

Dispositif pédagogique intégrant la robotique et motivation des élèves en sciences physiques au cycle collégial : une étude quasi-expérimentale en contexte marocain

A Robotics-Integrated Teaching Approach and Middle School Students' Motivation in Physical Sciences: A Quasi-Experimental Study in the Moroccan Context

Nouhayla Elrhoul, Mohamed Droui

École Supérieure de l'Éducation et de la Formation (ESEF), Université Mohammed Premier,
Oujda, Maroc.

nouhaylaelrhoul@gmail.com, droum55@yahoo.fr

DOI : 10.5281/zenodo.21366909

Revue Sciences & Education, Vol.1, N° 1, 2024

<https://scienceseducation.org/>

Reçu le : 15/11/2024 | Accepté le : 25/12/2024 | Publié le : 29/12/2024

Comment citer cet article :

Elrhoul, N.& Droui, M. (2024). Étude du niveau de motivation des élèves du collège envers l'apprentissage des sciences physiques dans le contexte marocain. In Sciences & Education (Vol. 1, Issue 1, pp. 71–83). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21366909>

Dispositif pédagogique intégrant la robotique et motivation des élèves en sciences physiques au cycle collégial : une étude quasi-expérimentale en contexte marocain

A Robotics-Integrated Teaching Approach and Middle School Students' Motivation in Physical Sciences: A Quasi-Experimental Study in the Moroccan Context

Nouhayla Elrhoul, Mohamed Droui

École Supérieure de l'Éducation et de la Formation (ESEF), Université Mohammed Premier,
Oujda, Maroc.

nouhaylaelrhoul@gmail.com, droum55@yahoo.fr

DOI : 10.5281/zenodo.21366909

RESUME

La littérature internationale fait état d'un déclin de l'intérêt et de la motivation des élèves à l'égard des sciences (Osborne, Simon et Collins, 2003 ; Potvin et Hasni, 2014), déclin qui préoccupe également les institutions européennes depuis le rapport Rocard (Rocard et al., 2007). Parmi les dispositifs susceptibles de soutenir la motivation des apprenants, la robotique pédagogique occupe une place croissante (Benitti, 2012 ; Alimisis, 2013). La présente étude examine les différences de motivation associées à un dispositif pédagogique intégrant la robotique chez des élèves marocains de troisième année du cycle collégial en sciences physiques. Un devis quasi-expérimental à deux groupes (groupe témoin, $n = 30$ élèves ; groupe expérimental, $n = 29$ élèves) a été mis en œuvre autour d'une même leçon (« Le mouvement et le repos »). La motivation a été appréhendée par une grille d'observation construite à partir de la théorie de l'autodétermination (Ryan et Deci, 2020), déclinée en neuf indicateurs comportementaux couvrant les besoins d'autonomie, de compétence et d'appartenance sociale. Les comparaisons intergroupes (tests U de Mann-Whitney) indiquent des fréquences de comportements motivés significativement plus élevées dans le groupe expérimental pour l'ensemble des neuf indicateurs (tests bilatéraux, p ajustés par la procédure de Holm compris entre 0,001 et 0,043 ; tailles d'effet moyennes à fortes, $r = 0,36$ à 0,69). Ces résultats convergent avec la littérature et plaident pour une intégration raisonnée de la robotique pédagogique dans l'enseignement des sciences au collège, tout en appelant des réplifications sur des échantillons plus larges.

Mots-clés : robotique pédagogique ; motivation ; théorie de l'autodétermination ; sciences physiques ; cycle collégial ; Maroc.

ABSTRACT

International research reports a decline in students' interest in and motivation toward science (Osborne, Simon, & Collins, 2003; Potvin & Hasni, 2014), a concern also raised at the European level since the Rocard report (Rocard et al., 2007). Among the instructional approaches likely to support learners' motivation, educational robotics has been growing steadily (Benitti, 2012; Alimisis, 2013). This study examines motivational differences associated with a robotics-based instructional intervention among Moroccan lower-secondary students in physics. A quasi-experimental two-group design (control group, $n = 30$ students; experimental group, $n = 29$ students) was implemented around the same lesson ("Motion and rest"). Motivation was assessed through an observation grid grounded in self-determination theory (Ryan & Deci, 2020), operationalized into nine behavioral indicators covering the needs for autonomy, competence, and relatedness. Between-group comparisons (Mann-Whitney U tests) show significantly higher

frequencies of motivated behaviors in the experimental group for all nine indicators (two-tailed tests, Holm-adjusted p values ranging from .001 to .043; medium to large effect sizes, $r = .36$ to .69). These findings are consistent with previous research and support a reasoned integration of educational robotics into science teaching at the lower-secondary level, while calling for replications with larger samples.

