

La dynamique élémentaire dans l'enseignement fondamental marocain : analyse des difficultés d'apprentissage de la notion de force

Introductory dynamics in Moroccan teaching at the junior high school level : analysis of learning difficulties concerning the notion of force

Abdeljalil MAAROUF, Mohammed KOUHILA

Groupe GIREST
École Normale Supérieure
BP 2400
Marrakech, Maroc.

Résumé

Ce travail tente d'analyser les difficultés rencontrées par des élèves marocains (15-17 ans) lors de l'étude de situations mécaniques scolaires modélisables en termes de force. Basée essentiellement sur une méthode qualitative, et plus particulièrement sur l'analyse des productions recueillies à l'issue de la passation d'un questionnaire et lors d'entrevues individuelles, la présente étude a permis, d'une part de mettre en relief les difficultés qui

se rapportent à des activités de modélisation, d'autre part d'en élucider les causes.

Mots clés : *force, physique, difficulté d'apprentissage, activité de modélisation, conception.*

Abstract

This research attempts to analyse difficulties encountered by Moroccan pupils (15-17 years) in solving school mechanical situations involving modelling that requires the use of the concept of force. Using a qualitative method, and in particular analysis of productions obtained through a questionnaire and individual interviews, this study has permitted in a way to detect learning difficulties due to modelling activities and to elucidate in other way the sources explaining these difficulties.

Key words : *force, physics, learning difficulties, modelling activities, conception.*

Resumen

Este trabajo intenta analizar las dificultades encontradas por alumnos Marroquies (15-17 años) a partir del estudio de situaciones mecánicas escolares modelizables en terminos de fuerza. El mismo estuvo basado esencialmente en un método cualitativo, particularmente en el analisis de producciones recogidas mediante la aplicación de un cuestionario y de entrevistas individuales, el presente estudio permitió, por una parte, poner en relieve las dificultades que se presentan en actividades de modelización, y por la otra, dilucidar sus causas.

Palabras claves : *fuerza, física, dificultad de aprendizaje, actividad de modelización, concepción.*

1. INTRODUCTION

Au cours des deux décennies qui s'achèvent, plusieurs travaux de recherche en didactique de la physique ont montré que les élèves, qui reçoivent les premiers cours de mécanique et même ceux qui en ont reçu un enseignement plus approfondi, se heurtent à des difficultés lors de l'apprentissage des concepts clés de cette discipline.

Clement (1982) a montré, entre autres, que la conception pré-galiléenne « *le mouvement implique la force* » résiste à l'enseignement et

constitue une source de difficultés persistantes qui entravent l'appropriation de la 2^e loi de Newton.

Quant à Viennot (1986), elle a décelé une typologie de réponses systématiques à propos de situations élémentaires qui font intervenir le concept de force. Les conceptions qui sous-tendent cette typologie reposent le plus souvent sur des raisonnements naturels cohérents. Les principales réponses fournies sont :

- adhérence entre la notion de force et celle de vitesse (Viennot, 1996) ;
- attribution de la force aux objets ;
- indifférenciation entre force, énergie, élan et impulsion ;
- capitalisation de la force : la force est stockée dans les objets ;
- inégalité de l'action et de la réaction : l'action l'emporte toujours sur la réaction.

Mohapatra (1989) a montré, pour sa part, que les différentes formulations de la loi d'inertie sont mal comprises par les élèves. Certaines expressions employées dans l'énoncé de cette loi n'aident pas les élèves à en saisir le contenu physique. Il a conclu, en outre, que certaines extrapolations erronées et généralisations abusives induisent des erreurs lors de l'étude des situations élémentaires de mécanique.

Twigger et al. (1994) ont étudié les conceptions de la force et du mouvement chez des élèves entre 10 et 15 ans. Ils ont conclu que la conception dominante chez leurs sujets est qu'un objet en mouvement possède un capital de « force » qui lui permet de se mouvoir. Si ce capital de « force » s'épuise, l'objet s'arrête.

Dans une étude portant sur une population pluriculturelle, Enderstein & Spargo (1996) ont validé la conception prédominante selon laquelle la force résultante exercée sur un système agit toujours dans le sens du mouvement en vue de le maintenir.

Le dénominateur commun des travaux cités et de bien d'autres (Fine Gold & Gorsky, 1991 ; Pfundt & Duit, 1991 ; Palmer, 1997 ; etc.), réside dans le fait qu'ils s'inscrivent tous dans le cadre d'un programme de recherche qui prend en compte uniquement les conceptions spontanées des élèves pour expliquer leurs difficultés d'apprentissage. À notre connaissance, peu de travaux ont eu recours aux activités de modélisation pour comprendre l'origine de ces difficultés dans le but de les surmonter.

Cet article présente une expérimentation dont l'objectif est de décrire les difficultés rencontrées par des élèves marocains au terme de

l'enseignement fondamental (grade 9) face à des situations scolaires familières dont la modélisation nécessite le recours au concept de force.

