

ÉVALUATION DE L'IMPACT D'INTÉGRATION DE LA ROBOTIQUE SUR LE DÉVELOPPEMENT DES COMPÉTENCES DES ÉLÈVES DANS L'ENSEIGNEMENT INTERDISCIPLINAIRE DES MATHÉMATIQUES EN PROJET LIÉ AUX STEM

| RAIHANE* ASMAA, ELHAROUSSE** MUSTAPHA ET ABOUHANIFA*** SAID

Résumé | L'étude se concentre sur l'enseignement basé sur l'utilisation de robots éducatifs dans le domaine des STEM (Science, Technologie, Ingénierie et Mathématiques) dans le contexte du Maroc. L'étude s'intéresse particulièrement à l'influence de l'apprentissage par projets sur le développement des compétences des élèves, en résolution de problèmes mathématiques, de manière interdisciplinaire avec les STEM. Cette recherche décrit l'expérience pédagogique menée lors de l'enseignement de la programmation de robots éducatifs à deux groupes d'élèves de 3e année du collège. L'enquête menée dans cette recherche comprend un pré-test et un post-test des compétences des élèves axées sur la résolution de problèmes et mobilisant des notions de l'informatique. Les résultats de l'étude présentée confirment clairement l'influence positive de l'enseignement par projets en utilisant des robots éducatifs sur le développement des compétences de résolution de problèmes, essentielle pour le succès de l'apprentissage des élèves, tant dans les domaines STEM que dans la vie quotidienne.

Mots-clés : STEM, robotique éducative, apprentissage par projets, interdisciplinarité, mathématiques

Abstract | The study focuses on teaching based on the use of educational robots in the field of STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) in the context of Morocco. The study is particularly interested in the influence of project-based teaching on the development of students' skills in solving mathematical problems in an interdisciplinary manner with STEM. This research describes the educational experience carried out when teaching the programming of educational robots to two groups of 3rd year middle school students. The investigation carried out in this research includes a pre-test and a post-test of students' skills focused on problem solving and mobilizing notions of computer science. The results of the presented study clearly confirm the positive influence of project-based teaching using educational robots on the development of problem-solving skills, essential for the success of student learning, both in STEM fields than in daily life.

Keywords: STEM, educational robotics, project-based learning, interdisciplinary, mathematics

I. INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, l'intérêt porté à l'acquisition des compétences exigées par la société du XXI^e siècle s'est considérablement accru. Les partisans de cette idée plaident en faveur d'une réforme éducative systématique qui englobe la technologie, la pensée créative et la résolution de problèmes afin de préparer les élèves aux futures sociétés basées sur la technologie (Khoshaim, 2020 ; MŠMT, 2021). L'enseignement des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques (STEM) aux élèves est l'un des moyens les plus répandus d'atteindre cet objectif. Les élèves naissent avec un désir inné de bricoler et une curiosité naturelle ; la classe est riche en opportunités pour les engager dans des activités STEM (Koncept STEM, 2001 ; Margot et Kettler, 2019). Ainsi, l'intégration d'outils éducatifs basés sur la technologie chez les élèves de la troisième année du secondaire collégial

* Laboratoire MISI, FST Settât, université Hassan premier, Settât – Maroc – asmaa8raihane@gmail.com

** Laboratoire MISI, FST Settât, université Hassan premier, Settât – Maroc – m.elharoussi@gmail.com

*** Laboratoire MISI, CRMEF-CS, Settât – Maroc – saidabouhanifa@yahoo.fr

pourrait apporter les avantages possibles en aidant à développer les compétences de l'avenir (Sorby et al., 2018 ; Wahono et al., 2020).

La robotique éducative (RE), en tant que partie intégrante de l'enseignement STEM, intègre un large éventail de connaissances générales et permet de traduire toute discipline spécifique dans un contexte éducatif plus complet. Les RE ont attiré les responsables du monde entier, en tant que moyen pour développer les compétences cognitives, émotionnelles et sociales des étudiants, de la maternelle à l'université et dans des contextes d'éducation (Saw, 2019; Siregar et al., 2019). Récemment, il existe de nombreux outils pédagogiques pour les élèves pour les impliquer dans des activités STEM, tels que des blocs visuels, des environnements en ligne, des dispositifs robotiques et les activités débranchées (Bybee, 2010 ; Yata et al., 2020).