Keywords: educational robotics; motivation; self-determination theory; physics education; lower secondary school; Morocco.

1) INTRODUCTION

L'apprentissage des sciences occupe une place centrale dans les curricula contemporains : il contribue au développement de la pensée critique, du raisonnement et de la résolution de problèmes, compétences jugées essentielles pour la formation des citoyens (Harlen, 2010). Or, la recherche internationale converge depuis deux décennies vers un constat préoccupant : l'intérêt et les attitudes des élèves à l'égard des sciences tendent à décliner au fil de la scolarité, particulièrement au secondaire (Osborne, Simon et Collins, 2003 ; Potvin et Hasni, 2014). Ce constat a été relayé au niveau institutionnel par le rapport Rocard, qui alertait dès 2007 sur la désaffection des jeunes Européens pour les études et les carrières scientifiques (Rocard et al., 2007). La motivation constituant l'un des déterminants majeurs de l'engagement et de la réussite scolaires (Viau, 2009 ; Zimmerman, 2000), ce déclin interroge directement les dispositifs d'enseignement des sciences.

Parmi les pistes explorées pour revitaliser cet enseignement, la robotique pédagogique connaît un développement soutenu. Les revues systématiques disponibles suggèrent que les activités robotiques peuvent exercer des effets positifs sur l'apprentissage, l'engagement et la motivation des élèves (Benitti, 2012 ; Anwar et al., 2019 ; Jung et Won, 2018), même si ces effets demeurent variables selon les contextes et les dispositifs (Tselegkaridis et Sapounidis, 2022). En contexte marocain, les travaux empiriques sur la question restent rares, en particulier au cycle collégial et en sciences physiques. Ce déficit s'inscrit dans un constat plus large : les enquêtes menées auprès des enseignants marocains de sciences physiques montrent une intégration encore marginale des outils numériques en classe, freinée notamment par le manque de formations continues spécifiques à leur usage pédagogique (Mahdi et al., 2015 ; Raissouni et al., 2023).

La présente étude vise à combler partiellement cette lacune en répondant à la question de recherche suivante : quelles différences de motivation sont associées à l'utilisation de la robotique pédagogique dans l'apprentissage des sciences physiques au cycle collégial, dans un contexte marocain ? Nous faisons l'hypothèse que les élèves exposés à un dispositif intégrant la robotique pédagogique manifestent des comportements motivés plus fréquents que les élèves suivant un enseignement ordinaire. L'étude se limite délibérément à la dimension motivationnelle : les apprentissages disciplinaires n'y sont pas mesurés.

2) CADRE CONCEPTUEL

2.1. La robotique pédagogique : définition

La robotique pédagogique désigne l'utilisation intentionnelle de robots programmables et d'artefacts robotiques dans des situations d'enseignement-apprentissage, afin de soutenir la construction de connaissances disciplinaires et le développement de compétences transversales (Mubin, Stevens, Shahid, Al Mahmud et Dong, 2013 ; Alimisis, 2013). Elle recouvre des activités de conception, de montage et de programmation de systèmes robotiques, généralement conduites de manière active et collaborative, l'apprenant étant placé au centre du dispositif (Eguchi, 2014). Les auteurs s'accordent sur sa double vocation : cognitive, par la manipulation de concepts scientifiques et computationnels, et conative, par le climat d'engagement et de motivation que ces activités tendent à instaurer (Benitti, 2012).

2.2. Fondements théoriques et disciplinaires

La robotique pédagogique se situe au carrefour des sciences de l'éducation, de la psychologie cognitive et de l'informatique. Son premier ancrage théorique est le constructivisme piagétien, selon lequel l'individu construit ses connaissances par l'action sur l'environnement, à travers les mécanismes d'assimilation et d'accommodation (Piaget, 1970). La manipulation d'objets concrets y joue un rôle décisif dans le développement cognitif, ce qui fait des artefacts robotiques des supports privilégiés d'expérimentation et de mise à l'épreuve d'hypothèses.