C'est ainsi que nous nous sommes appuyés sur les concepts de conception et d'activité de modélisation pour donner sens aux difficultés d'apprentissage de l'un des concepts les plus fondamentaux de la mécanique : la force. Comme le soulignent plusieurs auteurs (Maarouf & Benyamna, 1997 ; Mc Closkey, 1983), certaines difficultés d'apprentissage de la physique ne sont pas de simples accidents de parcours, au contraire elles reposent sur des raisonnements naturels bien établis.

L'objectif principal de ce travail est de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les difficultés rencontrées par les élèves de la 9^{ème} année du Fondamental (dernière année du collège en France) lors de l'étude des situations mécaniques modélisables en termes de « force » ?
- Quelles sont les conceptions sous-jacentes à ces difficultés ?

2. POURQUOI S'INTÉRESSER AUX DIFFICULTÉS D'APPRENTISSAGE DE LA FORCE ?

Le concept de *force* a fait couler beaucoup d'encre au sein de la communauté des chercheurs en didactique durant les vingt dernières années (Viennot, 1979 ; Clement, 1983 ; Galili & Bar, 1992). Selon Lemeignan & Weil-Barais (1993), les difficultés d'acquisition du concept de *force* tiennent surtout aux spécificités de cette notion. Contrairement à la quantité de mouvement ou à l'énergie qui sont des grandeurs transférables et conservées décrivant un système, la *force* est une grandeur non transférable et non conservée qui décrit un certain type de relation entre systèmes, relation à caractère symétrique (réciprocité des interactions). La *force* n'est pas une propriété intrinsèque d'un objet. Un objet n'a pas de « force » en lui-même. C'est un outil conceptuel qui permet de modéliser l'interaction entre au moins deux systèmes.

Les difficultés éprouvées par les élèves dans l'acquisition des premières notions de mécanique sont souvent attribuées à une insuffisance dans leurs connaissances mathématiques. Nous pensons plutôt que ces difficultés sont dues au fait que les élèves ne sont pas initiés aux processus intellectuels spécifiques à la physique, notamment aux activités de modélisation.

En regardant du côté des manuels d'enseignement (Ministère de l'Éducation Nationale, 1992, 1994), nous constatons que la *force* est toujours

introduite comme un concept qui décrit une catégorie d'objets, alors qu'il s'agit d'un concept formel (annexe 1). La catégorisation de la *force* (force à distance, force de contact, force localisée, force répartie, etc.) est à l'origine de certaines conceptions d'origine anthropomorphique (Kouhila, 1991). Dans la même veine, Lemeignan & Weil-Barais (1993) affirment que lorsqu'on introduit des classifications au début de l'enseignement d'une grandeur physique fondamentale telle que la *force*, on renforce implicitement chez les élèves l'idée selon laquelle les concepts de la physique sont de même nature que ceux avec lesquels ils sont familiers soit dans le langage courant soit en sciences naturelles. En effet, l'assimilation de la *force* à un concept classificatoire est d'autant plus aisée que la *force* est désignée par un vocable familier ayant une polysémie accentuée dans le langage quotidien.

Ainsi, pour aider les élèves dans l'apprentissage des concepts clefs de la physique, nous pensons qu'il est souhaitable de mettre en évidence la différence entre le sens commun et le sens conventionnel du concept enseigné. Le but étant de veiller à ce que les apprenants puissent créer par eux-mêmes des structures nouvelles de pensée (Kouhila, 1998).

3. ÉLÉMENTS MÉTHODOLOGIQUES

Notre expérimentation a été entreprise auprès de 20 élèves âgés de 15 à 17 ans poursuivant leurs études en 9^{ème} année du Fondamental (équivalent à la 3^{ème} dans le système français) durant l'année scolaire 96/97.

Les élèves en question ont suivi les premiers et les seuls cours de mécanique en 8^{ème} année. Ces cours ont porté essentiellement sur la notion de *force*, sa classification et sa représentation vectorielle (annexe 1).

Le but de cette expérimentation était de mettre en relief les difficultés éprouvées par les élèves dans des situations mécaniques simples qui font appel à la représentation vectorielle des forces exercées sur un système au repos ou en mouvement.

L'expérimentation s'est déroulée en deux phases. Dans une première étape, les élèves ont été invités à répondre individuellement et par écrit à un questionnaire comportant six situations (annexe 2). La question posée pour toutes les situations consistait à représenter schématiquement les forces exercées sur le corps C (système étudié). Nous avons varié les situations pour pouvoir faire des comparaisons entre les réponses des élèves. Ainsi, nous avons choisi des situations où le système étudié est au repos ou en mouvement dans différentes directions (horizontale, verticale ou inclinée).

Dans une deuxième étape, les élèves ont passé des entretiens individuels pour expliciter certaines de leurs réponses présentant des ambiguïtés. Chaque entrevue, réalisée sous forme d'une séance d'une demi-heure environ, a été enregistrée puis transcrite.

Puisque nous avons à traiter des réponses sous forme de discours et de représentations schématiques, nous avons eu recours à l'analyse de contenu de ces productions discursives et schématiques. Le premier travail d'analyse a consisté à subdiviser les productions des élèves en trois catégories en se plaçant dans la perspective des activités de modélisation. En effet, les trois catégories de réponses obtenues s'inscrivent dans trois types d'activités de modélisation que nous avons jugées nécessaires pour conceptualiser la notion de *force* :

- l'activité intellectuelle qui consiste à découper par la pensée l'univers physique en système à étudier et milieu extérieur ;
- l'activité de modélisation qui consiste à répertorier les actions mécaniques en termes de forces qui s'appliquent sur le système étudié ;
- l'activité physico-mathématique qui consiste à représenter par des vecteurs les forces modélisant les actions mécaniques qui s'exercent sur le système étudié.

