



HAL
open science

Notion d'accélération et outil vecteur

Alice Di Fabio

► **To cite this version:**

Alice Di Fabio. Notion d'accélération et outil vecteur. 11e rencontres scientifiques de l'ARDiST, Mar 2021, Bruxelles, Belgique. pp.573-580. hal-03838061

HAL Id: hal-03838061

<https://u-paris.hal.science/hal-03838061>

Submitted on 12 Dec 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Notion d'accélération et outil vecteur

Une ingénierie didactique fondée sur l'étude de la chute libre

Résumé : Dans cette communication, nous présentons une ingénierie didactique qui vise la reconstruction de la notion d'accélération à partir de la notion de variation de vitesse pour des élèves français de Terminale après enseignement. Quatre études préalables donnent des éclairages épistémologiques et didactiques de la notion d'accélération, de l'outil vecteur et de la maîtrise qu'en ont les élèves et les étudiants. Une analyse de contenu de la notion d'accélération et de ses caractéristiques dans le cas de la chute libre aboutit à la présentation de différents registres de représentation sémiotique de l'accélération. La proposition didactique place la représentation vectorielle au cœur du dispositif et est fondée sur l'hypothèse que la représentation de plusieurs vecteurs vitesse successifs est un levier d'apprentissage. Les résultats montrent des effets positifs sur les apprentissages des élèves, en leur permettant d'approfondir leurs connaissances de la chute libre et de se perfectionner dans la manipulation de vecteurs. On retient que présenter un contenu dans un mode de représentation inédit pour les élèves est porteur du point de vue didactique.

Mots-clés : cinématique ; accélération ; vecteur ; représentation sémiotique ; ingénierie didactique.

Notion of acceleration and vector tool

A learning design based on the study of free fall

Abstract : In this paper, we present a research based on a learning design which aims at rebuilding the notion of acceleration from the notion of speed variation. The learning sequence is intended for french high school seniors. Four exploratory studies highlight at an epistemological and an educational level the notion of acceleration, the use of vectors and the difficulties it raises for students. A content analysis of the notion of acceleration and its characteristics in the case of free fall leads to the presentation of different semiotic representation registers of acceleration. The learning sequence puts the vector representation at the centre of the learning system and puts the hypothesis that the representation of several successive velocity vectors is a learning tool. The results show positive effects on students learning especially by enabling them to deepen their knowledge of free fall and improve their skills in using vectors. We also conclude that presenting a content in a new way for students has a value-added at an educational level.

Keywords : kinematics ; acceleration ; vector ; semiotic representation ; learning design.

DE LA CHUTE LIBRE A LA NOTION D'ACCELERATION VECTORIELLE

L'étude de la chute libre est un incontournable de l'enseignement de la physique : il s'agit d'un mouvement fondamental à plusieurs titres. On dit qu'un objet est en chute libre lorsque celui-ci n'est soumis qu'à son poids (on se place pour cette étude, dans le référentiel terrestre considéré galiléen). On est donc dans le cas particulier d'un mouvement à force constante, cas le plus simple en physique. Le phénomène de la chute libre recouvre une infinité de mouvements, selon que l'objet est simplement lâché ou lancé dans telle ou telle direction, caractérisés par deux types de trajectoires, rectiligne et parabolique, qui ont en commun de se décomposer en un mouvement horizontal uniforme et un mouvement vertical uniformément varié, ce qui confère au mouvement de chute libre le statut d'exemple couramment utilisé en cinématique. On signale enfin le rôle historique déterminant, grâce aux travaux de Galilée, que l'étude de la chute libre a tenu dans la compréhension des lois du mouvement.

L'accélération : l'invariant de tous les mouvements de chute libre

Le mouvement de chute libre est, selon une approche cinématique, composé d'un mouvement horizontal uniforme et d'un mouvement vertical uniformément varié et est, selon une approche dynamique, un mouvement à force constante. Le concept unificateur entre ces deux descriptions est l'accélération, que nous choisissons de placer au centre de ce travail.

Une propriété du mouvement de chute libre est que son accélération est constante. Or l'accélération est un vecteur, ses composantes dans un repère sont des nombres relatifs. Le tableau 1 regroupe la représentation de cette propriété et celle de la variation de la vitesse dans un formalisme vectoriel et dans un formalisme algébrique.

