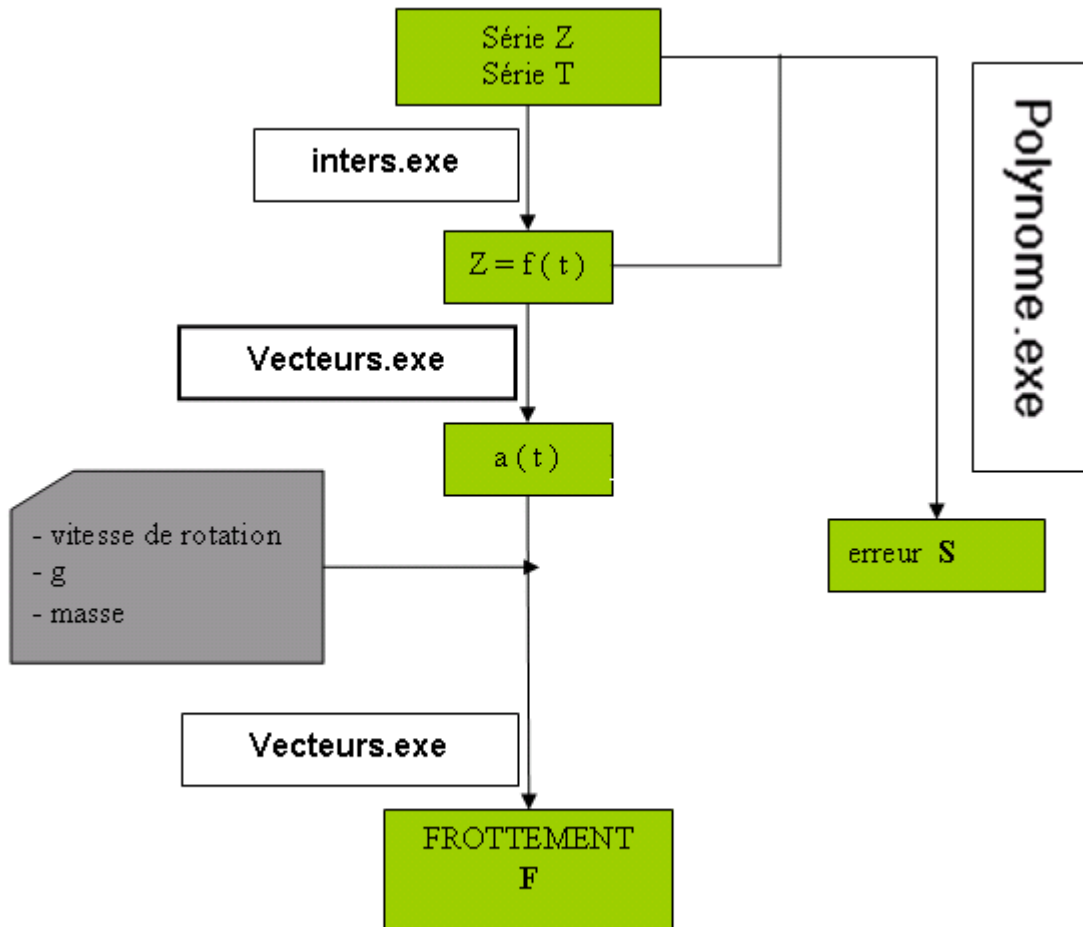
---

<sup>1</sup> Cf. Annexe 2, SVP

### III-2 Algorithmes et descriptions des programmes

Le fonctionnement est donné dans la figure 3.7.

Figure 3.7 : fonctionnement de l'ensemble



#### III-2-1. thewinnew.exe

**Description** C'est une API, à une seule fenêtre. Il n'effectue aucun calcul, il est seulement pour améliorer l'interface car l'ouverture d'un autre fichier se fait en cliquant sur le menu correspondant.

#### Algorithme

L'ordre n'a pas la même importance que ça en aura pour les autres.

