

EXPLICATION DU MOUVEMENT PARABOLIQUE PAR LES ELEVES DE TERMINALE SCIENTIFIQUE

Didier Anago, Eugène Oke et Cécile de Hosson

Institut de Mathématique et de Sciences Physiques, Université d'Abomey Calavi

Laboratoire de Didactique André Revuz (LDAR), Université Paris Diderot

INTRODUCTION

La chute libre est au programme de Terminale scientifique au Bénin. Son enseignement est basé sur une progression qui consiste à établir « l'équation cartésienne de la trajectoire du projectile et la déduction de la nature du mouvement » puis à démontrer pourquoi « le projectile en mouvement dans le champ de pesanteur uniforme est un système conservatif. » (DIP, 2011). De notre point de vue, cette manière d'aborder le mouvement parabolique n'est pas suffisante pour permettre une compréhension et une appropriation de la chute libre complète et cohérente, notamment lorsqu'il s'agit pour les élèves de représenter des trajectoires de projectiles dans le champ de pesanteur lancés sous différentes conditions initiales (vecteur vitesse différent). Ce soupçon est renforcé par Prescott (2004) qui montre que la parabole n'est pas la courbe privilégiée des étudiants pour représenter le mouvement de chute libre y compris après enseignement. L'histoire des sciences est également un bon témoin du temps qu'il a fallu pour que la parabole devienne la modélisation géométrique de la chute libre dans le champ de pesanteur, quelles que soient les conditions initiales du lancer (Eckstein, 1997). Par ailleurs, nous avons constaté qu'aucune étude n'a été réalisée sur ce point en Afrique et particulièrement au Bénin. Au-delà, nous souhaitons également concevoir un outil d'enseignement à partir de nos résultats, résultats qui font l'objet de cette communication.

CADRE THÉORIQUE

Notre étude exploratoire se développe conceptuellement à partir de l'idée qu'il est possible de reconstruire des types de raisonnement ou "conceptions" à partir des réponses d'élèves confrontés à des situations comparables du point de vue des concepts physiques qu'elles engagent. Dans cette perspective, nous adoptons l'approche de Tiberghien et Vince (2005) qui définissent une conception comme

un ensemble de connaissances ou de procédures hypothétiques que le chercheur attribue à l'élève dans le but de rendre compte des conduites de l'élève dans un ensemble de situations données. Cet ensemble de connaissances ou procédures hypothétiques doit aussi être trouvé chez plusieurs élèves pour constituer une conception (p.1).

Ce travail de reconstruction s'opère à partir du repérage de réponses identiques ou proches données par un grand nombre d'élèves à des questions comparables du point de vue de la conception conjecturable et donc du type de réponses produit. Il va donc s'agir ici de proposer différentes situations de lancer, modélisées par une même loi physique (celle de la chute libre) qui conduisent à considérer le mouvement parabolique comme la composition de deux mouvements, l'un horizontal rectiligne et uniforme, l'autre vertical, rectiligne et uniformément accéléré et que le résultat de cette composition est toujours une parabole dans un référentiel terrestre supposé galiléen (*la résistance de l'air et les frottements sont négligeables*), dont l'allure dépendra des conditions initiales du lancer (c'est à dire : orientation et intensité du vecteur vitesse à l'instant $t = 0$ du lancer). Spécifiquement, c'est l'influence des conditions initiales sur les schématisations des élèves qui nous intéressent. Nous y associons une recherche de pertinence des forces que les élèves associent au projectile pendant son mouvement.

PROBLÉMATIQUE ET QUESTIONS DE RECHERCHE

Nous nous sommes intéressés à la manière dont des élèves béninois ayant reçu un enseignement de mécanique qui inclut le mouvement parabolique, représentent des trajectoires de projectiles lancés sous différentes conditions initiales de vitesse et quelles forces (appliquées sur le projectile) sont mentionnées, représentées ou activées pour plusieurs instants du mouvement (juste après le lancer, au milieu de la course, juste avant l'arrêt du projectile). Pour cela nous avons voulu savoir : quelles sont les lignes de cohérence mobilisées par les élèves béninois lorsqu'ils représentent graphiquement le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur (dans un référentiel supposé galiléen) ? Dans quelle mesure et sous quelles conditions (initiales) ces lignes sont-elles conformes au savoir de la physique ?