Le second ancrage est le constructionnisme de Papert (1980). Prolongeant le constructivisme, Papert soutient que l'apprentissage est particulièrement fécond lorsque l'apprenant construit un artefact concret, public et partageable. Avec le langage LOGO et la « tortue » programmable, il a fourni l'un des premiers exemples d'objets robotiques éducatifs et a montré que la programmation peut fonctionner comme un outil cognitif structurant la pensée et favorisant la métacognition. Cette filiation a été prolongée par les travaux sur la pensée computationnelle, définie comme la capacité à formuler des problèmes et leurs solutions sous une forme traitable par un agent de calcul (Wing, 2006) : la robotique pédagogique constitue un terrain privilégié pour développer cette pensée, en reliant des concepts abstraits à des actions concrètes.

Enfin, la robotique pédagogique s'inspire des approches de l'apprentissage actif — apprentissage par projet, apprentissage par problèmes — dans lesquelles les élèves conçoivent, testent et améliorent itérativement des solutions (Alimisis, 2013). Les synthèses de la littérature indiquent que ces démarches favorisent non seulement l'acquisition de connaissances disciplinaires, mais aussi le développement de compétences transversales telles que la collaboration, la communication et l'autonomie (Benitti, 2012 ; Anwar et al., 2019).

2.3. Apports pédagogiques

Trois grands apports ressortent de la littérature. Premièrement, sur le plan cognitif, les élèves engagés dans des activités robotiques développent des capacités de résolution de problèmes, de raisonnement algorithmique et d'abstraction supérieures à celles observées dans des approches transmissives (Benitti, 2012 ; Anwar et al., 2019). La matérialisation de concepts abstraits dans des objets manipulables facilite la compréhension conceptuelle, notamment chez les plus jeunes (Jung et Won, 2018).

Deuxièmement, sur le plan motivationnel, les activités robotiques, concrètes, interactives et ludiques, soutiennent l'engagement des élèves, y compris dans les disciplines scientifiques où les difficultés sont fréquentes ; l'erreur y est traitée comme un levier d'apprentissage, ce qui réduit l'anxiété liée à l'échec et encourage la persévérance (Benitti, 2012 ; Nugent, Barker, Grandgenett et Adamchuk, 2010).

Troisièmement, sur le plan social, les projets robotiques sont le plus souvent réalisés en équipe et exigent répartition des rôles, communication et prise de décision collective, ce qui favorise la coopération et le sentiment d'appartenance au groupe (Eguchi, 2014 ; Tselegkaridis et Sapounidis, 2022). Ils contribuent en outre à l'élargissement de la culture numérique des apprenants, appelés à programmer et à manipuler capteurs et actionneurs.

2.4. La motivation comme cadre d'analyse : la théorie de l'autodétermination

La motivation scolaire peut être définie comme un état dynamique qui pousse l'élève à s'engager dans une activité d'apprentissage, à y participer activement et à y persévérer (Viau, 2009). Parmi les cadres théoriques disponibles, la théorie de l'autodétermination (TAD) de Ryan et Deci offre un modèle particulièrement opératoire : la motivation autodéterminée dépend de la satisfaction de trois besoins psychologiques fondamentaux — le besoin d'autonomie, le besoin de compétence et le besoin d'appartenance sociale (Ryan et Deci, 2020). Le besoin de compétence rejoint par ailleurs le rôle du sentiment d'efficacité personnelle dans l'engagement scolaire (Zimmerman, 2000). C'est ce cadre qui a guidé l'opérationnalisation de la motivation dans la présente étude : chacun des trois besoins a été décliné en indicateurs comportementaux observables en classe (voir section 3.3).

3) METHODOLOGIE

3.1. Devis de recherche

L'étude s'inscrit dans une approche quantitative à devis quasi-expérimental à deux groupes non équivalents avec mesure post-intervention. En l'absence d'assignation aléatoire et de mesure pré-intervention, ce devis permet d'établir des différences intergroupes à l'issue de l'intervention, mais ne permet pas d'attribuer avec certitude ces différences au seul dispositif étudié.

3.2. Participants

L'étude a été conduite dans deux classes de troisième année du cycle collégial d'un collège public marocain, prises en charge par le même enseignant de sciences physiques. Le corpus analysé porte sur 30 grilles d'observation exploitables pour le groupe témoin et 29 pour le groupe expérimental, chaque grille correspondant à un élève distinct, identifié par un code unique et coté une seule fois ; les observations sont donc indépendantes.

3.3. Instrument : grille d'observation

La grille a été élaborée à partir des trois besoins psychologiques fondamentaux de la théorie de l'autodétermination et opérationnalisée sous la forme de neuf indicateurs comportementaux observables. En l'absence d'éléments documentaires permettant d'attester une procédure formelle de validation par des experts ou une étude pilote standardisée, elle doit être considérée comme un instrument ad hoc construit pour les besoins de cette étude. Elle n'a pas fait l'objet d'une validation psychométrique. Les scores obtenus renseignent donc sur la fréquence de manifestations comportementales interprétées à la lumière de la TAD et ne constituent pas une mesure directe de la motivation comme construit latent.