Déclarer une classe Window, cette classe dérive nécessairement de WNDCLASS (ou WNDCLASSEX) et compléter les attributs de la fenêtre : nom du WNDPROC, nom du menu, nom de l'icône standard (32x32), titre de la fenêtre, style, dimensions de la fenêtre, position de la fenêtre, nom de la classe, couleur de fond, nom de l'icône 16x16.

➤ Enregistrer cette classe par la méthode *RegisterClass* (ou *RegisterClassEx*), qui sont des fonctions publiques de WNDCLASS (ou WNDCLASSEX), cet enregistrement doit se faire à l'intérieur du *WinMain*.

- Créer une ou des fonctions qui utilisent *DisplayWindow* et *UpdateWindow* qui seront responsables de l'affichage de la fenêtre.
- Implémenter le WNDPROC c'est-à-dire compléter le code qui répondra aux messages envoyés par l'utilisateur qui peuvent être de différentes sources :
  - choix d'un menu,
  - état de la souris,
  - pression sur une touche, ou des touches de raccourci
- Créer un fichier de ressource (.RC) qui contient : icône, menu, dialogue, bitmap, table de chaînes de caractères, version, raccourcis clavier,....
- Déclarer un objet de type PAINTSTRUCT qui sera responsable des affichages de texte, images, ... à l'intérieur de la fenêtre.

### III-2-2. inters.exe

#### Description

Ce programme est une application console, il effectue une interpolation polynomiale avec les séries de valeurs saisies. Le nombre de valeur dans une série est limité à 28.

La série de valeurs de  $t$  est transformée en une matrice de Graam (cf. annexe1).

On est amené à résoudre un système linéaire d'ordre  $N$ , cet ordre est donné par l'utilisateur mais doit être inférieur à 27. La méthode de résolution est la triangularisation.

**Algorithme** (cf. Annexe 2, SVP, pour une partie du code)

- saisir  $N$  : nombre des données (dans la série)
- saisir les  $N$  valeurs de  $t$
- transformer l'unité de temps du **cm** en **s** en divisant toutes les valeurs par  $R\theta$
- saisir les  $N$  valeurs de  $z$  dans l'ordre des  $t$  correspondants
- saisir le degré voulu (degré du polynôme d'interpolation)
- créer la matrice de Graam
- créer le vecteur résultat
- résoudre le système linéaire par triangularisation
- afficher les coefficients du polynôme résultat

### III-2-3. Polynome.exe

#### Description

Il calcule la racine de l'écart quadratique ou l'erreur commise dans l'interpolation.

#### Algorithme

- saisir les coefficients obtenus par inters.exe
- saisir les valeurs de  $t$

- calculer les valeurs théoriques correspondantes de z
- saisir les z expérimentaux
- calculer la somme S

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^N (z_i - P(t_i))^2}$$

- afficher le résultat

### III-2-4. Vecteurs.exe

#### Description

C'est un programme sous DOS. Il calcule les forces de frottements et l'accélération mobile.

#### Algorithme

- entrer les coefficients du polynôme d'interpolation qui donne la meilleure approximation par Polynome.exe
- calculer la dérivée seconde de ce polynôme ; ceci donne l'accélération **a**
- calculer  $a - g$
- calculer  $m(a - g)$  ; les frottements. ( $m = 0,625\text{kg}$ )
- afficher les résultats

### III-2-5. Le fichier d'aide

Il comporte trois rubriques :

1<sup>ère</sup> rubrique : Comment utiliser le dispositif

2<sup>ème</sup> rubrique : Comment utiliser le logiciel

3<sup>ème</sup> rubrique : Utilisez l'invite de commande

La marche à suivre pour générer un fichier d'aide est :

- éditer un texte (ou plus) RTF avec Microsoft Word, qui contient des codes de champs (images, sauts inter rubriques,...) et des références (pour les titres, les mots compris dans l'index, les mots en surbrillance,...)
- avec Microsoft Help Compiler Workshop (HCW.EXE), créer un projet (.HPJ) et un sommaire ou « content file » (.CNT)
- compiler le projet.

