

Yoyo et autres T.P. de 1^{ère} S exp.

par Jean-Luc COLAS
Lycée Duplessis Mornay - B.P. 330 - 49408 Saumur Cedex

Les trois T.P./T.D. qui suivent ont pour points de départ des énoncés figurant dans le document d'accompagnement. En particulier l'énoncé sur la roue qui roule sans glisser et celui sur le mobile autoporteur, ont été transformés pour en faire des documents utilisables par l'élève en travail individuel d'une heure et demie, travail que l'on peut éventuellement évaluer.

L'autre T.P., sur le yoyo, se fait en participation collective et se termine par un travail individuel de construction. Il s'agit aussi d'un énoncé classique dont la solution théorique ne peut être abordée en Première. La solution expérimentale que nous proposons est l'occasion de montrer aux élèves un exemple de démarche expérimentale pour la résolution d'un problème. Ce problème a été posé à la fin d'une séance pour laisser le temps de la réflexion. A la séance suivante, la collecte des idées et leur critique permet d'amener progressivement la classe à concevoir le dispositif qui va sortir tout préparé du labo... (les essais - tâtonnements - erreurs m'avaient pris trois jours).

La progression que j'ai suivie dans le thème U_1 a été la suivante :

1 - Cours : la relativité du mouvement

(Éventuellement pour les années suivantes, il faudra montrer que le vecteur-vitesse est tangent à la trajectoire comme on le faisait en Seconde).

Problème de yoyo dans un bus.

2 - Étude du mouvement du yoyo dans un bus. Composition des vitesses.

3 - Roue qui roule sans glisser sur un plan horizontal.

4 - Mobile autoporteur vu par un observateur en mouvement.

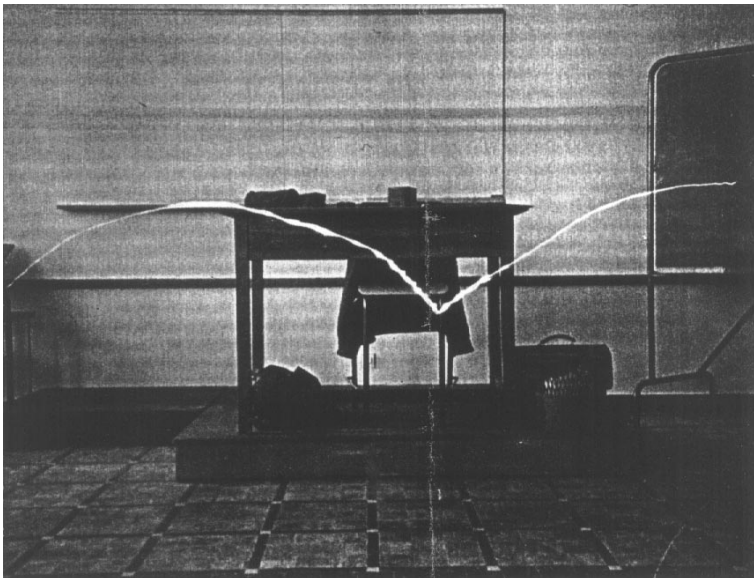
5 - Autres exemples : bille en chute libre dans un train ; pluie sur la vitre d'un train (d'après «Et pourtant elle tourne», Jacques GAPAILLARD, Seuil) ; cantonnier SNCF et bouteille ; nageurs jumeaux.

6 - Carte céleste mobile.

7 - Rétrogradation de Mars : système de Copernic : deux séances.

8 - Rétrogradation de Mars : système de Ptolémée (publié dans Cahiers Clairaut 65). Puis thème U_4 .

Remarque : je ne fais que la physique en option ; au milieu de l'année scolaire je change de classe avec un collègue spécialiste de chimie.



1. YOYO DANS UN BUS ET COMPOSITION DES VITESSES

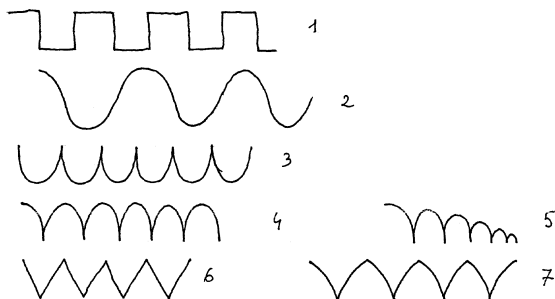
Je montre des yoyos et demande qui sait s'en servir puis pose le problème suivant :

Un bus roule à vitesse constante sur une route horizontale rectiligne. Un enfant passager du bus, debout et immobile par rapport au bus, joue avec un yoyo qu'il fait osciller perpendiculairement au plancher. Quelle est l'allure de la trajectoire du centre du yoyo :

- en prenant comme repère le bus ?
- en prenant comme repère le sol ?