MÉTHODOLOGIE DE RECUEIL ET D'ANALYSE DES DONNÉES

Nous avons élaboré un questionnaire (cf. annexe 1) mettant en scène différentes situations de lancer de projectile avec une variable didactique essentielle qu'est la condition initiale, la vitesse V_0 à $t=0$ (l'instant du lancement du projectile). Pour rechercher des lignes de cohérence, nous avons fait varier l'orientation du vecteur vitesse (vers le haut verticalement ; vers le haut obliquement ; horizontalement, obliquement vers le bas). Nous faisons l'hypothèse qu'un élève qui aurait construit l'idée de parabole comme résultat d'une composition de deux mouvements ne devrait avoir aucun problème à répondre de manière cohérente à l'ensemble des situations proposées. L'échantillon est composé de 111 (cent onze) élèves de la classe de Terminale série D d'un établissement d'enseignement secondaire général¹. Pour examiner les réponses des élèves, les liens qu'ils établissent entre la trajectoire du projectile et les forces auxquelles le projectile est soumis, nous avons compilé les réponses en regroupant les réponses semblables, une question à la fois, chacune prise séparément, en fonction des différentes schématisations obtenues. Nous avons distingué les réponses correctes, incorrectes et incomplètes. Dans un deuxième temps, nous avons interprété l'ensemble des réponses identifiées dans les catégories retenues afin d'identifier les propositions cohérentes.

RÉSULTATS

Nous n'avons eu que peu de réponses complètement conformes, en termes de trajectoires et de bilan de forces. Moins de la moitié (46,8%) des élèves interrogés fournissent une réponse correcte en représentant un segment de droite vertical pour le lancer vertical. Parmi ceux-ci, seulement (36,7 %) fournissent une réponse correcte à l'ensemble des jets non verticaux en représentant une parabole. Nous avons repéré dans les dessins des élèves 67,3 % qui ont fourni une réponse incorrecte, une typologie de trajectoires inappropriées en désaccord avec les modèles de la mécanique, dont les plus significatives sont : *la trajectoire rectiligne* (32%) ; *la trajectoire rectiligne plus curviligne* (17%) ; *une trajectoire curviligne plus rectiligne* (11,5%) ; et *curviligne* (6,9 %). Le tableau 1 récapitule les réponses des schématisations de la trajectoire du projectile réalisées par les élèves interrogés pour les quatre premières situations.

¹ Données recueillies au collège « les Merveilles » de la ville de Parakou (Bénin) auprès de 111 élèves de terminale D.

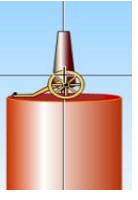
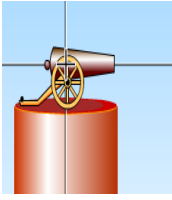
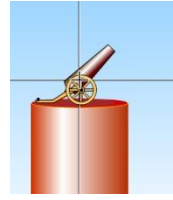
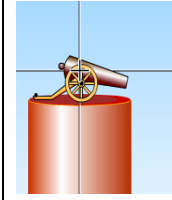
Trajectoire selon l'axe de tir	Schématisation correcte de la trajectoire (N=111)			
				
Rectiligne verticale	46,8 %			
Parabolique		38,7 %	84,6 %	36,7%

Tableau 1 : Schématisation correcte de la trajectoire du projectile de canon

Une analyse fine des schématisations des trajectoires, combinée avec le bilan des forces, permet de noter que parmi les élèves ayant produit une schématisation correcte de la trajectoire pour l'ensemble des situations, seulement (8%) des élèves représentent le poids du projectile correctement au départ. Les autres élèves rajoutent au poids une force supplémentaire colinéaire à la trajectoire dans le sens du déplacement. Cette erreur nous interpelle sur la source de cette force colinéaire. Le choix du canon pour lancer le projectile n'aurait-il pas conduit les élèves interrogés à cette force ? Est-ce que la même erreur apparaîtrait si au temps 0 on observait un projectile avec la vitesse V_0 ? Sans précision sur l'origine de son mouvement ?

Cette difficulté est persistante chez certains (4,3 %) qui réduisent le bilan des forces à une seule et unique force qui agit dans le sens et la direction du mouvement (Clément, 1982). Le croisement entre les réponses nous a permis de cerner les erreurs liées à chaque type d'activité. Les situations de lancer (verticales et obliques), les plus utilisées dans le contexte scolaire ont eu de bons scores. Toutefois, il semble que le lancer oblique vers le bas est très significatif et n'obéit pas aux règles implicites que les élèves se donnent pour répondre, comme l'illustre le tableau 2.

