

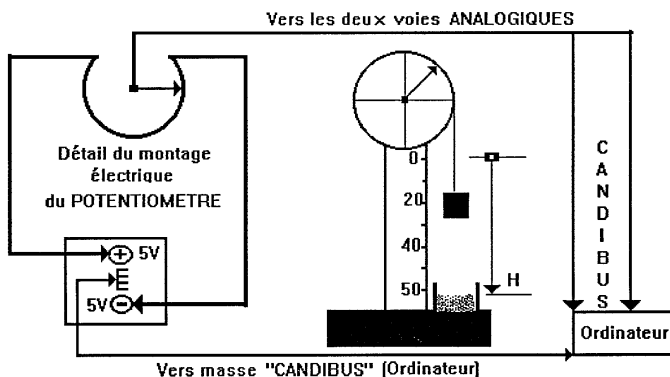
Étude d'un mouvement uniformément varié à l'aide du logiciel «LABO» *Chute d'un corps**

par Sébastien TOMASI
Lycée Paul Vincensini, 20200 Bastia

1. BUT DE LA MANIPULATION

L'objectif de cette étude est d'enregistrer en temps réel, le mouvement uniformément varié de la chute d'un corps grâce à l'utilisation de l'ordinateur en vue de tracer les différents diagrammes et d'en déterminer les divers paramètres. Accélération, vitesse et abscisse à l'origine ainsi que plusieurs autres données pourront être accessibles par l'utilisation d'un potentiomètre, solidaire de l'axe d'une poulie mise en rotation par la chute d'un corps, dont la tension qu'il délivre sera numérisée par la carte d'acquisition «CANDIBUS» de l'ordinateur (adresses de diffusion à la fin de l'article).

2. MONTAGE EXPÉRIMENTAL



* (Sur une idée de MM. TROPIS & TROUILLET).

Le montage comprend une poulie de faible masse, d'environ 12,5 cm de diamètre (celle utilisée pour la manipulation «Le pendule» ou bien celle de «Pendulor» (Société MECACEL) ou bien une poulie A.I.O.P. de la machine d'ATWOOD). Son axe est la tige du curseur d'un potentiomètre de 20 k Ω de résistance (environ), réputé linéaire à + ou - 10 %. Un fil inextensible est fixé et s'enroule sur le réa en soutenant la masse motrice.

La tension variable est recueillie par les deux voies de la carte «CANDIBUS» montées comme pour un oscilloscope (voir schéma) et un voltmètre de contrôle au début (après il sera inutile).

Le potentiomètre (bornes fixes) est alimenté par une source de tension continue (source MATELCOsymétrique + 15 V ; - 15 V) réglée entre +/- 5 V environ (maximum imposé par «CANDIBUS» selon le réglage choisi, car on peut aussi évoluer entre + ou -10 V).

3. PRÉPARATION DE LA MANIPULATION

3.1. Contrôle de la linéarité du potentiomètre

Le potentiomètre étant alimenté entre ses bornes extrêmes en + 5 V/- 5 V continu, on repère une hauteur de chute (qui se traduit au niveau d'un voltmètre relié entre le curseur de la poulie et la masse électrique) par une tension : par exemple on repère les divers points 0, 5, 10, 15... 30 cm et on relève les tensions correspondantes.

On doit obtenir le graphe d'une fonction affine du type :

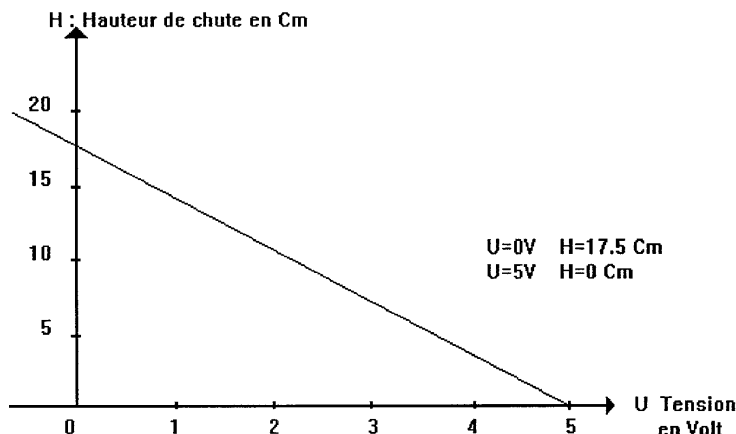
$$H = a (U) + d$$

dont on déterminera les coefficients : «a» comme amplification et «d» comme décalage, car ils serviront pour le logiciel «Labo» à la transformation des tensions recueillies en distances parcourues.