Ces trois types d'activités de modélisation, couramment pratiquées en mécanique, nous ont servi de grille d'analyse des difficultés rencontrées chez les sujets de notre population.

Pour repérer les dites difficultés, nous avons procédé de la manière suivante, et ce pour chaque catégorie de productions :

- repérer les traits communs présents dans les réponses des élèves pour chaque situation. Par exemple, pour la situation 1, nous avons trouvé que 12 élèves sur 20 mettent dans le bilan des forces des actions exercées par le système sur d'autres corps ;
- repérer les traits communs présents dans les réponses des élèves pour les six situations.

Le croisement entre les réponses des élèves nous a permis de cerner les difficultés qui se rapportent à chaque type d'activité. Par exemple, pour les situations 3, 4, 5 et 6, nous avons trouvé que, pour 13 élèves sur 20, le bilan des forces est représenté par une flèche unique orientée suivant la direction et le sens du mouvement.

4. PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

L'analyse des données recueillies après passation du questionnaire et lors des entrevues, nous a permis de repérer d'une part les difficultés dues aux conceptions spontanées et d'autre part celles dues à la non initiation des élèves aux activités de modélisation. Il s'agit des activités de modélisation suivantes :

- définition du système à étudier ;
- inventaire des forces qui agissent sur le système ;
- représentation de ces forces à l'aide des entités vectorielles.

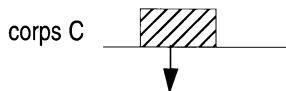
En effet, lors de l'étude d'un système lié mécaniquement à d'autres corps, la modélisation des interactions en termes de *force* entre le système à étudier et le milieu extérieur, nécessite la pratique des activités de modélisation susmentionnées dans l'ordre cité ci-dessus. Il s'ensuit qu'on ne peut faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur un système qu'on n'a pas bien défini au préalable. De même, on ne peut représenter les forces qui modélisent des interactions qu'on n'a pas répertoriées auparavant.

4.1. Difficultés liées à certaines activités de modélisation

4.1.1. Difficultés liées à la définition du système étudié

Dans le cas où les élèves ne préciseraient pas explicitement le système étudié (en l'entourant de pointillés par exemple), le bilan des forces est un indice qui va nous permettre de repérer les difficultés des élèves à l'égard de cette activité de modélisation. De cette façon, nous avons pu distinguer les difficultés suivantes :

- le bilan des forces comporte des forces exercées par le système sur d'autres corps (12/20) ;



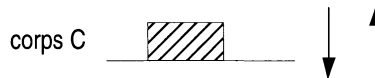
« Le corps C exerce une force sur la table. » (E3 ; S1)

(Le code (E3, S1) désigne un extrait de la réponse de l'élève 3 à la situation 1.)

Cette difficulté peut s'expliquer par la non-assimilation de la notion d'interaction, concept précurseur nécessaire à l'acquisition de la notion de *force*. En effet, le corps (C) est perçu par les élèves comme un agent d'action alors qu'on lui demande de le percevoir comme subissant l'action ;

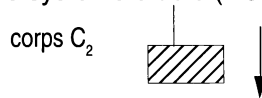
– le bilan des forces comprend des forces qui modélisent les actions réciproques entre le système étudié et d'autres corps en liaison directe ou indirecte avec le système en question (3 sur 20).

Cette difficulté tient au fait que même si certains élèves ont pris conscience de la réciprocité des interactions, ils l'appliquent aux corps qui ne sont pas en liaison directe avec le système étudié. Nous avons noté chez le sujet 16 la confusion entre la loi d'équilibre et la loi de l'action et de la réaction ;



« Le corps C exerce une force sur la table et la table exerce une force sur le corps C, c'est pour cela que le corps C est au repos. » (E 16 ; S 1) ;

– le bilan des forces comprend des forces qui s'exercent sur des systèmes autres que le système étudié (4 sur 20)



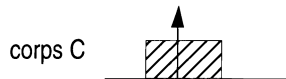
« La flèche représente la force exercée par le corps C_2 sur le fil et les poulies P_2 et P_1 ». (E18 ; S4)

Même si la question précise bien le système sur lequel va porter l'étude, certains élèves ont du mal à faire, par la pensée, un découpage de l'univers physique en milieu extérieur et en système étudié. Ainsi, ils ne font pas la distinction entre milieu extérieur et système étudié.