### III-2-6 Tableaux des résultats finaux

Les quelques résultats que nous avons obtenus avec le dispositif et le logiciel sont résumés dans les tableaux 3.5 et 3.6 :

Avec Inters.exe, Polynome.exe et Vecteurs.exe

Tableau 3.5 : tableau des résultats finaux

EN cm	degré 2	degré 3	degré 4
coef du degré 0	0.143653	-0.123625	0.478433
coef du degré 1	34.5853	41.8342	18.2635
coef du degré 2	484.625	436.298	702.083
coef du degré 3	0	90.1228	-1033.38
coef du degré 4	0	0	1582.55
ERREUR <b>S</b>	1.52361	1.51496	1.50091
coefficients de l'accélération <b>a</b> en cm.s <sup>-2</sup>	9.6925	8.72596	14.0417
	0	5.40737	-62.0028
	0	0	189.909
FROTTEMENTS en N	0.06468	0.668775	-2.65354
	0	-3.3796	38.7518
	0	0	-118.691

Ces valeurs ont été obtenues avec la troisième série de valeurs.

Tableau 3.6 : troisième série de valeurs (les valeurs sont données en cm)

t	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19
z	1.9	4.6	8.7	13.7	20	28	34.7	44.9	56.6	61.2

Finalement, le résultat comporte encore les erreurs suivantes :

- sur la masse du corps (0.002kg)
- sur la valeur exacte de g (0.01N/kg)
- sur les mesures de Z et t (1cm)
- sur l'interpolation (0.04m)

On peut scinder une série de valeurs en deux pour réduire les erreurs dues à l'interpolation. Le fait de supposer **F** constante tout au long du mouvement n'est pas la meilleure proposition, toutefois, les différences entre les erreurs sont minimales. Ceci est dû au fait que **F ne pas être constante tout au long du mouvement**. Lorsque le degré s'élève et atteint le nombre de valeurs dans la série, le polynôme d'interpolation tend vers la meilleure approximation [6].

## Conclusion

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que nous en sommes satisfaits. L'élaboration du matériel nous a permis de voir un aspect de la situation de vie beaucoup de nos concitoyens : menuisiers, ferrailleurs, démarcheurs, quincailliers, chefs d'ateliers,... . Le fait d'avoir parcouru des ateliers surtout ceux qui travaillent le fer a été une expérience sans équivalence puisque l'on y assiste aux preuves des propriétés mécaniques et chimiques des métaux, une application directe de cours de Sciences Physiques. D'autre part, nous y avons eu un aperçu de plus sur l'élaboration de matériel en général et sur le sujet « comment une institution ou un(e) enseignant(e) peut-il (elle) essayer de concevoir un matériel didactique ou un outil d'appui aux cours de physique ou de chimie ». Car nous avons eu l'occasion de voir de plus près la réalité sur l'industrie de transformation (fer, bois et matières plastiques). Les résultats expérimentaux de notre matériel sont plus fiables si l'on arrive à remplacer le cylindre tournant en matière métallique. Et là, on dit tout simplement qu'à Madagascar beaucoup restent à faire quant au travail du fer, des aciers et les tous les autres métaux. Une forme géométrique parfaite en fer ou en tôle est encore difficilement réalisable que celle-ci soit pleine ou creuse.

En ce qui concerne la programmation, le C++ est, nous le pensons, le langage adapté aux genres de calculs et de programmes détaillés tout au long de la troisième partie de ce livre. Notamment, il supporte des structures avancées de stockage, à titre d'exemple citons la possibilité de créer des tableaux multidimensionnels. En effet dans le code de inters.exe (cf. annexe 2) la triangularisation est effectuée avec un tableau 3D (ligne – colonne – étage) pour minimiser l'écriture. Nous espérons que les futurs normaliens fassent connaissance avec ces puissants langages de programmation et de développement de programme tels que Visual Basic, C/C++, MATLAB, Java, ... .

