HAL open science

Une expérimentation concernant l'étude des changements de référentiels. La cognition incarnée au service de l'apprentissage de la cinématique

Nicolas Décamp, Emmanuel Rollinde, Catherine Derniaux

To cite this version:

Nicolas Décamp, Emmanuel Rollinde, Catherine Derniaux. Une expérimentation concernant l'étude des changements de référentiels. La cognition incarnée au service de l'apprentissage de la cinématique. 11e rencontres scientifiques de l'ARDiST, Mar 2021, Bruxelles, Belgique. pp.761-767. hal-03008391v1

HAL Id: hal-03008391

https://hal.science/hal-03008391v1

Submitted on 17 Nov 2020 (v1), last revised 13 Apr 2021 (v2)

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.

Une expérimentation concernant l'étude des changements de référentiels

La cognition incarnée au service de l'apprentissage de la cinématique

Nicolas Decamp
Université de Paris, LDAR, F-75013 Paris, France
Universités d'Artois, CY Cergy Paris, Paris Est Creteil, Rouen
Emmanuel Rollinde
CY Cergy Paris Université, LDAR, F-95000 Cergy, France
Universités de Paris, Artois, Paris-Est Créteil, Rouen
Catherine Derniaux
Lycée Condorcet, 94210 Saint Maur des Fossés

Résumé : Nous présentons dans cette communication une expérimentation concernant l'étude des changements de référentiels dans le contexte de l'astronomie. Nous nous appuyons pour cela sur le cadre de la cognition incarnée et nous faisons participer l'ensemble des élèves de seconde d'un lycée français du Val de Marne (lycée Condorcet) à deux séances d'enseignement-apprentissage successives fondées sur un même scénario mais dont le degré d'incarnation diffère. Entre chaque séance nous évaluaons les réponses des élèves à un questionnaire à visée conceptuelle. Nos premiers résultats suggèrent que les séances ont bien un effet sur les élèves, mais que, contrairement à notre hypothèse, le degré d'incarnation ne semble pas jouer sur les apprentissages conceptuels. L'effet des séances semble par ailleurs toujours présent trois mois après leur mise en œuvre.

Mots-clés : Didactique de la physique, cognition incarnée, cinématique, changement de référentiels, planétaire.

An experiment concerning the study of the change of reference frame

Embodied cognition for the learning of kinematics

Abstract : *In this paper we present an experiment on the study of changes in reference frames in an astronomical context. We rely on the theoretical framework of embodied cognition and we involve all the students of a french high school (lycée Condorcet, Val de Marne) in two successive teaching-learning sessions based on the same scenario but with a different degree of embodiment. Between each session we evaluated the students' responses to a conceptual questionnaire. Our first results suggest that the sessions do have an effect on students, but that the degree of embodiment does not seem to affect conceptual learning. The effect of the sessions also seems to be still present three months after their implementation.*

Keywords : *Physics education research, embodied cognition, kinematics, change of reference frame, orrery*

CONTEXTE ET CADRE THEORIQUE

Changements de référentiels

La bonne maîtrise du raisonnement spatial est fondamentale pour la réussite dans les disciplines scientifiques (Janelle, Hegarty, & Newcombe, 2014). La compréhension des changements de référentiels en constitue une part importante, part qui a été étudiée dès les premiers travaux de recherche en didactique de la physique. Parmi ceux-ci, à l'occasion de l'étude des référentiels galiléens, Saltiel & Malgrange (1980) ont très tôt montré et alors même que cette distinction n'a pas de sens en cinématique, que les étudiants distinguaient deux sortes de mouvements : « les mouvements 'vrais' ou 'réels' qui sont intrinsèques […] et les mouvements 'apparents' qui sont perçus comme des fictions ou des illusions d'optique ». Ces mêmes auteurs montrent au passage que les étudiants interrogés ont plus de mal à répondre aux questions concernant les variations de distances lors de changements de référentiel qu'à celles concernant les vitesses. Ils interprêtent ces résultats en supposant que les étudiants « figent » le point de vue de l'observateur et éliminent ainsi implicitement le temps : « Tout se passe comme si l'espace dans lequel est représenté un mouvement était unique (c'est-à-dire indépendant des observateurs), géométrique et intemporel en ce sens que le temps n'apparaît que comme durée finie du passage d'un lieu à un autre ».