4.1.2. Difficultés liées à l'inventaire des forces exercées sur le système étudié

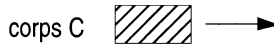
Lorsque les élèves réussissent à préciser le système à étudier, ils butent sur les difficultés se rapportant à l'inventaire des forces. À ce propos, nous avons pu repérer les difficultés suivantes :

– l'inventaire des forces est réduit aux forces de contact (11/20) ;



Il apparaît que l'interaction à distance n'est pas encore acquise chez la moitié des sujets de notre population. Ils estiment que les forces n'interviennent que si les systèmes mécaniques sont en liaison directe ou indirecte. Cette difficulté, due au sens commun, est à rapprocher de la conception aristotélicienne qui nie les actions à distance (Koyré, 1980 ; Hammou & Kouhila, 1996) ;

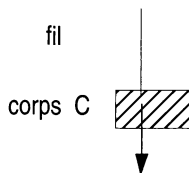
– le bilan des forces qui s'exercent sur le système étudié est réduit à une force unique qui agit dans le sens et la direction du mouvement (13/20) ;



(E14 ; S5)

Cette difficulté a été repérée par plusieurs chercheurs dont Enderstein & Spargo (1996). Elle est due au fait que, dans l'enseignement, la *force* est souvent associée à la mise en mouvement (Lemeignan & Weil-Barais, 1993). Ce type de difficulté nous paraît normal à ce niveau d'enseignement où la *force* est étudiée dans son aspect statique, et surtout où la vitesse et la *force* ne sont pas encore distinguées ;

– l'inventaire des forces se réduit à la force d'attraction exercée par la Terre (2/20) ;



(E8 ; S2)

– l'inventaire des forces est nul, autrement dit l'existence des forces agissant sur un système au repos est niée (1/20) ;



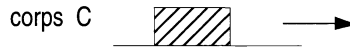
« Le corps C est en parallèle avec la table. Puisque celle-ci est horizontale, elle n'exerce donc aucune action sur C. » (E4 ; S1)

Ce type de difficulté a été repéré par Brown (1994) dans un travail sur le changement conceptuel. Enderstein & Spargo (1996) ont décelé cette même difficulté dans des situations où le système étudié est en mouvement (balle en chute verticale au sommet de son ascension).

4.1.3. Difficultés liées à la représentation vectorielle des forces

Plusieurs difficultés sont éprouvées par les élèves lors des activités relatives à la représentation vectorielle des forces. Nous nous contentons ici de présenter celles rencontrées chez la majorité des sujets de notre population :

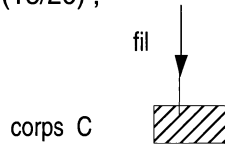
– le bilan des forces est représenté par un segment orienté suivant la direction et le sens du mouvement ;



« La force exercée va de C vers la poulie P, » (E10 ; S4)

Nous constatons que cette difficulté est compatible avec celle citée au paragraphe 4.1.2. et qui consiste à ramener le bilan des forces à une seule et unique force qui agit dans le sens et la direction du mouvement (Clement, 1982, 1983) ;

– le sens du vecteur-force est orienté du corps qui exerce la force vers celui qui la subit (16/20) ;



« La flèche représente la force exercée par le fil sur le corps C. » (E6 ; S2)

Cette difficulté, déjà soulignée par Viennot (1986, 1996), consiste à faire figurer, sur le corps A par exemple, une *force* désignée par « *force de A sur B* ».

En somme, l'activité de modélisation consistant à conceptualiser une notion intuitive telle que la *force*, par le biais d'une notion mathématique abstraite (le vecteur) est loin d'être acquise par la plupart de nos sujets. En effet, les élèves représentent la *force* par une flèche tracée n'importe comment et n'importe où. Ceci montre à l'évidence que les élèves se heurtent à des difficultés lorsqu'il s'agit de faire fonctionner le « *modèle vecteur-force* », même dans des situations scolaires qui leur sont familières.

Rappelons une fois de plus que les difficultés esquissées ci-dessus s'expliquent par le caractère spécifique de la *force*. Celle-ci décrit, comme nous l'avons souligné à plusieurs reprises, non pas un système mais les interactions réciproques entre systèmes. Cet état de fait est nouveau pour les élèves qui conçoivent la *force* comme un capital stocké dans un objet qui le cède à un autre (idée d'impétus) (Mc Closkey, 1983 ; Koyré, 1980). Les expressions « *avoir de la force* », « *donner de la force* » ne sont-elles pas souvent évoquées dans le langage quotidien ? Ainsi, la *force* est conçue comme une caractéristique inhérente aux objets. Ne peut-on pas conclure de ces propos que les difficultés liées aux activités de modélisation dépendent partiellement des difficultés dues aux conceptions spontanées ?

4.2. Conceptions sous-jacentes aux difficultés susmentionnées

Une analyse attentive des productions écrites de nos sujets ainsi que de leurs discours, nous a permis de repérer une typologie de réponses

en désaccord avec les modèles de la mécanique. Les difficultés éprouvées par les élèves ne sont pas d'ordre mathématique contrairement à une idée couramment reçue, mais elles sont plutôt dues, à notre avis, à différentes catégories de conceptions que les élèves se font à l'égard de la *force*.

La première catégorie concerne les conceptions inhérentes aux difficultés liées à l'activité consistant à délimiter le système à étudier. Il s'agit ici d'une seule conception : à savoir *la non-assimilation de la notion d'interaction*, concept précurseur nécessaire à l'acquisition de la notion de *force*. Nous pensons que cette conception est à l'origine des difficultés suivantes :

- les corps qui assurent la liaison entre le système étudié et d'autres corps, sont considérés comme support de transfert des interactions ;
- la non-distinction entre les forces s'exerçant sur un corps et celles exercées par ce dernier.

