

Mesures informatiques sur des images vidéo

par Achilles GROSSE

Lycée Lislet Geoffroy, 97400 Saint-Denis de la Réunion

et Patrice LECARPENTIER

Rectorat, 97400 Saint-Denis de la Réunion

1. INTRODUCTION

Le procédé de chronophotographie est utilisé depuis longtemps en sciences physiques, sa mise en œuvre est toutefois assez délicate avec un appareil photographique.

L'apparition de caméras vidéo avec un temps d'obturation très court (on trouve couramment le $1/10\ 000$ s) et un mode image par image permet de faire évoluer le procédé vers le concret en filmant des mouvements «ordinaires» pour les analyser. L'ordinateur est alors le moyen le plus commode pour mesurer sur ces images d'autant que l'exploitation des mesures est facilitée. Il faut pour cela mêler l'image vidéo et l'écran informatique, la souris permettant de repérer la position d'un point sur l'écran donc les coordonnées de ce point en fonction du temps. Deux techniques sont possibles : la numérisation et l'incrustation.

La pertinence scientifique de ces mesures étant établie par des mesures préalables, nous avons voulu tester avec des élèves de lycée l'utilisation de cette démarche. Grâce au Conseil Régional de la Réunion, le lycée Lislet Geoffroy de Saint-Denis a été équipé en octobre 1991.

Après avoir décrit les possibilités pour mesurer sur des images vidéo, nous citerons quelques mesures faites en classe pendant l'année scolaire 1991/1992.

2. DESCRIPTION ET COMPARAISON DES TECHNIQUES POSSIBLES

Pour les deux procédés qui seront décrits ci-dessous, il faut bien sûr procéder à l'enregistrement des documents en respectant les conditions nécessaires pour faire des mesures : caméra fixe et axe perpendiculaire

au plan de la trajectoire. Le dispositif de mesure est totalement dissocié de l'expérience étudiée, ce qui affranchit celle-ci de toute perturbation.

2.1. Numérisation des images vidéo

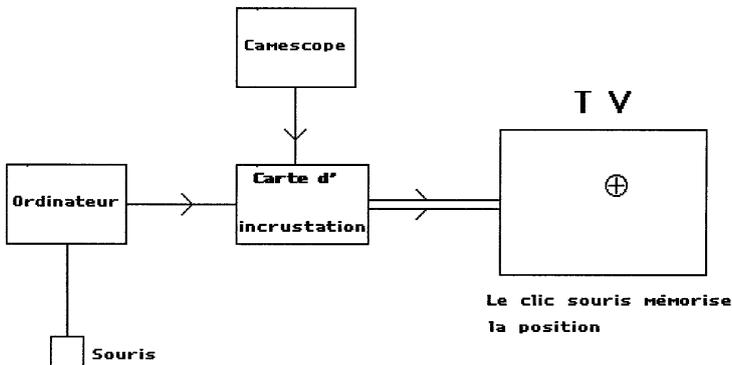
L'exploitation des images se fait ici en deux phases bien distinctes :

- numérisation de chaque image, c'est-à-dire transformation en image numérique de 640×480 points en 16 couleurs pour le standard VGA, le plus répandu actuellement,
- mesures avec un logiciel qui charge ces images une à une, repère et mémorise les coordonnées des points.

Il reste à exploiter ces mesures en fonction de l'expérience étudiée.

2.2. Incrustation de l'image informatique

Le dispositif de mesure est schématisé ci-dessous :



L'image vidéo et l'écran informatique sont introduits dans la carte d'incrustation : l'image obtenue est envoyée sur un téléviseur. L'écran informatique est prioritaire, une de ses couleurs est transparente et l'image vidéo est visible à travers cette couleur. Il suffit donc de disposer d'un logiciel dans lequel le fond est transparent avec une souris visible permettant de repérer les points recherchés. Le logiciel utilisé n'a pas à charger d'images ; cela permet éventuellement de détourner un logiciel (les premières mesures de validation du procédé ont été réalisées avec un logiciel de dessin disposant d'une fonction « coordonnées »).

