

Analyse des difficultés des élèves de deuxième année Baccalauréat marocain en résolution de problèmes de Mécanique

ALI OUASRI

*Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation, Rabat
Maroc
aouasri@yahoo.fr*

RÉSUMÉ

Cet article analyse les difficultés rencontrées par les élèves (18-19 ans) de trois classes de deuxième année baccalauréat marocain, en activités de résolution de problèmes de physique. L'analyse des productions écrites des élèves est effectuée d'une part en termes des tâches réussies, échoués et non traités, et d'autre part en termes de connaissances, déclaratives ou procédurales, que les élèves mobilisent pour réaliser ou non une telle tâche. Il en résulte que le nombre des élèves à réussir une telle tâche est beaucoup plus important que celle-ci est relative aux connaissances déclaratives. Quand il s'agit des tâches dont la réalisation nécessite la mobilisation des connaissances procédurales, le nombre d'élèves devient moins important, et peu d'élèves ont des habilités leur permettant d'atteindre l'étape autonome dans le processus de production de connaissances procédurales.

MOTS-CLÉS

Résolution de problèmes, enseignement, apprentissage, connaissance, déclarative, procédurale

ABSTRACT

This article tries to analyze the difficulties encountered by the pupils (18-19 years) of three classes of second year Moroccan baccalaureat, in activities of problems solving of physics. The analysis of the written productions of the pupils is carried out in terms of the successful, failed and untreated tasks, and then in terms of declaratory or procedural knowledge that the pupils mobilize to carry out or not such task. When it is the tasks whose realization requires the mobilization of procedural knowledge, the number of pupils becomes less important, and few pupils have abilities enabling them to reach the autonomous step in the production process of procedural knowledge.

KEYWORDS

Problem solving, teaching, learning, knowledge, declaratory, procedural

INTRODUCTION

La résolution de problèmes se situe parmi les activités intellectuelles les plus complexes ; elle suppose non seulement la maîtrise des connaissances et habiletés de base, mais aussi la combinaison ou la réorganisation des données dont le sujet dispose avant d'en arriver à la solution désirée ; ce qui implique des initiatives intellectuelles de la part du sujet qui ne peut plus se contenter de mémoriser et de restituer. La résolution de problèmes peut être décrite comme une activité cognitive finalisée au service d'une tâche à effectuer dans une situation

donnée (Richard, 1990). Elle fait appel à des activités psychiques et à des processus intellectuels mettant en jeu des connaissances qui pourraient être acquises ou construites par le biais des processus intellectuels antérieurs.

Résoudre un problème, c'est à la fois évoquer des actions et des procédures associées à une situation et construire une interprétation de la situation qui soit cohérente avec la mise en œuvre de ces savoir-faire. En effet, la compréhension de l'énoncé n'est pas séparée de la recherche de la solution; il n'y a pas d'abord une phase dans laquelle on cherche à comprendre et une autre dans laquelle on cherche à résoudre. Les deux processus sont alors imbriqués. Certains problèmes nécessitent des applications simples de la part du sujet qui peut facilement identifier les données pouvant servir à leur résolution ; d'autres problèmes relèvent de la créativité lorsque les éléments utiles à leur résolution ne sont pas évidents et que le sujet doit transformer ou réorganiser des données dont il dispose pour trouver une solution originale.

Dans les premières années d'enseignement-apprentissage, les élèves utilisent des techniques relativement simples avant qu'ils soient amenés à appliquer des modèles de résolution de problèmes plus complexes. Ils apprennent à choisir la méthode de résolution qui convient à un problème et à l'appliquer correctement. Les élèves se rendent compte que la résolution de problèmes est un processus difficile qui suppose des tentatives et des abandons, des succès et des échecs ainsi que l'examen et le rejet de certaines solutions.

Le présent article est constitué de quatre parties. La première partie aborde la problématique de la résolution des problèmes, en particulier dans le contexte scolaire marocain. Dans la deuxième partie, cadre conceptuel, nous revisitons l'aspect psychologique des connaissances en rapport avec la résolution de problèmes en physique traitée dans le cadre du béhaviorisme et du cognitivisme (constructivismes et la psychologie cognitive). En rapport avec la psychologie cognitive, nous passons en revue certaines connaissances, déclaratives et procédurales, qui interviennent dans les activités de résolution de problèmes. Dans la troisième partie, nous présentons d'une manière brève la méthodologie de travail et le questionnaire de recherches ; la méthodologie adoptée ici consiste à définir tout d'abord la population cible, puis les méthodes d'investigation et les instruments de collecte de données. Dans la quatrième partie, nous terminons par présenter les résultats obtenus qui seront, enfin, discutés dans une cinquième partie avant de dégager certaines conclusions en rapport avec les difficultés auxquelles sont confrontés les élèves de deuxième année baccalauréat lors des activités de résolution de problèmes en physique.

PROBLÉMATIQUE

Les recherches en didactique de la résolution de problèmes sont traversées par différents courants allant du paradigme expert/novice (Chi, Feltovitch & Glaser, 1981) aux recherches axées sur le développement des capacités en résolution de problèmes dans une perspective d'augmenter les performances des élèves par des évaluations type classique (Reif, 1983; Caillot, Dumas-Carré & Goffard, 1988; Dumas-Carré & Goffard, 1997; Mazouze, 2016).

Plusieurs de ces recherches ont été menés sur la résolution de problèmes en sciences physiques. Dumas-Carré et Goffard (1997), dans leurs tentatives de mettre la résolution de problèmes au service de la construction des concepts de physique, ont montré qu'il est possible de dépasser la situation difficile des apprenants face aux problèmes de physique. Selon le paradigme expert/novice, le rôle des connaissances, en particulier les connaissances procédurales permettant de faire une bonne représentation du problème, est apparu comme donnée incontournable (Chi et al., 1981; Caillot et al., 1988; Dumas-Carré & Goffard, 1997).

Le cadre problématique implicite de ces recherches place les élèves au centre des préoccupations en adéquation avec les positions les plus novatrices en psychologie de

l'apprentissage. Sur le plan méthodologique, ces recherches se sont appuyées sur l'observation des apprenants « novices » en situation de résolution de problèmes et/ou l'analyse de leurs productions. Par ailleurs, la résolution de problèmes au niveau didactique est prise en charge à travers trois perspectives: l'évaluation, l'apprentissage et la recherche.

Au niveau scolaire, nous nous intéressons seulement aux deux premières perspectives:

1. Outil d'évaluation : Dans l'enseignement de la physique, la résolution de problèmes est considérée comme une activité intellectuelle à travers laquelle ont été évaluées les compétences des élèves. Au lycée, cette évaluation se fait à travers des exercices et des problèmes. Les recherches en didactique ont produit certains résultats dans la formulation des exercices et problèmes, avec un accent mis sur les phénomènes physico-chimiques et le développement des exercices qualitatifs. Mais le résultat numérique continue encore à faire la loi et à déterminer le sort de milliers d'élèves.
2. Activité d'apprentissage des concepts scientifiques : les activités de résolution de problèmes sont organisées soit à l'intérieur du cours, soit dans des séances particulières des travaux dirigés. Pour renforcer l'apprentissage, le professeur après avoir établi une relation de manière théorique ou expérimentale, à l'intérieur du cours, propose un exercice d'application qui permet de mettre en scène les nouveaux concepts par une application d'une nouvelle relation. L'apprentissage par résolution de problèmes est une approche constructiviste ; l'apprenant étant ici véritablement au centre de la construction du savoir (Mazouze & Lounis, 2015).

Dans le contexte marocain, l'outil d'évaluation le plus utilisé par les enseignants est la résolution des exercices et problèmes par les élèves. Les performances des élèves marocains des sections scientifiques ne sont pas satisfaisantes, surtout aux épreuves de physique au Baccalauréat. L'échec d'un nombre important d'élèves devant des problèmes de physique est une chose évidente. D'où notre intérêt à l'étude de certaines origines des difficultés des élèves en vue d'améliorer la performance des élèves marocains dans la résolution de problèmes en physique.