Dans la même veine, nous avons noté, dans certaines productions écrites, *une séparation spontanée entre la représentation vectorielle des forces et la représentation des objets matériels*. En effet, le vecteur force est un glisseur qu'on peut déplacer (dans le cas des situations de translation) sur la droite d'action ou sur toute droite qui lui est parallèle. Cependant, dans le cas de situations de rotation où interviennent les moments des forces, on ne peut glisser le vecteur force que le long de sa droite d'action.

La deuxième catégorie de conceptions concerne celles liées aux difficultés relatives à l'activité consistant à faire le bilan des forces. Il s'agit de deux conceptions :

- la première consiste à considérer que l'action à distance nécessite un milieu intermédiaire qui transmet l'interaction. Nous pensons que cette conception est à l'origine de *la difficulté consistant à réduire le bilan des forces aux actions de contact*. En effet, on dirait que *le poids n'est fonctionnel que dans les situations où le système étudié est en mouvement*. Ainsi, 14 des sujets interrogés sur 20 n'ont pas évoqué le poids du corps C dans le bilan des forces. Autrement dit, *le poids d'un corps est une force mal perçue surtout dans les situations 1 et 2 où le système étudié est au repos* ;
- la deuxième conception consiste à considérer que *la force implique le mouvement (ou pas de mouvement implique pas de force)*. Cette conception serait à l'origine des difficultés consistant soit à réduire le bilan des forces à une *force* unique agissant dans la direction et le sens du mouvement, soit à le considérer comme étant nul (cas de l'immobilité).

Quant à la troisième catégorie de conceptions, elle concerne deux conceptions qui engendrent les difficultés liées à l'activité consistant à représenter vectoriellement les forces :

– la première conception consiste à considérer la *force* comme cause efficiente du mouvement. Cette conception est à l'origine de la difficulté qui consiste à représenter les forces par une flèche unique orientée suivant la direction et le sens du mouvement.

En fait, la *force* n'est pas la cause de la modification du mouvement ou de la déformation d'un objet. Le « *responsable* » est un autre objet physique et la *force* n'est que l'agent causal. La *force* n'est pas liée à l'objet déformé mais à sa déformation. Ce type de conception, ancrée dans la pensée commune, explique la tendance spontanée à donner une importance prépondérante et parfois exclusive à la *force* qui met en mouvement.

– la deuxième conception consiste à considérer que *les objets matériels ont de la force (idée de capitalisation)*. Ainsi, la *force* est conçue comme un capital stocké dans un objet qui le cède à un autre (*idée d'impétus*). Cette conception est sous-jacente à la difficulté qui consiste à représenter la *force* de telle façon que son sens soit toujours orienté du corps qui exerce la *force* vers celui qui la subit. Cette conception exprime une idée de latence à propos de la *force*, alors qu'en mécanique, la *force* exprime une idée d'interaction entre au moins deux systèmes.

Le tableau 1 ci-dessous résume les relations qui existent entre les difficultés éprouvées par les élèves dans les trois activités de modélisation susmentionnées et les conceptions qui les sous-tendent.

Activité de modélisation	Sources de difficultés	Conceptions sous-jacentes
Définir le système à étudier	<ul style="list-style-type: none"> le bilan des forces comprend des forces agissant par le système sur d'autres corps (12/20) ; le bilan des forces comprend des forces traduisant des actions réciproques entre le système et les autres corps (3/20) ; le bilan des forces comprend des forces s'exerçant sur des systèmes autres que le système étudié (4/20). 	La non-assimilation de la notion d'interaction concept précurseur nécessaire à l'acquisition de la notion de force.
Faire le bilan des forces s'exerçant sur un système.	<ul style="list-style-type: none"> Le bilan des forces est réduit aux forces de contact (11/20). le bilan des forces est réduit à une force unique agissant dans la direction et le sens du mouvement (13/20) ; le bilan des forces est nul (dans le cas de l'immobilité) (1/20). 	<p>L'action à distance nécessite un intermédiaire matériel qui transmet l'interaction.</p> <p>La force implique le mouvement (ou pas de mouvement implique pas de force).</p>

Représenter les forces par des vecteurs.	Le bilan des forces est réduit à une force unique représentée par une flèche orientée suivant la direction et le sens du mouvement (13/20).	La force implique le mouvement.
	Le sens de la force est orienté toujours du corps qui exerce la force vers celui qui la subit (16/20).	Les objets ont de la force : la force est considérée comme un capital stocké dans un objet (<i>idée d'impétus</i>).