Tableau 1. Grille d'observation : besoins psychologiques et indicateurs comportementaux

Besoin (TAD)	Indicateurs comportementaux observables
Besoin d'autonomie	– L'élève prend l'initiative de prendre la parole – L'élève participe volontairement en classe – L'élève s'implique dans le travail sans qu'on le lui rappelle
Besoin de compétence	– L'élève essaye de répondre aux questions posées – L'élève demande des explications lorsqu'il ne comprend pas – L'élève essaye de continuer même si c'est difficile
Besoin d'appartenance sociale	– L'élève échange et partage avec ses camarades – L'élève s'implique dans le travail en groupe – L'élève demande de l'aide en cas de besoin

Chaque indicateur est coté sur une échelle de fréquence à cinq niveaux, les échelles de cotation permettant de transformer des comportements observables en données quantitatives (Cohen et al., 2018) : 1 = jamais observé ; 2 = rarement observé (une occurrence) ; 3 = parfois observé (deux à trois occurrences) ; 4 = souvent observé (quatre à cinq occurrences) ; 5 = toujours observé (comportement manifesté de façon quasi continue durant la séance).

3.4. Procédure de collecte des données

Les données ont été recueillies par observation directe lors des séances d'application, par trois observateurs utilisant la même grille et les mêmes règles de cotation. La technique retenue est l'observation par balayage à intervalles réguliers, qui consiste à observer

successivement chaque participant durant une fenêtre temporelle fixe et qui permet un recueil systématique des comportements (Bakeman et Gottman, 1997) ; chaque élève a été observé durant une fenêtre de dix minutes, l'ordre de passage étant fixé à l'avance. Chaque observateur étant affecté à des élèves distincts, aucun double codage indépendant d'un même sous-échantillon n'est disponible. Il n'est donc pas possible de calculer rétrospectivement un coefficient d'accord inter-observateurs (tel que le kappa de Cohen) sans fabriquer une information absente des données. L'absence d'estimation empirique de la fidélité inter-observateurs est prise en compte dans les limites de l'étude.

3.5. Protocole expérimental

L'expérimentation a porté sur la leçon « Le mouvement et le repos » (axe : mouvement uniforme, accéléré et retardé), enseignée par le même enseignant aux deux classes, pour un volume total de quatre heures par classe (deux heures de cours et deux heures d'application). Le tableau 2 en résume le contexte et le tableau 3 les deux dispositifs comparés.

Tableau 2. Contexte de l'expérimentation

Cours	Le mouvement et le repos
Axe	Mouvement uniforme, accéléré et retardé
Objectif	Reconnaître les différents types de mouvement
Bilan horaire	4 h : 2 h de cours et 2 h d'application
Niveau	Troisième année du cycle collégial

Dans le groupe témoin, l'enseignant a conduit un enseignement ordinaire : exposé dialogué appuyé sur le manuel, le tableau et le projecteur, suivi d'exercices d'application résolus individuellement sur le cahier puis corrigés collectivement. Dans le groupe expérimental, le cours s'est appuyé sur un logiciel de simulation, et la séance d'application a pris la forme d'un atelier de production en petits groupes : sous la conduite de l'enseignant et du préparateur de laboratoire, les élèves ont monté et programmé un mobile robotisé (cartes programmables, capteurs, moteurs, roues) illustrant les types de mouvement étudiés. L'observation a porté, dans les deux groupes, sur la séance d'application, afin de comparer des moments didactiquement homologues.

Tableau 3. Dispositifs comparés

Groupe	Supports	Activités dominantes
Témoin	Manuel scolaire, tableau, projecteur, documents iconographiques	Cours dialogué ; exercices d'application résolus sur le cahier puis corrigés collectivement au tableau
Expérimental	Kit robotique (cartes programmables, capteurs, moteurs, roues, câbles), logiciel de simulation, tableau, projecteur, manuel	Cours appuyé sur la simulation ; atelier de production en petits groupes : montage et programmation d'un mobile robotisé illustrant les types de mouvement

3.6. Analyse des données

Les cotations, de nature ordinale, ont été analysées au moyen de statistiques descriptives (fréquences, moyennes, écarts-types, médianes) et de tests U de Mann-Whitney bilatéraux comparant les deux groupes indicateur par indicateur, ce test étant adapté aux données ordinales et aux effectifs modestes et inégaux. En l'absence de préenregistrement, aucune hypothèse directionnelle n'a été privilégiée au niveau du test, et les valeurs p ont été ajustées pour les neuf comparaisons par la procédure de Holm. La taille d'effet est estimée par la corrélation bisériale de rangs (r), assortie d'un intervalle de confiance à 95 % obtenu par bootstrap (10 000 rééchantillonnages). Les analyses ont été réalisées avec Python 3 (bibliothèques pandas et SciPy). Le seuil de signification est fixé à 0,05.