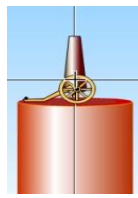
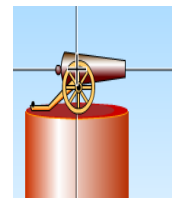
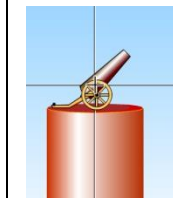
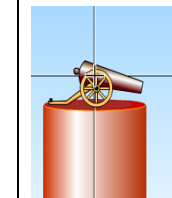
Trajectoire selon l'axe de tir	Inventaire correct du bilan des forces			
				
Juste après avoir quitté le canon	32,43 %	12,6 %	8 %	8 %

Tableau 2 : Bilan exhaustif des forces agissant sur le projectile juste après avoir quitté le canon

En recherchant les liens de cohérence entre les schématisations de la trajectoire et du bilan des forces sur l'ensemble des productions des élèves, on constate que très peu d'élèves (8%) conservent le même mode d'explication, en considérant l'angle de la vitesse initiale dans les différents contextes du mouvement. Les cas de deux élèves interrogés illustrent cette absence de cohérence, comme indiqué par la figure 1.

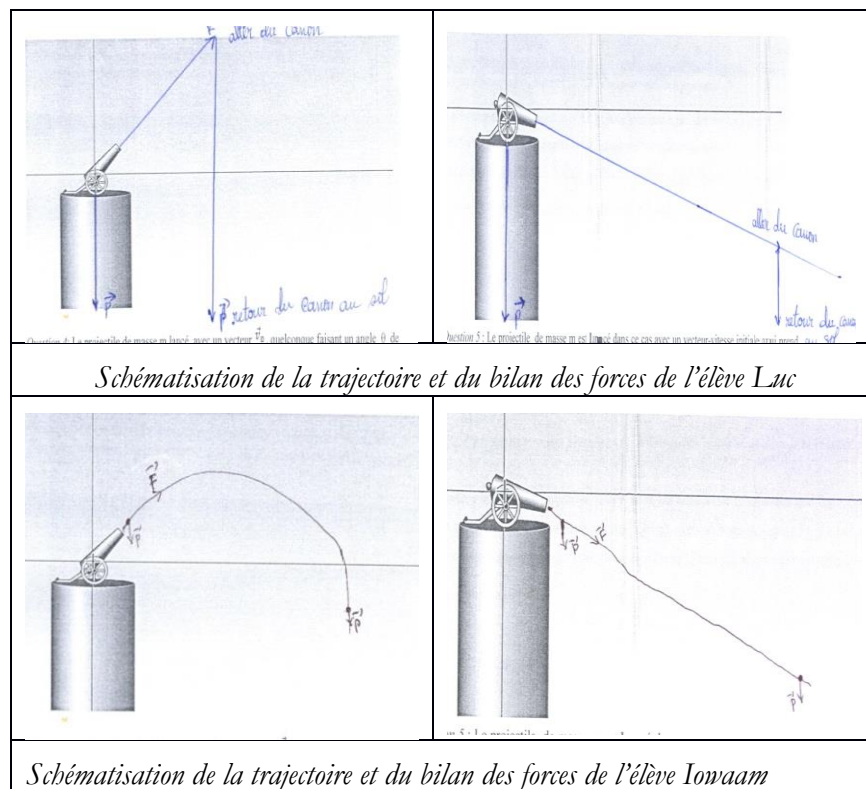


Fig. 1 : Schématisation de la trajectoire et bilan des forces d'élèves

DISCUSSION ET PERSPECTIVE

La majorité (92%) des élèves de la classe de Terminale interrogés présente des difficultés similaires à celles relevées par les travaux de Halloun et Hestenes (1984) sur les concepts de bon sens sur mouvement « les élèves détiennent la croyance préscientifique que chaque mouvement a une cause ». Selon Viennot (1979), « les élèves commettent la même erreur typique, mobilisent la même conception ». Nos résultats sont également conformes aux travaux de Prescott (2004) qui attestent que les élèves entretiennent « des fausses idées lorsqu'ils sont confrontés à une situation du mouvement des projectiles ». De même, la majorité des élèves interrogés ne tient pas compte de la vitesse initiale, tout comme dans l'étude de Caramazza (1981) qui indique que « près de la majorité des élèves dessine une ligne droite lorsque le fil est coupé alors que le pendule passe par la position d'équilibre ».