En effet, la voie numéro 1 qui captera les données effectuera la transformation affine de la forme :

$H \text{ (en mètre)} = \text{amplification} * (\text{tension lue}) + \text{décalage.}$

On obtient le graphe suivant :



Dans les conditions ci-dessus la pente qui sera l'amplification est : $a = -0.035 \text{ m/V}$ et le décalage (ordonnée à l'origine) vaut : $d = 0.175 \text{ m}$. Pour le repérage des distance on peut coller un papier millimétrique sur le bâti de la poulie (50 cm de hauteur environ) ou bien y fixer un règle. Il ne servira d'ailleurs que pour cette opération ! L'appareillage est prêt, on passe à la préparation de la prise des mesures par la carte d'acquisition «CANDi» associée au logiciel «LABO».

3.2. Préparation logicielle à la prise des mesures

La carte «CANDIBUS» étant connectée, l'acquisition des données sera gérée par le logiciel «LABO» qu'il est nécessaire de PARAMÉTRER grâce au «menu» «PARAMÈTRES» de la barre des menus (voir guide de référence LABO pages 4.35 à 4.53).

Dans le sous-menu «DONNÉES» on décide de régler en une seule fois «TOUS» les paramètres : (cf. «LABO» page 4.39...) à savoir :

- Nombre de mesures (Nb de points de la courbe) ;
- Nombre d'acquisitions (Série de x mesures : se limiter à 1) ;
- Nombre de VOIES : 1 ou 2 (ici 2 : voir schéma montage) ;
- TEMPS : durée entre deux mesures en μs !

Tous ces paramètres dépendent du phénomène à enregistrer.

En se basant sur une chute d'une trentaine de centimètres, dont la durée «tourne» autour de 256 ms on choisit les valeurs suivantes : (voir Annexe I).

- Nombre de mesures : 256
- Nombre d'acquisitions : 1
- Nombre de voies (analogiques) : 2 (car la voie 1 capte et la 2 sert au déclenchement : c'est pour cela qu'elles sont branchées au même point : le curseur du potentiomètre sur le schéma).
- Temps (entre 2 mesures) : $1\,000\ \mu\text{s}$ car on retrouve ainsi $1\,000\ \mu\text{s} * 256 = 256\ \text{ms}$ la durée estimée de la chute.

On pourrait penser que l'ensemble est prêt mais on constaterait que l'acquisition des mesures se ferait de manière «anarchique» ou pas du tout, car on n'a pas réglé la SYNCHRONISATION!!

Pour cela on sélectionne dans le menu «PARAMÈTRES» le sous-menu «SYNCHRONISATION» et son sous-menu «TOUS» : Apparaît alors la fenêtre de saisie que l'on complète :

Paramètres Synchronisation	
Voie de synchronisation	Voie 2
Niveau de synchronisation	5 V
Sens de synchronisation	Décroissant

Enfin le choix du sous-menu «VOIE» permet de paramétrer la voie n° 1 d'acquisition (Annexe I).

L'AMPLIFICATION n'est autre que le coefficient de transformation VOLT → mètres déjà vu lors de l'étude de la linéarité du potentiomètre. Il valait $a = -0.035\text{m/V}$, tandis que le DÉCALAGE est l'ordonnée à l'origine de la transformation qui est ici $d = 0.175\text{m}$ (Annexe I).

Comme l'on va obtenir à l'écran une courbe (ou plusieurs ultérieurement) il est bon de donner aux axes les unités correspondantes et choisir différentes couleurs pour les courbes qui seront étudiées. Le sous-menu «COURBES» est à activer.

La courbe n° 1 notée C_1 (Annexe II) est celle qui résulte de l'acquisition directe (Diagramme des espaces $H = f(t)$) et l'unité choisie pour l'axe des ordonnées sera le mètre (m). La courbe notée C_2 sert pour la voie donc inutile de la demander.