Depuis que la nouvelle idée d'enseigner l'informatique en classe a été approuvée, l'intérêt pour l'emploi de robots éducatifs dans la classe a augmenté (MŠMT, 2021). De nombreuses écoles intègrent la programmation de kits robotiques dans leurs enseignements et sont confrontés à la question des méthodes et l'enseignement à utiliser. Face à la complexité du processus d'enseignement apprentissage et à la démotivation grandissante des élèves envers les apprentissages scolaires, le recours à de nouvelles approches pédagogiques s'avère nécessaire.

La démarche de projet, issue des pratiques du projet technologique industriel et appliquée au cas des apprentissages scolaires semble fort prometteuse. La liberté et la responsabilité accordées à l'élève étant accrues, le rôle de guide du professeur d'enseignement des contenus des programmes officiels étant encore indéterminé ; tout cela nous incite à concevoir un modèle pratique répondant à cette nouvelle situation où les rôles sont encore indéterminés. Dans cette étude, nous nous concentrons sur le domaine éducatif STEM en utilisant l'apprentissage par projet pour développer les compétences des élèves. Les matières scientifiques individuelles sont souvent exigeantes et parfois rejetées par les élèves. Lorsque les matières scientifiques et technologiques sont combinées dans STEM à l'aide de robots éducatifs, l'apprentissage devient très intéressant et attractif pour les élèves (Khoshaim, 2020).

1. STEM et robotique éducative

L'éducation STEM est considérée à la fois comme un curriculum et une pédagogie (Koncept STEM, 2001 ; Margot et Kettler, 2019). STEM est efficace dans l'apprentissage des élèves et pour développer les compétences clés des élèves (Sorby et al., 2018 ; Margot et Kettler, 2019 ; Saw, 2019; Siregar et al., 2019 ; Wahono et al., 2020). Elle s'étend progressivement dans les programmes des systèmes éducatifs nationaux au Maroc (Bouaghad et al., 2022 ; Lechhab et al., 2023). Les mathématiques sont essentielles dans les STEM et dans l'informatique. La contribution de la robotique éducative dans le domaine du STEM à une meilleure compréhension d'un domaine théorique des mathématiques tel que la théorie des graphes est indéniable (Martín-Páez et al., 2019).

2. Robotique éducative et l'apprentissage par projet

La robotique éducative est un outil pédagogique puissant et flexible qui possède un fort pouvoir de motivation (Coufal et al., 2021). Elle peut être classée selon son mode d'implémentation et son utilisation dans l'enseignement (Coufal et al., 2021). En outre, l'utilisation de la programmation robotique pour la réalisation de projets est un moyen d'intégrer l'apprentissage par projet dans l'enseignement des STEM (Hsieh et al., 2022). Les robots programmables offrent une plateforme pour la création de projets concrets et encourageant la résolution de problèmes par équipe (Evripidou et al., 2020). La complexité des projets robotiques peut être adaptée à différents niveaux d'apprentissage, permettant aux élèves d'explorer des concepts scientifiques et technologiques de manière pratique

(Suarez et al., 2023; Fakaruddin et al., 2024). Dans cette étude, nous utilisons un petit robot open-source « le Thymio » développé pour l'éducation. Le Thymio possède des capteurs (microphone, récepteur infrarouge, température, proximité, accéléromètre 3 axes, capteurs au sol pour le suivi de lignes), des actionneurs (moteurs, hautparleurs, LEDs), et des connecteurs (USB, carte mémoire). A l'école, on peut programmer le comportement de Thymio suivant ses souhaits.

3. *Apprentissage par projet et les compétences clés*

L'apprentissage par projet est une méthode d'enseignement complexe (Korkmaz et Kalayci, 2021). Un projet est un élément important de l'apprentissage et représente une tâche définie et liée à la vie réelle (Kilpatrick, 1918 ; McDonald, 2016). Lors de la résolution d'un projet en groupe, les élèves apprennent à utiliser et à développer plus de compétences telles que la communication et des compétences socio-personnelles pour le travail d'équipe (Kilpatrick, 1918 ; Novák, 2005 ; McDonald, 2016).