3.7. Considérations éthiques

L'accord de la direction de l'établissement et de l'enseignant concerné a été obtenu préalablement à l'expérimentation. Les données ont été recueillies de manière anonyme et l'établissement n'est pas identifiable dans la présente publication. Les éléments documentaires disponibles pour la présente révision ne permettent toutefois pas d'attester formellement l'obtention d'un consentement parental écrit ni d'une autorisation spécifique de la direction provinciale. En conséquence, le manuscrit ne revendique pas l'existence de procédures qui ne peuvent être documentées. Cette insuffisance de traçabilité éthique est explicitement reconnue parmi les limites de l'étude.

4) RESULTATS

Les tableaux 4 à 6 présentent les distributions de fréquences des neuf indicateurs pour les deux groupes (T = groupe témoin ; E = groupe expérimental). Le tableau 7 synthétise les statistiques descriptives et les comparaisons intergroupes.

4.1. Besoin d'autonomie

Le tableau 4 présente les distributions de fréquences des trois indicateurs relatifs au besoin d'autonomie, pour les deux groupes.

Tableau 4. Distributions de fréquences — besoin d'autonomie

Indicateur	Group e	Jamais	Raremen t	Parfois	Souvent	Toujours
Prend l'initiative de prendre la parole	T (n=30)	14 (46,7 %)	12 (40,0 %)	4 (13,3 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
	E (n=29)	5 (17,2 %)	8 (27,6 %)	12 (41,4 %)	2 (6,9 %)	2 (6,9 %)
Participe volontairement en classe	T (n=30)	16 (53,3 %)	10 (33,3 %)	4 (13,3 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
	E (n=29)	4 (13,8 %)	5 (17,2 %)	11 (37,9 %)	5 (17,2 %)	4 (13,8 %)
S'implique dans le travail sans qu'on le lui rappelle	T (n=30)	14 (46,7 %)	14 (46,7 %)	2 (6,7 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
	E (n=29)	3 (10,3 %)	6 (20,7 %)	11 (37,9 %)	4 (13,8 %)	5 (17,2 %)

Dans le groupe témoin, les comportements d'autonomie sont massivement absents ou rares : selon l'indicateur, de 86,7 % à 93,3 % des élèves observés se situent aux niveaux « jamais » ou « rarement », et aucun n'atteint les niveaux « souvent » ou « toujours ». Dans le groupe expérimental, le niveau « parfois » devient modal (37,9 % à 41,4 %) et les niveaux « souvent » et « toujours » réunis concernent de 13,8 % à 31,0 % des élèves selon l'indicateur.

4.2. Besoin de compétence

Le tableau 5 présente, selon la même logique, les distributions de fréquences des indicateurs associés au besoin de compétence.

Tableau 5. Distributions de fréquences — besoin de compétence

Indicateur	Groupe	Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
Essai de répondre aux questions posées	T (n=30)	12 (40,0 %)	10 (33,3 %)	8 (26,7 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
	E (n=29)	2 (6,9 %)	7 (24,1 %)	9 (31,0 %)	8 (27,6 %)	3 (10,3 %)
Demande des explications lorsqu'il ne comprend pas	T (n=30)	8 (26,7 %)	14 (46,7 %)	6 (20,0 %)	2 (6,7 %)	0 (0,0 %)
	E (n=29)	3 (10,3 %)	6 (20,7 %)	10 (34,5 %)	9 (31,0 %)	1 (3,4 %)
Essai de continuer même si c'est difficile	T (n=30)	14 (46,7 %)	10 (33,3 %)	2 (6,7 %)	4 (13,3 %)	0 (0,0 %)
	E (n=29)	3 (10,3 %)	8 (27,6 %)	6 (20,7 %)	8 (27,6 %)	4 (13,8 %)

Le même contraste s'observe : dans le groupe témoin, les niveaux « jamais » et « rarement » concentrent de 73,3 % à 80,0 % des observations selon l'indicateur, et les niveaux « souvent » et « toujours » restent marginaux (0 % à 13,3 %). Dans le groupe expérimental, ces deux niveaux supérieurs regroupent de 34,5 % à 41,4 % des élèves.