Astronomie

Parmi les différents contextes possibles, l'astronomie se présente comme un domaine particulièrement intéressant pour l'étude des notions de cinématique (Albanese et al., 1997) et le raisonnement spatial (Cole et al., 2018). Son apprentissage nécessite la manipulation d'échelles très diverses, décentrement et mouvements y sont partout présents et les référentiels qu'on y définit sont souvent assez « abstraits » ; on pense ici par exemple au référentiel géocentrique ou au référentiel héliocentrique qui ne font pas directement référence à un objet matériel qu'il s'agirait de prolonger mais seulement au centre d'un astre (la Terre ou le Soleil) et à des directions pointant vers des étoiles lointaines. Pour finir, notons que le langage qu'on emploie couramment en astronomie peut lui-même porter à confusion : le terme « mouvement apparent » qui en est issu laisse par exemple implicitement penser qu'il existerait des mouvements non apparents, alors qu'une vitesse n'a de sens que relativement à un référentiel donné.

Cognition incarnée & changement conceptuel

Nous nous proposons dans cette communication de nous attaquer à ces difficultés bien connues à la lumière de récents développements en cognition incarnée. Selon ce cadre issu de la psychologie cognitive, expériences sensori-motrices et conceptualisation s'avèrent intimement liées (Glenberg, 2013). Le changement conceptuel (Amin & Levrini, 2017) pourrait alors être favorisé par des interactions contrôlées entre le corps d'un élève en situation d'apprentissage et son environnement (Sabena, 2018). Afin d'explorer ces pistes de levier d'apprentissage, nous avons mis au point une séance fondée sur cette hypothèse : une séance au cours de laquelle l'attention est avant tout fondée sur la perception. Nous l'avons alors testée sous deux modalités correspondant à deux degrés d'incarnation différents.

Les questions de recherche qui en résultent sont les suivantes :

- QR1 : une séance de ce type permet-elle un apprentissage ?
- QR2 : le degré d'incarnation qui la caractérise a-t-il une influence ?
- QR3 : les effets de cette séance sont-ils durables ?

METHODOLOGIE

Expérimentation

Pour l'ensemble de cette expérimentation, nous avons mis à profit la semaine banalisée correspondant au « bac blanc » organisé en février par un lycée du Val de Marne (lycée Condorcet), lycée ne relevant ni de dispositifs particuliers ni de l'éducation prioritaire. L'ensemble des élèves de seconde (N=228) étant libéré cette semaine-là, nous avons pu les répartir en deux groupes (EF et FE) constitués aléatoirement. Chacun de ces deux groupes était lui-même aléatoirement divisés en 8 sous-groupes d'une quinzaine d'élèves pour des raisons pratiques. Au cours de la semaine banalisée, nous avons soumis l'ensemble des élèves à un premier questionnaire (Q1) visant à vérifier l'homogénéité de 2 groupes et à connaître leur niveau au départ de l'expérimentation. Chacun des élèves du groupe EF a ensuite suivi en premier lieu une séance à « degré d'incarnation élevé » (DIE) et l'autre moitié des élèves (groupe FE) a commencé par une séance suivant le même scénario mais réalisée avec un « degré d'incarnation faible » (DIF). Tous les élèves ont ensuite à nouveau été soumis à un questionnaire (Q2). Puis les groupes ont été inversés et chaque élève a suivi la séance complémentaire de celle qu'il avait suivie lors de la première session. Pour des raisons en partie logistiques cette deuxième séance a été conduite par les enseignants du lycée. Ceux-ci avaient assisté à la première séance, réalisée, elle, par les chercheurs l'ayant conçue. À la suite de cette deuxième séance nous avons soumis l'ensemble des élèves à un questionnaire (Q3). Enfin, 3 mois après la fin de ces deux séances qui avaient lieu la même semaine, l'ensemble des élèves a de nouveau été soumis à un questionnaire (Q4).