L'opérateur doit passer les images une à une tout en faisant les mesures.

De même que précédemment, l'exploitation des mesures reste à faire.

2.3. Avantages et inconvénients des deux méthodes

La numérisation permet une manipulation plus facile car, lors du travail de mesures, l'opérateur n'a plus à manier le magnétoscope. Toutefois, sauf si on travaille en statique, le temps de préparation des images est important (avec une carte ordinaire, il faut plus de 20 secondes pour numériser et sauver une image). Il est donc assez difficile d'envisager de travailler en direct avec une classe (c'est-à-dire étudier un mouvement que l'on vient de filmer), à moins de disposer d'un réseau avec un poste numérisant les images chargées et exploitées par les autres postes. En revanche, pour des images déjà préparées, la diffusion est facile puisqu'il suffit ensuite d'un ordinateur pour mesurer. Signalons toutefois que les images numérisées sont très volumineuses ; sans «compression», les images contenues dans le logiciel OVNI (logiciel d'étude de trajectoires avec numérisation des images, édition CHRYSYS) occuperaient environ 60 Mo, c'est-à-dire plus de 40 disquettes.

L'incrustation permet un travail plus rapide puisqu'il n'y a pas de préparation des images. Les images sont aussi de meilleure qualité car l'image vidéo n'est pas modifiée. Toutefois, la manipulation demande un certain soin car il faut synchroniser mesures et avancement des images. Il est donc possible de faire en une séance l'enregistrement des images, les mesures et l'exploitation physique des résultats, cette phase étant facilitée par l'utilisation du tableur dans lequel les données sont introduites automatiquement. Par contre les mesures demandent un matériel considérable et un seul groupe les fait. Les résultats sont ensuite transférés sur les autres ordinateurs pour que chaque groupe en dispose pour l'exploitation (calculs, représentation graphique, modélisation et interprétation). Cette démarche réunit le charme et les difficultés du «direct» (c'est fou ce que certains pieds de caméra peuvent avoir de degrés de liberté).

Les deux procédés ne sont pas exclusifs et on peut choisir l'un ou l'autre, en fonction du thème traité et des objectifs de la séquence.

Les considérations précédentes sont valables en l'état actuel de la technique. L'évolution des cartes, des procédés de compression et de transfert des images peut modifier notablement la situation.

Le travail sur des images numérisées étant plus connu (le logiciel OVNI a été retenu par le Ministère de l'Éducation Nationale en licence mixte 1991, procédure permettant aux établissements d'acquérir les logiciels à moindre prix), l'expérimentation menée a porté sur l'utilisation de l'incrustation.

3. LA MÉTHODE D'INCRUSTATION

3.1. Configuration matérielle

Pour réaliser les expériences mises en œuvre et décrites plus loin il faut : (les matériels indiqués sont ceux utilisés pour l'expérimentation, d'autres conviennent peut-être ; les prix sont des ordres de grandeur) :

- un ordinateur compatible PC (386 SX ou mieux) avec disque dur, écran VGA multisynchrone et souris, (si l'écran ne passe pas le 15,75 kHz entrelacé, l'image n'est plus stable sur l'ordinateur)... 13 000 F,
- une caméra disposant d'un arrêt électronique sur image et d'une grande vitesse d'obturation (1/4 000 s ou 1/10 000 s) ; exemple : SONY V6000 de format Hi 8 mm PAL... 18 000 F,
- une carte d'incrustation avec Genlock, celle choisie (WILLOW VGA-TV) ne fonctionne qu'en PAL... 10 000 F,
- un téléviseur grand écran de bonne qualité, visible par une classe entière... 7 000 F,
- un éclairage permettant les prises de vue intérieures à grande vitesse d'obturation (deux torches 1 000 W)...800 F, les élèves peuvent tenir les torches, sinon, prévoir deux pieds de torche,
- un pied de caméra... 800 F.

A part la carte d'incrustation (qui permet toutefois de visualiser un écran informatique sur un téléviseur), le matériel proposé à d'autres usages dans un lycée.