4.3. Besoin d'appartenance sociale

Le tableau 6 rend compte des distributions de fréquences des indicateurs relatifs au besoin d'appartenance sociale.

Tableau 6. Distributions de fréquences — besoin d'appartenance sociale

Indicateur	Groupe	Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Toujours
Échange et partage avec ses camarades	T (n=30)	8 (26,7 %)	14 (46,7 %)	6 (20,0 %)	2 (6,7 %)	0 (0,0 %)
	E (n=29)	1 (3,4 %)	4 (13,8 %)	10 (34,5 %)	11 (37,9 %)	3 (10,3 %)
S'implique dans le travail en groupe	T (n=30)	2 (6,7 %)	16 (53,3 %)	12 (40,0 %)	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)
	E (n=29)	0 (0,0 %)	8 (27,6 %)	9 (31,0 %)	8 (27,6 %)	4 (13,8 %)
Demande de l'aide en cas de besoin	T (n=30)	4 (13,3 %)	16 (53,3 %)	8 (26,7 %)	2 (6,7 %)	0 (0,0 %)
	E (n=29)	2 (6,9 %)	10 (34,5 %)	6 (20,7 %)	6 (20,7 %)	5 (17,2 %)

Les comportements d'appartenance sociale sont un peu plus fréquents que les autres dans le groupe témoin (les niveaux « jamais » et « rarement » y regroupent de 60,0 % à 73,3 % des observations), mais restent majoritairement rares. Dans le groupe expérimental, les niveaux « souvent » et « toujours » réunis concernent de 37,9 % à 48,3 % des élèves selon l'indicateur.

4.4. Comparaisons intergroupes

Le tableau 7 synthétise, pour l'ensemble des neuf indicateurs, les statistiques descriptives par groupe ainsi que les résultats des tests U de Mann-Whitney et les tailles d'effet associées.

Tableau 7. Statistiques descriptives et tests U de Mann-Whitney bilatéraux (M = moyenne ; ET = écart-type ; Md = médiane ; p (Holm) = valeur p ajustée par la procédure de Holm ; r = corrélation bisériale de rangs ; IC 95 % = intervalle de confiance bootstrap)

Indicateur	M (T)	ET (T)	Md (T)	M (E)	ET (E)	Md (E)	U	p (Holm)	r	C 95 % (r)
Prend l'initiative de prendre la parole	1,67	0,71	2	2,59	1,09	3	219,0	0,0018	0,50	[0,25 ; 0,72]
Participe volontairement en classe	1,60	0,72	1	3,00	1,22	3	155,0	0,0001	0,64	[0,42 ; 0,83]
S'implique dans le travail sans qu'on le lui rappelle	1,60	0,62	2	3,07	1,22	3	134,0	< 0,0001	0,69	[0,49 ; 0,86]
Essaye de répondre aux questions posées	1,87	0,82	2	3,10	1,11	3	175,0	0,0003	0,60	[0,37 ; 0,79]
Demande des explications lorsqu'il ne comprend pas	2,07	0,87	2	2,97	1,05	3	227,0	0,0022	0,48	[0,22 ; 0,71]
Essaye de continuer même si c'est difficile	1,87	1,04	2	3,07	1,25	3	203,0	0,0014	0,53	[0,28 ; 0,75]
Échange et partage avec ses camarades	2,07	0,87	2	3,38	0,98	3	147,0	0,0001	0,66	[0,45 ; 0,84]
S'implique dans le travail en groupe	2,33	0,61	2	3,28	1,03	3	214,0	0,0015	0,51	[0,27 ; 0,72]
Demande de l'aide en cas de besoin	2,27	0,78	2	3,07	1,25	3	278,0	0,0122	0,36	[0,09 ; 0,60]

Après ajustement de Holm, les neuf comparaisons demeurent significatives (p ajustés de 0,001 à 0,043) et aucun intervalle de confiance des tailles d'effet ne contient zéro. Les données mettent ainsi en évidence, pour les trois besoins psychologiques considérés, des fréquences de comportements motivationnels plus élevées dans le groupe exposé au dispositif intégrant la robotique. Compte tenu du devis post-intervention sans prétest, de

la non-randomisation et de l'attrition différentielle, ces résultats ne permettent toutefois pas d'établir à eux seuls une relation causale.