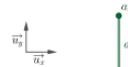
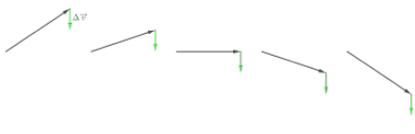
| | | | |
|---|---|--|--|
|  | $\vec{a} = \vec{g}$ |  | $a_x = 0$ $a_y = -g$ |
|  | $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ $\vec{v} = \vec{g}t + \vec{v}_0$ |  | $a_x = \frac{dv_x}{dt}$ $a_y = \frac{dv_y}{dt}$ $v_x = v_0 \cdot \cos \alpha$ $v_y = -gt + v_0 \cdot \sin \alpha$ |

Tableau 1 : Représentations vectorielle et algébrique de l'accélération et de la variation de vitesse

La mobilisation de ce double formalisme montre l'importance des outils mathématiques pour l'étude de la chute libre. Elle permet aussi, au passage, de distinguer ce qui est contingent aux choix d'orientation des axes du repère et ce qui est intrinsèque aux vecteurs.

Des savoir-faire spécifiques : les outils mathématiques

La résolution de la chute libre, c'est-à-dire l'obtention des équations horaires du mouvement, requiert la mise en œuvre d'outils mathématiques et de méthodes telles que la projection de vecteurs et la résolution d'équations différentielles.

Considérons les grandeurs scalaires et vectorielles présentées dans le tableau 1. Le signe des composantes change avec l'orientation des axes, en particulier le signe de l'ordonnée de l'accélération vectorielle. On l'écrit $a_y = +/- g$ suivant l'orientation de l'axe vertical, alors que g l'intensité du champ de pesanteur est un nombre défini positif.

On constate que des grandeurs algébriques, positives, vectorielles sont mobilisées. Or, elles sont de nature différente car issues de registres différents. C'est l'impact de l'utilisation de l'un de ces registres, celui des vecteurs, que nous examinons.

PROBLEMATIQUE ET CADRE CONCEPTUEL

Les pratiques d'enseignement usuelles actuelles liées à la chute libre sont caractérisées par l'application de la deuxième loi de Newton et l'utilisation des vecteurs. Or, on pourrait considérer d'autres méthodes et envisager d'autres approches pour aborder l'étude de la chute libre : une entrée par la cinématique avec l'étude du mouvement uniformément varié – qui correspond au mouvement projeté sur l'axe vertical – et une entrée par la dynamique avec l'étude du mouvement à force constante.

Ce sont les liens qui existent entre la façon d'aborder la chute libre, la méthode employée pour décrire le mouvement correspondant et le formalisme mathématique mobilisé qui guident notre étude. Et on fait l'hypothèse qu'une approche cinématique qui privilégie le formalisme vectoriel est davantage porteuse de sens.

La démarche de ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre de l'ingénierie didactique (Artigue, 1998) qui s'intéresse à des réalisations didactiques en classe incluant la conception, la réalisation, l'observation et l'analyse de séquences d'enseignement. Notre expérimentation a été menée en France avec quatre groupes d'élèves de Terminale scientifique de classes différentes et la proposition didactique a été mise en œuvre plusieurs fois successivement. Entre deux itérations, des modifications ont pu être apportées au protocole. La figure 1 présente le plan de de l'étude menée.