Les mesures sont faites dans un logiciel spécifique : INCRUST puis exploitées ensuite dans REGRESSI. Ces deux logiciels peuvent être obtenus auprès de la société Microlec.

3.2. Principe des mesures

Pour faire des mesures à partir d'un enregistrement vidéo, il faut respecter certaines conditions lors de la prise de vue :

- le mouvement doit se dérouler dans un plan perpendiculaire à l'axe de la caméra pour que les distances sur l'écran soient proportionnelles aux distances réelles,
- la vitesse d'obturation doit être grande pour éviter le flou, en particulier pour les chutes,
- un objet de dimension connue doit être filmé dans le même plan que le mouvement,
- éventuellement, l'origine souhaitée doit pouvoir être repérée sur une image.

Le film est ensuite passé image par image en incrustation avec l'écran fourni par l'ordinateur. Le déplacement de la souris, dont les coordonnées sont connues, permet de repérer la position de points du ou des mobiles.

Après les mesures, le logiciel INCRUST permet de lancer REGRESSI en chargeant les données et en les sauvant dans un fichier. Le travail de calcul, de représentation et de modélisation se fait alors rapidement, ce qui dégage du temps pour l'interprétation.

Bien entendu, l'observation directe au ralenti ou image par image permet déjà de faire réfléchir les élèves sur les phénomènes étudiés avant toute mesure ou calcul.

3.3. Déroulement des séances

a) *Expérience de cours*

La prise de vue est réalisée avec la participation active des élèves. Les mesures sur les images constituent un temps mort pour la classe car seulement deux élèves sont actifs.

La durée de ces deux opérations est de l'ordre de 10 à 20 minutes.

L'exploitation des résultats s'intègre dans la suite du cours.

b) *T.P. en salle d'ordinateurs*

10 à 20 minutes sont consacrées à la prise de vue et aux mesures. Le tableau des valeurs est ensuite transféré à tous les ordinateurs et les

élèves travaillent par groupes de 2 ou 3 par poste. Au cours d'une séance de 1 h 30 les élèves font de la physique pendant plus d'une heure.

Un travail supplémentaire à faire à la maison peut être proposé : représentation graphique, tracé de trajectoires à l'échelle, construction de vecteurs quantité de mouvement, calculs, etc...

4. EXEMPLES DE SÉQUENCES AVEC INCRUSTATION

Les mesures peuvent être faites soit au cours d'expériences utilisant du matériel de physique (table ou banc à coussin d'air) pour lesquelles des dispositifs d'enregistrement existent déjà, soit au cours d'expériences banales que l'on ne peut pas analyser autrement (trajectoires). Dans le premier cas l'enregistrement vidéo a donné un caractère plus concret aux expériences. On décrira plus en détail deux manipulations du deuxième type.