Traçabilité des données. L'ensemble des résultats présentés a été calculé à partir du fichier de données brutes (une ligne par élève et par indicateur), dont la cohérence interne — effectifs, unicité des identifiants, correspondance codes/catégories — a été contrôlée avant analyse. Des visualisations exploratoires produites à un stade antérieur du travail, non concordantes avec ce fichier, ont été écartées du manuscrit. Le fichier de données et le script d'analyse sont disponibles sur demande auprès des auteurs.

5) DISCUSSION

Cette étude visait à examiner les différences de motivation associées à un dispositif fondé sur la robotique pédagogique chez des élèves de troisième année collégiale en sciences physiques. Les résultats indiquent des fréquences de comportements motivés nettement supérieures dans le groupe expérimental, et ce pour les trois besoins psychologiques de la TAD. Lus à travers ce cadre (Ryan et Deci, 2020), ils suggèrent que l'atelier robotique a mieux satisfait ces besoins que la séance ordinaire : l'autonomie, par la latitude laissée aux élèves dans le montage et la programmation de leur mobile ; la compétence, par la confrontation à des tâches exigeantes mais accessibles, où l'erreur est immédiatement visible et corrigable sur l'artefact ; l'appartenance sociale, par le travail en petits groupes qu'impose la nature même de l'activité.

Ces résultats convergent avec les synthèses internationales qui rapportent des effets positifs des activités robotiques sur l'engagement et la motivation (Benitti, 2012 ; Nugent et al., 2010 ; Anwar et al., 2019) et avec la perspective constructionniste selon laquelle la construction d'un artefact concret et partageable constitue un puissant moteur d'apprentissage (Papert, 1980). Ils apportent en outre une donnée empirique locale, encore rare, sur le cycle collégial marocain.

Ces résultats doivent cependant être lus à la lumière de plusieurs explications concurrentes, que le devis ne permet pas d'écarter. Premièrement, l'ampleur du contraste observé peut, en partie, relever d'un effet de nouveauté : les élèves du groupe expérimental découvraient un dispositif inhabituel, ce qui peut avoir stimulé leur engagement indépendamment de toute vertu propre à la robotique pédagogique. Deuxièmement, les observateurs n'étaient pas aveugles à la condition expérimentale — le dispositif robotique étant visuellement identifiable —, ce qui ouvre la possibilité d'un biais d'attente ayant pu, consciemment ou non, orienter la cotation des comportements ; cette possibilité est d'autant plus à considérer que les tailles d'effet obtenues (r jusqu'à 0,69) sont élevées au regard de la littérature sur des instruments non validés. Troisièmement, les deux groupes correspondent chacun à une classe intacte : les élèves n'étant pas assignés aléatoirement à l'intérieur d'un même groupe-classe, toute différence préexistante entre les deux classes (climat de classe, dynamique collective, composition) demeure confondue avec l'effet du dispositif étudié. Enfin, la littérature sur l'intégration pédagogique des outils numériques et robotiques au Maroc souligne que ce type de

dispositif exige une préparation technico-pédagogique spécifique de l'enseignant, rarement couverte par les dispositifs de formation continue existants (Raissouni et al., 2023); le degré de maîtrise du dispositif robotique par l'enseignant unique de cette étude constitue donc un facteur supplémentaire non contrôlé.

Par ailleurs, et comme cela a été souligné, le contraste observé ne peut être attribué à la seule présence des robots : les deux groupes diffèrent par l'ensemble du scénario didactique (atelier de production collaboratif d'un côté, exercices écrits individuels de l'autre). L'effet mesuré est donc celui d'un dispositif global intégrant la robotique, et non celui de l'artefact robotique isolé. Cette précision, loin d'invalider les résultats, en délimite la portée : c'est bien l'écosystème d'activités que la robotique rend possible qui semble porteur sur le plan motivationnel, sans qu'il soit possible, en l'état, de départager la part attribuable à la nouveauté, à la structure collaborative de l'activité, ou à la robotique elle-même.