La courbe n° 3 ou C_3 sera la courbe n° 1 «lissée» (Annexe III & IV) grâce au logiciel et à son sous-menu «CALCUL» : donc mêmes unités mais couleur différente !

La courbe n° 4 ou C_4 sera la «dérivée» de la n° 3 c'est $V = f(t)$ avec pour unité le m/s.

L'unité de TEMPS est, pour le LOGICIEL, le milliseconde (ms).

D'autre part les PUISSANCES de DIX sont représentées ainsi :

Exemple = $-3,55 \text{ e-}004$ équivaut à $-3,55 * 10^{-4} \text{ m}$ (voir l'Annexe III & IV).

Lors d'un lissage on voit apparaître les coefficients du polynôme de variable mathématique x^0, x^1, x^2 pour le logiciel ; que l'on traduira pour la courbe $H = f(t)$ sous la forme : (Annexe IV).

Coefficients du polynôme (donné par le logiciel)	«Traduction» pour $H = f(t)$
$- 3.552580 \text{ e-}004 \text{ x}^0$	$- 3.552580 * 10^{-4} \text{ degré } 0 \text{ en } t$
$+ 9.332915 \text{ e-}005 \text{ x}^1$	$+ 9.332915 * 10^{-5} \text{ degré } 1 \text{ en } t$
$+ 4.575717 \text{ e-}006 \text{ x}^2$	$+ 4.575717 * 10^{-6} \text{ degré } 2 \text{ en } t$

L'équation sera (en arrondissant et en donnant la hauteur de chute en mètres) :

$$H(t) = 4,58 t^2 + 0.093 t - 0.0003 \text{ (voir Annexe IV)}$$

car : $4.58 * 10^{-6} = 4.58 * 10^{-6} \text{ m/(ms)}^2$ soit la valeur 4.58 m/s^2

$9.3310^{-5} = 9.3310^{-5} \text{ m/(ms)}$ soit 0.0933 m/s

$-3.55 * 10^{-4} = -3.55 * 10^{-4}$ soit -0.0003 m ce qui est négligeable et irréal.

A ce stade de présentation les conditions sont réunies pour passer à l'expérimentation.

4. LA MANIPULATION

La présence du potentiomètre introduit des frottements que l'on peut cerner de manière statique : on accroche successivement à la corde, dans un ordre logique, diverses masses afin de détecter la masse «minimale» qui déclenche la rotation, ce qui permet d'obtenir la valeur maximale du moment résistant dynamique qui est plus faible, lors de la chute, que le moment «Statique» (on a trouvé pour cette masse : 10 grammes).

La corde inextensible est enroulée sur le réa, la masse de 200 g est en position «haute» c'est-à-dire position de départ.

Il est préférable d'opérer toujours de la même façon : la masse étant immobilisée en cette position (on compte les distances vers le sol), le curseur du potentiomètre est placé en «butée» de telle sorte que soit affichée (à l'aide d'un voltmètre numérique de contrôle connecté sur les mêmes voies que celles de «CAND»), une tension très légèrement supérieure à 5 V (seuil de déclenchement) : prendre 5,01 ou 5,05 V (stable), ce qui entrainera une légère vitesse initiale que l'on pourra mettre en évidence lors d'un lissage de la courbe expérimentale.

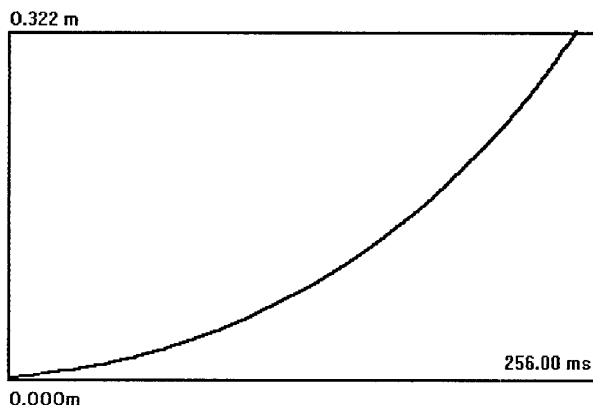
On immobilise la poulie en appuyant l'index tangentiellement sur le point le plus élevé de sa circonférence et l'on lâche de façon nette verticalement vers le haut mais sans brusquerie.

