

LE RÉALISME NAÏF ET L'APPRENTISSAGE DE LA PHYSIQUE

IBRAHIM ABOU HALLOUN

LE RÉALISME NAÏF ET L'APPRENTISSAGE DE LA PHYSIQUE

IBRAHIM ABOU HALLOUN

Extrait. *Recherches pédagogiques*, 17/1986. Faculté de Pédagogie, Université Libanaise

I. Introduction

Le niveau des élèves du cycle secondaire et des étudiants universitaires est en déclin continu en physique, et ce d'après les résultats des examens officiels secondaires et universitaires. Ainsi, moins de la moitié des étudiants de physique réussissent aux examens de première année à l'Université Libanaise. Moins de 20% arrivent à réussir aux premières sessions de ces examens. De pareilles situations sont constatées dans certains pays européens, aux USA et en Australie. Des chercheurs dans ces pays ont suggéré que, dans leur vie quotidienne, les élèves développent certaines idées naïves concernant l'univers, et en particulier concernant les mouvements terrestres. Ces idées sont souvent en conflit avec les théories scientifiques. Le conflit est si aigu qu'il empêche ces élèves d'assimiler les connaissances scientifiques enseignées.

Dans cet article, nous présentons et discutons les résultats de l'application d'un instrument de diagnostic à des étudiants de physique de première année à l'Université Libanaise. L'instrument a servi à évaluer: (a) les connaissances naïves de ces étudiants, concernant le mouvement des particules, et (b) l'effet de l'enseignement universitaire sur ces connaissances. L'instrument consiste en un test écrit de mécanique, administré au début et à la fin d'un semestre de l'année académique 1984-1985, juste avant et après que les étudiants aient suivi un cours de physique élémentaire.

Selon la théorie piagétienne du développement intellectuel¹, un élève ne peut apprendre de nouvelles informations que si deux conditions importantes sont satisfaites:

1. L'élève doit posséder les structures mentales, ou *schèmes*, nécessaires pour assimiler ces informations.

2. Les nouvelles informations ne doivent pas entrer en *conflit aigu* avec les schèmes possédés par l'élève. Seul un conflit modéré lui permettra d'équilibrer ses schèmes pour intégrer les nouvelles informations. Sinon, il en résulte un apprentissage non équilibré, de très courte durée de vie.

Parmi les schèmes importants qui affectent la performance d'un étudiant en physique figurent les connaissances *naïves* que l'étudiant accumule, soit dans son expérience avec les phénomènes de l'univers rencontrés dans sa vie quotidienne, soit par une fausse assimilation des théories scientifiques enseignées dans une étape préalable. L'enseignement de la physique ne pourrait aboutir à ses fins sans prendre ces connaissances naïves en considération. Ceci nécessite que tout professeur de physique ait un instrument adéquat pour détecter les défauts dans ces connaissances, afin d'adopter la méthode la plus efficace à «équilibrer» les schèmes de ses étudiants. Sinon, ceux-ci apprennent les informations désirées comme des perroquets; ils en oublient la plus grande partie aussitôt que le cours est terminé.

Les connaissances qui interfèrent le plus avec l'apprentissage des sciences sont celles qui relèvent du *réalisme naïf*. Ce réalisme consiste en un ensemble d'idées non enseignées, ou mal enseignées, qui régissent la façon avec laquelle *l'homme ordinaire** interprète ses expériences avec le monde. Ce réalisme diffère du *réalisme scientifique* des experts et des savants, surtout en ce qui concerne: (a) la *sélection* des propriétés à étudier, et (b) les constructions *conceptuelles* dérivées des expériences perceptuelles avec l'univers. Pour le réalisme naïf, les objets du monde réel sont «comme on les perçoit» avec nos cinq sens; on peut connaître leurs propriétés *directement*, souvent sans effort intellectuel conscient. Pour le réalisme scientifique, les propriétés primaires, ou fondamentales, ne nous sont offertes qu'*indirectement*, et sous forme de «codes»; pour les connaître, il faut décoder, ou déchiffrer les messages transmis par nos sens. Les propriétés directement perçues ne sont que secondaires; elles n'ont aucun rapport avec les sciences. D'autre part, l'homme ordinaire représente les objets du monde et leurs propriétés par des concepts naïfs, *subjectifs* et *décousus*, alors que les experts les représentent par des *modèles objectifs* et *cohérents*, dont le déploiement est guidé par des paradigmes bien précis. Les concepts naïfs de l'homme ordinaire et les modèles scientifiques des experts sont souvent incompatibles.

Un nombre de chercheurs aux USA, en Australie, et en Europe, ont essayé, dans la dernière décennie, de caractériser les différences entre le réalisme naïf des étudiants en physique et le réalisme scientifique,

* Le novice ou l'apprenti.

concernant *quelques* composantes de la théorie newtonienne de la mécanique (mais pas la théorie entière, comme envisagée dans cette investigation). Aux États-Unis d'Amérique, Champagne et ses collègues^{2,3,4} ont découvert que des étudiants américains possèdent souvent des concepts semblables à ceux de la théorie d'Aristote qui dit que tout mouvement, céleste ou terrestre, a besoin d'un agent de force, et que sous l'effet d'une force constante, un objet se déplace à vitesse constante. Clement⁵, McCloskey et ses collègues^{6,7} ont découvert que leurs étudiants possèdent des concepts semblables à ceux de la théorie de l'Impétuosité* du Moyen Âge. Cette théorie dit qu'un objet peut maintenir son mouvement en l'absence de tout agent, grâce à un certain pouvoir intrinsèque, ou impétuosité, fourni à l'objet par un agent originel qui avait déclenché son mouvement. Gunstone et White⁸ ont découvert des concepts similaires chez des étudiants australiens, et Viennot⁹, chez des étudiants européens. L'auteur^{10,11} de cet article avait trouvé que des étudiants aux USA possèdent des *mélanges* incohérents de concepts aristotéliens et de l'Impétuosité. Il avait aussi trouvé que ces concepts résistent à tout changement, malgré l'enseignement universitaire de physique, et qu'ils empêchent les étudiants de bien assimiler la théorie newtonienne.

La recherche dont nous rendons compte ici comprend trois parties. Dans la première, il sera question de la méthode d'investigation suivie, en particulier des sujets qui ont participé à l'enquête, de l'instrument, des procédures, et d'une analyse de fidélité et de validité de l'instrument. Dans la deuxième partie, il sera question des résultats de l'investigation, résultats comparés à ceux obtenus aux USA dans une enquête semblable^{10,11}. Tous ces résultats seront discutés dans la troisième partie.