Enfin, nous laissons les exploitations et la continuation de ce travail à nos collègues cadets. On peut toujours améliorer un dispositif pour avoir des valeurs expérimentales plus précises. Alors, nous espérons qu'il y aura plusieurs élèves professeurs qui travailleront dans la conception et l'élaboration de matériels de TP de Sciences Physiques et aussi pas moins dans l'utilisation des TIC au service de l'éducation.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1) Unité d'études et de recherches en Pédagogie U.E.R.P. (1996). *Programmes officiels classe de première et terminale*.
- 2) CESSAC, J. PECOT, S. TREHERNE, G. (1982). *Physique et Chimie 1<sup>ères</sup> A et B*. Fernand Nathan. Paris – France (207p).
- 3) BEISER, A. (1987). *Physique Appliquée – Cours et Problèmes*. France.
- 4) CASTEYDE, C. (2002). *Cours de C++* (Version électronique, document PDF)
- 5) BORLAND INTERNATIONAL. (1991). *Turbo C++ 3.0 Guide de l'utilisateur*. (920p).
- 6) AURELIEN, E. (1995). *Algorithmique Numérique partie I*. (30p).
- 7) BRILLANT, H. (1985). *Conception Elaboration – Exploitation de matériels didactiques pour classes de 1<sup>ères</sup> Cet D*. Mémoire de CAPEN n° 85/07-PC ENS Tana.
- 8) PHAM, D. et Coll. (1962). *Techniques du Calcul Matriciel*. DUNOD – Paris.
- 9) RAVONIMBOAHANGY, T. (2003). *Impact de l'utilisation des matériels d'expérimentation dans les classes 2<sup>ndaires</sup> du 2<sup>nd</sup> cycle*. Mémoire de CAPEN n° 03/202-PC. ENS Tana (62p).
- 10) SCHEID, F. (1985). *Analyse numérique : 775 Exercices résolus* (450p).
- 11) Microsoft Corporation. (1998). *MSDN Library* (=Microsoft Developer Network – version 6.0 - Aide en ligne du Visual Studio – sous forme de fichiers HTML compilés).
- 12) Dictionnaire Larousse 1987

## Annexes

### Annexe 1 : rappels de mathématiques

L'interpolation de Lagrange est un cas particulier d'interpolation polynomiale. L'objectif de toute interpolation étant toujours de déterminer une fonction qui passe par un nuage de points  $\mathbf{M}_i \{X_i, Y_i\}$   $i \in \{1, \dots, N\}$ , celle de Lagrange a pour forme :

$$P(X) = \sum_{i=1}^N Y_i \cdot \prod_{j \neq i} \frac{(X - X_j)}{(X_i - X_j)}$$

Le degré de ce polynôme est donc fixe : égal à N-1 si N indique le nombre des éléments de la série. Les **polynômes de Lagrange** sont des parties de cette fonction :

$$L_i(X) = \frac{(X - X_0)(X - X_1) \dots (X - X_{i-1})(X - X_{i+1}) \dots (X - X_N)}{(X_i - X_0)(X_i - X_1) \dots (X_i - X_{i-1})(X_i - X_{i+1}) \dots (X_i - X_N)}$$

dont la propriété est commune est :

$$L_i(X) = \begin{cases} 1, & X = X_i \\ 0, & X \neq X_i \end{cases}$$

Ce sont tous des polynômes de degrés N car ici le nombre des données est N+1.

La **matrice de Graam** est une matrice symétrique formée par la somme des puissances entières des valeurs de X. Si on définit par  $\mathbf{S}_k$  la somme des puissances k des  $X_i$ , alors, la matrice de Graam s'écrit :

$$\begin{pmatrix} S_0 & \dots & S_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_n & \dots & S_{2n} \end{pmatrix}$$

La résolution du système linéaire

(1)  $\mathbf{GX} = \mathbf{B}$

Où  $\mathbf{G}$  est la matrice de Graam associée à la série  $\mathbf{X}$  et  $\mathbf{B}$  le vecteur est tel que

$$B_i = \sum_{ind} X_{ind}^{i-1} \cdot Y_{ind}$$

permet de trouver les coefficients

- du polynôme de Lagrange si  $n$  = nombre de données dans la série
- de tout polynômes d'interpolation car  $n$  ne dépend pas de  $N$ .

