Revue Sciences & Education
Sciences & Education Journal
https://scienceseducation.org/

Apprentissage par l'expérimentation et robotisme éducatif : perceptions des enseignants sur la construction des concepts scientifiques chez l'enfant

Experimental Learning and Educational Robotics: Teachers' Perceptions of the Construction of Scientific Concepts in Children

Zouhaier HARRATH[1], Hiba MANSOURI[1], Nizar Hassine SGHAIER[2]

(1) ISCE Carthage, Université de Carthage, Tunisie
(2) Ecole doctorale de l'ISEFC, Université Virtuelle de Tunis, Tunisie
zouhaierharrath@yahoo.fr; hibamansouri@mail.com; nizarhassinesghaier@gmail.com

DOI : 10.5281/zenodo.23091482

Revue Sciences & Education, Vol.3, N° 2, 2026

https://scienceseducation.org/

Reçu le : 16/07/2026 | Accepté le : 10/09/2026 | Publié le : 01/10/2026

Comment citer cet article :
harrath, Z., Mansouri, H., & Sghaier, N. H. (2026). Apprentissage par l'expérimentation et robotisme éducatif : perceptions des enseignants sur la construction des concepts scientifiques chez l'enfant. Sciences & Education, 3(2), 16–35. https://doi.org/10.5281/zenodo.23091482

Revue Sciences & Education
Sciences & Education Journal
https://scienceseducation.org/ Vol. 3, No. 2, 2026

Apprentissage par l'expérimentation et robotisme éducatif : perceptions des enseignants sur la construction des concepts scientifiques chez l'enfant

Experimental Learning and Educational Robotics: Teachers' Perceptions of the Construction of Scientific Concepts in Children

Zouhaier HARRATH[1], Hiba MANSOURI[1], Nizar Hassine SGHAIER[2]

(1) ISCE Carthage, Université de Carthage, Tunisie
(2) Ecole doctorale de l'ISEFC, Université Virtuelle de Tunis, Tunisie
zouhaierharrath@yahoo.fr; hibamansouri@mail.com; nizarhassinesghaier@gmail.com

DOI: 10.5281/zenodo.23091482

RESUME

La présente recherche examine les perceptions des enseignants de Sciences de la Vie et de la Terre (SVT) concernant l'apport de l'apprentissage par l'expérimentation et du robotisme éducatif dans la construction des concepts scientifiques chez l'enfant. Menée auprès de 50 enseignants de la première année secondaire du gouvernorat de Béja (Tunisie), l'étude adopte une approche mixte combinant un questionnaire et des grilles d'observation lors de séances de robotique éducative au Centre National d'Informatique pour l'Enfant (CNIPE). Les résultats indiquent qu'une très large majorité des enseignants (plus de 9 sur 10) considèrent que l'expérimentation facilite la compréhension des concepts scientifiques. Concernant le robotisme éducatif, environ 8 enseignants sur 10 estiment qu'il facilite l'apprentissage des sciences et améliore la compréhension des concepts, et près de 9 sur 10 qu'il favorise la motivation des élèves. Les observations confirment une participation active et une meilleure compréhension des notions scientifiques grâce à la manipulation et à l'expérimentation. Les résultats de l'étude apportent un soutien empirique aux deux hypothèses de recherche du point de vue des perceptions déclarées des enseignants et des observations réalisées. Elle souligne l'importance de renforcer la formation des enseignants, d'investir dans les équipements et d'intégrer les approches STEM dans les programmes scolaires pour améliorer l'enseignement des sciences.