L'immobilité de la masse (ou de la poulie) est obligatoire car tout déplacement à ce niveau entraînerait une chute de tension passant de 5.005 à 5.000 V ce qui déclencherait la prise de mesures sans chute ! (VOIE 2 réglée pour déclencher à 5.000 V en décroissant).

Quelques essais infructueux ne doivent pas entamer la détermination de l'expérimentateur. Ne pas oublier de réceptionner la masse en l'amortissant à la fin de chute et arrêter l'alimentation !!!

Quand tout est prêt, on peut passer à l'acquisition des mesures : pour cela on active le menu «ACQUISITION» et son sous-menu «NORMALE» et on «VALIDE» par la touche «ENTRÉE» bien connue. On «largue» la masse comme indiqué plus haut. Dès le lâcher, la tension baisse PASSE PAR 5.000 V et l'acquisition des mesures se fait sur la VOIE n° 1.

La masse «tombe», on ne voit rien à l'écran pendant la durée programmée des 256 ms que dure la prise des données, mais dès ce temps dépassé, une branche de parabole s'inscrit sur l'écran et présente l'allure suivante... (voir Annexe II).



Les diverses opérations de traitement des données peuvent commencer.

5. LES DIVERS TRAITEMENTS GRÂCE AU LOGICIEL

Avec un peu d'expérience la manipulation depuis son début, réglages compris, ne dure qu'une dizaine de minutes.

Si l'on prend la précaution d'enregistrer la «CONFIGURATION» (tout le paramétrage) grâce au menu «FICHIER», la durée est celle des branchements !!!

La courbe expérimentale notée C_1 présente ou peut présenter de nombreuses imperfections, il convient de la lisser, ce qui en même temps permettra de lui associer un modèle mathématique.

On demande donc le lissage par le menu «CALCUL» : le logiciel élimine les données aberrantes et associe une formule mathématique où la variable est toujours «x» à la place du temps «t» (voir ci-dessus le tableau de transformation de la variable et des unités). La courbe lissée sera appelée C_3 . Il est possible de la représenter seule ou en même

temps que la courbe expérimentale C_1 grâce au menu «DESSIN» et sous menu «PARAMÈTRES2D». Si le lissage est bon, les deux courbes C_1 et C_3 doivent être confondues (voir Annexe III & IV).

Le diagramme des espaces étant affiché, la « dérivation » du modèle mathématique donnera la «Vitesse» : $V = f(t)$ et sa représentation graphique (courbe C_4 : voir annexe IV).

On l'obtient par le menu «CALCUL» puis «DÉRIVATION» : il est préférable de «dériver» la fonction obtenue en C_3 qui devient alors la fonction C_4 (voir Annexe VI).

Son lissage permet d'explicitier le modèle mathématique de la vitesse et sa représentation graphique en même temps que la courbe C_3 ... mais attention compte tenu des échelles on risque de ne pas voir la courbe C_4 et de plus leurs unités et leurs domaines physiques sont différents (Annexe V)... !

Pour un meilleur confort visuel on opte pour une représentation avec échelle «Manuelle» du sous-menu «PARAMÈTRE 2D» mais cela demande un petit entraînement. Un nouveau lissage de C_4 sur elle-même donnera l'équation de la vitesse. On obtient : (Annexe V).

$$C_4 \text{ ou } v(t)_{(m/s)} = 9.15 t + 0.093$$

A partir de cette droite il est possible grâce au menu «OUTILS» et à son «POINTEUR» (ou touche F6) de déterminer les coordonnées de divers points et de les relier à la hauteur de chute en vue d'une étude d'énergie CINÉTIQUE et POTENTIELLE (voir Annexe VIII pour le pointeur).

MAIS il existe une autre possibilité : La représentation des courbes en paramètres «XY» du menu «DESSIN» qui permet d'éliminer la variable temps entre deux courbes qui en dépendent.