4.1. T.P. en classe de 1^{ère} S : Étude de rebonds d'une balle de tennis

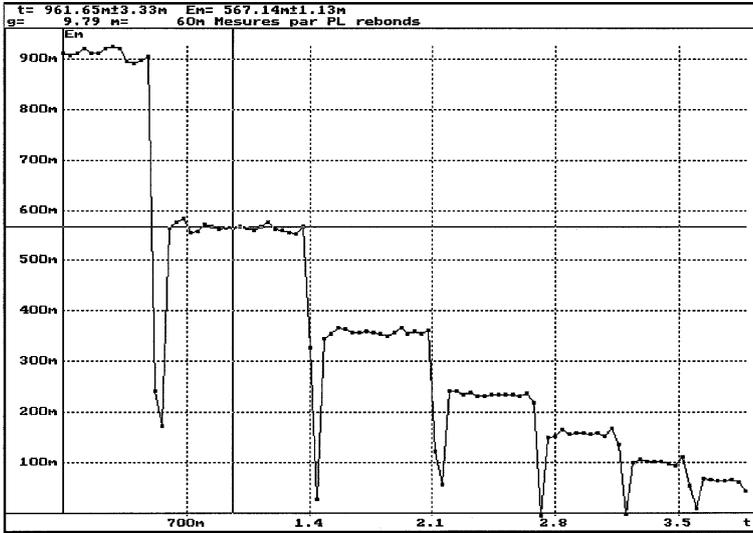
a) *Contexte*

- Classe «normale», hétérogène, avec des élèves s'exprimant facilement (29 élèves),
- Les élèves découvraient le dispositif d'acquisition ; ils avaient fait un T.D. sur REGRESSI,
- La partie acquisition s'est déroulée dans une salle de T.P. située à côté de la salle d'ordinateurs (5 postes) où les élèves ont travaillé ensuite en groupes (transfert du fichier par disquettes).

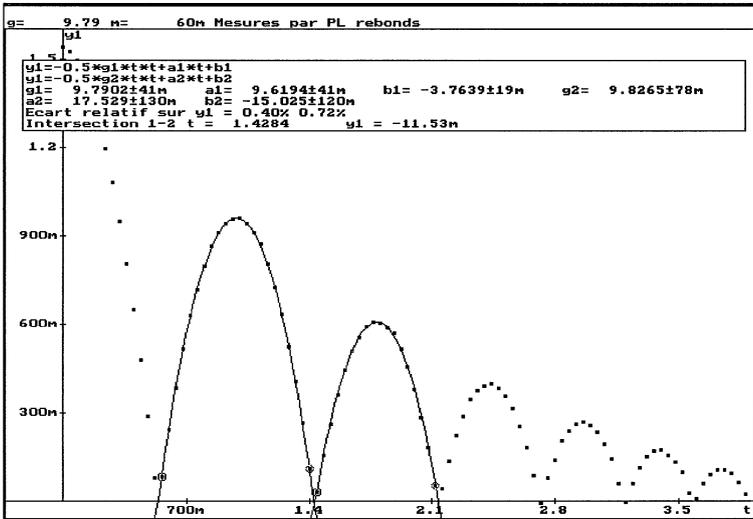
b) *Objectifs de la séance*

- Application des formules des énergies cinétique, potentielle et mécanique,
- Appréciation de la conservation de l'énergie mécanique entre deux rebonds et sa non-conservation lors d'un rebond,
- Utilisation de la conservation de l'énergie mécanique pour trouver l'énergie cinétique juste avant et juste après un rebond (présentation sous forme de tableau),
- «Découverte» du dispositif d'acquisition et de ses contraintes la notion de vitesse d'obturation n'a toutefois pas été évoquée).

c) Résultats obtenus



Tracé de $E_m = f(t)$



Modélisation de 2 parties de $y(t)$ (non fait en 1S).

d) Bilan de la séquence

Les élèves n'ont pas été dérouterés par la nouveauté de la méthode d'acquisition. Ils ont après coup qualifié le T.P. de concret. L'utilisation de l'ordinateur pour la saisie et les calculs a permis de consacrer du temps à une réflexion physique, en amont pour définir la démarche d'acquisition, en aval pour conclure.

Le passage du film image par image a permis, en dehors de toute mesure, de noter les variations de vitesses et donc les transferts d'une forme d'énergie en une autre.

Les élèves n'ont pas eu à calculer, définir des échelles pour une représentation, placer des points de mesure dans un système d'axes. Si on estime que ces objectifs ne sont pas encore atteints, il faut leur proposer un exercice à la maison visant à développer ces capacités. La vérification des calculs pour un point de mesure permettra de mieux comprendre l'opération «dérivée». Si toutes ces activités sont nécessaires pour un élève de 1^{ère} S, elles sont répétitives et ne nécessitent pas la présence du professeur.

4.2. Expérimentation en Terminale C

a) Contexte

La méthode décrite a été testée dans la classe de Terminale C1 du Lycée Lislet Geoffroy. Dans cette classe on a commencé le programme de physique par l'étude de l'optique. Les élèves ont eu l'occasion d'utiliser le logiciel REGRESSI au cours du T.P. sur le banc d'optique et pour des dosages en chimie.

