
Université Lille1 - UFR Physique

Licence SESI / PEIP - Semestre 1

Travaux pratiques de physique

Bâtiment P1

direction particule pesanteur
équation équation frottements
fonctions principe équilibre
mesure Newton atomique particules
liquide effet pression exemple mesurer

lumière
uniforme
Doppler

Physique

propagation
Archimède
altitude

distance surface seconde fluide
volume Masse corde eau proton surfaces forces
instant atome constante loi Terre période
Laplace champ position onde électron
temps calcul ondes théorie angle espace
valeur choc trajectoire force électrons
système fonction longueur référentiel
calculer repère densité mouvement vecteur
ressort Pascal tension solide relation
poids problème
électrique gravitation

Organisation du semestre 2018 - 2019

Semaine du	CM	TD	TP		Tutorat	DS/Interro	
			Gr. n° impair	Gr. n° pair		Interro	DS
10 sept.	CM1 - Meca						
17 sept.	CM2 - Meca	TD1 - Meca					
24 sept.		TD2 - TD3 - Meca		*			
1 oct.	CM3 - Meca	TD4 - Meca	*				
8 oct.		TD5 - TD6 - Meca		*		Interro	
15 oct.	CM4 - Pression		*				
22 oct.		TD1 - TD2- Pression					
<i>29 oct. - 4 nov. : Interruption pédagogique</i>							
5 nov.		TD3 - TD4 - Pression			*		
12 nov.	CM - Révisions		*				DS1 17 nov.
19 nov.	CM5 - Ondes	TD1 - Ondes		*			
26 nov.	CM6 - Ondes	TD2 - Ondes	*				
3 déc.		TD3 - TD4 - Ondes		*			
10 déc.		TD5 - TD6 - Ondes			*		
17 déc.		Examen écrit de TP			*		
<i>22 déc. - 6 janvier : Vacances de Noël</i>							
7 jan. - 13 janv. : DS 2							DS2 8 janv.
fin correction DS : 26 janv.							

CM : Cours Magistral (7 CM de 2h)

TD : Travaux dirigés (16 TD de 2h)

TP : Travaux Pratiques (4 TP de 2h)

DS : Devoir Surveillé.

2 séances de Tutorat.

Groupes Pairs

2018 - 2019

Semaines du 24/09 - 08/10 - 19/11 - 03/12

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
8h00 - 10h00			SESI 12 Hirel / Copie	PEIP 14 Touzin / Kraych	SESI 34 Cornet / Hadid
Pause					
10h20 - 12h20	SESI 44 Sourdeval / Kerzavo		SESI 22 Affouard / Levêque	SESI 52 Jankowiak / Derollez	SESI 42 Rançon / Bennabas
Midi					
13h30 - 15h30		SESI 32 Anquez / Duhoo	SESI 24 Kerzavo / Kraych	SESI 14 Bennabas / Djellali	
Pause					
15h50 - 17h50			PEIP 12 Copie / Zeghlache	SESI 54 Palla / Hadid	

Groupes Impairs

2018 - 2019

Semaines du 1/10 - 15/10 - 12/11 - 26/11

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
8h00 - 10h00		SESI 31 Gouriet / Gaucher		PEIP 13 Sourdeval / Kraych	
Pause					
10h20 - 12h20	SESI 11 De la Peña / Sourdeval	SESI 43 Kerzavo / Kraych	SESI 23 Levêque / Hadid	SESI 33 Ziskind / Derollez	
Midi					
13h30 - 15h30	SESI 13 Beclin / Hadid	SESI 21 Evain / Duhoo	SESI 41 Patera / Goubet	SESI 15 Penide / Djellali	PEIP 15 Gaucher / Jankowiak
Pause					
15h50 - 17h50	SESI 53 Derollez / Goubet	SESI 25 Thommen / Duhoo	PEIP 11 Zeghlache / Penide	SESI 51 Minvielle / Kerzavo	



LE RISQUE LIE A LA PRESENCE DE VERRE

*Beaucoup de travaux pratiques utilisent des accessoires en verre : bécher, éprouvette, pipette, miroir, lentilles...
Il ne faut pas oublier que le verre est coupant et peut donc engendrer des coupures profondes.*

Précautions élémentaires :

- o Manipuler le verre avec précaution.
- o Lorsqu'un accessoire en verre est ébréché, le signaler, ne pas le jeter à la poubelle.
- o Travailler sur une paillasse ordonnée pour éviter de faire tomber l'accessoire.

**NE PAS MANIPULER UN ACCESSOIRE BRISE OU FELE OU
SIMPLEMENT PRESENTANT DES ARETES VIVES.
PREVENIR L'ENSEIGNANT.**



LE RISQUE ELECTRIQUE

Une utilisation de l'électricité mal contrôlée peut entraîner des accidents graves pour les personnes et pour les installations. Le courant électrique peut provoquer des incendies et les tensions utilisées quotidiennement peuvent provoquer des électrisations ou des électrocutions.

Précautions élémentaires :

- o Ne jamais brancher un appareil sur le secteur autrement qu'avec le câble de raccordement secteur prévu.
- o Ne jamais débrancher un appareil en tirant sur son câble.
- o Ne jamais toucher au disjoncteur ni aux fusibles. Si le disjoncteur a déclenché, ne pas le remettre par vous même, appelez l'enseignant.
- o Signaler à l'enseignant tout appareil ou câble qui ne semble pas en bon état ou vous semble présenter un danger.
- o Electricité et eau ne font pas bon ménage. Eloignez le plus possible des prises électriques et appareils tout récipient contenant un liquide (boîte métallique, gobelet à café, bouteille d'eau...).



Si une personne est en contact avec un fil électrique dénudé ou se fait électriser, ne pas la toucher et coupez le disjoncteur.

EN CAS D'INCIDENT, TOUJOURS PREVENIR L'ENSEIGNANT.

Préambule

1 But des travaux pratiques

Les travaux pratiques de physique ont pour objectif principal d'illustrer et/ou approfondir les connaissances données par l'enseignement théorique. Les TP sont donc dédiés à la pratique expérimentale, à la discussion et à la retranscription des phénomènes physiques abordés.

2 Manipulations

Les manipulations se ramènent à l'analyse d'un problème qu'il faut vous préparer à résoudre avec le matériel mis à votre disposition et les indications contenues dans ce manuel. Les travaux pratiques comportent donc 3 parties :

- la préparation chez soi,
- le travail en cours de séance,
- le compte-rendu d'expérience.

2.1 Préparation des TP

Le calendrier des séances reporté dans ce manuel et affiché devant les salles de TP vous indiquera le TP prévu pour chacun des sous-groupes. Les TP durent deux heures et doivent être préparés pour la séance en :

- lisant le fascicule du TP qui sera réalisé,
- comprenant le but des manipulations et les expériences proposées.

2.2 Exécution des TP

En début de séance, commencez par reconnaître la nature et le fonctionnement des appareils. En cas de difficulté ou si un appareil semble défectueux, interrogez les enseignants présents. Pour faciliter le déroulement des séances ce manuel comporte des instructions (parfois très directives) sur les manipulations à effectuer.

Les différentes étapes du travail à effectuer sont identifiées par le sigle  et les questions auxquelles il faut répondre sont identifiées par le sigle .

Le matériel mis à disposition est de qualité : prenez en soin. Si un élément vous paraît défectueux, venez immédiatement en rendre compte afin que la réparation ou le remplacement puissent être effectués rapidement, sans perturber le fonctionnement des Travaux Pratiques.

2.3 Transcription des résultats

Il ne vous sera pas demandé un compte-rendu détaillé des TP. Vous aurez à rédiger un rapport d'expérience succinct par binôme pour chaque TP sur une feuille double.

3 Rapport d'expérience type

Un rapport d'expérience type doit être clair et succinct, de 2 pages (recto/verso) au maximum. Une rédaction poussée du type "compte-rendu" n'est pas exigée mais un "brouillon" est inacceptable (trouver un bon compromis). Il doit figurer dans ce rapport, pour chaque TP :

- un exposé succinct du but de la séance et des moyens employés (*i.e.* une introduction),
- les résultats expérimentaux (mesures) avec, si demandées, leurs incertitudes, regroupés dans un tableau,
- les réponses aux questions posées et démonstrations demandées,
- les analyses des mesures, par exemple sous forme de courbes,
- les commentaires/conclusions qui s'imposent sur les résultats et les analyses,
- une conclusion générale.

3.1 Exigences générales

- **Explication claire** des phénomènes physiques observés : un simple oui ou non n'est pas une réponse acceptable.
- Mesures regroupées dans **un tableau avec les unités**.
- Formule sous forme algébrique avec toutes les grandeurs définies, **séparée de l'application numérique**.
- Les réponses aux questions suivant le plan et la numérotation du protocole de TP.

3.2 Exigences particulières en fonction du TP

- **Schéma "propre"** avec bilan des forces dans un référentiel avec son repère clairement défini.
- Courbes sur papier millimétré (ou impression de tableur si PC) avec **échelles des axes, les grandeurs représentées et leurs unités**.
- Valeur moyenne des mesures avec incertitude sous la forme : $x = 12,3 \pm 4,5 \text{ unité}$.

Un rappel de ce que doit comporter le rapport d'expérience sera précisé au début du fascicule de chaque TP.

4 Evaluation des TP

- Il vous sera demandé de rédiger un rapport d'expérience par binôme pour chaque TP, qui sera noté sur la base d'un barème pré-établi. La moyenne des 4 notes comptera pour 1/3 de la note finale de TP.
- Une épreuve écrite, individuelle, non pratique, portant sur les 4 TP, aura lieu à la fin du semestre. Elle sera composée de questions portant sur **la compréhension des phénomènes vus en TP et la maîtrise de compétences de base** telles que la détermination de la pente d'une droite ou la manipulation des grandeurs numériques (il pourra y avoir des applications numériques nécessitant l'utilisation d'une calculatrice). Cette note composera les 2/3 restant de la note finale de TP. A titre d'exemple, le sujet de l'épreuve 2016-2017 est reporté ci-après.
- La note finale de TP comptera pour 20% de la note de physique et ne pourra pas être rattrapée en seconde session.

Examen écrit de Travaux Pratiques de Physique

11 Janvier 2017

Epreuve sans document – Calculatrice autorisée – Durée : 1 heure

Indiquer le numero de votre groupe sur votre copie
(Exemples : SESI GPE 12, PEIP GPE 13)

Vous serez évalué sur la clarté et la rigueur de votre exposé. Le barème n'est donné qu'à titre indicatif et il pourra être légèrement modifié à la correction

A Effet Doppler - 14 points

Au cours de l'expérience de TP sur l'effet Doppler, vous avez caractérisé une onde ultrasonore, de fréquence $f_e = 40 \text{ kHz}$ et de vitesse de propagation dans l'air $v_e = 340 \text{ m.s}^{-1}$, et mesuré la vitesse d'une locomotive à l'aide de l'effet Doppler. La source, placée sur le toit de la locomotive, émettait l'onde ultrasonore. Un récepteur immobile était placé au bout des rails.

Caractérisation de l'onde ultrasonore. Le train à l'arrêt, placé en une position quelconque, vous avez obtenu sur l'oscilloscope un écran similaire à la Fig. 1.

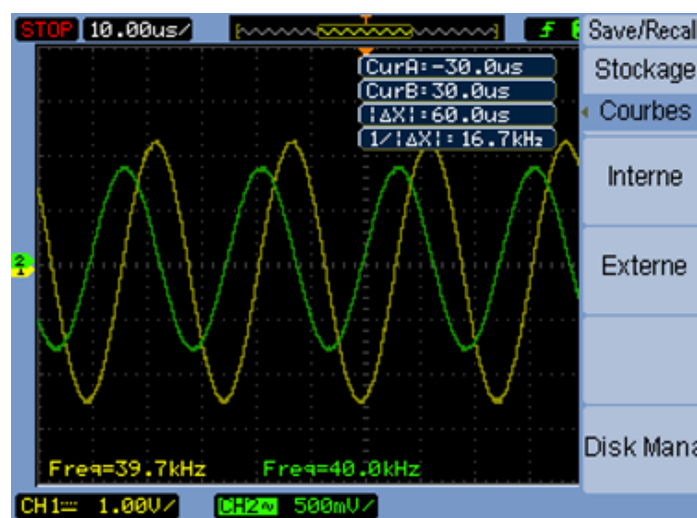


FIGURE 1 – Capture d'écran de l'oscilloscope avec visualisation du signal émis et du signal reçu.

1. Expliquer clairement, en utilisant des termes propres à la physique des ondes, le décalage temporel entre les deux signaux.
2. Exprimer la longueur d'onde λ_e de cette onde ultrasonore en fonction de sa fréquence et de sa vitesse de propagation. En déduire sa valeur.
3. Expliquer brièvement mais clairement la méthode que vous avez utilisé en TP pour mesurer cette longueur d'onde.