Dans le modèle constructiviste E-U-R en trois phases, les phases sont l'Évocation, la Prise de conscience et la Réflexion. Dans la première phase, les élèves travaillent avec ce qu'ils savent déjà et ce qu'ils ont besoin de savoir. Dans la phase suivante, les élèves étendent la structure du préconception. Dans la phase finale du projet, les élèves réfléchissent à la contribution de leur travail au projet (Bastion et Gudjons, 1998 ; Kratochvílová, 2009 ; Svobodová et al., 2010). Les projets peuvent être classés davantage en fonction de divers critères tels que le concepteur, la durée, le but, etc. Dans notre recherche, nous nous concentrons sur la compétence de résolution de problèmes, que nous percevons comme une compétence interdisciplinaire.

Klieme et al. (2014), dans leur publication, se sont concentrés sur le développement des compétences dans l'enseignement, et utilise la définition de la compétence des élèves d'Eckhard Klieme pour résoudre des problèmes tels que « la pensée et l'action orientées vers un objectif dans des situations pour lesquelles les procédures routinières ne sont pas disponibles ». Cette compétence fait partie de la pensée computationnelle, qui peut être définie de différentes manières selon Jeanette Wing la Société internationale pour la technologie dans l'éducation et l'Association des enseignants en informatique, et ces définitions sont souvent élargies et modifiées (ISTE, 2011 ; Lessner, 2014). Dans notre étude, nous pensons que les élèves développent cette compétence en résolvant des tâches à l'aide de robots éducatifs de manière répétée de la construction du modèle du robot, la programmation, jusqu'à l'amélioration de la solution finale avec le robot.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dans cet article, nous nous reposons sur des tests quantitatifs des compétences des élèves de 3^e année du secondaire collégial sous la forme d'un pré-test et d'un post-test dans une expérience pédagogique. Pour évaluer les élèves, un pré-test et post-test sont utilisés : les élèves devront programmer leur robot pour lui faire dessiner le drapeau Marocain sur une feuille de papier. Ce défi permettra de valider leur compréhension des concepts de programmation, de la mécanique des robots, de valider la compréhension des concepts mathématiques et la précision dans leur application pour résoudre les problèmes liés au projet de robotique. L'observation de leur processus de résolution de problèmes, de leur collaboration et de la qualité finale de leur drapeau permettra d'évaluer efficacement l'apprentissage par projet. En outre, pour évaluer l'impact de l'apprentissage, nous allons mener une étude comparative avec deux groupes d'élèves. Avant l'intervention, les deux groupes passeront un pré-test pour mesurer leurs compétences en programmation. Ensuite, le groupe expérimental sera exposé à des séquences de programmation, tandis que le groupe contrôle suivra un apprentissage

traditionnel basé sur des cours magistraux et des exercices théoriques. Ce groupe se concentrera sur l'apprentissage des concepts de programmation sans réaliser de projets pratiques ou de programmation de la robotique. Après l'intervention, les deux groupes passeront un post-test pour évaluer leurs progrès en programmation. La comparaison des résultats des pré-tests et des post-tests permettra d'analyser l'influence de l'apprentissage par projet sur les performances des élèves.

Cette étude suit trois objectifs, y compris l'analyse de l'effet de l'apprentissage par projet de la programmation de robots, la résolution de problèmes avec les robots d'éducation, et de tester l'apprentissage par projet. Pour faire avancer l'enquête de cette recherche, nous avons supposé que les élèves enseignés par robots éducatifs réussissent mieux à résoudre le test de résolution de problèmes que les élèves enseignés de manière traditionnelle. Avec la même considération, les élèves enseignés par projets atteignent un développement plus élevé de la compétence de résolution de problèmes.

L'outil de recherche utilisé était une expérience pédagogique, qui utilise la division des élèves en groupes de contrôle et expérimentaux pour comparer les variables étudiées dans ces groupes.