Pour le cours de mécanique les moyens vidéo ont été utilisés systématiquement aussi bien en cours qu'en travaux pratiques.

Liste des expériences réalisées

1. Centre d'inertie : mouvement d'un palet sur table à coussin d'air horizontale.
2. Propriétés barycentriques du centre d'inertie : choc de deux mobiles sur banc à air horizontal.
3. Vecteur quantité de mouvement : choc de deux mobiles sur table à coussin d'air horizontale.

4. Relation $dp/dt = F$: chute libre sans vitesse initiale,
banc à coussin d'air incliné.
5. Mouvement d'un projectile : lancer d'une bille avec vitesse initiale (trajectoire parabolique).
6. Oscillateur harmonique : mobile sur banc à air avec ressorts.

b) Objectifs de la séance : T.P. mouvement d'un projectile

Le dispositif d'acquisition et le logiciel Regressi étant connus des élèves, l'objectif est l'étude du mouvement d'un projectile conformément au programme.

c) Déroulement de cette séance

Le projectile est une bille que deux élèves, placés face à face, se lancent plusieurs fois. Après quelques essais les lancers sont au point et on filme l'enchaînement de quelques mouvements.

L'observation du film permet de choisir le mouvement qui sera étudié.

La mesure sur les images est réalisée rapidement (15 à 20 points), les fichiers sont transférés aux ordinateurs et les binômes travaillent individuellement.

d) Bilan du travail en T.C.

1. Point de vue de l'enseignement

La méthode utilisée n'étonne pas les élèves, ce n'est qu'une des méthodes expérimentales qu'ils découvrent au cours de leur scolarité. Pour l'enseignement par contre c'est une nouveauté.

Avantage de la méthode :

– Le déroulement de l'expérience n'est plus conditionné par la méthode d'enregistrement puisque tous les mouvements (pas trop rapides) peuvent être filmés. Il n'est pas nécessaire de se limiter aux expériences réalisables au laboratoire, on peut filmer des lancers et des sauts sportifs...

– Les résultats sont rapidement disponibles et il reste plus de temps pour faire de la physique. Avec les méthodes habituelles on consacre

souvent une séance complète de T.P. de 1 h 30 à réaliser l'expérience et à faire les mesures. Le travail vraiment intéressant pour le physicien (graphiques, modélisations, calculs) est alors fait, avec plus ou moins d'ardeur, à la maison, la conclusion étant reportée à la séance suivante. Les élèves qui n'ont pas connu cette situation n'en ont évidemment pas conscience,

– Les élèves manquent de culture technique. Si quelques-uns connaissent la fréquence de prise de vue des films vidéo ou cinéma, tous ignorent ce qu'est la vitesse d'obturation et son effet sur la netteté des images de sujets mobiles. L'occasion est ici offerte pour préciser ces points,

– L'universalité de la méthode et de la rapidité d'exécution d'une expérience et des mesures qui s'y rapportent incitent le professeur à présenter une plus grande variété de situations expérimentales. Le dispositif d'étude d'un mouvement étant toujours le même il peut se concentrer sur l'expérience de physique elle-même,

– Les documents présentés montrent que la méthode permet d'obtenir une précision généralement supérieure à celle que l'on atteint avec les matériels habituellement utilisés pour ces expériences.