Certaines questions peuvent être posées là-dessus : Pourquoi les performances des élèves lors des activités de résolution de problèmes sont-elles si faibles? Peut-on attribuer cet échec à l'élève lui-même? À l'enseignement qu'il a reçu? I.e. à l'enseignant? À tous ces facteurs ensemble? Ou bien au problème présenté lui-même?

Dans ce travail nous cherchons à comprendre ces difficultés qui semblent être complexes puisque les faits éducatifs n'étant jamais réductibles à un seul facteur explicatif, même si la littérature scientifique dans ce domaine fournit plusieurs repères.

CADRE CONCEPTUEL

Dans l'enseignement/apprentissage de la physique, la résolution de problèmes convoque au moins deux champs théoriques qui interfèrent dans l'analyse des processus éducatifs : la psychologie et l'épistémologie des sciences (Sall, 2001). Sous l'angle psychologique, la résolution de problèmes est abordée en relation avec le processus d'acquisition ou de construction du savoir scientifique; ce qui rend la résolution de problèmes très valorisée dans les activités scolaires destinées à guider l'apprentissage ou à évaluer les acquisitions des élèves, en particulier pour les disciplines scientifiques comme la physique. Cet angle d'attaque met en avant un ensemble de concepts-clés : enseignement, apprentissage, connaissances déclaratives, connaissances procédurales, connaissances stratégiques ou conditionnelles. Étant donné que l'enseignement est indissociable de l'apprentissage, le cadre

conceptuel consiste à expliciter l'interaction entre ces deux concepts dans leur rapport avec la résolution de problèmes.

Enseignement/apprentissage et connaissances

L'apprentissage au sens béhavioriste consiste à associer une réponse adéquate (R) à un stimulu (S) selon les lois de renforcement et de conditionnement. Les connaissances au sens béhavioriste sont constituées par les réponses adéquates dont dispose un sujet face à des stimulu spécifiques. Le renforcement et le conditionnement sont destinés à permettre au sujet l'acquisition d'une « batterie » de réponses appropriées à des stimulu; ce qui explique les deux caractéristiques des connaissances au sens béhavioriste : elles sont cumulatives, et décomposables en éléments simples quand elles sont complexes.

Un problème au sens béhavioriste est posé à un individu lorsqu'il doit trouver une réponse (R) adapté à un stimulus (S) donné. Selon ce courant, la résolution de problèmes est un prolongement de l'apprentissage (Shepard, 1966; Johsua & Dupin, 1993); elle consiste à ce que le sujet sélectionne, parmi les réponses dont il dispose, d'une réponse adaptée au stimulus présenté. Dans l'étude des tâches complexes, les béhavioristes avaient envisagé un enchaînement $S \rightarrow R$, un principe de décomposition du complexe en éléments simples. Mais, quand on cherche à justifier leur enchaînement et leur régulation, on est obligé de s'intéresser aux processus mentaux, et même d'introduire une hiérarchie ; c'est là une des limites du béhaviorisme (Kleinmuntz, 1965).

Le béhaviorisme s'est heurté alors à la compréhension des comportements cognitifs complexes et s'est montré inefficace dans l'enseignement/apprentissage des concepts, connaissances et règles en rapport avec la résolution de problèmes, surtout dans les disciplines conceptualisées comme la physique. Ainsi, le béhaviorisme ne constitue pas un cadre pertinent pour rendre compte de la mise en scène des concepts de base dans le contexte disciplinaire de la physique. On ne peut pas s'intéresser à la résolution de problèmes sans se référer aux processus intellectuels mis en jeu, mais aussi aux éléments motivants qui pourraient animer les sujets en action ; ce qui revient à prendre en compte la dimension humaine.

Le cognitivisme se révèle comme un cadre théorique riche de possibilités d'explicitier les bases des comportements cognitifs. À la suite du déclin du béhaviorisme, le cognitivisme, s'est progressivement imposé, du moins au niveau théorique, et dans le discours des praticiens de l'éducation et de la formation. Au contraire du béhaviorisme, le cognitivisme émet des hypothèses, propose des modèles à propos de la structure de la pensée et des processus intellectuels, et s'intéresse aux mécanismes permettant d'acquérir, d'intégrer et de réutiliser les connaissances.

Les constructivismes (Piaget, Wallon, Vygotski, Bruner) permettent de clarifier le processus d'apprentissage et celui d'enseignement qui lui est inséparable, y compris la résolution de problèmes. Nous signalons ici seulement les deux grandes figures du constructivisme psychologique : Piaget et Vygotski. Les contributions de ceux-ci avaient apporté des éclairages décisifs sur le développement cognitif, malgré leurs itinéraires croisés (Ravanis, 2010). Alors que le développement intellectuel chez Piaget s'appuie sur des stades qui déterminent l'apprentissage dans une dynamique qui va de l'intra-psychique vers l'inter-psychique, Vygotski postule le mouvement inverse.

Le modèle de traitement de l'information souvent désigné par la psychologie cognitive (Newell & Simon, 1972 ; Gagne, 1985 ; Glover, Ronning & Brunning, 1990) peut mieux éclairer les questions liées à l'apprentissage en rapport avec la résolution de problèmes. La psychologie cognitive en partant de bases théoriques sur la structure des connaissances et sur les processus de traitement de l'information a fourni des concepts et démarches permettant de mieux analyser et comprendre les processus en jeu dans l'enseignement/apprentissage. La

psychologie cognitive s'appuie sur des concepts qui permettent de structurer un champ de connaissances susceptibles de fonder les activités de résolution de problèmes. Elle cherche à vérifier la pertinence de ces connaissances et des modèles dans lesquels elles sont mises en scène, et leur efficacité dans l'analyse de situations précises et relatives aux apprentissages scolaires. Le modèle du traitement de l'information permet d'opérationnaliser l'analyse des processus cognitifs complexes en rapport avec les connaissances et la mémoire, deux éléments essentiels pour le sujet en situation de résolution de problème. Dans ce qui suit, nous passons en revue l'un des concepts de base dans le modèle de traitement de l'information qui est la connaissance.

Connaissances : concepts de base du modèle de traitement de l'information

En psychologie cognitive, une connaissance est constituée par la signification, le sens qu'un sujet attribue à une expérience vécue. Les connaissances sont revenues au cœur de la problématique de la cognition grâce à la psychologie cognitive. La diversité des significations tirées des expériences implique l'existence d'une gamme variée de connaissances indispensables à la réalisation des tâches complexes. Le rôle des connaissances et stratégies spécifiques constituent une donnée fondamentale des acquis de la recherche sur l'apprentissage et la résolution de problèmes (Tardif, 1992).

Les connaissances peuvent être classées en tenant compte de la diversité des expériences et la spécificité des tâches. Une première catégorisation de connaissances découle de la théorie de l'acquisition des connaissances de Neves et Anderson (1981) ; ces auteurs ont mis en évidence que l'acquisition des connaissances se fait selon un processus comportant trois étapes distinctes : l'encodage (connaissances déclaratives), la « procéduralisation » (connaissances procédurales) et la composition ou l'organisation.