Le degré du polynôme d'interpolation qui donne la meilleure approximation est celui duquel  $d$  l'écart  $e$  suivant est le plus petit :

$$e(N, d) = \frac{1}{N - d - 1} \sum_{i=1}^N (Y_{ir} - P(X_i))^2$$

Où  $Y_{ir}$  est la valeur réelle au point  $X_i$

$N$  désigne le nombre des données, et  $d$  le degré du polynôme

C'est le problème des **moindres carrées** (un point de vue géométrique).

Pour obtenir un minimum de précision, une parabole (degré 2) nécessite 5 points et un polynôme de degré supérieur n'en demande pas moins.

Il existe deux groupes de méthodes de résolution des systèmes linéaires :

- les méthodes directes
- les méthodes itératives

Les méthodes itératives se basent sur la donnée d'une solution quelconque voire arbitraire et proposent de calculer de proche en proche la dite solution. On cherche donc une relation de récurrence entre  $X_{n+1}$  et  $X_n$  pour que  $X_{n+1}$  soit plus proche de la solution que son antécédent. On fait aussi des calculs préalables pour déterminer si une itération converge ou non. Elles possèdent l'avantage de ne pas être faussées par de petites erreurs de calcul toujours possibles en cours de route, mais le nombre de calcul est relativement élevé.

Les méthodes directes calculent directement la solution.

La triangularisation, une méthode directe, est une série de transformations élémentaires au sein d'une matrice carrée  $M$  pour résoudre plus facilement le système linéaire

## (2) $\mathbf{MX} = \mathbf{B}$

Lorsque on arrive à la forme triangulaire supérieure c'est-à-dire que tous les termes en dessous de la diagonale sont nuls, on fait une remontée à partir de la dernière ligne pour trouver la solution. Les transformations pour arriver à cette forme sont des opérations qui conservent la matrice car elles exploitent la multi linéarité.

Pour notre cas, nous avons adoptée cette méthode directe tout simplement parce qu'elle est pour nous très claire et efficace.

## Annexe 2 : Vocabulaire, exemples de code

**transtypage** : opération de réinterprétation des données ou de changement du type.

**HTML compilé** : les fichiers d'aide sous cette forme peuvent posséder plusieurs fonctions simplificatrices des tâches de l'utilisateur entre autres :

- relier une rubrique au sommaire correspondant

Le système d'aide de Visual Studio est le Microsoft Developer Network ou MSDN Library qui est l'ensemble de plusieurs fichiers .CHM .

- créer un sous ensemble actif qui minimise la taille de la base de donnée vu que l'installation complète dépasse 1 Go pour le MSDN.

**graphique(s)** ici veut dire à base de fenêtres (sur Windows).

Exemple : fichier d'aide graphique, interface graphique, etc.

Un **message** est une structure de données dont voici les membres :

```
typedef struct tagMSG {    // msg
    HWND  hwnd;           // descripteur de la fenêtre concernée
    UINT  message;        // entier non signé correspondant à la valeur du message
                                prédéfini par le système
    WPARAM wParam;       // information supplémentaire qui accompagne le message son
                                contenu dépend de message
    LPARAM lParam;        // exactement comme wParam
    DWORD time;           // instant où le message a été envoyé
    POINT pt;             // coordonnées de la souris quand le message est envoyé
} MSG;
```

```
int WINAPI WinMain
```

```
(HINSTANCE hInst, HINSTANCE hPrevInstance, LPSTR lpCmdLine, int nShowCmd)
{
```

```
    char className[] = "SIMPLE";
    HACCEL hAccess;
    HWND hwnd;
    Maker makewin(className,hInst);
    WindowClass toxic (WndProc,className,hInst);
    toxic.Register();
    hwnd = makewin.CreateWin(className);
    toxic.ShowDisplay(hwnd);
    hAccess = LoadAccelerators(hInst,(LPCTSTR) IDR_ACCEL);
```

```
MSG message;
```

```
    while (GetMessage(&message,NULL,0,0))
    {
        if (!TranslateAccelerator(message.hwnd,hAccess,&message))
```

```

        {
            TranslateMessage(&message);
            DispatchMessage(&message);
        }
    }
    return message.wParam;
}

```

La fonction WinMain prend toujours une forme similaire quel que soit le programme.