Tableau 1 : Les conceptions qui sous-tendent les difficultés liées aux activités de modélisation

À la lumière des commentaires et analyses ci-dessus, nous pensons que l'explicitation de ces difficultés en situation de classe, aide les élèves à percevoir la différence profonde entre une approche causale en termes de propriétés et une démarche de modélisation en termes de concepts et de relations entre ces concepts. La première démarche consiste à *mettre en relation les propriétés des objets avec les effets*. La seconde démarche consiste à *se représenter les objets dans les termes d'un modèle et à ne retenir que ce qui est pertinent au regard de celui-ci* (Lemeignan & Weil-Barais, 1993). Selon ces mêmes auteurs, *les inférences causales n'interviennent dans la démarche naturelle que sur le plan empirique ; tandis que dans la démarche de modélisation, les inférences exigent le recours à une représentation de nature hypothétique et à des calculs mathématiques sur cette représentation*.

Nous pensons, avec les auteurs cités ci-dessus, que les deux modes de fonctionnement, spontané et scientifique, doivent être explicités aux élèves lors des situations d'enseignement/apprentissage afin qu'ils en prennent conscience en vue d'accéder aux processus de pensée propres aux sciences physiques.

5. CONCLUSION

En guise de conclusion, nous pouvons avancer que les sources de difficultés rencontrées par les élèves marocains de la 9^{ème} année du Fondamental lors de l'apprentissage des premières notions de mécanique, peuvent s'expliquer par la non-intégration des processus de modélisation et de conceptualisation dans les structures cognitives des élèves. Les activités de modélisation sont quasiment absentes dans la pratique didactique. En effet, nous constatons que dans l'enseignement actuel de physique, que ce soit dans le Fondamental (9 ans) ou dans le Secondaire (3 ans), les expériences sont réalisées dans le seul but de correspondre à des modèles préfabriqués. En outre, *les représentations symboliques des concepts de la physique sont souvent parachutées par l'enseignant sans*

être discutées avec les élèves. Ainsi, l'élève est amené à accepter des modèles tout faits sans qu'il soit impliqué dans les processus intellectuels (problématisation, conceptualisation, modélisation, formalisation, etc.) qui mènent à leur élaboration. Il est tout simplement sollicité pour appliquer ces modèles afin de répondre à des questions écrites sur des situations elles-mêmes décrites.

Ainsi, les concepts et les modèles se présentent sous forme d'énoncés qui sont déconnectés des processus intellectuels qui les ont produits. Ces arguments nous permettent d'inférer que la physique, telle qu'elle est enseignée au Maroc, à l'instar de plusieurs pays à travers le monde, se ramène à des formules stéréotypées commentées par des phrases récitées dans les manuels scolaires ou dans les cahiers d'élèves.

Pour surmonter les difficultés d'apprentissage de la physique, nous pensons que les activités de conceptualisation et de modélisation devraient être au cœur de tout enseignement de la physique du Fondamental à l'Université.

Quant aux conceptions spontanées, nos résultats corroborent une fois de plus l'hypothèse couramment admise par les didacticiens : « *l'enseignement formel tel qu'il se pratique actuellement (inductivisme) a peu d'impact sur la déstabilisation des conceptions initiales* ». En effet, les conceptions spontanées sont tenaces car elles résistent à l'enseignement. La typologie de réponses évoquée au paragraphe 4.2., est probante à ce sujet.

On comprendra dès lors que, si on présente à l'élève des notions contradictoires avec ce qu'il pense ou s'il n'en perçoit pas l'intérêt, il n'aura pas tendance à les prendre en considération. Ceci explique, par exemple, que, même après un enseignement relatif à la *force*, les élèves continuent à penser la *force* comme une caractéristique intrinsèque d'un système et qu'elle agit dans le sens du mouvement.

Dans les situations d'enseignement, l'élève est rarement invité à expliciter ses idées initiales afin d'en prendre conscience. Il est rarement invité à prendre en compte clairement la différence entre ce qu'il pense et ce qu'on lui expose. Ceci le conduit à faire abstraction des idées nouvelles qu'on lui transmet car elles ne s'intègrent pas dans ses structures cognitives. Comme on l'invite à utiliser un nouveau symbolisme pour représenter les forces, il a tendance à croire qu'il ne s'agit que d'une façon de s'exprimer. Ainsi, il ne change ni de paradigme explicatif ni de registre conceptuel : il projette son arsenal notionnel spontané sur les situations physiques sans sentir la nécessité de changer de grille de lecture. L'élève pourra être ainsi capable de maîtriser le calcul vectoriel sans saisir en quoi la *force*, en physique, est différente sur le plan sémantique des *forces* qu'il connaît déjà à partir de son expérience personnelle.

Ces quelques considérations nous poussent à développer une réflexion à propos de la façon dont la *force* est présentée dans les manuels marocains d'enseignement. En effet, une analyse attentive et approfondie du manuel de la 8^{ème} année du Fondamental (3^{ème} année du collège), montre que la définition de la *force* est fondée sur la 2^{ème} loi de Newton. Le contenu de cette définition peut en effet être traduit par :

– dire que « *la force change l'état de repos d'un corps* » est équivalent à dire que

$$\begin{array}{ccc} \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow \\ \text{état 1 : } V_1 = 0 & \Rightarrow & \text{état 2 : } V_2 \neq 0 \end{array}$$

– dire que « *la force change le mouvement d'un corps* » est équivalent à dire que

$$\begin{array}{ccc} \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow & \rightarrow \\ \text{état 1 : } V_1 \neq 0 & \Rightarrow & \text{état 2 : } V_2 \neq 0 & (\text{avec } V_1 \neq V_2). \end{array}$$

Ceci résulte, dans les deux cas, du fait que la *force* est proportionnelle à la variation de vitesse par rapport au temps. En réalité, c'est par principe que la *force* est une grandeur vectorielle responsable du changement du mouvement, alors que les manuels scolaires présentent cette hypothèse comme une évidence empirique.