Mesure de la vitesse du train. Considérant que le train se déplace à la vitesse constante v_t par rapport au récepteur, la fréquence perçue par le récepteur est donnée par la formule :

$$f_r = \frac{f_e}{1 - \frac{v_t}{v_e}} \quad (1)$$

avec $v_t > 0$ si le train se rapproche du récepteur.

4. Exprimer la vitesse du train v_t en fonction de f_e , v_e et du décalage Doppler $\Delta f = f_r - f_e$ entre la fréquence reçue et émise.

5. Que dire de f_r par rapport à f_e ? Modifier la formule de v_t en conséquence.

Des mesures du décalage Doppler pour 3 vitesses différentes ont donné les résultats suivants :

#	1	2	3
Δf (Hz)	27,7	46,3	64,1

TABLE 1 – Mesures du décalage Doppler pour 3 vitesses différentes.

6. Calculer les 3 vitesses du train v_{t1} , v_{t2} et v_{t3} .

7. On pourrait simplement déterminer une vitesse en chronométrant le temps mis à parcourir une distance donnée. Expliquer l'intérêt de mesurer une vitesse par effet Doppler.

B Force de Laplace - 6 points

Au cours de l'expérience de TP sur la force de Laplace, vous avez déterminé expérimentalement la valeur du champ magnétique $\vec{B}$, supposé uniforme, entre les 2 branches d'un aimant en U. Pour cela, vous avez mesuré l'angle à l'équilibre par rapport à la verticale fait par un cadre, pouvant tourner autour d'un axe de rotation, lorsque celui-ci est parcouru par un courant d'intensité I donnée. On notera L la longueur de la partie du cadre soumise au champ magnétique de l'aimant.

1. Rappeler l'expression vectorielle de la force de Laplace $\vec{F}_L$ en définissant chaque terme employé. En déduire sa norme dans le cas où le courant circule perpendiculairement au champ magnétique.

Des mesures de l'angle ont permis de déterminer la norme de la force de Laplace pour 3 valeurs de l'intensité du courant circulant dans le cadre, avec $L = 3 \text{ cm}$:

I (A)	0,7	1,4	2,1
F_L (N)	0,0025	0,0047	0,0072

TABLE 2 – Norme de la force de Laplace pour 3 valeurs de l'intensité du courant circulant dans le cadre.

2. Calculer la norme du champ magnétique pour ces 3 points, en déduire une valeur moyenne $\langle B \rangle$ et son incertitude ΔB .

Principe d'Archimède

3^e loi de Newton

[P1 - SALLE 115]

1 Présentation de l'expérience

Ce TP est consacré à la caractérisation de la force liée au principe d'Archimède, communément appelée poussée d'Archimède, et de sa réaction. Deux applications y seront abordées : la détermination de la masse volumique d'un solide et, en conséquence, l'identification du matériau composant ce solide. La précision des résultats liée aux incertitudes de mesures y sera discutée.

Notions abordées :

- Le principe d'Archimède
- Le principe des actions réciproques (3^e loi de Newton)
- La différence entre masse et poids
- La masse volumique d'un solide
- L'incertitude d'un résultat expérimental

Matériel à disposition :

- Une balance à plateaux
- Un jeu de masses étalonnées
- Un double cylindre d'Archimède
- Une balance électronique
- Un bécber à débordement et un cristalliseur sur plateau élévateur
- Deux bécbers : 250 et 800 ml
- Un réglet de 20 cm

Le rapport d'expérience doit comporter :

- Une brève introduction exposant les objectifs de ce TP
- Les réponses aux questions posées, ordonnées et référencées
- Les tableaux regroupant les mesures et les résultats (voir annexes)
- Une conclusion générale résumant les résultats obtenus lors de ce TP

Attention : le dispositif comporte de la verrerie, consulter la fiche de sécurité "le risque lié à la présence de verre" au début de ce manuel.

2 Le principe d'Archimède.

Rappel de l'énoncé du principe d'Archimède : *Tout corps plongé dans un fluide reçoit une poussée verticale, dirigée du bas vers le haut, de norme égale au poids du volume de fluide déplacé.*

Concrètement, cela signifie qu'un corps immergé dans un fluide, même partiellement, apparaît "plus léger" que lorsqu'il n'est pas immergé. La poussée d'Archimède F_a se soustrait à son poids hors du fluide P , on parle alors de poids apparent $P_a = P - F_a$ que l'on peut mesurer, par exemple, à l'aide d'un dynamomètre (voir Fig. 1).

La norme de la poussée d'Archimède étant égale au poids du volume de fluide déplacé, elle s'écrit : $F_a = \rho_f \times V_{im} \times g$, avec ρ_f la masse volumique du fluide (en kg.m^{-3}), V_{im} le volume de solide immergé (en m^3) et g l'accélération de la pesanteur (en m.s^{-2}).

Au cours de ce TP, on négligera la poussée d'Archimède dans l'air, très petite devant le poids des solides utilisés.

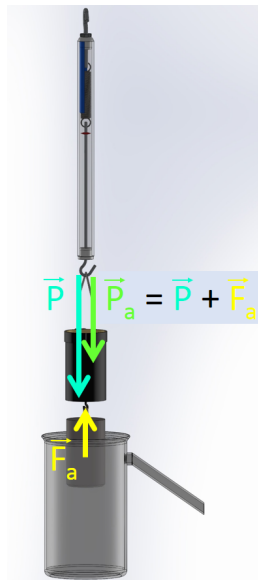


FIGURE 1 – Définition du poids apparent P_a d'un solide.

 Poids et masse sont deux paramètres à ne pas confondre. Exprimer le poids P à la surface de la terre d'un objet en fonction de sa masse. Quel type de grandeur physique est le poids ? Quel est son unité ? Qu'en est-il pour la masse ?

3 Masse volumique du cylindre plein.

Cette partie est consacrée à une des applications de la poussée d'Archimède. Il s'agit de **déterminer la masse volumique** du lucoflex [®], matière plastique composant le cylindre plein. Toute mesure expérimentale étant soumise à une erreur, quatre méthodes peuvent être employées qui, par comparaison, permettent de discuter de la précision de chacune. De plus, une de ces méthodes utilise la réaction de la poussée d'Archimède, donnant ainsi l'occasion d'aborder **le principe des actions réciproques**.

Une masse et un volume sont nécessaires à la détermination d'une masse volumique :

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (1)$$

Il suffit d'une balance pour mesurer une masse. Le volume peut-être déterminé grâce à la poussée d'Archimède. En effet, si le solide est totalement immergé, son volume V_s est égal à celui du fluide déplacé V_f . Alors, si on peut mesurer une "masse équivalente à la poussée d'Archimède" m_i , on peut déterminer V_s connaissant la masse volumique du fluide ρ_f :

$$V_s = V_f = \frac{m_i}{\rho_f} \quad (2)$$

Pour l'eau, on prendra : $\rho_f = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$

3.1 Travail expérimental

N.B. : Regrouper les résultats dans un tableau comme par exemple celui présenté en annexe.

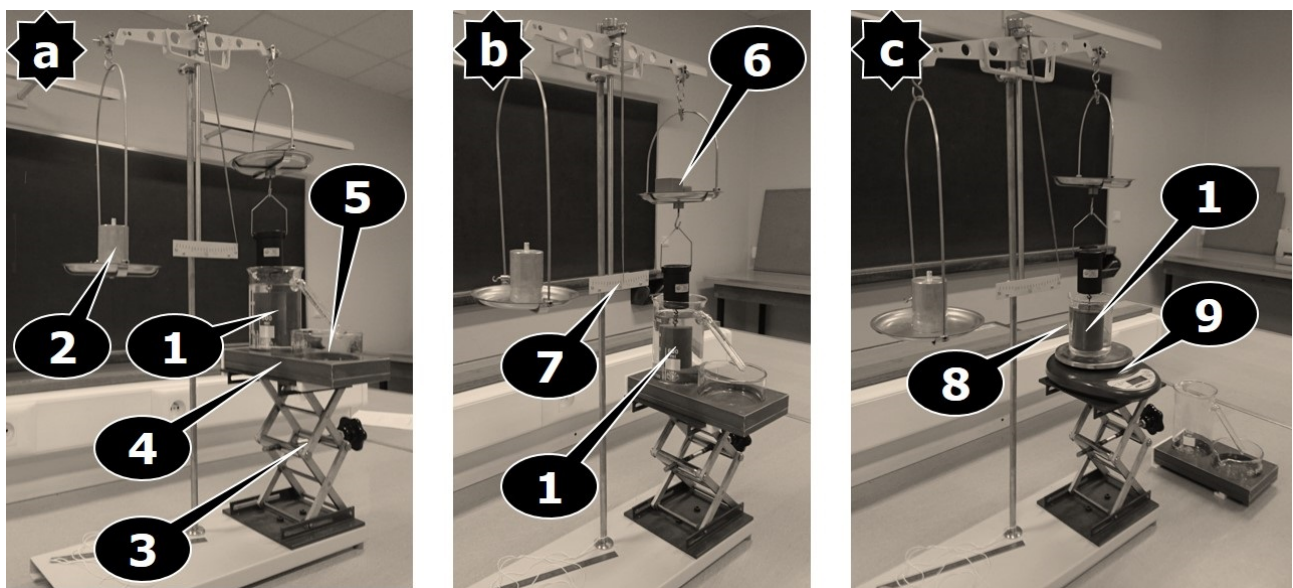


FIGURE 2 – Image des montages de mesure de la masse volumique du cylindre plein.

- 1 : cylindre plein complètement immergé.
- 2 : contre-poids (annulant le poids du double cylindre).
- 3 : plateau élévateur.
- 4 : ensemble bécber à débordement + cristallisoir.
- 5 : eau débordée à peser.
- 6 : jeu de masses étalonnées.
- 7 : balance à l'équilibre.
- 8 : bécber de 200 ml.
- 9 : balance électronique.

-  Peser le cylindre plein (uniquement !) à l'aide de la balance électronique et noter sa valeur m_s .
-  Installer le double cylindre sous le plateau de droite de la balance (le creux au dessus du plein) et équilibrer la balance à l'aide du contre-poids (voir Fig. 2a). Si l'aiguille de la balance n'est pas parfaitement au centre, repérer sa position qui servira de référence.
-  Remplir d'eau le bécber à débordement en en faisant couler un peu (cet action permet le mouillage du canal de débordement et la mise du niveau d'eau à ras-bord)
-  Vider l'eau du cristallisoir dans le grand bécber et bien l'essuyer.

3.1.1 Mesure de la masse du fluide déplacé

-  Immerger **entièrement** le cylindre plein en utilisant le plateau élévateur et en veillant bien à ce que sa face supérieure reste proche de la surface.
-  Peser l'eau débordée, recueillie dans le cristalliseur, à l'aide de la balance électronique et noter sa valeur m_1 (voir Fig. 2a).

3.1.2 Mesure de la masse équivalente à la poussée d'Archimède

-  Avec le cylindre toujours totalement immergé, équilibrer la balance à l'aide du jeu de masses étalonnées (en les plaçant sur le plateau de droite, voir Fig. 2b). Le cylindre ne doit pas toucher le fond du b cher et le fond du cylindre creux ne doit pas être en contact avec la surface de l'eau.
N.B. : Il n'est pas nécessaire de replacer l'aiguille exactement à la même position qu'avant immersion. Les graduations de 0.1 g de la balance peuvent être utilisées pour compenser le décalage : corriger la masse en retirant ou ajoutant (en fonction du sens de décalage de l'aiguille) le nombre de graduations d'écart multiplié par 0.1 g.
-  Noter la masse m_2 .

3.1.3 Mesure de la masse équivalente à la réaction

Rappel de l'énoncé du principe des actions réciproques (3  loi de Newton) : *Pour chaque action, il existe une réaction égale et opposée : l'action est toujours égale à la réaction ; les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales, de même direction et dans des sens opposés.*

-  Abaisser le plateau élevateur et en retirer le plateau supportant le b cher   débordement et le cristalliseur (le faire coulisser latéralement).
Placer la balance électronique sur le plateau élevateur, puis le b cher de 250 ml sur la balance et le remplir d'environ 200 ml d'eau (voir Fig. 2c).
-  Relever la masse du (b cher + eau) **avant** d'immerger le cylindre plein.
-  Immerger entièrement le cylindre plein en utilisant le plateau  levateur. De même, le cylindre ne doit pas toucher le fond du b cher et le fond du cylindre creux ne doit pas être en contact avec la surface de l'eau. La masse lue à la balance est-elle différente ? Expliquer ce changement de masse à l'aide du principe des actions réciproques.
-  Noter la valeur de la différence de masse m_3 .