La classification en termes de connaissances déclaratives, connaissances procédurales et connaissances d'intégration a été ensuite affinée par l'introduction des connaissances contextuelles plus souvent appelées connaissances conditionnelles (Anderson, 1983, 1985; Glover et al., 1990). Dans le contexte scolaire, nous nous intéressons seulement aux connaissances déclaratives et procédurales :

1. Connaissances déclaratives : selon Neves et Anderson (1981), ces connaissances sont d'abord enregistrées (encodées) sous forme d'un ensemble de faits relatifs à un domaine. Ce sont des informations dites passives que l'on peut restituer ou déclarer sans aucune modification, sans aucun traitement ; ces connaissances relèvent de la déclaration ou expriment une énonciation. Les connaissances déclaratives, plutôt statiques que dynamiques, correspondent aux connaissances *théoriques* qui renvoient aux principes, définitions, règles, lois et relations propres à un domaine (Gagné, 1985). Ces connaissances bien qu'utiles, ne permettent pas à l'individu d'aller directement vers l'action. Face à une telle tâche, le sujet devrait procéder à des traitements et des interprétations pour aller à l'action. On pourrait percevoir donc les conséquences didactiques d'un apprentissage basé uniquement sur l'enregistrement d'informations, surtout en résolution de problèmes.
2. Connaissances procédurales : Dans la deuxième phase d'acquisition de connaissances, les faits déclaratifs se transforment en procédures articulées entre elles (Neves & Anderson, 1981) ; c'est un niveau d'acquisition où le sujet acquiert des connaissances dites procédurales qui peuvent être *appliquées* directement sans interprétation. Ces connaissances sont constituées par des habilités à traiter les connaissances déclaratives pour atteindre un but fixé. L'intérêt d'une procéduralisation est que les informations sont articulées en procédures : il s'opère au niveau de l'individu un désencombrement de la mémoire ; ce qui se traduit par une plus grande rapidité d'action et de meilleures performances.

Les connaissances procédurales qui concernent l'action et le savoir-faire (Tardif, 1992) correspondent au comment de l'action, aux étapes pour réaliser l'action, et à la procédure permettant la réalisation de cette action. Comme ces connaissances jouent un rôle dans la phase initiale de l'apprentissage, une question centrale s'impose : comment passe-t-on des connaissances déclaratives au comportement? Selon Anderson (1983, 1995), le processus de production de connaissances procédurales peut être décomposé en trois étapes non discrètes qui caractérisent approximativement des moments dans l'évolution qualitative de l'habileté.

1) Étape cognitive : lors de cette étape, l'apprenant peut repérer l'information nécessaire à la résolution de problèmes en:

- suivant des instructions (ce mode, le plus direct permet à l'apprenant de suivre pas à pas une série d'instructions);
- appliquant des opérateurs de résolution de problèmes généraux;
- utilisant des analogies (mise en correspondance de connaissances déclaratives avec des comportements préexistants).

2) L'étape associative : c'est une étape de compilation des connaissances dans laquelle la représentation déclarative se transforme en représentation procédurale, et les erreurs caractérisant l'étape cognitive sont détectées et éliminées. L'habileté en cours de transformation devient mieux coordonnée, plus rapide, et s'accompagne de la production de moins d'erreurs.

3) L'étape autonome : au cours de cette étape, l'habileté devient constamment plus automatisée, rapide et implique de moins en moins l'intervention de la cognition, c'est une étape de réglage et d'affinement des productions.

Origines des difficultés des élèves lors de la résolution de problèmes

Des recherches ont été menées sur l'efficacité des méthodes d'enseignement (Crahay & Lafontaine, 1986 ; Orange, 2005), sur les difficultés d'appropriation par les élèves des concepts scientifiques (Giordan, 1998; Mazouze, 2011; Ntalakoura & Ravanis, 2014), sur les pratiques de résolution de problèmes en classe (Dumas-Carré & Goffard, 1977; Caillot et al., 1988; Goffard, 1994). En outre, la pensée des enseignants (Tochon, 1993; Sall, 2001) se présente comme un axe de recherche de plus en plus fécond. De manière beaucoup plus spécifique, Hashweh (1996) met en évidence l'émergence de ce qui peut être considéré comme un sous-champ de ce domaine : les croyances et les conceptions des enseignants et leurs visions épistémologiques (Pajares, 1992). En nous basant sur les travaux de recherches publiés dans ce contexte, nous avons pu dégager certaines origines des difficultés des élèves en situation de résolution de problèmes en physique :

Lecture de consignes : La réussite des tâches relevant d'un problème par les élèves dépend étroitement de la manière dont ils prennent en compte ou non les consignes. La compréhension déficiente d'une consigne peut être due :

- *à la non-compréhension de certains mots* : ce qui constitue un obstacle dans la lecture de la consigne pour les élèves qui ne comprennent pas ce qu'on leur demande ; ils ne peuvent pas donner une réponse correcte à la question qui leur est posée. Lire le texte sans le comprendre est un comportement très répandu parmi les élèves qui éprouvent des difficultés en physique-chimie. Trop souvent, le vocabulaire employé dans les énoncés est inconnu à l'élève ; cela bloque la progression des élèves qui restent paralysés par certains éléments inconnus.
- *au manque d'attention de l'élève* : Parfois, les élèves, dès qu'ils ont repéré quelques indices leur permettant d'identifier une tâche connue, ou apparemment connue, sans avoir décodé le sens exact du message qui leur est transmis, font l'économie d'une vérification détaillée de ce qui est réellement demandé, et se lancent tout de suite dans la réalisation. Ils sont trop pressés de passer à l'action et n'évoquent que partiellement

la question. Pendant la lecture de la question, ils anticipent une question et ne retournent pas vérifier celle posée ; ils répondent à la question qu'ils avaient en tête.

Manque d'attention et de rigueur : Lors d'un enchaînement assez long de calculs, les élèves commettent souvent d'erreurs d'étourderies comme le changement de signe d'un nombre d'une ligne à l'autre du calcul. L'oubli des unités est assez fréquent. Ces erreurs commises pourraient être corrigées par les élèves par une relecture précise et systématique de la solution proposée.

Manque d'investissement, lassitude : Le manque d'investissement se fait souvent sentir dans les évaluations où certains élèves n'abordent pas une partie des questions. En classe, les élèves se lassent parfois très vite d'une situation ; il est de ce fait difficile de mener à terme l'exploitation de la situation et de tirer les bénéfices des activités de résolution de problèmes amorcées.

Manque de pré-requis : Lors de la résolution de problèmes, il n'est pas rare de voir au niveau du traitement mathématique des erreurs de calculs qui sont dus à un manque de connaissance du calcul numérique et/ou algébrique. Si le manque de pré requis est ponctuel, l'enseignant pourra faire un rappel rapide de la notion. Par contre, s'il s'agit d'un manque de pré requis important, on est confronté à un problème plus complexe qui n'a pas de réponse immédiate.

Manque de stratégies et de réflexes logiques : L'échec rencontré chez l'élève en résolution de problèmes ne dépend pas toujours de son incapacité à raisonner mais plutôt du manque d'expérience dans la façon d'approcher le problème, ie du manque de stratégie (novice). Les élèves ne savent pas comment aborder un problème. Au mieux, ils essaient de se souvenir du cours mais ne savent pas comment l'utiliser. Ils semblent manquer de situations complexes de référence, ce qui les amène à se replier sur la recherche d'une opération à effectuer ou d'une règle à appliquer. Parfois, les élèves se réfèrent à des problèmes vus précédemment pour reproduire leur solution. Dans la résolution de problèmes, les élèves n'apprécient pas souvent leurs résultats, et peu d'élèves vérifient si la solution qu'ils ont trouvée satisfait l'équation de départ.

Manque de représentations mentales : Lors de la lecture de l'énoncé d'un problème, plusieurs élèves ne se représentaient pas ce qu'ils lisaient. À la différence des élèves qui réussissent lors de résolution d'un problème, ces élèves ne se construisent pas des représentations mentales imagées qui leur permettent d'évoquer cette situation par la suite. Dans un problème de physique décrivant une expérience, les élèves ne schématisent pas systématiquement celle-ci. Or la schématisation de l'expérience est nécessaire à la compréhension et à la résolution du problème puisqu'elle permet de réorganiser et de synthétiser l'information donnée. Ainsi, l'élève ne peut pas procéder à des associations mentales et ne parvient pas à représenter le texte symboliquement.

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie adoptée dans cette étude est basée sur l'analyse des productions écrites des élèves dans une activité de résolution de problèmes de physique. Ainsi, nous avons soumis les élèves de deuxième année Baccalauréat marocain à des problèmes de physique. Pour pouvoir analyser les reproductions des élèves, nous avons tout d'abord divisé chaque question d'un problème en un nombre de tâches (items) susceptibles d'être réalisés par les élèves; puis nous effectuons un dénombrement de réponses obtenues en termes du nombre de tâches réussites, échouées et non traitées. D'autre part, nous avons effectué une classification des tâches à réaliser selon que leur réponse nécessite des élèves la mobilisation des connaissances

déclaratives, procédurales ou les deux à la fois. Dans ce qui suit, nous allons définir la population cible, les méthodes d'investigation et les instruments de collecte de données.