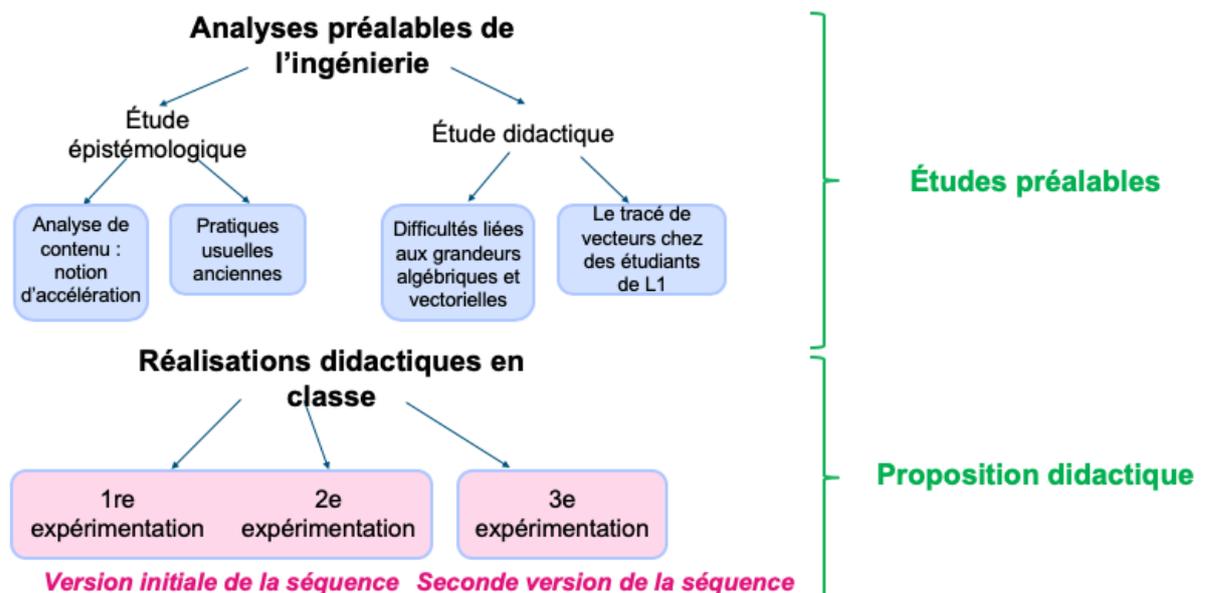


Figure 1 : Déroulement de l'ingénierie didactique

ÉTUDES PREALABLES

Le format de cette communication ne nous permet pas de revenir sur le détail des études préalables à l'ingénierie. Nous renvoyons le lecteur / la lectrice vers notre travail de thèse (Di Fabio, 2018). Nous présentons ici ce que nous retiendrons de ces études.

Dans l'analyse de contenu sur la notion d'accélération, sont présentées les propriétés du vecteur accélération. En particulier dans le cas d'un objet en chute libre, le vecteur accélération est un invariant car l'objet est soumis à une force constante, son poids (pour un objet de masse constante) et il est colinéaire à cette force c'est-à-dire vertical et dirigé vers le bas. C'est l'approche dynamique du vecteur accélération. Dans une approche cinématique, le vecteur accélération est défini comme la dérivée par rapport au temps du vecteur vitesse c'est-à-dire la limite du rapport de la variation de vitesse sur la durée. Le vecteur accélération est

donc colinéaire au vecteur variation de vitesse entre deux instants très proches. On supposera dans toute la suite que l'intervalle de temps entre deux vecteurs vitesse reste très petit. La figure 2 représente, dans trois cas de mouvements de chute libre, des vecteurs vitesse successifs pris à intervalles de temps réguliers. Chaque mouvement est caractérisé par sa vitesse initiale, représentée par le premier vecteur. Dans chacun des trois cas, le vecteur variation de vitesse, qui permet de passer d'un vecteur au suivant, est vertical dirigé vers le bas.

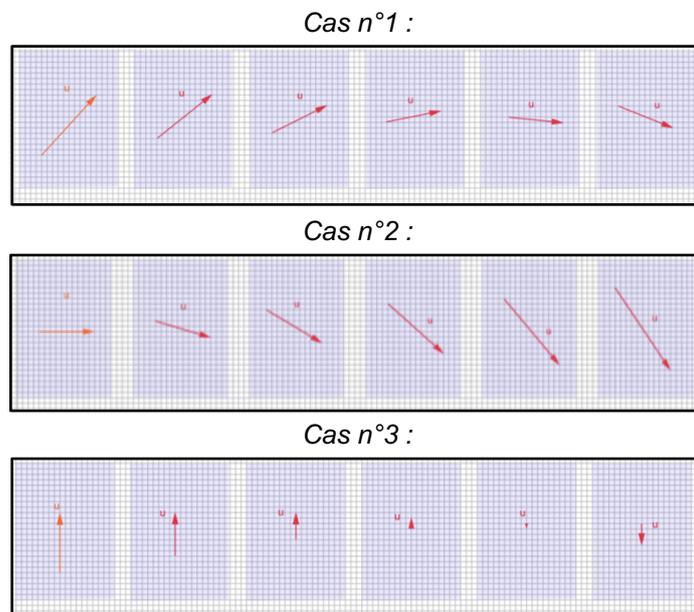


Figure 2 : Vecteurs vitesse d'un objet lancé vers le haut et vers la droite (cas n°1), d'un objet lancé horizontalement (cas n°2) et d'un objet lancé verticalement vers le haut (cas n°3)