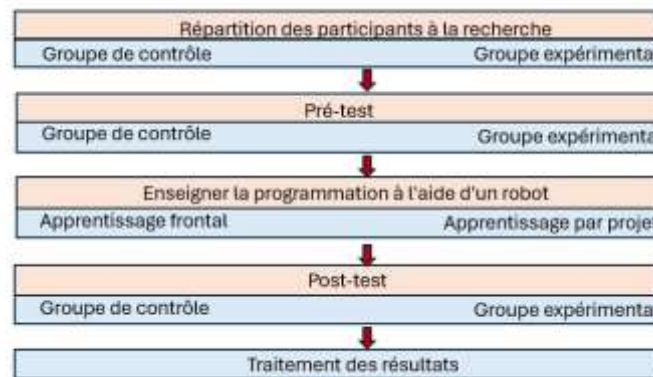


Figure 1 – Schéma de l'expérience pédagogique avec répartition des élèves en groupes témoins et expérimentaux et inclusion de pré-test et post-test

Le schéma de l'enquête de recherche présenté à la Figure 1 comprend un pré-test et un post-test des compétences des élèves axés sur la résolution de problèmes, de liens mathématiques en informatique, de travail collaboratif et de communication. Les compétences évaluées sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 – Aspects et compétences évalués basés sur la grille d'évaluation

Critères	Compétence	Indicateurs	Description
Critère 1	Compréhension des concepts mathématiques	Indicateur 1	Déterminer et calculer d'aire
		Indicateur 2	Savoir comparer et encadrer des nombres réels.
		Indicateur 3	Utiliser le développement d'une expression littérale.
		Indicateur 4	Capacité de résoudre une équation de 1 ^{er} degrés.
		Indicateur 5	Utiliser les angles inscrits et angle au centre.
		Indicateur 6	Utiliser les relations entre angle inscrit et les angles au centre qui interceptent le même arc.
		Indicateur 7	Connaitre le théorème de Pythagore.
Critère 2	Application des compétences en informatique	Indicateur 1	Utiliser les informations pour la programmation du robot.
		Indicateur 2	Précision dans la mise en œuvre des séquences des organigrammes pour accomplir la tâche.

Critères	Compétence	Indicateurs	Description
Critère 3	Raisonnement logique et résolution de problèmes	Indicateur 3	Capacité à démontrer une compréhension approfondie du lien entre la programmation du robot et la résolution du problème.
		Indicateur 4	Résoudre des problèmes de programmation et mathématiques.
		Indicateur 1	Suivre les étapes de résolution du problème.
		Indicateur 2	Application des concepts mathématiques pour résoudre les problèmes liés au projet de robotique.
Critère 4	Organisation et méthodologie de travail en équipe	Indicateur 3	Adaptabilité dans la résolution de problèmes face à des problèmes inattendus et à trouver des solutions appropriées
		Indicateur 4	Capacité à trouver des solutions alternatives et à évaluer les différentes options de résolution.
		Indicateur 1	Répartition équitable des tâches et prise de décisions collectives
		Indicateur 2	Efficacité de la communication pour le choix des ressources fournies pour mener à bien le projet.
		Indicateur 3	Gérer le temps pour accomplir les différentes étapes du projet.
		Indicateur 4	Qualité de production finale et respect des échéances

III. RÉSULTATS

Après avoir organisé les données du prétest une méthodologie expérimentale a été employée. Deux groupes homogènes d'élèves, un groupe expérimental et un groupe contrôle, ont été constitués, avec un nombre similaire d'élèves répartis en équipes de taille égale dans chaque groupe. Chaque groupe comportait le même nombre d'équipes et un niveau comparable. Un post-test a été administré à chaque groupe. La performance a été évaluée à l'aide de la grille d'évaluation (Tableau 1). Chaque indicateur recevant une note sur 5 niveaux (0 ; 0,25 ; 0,5 ; 0,75 ; 1) selon le degré d'atteinte du critère par chaque équipe. Le score total divisé par le nombre total d'indicateurs, a permis de calculer un pourcentage.

L'analyse comparative des pourcentages obtenus aux prétest et post-test des deux groupes a permis de déterminer l'effet de l'intervention pédagogique.

Les résultats obtenus sont présentés en graphes pour le pré-test et le post-test. Nous avons testé la normalité des données et nous avons calculé la moyenne, la médiane, le mode, le maximum et le minimum pour fournir un résumé des données.