Dans ce mode l'abscisse est déterminée par les valeurs de la courbe prise comme «RÉFÉRENC» donc si cette courbe est C_3 les abscisses seront les hauteurs de chute en mètres car $C_3 = h(t)$. On pourra ainsi représenter $V = f(H)$ ou $V^2 = f(H)$ (Annexe IX) car, c'est dans ce but que l'on a tracé $V^2 = (C_4)^2 = C_5$ obtenue grâce au menu «CALCUL» et à son sous-menu «FORMUL» où l'on demande $C_5 = C_4 * C_4$.

6. EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE

6.1. Détermination des paramètres du mouvement uniformément varié

A partir du diagramme des espaces obtenu expérimentalement on montre la courbe représentative d'un mouvement uniformément varié dont il est possible de déduire l'accélération (qui est assez voisine de «g» si les frottements sont très faibles) et la vitesse initiale. Le lissage permet aussi d'extrapoler et trouver l'abscisse initiale (artificiel).

L'édition des mesures sur imprimante (Menu ÉDITIONS) permet de déterminer la raison de la progression arithmétique des espaces parcourus pendant des temps successifs égaux et comparer ainsi avec l'accélération !

Il est possible de faire varier la vitesse initiale et vérifier que la courbe n'est plus la même mais que l'accélération est conservée (aux erreurs près).

6.2. Étude énergétique

La courbe $V^2 = f(H)$ permet des prolongements vers les Énergies Cinétique et Potentielle qui pourront être étudiées ultérieurement grâce à la courbe expérimentale conservée en Fichier.

6.3. Étude de l'accélération en fonction de la masse

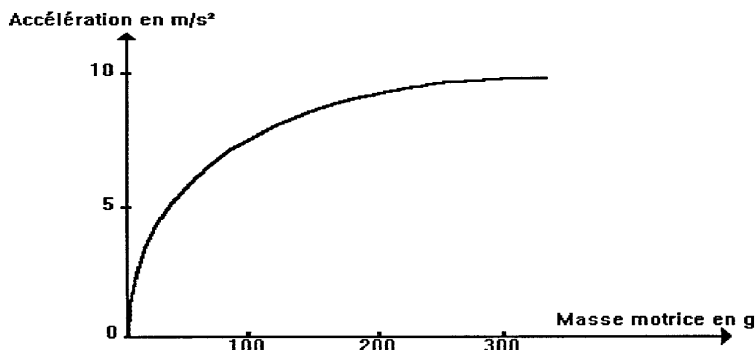
La masse de 200 g a été choisie en fonction de la masse minimale de 10 g nécessaire au «démarrage» (vingt fois cette masse). Il est possible à partir de cette masse minimale, d'étudier la variation de l'accélération en fonction de la masse motrice : $A = f(m)$.

Pour chaque masse motrice on recommence l'expérience en lissant à chaque fois la courbe $H = f(t)$ et en notant l'accélération qui lui correspond.

Grâce à un logiciel adéquat (REGRESSJ GRAPH IN THE BOX, EXCEL3) il suffit de représenter l'accélération en fonction des différentes masses motrices ; on obtient une courbe d'allure suivante (page suivante) :

Il serait bon de construire la courbe théorique pour comparaison. Les résultats obtenus donnent des valeurs un peu «fortes». Expérimen-

talement on est limité par la grandeur de la masse, car au-delà de 400 g la rotation du curseur est trop rapide, on peut douter alors de son contact sur la résistance, ce qui est absolument nécessaire.



6.4. Prolongement vers le principe de l'inertie

Il est possible, bien qu'insuffisamment expérimenté, de reprendre le principe de l'ancienne machine d'ATWOOD (anciens démons, hélas démodés !!) et étudier de faibles accélérations, ou bien, grâce aux fameuses surcharges éliminables, redécouvrir le mouvement uniforme (et donc le principe de l'inertie). Si les frottements sont pratiquement nuls ou compensés (ce qui serait possible), on pourra obtenir une vitesse constante sur un laps de temps (de 20 à 100 ms) suffisamment long pour l'enregistrer.

On pourrait même enregistrer sur la même expérience le mouvement accéléré puis le mouvement uniforme ou le mouvement décéléré !