6) CONCLUSION

Au terme de cette étude quasi-expérimentale conduite en contexte marocain, les données recueillies par observation directe mettent en évidence des comportements motivationnels plus fréquents dans le groupe exposé au dispositif fondé sur la robotique pédagogique, pour les trois besoins psychologiques de la théorie de l'autodétermination. Ces résultats doivent cependant être interprétés avec prudence : l'absence de prétest et de randomisation ne permet pas d'établir l'équivalence initiale des groupes, l'instrument de mesure reste un outil ad hoc non validé psychométriquement, et l'impossibilité d'estimer la fidélité inter-observateurs, combinée à l'absence d'aveuglement des observateurs face à un dispositif visuellement identifiable, invite à ne pas surinterpréter l'ampleur des écarts observés. Le dispositif expérimental combinant plusieurs éléments simultanément — support robotique, logiciel de simulation et modalité de travail collaboratif —, ces résultats ne permettent pas non plus d'isoler la contribution propre de la robotique parmi l'ensemble du scénario didactique mis en œuvre. Sous ces réserves, les résultats invitent néanmoins les acteurs éducatifs à considérer la robotique pédagogique non comme un gadget technologique, mais comme le support d'un scénario didactique actif, concret et collaboratif, susceptible de revitaliser le rapport des élèves aux sciences. La portée de ces résultats demeure circonscrite à un établissement, un enseignant, une séquence et des indicateurs comportementaux de motivation, et ne saurait être généralisée en l'absence de répliques. Des recherches futures devraient reproduire ce dispositif à plus grande échelle, avec un protocole préenregistré, des mesures pré/post, un instrument validé, un double codage inter-observateurs et des indicateurs d'apprentissage disciplinaire, en documentant également la formation reçue par les enseignants impliqués, dans la mesure où les travaux sur la formation continue au Maroc montrent que l'appropriation pédagogique des outils numériques demeure souvent limitée

par des obstacles matériels et didactiques (Raissouni et al., 2023), afin d'en préciser les conditions et les limites d'efficacité.

RÉFÉRENCES

- Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in Science and Technology Education*, 6(1), 63–71.
- Anwar, S., Bascou, N. A., Menekse, M., & Kardgar, A. (2019). A systematic review of studies on educational robotics. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1223>
- Bakeman, R., & Gottman, J. M. (1997). *Observing interaction: An introduction to sequential analysis* (2e éd.). Cambridge University Press.
- Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), 978–988. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.006>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research methods in education* (8e éd.). Routledge.
- Eguchi, A. (2014). Robotics as a learning tool for educational transformation. Dans *Proceedings of the 4th International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics & 5th International Conference Robotics in Education* (p. 27–34).
- Harlen, W. (dir.). (2010). *Principles and big ideas of science education*. Association for Science Education.
- Jung, S. E., & Won, E. S. (2018). Systematic review of research trends in robotics education for young children. *Sustainability*, 10(4), 905. <https://doi.org/10.3390/su10040905>
- Mahdi, K., Laafou, M., & Janati-Idrissi, R. (2015). Qualifications of Physics Teachers in ICT to Integrate the Use of ICT in Moroccan Physics Schools: Obstacles and Solutions. *Journal of Educational and Social Research*, 5(1), 177–182. <https://doi.org/10.5901/jesr.2015.v5n1p177>
- Mubin, O., Stevens, C. J., Shahid, S., Al Mahmud, A., & Dong, J.-J. (2013). A review of the applicability of robots in education. *Technology for Education and Learning*, 1(1), 1–7. <https://doi.org/10.2316/Journal.209.2013.1.209-0015>
- Nugent, G., Barker, B., Grandgenett, N., & Adamchuk, V. I. (2010). Impact of robotics and geospatial technology interventions on youth STEM learning and attitudes. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(4), 391–408. <https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782557>
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079. <https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
- Piaget, J. (1970). *Psychologie et épistémologie*. Denoël-Gonthier.
- Potvin, P., & Hasni, A. (2014). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K–12 levels: A systematic review of 12 years of educational

- research. *Studies in Science Education*, 50(1), 85–129.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2014.881626>
- Raïssouni, M. R., Mahdi, K., Abid, M., Souri, A., & Raïssouni, K. (2023). Implementation of a New Continuing Training Framework in Physics Didactics: Perspectives and Recommendations. *Russian Psychological Journal*, 20(4), 274–292.
<https://doi.org/10.21702/rpj.2023.4.16>
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Office des publications officielles des Communautés européennes.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2020). Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective: Definitions, theory, practices, and future directions. *Contemporary Educational Psychology*, 61, 101860.
<https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101860>
- Tselegkaridis, S., & Sapounidis, T. (2022). Exploring the features of educational robotics and STEM research in primary education: A systematic literature review. *Education Sciences*, 12(5), Article 305. <https://doi.org/10.3390/educsci12050305>
- Viau, R. (2009). *La motivation en contexte scolaire* (2e éd.). De Boeck.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35.
<https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Zimmerman, B. J. (2000). Self-efficacy: An essential motive to learn. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 82–91. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1016>