II. Méthode

II.1 Sujets

183 étudiants ont participé à cette investigation. Ils étaient inscrits à un cours de physique de première année à la faculté des sciences II de l'Université Libanaise, pour l'année académique 1984-1985. Le cours, désigné par le sigle P110, est destiné aux étudiants préparant une licence de physique, de mathématiques, d'informatique et de chimie. Les sujets suivaient la même classe de P110.

Les étudiants de la dite faculté appartiennent à différentes couches

* Pour une présentation détaillée de ces théories prénewtoniennes, voir: E.J. DUKSTERHUIS, *The Mechanization of the World Picture*, Clarendon Press, Oxford, 1964.

sociales, représentant la diversité sociale du Liban. Leur formation secondaire est représentative de celle des étudiants libanais avec une orientation scientifique.

Les variables suivantes ont été distinguées et analysées: (a) le sexe (b) l'âge, (c) le lieu de résidence, (d) le diplôme secondaire, et (e) le domaine de spécialisation à l'Université. Aucune de ces variables n'a montré cependant d'effet sur les résultats de l'investigation.

II.2 Instrument

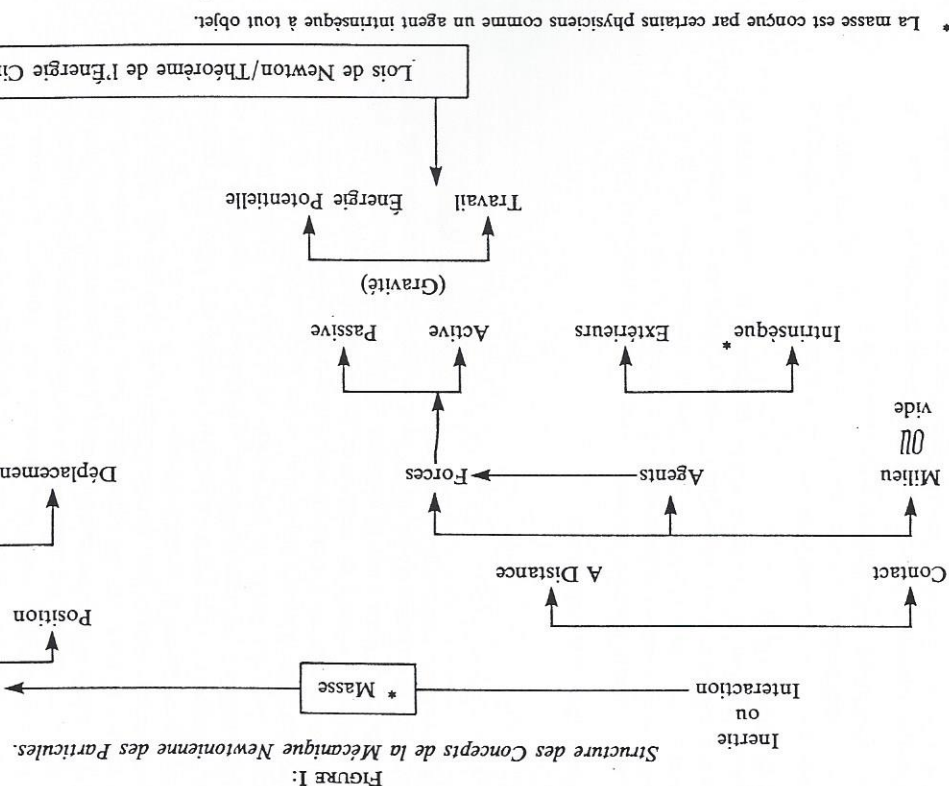
L'instrument consiste en une épreuve écrite de mécanique, comportant 36 items à choix multiple (présentée en annexe). Chaque item consiste en une question suivie de cinq réponses possibles dont une seule est correcte. La mécanique des particules est choisie comme thème principal du fait de son importance dans la compréhension de la physique, et dans la logique du raisonnement scientifique en général.

Les concepts de cinématique testés sont ceux de position, de déplacement, de vitesse et d'accélération. Les concepts de dynamique testés sont ceux d'inertie, de force, de gravité, de résistance et de vide. Tous ces concepts, et leurs relations mutuelles dans la théorie newtonienne, sont illustrés dans la Figure 1.

L'épreuve est construite dans le but: (a) de mettre en évidence la nature et l'organisation des concepts ci-dessus telles qu'elles se présentent chez les étudiants et (b) d'évaluer si ces concepts sont *déployés systématiquement* par les étudiants dans des tâches semblables.

Une vingtaine de professeurs de physique au Liban et aux USA ont trouvé que les items choisis sont, d'une part, les plus importants dans un cours de physique du genre du P110, et, d'autre part, en rapport direct avec le réalisme naïf qui relève de nos expériences quotidiennes avec les mouvements des objets terrestres.

Le cours de P110 à l'Université Libanaise est enseigné à raison de huit heures par semaine, pendant deux semestres consécutifs. Au premier semestre, la théorie newtonienne de la mécanique des particules et des solides indéformables est enseignée. Pendant cinq heures hebdomadaires, de larges groupes, de plus de 150 étudiants chacun, reçoivent des conférences «théoriques». Chaque groupe est ensuite divisé en plusieurs sous-groupes, d'une trentaine d'étudiants chacun, pour mener des «travaux dirigés» où l'on apprend à résoudre des problèmes sur papier. L'enseignement est le pivot de l'enseignement. La participation des élèves est souvent passive. Le cours a un contenu standard qui peut être trouvé dans n'importe quel livre de physique du premier cycle universitaire. En



ce sens, la méthode d'enseignement et le contenu du cours sont dits «conventionnels».

Le test a été originellement développé par l'auteur aux USA. Les items figurant dans le test présenté dans l'annexe sont ceux dont la corrélation avec la performance en physique était significative pour un millier d'étudiants américains inscrits à des cours du genre du P11010. Les premières formes du test n'étaient pas à choix multiple. Les participants, environ 800, avaient alors à fournir leurs propres réponses. Les cinq réponses les plus fréquentes à chaque question, dont une seule réponse correcte, ont été dans la suite incluses dans le test, le ramenant ainsi à un test à choix multiple. Des études statistiques appropriées ont vérifié la fidélité et la validité de ce test (section II.4).

II.3 Procédure

Les sujets ont tous subi l'épreuve, comme prétest, au début du premier semestre de l'année académique. A la fin du semestre ayant alors terminé l'étude de la théorie newtonienne de la mécanique, ils ont tous subi la même épreuve, comme posttest; 17 autres sujets ont subi seulement le posttest, et leurs résultats ne furent exploités que dans l'analyse de la fidélité du test. La durée de chaque test fut de 60 minutes. La majorité des participants a trouvé cette durée suffisante.