De toutes façons on pourra toujours enregistrer un mouvement uniformément décéléré car on a trop souvent tendance à négliger les frottements.

6.5. Autre possibilité de montage

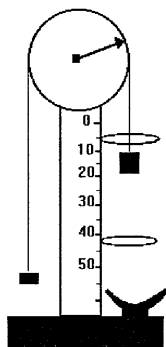


Schéma du 2^{ème} montage

BIBLIOGRAPHIE

Guide d'utilisation «LABO» de LANGAGE & INFORMATIQUE distribué actuellement, comme la carte «CANDIBUS» :

8, avenue E. Serres

Parc Aéronautique Toulouse-Coulomiers

B.P. 11

31771 COULOMIERS

Tél. : 61.15.53.15

Société MECACEL

Moulin Trochard

77120 COULOMIERS

Tél. : 64.03.07.13

Potentiomètre utilisé : Potentiomètre de récupération par [M. CASTANIER (Professeur)] sur un photocopieur.

Marque : Amphenol Type P 32-221 (1) BP

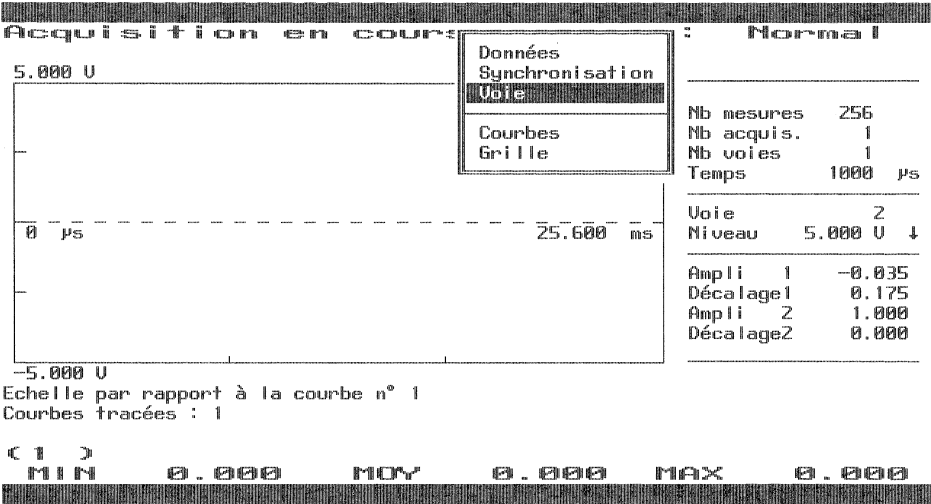
DEISENHOFEN - MÜNCHEN - West Germany.

Mais tout autre potentiomètre très linéaire convient...

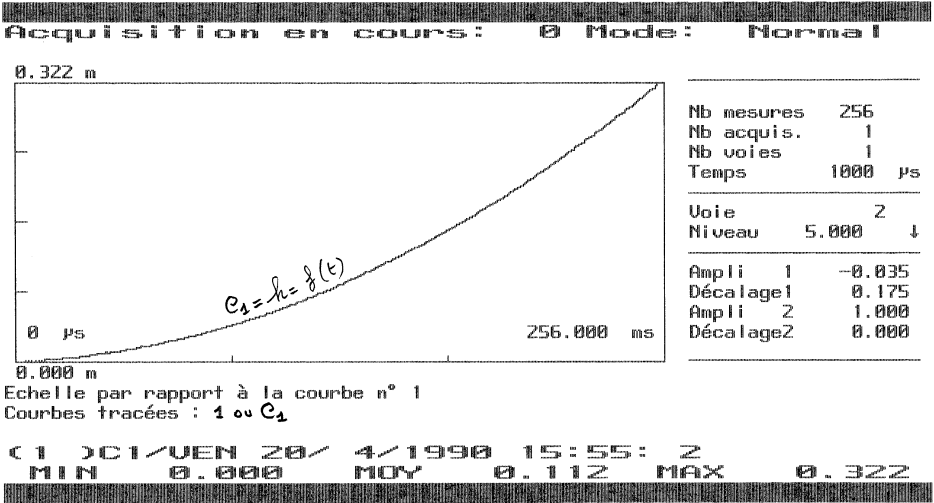
REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier pour leur collaboration les aides de LABO : MM. BARTOLI, CESARI, SUZZARINI.