Première séance

Pour la trajectoire par rapport au bus, les élèves répondent sans hésitation. Pour la trajectoire par rapport au sol, les réponses sont variées :



Critiques

Ceux qui pensent que telle trajectoire est erronée cherchent des arguments (en début de séance, on vient de revoir que $\vec{V}_{A/R}$ est tangent à la trajectoire de A dans R : utilisation de la table à mobiles auto-porteurs).

Aide

Au départ, le centre C du yoyo est immobile/bus, sa trajectoire/sol doit être horizontale, comme la vitesse du bus/sol.

Élimination des trajectoires 3, 6, 7.

On élimine aussi la 1 : $\vec{V}_{C/S}$ passerait brutalement de l'horizontale à la verticale. Restent : 2, 4, 5.

Puis la 4 est éliminée au profit de la 5 et la 2 est modifiée en :



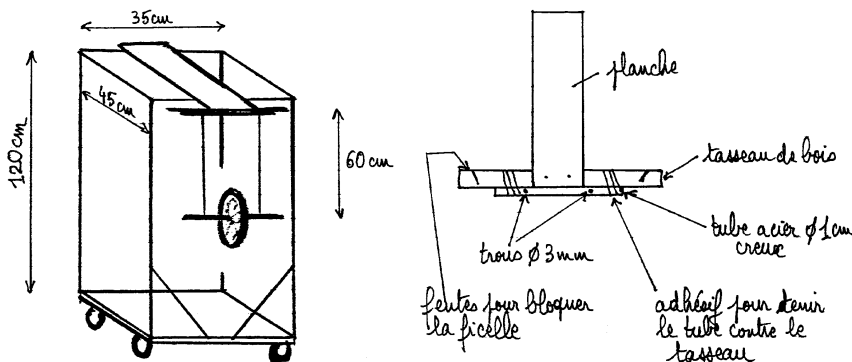
Il faudrait savoir comment se comporte le yoyo au moment du rebond : est-ce que sa vitesse s'annule ou est-elle très grande et change brusquement de sens ? Pour résoudre ce problème il y a la théorie du mouvement, ou l'expérimentation. Essayez d'imaginer un dispositif expérimental permettant de trouver l'allure de la trajectoire du centre du yoyo par rapport au sol.

Fin de la première séance

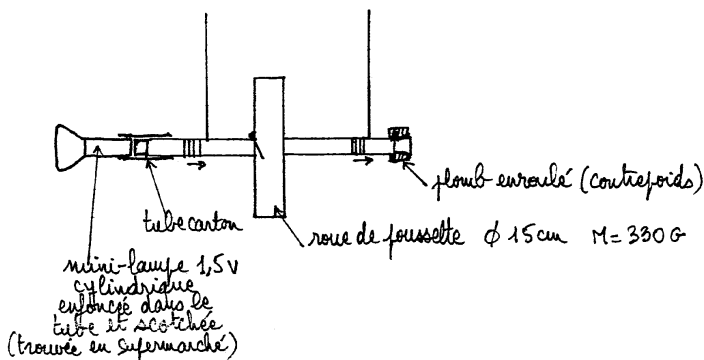
Réfléchissez au problème pour la prochaine séance, en supposant que l'on dispose de moyens illimités.

Deuxième séance

On fait accoucher les élèves du dispositif suivant : le yoyo est solidaire d'un chariot, son centre comporte une lampe, on la photographie pendant le mouvement d'ensemble.



La planche est fixée au chariot avec du scotch marron enroulé en X.
Vérifier l'horizontalité au niveau à bulle.



Axe du yoyo : tube acier creux Ø 1 cm percé de deux trous Ø 3 mm pour passer la ficelle qui sort en bout de tube et est coincée par un bouchon de bois. Clavette formée d'un clou pour rendre la roue solidaire du tube.