3.2 Interprétation des mesures.

Les mesures effectuées précédemment permettent de déterminer 3 valeurs de la masse volumique du matériau composant le cylindre :

-   partir de la masse d'eau débordée m_1
 -   partir de la masse liée directement à la poussée d'Archimède m_2
 -   partir de la masse liée à la réaction de la poussée d'Archimède m_3
-
-  A partir de l'équation 2, déterminer les 3 valeurs du volume du cylindre V_1 , V_2 et V_3 issues des 3 différentes mesures.
 -  A partir de l'équation 1, de sa masse m_s et des résultats précédents, déterminer les 3 valeurs correspondantes de sa masse volumique ρ_1 , ρ_2 et ρ_3 .
 -  En déduire sa masse volumique (moyenne) ρ_s et son incertitude $\Delta\rho_s$ ( cart maximum).

3.3 Calcul direct du volume et incertitude.

Il existe une 4^e méthode beaucoup plus simple : compte tenu de sa forme cylindrique, il est possible de calculer directement son volume V'_s à partir de son rayon et de sa hauteur, évidemment !

- ✎ Mesurer à l'aide du réglet le diamètre d et la hauteur h du cylindre.
- ✎ A l'aide de la mesure de sa masse m_s , en déduire sa masse volumique ρ'_s .
- ✎ En s'aidant du tableau des masses volumiques des matières plastiques en annexe et sachant que le lucoflex fait partie de la famille des PVC rigides, quelle est selon vous la meilleure méthode (Archimède ou calcul direct du volume) ? Expliquer en se basant sur la précision des appareils de mesure relative aux valeurs mesurées.

4 Composition d'un solide de volume "non-calculable".

A l'instar de la couronne de Zeus comme le raconte la légende au sujet de la découverte d'Archimède, la mesure du poids apparent d'un solide de géométrie complexe ("non-calculable") immergé dans un fluide de masse volumique connue permet d'en déterminer son volume. On obtient sa masse en le pesant, pour en déduire sa masse volumique et donc sa composition. L'objectif de cette partie est donc de déterminer le type de matière plastique qui compose le jouet Mr Patate.



FIGURE 3 – Image du montage de mesure de la masse volumique du Mr Patate.

- ✎ Peser les éléments du Mr Patate (chapeau, yeux, bouche, main gauche, main droite et pieds) à l'aide de la balance électronique.
- ✎ Noter les valeurs, par exemple sous la forme d'un tableau (voir modèle en annexe).
- ✎ Placer le grand b cher sur la balance électronique et le remplir d'eau entre 800 et 850 ml (voir Fig. 3).
Faire le zéro de la balance (on annule ainsi la masse du b cher + eau, la masse liée à la réaction de l'élément immergé s'affiche alors directement).
Immerger entièrement l'élément en veillant bien à éviter tout contact avec les parois et le fond du b cher.
Procéder ainsi pour chaque élément.
Refaire le zéro de la balance entre chaque mesure si nécessaire.
- ✎ Noter les valeurs dans le tableau.

-  A partir de ces données, calculer le volume de chaque élément et en déduire leur masse volumique.
-  En déduire la masse volumique moyenne du plastique et son incertitude.
-  En s'aidant du tableau des masses volumiques des matières plastiques en annexe, déterminer le type de plastique composant un Mr Patate. Commenter

5 Annexes.

- Annexe 1 : exemples de tableau de collecte de données

$m_1 = xx.x \text{ g}$	$V_1 = yy.y \text{ cm}^3$	$\rho_1 = zz.z \text{ g.cm}^{-3}$
$m_2 = xx.x \text{ g}$	$V_2 = yy.y \text{ cm}^3$	$\rho_2 = zz.z \text{ g.cm}^{-3}$
$m_3 = xx.x \text{ g}$	$V_3 = yy.y \text{ cm}^3$	$\rho_3 = zz.z \text{ g.cm}^{-3}$
		$\rho_s = zz.z \pm z'.z'.z' \text{ g.cm}^{-3}$
	$V'_s = yy.y \text{ cm}^3 =$	$\rho_1 = zz.z \text{ g.cm}^{-3}$

	unité	chapeau	yeux	bouche	main g	main d	pieds
masse	kg						
masse dans l'eau	kg						
volume	m ³						
masse volumique	kg.m ⁻³						

- Annexe 2 : masses volumiques des matières plastiques à température ambiante (en $kg.m^{-3}$)

Polypropylène	850 - 920
Polyéthylène basse densité	890 - 930
Polyéthylène haute densité	940 - 980
Caoutchouc (matériau)	920 - 990
ABS	1 040 - 1 060
Polystyrène	1 040 - 1 060
Nylon 6,6	1 120 - 1 160
Polyacrylate de méthyle	1 160 - 1 200
PMMA - Plexiglas	1 180 - 1 190
PVC souple	1 190 - 1 350
Bakélite	1 350 - 1 400
PVC rigide	1 380 - 1 410

Mobiles Autoporteurs

[P1 - SALLES 101-103]

1 Présentation de l'expérience

Ce TP a pour but d'étudier les mouvements simples d'un mobile sur une surface plane en s'affranchissant des phénomènes de frottement. Les mouvements sont réalisés sur une table en marbre horizontale. Un système de « coussin d'air », permet au mobile de glisser sans frottement. L'enregistrement des trajectoires, ainsi que leur exploitation pourront être effectués à l'aide d'une webcam et du logiciel d'acquisition et de traitement : Générïs 5+. Ce TP comprend deux parties. Une première expérience consistera à exploiter un mouvement rectiligne. La deuxième partie sera consacrée à l'étude d'un mouvement curviligne.

Notions abordées :

- Vérification expérimentale d'une loi théorique
- Construction des vecteurs vitesses et accélérations pour un mouvement quelconque
- Manipulation et Compréhension des différentes représentations des données (trajectoire, équation horaire, ...)
- Description de la nature du mouvement

Matériel à disposition :

- Table en marbre (horizontalité réglable)
- Mobile autoporteur, plateau, poulie, ficelle
- Webcam
- Logiciel Générïs 5+

Le rapport d'expérience doit comporter :

- Une brève introduction exposant les objectifs de ce TP
- Les réponses aux questions posées, ordonnées et référencées
- Les figures 10 et 11 complétées.
- Une conclusion générale résumant les résultats obtenus lors de ce TP

2 Préparation théorique

⇒ Cette partie est à préparer avant la séance.

2.1 Mouvement rectiligne

On considère un mobile autoporteur de masse M relié à un plateau de masse m à l'aide d'une ficelle glissant sans frottement dans la gorge d'une poulie (voir Figure 4).

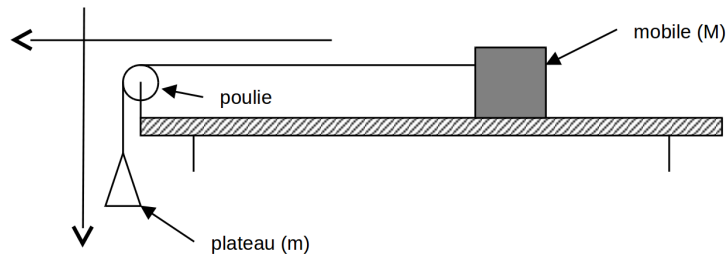


FIGURE 4 – Schéma du dispositif utilisé pour l'étude du mouvement rectiligne.

Pour mettre en équation le problème on vous propose la démarche suivante :

-  Faire un schéma en indiquant toutes les forces qui s'exercent sur le mobile et sur le plateau. On supposera que le mobile glisse sans frottement sur la table.
-  Ecrire le principe fondamental de la dynamique pour le mobile de masse M , projeter cette équation sur les deux axes orientés du schéma ci-dessus.
-  Ecrire le principe fondamental de la dynamique pour le plateau de masse m , projeter cette équation sur les deux axes orientés du schéma ci-dessus.

La ficelle étant inextensible et la poulie ne possédant pas d'inertie, on admettra que les normes des tensions du fil sur M et m sont égales. Il en sera de même pour la norme des accélérations des deux masses.

-  A l'aide des équations précédemment établies, montrer que la norme de l'accélération peut s'écrire :

$$a = \frac{mg}{m + M} \quad (3)$$

où g est l'accélération de la pesanteur.

2.2 Mouvement Curviligne

-  Donner l'expression générale de l'accélération dans la base de Serret-Frénet (base intrinsèque) en donnant la signification de chacun des termes.
-  Comment se simplifie cette expression dans le cas d'un mouvement uniforme ? Dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme ?

2.3 Exploitation graphique d'un enregistrement

2.3.1 Rappel : Construction des vecteurs vitesse et accélération

Sur une trajectoire quelconque, si on choisit des intervalles de temps Δt petits, on peut calculer et tracer la vitesse moyenne d'un mobile entre les instants $t - \frac{\Delta t}{2}$ et $t + \frac{\Delta t}{2}$ par :

$$\vec{v} = \frac{\overrightarrow{OM}(t + \frac{\Delta t}{2}) - \overrightarrow{OM}(t - \frac{\Delta t}{2})}{\Delta t} \quad (4)$$

où le point O est l'origine du repère. Si Δt est très petit, cette vitesse moyenne peut être assimilée à la vitesse instantanée.

Le calcul et le tracé de l'accélération sont similaires à ceux de la vitesse :

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}(t + \frac{\Delta t}{2}) - \vec{v}(t - \frac{\Delta t}{2})}{\Delta t} \quad (5)$$

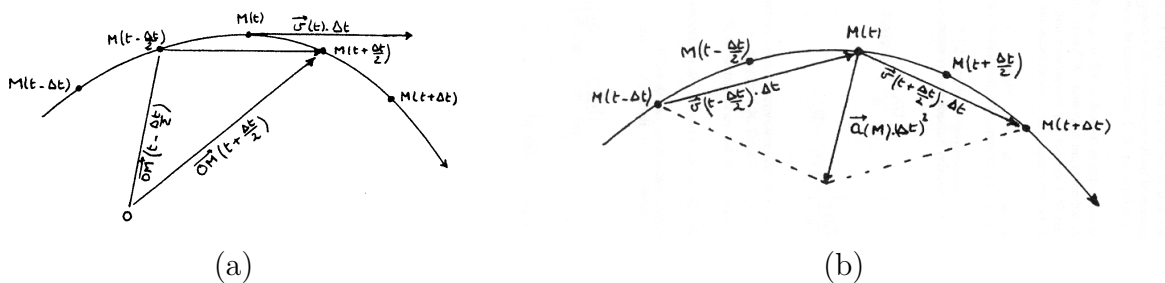


FIGURE 5 – Définition et tracé des vecteurs (a) vitesse et (b) accélération.

2.3.2 Travail à préparer :

-  Tracer sur la Figure 10 en annexe, les vecteurs vitesses aux points 3, 4, 5, 6, 7 et 8. En déduire la norme de la vitesse du mobile en ces points. Joindre la Figure 10 avec votre rapport d'expérience.
-  Tracer le vecteur accélération aux point 4 et 7. En déduire alors la norme de l'accélération du mobile en ces points.
-  Qualifier précisément le mouvement du mobile. A l'aide de la vitesse et de l'accélération, déterminer le rayon de courbure de la trajectoire du mobile.

3 Travail Expérimental : Etude d'un mouvement rectiligne

3.1 Principe de l'expérience

Si celle-ci n'est pas indiquée, commencer par mesurer la masse M de votre mobile autoporteur. Régler l'horizontalité de la table. Vérifier que la webcam est branchée à un port USB avant d'allumer le PC. Démarrer le PC puis lancer le logiciel Génériss 5+. Une fois le logiciel Génériss 5+ lancé, on obtient directement l'affichage de la vidéo webcam, le vérifier en passant la main dans le champ de la caméra.

Dans ce protocole, les mots apparaissant en **gras** sont les noms des onglets à utiliser.

Relier le mobile autoporteur à un plateau à l'aide d'une poulie et d'une ficelle (voir Figure 4). Aligner la ficelle parallèlement à l'élastique entourant la table de marbre, et positionner la règle parallèlement à la ficelle. Mettre en route la soufflerie du mobile et effectuer une première fois l'expérience sans acquisition vidéo, repérer le point d'où lâcher le mobile, ce point devant être dans le champ de la caméra. Effectuer alors l'expérience et acquérir les images successives du mobile en suivant les indications ci-dessous.

3.2 Acquisition et traitement numérique d'un enregistrement

Paramétrage vidéo

Le logiciel s'ouvre automatiquement à la partie **Acquisition** (onglet de gauche) sur la sous partie correspondant à l'onglet **Paramétrage vidéo** (voir la figure 6).