Population cible

Cette étude a été réalisée au terme de l'année scolaire 2013-2014, elle avait pour cible environ 96 élèves (18-20 ans) des classes de deuxième année Baccalauréat du lycée Moulay Abdallah qui se situe dans la préfecture de Youssoufia de Rabat (Maroc). Ces élèves appartiennent à trois classes des sciences Expérimentales comportent au total 96 élèves. Chaque classe totalise six heures de cours hebdomadaires (trois séances de deux heures) réparties du lundi au vendredi. Les élèves travaillent en journée continue de 8 heures à 17 heures avec une pause de deux heures, de 12 heures à 14 heures.

Notre choix de la population tient compte de la nécessité de la démarche de la résolution des problèmes pour des élèves en baccalauréat, surtout que la résolution de problèmes a été utilisée à la fois lors des évaluations continues et lors de l'examen national. Cette démarche pose aux élèves marocains beaucoup de difficultés (taux de réussite dans la session normale du baccalauréat est de 38 % en 2013).

Méthode d'investigation et instruments

Nous avons procédé à l'analyse des productions écrites des élèves (tâches) en situation de résolution de problème afin de déceler certaines difficultés auxquelles sont confrontés les élèves quand ils sont en train de résoudre des problèmes.

L'analyse de tâches réalisées par les élèves a été faite moyennant des grilles d'analyse de contenus (tableaux 1, 2a et 2b) que nous avons construites et adoptées d'une part conformément aux questions posées dans les problèmes 1 et 2 soumis aux élèves et d'autre part sous l'angle d'une approche constructiviste et de traitement de l'information en relation avec les connaissances mises en jeu. Ces grilles permettent d'examiner et diagnostiquer les blocages et les erreurs rencontrées par les élèves au cours de la résolution de problèmes en physique (Mécanique) afin de proposer certaines remédiations.

Les deux problèmes (Annexe) auxquels sont soumis les élèves comportent des questions relatives à des systèmes physiques et font partie intégrante d'un examen national du Baccalauréat au terme de l'année scolaire 2010/2011. Ils portent sur la chute verticale d'un solide et les mouvements plans. Les élèves sont amenés à répondre aux questions qui sont ainsi utilisées comme des révélateurs des acquisitions de connaissances (compétences exigibles). Ce qui permet d'étudier les difficultés des élèves lors des activités de la résolution de problème et apporter aux élèves certains appuis nécessaires à développer leurs habilités en activités de résolution de problèmes.

Le choix des problèmes relevant d'un examen national est dû au fait que ce type de problèmes sont considérés comme étant des épreuves de niveau moyen pour la quasi-totalité des élèves. Cela nous permet de mieux cerner les difficultés rencontrées par les élèves en classes de deuxième année Baccalauréat lors de la résolution de problèmes.

RÉSULTATS

Nous avons décomposé les productions des élèves selon des unités simples (T1, T2, ...), chacune d'elles représente une tâche élémentaire à effectuer par les élèves dans le processus de la résolution de problèmes. Puis, nous avons identifié les tâches selon que leur réussite nécessite une connaissance déclarative, procédurale ou à la fois déclarative et procédurale. Les résultats de l'analyse des tâches exécutées par les élèves sont consignés

dans les tableaux 1, 2a et 2b. À noter que l'analyse des tâches est effectuée sur tous élèves appartenant au quatre classes, soit au total sur 96 élèves.

TABLEAU 1

Résultats relatifs au problème 1: étude du mouvement d'un skieur

Q	Les tâches (Ti) à faire	Connaissance déclarative	Connaissance procédurale	Réussite	Échec	Non traités
1.1	T1 : Déterminer le système étudié dans un repère galiléen	*		84	0	12
	T2 : Etablir le bilan des forces appliquées au système étudié	*		84	0	12
	T3 : Appliquer la deuxième loi de Newton dans un repère (O, \vec{i}, \vec{j})	*		84	0	12
	T4 : Projeter la deuxième loi de Newton sur l'axe (Ox) et l'axe (Oy)		*	84	0	12
	T5 : Déterminer l'expression du vecteur accélération \vec{a}_G dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j})		*	78	6	12
	T6 : Utiliser les calculs d'intégrale pour déterminer les équations différentielles que vérifie chacune des coordonnées de la vitesse: $v_x(t)$ et $v_y(t)$		*	78	6	12
1.2	T7 : Utiliser les calculs d'intégrale pour déterminer les équations du mouvement $x(t)$ et $y(t)$		*	78	6	12
	T8 : Déterminer les constantes d'intégration en utilisant les conditions initiales		*	78	6	12
	T9 : Eliminer le temps t dans les équations du mouvement $x(t)$ et $y(t)$ en vue de déduire l'équation de la trajectoire $y = f(x)$		*	78	6	12
2	T10 : Utiliser l'équation de la trajectoire pour déterminer une hauteur h donnée.		*	48	12	36
	T11 : Remplacer v_0 dans l'équation de la trajectoire avec $v_0 = \sqrt{2gh}$		*	48	12	36
	T12 : Utiliser la condition permettant de déterminer hm, la hauteur de laquelle le skieur ne pourrait pas tomber dans le lac		*	36	24	36

TABLEAU 2a

Résultats relatifs à la première partie du problème 2 : étude du mouvement de la bille dans l'air

Q	Les tâches (Ti) à faire	Connaissance déclarative	Connaissance procédurale	Réussite	Échec	Non traités
1.1	T1 : Déterminer le système étudié dans un repère, généralement galiléen	*		84	0	12
	T2 : Établir le bilan des forces appliquées au système étudié	*		84	0	12
	T3 : Donner la deuxième loi de Newton dans un repère (O, \vec{i}, \vec{j})	*		84	0	12
	T4 : Projeter la deuxième loi de Newton sur un axe (Ox)		*	84	0	12
	T5 : Exprimer l'intensité R de la force de l'action de l'air sur la bille en fonction de : - V (Volume de la bille), - ρ_1 (Masse volumique de la bille), - g (Accélération de la pesanteur), - v_1 (Vitesse avec laquelle le centre d'inertie de la bille atteint la surface libre du liquide) - t_1 (Instant auquel le centre d'inertie de la bille atteint la surface libre du liquide)		*	30	12	54
1.2	T6 : Utiliser la courbe $v = f(t)$ pour déterminer la relation entre a_G , v_1 et t_1		*	30	24	42
	T7 : Dédire v_1 et t_1 à partir de la courbe $v = f(t)$		*	24	12	60
	T8 : Exploiter la courbe $v = f(t)$ et la relation $R = f(V, \rho_1, g, v_1$ et $t_1)$ pour calculer la valeur de R, intensité de la force appliquée par l'air sur la bille.		*	24	12	60

TABLEAU 2b

Résultats relatifs à la deuxième partie au problème 2 : étude du mouvement dans le liquide visqueux

Q	Les tâches (Ti) à faire	Connaissance déclarative	Connaissance procédurale	Réussite	Échec	Non traités
2.1	T1 : Déterminer le système étudié dans un repère, généralement galiléen	*		84	0	12
	T2 : Appliquer la deuxième loi de Newton dans un repère galiléen (O, \vec{i}, \vec{j})	*		84	0	12

	T3 : Projeter la deuxième loi de Newton sur un axe (Ox)		*	84	0	12
	T4 : Etablir l'équation différentielle que vérifie la vitesse v du centre d'inertie de la bille : $\frac{dv_G}{dt} = a + bv^n$, avec $n=1$ dans ce cas		*	84	0	12
2.2	T5 : Confrontation de l'équation différentielle trouvée et la courbe $v = f(t)$ pour justifier l'équation différentielle (1) : $[\frac{dv}{dt} = 5.2 - 26v]$		*	30	12	54
2.3	T6 : Utiliser l'équation aux dimensions ($f = kv$) pour déterminer la dimension de la constante k . Calculer la valeur de k		*	24	12	60
	T7 : Utiliser l'équation différentielle de la vitesse en rapport avec la relation d'Euler $v_{i+1} = a_i \Delta t + v_i$	*	*	24	12	60
2.4	T8 : À l'aide de la méthode d'Euler montrer que l'expression de la vitesse à un instant t_{i+1} est : $v_{i+1} = (1 - 26\Delta t).v_i + 5.20\Delta t$	*	*	24	12	60
	T9 : Calculer v_{i+1} connaissant v_i et Δt		*	24	12	60

ANALYSES ET DISCUSSIONS

Dans un premier temps, nous analysons les productions des élèves en termes de tâches réussies, tâches échouées et tâches non traitées que nous avons dénombrés à partir des réponses des élèves lors de la résolution de problèmes de physique qui leur ont été soumis ; puis nous allons analyser les tâches réalisées selon que leur réponse fait intervenir une connaissance déclarative, procédurale ou les deux à la fois.