La fonction suivante dans **inters.exe** effectue la triangularisation supérieure d'une matrice carrée. On utilise ici un tableau 3D (A1) dont le première étage est formé par la matrice totale du système, dans le deuxième étage, les éléments en dessous du 1<sup>ère</sup> ligne – 1<sup>ère</sup> colonne sont éliminés, dans le troisième, on annule les éléments en dessous du 2<sup>ème</sup> ligne – 2<sup>ème</sup> colonne, etc. On obtient au dernier étage une matrice triangulaire supérieure.

//pivot de Gauss: TRIANGULARISATION SUPERIEURE

```
void MatriceGauss(double A[ ][N], double A1[N][N+1][N], double B[ ], int n)
```

```

{
    int i,j;
    for (i=1 ; i<=n ; i++)
        for (j=1 ; j<=n ; j++)
            { A1[ i ][ j ][ 1 ] = A[ i ][ j ];}
    for (i=1 ; i<=n ; i++)
        { A1[ i ][n+1][ 1 ] = B[ i ];}
    int k;
    for (k=1 ; k<=n-1 ; k++)
    {
        for (i=1 ; i<=k ; i++)
            for (j=1 ; j<=n+1 ; j++)
                { A1[ i ][ j ][ k+1 ] = A1[ i ][ j ][ k ];}
        for (i=k+1 ; i<=n ; i++)
        {
            double piv= double(A1[ i ][ k ][ k ])/A1[ k ][ k ][ k ];
            for (j=k; j<=n+1 ; j++)
                A1[ i ][ j ][ k+1 ] = (A1[ i ][ j ][ k ]-(piv*A1[ k ][ j ][ k ]));
        }
    }
}

```

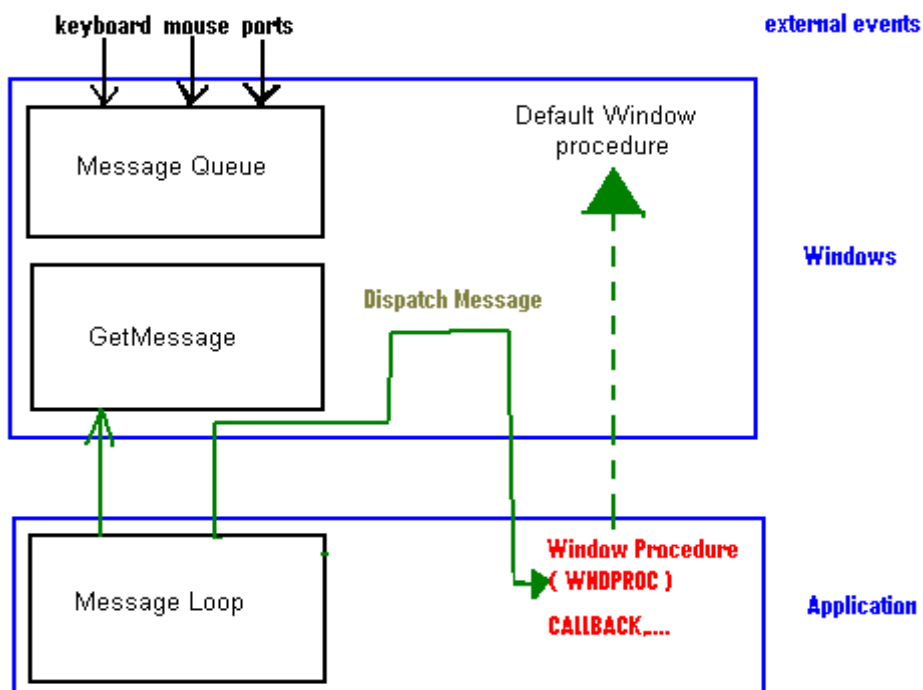
### Annexe 3 : Quelques mots sur le plateforme SDK (Software Development Kit)