2. Point de vue des élèves

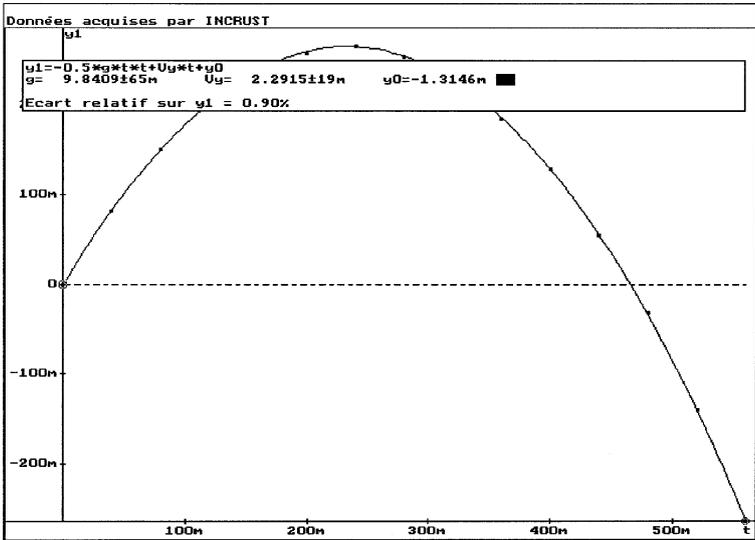
La présence d'un camescope, d'un téléviseur et d'un ordinateur dans la salle où doit se dérouler un cours de physique les étonne et éveille leur curiosité.

Pour les expériences de la première séance les volontaires pour assurer la mise en œuvre des manipulations ne sont pas légion. Par la suite chacun met volontiers la main à la pâte pour tenir la toile de fond et les projecteurs d'éclairage, actionner le camescope et réaliser l'expérience et l'exploitation du document filmé.

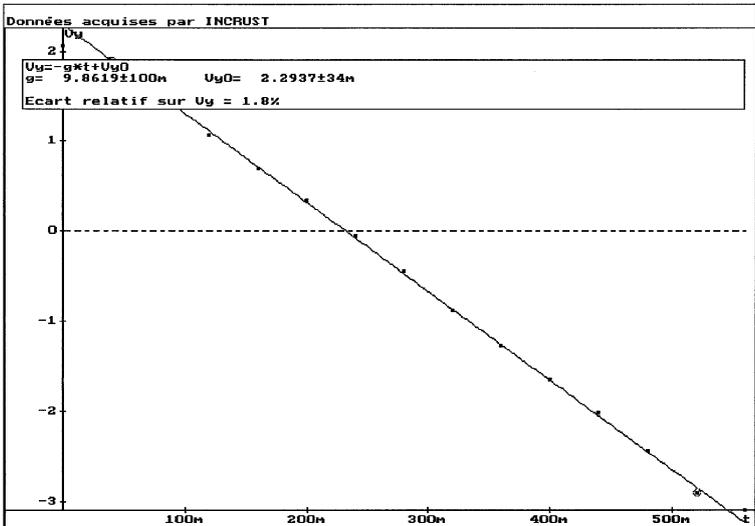
Sans qu'ils l'expriment en termes de comparaison avec d'autres méthodes, les élèves disent que «c'est bien». Après réflexion ils font remarquer qu'on «voit mieux l'expérience». En effet, le mouvement que l'on vient d'enregistrer est revu à vitesse normale, au ralenti, puis vue par vue.

Aucun élève de la classe concernée n'a formulé de réserve sur le travail effectué.

e) Annexe : fichiers et résultats obtenus (mouvement d'un projectile)



Modélisation de $y(t)$.



Modélisation de $v_y(t)$.

5. UTILISATION DE LA VIDÉO SEULE

5.1. Stroboscopie

a) *Contexte*

Classe de 1^{ère} S, en groupes de T.P.

b) *Objectifs de la séance*

- Observation de l'effet stroboscopique,
- Compréhension du raisonnement image par image permettant de résoudre les problèmes de stroboscopie,
- Résolution d'un problème de physique «différent» : évaluation de la vitesse d'un chariot dans un western.

c) *Déroulement de la séance*

Après observation (à vitesse normale puis image par image) d'une séquence tirée d'un western avec des roues de chariot ayant un mouvement apparent inverse du mouvement réel, on a défini la stroboscopie puis étudié le cas d'un disque tournant avec d'abord un seul trait puis trois traits. Le mode image par image permet de visualiser concrètement le raisonnement classique «éclair par éclair» du stroboscope. Les différentes formules sont établies. On revient alors au chariot et on évalue sa vitesse en comptant le nombre de rayons de la roue et en estimant le diamètre des roues (par chance, une seule valeur était raisonnable).

d) *Bilan de la séquence*

Bonne participation des élèves qui ont semblé motivés par la démarche.