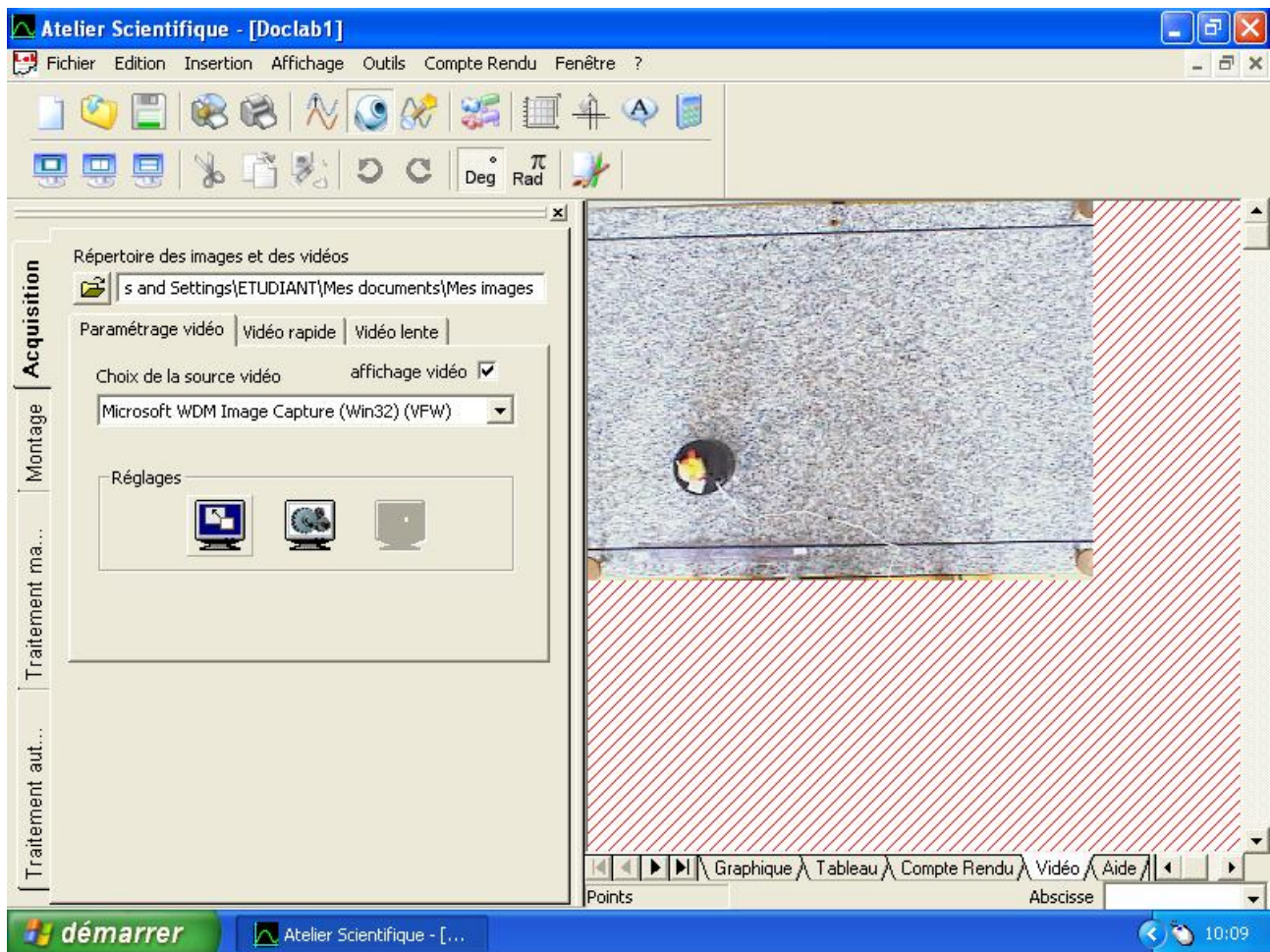


FIGURE 6 – Écran de démarrage du logiciel Générïs 5+

- Vérifier rapidement les réglages. Pour cela cliquer sur l'icône de gauche représentant un écran bleu (a), la résolution choisie doit être typiquement égale à 640×480 (avec une résolution d'écran de 800×600).
- Si l'affichage vidéo ne fonctionne pas (le cadre principal apparaît vert), cliquer sur l'icône du milieu représentant un écran figurant des engrenages (b), ouvrir l'onglet **Image**, régler

la fréquence d'acquisition d'image à 30 *fps*. Si nécessaire (scène sur- ou sous-exposée) désactiver l'exposition automatique et/ou l'équilibre automatique des blancs et faire un réglage manuel.

Acquisition et paramétrage de la vidéo

- Onglet vertical de gauche **Acquisition**
- Onglet **Vidéo rapide** (c)
(Ne pas modifier les réglages : durée maximale=10s, nombre d'images par seconde=30).
- Nom du fichier de sortie :
 - nom.avi
 - Emplacement par défaut : C:\Documents and Settings\ETUDIANT\Mesdocuments\Mes images/
- Enregistrement :
 - Démarrage de l'acquisition : Icône webcam 
 - Mouvement : lâcher le mobile
 - Fin de l'acquisition : touche *ESC* du clavier

Le logiciel affiche alors le nombre d'images perdues. Si ce nombre est supérieur à 3, diminuer le nombre d'images acquises par seconde (passer de 30 à 20 *fps*) et recommencer l'acquisition. Si cela ne suffit pas, désactiver le réglage automatique de la caméra (Acquisition/Paramétrage vidéo, icône (b)) pour trouver le réglage adéquat.

Montage de la vidéo

S'il faut filtrer les données : ouvrir un nouveau dossier (première icône en haut à gauche), ouvrir l'onglet à gauche intitulé **Montage** (voir figure 7). Le fichier précédemment acquis s'ouvre automatiquement (en principe), sinon, l'ouvrir.

- Faire glisser la barre de lecture pour sélectionner les données inutiles au début de l'acquisition (la diode électroluminescente (LED) placée sur le mobile doit être dans le champ de vue de la caméra). Dans la partie « sélection des bornes », cliquer sur l'icône ciseaux sous l'intitulé « début » (d) afin d'enlever ces données.
- De même, faire glisser la barre de lecture pour sélectionner les données inutiles à la fin de l'acquisition (lorsque le mobile rencontre l'élastique ou sort du champ de vue). Dans la partie « sélection des bornes », cliquer sur l'icône ciseaux sous l'intitulé « fin » (e).
- Enregistrer les données filtrées en cliquant sur l'icône disquette (f) placée en bas à gauche de l'écran (répondre OK pour le mode de compression).

Traitement automatique et Paramétrage de la détection

Ouvrir l'onglet à gauche intitulé **Traitement automatique** (ou Traitement manuel en cas de problème). Le logiciel se positionne sur l'onglet **Etalonnage** (voir figure 8).

1. *Détermination du point qui servira d'origine (point O) au repère.*

Se placer dans la fenêtre vidéo. Pour cette expérience on prend comme origine la LED et on coche la case (g) appelée « l'image choisie associée au repère constitue l'origine des dates $t=0$ ». Cliquer sur l'origine (le pointeur prend la forme d'une cible), des axes X et Y apparaissent.

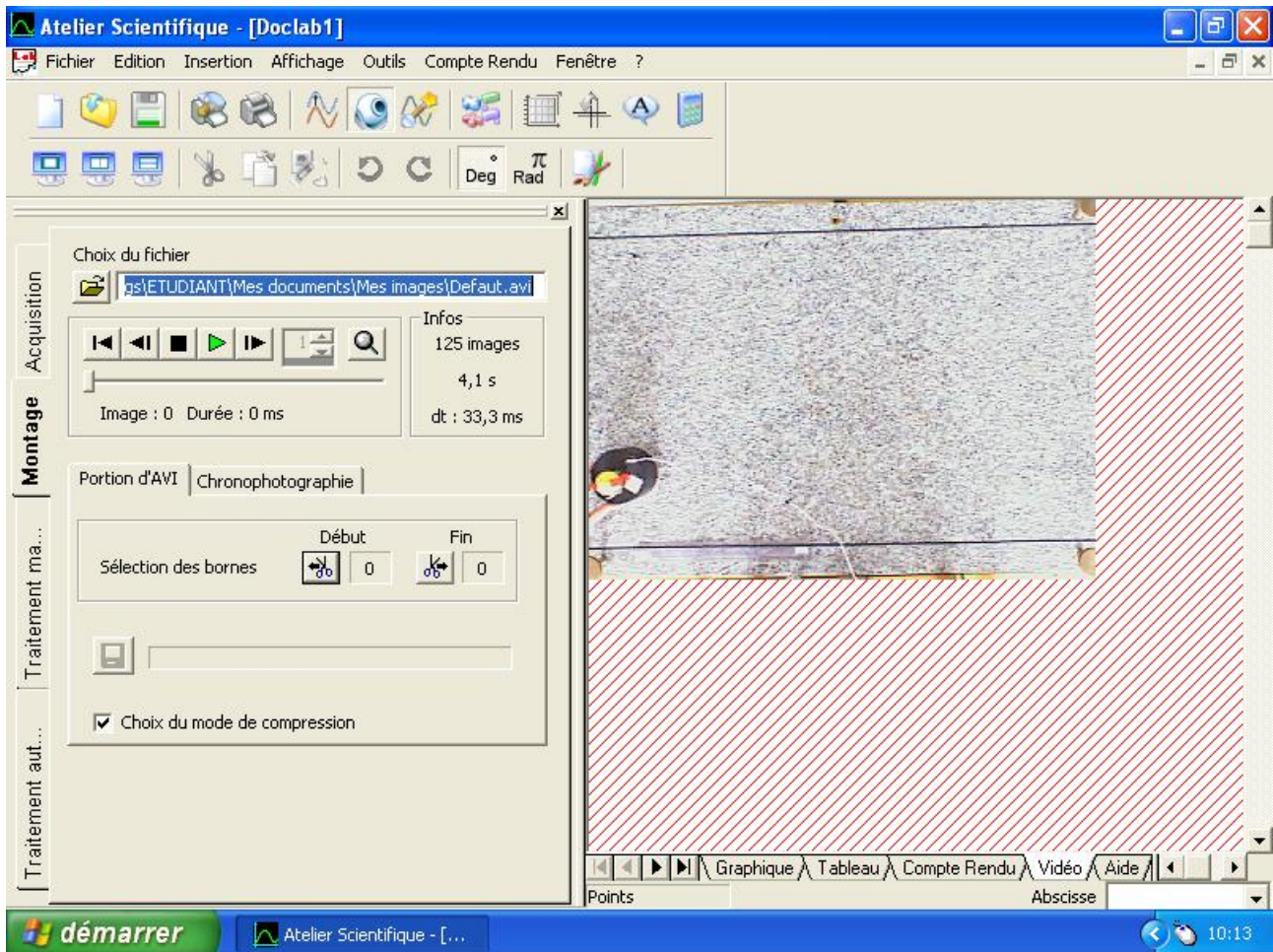


FIGURE 7 – Description de l'écran **Montage** permettant le filtrage des données

2. *Etalonnage des axes.*

On utilise pour cela une règle munie de deux index colorés distants de x cm. Dans la fenêtre vidéo étalonner l'axe des abscisses : pour cela faire glisser la flèche (clic gauche sur la souris maintenu) sur l'image de la règle horizontalement dans le sens du mouvement, de l'index blanc origine au deuxième index blanc. Remplir la case d'étalonnage horizontal = 0, x m et cocher la case « repère orthonormé ».

3. *Cadre de travail.*

Se placer sur l'onglet **cadre de travail**. Réduire à l'aide de la souris la zone autour de la trajectoire afin d'éviter les points lumineux n'appartenant pas à la trajectoire et perturbant la reconnaissance de la trajectoire.

4. *Reconnaissance de l'objet.*

Se placer à présent sur l'onglet **Paramétrage**, sélection des objets (voir figure 9), cliquer sur la LED. L'objet est reconnu si le cercle placé à côté de « Objet 1 » prend la couleur de la diode (h). Si l'objet n'est pas reconnu (une fenêtre s'ouvre pour le signaler) ajuster la taille de la tache couvrant la LED en jouant sur le contraste (i). Si l'objet n'est toujours pas reconnu, avancer dans l'enregistrement pour trouver un point plus visible.

Cliquer sur le bouton vert en bas à gauche pour lancer le traitement (j). Les positions successives de la LED se matérialisent à l'écran par des points blancs cerclés de rouge, visualisant la trajectoire. Une fois que l'objet est reconnu, les étapes (i) de modification du contraste et (j) de traitement peuvent être réalisées plusieurs fois de suite afin de trouver le meilleur réglage du contraste.