Analyse en termes de tâches

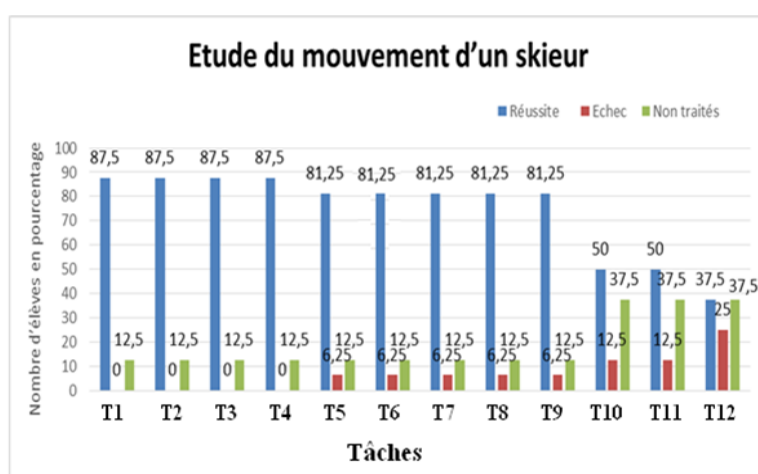
Pour mieux analyser les tâches en termes de réussite, échec et non traités, nous avons transformé les tableaux 1 et 2 en graphes (Figures 1 et 2) à l'aide du logiciel Excel, et nous avons représenté les tâches réalisées selon trois indicateurs (réussite, échec et non traités) en terme du pourcentage pour les quatre classes étudiées.

Problème 1: Étude du mouvement d'un skieur

La représentation en pourcentage (%) des élèves qui ont réussi, échoué et n'ont pas traité les tâches lors de la résolution de problème 1 portant sur l'étude du mouvement d'un skieur est donné dans la figure 1. La première question (1.1) de ce problème correspond aux tâches (items) (T1, T2, T3, T4, T5 et T6). On constate que les items de T1 à T4 ont été réussies avec un gros score (84 élèves sur 96, soit 87.5 %) ; ce qui implique peut être que ces tâches sont des applications habituelles pour les élèves. À l'exception de la tâche T4 dont la réussite fait intervenir une connaissance procédurale, la réalisation de tâches (T1, T2 et T3) nécessite seulement des connaissances déclaratives et ne demande pas des élèves beaucoup de réflexions et stratégies. Les items T5 et T6 dont la réalisation nécessite des élèves la

mobilisation des connaissances procédurales ont été réussis avec un pourcentage important qui est de 81.25 % (soit 78 élèves) ; cela est dû au fait qu’une bonne partie des élèves a pu mobiliser des connaissances procédurales en rapport avec les calculs mathématiques des intégrales. Les élèves qui n’ont pas pu répondre correctement à ces tâches sont au nombre de 6 (soit 6.25 %) ; ces élèves ont des obstacles dans l’utilisation des conditions initiales (Manque de pré-requis). Les élèves semblent donner des réponses qui ne leur ont pas été demandées : l’équation horaire de mouvement (Problème de lecture consignes). Les tâches (T7, T8 et T9) relevant de la question (1.2) correspondent aux connaissances procédurales ; elles ont été réussies avec le même pourcentage (81.25 %) que les deux tâches précédentes; les élèves qui ont pu réaliser les tâches T5 et T6 sont ceux qui continuent de réaliser les tâches (T7, T8 et T9).

FIGURE 1



Représentation en (%) des tâches réussies, échouées et non traitées pour l’étude du mouvement d’un skieur (problème 1)

Pour les tâches T10 et T11, on constate une diminution au niveau du pourcentage de réussite, seuls 48 élèves (50 %) ont pu réaliser ces tâches : ceci peut être expliqué par le fait que ces tâches demandent une bonne représentation mentale : l’élève doit intégrer les conditions du problème ($v_0 = \sqrt{2gh}$) dans l’équation de la trajectoire.

Concernant la tâche T12, on constate que 36 élèves (37.5%) ont seulement réussi cette tâche ; ceci peut être dû aux problèmes sérieux rencontrés par les élèves pour faire un enchaînement mathématique correct (Manque de stratégie et de la réflexion logique). Aussi on constate qu’au lieu de faire $y = -H$, les élèves ont écrit $y = H$ (Manque d’attention et de rigueur). La réalisation de cette étape renvoie à l’étape autonome au cours de laquelle, l’habileté des élèves qui ont réussi cette tâche semble être automatisée et rapide, c’est une étape de réglage et d’affinement des productions.

Problème 2: La chute libre d’une bille métallique

Partie 1 : Étude du mouvement de la bille dans l’air

La représentation en pourcentage (%) des élèves qui ont réussi, échoué et n’ont pas traité les tâches lors de la résolution de la première partie du problème 2 relative à l’étude du mouvement de la bille dans l’air est donnée dans la figure 2a.

La première question (1.1) de la première partie du problème 2 correspond aux cinq tâches (items) (T1, T2, T3, T4 et T5) ; la réussite des trois premiers items nécessite des élèves

seulement connaissances déclaratives alors que la réalisation des deux derniers items fait intervenir des connaissances procédurales chez les élèves. On constate que les items (T1 à T4) ont été réussies avec un gros score (84 élèves sur 96, soit 87.5 %) ; ces tâches semblent être habituelles pour les élèves. La tâche 5 a été réussie avec un pourcentage plus bas (30 élèves sur 96, soit 31.25 %), la réalisation de cette tâche nécessite des élèves la mobilisation des connaissances procédurales avec beaucoup de réflexions et de stratégies.

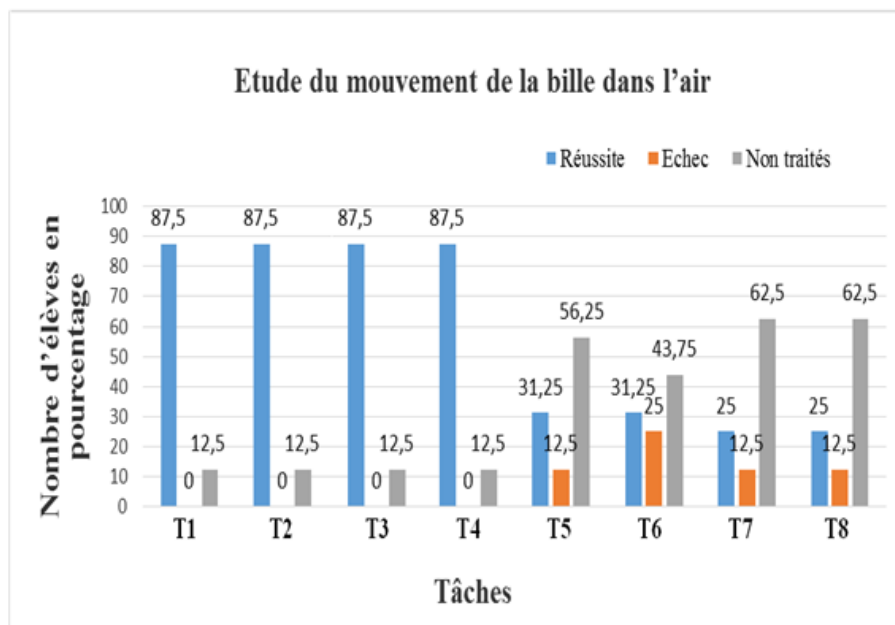
Les tâches T6, T7 et T8 relevant de la question 1.2 ont été réussies avec des pourcentages (31.25 %, soit 30 élèves sur 96), (25 %, soit 24 élèves sur 96), et (25 %, soit 24 élèves sur 96), respectivement. La réalisation de ces tâches demande des élèves l'appropriation et la mobilisation de certaines connaissances procédurales qui concernent :