Mois	Étape	durée	Groupe EF	Groupe FE
Février	1er questionnaire	15 min	Q1	Q1
Février	1re séance	90 min	DIE	DIF
Février	2e questionnaire	15 min	Q2	Q2
Février	2e séance	90 min	DIF	DIE
Février	3e questionnaire	15 min	Q3	Q3
Mai	4e questionnaire	15 min	Q4	Q4

Tableau 1 : Tableau récapitulant les différentes étapes de notre expérimentation (les étapes ayant eu lieu en février ont toutes eu lieu la même semaine).

Les séances

Les séances proposées comprenaient trois phases, suivant en cela l'approche phénoménologique de Depraz et al. (2000), focalisant sur l'importance de l'attention portée à la perception (Coles & Brown, 2016) : une phase initiale de « suspension des pensées et des jugements habituels », une phase centrale au cours de laquelle l'attention des élèves est progressivement portée de « l'extérieur » vers « l'intérieur » et une phase finale de relâchement de la perception pour favoriser l'assimilation.

Au cours de la première phase, les élèves découvraient, soit un planétaire « humain », une bâche sur laquelle ils allaient eux-même être amenés à se déplacer (DIE), soit un modèle réduit au format A4 de ce planétaire à parcourir d'un doigt (DIF). Ce planétaire est reproduit à l'échelle en figure 1 ; Rollinde & Décamp (2019) détaillent certaines des possibilités d'utilisation de planétaires humains dans un contexte scolaire.

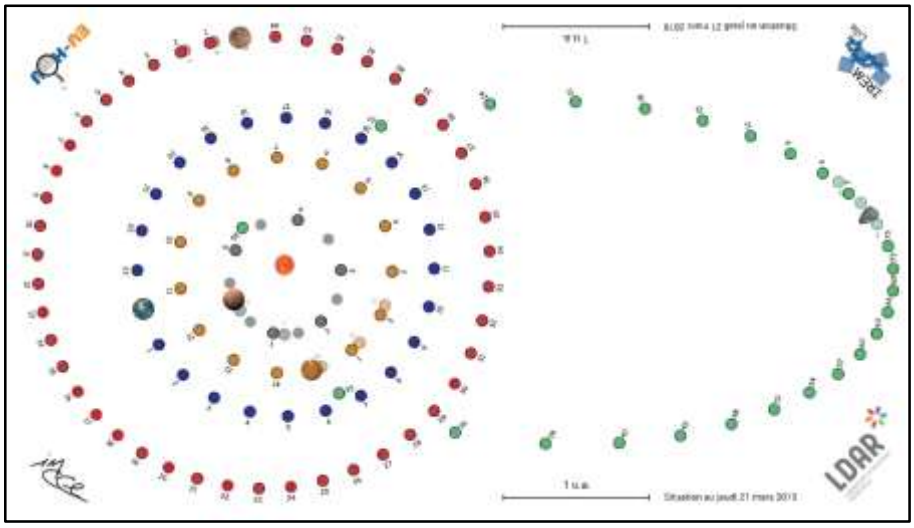

Figure 1 : Planétaire représentant le mouvement des 4 planètes les plus proches du Soleil, ainsi que de la comète Encke sur une période orbitale à partir du 21 mars 2019.

Dans la deuxième phase, les différents référentiels (terrestre, géocentrique, héliocentrique) étaient introduits. Dans le cas du planétaire humain (DIE), chaque élève était amené tour à tour à « incarner », l'un des référentiels (en concentrant en particulier son attention sur ses bras, tendus à l'horizontale et représentant les directions de deux axes associés au référentiel choisi). Dans le cas du planétaire au format A4 (DIF), le référentiel héliocentrique était « incarné » par la feuille de papier imprimée, et les deux autres référentiels (terrestre et géocentriques) l'étaient par des feuilles de papier calque représentant chacun l'un de ces référentiels.

Différentes situations étaient alors « jouées » : les élèves simulaient ainsi le mouvement de la Terre, de Mars et du Soleil au cours de 24h en se plaçant successivement dans le référentiel terrestre, puis dans le référentiel géocentrique. Ils faisaient ensuite de même sur une plus longue période (un peu plus de 6 mois), en se plaçant dans le référentiel héliocentrique et géocentrique, ce qui leur permettait d'observer le mouvement de rétrogradation de Mars.