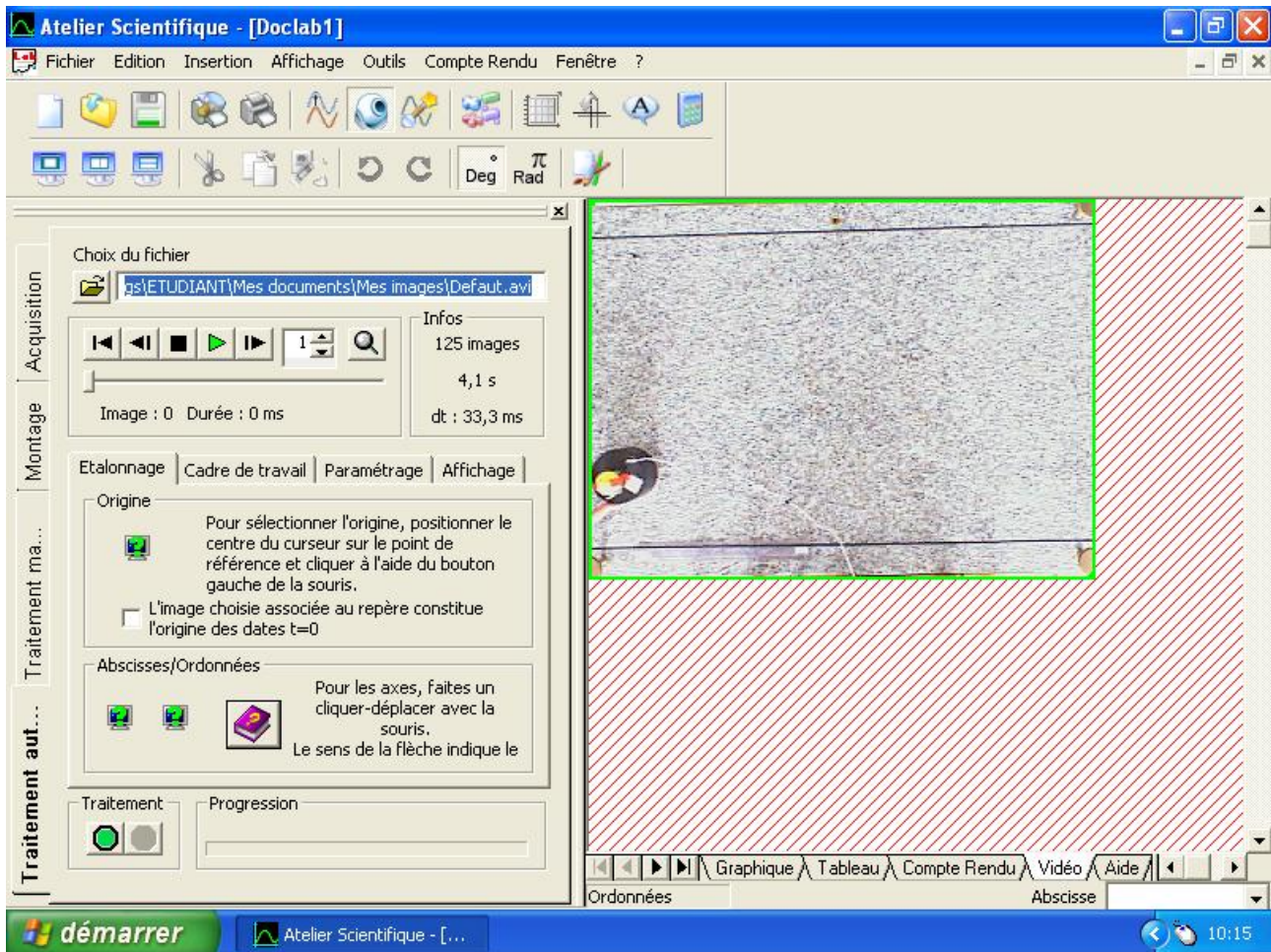


FIGURE 8 – Description de l'écran **Montage** permettant le filtrage des données

Si les points ne se placent pas suivant une trajectoire rectiligne, il faut recommencer l'expérience à partir de l'étape « Acquisition vidéo ».

Visualiser la trajectoire : si elle est belle, bien rectiligne mais inclinée par rapport à l'axe des X, il suffit d'effectuer une rotation des axes du repère. Pour cela revenir à l'onglet **Etalonnage** (voir figure 8) et faire pivoter l'axe des X en maintenant la touche « CTRL » appuyée tout en cliquant sur la pointe de la flèche de l'axe des abscisses. Il faut alors recommencer l'étape *Traitement automatique et Paramétrage de la détection*.

3.3 Exploitation des mesures

Afin de tracer et d'afficher les données enregistrées on utilise les onglets situés sous la fenêtre vidéo (voir figure 9).

- L'onglet **Tableau** en bas de la fenêtre vidéo permet d'afficher les valeurs, cliquer sur les icônes **X** ou **Y** pour masquer X ou Y au besoin.
- L'onglet **Graphique** en bas de la fenêtre vidéo permet de tracer $X(t)$, $Y(t)$, $Y = (X)...$, cliquer sur les icônes **X** ou **Y** pour masquer X ou Y au besoin.

Attention : Les données masquées sur le graphique sont aussi masquées dans le tableau (et réciproquement).

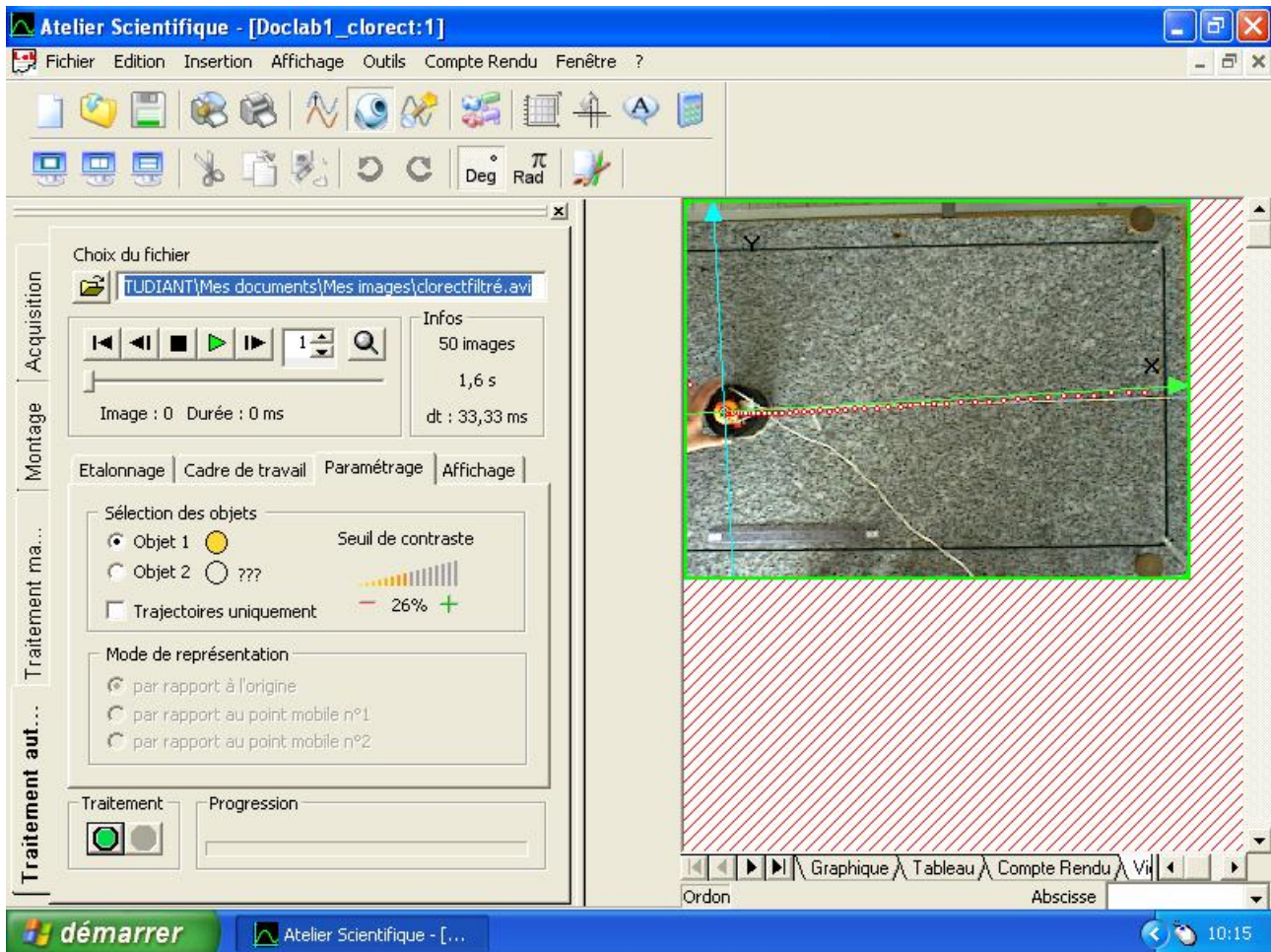


FIGURE 9 – Description de l'écran **Montage** permettant le filtrage des données

Remarque : si la case « Trajectoire uniquement » dans l'onglet **Paramétrage**, est cochée, c'est la trajectoire $Y(X)$ qui est tracée, et non les variations temporelles des différentes grandeurs.

La trajectoire

- 👉 N'afficher que le graphe $X(t)$ (désélectionner $Y(t)$).
- 👉 Décrire le graphe obtenu. Comment peut-on qualifier le mouvement du mobile ?

La vitesse

Le logiciel permet d'obtenir automatiquement la vitesse du mobile en fonction du temps.

- 👉 Cliquer sur l'icône intitulée **traitement des données** située sur la première rangée (voir figure 9).
- 👉 A l'aide d'un des onglets situés à gauche, calculer la Dérivée de la variable $X(t)$, cette dérivée s'appelle par défaut $X'(t)$. Tracer $X'(t)$ et masquer $X(t)$.

On appelle droite de régression la droite passant le plus près possible de tous les points. Pour obtenir l'équation de la droite représentant au mieux $X'(t)$, utiliser l'onglet situé à gauche appelé **Régression**.

-  Effectuer la Régression de la variable $X'(t)$, cette régression s'appelle par défaut $X'r$. Tracer $X'r(t)$ sur le même graphe que $X'(t)$.
-  Noter l'équation de la droite de régression donnée par le logiciel. Imprimer le graphe présentant $X'(t)$ et $X'r(t)$.
-  Compte tenu des résultats précédents, comment peut-on à présent qualifier précisément le mouvement du mobile ?
-  En vous aidant de la partie théorique (équation 3) déduire des résultats précédents la masse m du plateau et vérifier sa valeur avec la balance.

4 Etude d'un mouvement curviligne

On dispose de l'enregistrement effectué au préalable des positions successives du mobile au cours du temps (figure 11). Deux positions successives y sont séparées par un intervalle de temps $\frac{\Delta t}{2} = 0,1s$.

-  Tracer soigneusement sur cette figure les vecteurs suivants :
 - $\vec{v}(t_2).\Delta t$;
 - $\vec{v}(t_4).\Delta t$;
 - $\vec{v}(t_6).\Delta t$;
 - $\vec{v}(t_8).\Delta t$;
 - $\vec{a}(t_3).(\Delta t)^2$;
 - $\vec{a}(t_7).(\Delta t)^2$;
-  En déduire la norme de ces vecteurs.
-  Déduire de l'orientation (direction et sens) des vecteurs accélération par rapport à la trajectoire du mobile si le mouvement est accéléré ou retardé.
-  Rendre cette figure complétée avec votre rapport d'expérience.

5 Trajectoire 1 (travail préparatoire) :

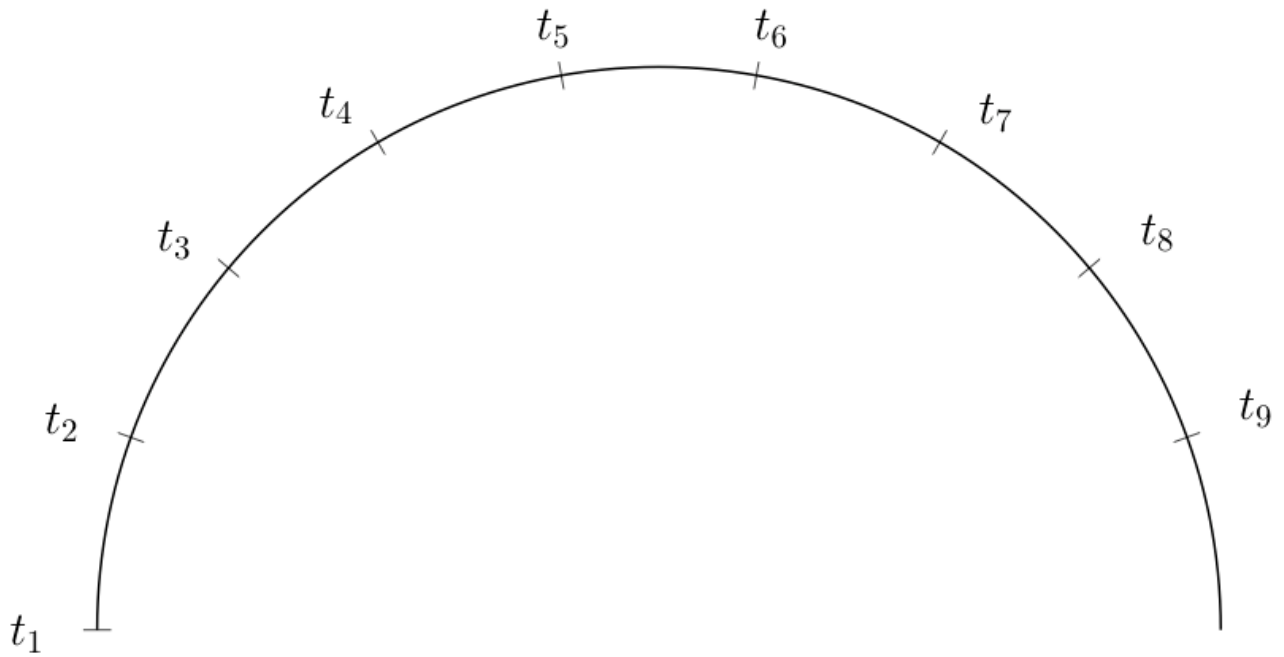


FIGURE 10 – *Enregistrement de mouvement circulaire (échelle 1). Les positions sont espacées de $\frac{\Delta t}{2} = 60ms$.*