Dans la correction des tests, chaque item a été noté zéro ou un, suivant que la réponse choisie pour cet item était fautive ou correcte respectivement. Ainsi la note maximale est de 36 pour le test. A remarquer ici que la note au test est une mesure de la compréhension de l'ensemble des concepts en question, et non du nombre des habiletés acquises.

II.4 Fidélité et Validité du Test

La fidélité du test a été originellement mesurée aux USA¹⁰ de deux façons différentes (De pareilles mesures ont été impossibles au Liban). Au début, les mêmes questions du test ont été formulées de deux façons différentes. Chacune des deux formes «parallèles» du test fut alors administrée à environ une centaine d'étudiants. Les moyennes (et écart-types) des deux échantillons, pour un prétest, étaient alors 14.48 (3.90) et 14.70 (4.10), ce qui marque une fidélité appréciable du test. Dans la suite, la formule 20 de Kuder-Richardson a été utilisée pour mesurer la fidélité du même test présenté en annexe, mais alors donné en anglais. Le coefficient de fidélité a varié entre 0.80 et 0.89, ce qui est considéré, statistiquement, comme très significatif.

Aucun effet n'a été observé du fait que les sujets aient subi l'épreuve comme prétest et posttest (même aux USA). La moyenne des 17 sujets de cette enquête qui ont subi le posttest sans le prétest est, à un point près, égale à celle des autres participants (avec un écart-type semblable).

Certains sujets sont venus discuter leur performance avec l'auteur, après le prétest. Au début des discussions, tous ces sujets ont tenu aux alternatives qu'ils avaient choisies originellement. Ceci montre que les participants avaient pris l'enquête au sérieux, et que leurs réponses n'étaient pas fournies au hasard.

Les professeurs de physique qui ont examiné le test ont jugé qu'il est doué d'une *validité* apparente (face validity) et de contenu. Les sujets ci-haut ont montré durant les discussions qu'ils ont compris les questions posées et la nature des réponses attendues. Les réponses choisies, surtout par les bons étudiants, ont été examinées pour voir si les mêmes fautes ont été commises dans un item donné. Ceci ne fut guère le cas. Toutes ces démarches garantissent la validité du test.

Une analyse de régression (multiple) menée aux USA¹⁰ a montré que le test possède aussi une *validité de prédiction* de la performance des participants dans des cours de physique du genre du P110. L'analyse mettait en jeu aussi d'autres variables, dont la compétence des participants en mathématiques et leurs formations secondaire et universitaire en physique, chimie, biologie et mathématiques. Mesurée entre les notes reçues par les participants sur le prétest et leurs notes finales dans des cours de physique du genre du P110, R^2 eut une valeur d'environ 0.30. Ce chiffre est considéré, statistiquement, comme très significatif.

III. Résultats

Cette enquête a montré que:

1. Les étudiants libanais viennent des écoles secondaires avec des idées naïves concernant le mouvement des particules. Ces idées sont en contradiction avec les concepts de la théorie newtonienne. Elles sont semblables à celles qui sous-tendent la théorie d'Aristote et la théorie de l'impétuosité (section III.1), mais elles ne sont pas aussi précises et cohérentes (section III.2).
2. Les méthodes conventionnelles d'enseignement de la physique n'arrivent pas à résoudre le conflit entre le réalisme naïf des étudiants et le réalisme scientifique des physiciens (section III.3).
3. Quoique universel, le problème du réalisme naïf est plus aigu chez les étudiants libanais que chez les étudiants américains (section III.3).

III.1 Parathéories naïves du mouvement des particules

La distribution et la nature des réponses données par les sujets de cette enquête sont semblables à celles obtenues aux USA avec le même test¹⁰. Ceci montre que les idées naïves ne sont pas particulières à une société donnée, mais qu'elles relèvent d'un certain *réalisme naïf universel* (hypothèse vérifiée en outre par les investigations menées en Australie⁸ et en Europe⁹). De plus ces idées ne sont pas particulières à chaque individu. Bien qu'elles soient décousues et entremêlées, elles peuvent être classées dans deux ensembles de concepts naïfs qu'on appellera «parathéories» naïves, ou simplement parathéories. L'une de ces parathéories sera appelée «parathéorie aristotélicienne»; ses composantes sont semblables à celles de la théorie aristotélicienne concernant les mouvements des objets réels. L'autre sera appelée «parathéorie de l'impétuosité»; ses composantes sont semblables à celles de la théorie de l'impétuosité du Moyen Âge. On ne doit pas être surpris par ces similitudes, car la nature des questions qu'on se posait à propos de l'univers, et les moyens de répondre à ces questions dans l'antiquité, ne diffèrent pas sensiblement de la manière dont ils se posent aujourd'hui à l'homme ordinaire.

Un sujet est classé comme suivant l'une ou l'autre parathéorie si plus de la moitié de ses réponses se rapportent à cette parathéorie. Le reste de ses réponses pourraient alors être un mélange de concepts de l'autre parathéorie et de la théorie newtonienne. Ainsi, la parathéorie aristotélicienne a été observée chez environ 25% des sujets participant à cette enquête, la parathéorie de l'impétuosité chez 65%, et la théorie newtonienne chez seulement 10%. Dans la suite, les deux parathéories sont présentées, telles qu'adoptées par les sujets. Quelques idées naïves présentées ci-dessous ont été tirées des protocoles d'interviews menés ailleurs¹¹. Nous donnons ci-dessous (entre guillemets) quelques spécimens de ces idées naïves dans le but d'éclaircir ces parathéories.

III.1.1 Parathéorie aristotélicienne

Cette parathéorie, observée chez environ 25% des sujets, est basée sur une *inertie de repos*. Un objet ne peut pas se mouvoir en l'absence de forces extérieures. Les composantes de cette parathéorie se présentent chez les sujets qui ont subi le test comme suit:

Interaction: Deux objets ne peuvent agir l'un sur l'autre que s'ils sont en contact. Toute action à distance, comme la gravité, est impossible; un moyen, comme une corde, est alors nécessaire.

Milieu: Tout mouvement exige un milieu. Aucun mouvement n'est possible dans le vide. Un milieu peut être soit actif, soit passif. La résistance d'un milieu est proportionnelle à sa densité.

Causes du mouvement: Un objet peut se mouvoir sous l'action d'un ou de plusieurs agents suivants: (a) une tendance naturelle (les objets «légers» tendent à se mouvoir vers le haut; ceux «lourds», vers le bas), (b) un milieu, comme «de l'air poussant» une pierre jetée dans l'air, (c) des forces provenant d'agents vivants, et seulement de tels agents.