Il était demandé au cours de la séance, dans un cas comme dans l'autre, de comparer les mouvements et de représenter les trajectoires des différents astres dans les différents référentiels sur les périodes de temps communes.

Questionnaire

Les questionnaires (Q1, Q2, Q3, Q4) auxquels les élèves ont été soumis étaient tous identiques, inspirés du questionnaire proposé par Saltiel et Malgrange (1980) et à visée conceptuelle. Ils étaient composés de 6 questions dont 3 testaient les élèves à propos de la non-conservation de la distance (questions a, c, e) et 3 autres à propos de la non-conservation de la vitesse (questions b, d, f) lors d'un changement de référentiel. Les 3 contextes choisis pour ces questionnaires étaient les suivants :

- deux parachutistes en translation rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre servaient de référentiels pour l'étude du mouvement d'une paire de lunettes (questions a et b).
- le référentiel terrestre et le référentiel lunaire servaient servaient à décrire le mouvement de Jupiter au cours d'une journée (questions c et d)
- le référentiel terrestre et le référentiel lié à un manège tournant sur lui-même servaient à décrire le mouvement d'un enfant se déplaçant sur ce manède (question e et f).

RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats

Les résultats de l'ensemble des groupes sont présentés en figure 2.

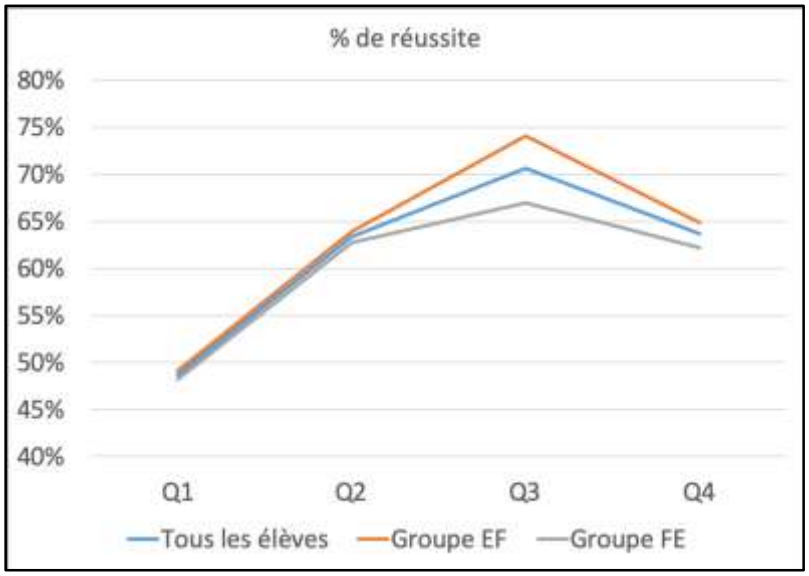

Figure 2 : pourcentage de réussite pour l'ensemble des questions lors des 4 questionnaires.

On constate tout d'abord que le taux de réussite initial est tout à fait similaire pour les deux groupes et est, en moyenne, de l'ordre de 50%. Un test de Fisher exact permet de confirmer que ces deux groupes peuvent initialement être considérés comme homogènes.

A l'issue de la 1re séance, il y a progression du taux de bonnes réponses. Celui-ci est en moyenne un peu supérieur à 60% lors de Q2. Et ce taux atteint 70% à l'issue de la 2e séance (lors de Q3).

Si l'on considère l'ensemble des deux séances comme un tout (en comparant les résultats à Q1 et à Q3), on constate que cet ensemble de deux séances a eu un effet positif quelle que soit la question. Afin de confirmer la significativité de ce résultat nous avons réalisé un test binomial sur les populations d'élèves ayant changé d'avis et avons obtenu les p-values du tableau 2 (colonne Q1→Q3). En réponse à QR1, il semble donc avéré que ces séances aient bien eu un effet sur les élèves.