La figure 2 montre une comparaison des niveaux d'apprentissage entre les équipes de contrôle durant le pré-test et le post-test. D'une manière générale, les scores des réponses correctes étaient largement supérieurs dans le post-test pour les équipes du groupe de contrôle, notamment les équipes 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, et 14. Dans les équipes 4, 6, et 13, le score des réponses correctes été supérieures dans le pré-test. Cependant, le score des réponses correctes été similaire entre le pré-test and le post-test pour l'équipe 15. D'une manière générale, le score des réponses était estimé à $33,42 \pm 13,17$ pour le pré-test et $39,29 \pm 12,90$ pour le post-test. La comparaison des moyennes des scores entre le pré-test et le post test par le test de Wilcoxon montre que le score des réponses est supérieur dans le post-test ($z=2.668$, $p=0.007$).

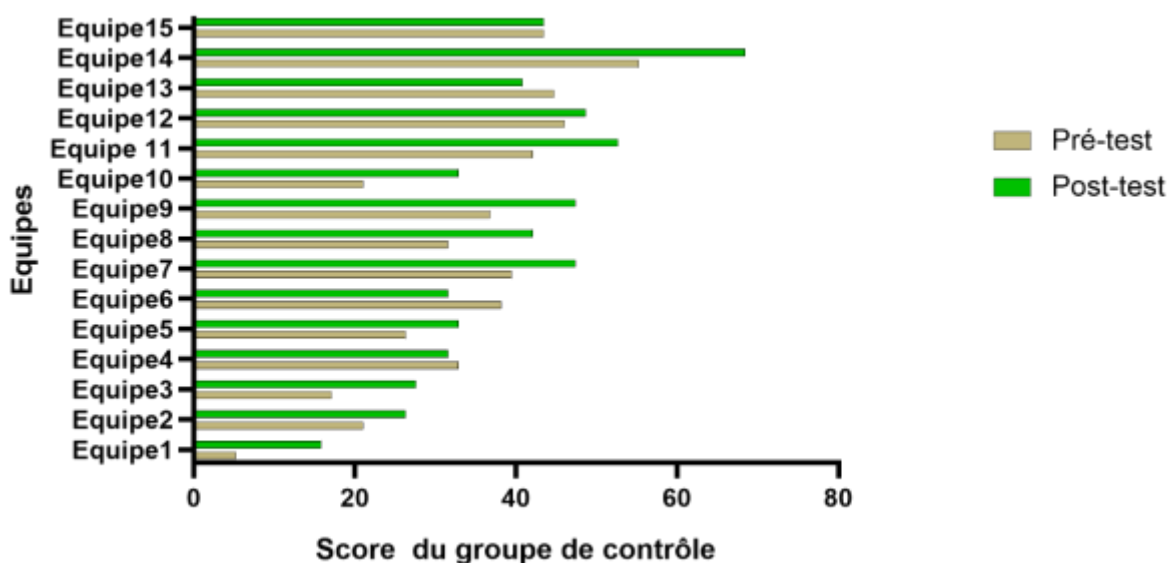


Figure 2 – Comparaison des niveaux d'apprentissage entre les équipes de contrôle durant le pré-test and le post-test

La figure 3 montre la comparaison des niveaux d'apprentissage entre les équipes du groupe expérimental durant le pré-test and le post-test. D'une manière générale, les réponses correctes étaient largement supérieures dans le post-test pour toutes les équipes du groupe expérimental. D'une manière générale, le pourcentage des réponses était estimé à $33,86 \% \pm 12,05$ pour le pré-test et $59,57 \% \pm 17,76$ pour le post-test. La comparaison des moyennes des scores entre le pré-test et le post test par le test de Wilcoxon montre que le score des réponses est supérieur dans le post-test ($z=3.408$, $p=0.000$).