Petits détails qui ont une grande importance : il faut pouvoir ajuster les longueurs de chaque brin de ficelle pour qu'elles soient égales, sinon le yoyo prend rapidement un mouvement erratique. Pour cela on peut passer les ficelles dans des petits trous pratiqués sur l'axe creux du yoyo ; on récupère la ficelle en bout d'axe et on la coince par un petit bouchon taillé dans du bois.

A la partie supérieure on fait encore passer les ficelles dans des petits trous pratiqués sur une tige creuse ; puis on les enroule sur le tasseau qui comporte deux fentes dans lesquelles on bloque les brins après s'être assuré de l'horizontalité de l'axe du yoyo.

Quand on remonte le yoyo en enroulant les ficelles sur l'axe, il faut faire attention à ce que la ficelle ne se chevauche pas ; l'enroulement se produit en faisant passer la ficelle soit du côté gauche, soit du côté droit.

La ficelle est en nylon tressé $\varnothing$ 2 mm (trouvée en supermarché).

Photo

J'utilise un polaroid «instant 30» à deux sensibilités : 75 ASA et 3 000 ASA réglé sur 75 ASA (ouverture max) mais avec pack 667 noir et blanc 3 000 ASA qui contient deux cartouches de huit vues (prix : 130 F à 180 F selon magasins). La cellule est aveuglée par un scotch noir, pour utiliser le bouton de déclenchement comme si l'on faisait une pose B : on maintient le bouton enfoncé pendant toute la durée de la pose. L'appareil est sur pied, son objectif à la hauteur du yoyo, à 5 m du chariot.

Remarque : ce dispositif me sert aussi à photographier les constellations (pose 30 s).

Déterminer le champ de l'appareil en marquant des repères à la craie sur le sol.

Faire des essais sans prendre de photo : partir avec le chariot un mètre avant d'entrer dans le champ pour avoir une vitesse aussi régulière que possible, lâcher le yoyo peu avant d'entrer dans le champ.

Plusieurs photos sont nécessaires pour en avoir une réussie (surprise de ne pas voir le chariot ni l'élève qui le pousse).

Résultats

La photo montre qu'il faut éliminer la courbe 8. La courbe 5 est la plus proche de la réalité. La nouveauté est qu'au point le plus bas la trajectoire n'est pas verticale :

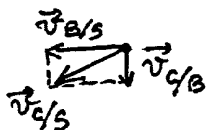


Reproduisez cette allure. Tracez $\vec{v}_{c/s}$ juste avant rebond.

Pourquoi ce vecteur-vitesse oblique ? (La vitesse de c/s résulte de la descente verticale et de l'avancée horizontale).

Cas extrêmes

- yoyo arrêté, le chariot avance : $\leftarrow$
- chariot arrêté, le yoyo descend : $\downarrow$
- mouvements simultanés :



Écrire la relation vectorielle entre ces vecteurs-vitesses.

Refaites un schéma (les élèves viennent décalquer) :



puis faites la construction de $\vec{v}_{c/s}$ juste avant rebond en bleu, juste après en rouge (qualitativement, mais construction exacte).

On peut estimer $v_{b/s}$ par une mesure grossière au sol : distance parcourue, et temps mis pour la parcourir. En déduire $v_{c/b}$ au rebond en utilisant la construction (on a trouvé $v_{b/s} \approx 0,5 \text{ m/s}$ d'où $v_{c/b} \approx 0,5 \text{ m/s}$).

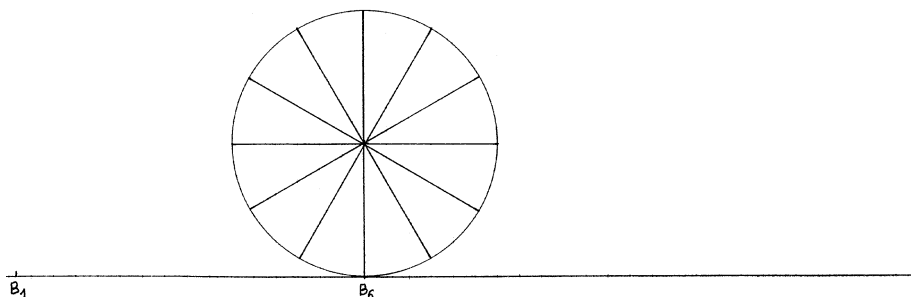
Si le mobile en mouvement est M et les repères R_1 et R_2 , quelle relation peut-on écrire entre les différents vecteurs-vitesses ?