6 Trajectoire 2 :

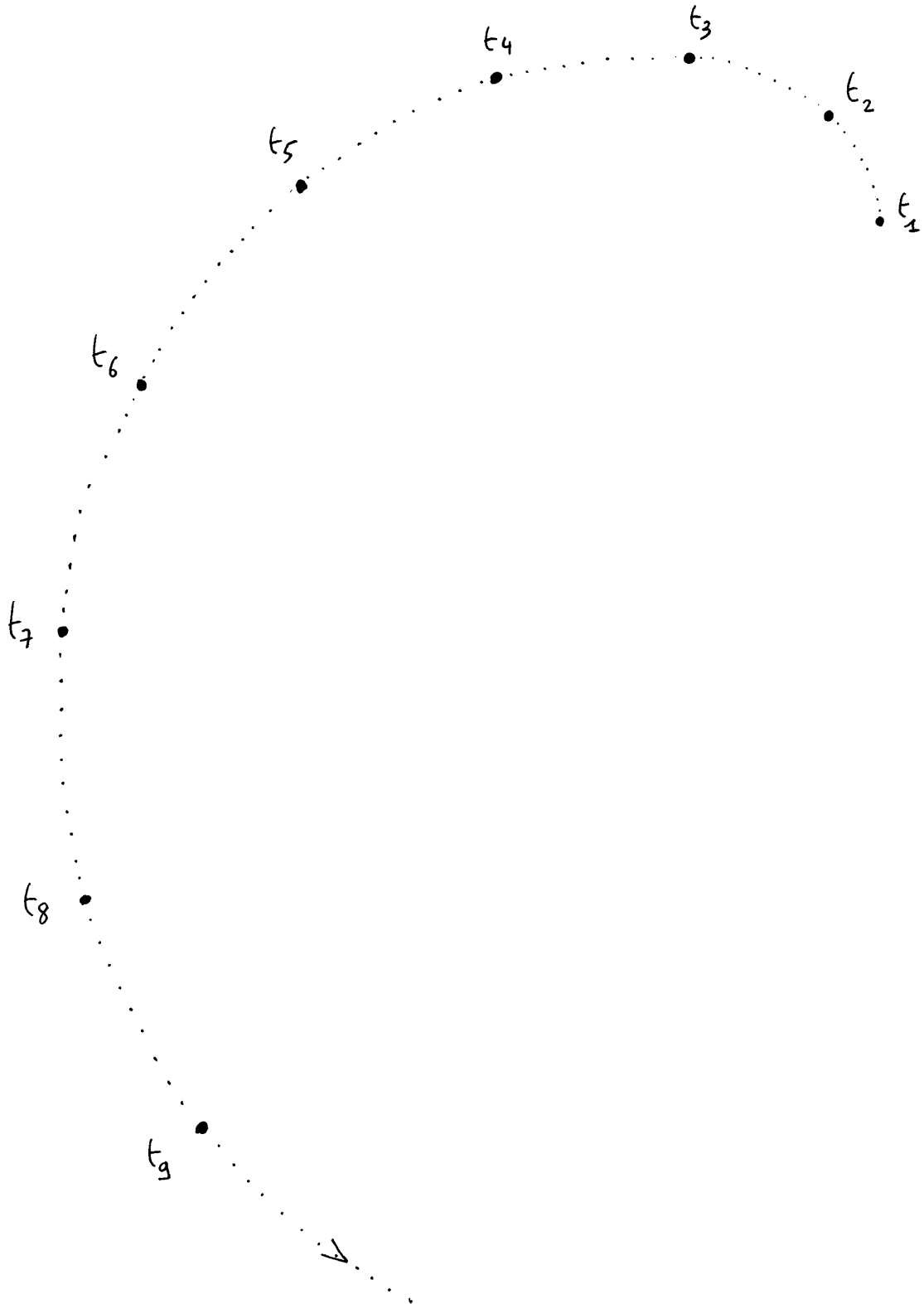


FIGURE 11 – *Enregistrement de mouvement curviligne (échelle 1). Les positions sont espacées de $\frac{\Delta t}{2} = 100ms$.*

Effet Doppler

Mesure de la vitesse d'un train

[P1 - SALLES 115-117]

1 Présentation de l'expérience

L'effet Doppler-Fizeau, du nom des physiciens Christian Doppler (autrichien) et Hyppolite Fizeau (français) correspond à la modification de la fréquence d'une onde lorsque sa source ou sa réception est en mouvement. Par exemple, vous entendez le son aigu de la sirène des pompiers lorsqu'elle se rapproche de vous puis le son devient grave lorsque le camion vous a dépassé. Plus généralement, la fréquence d'une onde est modifiée quand elle est reçue par un récepteur en mouvement relatif par rapport à la source ou quand elle est émise par une source en mouvement par rapport à un récepteur fixe. Ce phénomène est utilisé dans de nombreuses applications de la vie courante (les radars routiers, en médecine, en astrophysique,...).

Notions abordées :

- Savoir utiliser les fonctions simples d'un oscilloscope
- Savoir mesurer la période et la fréquence d'une onde
- Obtenir la vitesse d'un véhicule à partir de l'effet Doppler

Matériel à disposition :

- Un train miniature sur des rails
- Un émetteur et un récepteur d'ondes ultrasonores
- Un générateur de signaux sinusoïdaux
- Un boîtier électronique permettant de régler la vitesse du train et son sens de déplacement (avance/recule) et permettant d'amplifier le signal reçu.
- Un chronomètre
- Un oscilloscope

Le rapport d'expérience doit comporter :

- Une brève introduction exposant les objectifs de ce TP
- Les réponses aux questions posées, ordonnées et référencées
- Des tableaux regroupant les mesures et les résultats
- Les calculs d'incertitude de mesure
- Une conclusion générale résumant les résultats obtenus lors de ce TP

Au cours de ce TP, nous cherchons à mesurer la vitesse d'une locomotive à l'aide de l'effet Doppler. La source, placée sur le toit de la locomotive émet des ondes ultrasonores (voir Fig. 12). Un récepteur immobile est placé au bout des rails.



FIGURE 12 – Photo du montage et des différents appareils utilisés.

2 Caractérisation de l'onde ultra-sonore

Dans cette partie, nous cherchons à caractériser les ondes émises et reçues qui serviront à déterminer la vitesse du train. Vous devez obtenir sur l'oscilloscope un écran similaire à la Fig. 13. Les fonctions de l'oscilloscope dont vous aurez besoin sont indiquées en annexe 2.

- ☞ Régler le générateur sur un signal sinusoïdal de fréquence 40 kHz et afficher ce signal sur la voie 1 de l'oscilloscope. Afficher le signal reçu sur la voie 2. Utiliser la fonction **Autoscale** de l'oscilloscope pour afficher le signal sur l'oscilloscope (voir annexe 2-6.1). Recentrer les signaux en utilisant les boutons de commandes verticales **1** et **2**.
- ☞ **A partir de la mesure d'une période**, vérifier la valeur de la fréquence affichée sur l'écran de l'oscilloscope (partie inférieure). Si la mesure automatique de la fréquence ne s'affiche pas en bas de l'écran, suivre la démarche de l'annexe 2-6.2.

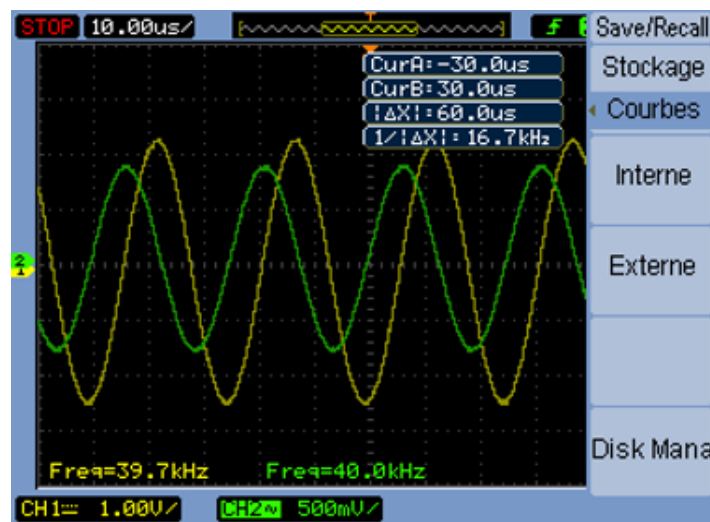


FIGURE 13 – Capture d'écran de l'oscilloscope avec visualisation du signal émis et du signal reçu.

-  On cherche à mesurer une fréquence de l'ordre de 40 kHz en affichant 5 périodes, quel balayage (indiqué en haut à gauche de l'écran) doit-on choisir sur l'oscilloscope ? Affiner le réglage si nécessaire.
-  En plaçant le train à environ 1 m du récepteur, visualiser le signal reçu par le récepteur en branchant le câble issu du récepteur sur la voie 2 de l'oscilloscope.
Quelle est la fréquence du signal reçue lorsque le train est à l'arrêt ?
-  Que se passe-t-il lorsque l'on rapproche ou éloigne le train du récepteur ?
-  A partir d'une position où les signaux sont en phase, avancer le train pour que les deux signaux soient en opposition de phase, l'avancer une deuxième fois pour que les deux signaux soient de nouveau en phase.
Quelle distance a été parcourue pour chaque manipulation ?
A quoi correspond cette distance ?
-  A partir de ces observations, trouver une méthode précise permettant de déterminer la longueur d'onde de l'onde. En déduire la vitesse de l'onde.

3 Mesure de la vitesse du train

3.1 Mesure manuelle de la vitesse

-  Mesurer manuellement la vitesse du train lorsque le commutateur de vitesse est successivement sur les positions 1, 4 et 7. Pour cela, vous disposez d'un chronomètre et de repères de long des rails espacés de 50 cm.
Pour faire reculer le train, utiliser la position recule sur le boîtier.
-  Présenter les résultats dans un tableau. Que pensez-vous de la qualité de votre mesure ?

3.2 Effet Doppler

La fréquence émise par l'émetteur est $f_e = 40$ kHz. La vitesse de l'onde ultra-sonore émise, v_e a été déterminée dans la section 2. Après une courte phase d'accélération, le train se déplace à une vitesse constante v_T . La fréquence perçue par le récepteur est alors :

$$f_r = \frac{f_e}{1 - \frac{v_T}{v_e}} \quad (6)$$

avec $v_T > 0$ si le train se rapproche du récepteur et $v_T < 0$ s'il s'éloigne.

-  En déduire **la relation** liant la vitesse du train v_T avec la différence de fréquence $\Delta f = f_R - f_e$ et la vitesse de l'onde ultrasonore v_e .
-  En utilisant les vitesses estimées précédemment, calculer le décalage de fréquence que l'on cherche à mesurer sur l'oscilloscope lorsque le train avance. Comparer ces valeurs aux fréquences des signaux émis et reçus, qu'en pensez-vous ?

3.3 Mesure de la période et fréquence de battement

Afin d'effectuer une mesure de la différence de fréquence Δf entre onde émise et onde reçue, nous allons utiliser **le phénomène de battement** (Voir annexe 1).

Il est obtenu en additionnant le signal émis et le signal reçu. La mesure de la demi-période de battement $\frac{T_B}{2}$ permet d'obtenir la différence de fréquence entre les 2 ondes (Fig. 14) :

$$\frac{T_B}{2} = \frac{1}{\Delta f} \quad (7)$$

Pour additionner les 2 signaux avec l'oscilloscope, utiliser la fonction **Math** (Annexe 2-6.3).

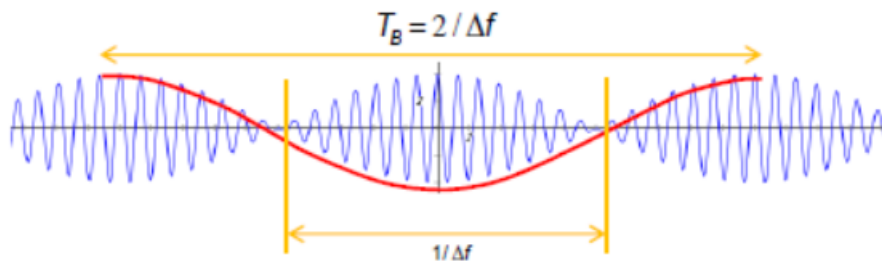


FIGURE 14 – Somme de deux signaux de fréquences proches.