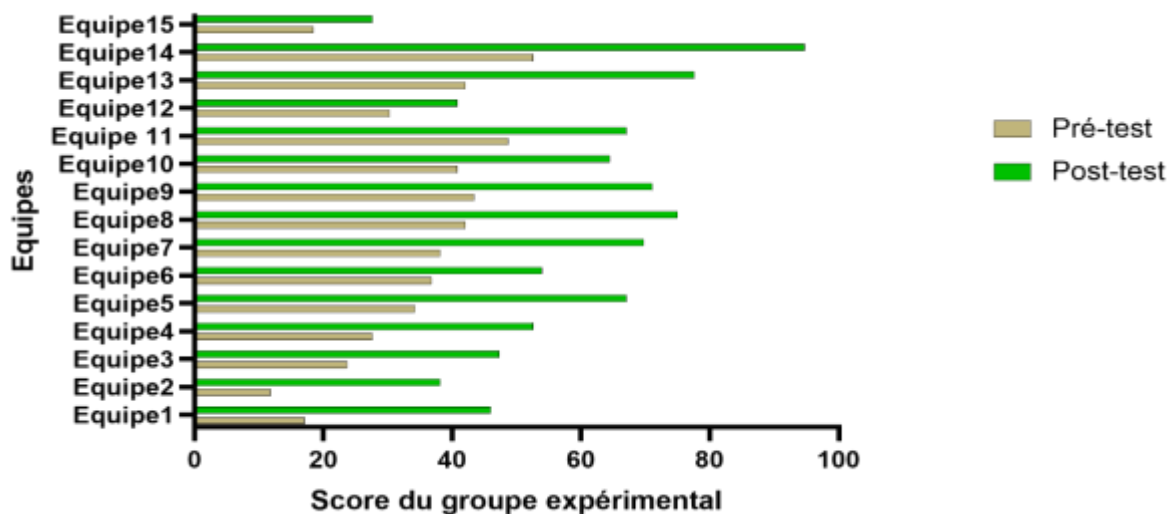


Figure 3 – Comparaison des niveaux d'apprentissage entre les équipes expérimentales durant le pré-test et le post-test

Concernant la comparaison entre les équipes de groupe expérimental et de contrôle, les résultats étaient variables. Pour le pré-test, les scores des réponses étaient statistiquement similaires avec $33,42 \% \pm 13,17$ pour les équipes de contrôle et $33,86 \% \pm 12,05$ pour les équipes expérimentales

($z=0.3977$, $p=0.691$). Pour le post-test, les scores des réponses étaient statistiquement différents avec $39,29 \% \pm 12.90$ pour les équipes de contrôle et $59,57 \% \pm 17.76$ pour les équipes expérimentales ($z=0.3977$, $p=0.691$).

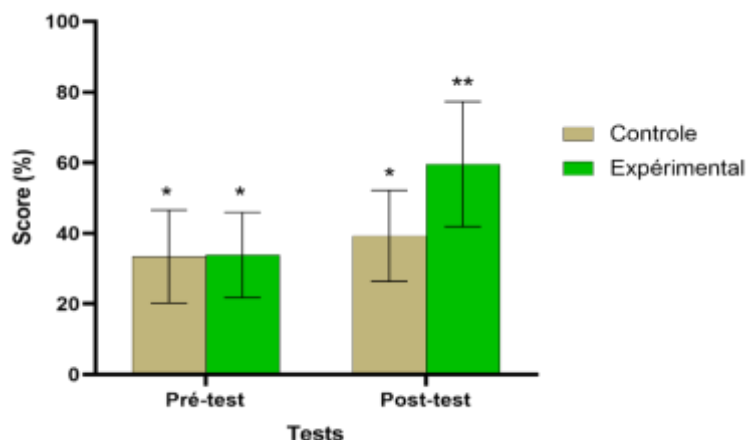


Figure 4– Comparaison des scores entre les groupes expérimentaux et de contrôle (* signifie différence significative : ** >*)

Notre étude a démontré l'impact positif de l'apprentissage par projet sur le développement des compétences en résolution de problèmes des élèves. Nous considérons cette compétence clé sélectionnée comme multidisciplinaire, donc les résultats de notre travail sont d'une grande aide pour d'autres chercheurs dans ce domaine. De plus, cela est particulièrement bénéfique pour le domaine multidisciplinaire de l'éducation STEM et pour le domaine de l'enseignement avec la robotique éducative. L'apprentissage par projet servira pour décroïsonner les disciplines avec un accent sur le développement des compétences des élèves à travers le processus de résolution de problèmes.