- l'établissement de l'expression mathématique de l'intensité R de la force de l'action de l'air sur la bille en fonction des grandeurs physiques (V, ρ_1, g, v_1, t_1) ;
- l'interprétation de la courbe $v = f(t)$ pour déterminer la relation entre a_G, v_1 et t_1 ;
- la confrontation de la courbe avec la relation mathématique $R = f(V, \rho_1, g, v_1 \text{ et } t_1)$ pour déterminer l'intensité de la force R , appliquée par l'air sur la bille.

Ce constat pourrait être dû d'une part au manque de pré-requis chez les élèves, ce qui affecte leurs habilités à exploiter les courbes, surtout celles qui ne sont pas linéaires (courbes exponentielles) et d'autre part au manque de stratégie et de réflexion logique chez les élèves qui semblent avoir des problèmes pour faire un enchaînement mathématique correct.

Le nombre d'élèves qui n'ont pas traités les tâches T6, T7 et T8 est relativement élevé ; il correspond à un pourcentage de 43,75% pour la tâche T6 et 62,5% pour les tâches T7 et T8. Ce qui peut être expliqué par le fait que ces tâches successives ne sont pas indépendantes l'une de l'autre ; la réalisation de telle tâche dépend de celle qui la précède. Il en résulte qu'un nombre important d'élèves n'arrive pas à l'étape autonome au cours de laquelle ces élèves pourraient réussir ces tâches d'une manière automatisée et rapide.

FIGURE 2a



Représentation en (%) des taches réussies, échouées et non traitées pour l'étude du mouvement de la bille dans l'air (1ere partie du problème 2)

Partie 2 : Étude du mouvement de la bille dans le liquide visqueux

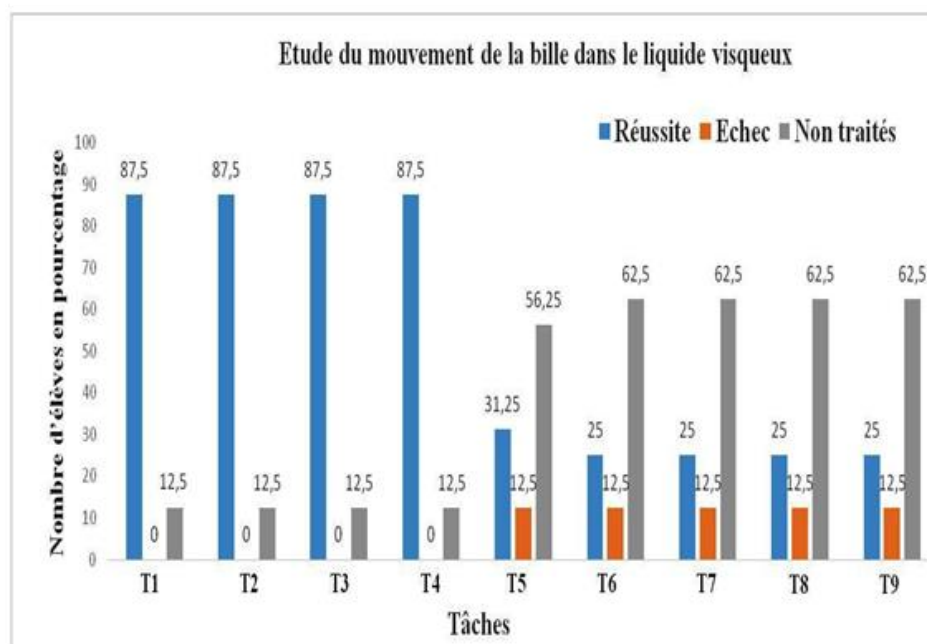
La représentation en pourcentage (%) des élèves qui ont réussi, échoué et n'ont pas traité les tâches qui concernent la résolution de la première partie du problème 2 qui porte sur l'étude du mouvement de la bille dans le liquide visqueux est donné dans la figure 2b.

La première question (2.1) de la deuxième partie du problème 2 contient 4 tâches (items) (T1, T2, T3, T4) ; la réussite des deux premiers items nécessite des élèves l'utilisation des connaissances déclaratives alors que la réalisation des deux derniers items fait intervenir des connaissances procédurales chez les élèves. On constate que les items (T1 à T4) ont été réussies avec un gros score (87.5 %, soit 84 élèves sur 96) ; il semble que la majorité des élèves aient l'habitude de réaliser avec succès ce type de tâches.

La tâche 5 correspondante à la question 2.2 a été réussie avec un pourcentage plus bas (30 élèves sur 96, soit 31.25 %) nécessite des connaissances procédurales. Les élèves qui ont réussi cette tâche sont capables de confronter l'équation différentielle $\frac{dv_G}{dt} = a + bv^n$ déjà

trouvée et la courbe $v = f(t)$ pour justifier : $[\frac{dv}{dt} = 5.2 - 26v]$. Mais, la plupart des élèves n'ont pas réalisé cette tâche qui demande de la stratégie et de réflexes logiques. Les élèves doit calculer la vitesse limite à partir de l'équation différentielle et la comparer avec la vitesse trouvée à partir du graphe.

FIGURE 2b



Représentation en (%) des tâches réussies, échouées et non traitées pour l'étude du mouvement de la bille dans le liquide visqueux (2eme partie du problème 2)

Les tâches (T6, T7, T8, T9) ont été réussies seulement par 24 élèves (25%) ; on constate que 60 élèves (62.5 %) n'ont pas pu traiter ces tâches. Ces tâches sont toutes relatives aux connaissances procédurales, avec T7 et T8 qui correspondent aussi aux connaissances déclaratives. Le nombre élevé des élèves qui n'ont pas traités les tâches (T6, T7, T8, T9) témoigne des difficultés que rencontrent la plupart des élèves pour résoudre des problèmes de physique contenant ce type de tâches, surtout quand elles sont dépendantes l'une de l'autre. Il semble que qu'un nombre important d'élèves n'arrive pas à l'étape

autonome au cours de laquelle ces tâches pourraient être réussies d'une manière automatisée et rapide. Le non traitement de ces tâches peut aussi être dû au manque d'investissement et à la lassitude puisque à la fin de la durée consacrée à la résolution de cette épreuve, les élèves semblent être pressés par le temps ; ce qui leur démotiva à fournir plus d'efforts et de concentrations mentales.