Annexe I

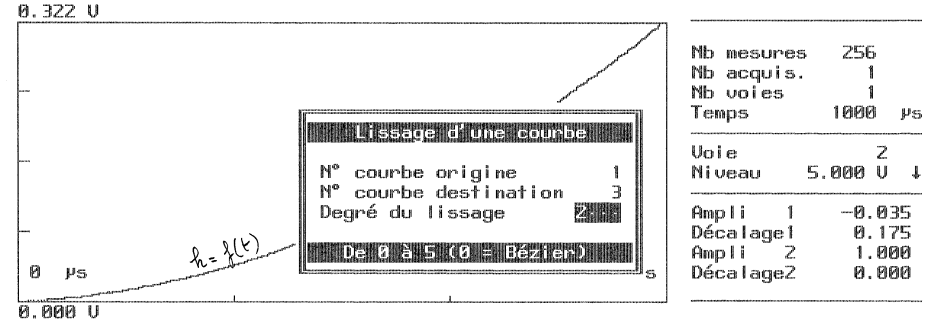


Annexe II



Annexe III

Acquisition en cours: 0 Mode: Normal



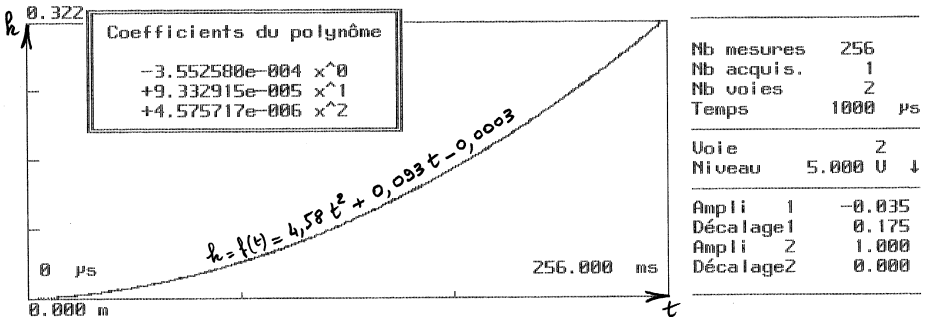
Echelle par rapport à la courbe n° 1

Courbes tracées : 1

(1)C1/VEN 20/ 4/1990 15:55: 2
MIN 0.000 MOY 0.112 MAX 0.322

Annexe IV

Acquisition en cours: 0 Mode: Normal

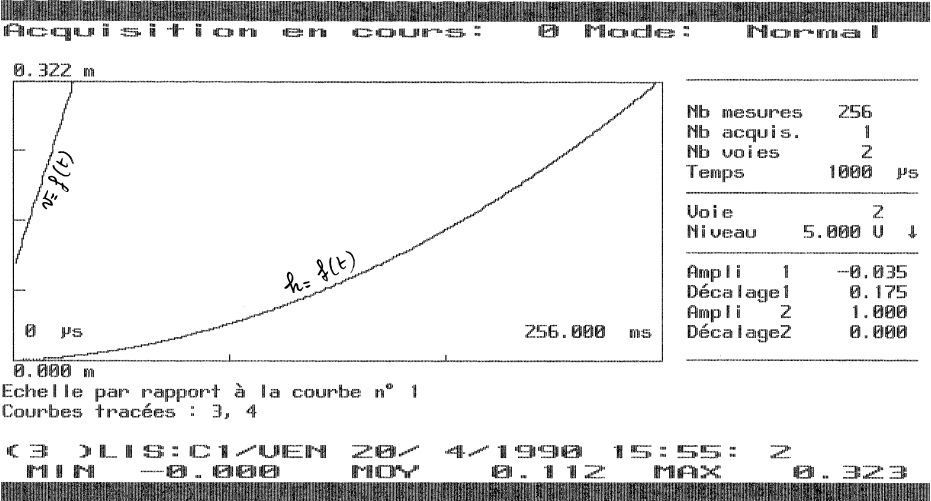


Echelle par rapport à la courbe n° 1

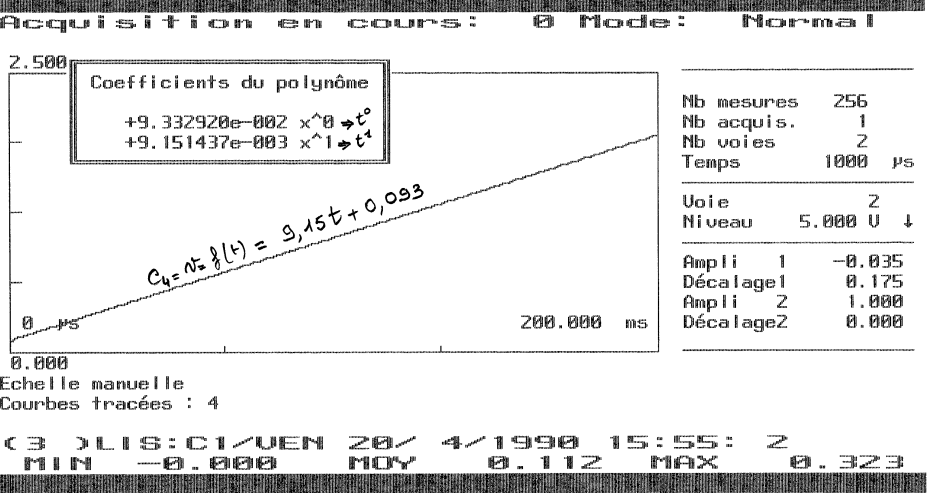
Courbes tracées : 1, 3

(1)C1/VEN 20/ 4/1990 15:55: 2
MIN 0.000 MOY 0.112 MAX 0.322

Annexe V

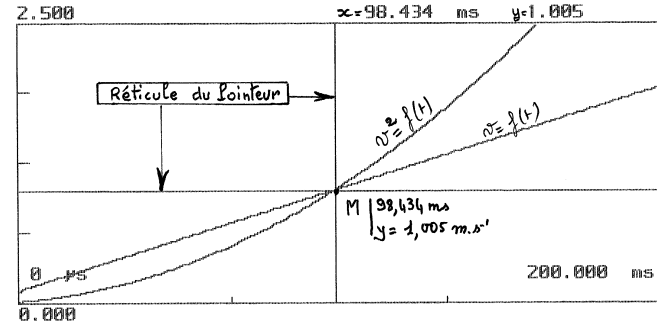


Annexe VI