- ☞ Si le train ne bouge pas, voyez-vous une période de battement ?
- ☞ Nous allons maintenant mesurer le signal reçu par le récepteur lorsque le train avance en utilisant la fonction **Single** (Voir annexe 2-6.4) :
 - Régler la sensibilité horizontale à 50 ms par carreau.
 - Placer le commutateur de vitesse sur la position 1 pour faire avancer le train.
 - Appuyer sur **Single** après quelques dixièmes de secondes afin d'enregistrer le signal reçu par le récepteur lorsque le train avance.
 - Additionner les deux signaux en utilisant la fonction **Math**.
 - Après avoir réglé le balayage horizontal (environ 10ms/carreau), visualiser les battements et imprimer le signal mesuré pour le joindre à votre compte-rendu.
- N.B. : Pour une meilleure visibilité, n'afficher que le signal Math. (supprimer les voies 1 et 2 en appuyant sur les boutons rectangulaires 1 et 2).**
- ☞ La période de battement ne peut pas être obtenue automatiquement par l'oscilloscope, nous allons donc utiliser les curseurs (Annexe 2-6.5) pour mesurer la demi-période de battement $\frac{T_B}{2}$.
- ☞ Refaire une mesure de la période de battement pour les positions 4 et 7 du commutateur en réglant cette fois le balayage horizontal sur 50ms/carreau.
- ☞ En déduire la vitesse du train. Présenter vos résultats dans un tableau.
- ☞ Comment varie la différence de fréquence ? Comparer avec vos mesures précédentes.

4 Détermination de l'incertitude sur la vitesse du train.

(Partie à faire s'il vous reste du temps)

On considère que l'on connaît parfaitement la fréquence émise et la vitesse de l'onde ultrasonore. Dans ce cas, l'incertitude sur la vitesse du train peut être déduite de la relation :

$$\frac{\Delta v_T}{v_T} = \frac{\Delta T_B}{T_B} \quad (8)$$

- ☞ Estimer l'erreur de mesure ΔT_B . En déduire l'incertitude sur la vitesse du train. Quel est l'avantage de la méthode de la partie 3.3 ?

5 Annexe 1 : phénomène de battement.

Le phénomène de battement s'entend en musique où le battement est une perception sonore due au mélange de deux sons, de fréquences fondamentales voisines. Lorsque deux sons sont de fréquences f_1 et f_2 très proches, donc de hauteurs voisines, l'oreille reçoit une sorte de pulsation lente dont la fréquence est la différence $|f_1 - f_2|$ en valeur absolue. Par exemple, un *la* à 440 Hz joué en même temps qu'un *la* à 440.5 Hz produiront conjointement une pulsation de 0.25 battements par seconde.

Des exemples peuvent être écoutés en suivant les deux liens ci-dessous :

- Entre 440Hz et 440.5Hz (fréquence de battement 0.25Hz) :
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b2/SoundBeats1.ogg>
- Entre 440 et 442HZ (fréquence de battement de 1 Hz) :
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/SoundBeats2.ogg>

La fréquence de battement s'obtient en sommant les deux signaux de pulsations proches $\omega_1 = 2\pi f_1$ et $\omega_2 = 2\pi f_2$. Pour simplifier les calculs, on suppose que ces 2 signaux ont même amplitude A et même déphasage initial que l'on suppose nul, l'onde résultante s'obtient en sommant les 2 ondes :

$$S(t) = A\cos(\omega_1 t) + A\cos(\omega_2 t)$$

$$S(t) = 2A\cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right) \times \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right)$$

$$\text{On a donc : } S(t) = 2A\cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right) \times \cos\left(\frac{\Delta\omega}{2}t\right) \text{ avec : } \Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$$

$$\text{Et comme } \omega_i = 2\pi f_i, \text{ alors : } S(t) = 2A\cos\left(\frac{f_1 + f_2}{2}2\pi t\right) \times \cos\left(\frac{\Delta f}{2}2\pi t\right)$$

La somme des deux signaux équivaut donc à une sinusoïde de fréquence égale à la moyenne des deux fréquences multipliée (ou modulée) par une sinusoïde de fréquence égale à $\frac{\Delta f}{2}$ et appelée fréquence de battement. Sur l'oscilloscope, on mesure la période de battement $T_B = \frac{2}{\Delta f}$ (voir Fig. 14).

6 Annexe 2 : utilisation de l'oscilloscope.

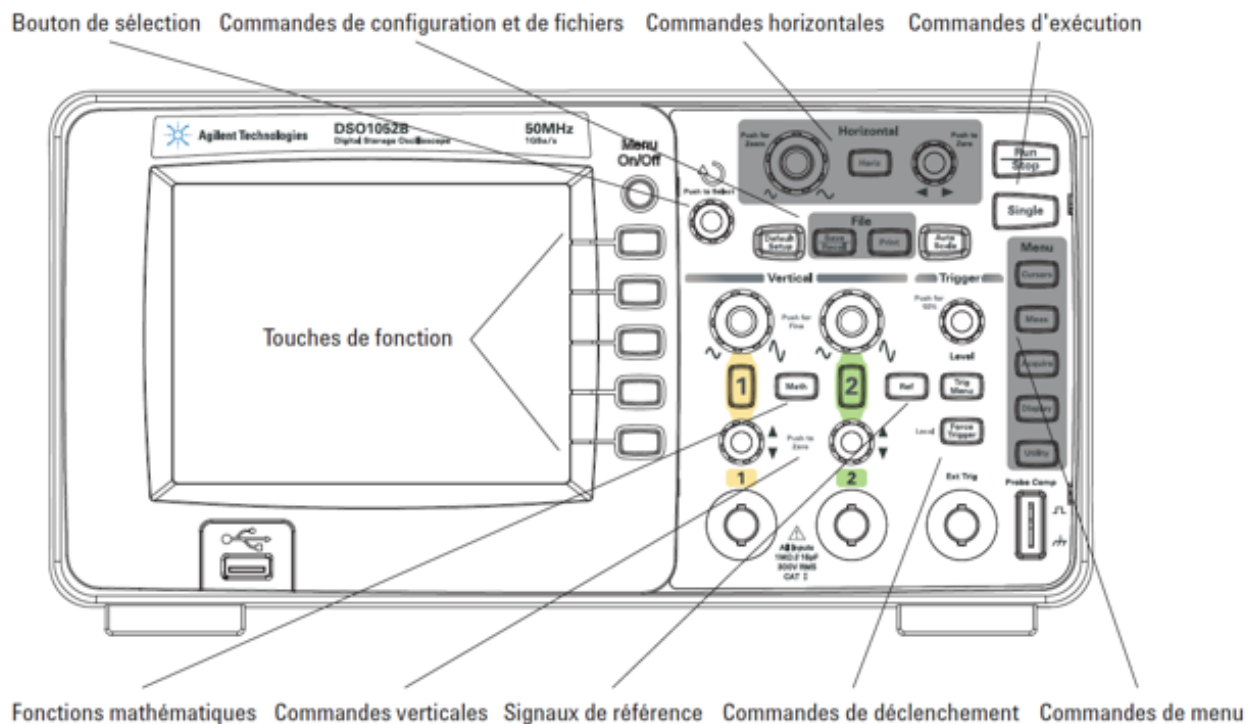


FIGURE 15 – Face avant de l'oscilloscope.

6.1 Réglages de l'oscilloscope :

1. Pour régler l'oscilloscope rapidement, appuyer sur la touche **Autoscale**.
2. Pour le régler manuellement ou affiner le réglage, vous devez changer le balayage horizontal (commandes horizontales) et la sensibilité verticale (commandes verticales).
3. Pour faire apparaître les voies 1, 2 ou Math sur l'écran appuyer sur les touches **1**, **2** ou **Math**.

6.2 Affichage de la fréquence ou de la période sur l'écran principal :

1. Utiliser la touche **Meas** pour afficher les mesures automatiques telles que la période ou la fréquence d'un signal.
2. Dans le menu **Mesure** qui s'affiche sur l'écran, appuyer sur **Source** pour sélectionner la voie d'entrée (1 ou 2) pour laquelle vous souhaitez effectuer une mesure automatique.
3. Appuyer sur **Temps** (pour mesurer la période ou la fréquence) et tourner le bouton de sélection pour sélectionner la mesure souhaitée.
4. Appuyez ensuite sur le bouton de sélection ou sur la touche de fonction Temps pour faire apparaître la mesure dans la partie inférieure de l'écran.
Si le résultat de la mesure s'affiche sous forme d'astérisques « ***** », il n'est pas possible d'effectuer la mesure avec les réglages actuels de l'oscilloscope.

6.3 Addition de deux signaux :

1. Appuyer sur la touche **Math**.
2. Dans le menu Math qui apparaît sur l'écran, appuyez sur **Utiliser**.
3. Appuyer plusieurs fois sur la touche de fonction **Utiliser** ou tourner le bouton de sélection pour sélectionner « A + B ».

6.4 Fonction Run/Stop et Single :

- Lorsque la touche **Run/Stop** est verte, l'oscilloscope est en train d'acquérir des données. Pour arrêter l'acquisition de données, appuyer sur la touche Run/Stop qui devient rouge. Pour relancer l'acquisition de données, appuyer à nouveau sur Run/Stop.
- Pour capturer et obtenir la représentation d'une seule acquisition, appuyer sur **Single**. Après avoir capturé et représenté une seule acquisition, la touche Run/Stop devient rouge.

6.5 Utilisation des curseurs, touche Cursors

Il est possible de configurer deux curseurs parallèles, réglables manuellement pour effectuer la différence de temps (horizontale) sur un signal sélectionné.

1. Appuyer sur la touche **Cursors**.
2. Dans le menu Curseurs, appuyer sur **Mode**.
3. Appuyer plusieurs fois sur la touche de fonction Mode ou tourner le bouton de sélection jusqu'à ce que **Manuel** soit sélectionné.
4. Appuyer sur **Type** pour basculer sur la mesure du type **Temps**.
5. Appuyer sur la touche de fonction **Source** et maintenez-la enfoncée ou tournez le bouton de sélection pour sélectionner la voie ou le signal de fonction mathématique sur lequel effectuer la mesure.
6. Pour régler les curseurs, appuyer sur **CurA** et tournez le bouton de sélection pour régler le curseur A.
7. Appuyer sur **CurB** et tournez le bouton de sélection pour régler le curseur B.
8. Les valeurs affichées pour les curseurs sont :
 - CurA
 - CurB
 - ΔX : différence entre les valeurs de temps CurA et CurB
 - $1/\Delta X$: la fréquence associée à la période

6.6 Enregistrer un signal sur clé USB pour l'imprimer

- Placer la clé USB dans l'emplacement sur la face avant de l'oscilloscope
- Appuyer sur la touche **save/recall**
- Dans le menu **Stockage** : choisir **bmp**
- Appuyer sur la touche de fonction **Externe**
- Appuyer sur **Nouv. Fichier**, entrer le nom du fichier et **sauvegarder**

Vague et onde progressive

[P1 - SALLE 101]

1 Introduction et déroulement du TP

On observe tous plus ou moins régulièrement la propagation de vagues à la surface de l'eau, que ce soit à la mer, dans des flaques d'eau, dans le bain, etc. Le but de ce TP sera d'observer finement le phénomène de *propagation d'une vague* et de faire le lien avec la notion d'*onde progressive*.

Notions abordées :

- Identifier les grandeurs physiques associées aux différents signaux étudiés
- Prédire l'évolution temporelle d'une onde à position fixe et sa forme spatiale à différents instants
- Connaître les ordres de grandeurs des célérités et des fréquences
- Exprimer le retard temporel associé à la propagation
- Ecrire les signaux sous leurs formes spatio-temporelles

Matériel à disposition :

- Une cuve à vagues unidimensionnelle
- Une spatule en plastique
- Deux capteurs de mouvement reliés à un oscilloscope
- Une webcam connectée à un PC

Le rapport d'expérience doit comporter :

- Une brève introduction exposant les objectifs de ce TP
- Les réponses aux questions posées, ordonnées et référencées
- Des schémas "clairs" (reproductions) de vos observations
- Une conclusion générale résumant les résultats obtenus lors de ce TP

1.1 Onde dans une cuve à vague

Une vague est une déformation de la surface de l'eau, qui par l'association de plusieurs mécanismes (incompressibilité de l'eau, gravité et pression), se propage de proche en proche, formant ainsi une onde. Pour faciliter la compréhension et l'analyse, on utilisera une *cuve à vague* (cf. Fig. 16), permettant de restreindre la propagation de la vague à une seule direction (suivant l'axe x sur la figure).