Question	Contexte	Concept	Q1→Q3	Q1→Q2	Q2→Q3	Q1→Q4
a	parachutistes	distance	**p=0,003**	p=0,142	p=0,186	p=0,155
c	astronomie		**$p=7.10^{-7}$**	**$p=2.10^{-7}$**		**$p=5.10^{-4}$**
e	manège		**$p=1.10^{-4}$**	**$p=5.10^{-5}$**		**$p=3.10^{-5}$**
b	parachutistes	vitesse	**$p=3.10^{-6}$**	p=0,163	**$p=4.10^{-5}$**	**p=0,029**
d	astronomie		**$p=1.10^{-9}$**	**$p=2.10^{-7}$**		**p=0,009**
f	manège		**$p=8.10^{-8}$**	**$p=3.10^{-5}$**		**p=0,015**

Tableau 2 : Tableau récapitulant pour chacune des questions les p-values liées à un test binomial sur les populations d'élèves ayant changé d'avis : entre Q1 et Q3, entre Q1 et Q2, entre Q2 et Q3, et entre Q1 et Q4. Lorsque p<0,05 nous considérons que la (ou les) séance(s) intermédiaire(s) a(ont) eu un effet significatif sur les élèves. Dans ce cas, la valeur de la p-value est inscrite en caractères gras.

En regardant plus en détail les évolutions liées à la seule première séance (cf tableau 2, colonne Q1→Q2), on note que celle-ci a eu un effet positif sur les réponses aux questions c, d, e, f (celles liées à un contexte astronomique ou au contexte du manège), mais pas d'effet significatif sur les réponses aux questions a et b. Il se peut que ce dernier résultat soit dû au type de changement de référentiel : translation dans le contexte des questions a et b alors qu'il s'agit d'une rotation dans les autres et que ce sont également des rotations qui ont été travaillées lors de la séance. Il se peut aussi que le référentiel terrestre soit particulièrement pregnant dans ce premier contexte et l'emporte sur la possibilité de se placer mentalement dans les référentiels liés aux parachutistes.

En analysant l'effet de la seule séance 2 (cf tableau 2, colonne Q2→Q3), on constate que celle-ci n'a pas d'effet significatif sur les questions liées aux distances, mais continue à en avoir un sur les questions liées à la vitesse. Il semble en fait que l'évolution de la pensée des élèves sur la non-conservation de la distance se fasse petit à petit (au cours des deux séances), alors qu'elle se fait plus rapidement en ce qui concerne la non-conservation de la vitesse.

Par ailleurs, en réponse à QR2, on ne note pas de différence significative liée au degré d'incarnation de la séance (cf tableau 3 présentant les comparaisons de l'évolution des groupes EF et FE entre Q1 et Q2). Les évolutions des réponses entre Q1 et Q3 (sur l'ensemble des deux séances) ne permettent par ailleurs pas de déceler de différences significatives liées à l'ordre des séances (EF puis FE ou FE puis EF), sauf pour une question.

Question	Contexte	Concept	EF vs FE entre Q1 et Q2	(EF+FE) vs (FE+EF) entre Q1 et Q3
a	parachutistes	distance	p=0,254	p=1
c	astronomie		p=0,314	**p=0,030**
e	manège		p=0,807	p=0,794
b	parachutistes	vitesse	p=0,842	p=0,818
d	astronomie		p=1	p=0,618
f	manège		p=0,790	p=1

Tableau 3 : Tableau récapitulant pour chacune des questions les p-values liées à un test de Fisher sur les populations d'élèves ayant changé d'avis . Lorsque p<0,05 nous considérons que la différence est significative. Dans ce cas, la valeur de la p-value est inscrite en caractères gras.

Enfin, et en réponse à QR3, même s'il y a une baisse des taux de bonnes réponses lors du dernier test (Q4 a eu lieu entre le 21 et le 24 mai, alors que les premiers tests avaient eu lieu pour le 1er groupe les 11 et 13 février, et pour le 2e groupe, les 12 et 14 février), la colonne Q1→Q4 du tableau 2 montre que les évolutions entre le 1er test et ce 4e test restent significatives (et positives) sauf pour une question (la question a).