L'analyse de contenu décrit, de plus, différentes façons de représenter l'accélération qui déterminent quatre registres de représentation, au sens de registres de représentation sémiotique (Duval, 1993, 1995, 2006) : la représentation visuelle des vecteurs, les relations vectorielles, la représentation visuelle dans une base orthonormée et les relations algébriques. Ces quatre registres correspondent aux quatre colonnes du tableau 1. Notre étude s'intéresse au raisonnement à l'intérieur d'un registre et au passage d'un registre à l'autre dans les pratiques usuelles actuelles. On s'aperçoit que sont privilégiées les relations algébriques dans une base orthonormée pour la résolution de la chute libre, prenant la représentation vectorielle uniquement comme point de départ. Ces pratiques usuelles sont caractérisées également par le fait qu'elles placent l'accélération au cœur d'une approche dynamique de la chute libre.

La prévalence de l'approche dynamique peut expliquer une partie des difficultés constatées chez des étudiants de L1 quand on examine leur degré de maîtrise des vecteurs en cinématique (position, vitesse, accélération). Notre étude préalable dont les outils d'analyse sont ceux de la théorie anthropologique du didactique (Chevallard, 1998, 1999) met en évidence que le tracé de ces vecteurs représente une difficulté et que les étudiants raisonnent de manière indépendante sur les trois vecteurs.

D'autres travaux de recherche renseignent sur les difficultés posées aux élèves et aux étudiants par les grandeurs vectorielles. On relève la tendance à réduire les grandeurs physiques vectorielles à leur intensité et le fait que l'addition vectorielle n'est pas maîtrisée (Genin *et al.*, 1987 ; Nguyen et Meltzer, 2003). Au-delà des seules caractéristiques mathématiques et des opérations associées, d'autres travaux identifient des difficultés sur la compréhension et la manipulation du concept de vecteur dans un contexte physique (Ba, 2007) et cinématique spécifiquement. Aguirre (2006) montre qu'un vecteur vitesse instantanée n'est pas considéré par les étudiants comme provenant de la composition des deux composantes de ce vecteur. Enfin, Shaffer et McDermott (2005) pointent le fait que certains étudiants appliquent les lois

de la dynamique pour trouver le sens et la direction des vecteurs accélération dans un contexte où les situations proposées relèvent strictement de la cinématique.

PROPOSITION DIDACTIQUE

Ces résultats nous amènent à supposer qu'une approche cinématique pourrait consolider les connaissances qu'ont les étudiants en cinématique et donner sens au vecteur accélération. C'est la raison pour laquelle la proposition didactique élaborée vise l'observation et le tracé de vecteurs vitesse d'un objet en chute libre.

On place au cœur du dispositif le registre de la représentation visuelle des vecteurs. On fait travailler les élèves à l'intérieur de ce registre sur des profils de vecteurs vitesse qui sont la représentation de plusieurs vecteurs vitesse successifs d'un objet en chute libre pris à intervalles de temps réguliers, comme dans la figure 2.

La séquence proposée est constituée de deux séances. La première débute par la mise en place d'une situation adidactique (Brousseau, 1998) dont le milieu est le profil de vecteurs vitesse. La consigne de l'activité de recherche est : « Trouver la règle permettant de passer d'un vecteur vitesse au suivant ». Il s'agit effectivement d'une situation adidactique parce qu'on suppose que les élèves ne saisiront pas qu'on leur demande de tracer le vecteur accélération. Les tâches attendues sont : déterminer les composantes de deux vecteurs vitesse successifs, les comparer, en déduire les composantes du vecteur variation de vitesse et le tracer. Puis les élèves sont ensuite amenés à tracer plusieurs profils de vecteurs vitesse, le premier vecteur étant donné, en effectuant la somme vectorielle d'un vecteur vitesse et du vecteur variation de vitesse.

Dans un deuxième temps, les élèves sont amenés à comparer des mouvements de chute libre, dégager l'invariant entre ces différents mouvements – le vecteur variation de vitesse – et repérer que chaque mouvement est caractérisé par sa vitesse initiale. En phase d'institutionnalisation, le logiciel de géométrie dynamique GeoGebra est utilisé pour générer des profils de vecteur vitesse à partir du vecteur vitesse initiale : grâce à des curseurs que l'on fait varier, on modifie les composantes du vecteur vitesse initiale ce qui a pour effet de modifier le profil de vecteurs vitesse.