S'il reste du temps, on peut faire une photo dans le cas où le chariot se déplace très lentement et reprendre la fin de l'étude. On devrait trouver la même valeur pour $v_{c/B}$ au rebond.

2. ROUE QUI ROULE SANS GLISSER

Une roue de rayon 3 cm roule sans glissement sur un plan horizontal. On suppose que la vitesse angulaire autour de son centre

d'inertie correspond à 1 tour en 1,2 s. La roue possède 12 rayons. A la date $t = 0$ l'extrémité A du rayon 1 est en contact avec le sol en B_1 . On veut représenter les positions de A toutes les 0,1 s ($A_2, A_3, \dots, A_{15}$). Sur la figure la roue est représentée à $t = 0,5$ s, le rayon 6 en contact avec le sol.



1 - Calculer la distance parcourue par le centre d'inertie en 0,1 s (la roue roule sans glisser).

2 - Porter sur la figure les positions $B_2, B_3, \dots, B_{15}$ correspondant aux contacts successifs d'un rayon avec le sol.

3 - De quel angle tourne un rayon en 0,1 s ?

4 - Découper la roue et ses rayons (carré de calque $10 \times 10 \text{ cm}^2$).

5 - Partir de la position correspondant à $t = 0$ et placer les points successifs $A_1, A_2, \dots, A_{15}$ (gros points rouges).

6 - Relier entre elles les positions successives du point A.

7 - Calculer la valeur numérique $V_{I/S}$ de la vitesse du centre d'inertie par rapport au sol, ainsi que $V_{A/R}$ valeur numérique de la vitesse du point A par rapport à un repère lié à la roue (repère en translation par rapport au sol, lié au centre de la roue, et se déplaçant sans rotation).

8 - Construire l'égalité vectorielle : $\vec{V}_{A_4/S} = \vec{V}_{A_4/R} + \vec{V}_{R/S}$ idem avec A_8, A_9 , et A_{13} . Observations ?

3. MOBILE AUTOPORTEUR

Un mobile autoporteur est en mouvement rectiligne uniforme par rapport au sol. Les points A_i représentent les positions successives de son centre d'inertie toutes les 60 ms, à l'échelle 1.

Un observateur est lui-même en mouvement rectiligne uniforme par rapport au sol, avec une vitesse de 0,3 m/s, dans la direction indiquée par la droite et le sens indiqué par la flèche.

1 - Représenter les positions successives $O_1, O_2, \dots$ de l'observateur par rapport au sol toutes les 60 ms à l'échelle 1 en partant de O_1 confondu avec A_1 .

2 - Trouver la trajectoire du centre d'inertie du mobile autoporteur par rapport à un repère lié à l'observateur (utiliser une feuille de calque millimétré représentant le repère de l'observateur).

3 - L'observateur est maintenant lui-même en mouvement rectiligne accéléré par rapport au sol avec la même trajectoire et le même sens que précédemment, mais ses positions successives au cours du temps sont déterminées par l'équation : $y = 0,5 \cdot t^2$ (y en mètres et t en secondes).

Quelle est la trajectoire du centre d'inertie du mobile autoporteur vue par cet observateur ? (Utiliser les mêmes feuilles avec une encre d'une autre couleur).

4 - On symbolise :

- par O l'observateur en mouvement (repère - calque),
- par S le sol (repère feuille blanche imprimée ci-après),
- par A le centre d'inertie du mobile autoporteur.

Écrire une relation vectorielle liant les vecteurs-vitesses $\vec{v}_{A/S}$ et $\vec{v}_{A/O}$.

a) Représenter cette relation vectorielle par une construction (en rouge) en A_6 dans le cas où l'observateur est en mouvement rectiligne uniforme.

Échelle : 0,1 m/s $\rightarrow$ 1 cm ; quelle observation faites-vous ?

b) Représenter cette relation vectorielle par une construction en A'_9 dans le cas où l'observateur est en mouvement rectiligne accéléré.

Même échelle ; quelle observation faites-vous ?