Des objets supportant d'autres, telle une table supportant un livre, ne sont pas des agents de force. Ils font simplement «obstacle» à tout mouvement possible, ou ils «dirigent» de tels mouvements.

En présence de plus d'un agent, un objet répond seulement à celui qui exerce la plus grande force.

Forces: Selon leurs effets apparents, on distingue: (a) des forces qui «font commencer» un mouvement, (b) des forces qui maintiennent la direction d'un mouvement, et (c) des forces qui maintiennent la vitesse d'un mouvement.

Une force peut toujours avoir plus d'un effet. Ainsi une force peut se décomposer en deux «parties» dont l'une déclencherait le mouvement d'un objet, et l'autre maintiendrait le mouvement.

Une force ne peut déplacer un objet que si elle est «plus grande que son poids».

Une force constante met un objet en mouvement avec une vitesse constante proportionnelle à son intensité et inversement proportionnelle à la masse de l'objet.

Une force s'use pendant le mouvement. Ainsi, elle ne peut déplacer un objet que pour une distance et une durée déterminées, proportionnelles à son intensité et inversement proportionnelles à la masse de l'objet. L'accélération d'un objet est due à une force d'intensité variable.

Gravité: Elle n'est pas une force. Elle est une «tendance naturelle» des objets «lourds» à s'approcher de la terre, ou une «poussée exercée par l'air» sur un objet tombant. Les objets les plus lourds s'approchent de la terre plus vite que les objets les plus légers.

Grandeur et forme: Ces propriétés géométriques ont un effet sur la translation des objets qui se meuvent comme des particules.

Cinématique: Le mouvement d'une particule n'est pas simplement déterminé par sa vitesse actuelle et la force qui y est appliquée, mais aussi par son mouvement passé et par la nature de l'agent qui exerce la force.

Les concepts de cinématique se mesurent tous par des grandeurs scalaires.

Les concepts de durée et de temps, ou instant, sont confondus. Un instant est «une très courte durée».

Ainsi, les valeurs moyennes d'un concept sont confondues avec les valeurs instantanées.

Les concepts de vitesse et d'accélération sont confondus entre eux d'une part, et avec le concept de force d'autre part.

L'accélération d'un corps est une augmentation par bonds de sa vitesse.

III.1.2 Parathéorie de l'impétuosité

Cette parathéorie, observée chez environ 65% des participants, est basée sur une inertie de mouvement dû à un pouvoir intrinsèque, ou impétuosité, accordé à un objet, soit par un agent originel qui avait déclenché le mouvement, soit à la suite d'un mouvement en progression. Cette impétuosité maintient et la vitesse et la trajectoire d'un objet mouvant en l'absence de forces extérieures. Cette trajectoire n'est pas nécessairement rectiligne. Elle peut toujours être une continuation de la trajectoire originelle. Les composantes de cette parathéorie se présentent chez les sujets qui ont subi le test comme suit:

Interaction: L'interaction entre deux objets est possible soit en contact soit à distance. Cependant les interactions de contact sont plus durables que celles à distance.

Milieu: Un milieu ne peut que résister à un mouvement. Sa résistance est proportionnelle à sa densité. Un mouvement est possible dans le vide.

Causes du mouvement: (a) tendance naturelle, (b) impétuosité, (c) forces provenant d'agents vivants.

En présence de plus d'un agent, un objet répond par un mouvement de «compromis» qui n'est pas nécessairement pareil à celui dû à la résultante des forces exercées.

Forces et impétuosité: Une force (ou impétuosité) peut mettre un objet en un mouvement uniforme ou accéléré.

Une force ne peut déplacer un objet que si elle est «plus grande que son poids».

Une force s'use pendant le mouvement d'un objet, du fait de la résistance du poids de cet objet.

Lors d'un mouvement accéléré, un objet aboutit à une vitesse limite, même dans le vide, qu'il maintient ensuite, que la force soit toujours exercée ou pas.

En reprenant les mêmes positions et sous les mêmes conditions, mais sous l'effet de forces différentes, un objet accélérant aboutit à des vitesses proportionnelles à l'intensité de la force appliquée et durant des durées inversement proportionnelles à cette intensité.

Gravité: C'est une impétuosité qui croît durant le mouvement vers la terre. Les objets «lourds» accélèrent leur mouvement plus que les objets

«légers», car l'effet de la gravité «s'ajoute au poids» d'un objet en chute.

Grandeur et forme: Elles ont un effet sur la translation des particules.

Cinématique: Confusion entre durée et instant comme chez les aristotéliens.

En accélérant, la vitesse d'un corps est proportionnelle à la distance traversée, mais pas nécessairement à la durée de marche. Cette durée est inversement proportionnelle à la force appliquée.

III.2 Propriétés des parathéories naïves

Les idées naïves de nos sujets ne sont pas aussi cohérentes qu'elles sont présentées ci-dessus. Elles sont décousues et entremêlées, et elles ne sont pas déployées de la même façon dans des situations semblables.

Les différents concepts sont mutuellement confondus. Par exemple, la vitesse n'est pas distinguée de l'accélération, et même pas de la force. Plusieurs étudiants parlent de la vitesse comme une force qui maintient le mouvement. D'autre part, un sujet peut parfois employer un concept newtonien pour interpréter un aspect donné d'un événement, puis un concept aristotélien ou d'impétuosité pour interpréter un autre aspect du même événement ou un aspect semblable d'un autre événement.

L'homme ordinaire ne cherche pas la similitude ou la cohérence des événements dans les propriétés fondamentales, mais dans les propriétés secondaires et les apparences superficielles, auxquelles l'homme de science ne prête aucune attention. Par exemple, la majorité des sujets ne conçoit pas le mouvement de la balle de la question 14 du test comme semblable à celui de la fusée de la question 26; les objets des questions 10, 21 et 28 non plus, car à leur avis, le passé de ces objets est différent. Voici d'autres exemples de manque de constance dans le déploiement d'un concept déterminé.

(a) 60% environ des sujets ont répondu, au moins une fois, qu'en l'absence de forces extérieures, la vitesse d'un mobile décroît. Cependant aucun de ces sujets n'a maintenu cette idée d'une façon constante dans le test.

(b) 70% environ ont répondu, au moins une fois, que la vitesse d'un mobile est proportionnelle à la force qui y est appliquée. Cependant, moins de 10% ont maintenu cette idée d'une façon constante dans le test.

(c) 40% environ ont répondu, au moins une fois, qu'une sorte d'impétuosité maintient le mouvement d'un objet et suivant une trajectoire déterminée par le mouvement antérieur de cet objet. Cependant moins de 10% ont maintenu cette idée d'une façon constante.