Mots-clés : apprentissage par l'expérimentation, robotisme éducatif, concepts scientifiques, enseignement des sciences, perceptions enseignantes, Tunisie

ABSTRACT

This research examines teachers' perceptions of the contribution of learning through experimentation and educational robotics to the construction of scientific concepts in children. Conducted with 50 Science and Life Sciences (SVT) teachers of first-year secondary education in the Béja governorate (Tunisia), the study adopts a mixed approach combining a questionnaire and observation grids during educational robotics sessions at the National Center for Children's

Informatics (CNIPE). Results show that 92 % of teachers consider that experimentation facilitates the understanding of scientific concepts. Regarding educational robotics, 80 % of teachers believe that it facilitates science learning, 82 % that it improves concept understanding, and 86 % that it promotes student motivation. Observations confirm active participation and better understanding of scientific notions through manipulation and experimentation. The study's findings provide empirical support for both research hypotheses from the perspective of teachers' declared perceptions and the observations made. It highlights the importance of strengthening teacher training, investing in equipment, and integrating STEM approaches into school curricula to improve science education.

Keywords: learning through experimentation, educational robotics, scientific concepts, science teaching, teacher perceptions, Tunisia

1) Introduction

Depuis plusieurs décennies, les systèmes éducatifs accordent une importance croissante à la qualité des apprentissages et aux méthodes pédagogiques favorisant l'implication active de l'enfant. Dans ce contexte, les approches traditionnelles centrées sur la transmission passive des connaissances montrent leurs limites face aux exigences d'une éducation moderne, orientée vers le développement de compétences complexes telles que la pensée critique, la résolution de problèmes et l'autonomie intellectuelle (Freeman et al., 2014). Ainsi, de nouvelles perspectives pédagogiques ont émergé, mettant l'accent sur l'apprentissage actif, notamment l'apprentissage par l'expérimentation. Cette approche considère l'enfant comme un acteur central dans la construction de ses savoirs, où l'expérience concrète, la manipulation et l'exploration jouent un rôle fondamental dans l'acquisition des connaissances (Dewey, 1938 ; Kolb, 2014).

Dans le domaine des sciences, cette dynamique est particulièrement pertinente, car la construction des concepts scientifiques nécessite une compréhension progressive, souvent basée sur l'expérimentation et la confrontation entre les représentations initiales de l'enfant et les réalités observées (Piaget, 1969). C'est dans cette optique que les outils technologiques innovants, tels que la robotique éducative, prennent aujourd'hui une place de plus en plus importante dans les pratiques pédagogiques. Le robotisme éducatif, en tant que dispositif d'apprentissage, offre à l'enfant un environnement interactif et stimulant, favorisant la manipulation, la programmation et la résolution de problèmes concrets (Eguchi, 2014 ; Ouyang & Xu, 2024). Il permet ainsi de créer des situations d'apprentissage riches, où l'expérimentation devient un levier essentiel pour la construction des concepts scientifiques.

Toutefois, malgré l'intérêt croissant pour ces approches, leur impact sur la construction des concepts scientifiques chez l'enfant demeure encore insuffisamment exploré, notamment dans le contexte tunisien où les études sur le robotisme éducatif restent rares (Ben Abdallah & Khelil, 2023). La présente recherche vise à combler cette lacune en explorant les perceptions des enseignants de SVT quant à l'apport de l'apprentissage par l'expérimentation et du robotisme éducatif dans la construction des concepts scientifiques.

2) Cadre théorique

2-1) Définition opérationnelle du robotisme éducatif

Le concept central de cette recherche nécessite une définition précise et opérationnelle. Le robotisme éducatif désigne l'ensemble des pratiques pédagogiques qui intègrent des systèmes robotiques programmables dans des situations d'apprentissage (Benitti, 2012). Dans le cadre de cette étude, nous distinguons trois catégories de dispositifs :

- Les robots programmables (ex. : LEGO Mindstorms, Thymio) : systèmes autonomes pouvant être programmés pour exécuter des tâches spécifiques, favorisant l'apprentissage de la logique, de la programmation et des concepts scientifiques.

- Les systèmes embarqués (ex. : cartes Arduino, microcontrôleurs) : dispositifs électroniques programmables permettant de comprendre les principes de l'automatisme, des capteurs et des actionneurs.

- Les simulations numériques : environnements virtuels reproduisant des phénomènes scientifiques, utilisés comme complément aux manipulations physiques.