L'objectif de la première séance est d'aboutir à la conclusion que le vecteur variation de vitesse est colinéaire et de même sens que le champ de pesanteur dans le cas du mouvement de chute libre. L'objectif de la deuxième séance est de transférer le raisonnement à d'autres mouvements : mouvement sur un plan incliné, mouvement rectiligne uniforme. La figure 3 présente deux des fiches réponses fournies aux élèves.

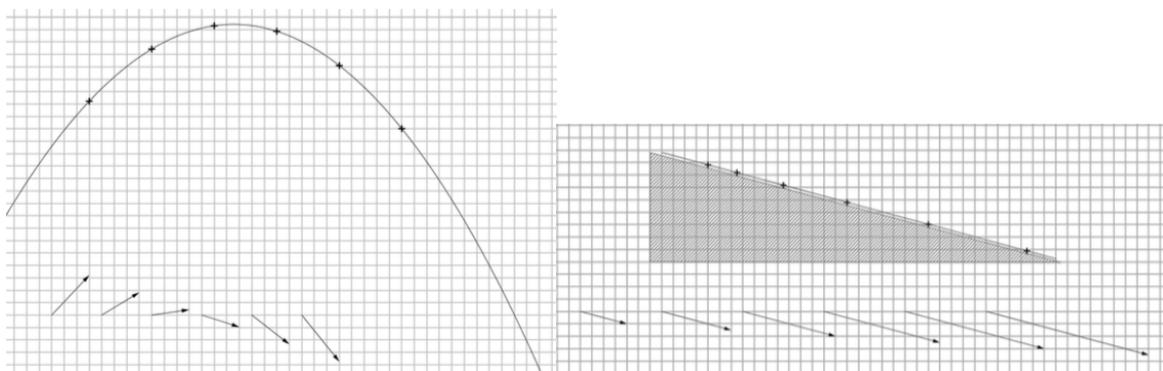


Figure 3 : Trajectoire et profil de vecteurs vitesse d'un objet : en chute libre (à gauche) et sur un plan incliné (à droite)

On retient les questions de recherche suivantes :

1. Dans quelle mesure les élèves raisonnent-ils dans le registre de la représentation vectorielle ?

2. Les élèves justifient-ils que le vecteur variation de vitesse est vertical dirigé vers le bas (colinéaire au champ de pesanteur) dans le cas d'un mouvement de chute libre ?
3. Les élèves transfèrent-ils à d'autres mouvements que la chute libre l'argument de colinéarité entre le vecteur variation de vitesse et le vecteur résultante des forces appliquées sur le système ?

PRINCIPAUX RESULTATS

L'analyse des données issues de la première séance (figure 4) montre que les élèves effectuent le décompte des carreaux correspondant aux coordonnées des vecteurs.

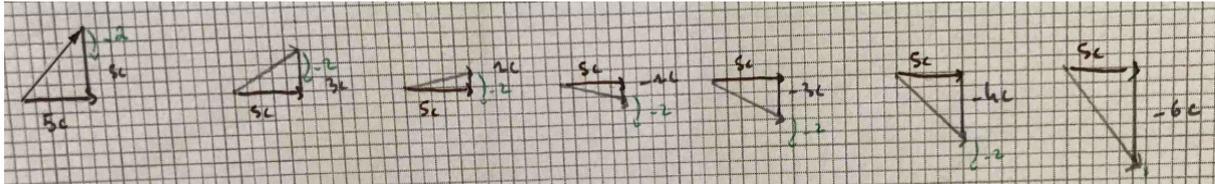


Figure 4 : Exemple de fiche réponses recueillie correspondant à la consigne « Trouver la règle permettant de passer d'un vecteur vitesse au suivant »

Les élèves déterminent les composantes du vecteur variation de vitesse, le tracent et traçent les profils de vecteur vitesse mais sans effectuer de somme vectorielle. On constate que le formalisme vectoriel est mal maîtrisé mais qu'une articulation entre les registres vectoriel et algébrique est à l'œuvre.