III.3 Résistance des idées naïves

Le tableau I présente les moyennes et les écart-types des notes obtenues par les sujets qui ont subi le prétest et le posttest. On rappelle que ces notes reflètent la compréhension qualitative des concepts les plus fondamentaux en mécanique newtonienne. Elles ne doivent pas être interprétées comme mesurant le nombre de concepts acquis.

TABLEAU I
Moyennes et Ecart-types des Sujets Libanais

	Prétest	Posttest
Moyenne (Ecart)	Moyenne (Ecart)	
12.67 (3.95)	14.19 (5.08)	
[35]*	[39]*	

* Les moyennes sur 100 (au lieu de 36) sont données entre crochets.

La moyenne du prétest reflète la persistance du réalisme naïf et l'incapacité de l'enseignement secondaire libanais à résoudre le conflit entre le réalisme naïf des élèves et le réalisme scientifique de la physique. La moyenne du posttest montre de plus la résistance du réalisme naïf au changement, malgré l'enseignement universitaire.

Un élève libanais qui a passé son baccalauréat-deuxième partie doit, en principe, avoir appris à fond les concepts fondamentaux examinés dans notre test, surtout que ces concepts sont enseignés à deux reprises, en classe de seconde, puis en classes terminales. Cependant, il s'avère que cet enseignement n'aide pas les élèves à accéder au réalisme scientifique, pour des raisons discutées plus bas. Les étudiants libanais sont même plus faibles que les élèves américains, au cycle secondaire, quoique le contenu des programmes secondaires américains soit plus restreint que celui du programme libanais de physique. Le tableau II présente les moyennes des notes obtenues par plus d'un millier d'élèves et étudiants américains qui ont subi le même test.

Les sujets américains^{10,11} sont de trois catégories: (a) des étudiants dont la formation universitaire (mais pas secondaire) est pareille à celle des étudiants de P110 à l'Université Libanaise (1^{re} ligne du tableau II); (b) des étudiants dont la formation universitaire est légèrement inférieure à ceux-là et pareille à celle des étudiants de P105* à l'Université

* Le P105 est un cours de physique semblable au P110, mais qui met peu l'accent sur les représentations mathématiques supérieures. Il est destiné aux étudiants en biologie et en médecine.

TABLEAU II
Moyennes sur 100 des Sujets Américains

Genre du Cours	Prétest	Posttest
P 110	50 à 53	64 à 65
P 105	37 à 40	53
High School (Niveau de classes de seconde et de première)	30	44 à 52

Libanaise (2^e ligne du tableau II); et (c) des élèves du cycle secondaire (High School) qui ont suivi des cours de physique semblables à ceux des classes de seconde et de première au Liban (3^e ligne du tableau II). Les faibles gains du post-test par rapport au prétest (tableau I) sont répartis au hasard et montrent que les connaissances naïves de nos étudiants sont si bien enracinées que l'enseignement universitaire conventionnel s'avère impropre à les modifier.

Une comparaison des deux tableaux montre que l'enseignement universitaire libanais a moins d'effet sur le réalisme naïf des étudiants que l'enseignement secondaire américain, ce qui fait ressortir la gravité du problème au Liban.

IV. Discussion

Les résultats de cette investigation montrent que les méthodes conventionnelles de l'enseignement de la physique ne permettent pas aux étudiants de réaliser et de résoudre le conflit entre leur réalisme naïf et le réalisme scientifique, au moins en ce qui concerne la mécanique classique. Ceci est dû, à mon avis, au moins à quatre raisons:

1. Les connaissances naïves des étudiants ne sont pas prises en considération dans l'enseignement conventionnel.
2. Les fondements du réalisme scientifique ne sont pas explicites.
3. Les problèmes traités dans les travaux pratiques apparaissent aux étudiants sans rapport avec le monde réel.
4. La physique est souvent présentée avec un tel excès de mathématisation que les enseignés ont l'impression que la physique n'est pas une science, mais un domaine d'application des mathématiques.

Selon la théorie piagétienne, les étudiants en physique ne peuvent apprendre la théorie newtonienne de la mécanique sans qu'ils aient l'occasion de découvrir l'incompatibilité entre leurs idées naïves et les connaissances scientifiques, et par suite, la nécessité de résoudre tout

conflit entre elles. Cependant, les méthodes conventionnelles d'enseignement ne rendent pas cette occasion possible. Par conséquent, les étudiants gardent leurs idées naïves, et ils essaient d'y ajouter les connaissances scientifiques enseignées. Du fait du conflit aigu entre les deux, ces dernières connaissances sont vite oubliées, et les étudiants recourent au réalisme naïf pour traiter des problèmes du monde réel.

L'auteur avait trouvé ailleurs¹¹ que les connaissances naïves relatives au mouvement des objets réels résistent au changement quel que soit l'aspect sur lequel l'enseignement conventionnel met l'accent: que ce soit (a) sur les fondements théoriques de la matière, (b) sur les phénomènes réels de l'univers, (c) sur les démonstrations expérimentales, ou (d) sur la résolution systématique d'un grand nombre de problèmes. Cela est dû au fait que, dans tous les cas, les professeurs de physique se contentent de transmettre les connaissances scientifiques aux étudiants sans prendre en considération leurs idées naïves.

L'objectif le plus important de l'enseignement des sciences, et surtout de la physique, est d'aider les enseignés à développer les habiletés du raisonnement scientifique, et par suite, de leur permettre de détecter et de corriger les défauts dans leur réalisme naïf. Cependant, l'enseignement conventionnel de la physique semble être incapable de réaliser cet objectif. Ceci est dû en bonne partie au fait que les règles du raisonnement scientifique sont souvent *implicites* dans le contenu des programmes conventionnels. La physique est actuellement reconnue comme la science concernée par la construction et le déploiement de *modèles* conceptuels-mathématiques des systèmes de l'univers. Cependant les règles gouvernant cet effort ne sont pas rendues explicites et la correspondance entre les modèles de la physique et le monde réel n'est pas clairement perçue par l'étudiant. Ce problème est rendu plus aigu par le fait que les problèmes proposés dans la majorité des livres semblent être «inventés», artificiels et sans rapport avec le monde réel. L'étudiant est ainsi amené à penser que la physique ne sert pas à grand-chose dans la vie quotidienne. Il en résulte un manque d'intérêt de sa part et il se contente de mémoriser son cours sans prendre conscience de son réalisme naïf et sans mettre en cause les idées ingénues qu'il se fait de l'univers physique et en particulier du mouvement des objets réels.