L'outil SDK qui accompagne le Visual C++ permet de générer des applications à base de fenêtres ou de boîte de dialogue (Window-based application) outre bien sûr les applications MFC. Ces applications sont portables sur toute plateforme Windows 32 bit, on les appelle API (Application Programming Interface). Leur fonction principale se nomme toujours WinMain et prend quatre paramètres prédéfinis. Chaque fenêtre a une « window procedure », une fonction qui retourne un type WNDPROC. Il faut insérer « windows.h » parmi les bibliothèques requises. Windows est un système qui procède par envoi- réception de messages. Un message est prédéfini par le système d'exploitation ou défini par l'application. Les messages commencent tous par WM et sont toujours en majuscule, exemple WM\_HELP (qui répond à la touche F1). Des types supplémentaires sont prédéfinies et se distinguent par la casse : elles sont toutes en majuscule et débutent le plus souvent par L ou LP pour un pointeur, H pour un descripteur (handle). Exemple **HWND** descripteur d'une fenêtre, **LPBOOL** pointeur sur un type BOOL, etc. Il existe plusieurs fonctions qui s'occupent des messages, exemples :

SendMessage, PostMessage, DispatchMessage,....

Générer une application à base de fenêtres est très différent de générer des applications sous DOS, qui est le mode de sortie par défaut de C++ sur un système d'exploitation Windows. Citons pour ces applications à base de fenêtres l'existence des procédures CALLBACK : c'est le système d'exploitation qui appelle ces fonctions

#### Message Processing



En résumé, il faut faire en sorte que le code soit compatible avec ce fonctionnement de Windows : Message Processing.

auteur : RAKOTOARIMANANA Hasina Tantely Alberto

titre : « **Conception Elaboration et exploitation d'un dispositif d'étude des chutes des corps** »

nombre de pages : 50

nombre de tableaux : 9

nombre de figures : 31

<u>Résumé :</u>	<u>Schéma du dispositif :</u>
<p>CE MÉMOIRE PROPOSE LA RECHERCHE DES FORCES DE FROTTEMENTS QUI S'APPLIQUENT À UN CORPS EN CHUTE. BIEN QUE NOUS NE PUISSONS ÉTUDIER QU'UN CAS SINGULIER AVEC LE DISPOSITIF, LA MÉTHODE ASSOCIÉE EST VALABLE POUR TOUS LES AUTRES CAS, CAR ON A :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ ÉLABORÉ UN DISPOSITIF QUI DONNE L'ÉVOLUTION DE <math>z(t)</math> POUR LE CORPS EN CHUTE ;</li><li>➤ UTILISÉ LA PROGRAMMATION POUR FAIRE L'INTERPOLATION DES VALEURS EXPÉRIMENTALES AFIN DE TROUVER LA LOI HORAIRE DU MOUVEMENT ET CALCULER ENSUITE L'EXPRESSION DES FORCES DE FROTTEMENTS.</li></ul> <p>LA PROGRAMMATION A ÉTÉ FAITE AVEC VISUAL C++, UN LANGAGE QUI EST ADAPTÉ AUX CALCULS DE CE GENRE MAIS QUI PERMET AUSSI UNE INTERFACE GRAPHIQUE ÉVOLUÉE C'EST-À-DIRE WINDOWS.</p>	

mots clés : chute avec frottements, chute libre, interpolation, machine de MORIN, matériels didactiques, programmation, Visual C++.

Directeur de mémoire : Mr ANDRIANARIMANANA Jean Claude Omer - maître de conférence

adresse de l'auteur :

AD 3ter AMBOHITRARAHABA 103 TANA

N° TEL: 033 12 804 01