IV. CONCLUSION

La robotique éducative, en tant que partie intégrante de l'enseignement STEM, intègre un large éventail de connaissances générales et permet de traduire toute discipline spécifique dans un contexte éducatif plus complet. Dans cette étude, nous nous sommes concentrés sur l'enseignement basé sur l'utilisation de robots éducatifs dans le domaine des STEM dans le contexte du Maroc. L'étude a adressé particulièrement l'influence de l'apprentissage par projets sur le développement des compétences des élèves, en résolution de problèmes mathématiques, de manière interdisciplinaire avec les STEM. Cette recherche a décrit l'expérience pédagogique menée lors de l'enseignement de la programmation de robots éducatifs à deux groupes d'élèves de 3^e année du collège. Les résultats obtenus ont été variables dépendant des groupes des élèves et les types de test. Dans les groupes de contrôle, les résultats ont montré que les réponses correctes étaient largement supérieures dans le post-test pour les groupes des étudiants. D'une manière générale, le pourcentage des réponses était estimé à $27,37 \% \pm 13.54$ pour le pré-test et $37,37 \% \pm 17.45$ pour le post-test. Pour les groupes expérimentaux, les réponses correctes étaient largement supérieures dans le post-test pour tous les groupes des étudiants. D'une manière générale, le pourcentage des réponses était estimé à $27,89 \% \pm 13.37$ pour le pré-test et $57,37 \% \pm 19.61$ pour le post-test. Les résultats de l'étude présentée confirment clairement l'influence positive de l'enseignement par projets en utilisant des robots éducatifs sur le développement des compétences de vie et de résolution de problèmes, essentielle pour le succès de l'apprentissage des élèves dans les domaines STEM que dans la vie quotidienne.

RÉFÉRENCES

- Bouaghad, E. H., Souitat, N., bourbough, h., Besri, Z., Benouda, J. E., Radouane, N., El Khantouti, I. et Souhair, N. (2022, 18-22 septembre). *Space education and outreach in Morocco through the introduction of the hands on CubeSat Farm experiment "Exolab-Mor-1" for K6 to 12 students* [Conférence]. 73rd International Astronautical Congress, Paris, France.
- Bybee R. W. (2010). What is STEM education? *Science*, 329(5995), 996.
<https://doi.org/10.1126/science.1194998>
- Coufal, P. (2020). Development of competencies of elementary school pupils using educational robotic kits. *The European Journal of Social & Behavioural Sciences*, 27(1), 31-40.
<https://doi.org/10.15405/ejsbs.267>
- Coufal, P. (2022). Project-based STEM learning using educational robotics as the development of student problem-solving competence. *Mathematics*, 10(23), Article 4618.
<https://doi.org/10.3390/math10234618>
- Coufal, P., Hubálovský, Š. et Hubálovská, M. (2021). Application of basic graph theory in autonomous motion of robots. *Mathematics*, 9(9), Article 919.
- Evripidou, S., Georgiou, K., Doitsidis, L., Amanatiadis, A. A., Zinonos, Z. et Chatzichristofis, S. A. (2020). Educational robotics: Platforms, competitions and expected learning outcomes. *IEEE Access*, 8, 219534-219562. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042555>
- Fakaruddin, F. J., Shahali, E. H. M. et Saat R. M. (2024). Creative thinking patterns in primary school students' hands-on science activities involving robotic as learning tools. *Asia Pacific Education Review*, 25(1), 171-186. <https://doi.org/10.1007/s12564-023-09825-5>
- Hsieh, M.-C., Pan, H.-C., Hsieh, S.-W., Hsu, M.-J. et Chou, S.-W. (2022). Teaching the concept of computational thinking: A STEM-based program with tangible robots on project-based learning courses. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.828568>
- International Society for Technology in Education [ISTE]. (2011). *Operational definition of computational thinking for K-12 education*. https://cdn.iste.org/www-root/Computational_Thinking_Operational_Definition_ISTE.pdf
- Bastion, J. et Gudjons, H. (1998). *Gudjons: Das projektbuch II: Über die projektwoche hinaus – Projektlernen im Fachunterricht*. Bergmann; Helbig.
- Khoshaim, H. B. (2020). Mathematics teaching using word-problems: Is it a phobia! *International Journal of Instruction*, 13(1), 855-868.
- Kilpatrick, W. H. (1918). The project method. *Teachers College Record*, 19(4), 1-5.
<https://doi.org/10.1177/016146811801900404>
- Klieme, E., Artelt, C. et Stanat, P. (2014). Fächerübergreifende Kompetenzen: Konzepte und Indikatoren. Dans F. E. Weinert (dir.), *Leistungsmessungen in Schulen* (p. 203-218). Beltz.
- Koncept STEM. (2001). *Národní Ústav pro Vzdělávání*. <http://www.nuv.cz/pkap/koncept-stem>
- Korkmaz, G. et Kalayci, N. (2021). Problem and project-based learning as an educational philosophy: A novel conceptual model for higher education. *African Educational Research Journal*, 9(3), 774-789. <https://doi.org/10.30918/AERJ.93.21.111>
- Kratochvílová, J. (2009). *Teorie a praxe projektové výuky*. MU Brno.