Les résultats de notre exploration démontrent qu'il faudrait travailler davantage sur les représentations des élèves de la trajectoire parabolique en les interrogeant sur plusieurs situations connexes. C'est la raison pour laquelle nous avons développé un exerciceur d'autoformation des élèves, d'investigation des erreurs et de remédiation. Il est composé de cinq activités : (une balle qui glisse sur un plan oblique puis horizontal et le quitte, un cycliste roulant à vitesse constante, qui lâche une balle, etc. (confère annexe 2 ou en ligne)². L'exerciceur est conçu à partir des erreurs des élèves, il permet une rétroaction et fournit des statistiques qui renseignent sur le profil de l'utilisateur (Coppens, 2009). Son but est de sensibiliser les enseignants à l'importance d'enrichir la dimension "algébrique" de cet enseignement, d'une dimension graphique.

² Exerciceur sur le mouvement parabolique que nous avons développé en ligne : www.ced-benin.org/projectile

BIBLIOGRAPHIES

- Caramazza, A. (1981). Naive beliefs in sophisticated subjects: Misconceptions about trajectories of motion. *Cognition*, 9, 117-132.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of physics*, 50(1), 66-71.
- Coppens, N. (2007). *Le suivi des conceptions des lycéens en mécanique : développement et usages d'exercices informatisés*. Université Paris 7, thèse de doctorat.
- Eckstein, S. G. (1997). Parallelism in the development of children's ideas and the historical development of projectile motion theories. *International Journal of Science Education*, 19(9), 1057-1073.
- Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1985a). L'état initial de connaissances des élèves collège de physique. *Américain Journal de Physique*, 53, 1043-1055.
- Direction de l'Inspection Pédagogique DIP (2011). *Le Guide des programmes Terminale C et D*. Ministère de L'Enseignement Secondaire, République du Bénin.
- Prescott, A. (2004). *Teaching and learning about projectile motion in senior high school*. University of Technology, Sydney.
- Tiberghien A., Vince J. (2005). Étude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du Français Contemporain*, 10, 153-176.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221.

ANNEXE 1

IDENTIFICATION DE L'ENQUETE

Nom et Prénom :

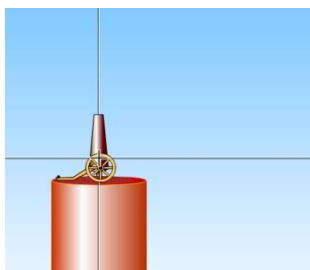
Classe :

QUESTIONNAIRE

On va étudier la trajectoire d'un projectile lancé avec un vecteur-vitesse initial \vec{v}_0 à l'aide d'un canon situé à une altitude de 30m de la surface du sol, dans un référentiel terrestre supposé galiléen. Dans chacune des situations ci-dessous, représente l'allure de la trajectoire du projectile.

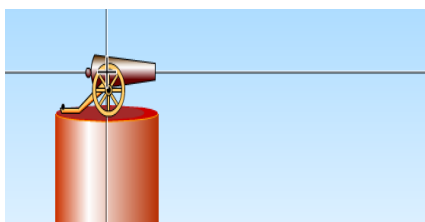
Question 1 : Le projectile de masse m lancé avec un vecteur-vitesse \vec{v}_0 quelconque faisant un angle θ de 90° avec le plan horizontal passant par l'axe du canon.

- Représente la trajectoire du projectile.
- Représente les forces qui s'exercent sur le projectile à la sortie de l'embouchure (juste après avoir quitté le canon).
- Représente les forces qui s'exercent sur le projectile juste avant qu'il ne touche le sol.



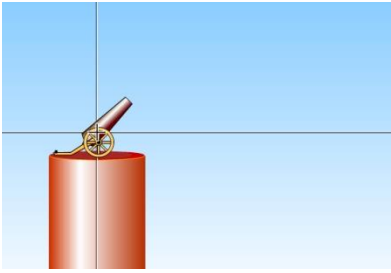
Question 2 : Le projectile de masse m lancé avec un vecteur-vitesse \vec{v}_0 , faisant un angle θ nul avec le plan horizontal passant par le canon.