Notons en outre que la plupart des manuels suggère une démarche inductive là où la démarche devrait être, à notre sens, partiellement hypothético-déductive. En effet, l'attraction terrestre, les surfaces parfaitement lisses, les fils sans masse, sont autant d'hypothèses fertiles posées par les physiciens pour construire leurs modèles. Cependant, même si l'approche inductive des concepts physiques est beaucoup plus accessible aux élèves que la démarche basée sur l'émission d'hypothèses, nous estimons, avec Lemeignan & Weil-Barais (1993), que l'adoption d'une démarche hypothético-déductive pour enseigner la *force* est incontournable.

À l'issue de l'analyse que nous venons de développer à propos de la dynamique élémentaire telle qu'elle est présentée dans les manuels scolaires marocains, nous sommes en mesure de poser les questions qui suivent (Kouhila, 1995).

La dichotomie effet statique / effet dynamique introduite pour définir la *force* n'inculque-t-elle pas la fameuse opposition d'Aristote entre le repos et le mouvement ?

La diversité et la non-concordance entre les notions précurseurs de cause, d'action mécanique, d'interaction et de vecteur-force ne sont-elles pas autant de facteurs qui embrouillent l'élève dans son acquisition du concept de *force* ?

Comment peut-on concilier l'émergence historique tardive des entités vectorielles avec leur introduction hâtive dans le contexte de l'enseignement ?

Les mathématiques enseignées permettent-elles aux élèves une modélisation correcte et aisée des grandeurs physiques vectorielles ?

Le terme « *cause* » évoqué dans la définition de la *force* ne renforce-t-il pas la conception pré-galiléenne « *la force implique le mouvement* » ?

Autant de questions qui nous préoccupent et qui suscitent débats et controverses et pour lesquelles nous n'avons pas encore de réponses satisfaisantes.

BIBLIOGRAPHIE

- BROWN D.-E. (1994). Facilitating conceptual change using analogies and explanatory models. *International Journal of Science Education*, vol. 16, n° 2, pp. 201-214.
- CLEMENT J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Science Education*, vol. 50, n° 1, pp. 66-70.
- CLEMENT J. (1983). *Students' alternative conceptions in mechanics : a coherent system of preconceptions ?* Proceedings of conference on Students' Misconceptions in Science and Mathematics, Cornell University, New York.
- ENDERSTEIN L.-G. & SPARGO P.-E. (1996). Beliefs regarding force and motion : a longitudinal and cross cultural study of south african school pupils. *International Journal of Science Education*, vol. 18, n° 4, pp. 485-492.
- FINE GOLD M. & GORSKY P. (1991). Students' concepts of force as applied to related physical systems : a search for consistency. *International Journal of Science Education*, vol. 13, n° 1, pp. 97-113.
- GALILI I. & BAR V. (1992). Motion implies force : where to expect vestiges of the misconceptions ? *International Journal of Science Education*, vol. 14, n° 3, pp. 63-81.
- HAMMOU B. & KOUHILA M. (1996). Contribution à une approche historique et didactique du concept de force. In *Actes du 1^o Colloque Franco-maghrébin de Didactiques des Sciences, Faculté des sciences Dhar Elmahraz, Fès, Maroc*, pp. 157-159.
- KOUHILA M. (1991). Aspects linguistiques et épistémologiques dans l'émergence du concept de force. *Séminaire de lecture dans le cadre du 3^{ème} cycle de didactique des disciplines scientifiques, École Normale Supérieure, Rabat, Maroc*. (Inédit).
- KOUHILA M. (1995). Approche épistémologique et didactique des rapports Mathématiques/ Physique à travers le concept de vecteur-force. *1^{ères} Journées Franco-marocaines de Didactique de la Physique, Faculté des Sciences Dhar Elmahraz, Fès, Maroc* (Inédit).
- KOUHILA M. (1998). Les problèmes langagiers et conceptuels posés par la terminologie utilisée dans l'enseignement des sciences physiques. *Bulletin n° 12, Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech, Publication du Groupe de Didactique des Sciences de Marrakech (GDSM)*, pp. 17-22.
- KOUHILA M. (2000). Quelles activités de formation pourrait-on mettre à l'œuvre avec les stagiaires de l'E.N.S. en vue d'assurer une adéquation entre la formation à la didactique et la pratique professionnelle ? *Didaskalia*, n° 17, pp. 173-202.
- KOYRÉ A. (1980). *Études galiléennes*. Paris, Hermann.

- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en Physique*. Paris, Hachette.
- MAAROUF A. & BENYAMNA S. (1997). La construction des sciences physiques par les représentations et les erreurs. *Didaskalia*, n° 11, pp. 102-118.
- MC CLOSKEY M. (1983). L'intuition en Physique. *Pour la Science*, n° 68, pp. 68-76.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). *Physique, 1^{ère} année du Secondaire*. Casablanca, Imprimerie Ennajah Eljadida.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1994). *Sciences Physiques, 8^{ème} année du Fondamental*. Casablanca, Imprimerie Almadariss.
- MOHAPATRA J.-K. (1989). Pupils, teachers, induced incorrect generalization and the concept of force. *International Journal of Science Education*, vol. 11, n° 4, pp. 429-436.
- PALMER D. (1997). The effect of context on students' reasoning about forces. *International Journal of Science Education*, vol. 19, n° 6, pp. 681-696.
- PFUNDT H. & DUIT R. (1991). Bibliography : students' alternative frameworks and science education, *I.P.N, In - Brief*.
- TWIGGER D., BYARD M., DRIVER R., DRAPER S., HARTLEY R., HENNESSY S., RAMZAN M., O'MALLEY C., O'SHEAT T. & SCANLON E. (1994). The conception of force and motion of students aged between 10 and 15 years : an interview study designed to guide instruction. *International Journal of Science Education*, vol. 16, n° 2, pp. 215-229.
- VIENNOT L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris, Hermann.
- VIENNOT L. (1986). Bilans des forces et loi des actions réciproques : analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 951-971.
- VIENNOT L. (1996). *Raisonnement en Physique, la part du sens commun*. Bruxelles, De Boeck.

ANNEXE 1

Le modèle « force » à travers le manuel de la 8^{ème} année du Fondamental (Kouhila, 2000)

1. Les objectifs d'enseignement

L'élève doit être capable à l'issue de ce cours de :

- définir un système à étudier ;
- classer les différentes forces ;
- faire l'inventaire des forces exercées sur un système ;
- représenter la force par un vecteur.

2. Le champ empirique

À l'aide de plusieurs situations de la vie quotidienne, la notion de force est introduite à partir de ses effets statiques et dynamiques.

Ensuite, on donne la définition suivante :

La force est toute cause capable de :

- *changer l'état de repos ou de mouvement d'un corps (effet dynamique) ;*
- *déformer un corps ou le maintenir en équilibre (effet statique).*

Une première catégorisation des forces est fournie : forces de contact et forces à distance.

Ensuite, une deuxième classification des forces est donnée : forces intérieures et forces extérieures.

Cette classification est suggérée par l'introduction de la notion importante de système étudié qui consiste à séparer, par la pensée, le système étudié et le milieu extérieur.

3. Le champ théorique

Après avoir esquissé ses caractéristiques, la force est représentée par un vecteur-force dont les propriétés sont :

- le point d'application ;

À ce propos, les traits de modélisation suivants suggèrent une 3ème classification :

- si la surface de contact est réduite en un point, on parlera de forces localisées ;
- si la surface de contact est non négligeable, on parlera de forces réparties ;
- si la surface de contact est lisse, on négligera les forces de frottements ;
- si la surface de contact est rugueuse, on parlera des forces de frottements.

- la droite d'action ;
- le sens ;
- l'intensité.

ANNEXE 2

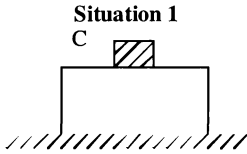
Questionnaire

Dans chacune des six situations présentées ci-dessous, représentez les forces s'exerçant sur le corps C. On donne :

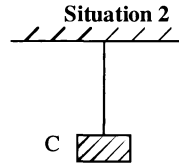
masse du corps C, $m = 1 \text{ kg}$; masse du corps C_1 , $m_1 = 0,5 \text{ kg}$;

masse du corps C_2 , $m_2 = 1,5 \text{ kg}$; intensité de la pesanteur, $g = 10 \text{ N/kg}$

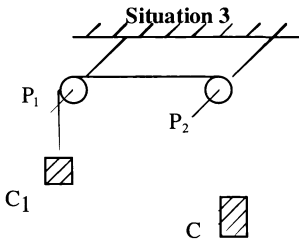
Les frottements entre le corps C et les plans π_1 et π_2 sont négligés. On suppose que le fil utilisé dans les situations 3, 4, 5 et 6 est inextensible.



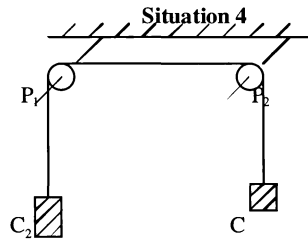
Le corps C est posé sur une table horizontale.



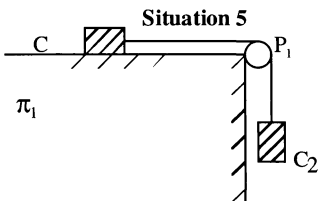
Le corps C est suspendu par un fil.



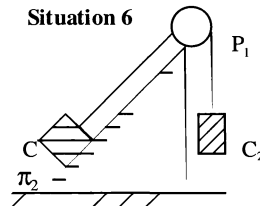
Le corps C se déplace vers le bas.



Le corps C se déplace vers le haut.



Le corps C se déplace de gauche à droite.



Le corps C se déplace vers la poulie P_1 .

Cet article a été reçu le 21/10/98 et accepté le 01/04/99.