Pour le mouvement parabolique, les élèves déterminent et tracent le vecteur variation de vitesse et évoquent le champ de pesanteur (figure 5). Pour les autres mouvements, les élèves tracent le vecteur variation de vitesse mais tous ne font pas le bilan des forces qui s'exercent sur le système.

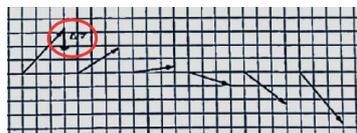


Figure 5 : Exemple de fiche réponses recueillie correspondant à l'étude d'un mouvement parabolique

On en conclut qu'ils reconnaissent le lien de colinéarité entre le vecteur variation de vitesse et le vecteur somme des forces uniquement pour le mouvement parabolique : il n'y a pas de transfert du raisonnement à d'autres mouvements que la chute libre.

Dans l'étude d'un mouvement, les élèves n'aboutissent pas au raisonnement attendu. On fait l'hypothèse que les élèves n'associent pas spontanément le vecteur variation de vitesse à l'accélération et ne lui donnent pas une signification dynamique c'est-à-dire en lien avec les forces qui s'exercent sur l'objet.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

À l'issue de la mise en œuvre de l'ingénierie didactique, on constate que l'objectif d'amener les élèves à s'approprier un certain type de raisonnement n'est pas complètement atteint. Ce raisonnement est opérationnel, pour les élèves, dans le cas de la chute libre mais pas pour d'autres mouvements. En revanche, on retient que la prise de position de départ selon laquelle les élèves ont une maîtrise insuffisante de la représentation vectorielle est vérifiée. De plus, la séquence est porteuse d'objectifs d'apprentissage pertinents tels que : passer du registre vectoriel au registre algébrique et inversement, se perfectionner dans la manipulation de vecteurs, remobiliser et approfondir les connaissances de la chute libre.

On conclut que le fait de présenter un contenu dans un mode de représentation inédit pour les élèves est porteur du point de vue didactique. Les questions posées dans la séquence sont productives d'une activité pour les élèves alors même qu'il ne s'agit pas d'un savoir nouveau. Les tâches attendues restent dans la zone proximale de développement des élèves (Vygotsky, 1985). La valeur ajoutée de la séquence est qu'elle vise à permettre la complexification des liens cognitifs et favoriser la structuration des connaissances.

Dans la lignée de l'étude des mouvements proposés, l'idée pourrait être de construire des situations physiques qui mettent davantage en lumière le lien (de type nécessité ?) entre les aspects cinématique et dynamique.

BIBLIOGRAPHIE

- Aguirre, J. M. (2006) Student preconceptions about vector kinematics, *The Physics Teacher*, 26, 212.
- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches En Didactique Des Mathématiques*, 9(3), 281–308.
- Ba, C. (2007). Étude épistémologique et didactique de l'utilisation des vecteurs en physique et en mathématiques. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard-Lyon 1 et Université Cheikh Anta Diop-Dakar.
- Brousseau, G. (1998). Les obstacles épistémologiques, problèmes et ingénierie didactique. In *La théorie des situations didactiques*.
- Chevallard, Y. (1998). Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques : l'approche anthropologique. *Actes de l'École D'été de La Rochelle*.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *RDM*, 19(2), 221-226.
- Di Fabio, A. (2018). Chute libre : étude du mouvement et des méthodes de résolution, proposition didactique. Thèse de doctorat. Université Paris Diderot.
- Duval, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. In : *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives* (Vol. 5, No. 1, pp. 37-65).
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Bern : Lang.
- Duval, R. (2006). Du mot au concept conversion. *Le séminaire. Collection "Sciences de l'éducation"*. Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.
- Genin, C., Michaud-Bonnet, J., & Pellet, A. (1987). Représentation des élèves en mathématiques et en physique sur les vecteurs et les grandeurs vectorielles lors de la transition collège-lycée. *Petit X*, 14–15, 39–63.
- Nguyen, N. L., Meltzer, D. E. (2003) Initial understanding of vector concepts among students in introductory physics courses, *American Journal of Physics* 71, 630.
- Shaffer, P. S. et McDermott, L. C. (2005) A research-based approach to improving student understanding of the vector nature of kinematical concepts, *American Journal of Physics* 73, 921.
- Vygotski, L. S. (1985). *Langage et pensée*. Paris : Ed. Sociales.