La capacité des étudiants à résoudre les problèmes d'un livre conventionnel de physique ne se traduit pas nécessairement par la compréhension des aspects conceptuels de ces problèmes. La majorité des étudiants se plaignent souvent de ne pas savoir «comment commencer» à résoudre un problème. Leur méthode consiste alors à choisir par tâtonnement, parmi les formules qu'ils ont retenues par cœur, celles qui utilisent toutes les variables du problème. Ainsi, au lieu d'apprendre les

règles et les moyens de construire des modèles conceptuels des systèmes de l'univers, pour faciliter la résolution des problèmes correspondants, des étudiants finissent simplement par améliorer leur habileté à résoudre des problèmes de mathématiques, et à retenir un nouveau vocabulaire qui ne leur sert qu'à travestir leurs idées naïves. En se concentrant sur les représentations mathématiques et sur la résolution machinale des problèmes, les méthodes conventionnelles ne peuvent qu'encourager les étudiants à suivre cette voie. C'est ainsi qu'un étudiant peut réussir à un examen de physique sans avoir nécessairement compris les fondements conceptuels des problèmes posés. Nous remarquons ici que plus de la moitié des sujets participant à cette enquête ont réussi aux examens du cours de P110!

En somme, les résultats de cette enquête mettent en relief les failles de nos méthodes d'enseignement. Ces méthodes pourraient être responsables des échecs constatés et ne serviraient qu'à produire des diplômés sans formation scientifique réelle. Pour remédier à cet état des choses, enseignants et chercheurs devraient s'atteler à élucider davantage le réalisme naïf afin de trouver les moyens d'amener les enseignés à passer de ce réalisme naïf au réalisme de l'homme de science.

Remerciements

L'auteur voudrait remercier M. J. Maroun et Dr M. Kraidy pour les soins qu'ils ont prêtés à la préparation de cet article, ainsi que Dr. J. Sfeila et ses étudiants de P110 qui ont participé à cette enquête.

BIBLIOGRAPHIE

1. PIAGET, J., «Equilibration and the Development of Logical Structures», in *Discussions on Child Development*, by J.M. Tanner et B. Inhelder (Editors) Tavistock Publications, London, 1960.
2. Une bonne recherche sur le même sujet, d'une perspective piagétienne, peut être trouvée dans: INHELDER B., SINCLAIR H., et BOVET M., *Learning and the Development of Cognition*, Harvard University Press, Cambridge, Mass, 1974.
3. CHAMPAGNE, A.B. et KLOPPER, L.E., «A Causal Model of Students Achievement in a College Physics Course», *Journal of Research in Science Teaching*, 1982, 19, 299-309.
4. CHAMPAGNE, A.B., KLOPPER, L.E., et ANDERSON, J.H., «Factors Influencing the Learning of Classical Mechanics», *American Journal of Physics*, 1980, 48, 1074-1079.
5. CHAMPAGNE, A.B., KLOPPER, L.E., SOLOMON, C.A., et CAHN, A.D., *Interaction of Students Knowledge with their Comprehension and Design of Science Experiments*, LRDC, University of Pittsburgh, 1980.
6. CLEMENT, J., «Students Preconceptions in Introductory Mechanics», *American Journal of Physics*, 1982, 50, 66-71.
7. MCCLOSKEY, M., CARAMAZZA, A., et GREEN, B., «Curvilinear Motion in the Absence of External Forces», *Science*, 1980, 210, 1139-1141.
8. CARAMAZZA, A., MCCLOSKEY, M., et GREEN, B., «Naive Beliefs in «Sophisticated» Subjects: Misconceptions about Trajectories of Objects», *Cognition*, 1981, 9, 117-123.
9. GUNSTONE, R.F., et WHITE, R., «Understanding of Gravity Related Phenomena», *Problem Solving*, 1981, 2, 4-5.
10. VIENNOT, L., *European Journal of Science Education*, 1979, 1, 205.
11. ABOU HALLOUN, I., et HESTENES, D., «The Initial Knowledge State of College Physics Students», *American Journal of Physics*, 1985, 53, 1043-1055.
12. ABOU HALLOUN, I., et HESTENES, D., «Common Sense Concepts about Motion», *American Journal of Physics*, 1985, 53, 1056-1065.

ANNEXE

TEST DE MÉCANIQUE

(I) Deux corps A et B se déplacent à vitesse constante, chacun sur une piste. Les positions occupées par les deux corps aux mêmes instants sont indiquées dans la figure ci-dessous par les mêmes nombres. La flèche indique le sens du mouvement. Les points de départ ne sont pas indiqués.



1. Est-ce que les deux corps A et B peuvent avoir la même vitesse?
 - a) Oui, à l'instant «2».
 - b) Oui, à l'instant «5».
 - c) Oui, à l'instant «6».
 - d) Oui, aux instants «2» et «6».
 - e) Non.

* * *

(II) La figure ci-contre montre un corps lancé du point A, verticalement vers le haut. Ce corps atteint un point plus haut que C. B est un point situé à mi-chemin entre A et C ($AB = BC$). La résistance de l'air est négligeable.



2. Comment est la vitesse du corps au point C comparée à sa vitesse au point B?
 - a) La moitié de sa vitesse au point B.
 - b) Plus petite que sa vitesse au point B, mais n'en vaut pas nécessairement la moitié.
 - c) Égale à sa vitesse au point B.
 - d) Deux fois sa vitesse au point B.
 - e) Plus grande que sa vitesse au point B, mais n'en vaut pas nécessairement le double.
3. Durant sa montée, quelle(s) force(s) agit (agissent) sur le corps?
 - a) Son poids, agissant suivant la verticale descendante.
 - b) Une force qui maintient le mouvement, suivant la verticale ascendante.

- c) Les deux forces ci-dessus, la dernière étant constante.
- d) Les deux forces ci-dessus, la dernière diminuant le long du chemin.
- e) Une force ascendante agissant d'abord seule pour une courte durée après le lancement du corps, puis le poids s'y ajoute.

4. Après avoir atteint le point le plus haut de sa trajectoire au-dessus de C, ce corps rebrousse chemin pour tomber suivant la verticale descendante. En se dirigeant vers le bas, comment est la *vitesse* de ce corps au point B comparée à sa vitesse au même point lorsqu'il se dirigeait vers le haut?

- a) Plus petite que la vitesse qu'il a atteinte en se dirigeant vers le haut.
- b) Égale à la vitesse qu'il a atteinte en se dirigeant vers le haut.
- c) Deux fois la vitesse qu'il a atteinte en se dirigeant vers le haut.
- d) Plus grande que cette vitesse, mais pas nécessairement le double.
- e) Réponse impossible vu les données ci-haut.