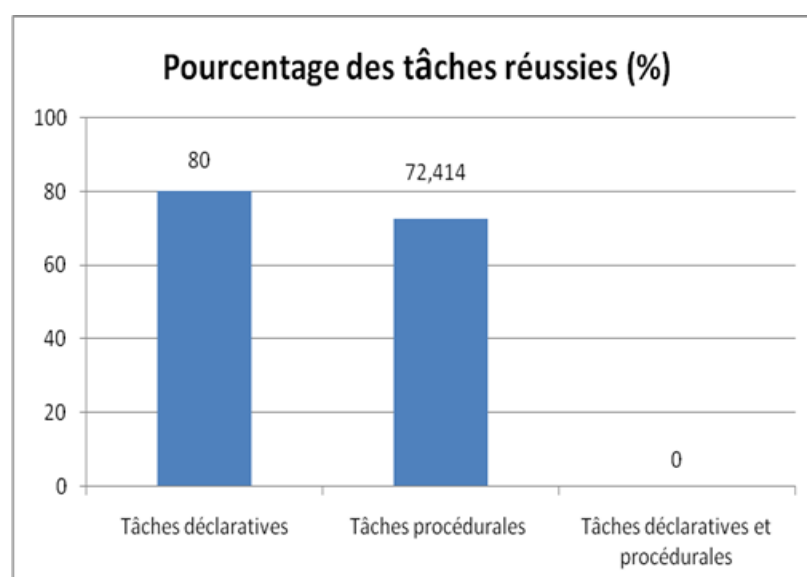
Analyse en termes de connaissances déclaratives et procédurales

Lors de la résolution de problèmes, la réussite ou non d'une tâche dépend de la capacité des élèves à mobiliser leurs connaissances. Il nous semble intéressant de mener une analyse de la réussite des tâches en rapport avec la mobilisation des connaissances déclaratives et procédurales. Les tableaux 1, 2a et 2b représentent la classification qu'on a faite pour les tâches en termes de connaissances déclaratives et procédurales.

Sur 29 tâches que regroupent les deux problèmes 1, 2a et 2b, nous avons dénombré 21 tâches dont la réponse nécessite des connaissances procédurales et 10 tâches qui nécessitent seulement la mobilisation des connaissances déclaratives, avec 2 tâches dont la réponse semble être basée sur les deux catégories de connaissances. On considère qu'une tâche n'est réussie que lorsque le nombre des élèves qui ils l'ont réalisé dépasse $\frac{2}{3}$ du nombre total des élèves (64 élèves), ie que le nombre total des tâches réalisées soit 17 dont 8 déclaratives et 9 procédurales. On constate que les élèves ont pu réaliser un score de 8/10 pour les tâches déclaratives (80 %) alors que les tâches procédurales ont réussies par les élèves avec un score de 21/29 (72.414 %). La représentation de ces résultats est donnée dans la figure 3.

On constate que les élèves mobilisent davantage les connaissances déclaratives que les connaissances procédurales, ce qui est déjà prévu. Cela peut être expliqué par le fait qu'une bonne partie des élèves (80 %) essaye de mémoriser les connaissances et les déclarent une fois cela leur a été demandé ; et que la quasi-totalité de ces élèves (72.414 %) ont pu montrer des attitudes de raisonnement, ce qui leur permet de construire des stratégies de résolutions de problèmes. Quand il s'agit de la mobilisation à la fois des connaissances déclaratives et procédurales, on constate qu'aucune tâche n'a été réalisé ; ce qui témoigne des difficultés des élèves à réussir ce type de tâches.

FIGURE 3



Représentation des pourcentages de réussite des tâches déclaratives et tâches procédurales

CONCLUSIONS

Cette étude essaye de contribuer à la compréhension des difficultés des élèves marocains de deuxième année Baccalauréat lors des activités de résolution de problèmes en physique, notamment en mécanique.

Il ressort des analyses développées dans cette étude que la plupart des élèves ont réussis les tâches dont ils mobilisent leurs connaissances déclaratives. Quand il s'agit des tâches qui nécessitent l'utilisation des connaissances procédurales, le nombre d'élèves ayant pu réussies de telles taches commence à diminuer.

Ainsi, nous avons pu cerner certaines difficultés que rencontrent les élèves lors de la résolution de problèmes à savoir :

- La non-compréhension de certains mots-clés (problème de concepts).
- Manque de stratégies et de réflexes logiques.
- Manque de représentations mentales.
- Manque de pré requis
- Manque d'investissement et la lassitude.

Devant ces difficultés, il semble important d'apporter quelques remèdes aux élèves pour les faire évoluer à dépasser leurs difficultés et à développer une attitude de recherche et de construction de stratégies de résolution de problèmes.

RÉFÉRENCES

- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Anderson, J. R. (1985). *Cognitive Psychology and its applications*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Anderson, J. R. (1995). *Learning and memory: an integrated approach*. New York: John Wiley & Sons.
- Caillot, M., Dumas-Carré, A., & Goffard, M. (1988). *PROPHY: Une méthode pour résoudre des problèmes de physique*. LIREST. Paris: Université de Paris VII.
- Chi, M. T. H., Feltovitch, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Crahay, M., & Lafontaine, D. (1986). *L'art et la science de l'enseignement*. Bruxelles: Labor.
- Dumas-Carré, A., & Goffard, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problème en physique. Concept et démarches*. Paris: Armand Collin.
- Gagne, E. D. (1985). *The cognitive psychology of school learning*. Boston, Toronto: Little Brown Company.
- Gagné, R. (1985). *The Conditions of Learning*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Giordan, A. (1998). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Belin.
- Glover, J. A., Ronning, R. R., & Brunning, R. H. (1990). *Cognitive psychology for teachers*. New York: Macmillian Publishing Company.
- Goffard, M. (1994). *Le problème de physique et sa pédagogie*. Paris: ADAPT.
- Hashweh, M. Z. (1996). Effects of sciences teachers' epistemological beliefs in teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 47-63.

- Johsua, S., & Dupin, J. J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: PUF.
- Kleinmuntz, B. (Ed.). (1965). *Problem solving: research, method and theory*. New York, London, Sydney: John Willey and Sons Inc.
- Mazouze, B. (2011). Raisonnements et difficultés des élèves en résolution de problèmes de physique : cas des interférences mécaniques. *BUPPC*, 931, 221-241.
- Mazouze, B. (2016). Des difficultés en résolution de problèmes de physique : quelles aides pour les élèves ? *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 3(2), 258-268.
- Mazouze, B., & Lounis, A. (2015). Résolution de problèmes et apprentissage des ondes : quels types de difficultés rencontrent les élèves ? *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 9(2), 25-40.
- Neves, D. M., & Anderson, J. R. (1981). Knowledge compilation: mechanisms for the automatization of cognitive skills. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 86-102). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Newell, A., & Simon, H.A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Ntalakoura, V., & Ravanis, K. (2014). Changing preschool children's representations of light: a scratch based teaching approach. *Journal of Baltic Science Education*, 13(2), 191-200.
- Orange, C. (2005). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *Aster*, 40, 3-11.
- Pajares, M. F. (1992). Teachers' beliefs and educational research: cleaning up a messy construct. *Review of Educational Research*, 62, 307-332.
- Ravanis, K. (2010). Représentations, Modèles Précurseurs, Objectifs-Obstacles et Médiation-Tutelle : concepts-clés pour la construction des connaissances du monde physique à l'âge de 5-7 ans. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 5(2), 1-11.
- Richard, J.-F. (1990). *Les activités mentales*. Paris: Armand Collin.
- Reif, F. (1983). Understanding and teaching problem solving in physics. In G. Delacôte & A. Tiberghien (Eds), *Recherche en didactique de la physique* (pp. 15-53). Paris: CNRS.
- Sall, C. T. (2001). *L'auto-évaluation du profil d'entrée: une stratégie constructiviste dans la formation professionnelle initiale des enseignants*. Paper presented at « 2èmes Assises du CIFFERSE: l'enseignement des sciences expérimentales », Dakar, Sénégal.
- Shepard, R. N. (1966). Learning and recall as organization and search. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 5, 201-204.
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique L'apport de la psychologie cognitive*. Montréal: Éditions Logiques.
- Tochon, F. V. (1993). *L'enseignante experte et l'enseignant expert*. Paris: Éditions Nathan.