Ils ont réagi de façon très satisfaisante au problème de la vitesse du chariot, en trouvant de façon collective la grandeur à calculer puis sa valeur.

e) *Remarque*

Cette démarche est suggérée dans les programmes de Seconde pour la rentrée 1993. Elle n'est pas possible avec n'importe quelle caméra à cause des problèmes de trame dans l'image T.V. : l'image d'un disque portant un trait et tournant à 25 tours par seconde présente deux traits à vitesse normale et un seul en arrêt sur image ! Cet effet parasite est supprimé sur notre caméra par la mise en service du «zoom digital».

5.2. Mesure de la vitesse du son

a) Contexte

Classe de 1^{ère} S, le cours sur les ondes a été fait.

La mesure se fait à partir d'un enregistrement vidéo présentant des joueurs de golf frappant des balles, filmés d'une distance de 200 mètres.

b) Objectifs de la séance

- Montrer qu'une mesure de physique peut se faire en dehors d'un laboratoire,
- Apprentissage de l'observation d'un document vidéo,
- Mesure de temps,
- Dispersion des mesures, étude critique de la méthode.

c) Déroulement de la séance

- Le film est projeté avec pour seule indication la nature du film et que l'on fait de la physique !
- Certains élèves remarquent le décalage entre la vision de la frappe et le son correspondant.
- Le film est alors repassé pour que tous notent ce phénomène.
- La discussion établit la cause de ce décalage et que la mesure du temps permettra de déterminer la vitesse du son.
- Les élèves mesurent tous ce temps lors de passages du film (avec chronomètre à main).
- Les mesures sont analysées, on fait la moyenne des valeurs puis on discute la dispersion des temps et donc la précision de la mesure.
- Prolongement : applications, en particulier dans le cas où la vitesse est connue et où la mesure de t permet de connaître la distance.

d) Bilan de la séquence

Les élèves ont eu le comportement attendu : ils ont vu le phénomène et malgré la difficulté de la mesure ont obtenu des résultats satisfaisants.

Il semble qu'ils aient apprécié ce type de séance sortant du cadre habituel où on mesure avec du matériel de laboratoire, «fait-pour».

e) Annexe : résultats obtenus par les élèves

Les temps sont en 1/100 s :

50	54	56	53	63	60	65	57	58	56	60	60
58	55	56	55	59	57	50	54	56	57	55	

On obtient une valeur moyenne de 0,567 s avec un écart-type de 0,035 s. ce qui conduit à une valeur de c de 353 m/s largement acceptable, vu les conditions de mesure, par rapport à la valeur connue (347 m/s à 25°C).

Cette expérience a permis de parler d'écart-type et de dispersion des mesures. Il aurait pu être intéressant de faire reprendre leur mesure par certains élèves, ou de disposer de plus de chronomètres pour que chaque élève fasse suffisamment de mesures pour qu'il analyse ses résultats avant leur mise en commun.

6. BILAN ET PERSPECTIVES

Aux différents niveaux, l'utilisation de la vidéo et de l'informatique a été appréciée des élèves et des professeurs. L'expérimentation n'a été menée que dans une classe par niveau pour la première année. Cette année, les expérimentateurs ont formé leurs collègues et cette démarche a été utilisée dans toutes les classes de Premières et Terminales scientifiques du Lycée Lislet Geoffroy. Les professeurs d'autres lycées qui ont assisté à une démonstration du dispositif ont été intéressés. Une généralisation dans l'Académie est envisagée avec des demandes d'équipement pour un tiers des lycées en 1993. Les expériences réalisées élargissent les possibilités d'utilisation des technologies nouvelles ; elles sont adaptées aux programmes actuels et semblent dans l'esprit des projets de programmes.

Nous espérons que d'autres académies s'intéresseront à cette utilisation de la vidéo dans l'enseignement de la physique et nous feront part de leurs remarques.