5. Si le point A est assez haut, et négligeant toujours la résistance de l'air, est-ce que le corps en question peut atteindre une *vitesse maximale* qu'il maintient constante ensuite?

- a) Oui, en son chemin vers le haut.
- b) Oui, en son chemin vers le bas.
- c) (a) et (b) ci-dessus.
- d) Non.
- e) Réponse impossible vu les données ci-dessus.

III. La figure ci-contre montre un corps lâché du sommet A d'un plan incliné, de longueur AB et de pente (angle) θ données.



6. Quelle(s) variable(s) affecte(nt) la *vitesse* que ce corps atteint au niveau du sol, en B?

- a) La forme géométrique du corps.
- b) La surface du plan.
- c) La densité de l'air.
- d) (a) et (c) ci-dessus.
- e) (a), (b) et (c) ci-dessus.

7. Maintenant, on suppose que la *résistance de l'air est négligeable*, et que le plan est *tout à fait lisse*, quelle(s) variable(s) affecte(nt) la vitesse du corps au niveau du sol, B?

- a) La forme géométrique du corps.
- b) La masse du corps.
- c) (a) et (b) ci-dessus.

- d) La densité du corps.
- e) Aucune des réponses ci-dessus.

(IV) La figure ci-contre montre une balle attachée à un fil que vous tenez à la main au point O, et que vous tournez à grande vitesse dans un *plan vertical*. Le cercle montre la trajectoire de la balle. Les lignes droites émanant de O représentent des positions arbitraires du fil tournant dans le sens des flèches. Lorsque le fil atteint la *direction OA*, vous libérez la balle. On néglige la résistance de l'air et celle du fil.



8. Laquelle des trajectoires ci-dessous la balle suivra après avoir été libérée en A?



9. La *vitesse* de la balle le long du chemin choisi est:

(Si la trajectoire choisie fut (a), (b) ou (d) ci-dessus, choisissez l'une des réponses ci-dessous:)

- a) Constante.
- b) Décroissante de A jusqu'au sommet de la trajectoire, croissante ensuite.
- c) Décroissante de A jusqu'au sommet de la trajectoire où cette vitesse s'annule, et croissante ensuite.
- d) Croissante pour une certaine durée et constante ensuite.
- e) Croissante pour une certaine durée à la fin de laquelle cette vitesse commence à décroître jusqu'à atteindre le sommet au-delà duquel elle commence à croître.

(Si la trajectoire choisie fut (c) ou (e) ci-dessus, choisissez l'une des réponses ci-dessus:)

- a) Constante.
- b) Toujours croissante.
- c) Toujours décroissante.
- d) Croissante pour une certaine durée, constante ensuite.
- e) Décroissante pour une certaine durée, constante ensuite.

(V) La figure ci-contre montre un tube circulaire creux, étendu sur une table *horizontale lisse*. Une balle est tirée dans le bout A du tube pour en sortir du bout B glissant à grande vitesse.



10. Laquelle des trajectoires ci-dessous la balle suivra-t-elle sur la table, après avoir quitté le tube?



11. La vitesse de la balle le long de la trajectoire choisie est:

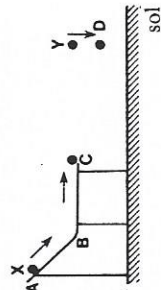
- Constante.
- Toujours croissante.
- Toujours décroissante.
- Constante pour une certaine durée, et croissante ensuite.
- Constante pour une certaine durée, et décroissante ensuite.

12. Sur la table, et le long de la trajectoire choisie, quelle(s) *force(s)* agit (agissent) sur la balle?

- Le poids de la balle, agissant suivant la verticale descendante.
- Une force venant de la table, suivant la verticale ascendante.
- Une force horizontale, dans le sens du mouvement.
- (a) et (b).
- Toutes les forces ci-dessus.

* * *

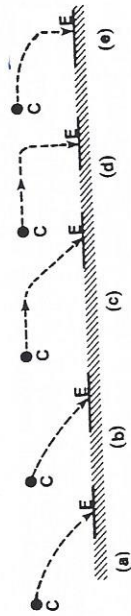
(VI) Au côté gauche de la figure ci-contre, on montre une balle X descendant un plan incliné AB, puis glissant sans frottement sur une piste horizontale BC. Au point C, la balle quitte la piste pour se mouvoir dans le vide. La résistance de l'air est négligeable.



13. La *vitesse* de la balle sur la piste horizontale BC est:

- Constante.
- Toujours croissante.
- Toujours décroissante.
- Croissante pour une certaine durée, et constante ensuite.
- Constante pour une certaine durée, et décroissante ensuite.

14. Laquelle des trajectoires ci-dessous la balle suivra-t-elle après avoir quitté la piste en C?



15. La *vitesse* de la balle le long du chemin choisi est:

- Constante.
- Toujours croissante.
- Toujours décroissante.
- Constante pour une certaine durée, et croissante ensuite.
- Aucune des réponses ci-dessus n'est correcte.

16. Au-delà de C, et le long du chemin choisi dans la question 14, quelle(s) *force(s)* agit (agissent) sur la balle?

- Le poids de la balle, agissant suivant la verticale descendante.
- Une force horizontale qui maintient le mouvement.
- Une force dont la direction varie avec celle du mouvement.
- (a) et (b).
- (a) et (c).

Au même instant où la balle X quitte la piste en C, et d'un point situé au même niveau horizontal que C, une balle Y identique à X est lâchée (du repos) pour tomber suivant la verticale descendante.

17. Lorsque la balle Y atteint le point D, où sera la balle X?

- Au même niveau horizontal que D.
- Au-dessus de D.
- Au-dessous de D.
- La position de X dépendra de la hauteur de D.
- Aucune des réponses ci-dessus n'est correcte.

18. Laquelle des deux balles X et Y arrive d'abord au niveau du sol?

- Balle X.
- Balle Y.
- Les deux balles arrivent au niveau du sol au même instant.
- Ça dépend de la hauteur de C.
- Aucune des réponses ci-dessus n'est correcte.

19. Laquelle des deux balles arrive au niveau du sol avec la *plus grande vitesse*?

- Balle X.
- Balle Y.
- Les deux balles arrivent au niveau du sol avec la même vitesse.
- Ça dépend de la hauteur de C.
- Aucune des réponses ci-dessus n'est correcte.

20. Si la piste BC était étendue au-delà de C pour que la balle X ne quitte jamais cette piste, où sera cette balle au *même instant* où la balle Y atteint le sol?

- Verticalement au-dessus du point E où la balle X aurait touché le sol dans la question 14.
- A droite de E.
- A gauche de E.
- Ça dépend de la hauteur de C.
- Aucune des réponses ci-dessus n'est correcte.