Annexe

PHYSIQUE

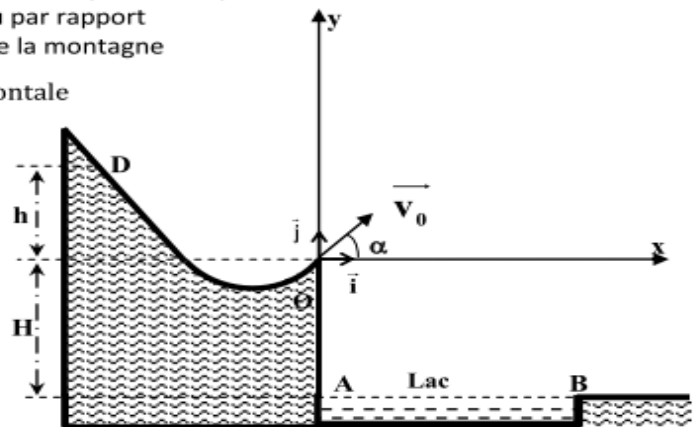
Problème 1 : Etude du mouvement d'un skieur

Un skieur glisse sur une montagne recouverte de glace au pied de laquelle se trouve un lac d'eau. La figure suivante donne l'emplacement du lac d'eau par rapport au point O où le skieur sera obligé de quitter le sol de la montagne

avec une vitesse \vec{v} faisant un angle α avec l'horizontale

Le skieur part d'un point D situé à la hauteur h par rapport au plan horizontal contenant le point O, (voir figure). La vitesse v du skieur lors de son passage au point O s'exprime par la relation $v = \sqrt{2gh}$

Dans un essai le skieur passe par le point O origine du repère (O, \vec{i}, \vec{j}) avec une certaine vitesse, alors il tombe dans le lac d'eau.



On veut déterminer la hauteur minimale h_m de la hauteur h du point D à partir duquel doit partir le skieur sans vitesse initiale pour qu'il ne tombe pas dans le lac.

Données :

- Masse du skieur et ses accessoires : $m=60\text{kg}$;
- Accélération de la pesanteur : $g=10\text{ m.s}^{-2}$;
- La hauteur : $H=0,50\text{ m}$;
- L'angle : $\alpha=30^\circ$

La longueur du lac d'eau : $AB = d = 10\text{m}$.

Pour cet exercice, on assimile le skieur et ses accessoires à un point matériel G et on néglige tous les frottements et toutes les actions de l'air.

1- Le skieur quitte le point O à l'instant $t = 0$ avec une vitesse \vec{v}_0 faisant un angle α avec l'horizontale.

1.1- En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer l'équation différentielle que vérifie chacune des coordonnées du vecteur vitesse dans le repère (O, \vec{i}, \vec{j}) .

1.2- Montrer que l'équation de la trajectoire du skieur s'écrit dans le repère cartésien sous la forme :

$$y(x) = -\frac{1}{2}g \cdot \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + x \cdot \tan \alpha .$$

2- Déterminer la valeur minimale h_m de la hauteur h pour que le skieur ne tombe pas dans le lac d'eau.

Problème 2 : La chute verticale d'une bille métallique .

L'objectif de cet exercice est d'étudier le mouvement de chute verticale d'une bille métallique dans l'air et dans un liquide visqueux.

Donnée :

- La masse volumique de la bille : $\rho_1 = 2,70 \cdot 10^3\text{ kg.m}^{-3}$;
- La masse volumique du liquide visqueux : $\rho_2 = 1,26 \cdot 10^3\text{ kg.m}^{-3}$;
- Le volume de la bille : $V = 4,20 \cdot 10^{-6}\text{ m}^3$
- Accélération de la pesanteur : $g = 9,80\text{m.s}^{-2}$

A l'instant $t=0$ on libère la bille d'un point O confondu avec son centre d'inertie G.

Le point O se trouve à une hauteur H de la surface libre du liquide visqueux qui se trouve dans un tube transparent vertical (figure 1).

La courbe de la figure (2) représente l'évolution de la vitesse v du centre d'inertie G de la bille au cours de sa chute dans l'air et dans le liquide visqueux.

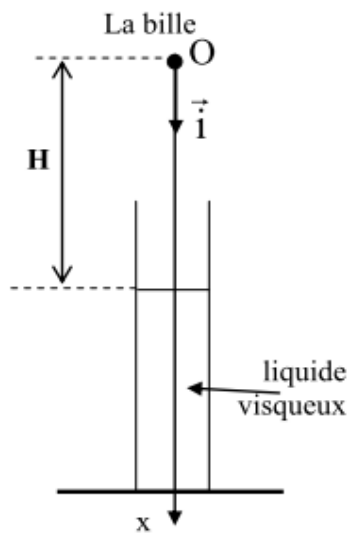


Figure 1

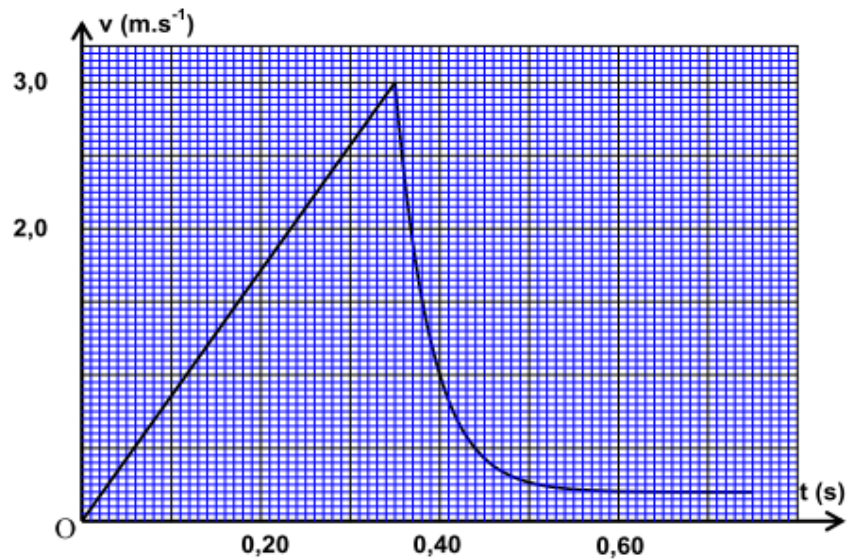


Figure2

1- Etude du mouvement de la bille dans l'air.

On modélise l'action de l'air sur la bille au cours de sa chute par une force verticale \vec{R} d'intensité R constante .

On néglige le rayon de la bille devant la hauteur H .

Le centre d'inertie de la bille atteint la surface libre du liquide visqueux à un instant t_1 avec une vitesse v_1 .

1.1- En appliquant la deuxième loi de Newton , exprimer R en fonction de V , ρ_1 , g , v_1 et t_1 .

1.2- En exploitant la courbe $v=f(t)$, calculer la valeur de R .

2- Etude du mouvement de la bille dans le liquide visqueux .

La bille est soumise pendant sa chute dans le liquide visqueux , en plus de son poids aux forces :

- Poussée d'Archimède : $\vec{F} = -\rho_2 \cdot V \cdot g \cdot \vec{i}$

- Force de frottement visqueux : $\vec{f} = -k \cdot v \cdot \vec{i}$ avec k constante positive .

On modélise l'évolution de la vitesse v du centre d'inertie de la bille, dans le système international des

unités, par l'équation différentielle $\frac{dv}{dt} = 5,2 - 26 \cdot v$ (1)

2.1- Trouver l'équation différentielle littérale vérifiée par la vitesse v du centre d'inertie de la bille en fonction des données du texte.

2.2- En utilisant cette équation différentielle littérale et le graphe de la figure 2 ,vérifier que l'équation différentielle (1) est correcte.

2.3- En utilisant l'équation aux dimensions, déterminer la dimension de la constante k .

Calculer la valeur de k

2.4- sachant que la vitesse du centre d'inertie de la bille dans le liquide visqueux à un instant t_i est $v_i=2,38 \text{ m.s}^{-1}$; établir à l'aide de la méthode d'Euler que l'expression de la vitesse de G à l'instant

$t_{i+1} = t_i + \Delta t$ est : $v_{i+1} = (1 - 26\Delta t) \cdot v_i + 5,20\Delta t$ avec Δt le pas du calcul .

Calculer v_{i+1} dans le cas où $\Delta t = 5,00 \text{ ms}$.