Discussion et perspectives

Si ces premiers résultats sont encourageants (puisque ces séances ont un effet positif), ils ne permettent qu'une vue globale de l'évolution des réponses des élèves et à un questionnaire qui plus est très succinct. L'analyse plus fine du déroulement de la séance reste à effectuer, elle sera proposée dans un article plus complet en cours de rédaction.

Le degré d'incarnation ne semble pas, quant à lui, avoir d'effet significatif sur les réponses des élèves lors des tests. Si on ne peut conclure à un effet de ce degré d'incarnation sur le plan conceptuel, des prolongements pourraient en revanche être envisagés sur l'implication

et l'intérêt des élèves, leur enrôlement dans les tâches proposées, voire sur leur sentiment d'efficacité personnelle.

Enfin, la question de la transférabilité de ce type de séance à d'autres domaines de la physique se pose, ainsi que la question de sa dissémination à plus grande échelle. Dans notre expérimentation, les enseignants du lycée prenaient le relai des chercheurs et expérimentaient ces séances avec des élèves ayant déjà été soumis à une première séance. Une comparaison directe de l'efficacité dans un cas et dans l'autre n'est pas possible dans la mesure où deux paramètres varient simultanément. Nous envisageons de reproduire cette expérimentation en améliorant les séances et en déléguant cette fois l'intégralité de la gestion des séances aux enseignants du lycée pour une partie des élèves, afin de pouvoir également conclure sur ce point. Les séances seront cette fois filmées et nous soumettrons également les élèves à un questionnaire sur leur intérêt et leur motivation (Fenouillet, 1998) afin de nous permettre d'analyser plus en détail les interactions et le ressenti des élèves au cours de ces séances.

BIBLIOGRAPHIE

Albanese, A., Neves, M. C. D., & Vicentini, M. (1997). Models in science and in education: A critical review of research on students' ideas about the earth and its place in the universe. *Science & Education*, 6(6), 573-590. doi:10.1023/A:1008697908361

Amin, T. G., & Levrini, O. (2017). *Converging Perspectives on Conceptual Change: Mapping an Emerging Paradigm in the Learning Sciences*. London: Routledge. doi:10.4324/9781315467139

Cole, M., Cohen, C., Wilhelm, J., & Lindell, R. (2018). Spatial thinking in astronomy education research. *Physical Review Physics Education Research*, 14, 010139. doi:10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010139

Coles, A. & Brown, L. (2016). Task design for ways of working: making distinctions in teaching and learning mathematics. Journal of Mathematics Teacher Education, 19(2), 149-168. doi:10.1007/s10857-015-9337-4

Depraz, N., Varela, F. J., & Vermersch, P. (2000). The gesture of awareness: An account of its structural dynamics. In *Advances in consciousness research, vol. 13. Investigating phenomenal consciousness: New methodologies and maps* (p. 121-136). doi:10.1075/aicr.13.10dep

Fenouillet, F. (1998). La nature de l'intérêt, revue de psychologie de l'éducation, 3, 269-284

Glenberg, A. M., Witt, J. K., & Metcalfe, J. (2013). From the Revolution to Embodiment: 25 Years of Cognitive Psychology. *Perspectives on Psychological Science*, 8(5), 573-585. doi:10.1177/1745691613498098

Janelle, D. G., Hegarty, M., & Newcombe, N. S. (2014). Spatial Thinking Across the College Curriculum: A Report on a Specialist Meeting. *Spatial Cognition & Computation*, 14(2), 124-141. doi:10.1080/13875868.2014.888558

Rollinde, E., Décamp, N. (2019). Enacting planets to learn physics. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 1287(1), 012011. doi:10.1088/1742-6596/1287/1/012011

Sabena, C. (2018). Exploring the Contribution of Gestures to Mathematical Argumentation Processes form a Semiotic Perspective. In G. Kaiser et al. (eds.), *Invited Lectures from the 13th International Congress on Mathematical Education*, ICME-13 Monographs (pp. 541-560). Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-319-72170-5_30

Saltiel, E., & Malgrange, J. L. (1980). Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics. *European Journal of Physics*, 1(2), 73–80. doi.org:10.1088/0143-0807/1/2/002