(VII) La figure ci-dessous montre une balle glissant sans frottement à *vitesse constante* sur un plan *horizontal* du point A au point B où la balle reçoit un coup de pied *horizontal* dans la direction de la grande flèche.



21. Laquelle des trajectoires ci-dessous la balle suivra-t-elle sur le plan horizontal *après* avoir reçu le coup en B?



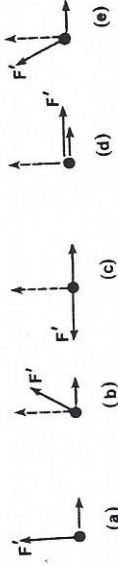
- Comment est la *vitesse* de la balle *juste après* avoir reçu le coup en B?
 - Égale à la vitesse u qu'elle avait avant de recevoir le coup.
 - Égale à la vitesse v due au coup, et indépendante de la vitesse u à laquelle la balle glissait avant le coup.
 - Plus petite que chacune des deux vitesses u et v .
 - Égale à la somme arithmétique des vitesses u et v .
 - Plus grande que chacune des deux vitesses u et v , mais plus petite que leur somme arithmétique.

23. *Le long du chemin choisi*, comment est la vitesse de la balle *après* avoir reçu le coup en B?

- Constante.
- Toujours croissante.
- Toujours décroissante.
- Croissante pour une certaine durée, et constante ensuite.
- Constante pour une certaine durée, et décroissante ensuite.

(VIII) La figure ci-contre montre une balle qui doit glisser sans frottement sur un plan horizontal. La balle est soumise à une force F représentée par un vecteur.

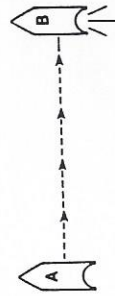
24. Si la balle doit glisser suivant la direction de la ligne pointillée, une *deuxième force* F' doit être appliquée sur la balle en plus de F . Laquelle des forces ci-dessous représente F' le mieux?



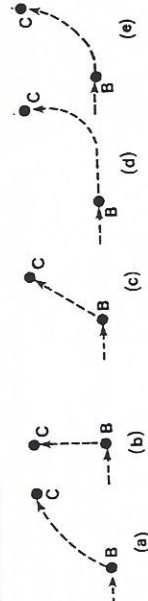
25. Lorsque les deux forces agissent simultanément sur la balle, sa *vitesse* le long de la ligne pointillée est:

- Constante.
- Toujours croissante.
- Toujours décroissante.
- Croissante pour une certaine durée, et constante ensuite.
- Constante pour une certaine durée, et décroissante ensuite.

(IX) La figure ci-contre montre une fusée se mouvant dans l'espace, dans la direction de la ligne pointillée. Entre A et B, *aucune force externe* n'agit sur la fusée. Quand elle atteint le point B, la fusée met en marche ses moteurs à débit constant jusqu'à ce qu'elle atteigne un certain point C dans l'espace.



26. Laquelle des trajectoires ci-dessous la fusée suivra-t-elle de B à C?



27. En se mouvant de B à C, la *vitesse* de la fusée est

- Constante.
- Toujours croissante.
- Toujours décroissante.
- Croissante pour une certaine durée, et constante ensuite.
- Constante pour une certaine durée, et décroissante ensuite.

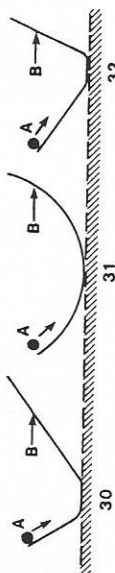
28. Au point C, les moteurs de la fusée sont éteints. Laquelle des trajectoires ci-dessous la fusée suivra-t-elle au-delà de C?



29. Au-delà de C, la vitesse de la fusée est:

- Constante.
- Toujours croissante.
- Toujours décroissante.
- Croissante pour une certaine durée, et constante ensuite.
- Constante pour une certaine durée, et décroissante ensuite.

(X) Dans la figure ci-dessous, on montre trois pistes lisses dressées dans un plan vertical. Une balle au repos est lâchée du sommet A au côté gauche de chacune des pistes.

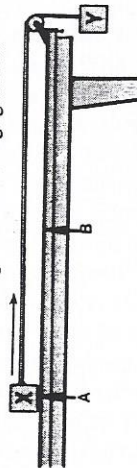


Les questions 30, 31 et 32 sont identiques, mais elles s'adressent respectivement aux trois figures ci-dessus:

Quel est le point le plus haut que la balle peut atteindre au côté droit de chacune des pistes?

- Le point B qui est au même niveau horizontal que le point A.
- Un point plus bas que B.
- Un point plus haut que B.
- Ça dépend de la hauteur de A.
- Ça dépend de la grandeur de la balle.

(XD) La figure ci-dessous montre deux corps X et Y reliés par un fil sans masse. Le fil glisse sans frottement autour de la gorge d'une poulie. Lâché, le corps Y tire le corps X dans la direction de la flèche sur une table lisse et horizontale. La résistance de l'air et la masse de la poulie sont négligeables.



33. La vitesse du corps X est:

- Constante.
- Toujours croissante.
- Toujours décroissante.
- Croissante pour une certaine durée, et constante ensuite.
- Constante pour une certaine durée, et croissante ensuite.

34. Lorsque le corps X atteint le point B, le fil est rompu. Le corps X alors:

- S'arrête en B.
- Continue à glisser à vitesse constante.
- Glisse à vitesse croissante.
- Glisse à vitesse décroissante.
- Glisse à vitesse croissante pour une certaine durée, puis commence à ralentir.

Le corps Y est maintenant remplacé par un autre Z. Le dernier exerce une poussée deux fois plus grande que celle exercée par Y sur X. Le corps X est ramené au point A, et l'on répète l'expérience. De nouveau, lorsque le corps X arrive au point B, le fil est rompu.

35. Quelle sera la vitesse du corps X, due à l'action du corps Z au point B comparée à sa vitesse préalable au même point due à l'action du corps Y?

- La moitié de sa vitesse préalable.
- Plus petite que cette vitesse, mais pas la moitié.
- Égale à cette vitesse.
- Deux fois cette vitesse.
- Plus grande que cette vitesse, mais pas le double.

36. Quelle sera la durée nécessaire pour que le corps X traverse le trajet AB sous l'action du corps Z, comparée à la durée préalable fallue pour traverser le même trajet sous l'action du corps Y?

- La moitié de la durée préalable.
- Plus petite que cette durée, mais pas la moitié.
- Égale à cette durée.
- Deux fois cette durée.
- Plus grande que cette durée, mais pas le double.