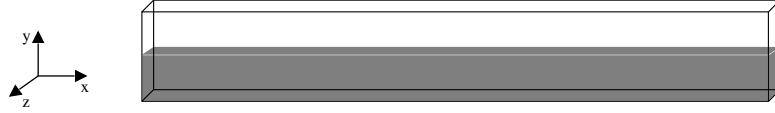


FIGURE 16 – Schéma d'une cuve à vague. Sa faible dimension selon l'axe z permet de restreindre la propagation de la vague à une seule direction, selon x .

La hauteur de la surface de l'eau à la position x et à l'instant t sera notée $y(x, t)$. C'est une fonction spatio-temporelle puisqu'elle dépend à la fois du temps et de l'espace. Par exemple, la figure 17 représente une vague à un instant donné t_1 et la hauteur de l'eau est spécifiée en deux points x_1 et x_2 .

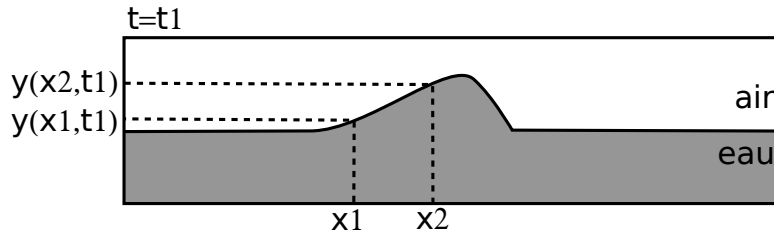


FIGURE 17 – Exemple schématisé de la surface de l'eau à un instant donné $t = t_1$. En x_1 et x_2 , la hauteur de l'eau est notée $y(x_1, t_1)$ et $y(x_2, t_1)$.

1.2 Onde progressive - expression mathématique

La vague que vous allez créer dans la cuve à vague est une *onde progressive*, qui (dans une certaine approximation) ne se déforme pas. Une telle onde est caractérisée par le fait que la perturbation se retrouve identique à elle-même, plus loin et plus tard. Ce qui peut se traduire mathématiquement par l'égalité suivante :

$$y(x_2, t_2) = y[x_2 - v \times (t_2 - t_1), t_1] \quad (9)$$

Avec v la vitesse de l'onde. Autrement dit, la hauteur de la surface de l'eau au temps t_2 et à la position x_2 est la même que celle à un temps ultérieur t_1 , et à la position $[x_2 - v \times (t_2 - t_1)]$ (position x_2 à laquelle on retranche la distance parcourue par l'onde pendant le temps $t_2 - t_1$) (cf. Fig. 18).

Pour généraliser à toutes les positions et à tous les instants, on pose $x_2 = x$, $t_2 = t$ et on obtient ainsi $y(x, t) = y[x - v(t - t_1)]$. Pour alléger l'écriture, on pose souvent $t_1 = 0$, on obtient ainsi l'écriture habituelle d'une onde progressive¹ : $y(x, t) = y(x - v \times t, 0)$.

Remarquez bien que ce raisonnement est basé sur une onde se propageant suivant le sens des x positifs (de gauche à droite ici). Si elle se propage dans l'autre sens, un raisonnement similaire donne : $y(x, t) = y(x + v \times t, 0)$.

1. L'équation (10) décrit une égalité de la surface de l'eau à deux temps fixés (t_1 et t_2). On peut aussi écrire cette égalité à deux positions fixées (x_1 et x_2) et un raisonnement similaire au précédent donne : $y(x_2, t_2) = y(x_1, t_2 - \frac{x}{v})$ ou $y(x, t) = y(0, t - \frac{x}{v})$ (en posant : $t_2 = t$, $x_2 = x$ et $x_1 = 0$)

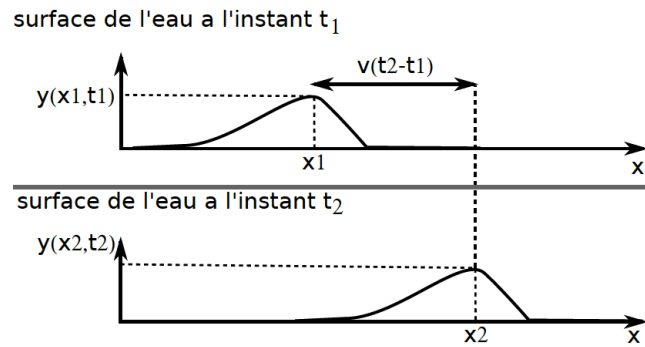


FIGURE 18 – Schéma d'une onde progressive se déplaçant dans le sens des x positifs, à deux instants différents t_1 et t_2 . Ces deux vagues sont reliées par l'équation (10).

1.3 Étapes du TP

Votre travail dans ce TP sera dans un premier temps de créer une onde et de la décrire qualitativement. Comme la propagation est relativement rapide, vous vous aiderez ensuite d'un système qui mesure la hauteur de la vague en deux positions de la cuve et l'affiche sur un oscilloscope. Ce système est simple à utiliser, mais ne permet d'avoir accès à l'information qu'en deux points donnés. Pour avoir accès à la hauteur de l'eau en tout point et à tout instant, vous utiliserez ensuite un système basé sur une *webcam*. Ce système avec la *webcam* permettra enfin d'étudier la propagation d'une onde périodique (contrairement aux étapes précédentes, où une seule vague était considérée).

2 Manipulations et Analyse à l'oeil

-  La première étape consiste à créer une onde avec les bonnes caractéristiques, c'est-à-dire avec une amplitude ni trop grande (pour qu'il n'y ait pas trop de déformations au cours du temps, ni de vagues secondaires), ni trop petite (pour pouvoir être observable facilement). La technique consiste à pousser l'eau avec un bout de plastique de manière assez rapide et dans un espace restreint à gauche de la cuve (cf. Fig. 19).

ATTENTION : bien attendre que la surface de l'eau soit au repos pour créer une nouvelle vague !

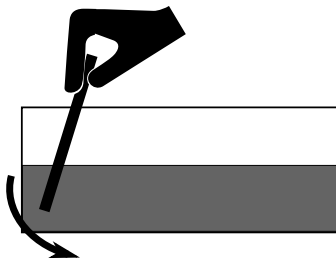


FIGURE 19 – Pour créer une vague, pousser l'eau rapidement avec la spatule plastique.

-  Une fois que vous avez réussi à obtenir de belles vagues, décrivez ce que vous observez de manière précise tout en étant bref. Appuyez vos observations par des schémas.
-  Est-ce que l'onde est transverse (perturbation perpendiculaire à la direction de propagation) ou longitudinale (perturbation parallèle à la direction de propagation) ?
-  Donnez une première estimation de la vitesse de l'onde.

3 Analyse de l'onde par capteurs à deux endroits fixés

Les deux sondes placées dans l'eau permettent d'obtenir sur l'oscilloscope une information sur la hauteur de la vague.

-  Placez les deux sondes (en faisant glisser leur support sur les bords de la cuve) pour qu'elles soient à une distance de 50 cm l'une de l'autre, autour du centre de la cuve.
-  Vérifier que l'oscilloscope a les mêmes réglages de sensibilité verticale (volt/div de la voie 1 et 2) et horizontale (s/div) que ceux indiqués sur la boîte où sont reliées les sondes.
-  Créez des vagues et observez les deux signaux sur l'oscilloscope. Vous pouvez figer le signal en appuyant sur le bouton "run/stop" (rappuyez dessus pour relancer l'acquisition).
-  Une fois que vous estimez avoir une bonne trace sur l'oscilloscope, reproduire sur votre copie le signal et l'interpréter.
-  Estimez à nouveau la vitesse de l'onde. Comparer avec la valeur précédente.

4 Analyse de l'onde avec une webcam

Pour avoir les informations sur la hauteur de la vague à la fois dans le temps et dans l'espace, vous allez utiliser un système basé sur une *webcam*.

4.1 Enregistrement et traitement d'une vidéo

La première étape consiste à enregistrer une vidéo et à lancer le traitement pour récupérer les informations sur la hauteur de l'eau. Pour cela :

-  Lancer le programme : ouvrez un terminal (icône sur la barre de gauche représentant un carré noir), tapez "cd TP_VAGUE" (puis "Entrée"), tapez "bash run_pg.sh" (puis "Entrée")
-  Vous pouvez tester la webcam en choisissant "lancer la webcam" (cf. Fig. 20).
-  Enregistrer une vidéo pendant laquelle une onde se propage ("Enregistrer une vidéo"). **Attention, il n'y a pas d'affichage durant l'enregistrement.**
-  Regarder la vidéo en choisissant "regardez la vidéo". Si nécessaire, enregistrez une nouvelle vidéo.
-  Lancer le traitement de la vidéo pour détecter la hauteur de l'eau $y(x, t)$ sur chaque image et en chaque position de la cuve ("Lancer le traitement de la vidéo").

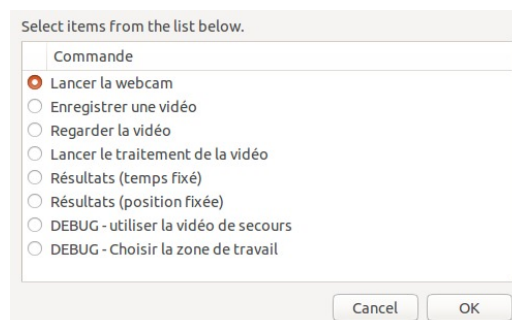


FIGURE 20 – menu du programme d'analyse d'onde par webcam.

4.2 Analyse des données

- ☞ Cliquez sur "Résultats (temps fixé)". Une image s'affiche avec le *diagramme spatio-temporel* $y(x, t)$ associé à votre enregistrement. Cette image est la plus compliquée à comprendre, mais c'est aussi la plus complète.
 - l'axe horizontal correspond au temps t .
 - L'axe vertical correspond à la position le long de la cuve x .
 - L'échelle de couleur correspond à la hauteur de l'eau $y(x, t)$. Le code couleur est présenté à droite : une couleur jaune est associée à un haut niveau d'eau et une couleur noire à un bas niveau d'eau.

Remarque : l'analyse de la surface de l'eau ne se fait pas sur toute la longueur de la cuve, mais seulement sur 1 mètre autour du milieu.

- ☞ Lorsqu'une valeur du champ t_1 est remplie dans la fenêtre "temps fixé", la surface de l'eau à ce temps s'affiche ($y(x, t_1)$). Faites varier la valeur de t_1 de zéro jusqu'au temps final et observez les différentes formes de la surface de l'eau. Pour cela, augmenter rapidement la valeur de t_1 lorsque la vague n'est pas dans la zone de travail (de 1 s en 1 s par exemple), puis plus lentement lorsque la vague apparaît (de 0,1 s en 0,1 s par exemple).
- ☞ Décrire de manière simple l'évolution de l'onde grâce au diagramme spatio-temporel (appuyez votre analyse par un schéma).
- ☞ Repérez deux instants proches t_1 et t_2 (avec $t_2 > t_1$) lorsque la vague se propage dans le sens des x positifs (typiquement $t_2 \simeq t_1 + 0,2$ s). Remplir les champs t_1 et t_2 . Reproduire sur votre compte-rendu ces deux courbes.
- ☞ Remplir le champ x_2 de manière itérative pour trouvez de quelle distance il faut décaler la deuxième onde pour qu'elle se superpose à la première. En déduire une nouvelle fois la vitesse de la vague.
- ☞ Ensuite, choisissez deux instants proches t_1 et t_2 (avec $t_2 > t_1$) lorsque la vague se propage dans le sens des x négatifs. Comme précédemment, trouvez de quelle distance x_2 il faut décaler la deuxième onde pour qu'elle se superpose à la première et recalculez la vitesse de la vague.

5 Onde périodique

Vous allez maintenant créer une onde périodique et analyser sa propagation avec la webcam.

- ☞ Enregistrer une nouvelle vidéo, montrant la propagation d'une onde périodique. Pour créer cette onde, poussez l'eau de manière périodique avec la spatule, 5-6 fois (ne pas faire des vagues trop hautes, pour que l'amplitude de l'onde réfléchie soit très petite).
- ☞ Lancer le traitement de la vidéo, puis cliquez sur "Résultats (temps fixé)".
- ☞ Reproduire sur votre compte rendu l'aspect général du diagramme spatio-temporel. Faire apparaître la période T et la longueur d'onde λ sur ce schéma.
- ☞ Choisir un temps t_1 permettant de bien voir l'aspect périodique du signal et mesurer sa longueur d'onde λ .
- ☞ Revenir au menu principal et cliquez sur "Résultats (position fixée)".
- ☞ Choisir une position x_1 permettant de bien voir l'aspect périodique du signal et mesurer sa période T .
- ☞ Déduire de la valeur de T et de λ , une autre estimation de la vitesse de l'onde. Comparer aux valeurs obtenues précédemment.

6 Conclusion

-  Le but du TP était d'observer expérimentalement la propagation d'une onde progressive et de la relier à sa formulation mathématique. Commentez dans quelle mesure cette description mathématique décrit bien les vagues dans une cuve.