- Représente l'allure de la trajectoire du projectile.
- Représente les forces qui s'exercent sur le projectile à la sortie de l'embouchure (juste après avoir quitté le canon).
- Représente les forces qui s'exercent sur le projectile juste avant qu'il ne touche le sol.



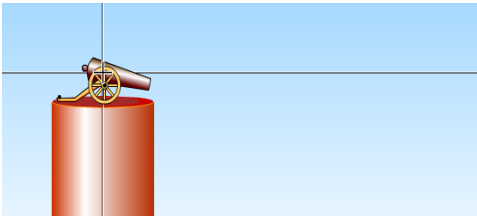
Question 3 : Le projectile de masse m lancé avec un vecteur-vitesse \vec{v}_0 quelconque faisant un angle θ de 45° avec le plan horizontal passant par l'axe du canon.

- Représente l'allure de la trajectoire du projectile.
- Représente les forces qui s'exercent sur le projectile à la sortie de l'embouchure (juste après avoir quitté le canon).
- Représente les forces qui s'exercent sur le projectile juste avant qu'il ne touche le sol.



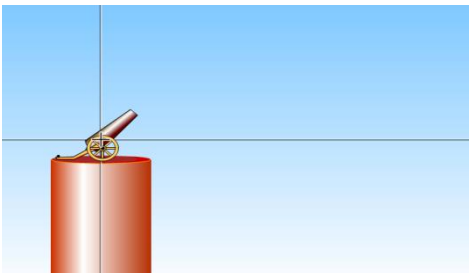
Question 4 : Le projectile de masse m lancé avec un vecteur \vec{v}_0 quelconque faisant un angle θ de 210° avec le plan horizontal passant par l'axe du canon.

- Représentez l'allure de la trajectoire du projectile.
- Représenter les forces qui s'exercent sur le projectile à la sortie de l'embouchure (juste après avoir quitté le canon).
- Représente les forces qui s'exercent sur le projectile juste avant qu'il ne touche le sol.



Question 5 : Le projectile de masse m est lancé dans ce cas avec un vecteur-vitesse initial qui prend trois (3) différentes valeurs respectivement \vec{v}_0 , $2\vec{v}_0$ et $3\vec{v}_0$.

- Représente l'allure des trajectoires du projectile sur le même graphique pour chacune des valeurs de la vitesse initiale.
- Comment appelle-t-on ces trajectoires ?
- Représente les forces qui s'exercent sur le projectile à la sortie de l'embouchure (juste après avoir quitté le canon).
- Représente les forces qui s'exercent sur le projectile juste avant qu'il ne touche le sol.



Justifier la réponse à la question b) :

ANNEXE 2

Comprendre la trajectoire parabolique

La contribution de cet exerciceur est l'élaboration d'un outil d'enseignement. Il s'agit d'utiliser un exerciceur informatique pour enseigner autrement le mouvement de projectile aux élèves de Terminale C et D, dans nos collèges. Chaque question présente une situation de jet de projectile.

Consignes:

Dans l'exerciceur cliquer sur **Valider** après avoir répondu à chaque question pour la prise en compte de votre réponse.

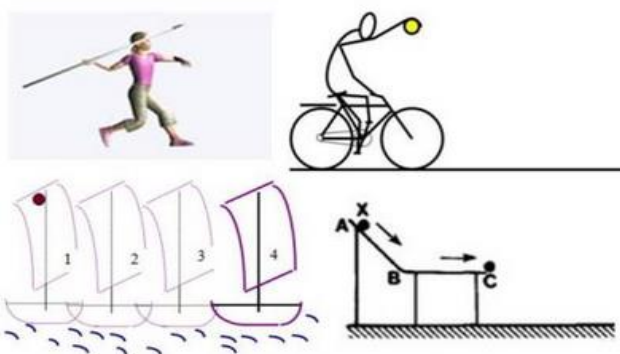
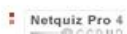
A la fin du test cliquer sur **Résultats** pour afficher vos résultats.

Vous avez la possibilité de repredre une question, cliquer sur **Repredre**.

Pour afficher la solution cliquer sur **Solution**

ANAGO Didier
Laboratoire de Didactique des Sciences et Technologies

Institut de Mathématiques et de Sciences
Physiques
Université d'Abomey Calavi Bénin



Une chute libre est un mouvement, dans le vide et principalement déterminé par la pesanteur ...