Annexe VII

Acquisition en cours: 0 Mode: Normal



Nb mesures	256
Nb acquis.	1
Nb voies	2
Temps	1000 μ s

Voie	2
Niveau	5.000 U $\downarrow$

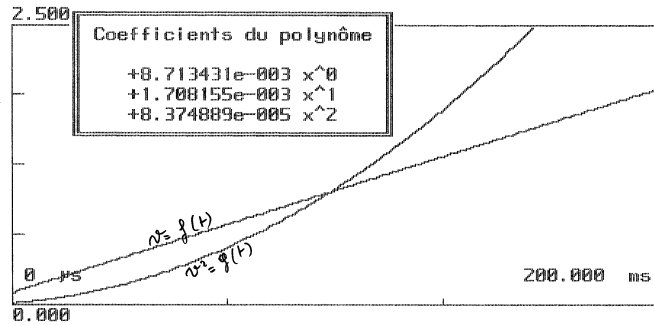
Ampli 1	-0.035
Décalage1	0.175
Ampli 2	1.000
Décalage2	0.000

(3) LIS:C1/VEN 20/ 4/1990 15:55: 2

MIN -0.000 MOY 0.112 MAX 0.323

Annexe VIII

Acquisition en cours: 0 Mode: Normal



Nb mesures	256
Nb acquis.	1
Nb voies	2
Temps	1000 μ s

Voie	2
Niveau	5.000 U $\downarrow$

Ampli 1	-0.035
Décalage1	0.175
Ampli 2	1.000
Décalage2	0.000

(3) LIS:C1/VEN 20/ 4/1990 15:55: 2

MIN -0.000 MOY 0.112 MAX 0.323

Annexe IX