- Lechhab, A., Benqassou, I., El-hars, F., Chekour, M. et Hafid, M. M. (2023). Teacher's perceptions of STEM education at the primary level in Morocco. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 17(14). <https://doi.org/10.3991/ijim.v17i14.39877>
- Lessner, D. (2014). Analysis of term meaning "computational thinking". *Journal of Technology and Information Education*, 6(1), 71-88. <https://www.jtie.upol.cz/pdfs/jti/2014/01/06.pdf>
- Margot, K. C. et Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: A systematic literature review. *International Journal STEM Education*, 6, Article 2. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>
- Markula, A. et Aksela, M. (2022). The key characteristics of project-based learning: how teachers implement projects in K-12 science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 4, Article 2. <https://doi.org/10.1186/s43031-021-00042-x>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J. et Vélchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103(4), 799-822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- McDonald, C. V. (2016). STEM education: A review of the contribution of the disciplines of science, technology, engineering and mathematics. *Science Education International*, 27(4), 530-569. <https://www.icasonline.net/sei/december2016/p4.pdf>
- Ministerstvo Školství, Mládeže a Tělovýchovy [MŠMT]. (2021). *Rámcový Vzdělávací Program pro Základní Vzdělávání*. <https://msmt.gov.cz/vzdelavani/zakladni-vzdelavani/ucebni-dokumenty>
- Novák, P. (2005). *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. BEN.
- Saw, G. (2019). The impact of inclusive STEM high schools on student outcomes: A statewide longitudinal evaluation of Texas STEM academies. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(8), 1445-1457. <http://dx.doi.org/10.1007/s10763-018-09942-3>
- Siregar, N. C., Rosli, R., Maat, S. M. et Capraro, M. M. (2019). The effect of science, technology, engineering and mathematics (STEM) program on students' achievement in mathematics: A meta-analysis. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 15(1), Article em0549.
- Sorby, S., Veurink, N. et Streiner, S. (2018). Does spatial skills instruction improve STEM outcomes? The answer is 'yes.' *Learning and Individual Differences*, 67, 209-222. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2018.09.001>
- Suarez, A., García-Costa, D., Perez, J., López-Iñesta, E., Grimaldo, F. et Torres, J. (2023). Hands-on learning: Assessing the impact of a mobile robot platform in engineering learning environments. *Sustainability*, 15(18), Article 13717. <https://doi.org/10.3390/su151813717>
- Svobodová, R., Lacko, B. et Cingl, O. (2010). *Projektové řízení a projektové vyučování, aneb, Jak na výukové projekty podle zásad projektového řízení*. PM Consulting,
- Wahono, B., Lin, P.-L. et Chang, C.-Y. (2020). Evidence of STEM enactment effectiveness in Asian student learning outcomes. *International Journal of STEM Education*, 7, Article 36.
- Yata, C., Ohtani, T. et Isobe, M. (2020). Conceptual framework of STEM based on Japanese subject principles. *International Journal of STEM Education*, 7, Article 12.
- Žerovnik, A. et Nančovska Šerbec, I. (2021). Project-based learning in higher education. Dans C. Vaz de Carvalho et M. Bauters (dir.), *Technology supported active learning: Student-centered approaches* (p. 31-57). Springer.