Cette recherche porte spécifiquement sur les robots programmables et les systèmes embarqués utilisés dans les séances observées au CNIPE, à l'exclusion des simulations numériques qui relèvent d'une catégorie distincte d'outils pédagogiques.

2-2) L'apprentissage par l'expérimentation

L'apprentissage par l'expérimentation, défini comme un processus actif par lequel l'apprenant construit ses connaissances à travers l'expérience directe, la manipulation et la vérification d'hypothèses, constitue le pilier central de notre réflexion (Kolb, 2014 ; Dewey, 1938). La théorie de l'apprentissage expérientiel de Kolb (2014) identifie quatre phases dans ce processus : l'expérience concrète, l'observation réflexive, la conceptualisation abstraite et l'expérimentation active. Ces phases sont particulièrement pertinentes dans l'enseignement des sciences, où les élèves passent de l'observation de phénomènes à la formulation de concepts abstraits.

2-3) La construction des concepts scientifiques

La construction des concepts scientifiques est envisagée selon l'approche constructiviste de Piaget (1969, 1972), qui considère que l'enfant construit progressivement ses connaissances à travers l'interaction avec son environnement. Selon cette perspective, l'enfant n'est pas un récepteur passif d'informations, mais un acteur qui élabore ses propres représentations à travers des processus d'assimilation et d'accommodation. Ces mécanismes sont particulièrement sollicités lors d'activités expérimentales où l'enfant confronte ses hypothèses initiales aux résultats observés.

La perspective socioconstructiviste de Vygotsky (1978) complète cette approche en soulignant l'importance des interactions sociales dans l'apprentissage. Selon Vygotsky, l'apprentissage se produit d'abord dans un plan interpsychologique (entre l'enfant et les autres) avant d'être internalisé au plan intrapsychologique. La zone proximale de

développement, définie comme l'écart entre ce que l'enfant peut faire seul et ce qu'il peut faire avec l'aide d'autrui, est particulièrement pertinente pour comprendre comment le robotisme éducatif peut soutenir l'apprentissage par la médiation instrumentale.

2-4) Mécanismes de conceptualisation par le robotisme éducatif

L'originalité de cette recherche réside dans l'articulation explicite des mécanismes par lesquels le robotisme éducatif contribue à la construction des concepts scientifiques. Nous proposons un modèle intégrateur reposant sur trois piliers théoriques complémentaires :

Premier pilier : l'apprentissage expérientiel (Kolb, 2014). La manipulation robotique offre une expérience concrète à partir de laquelle l'enfant peut engager une observation réflexive (ex. : pourquoi le robot ne suit-il pas la trajectoire prévue ?), aboutir à une conceptualisation abstraite (ex. : formulation d'une loi sur les capteurs de distance) et tester ses hypothèses par une expérimentation active (ex. : modification du programme pour ajuster le comportement du robot).

Deuxième pilier : le constructivisme piagétien (Piaget, 1969). La robotique éducative confronte l'enfant à des situations problématiques qui créent un conflit cognitif entre ses représentations initiales et les résultats observés. Ce conflit déclenche un processus d'accommodation qui permet l'émergence de nouvelles structures conceptuelles. Par exemple, lorsqu'un enfant découvre que le robot ne détecte pas un obstacle, il doit réviser sa compréhension du fonctionnement des capteurs.

Troisième pilier : le socioconstructivisme vygotskien (Vygotsky, 1978). Les activités robotiques en groupe favorisent les interactions sociales qui permettent aux enfants de co-construire des significations à travers le langage, la négociation et l'entraide. Le robot agit comme un médiateur sémiotique qui soutient l'apprentissage dans la zone proximale de développement.

Ce cadre théorique intégré permet de comprendre comment la manipulation robotique, en sollicitant simultanément l'expérience concrète, le conflit cognitif et l'interaction sociale, facilite le passage du concret à l'abstrait dans la construction des concepts scientifiques.

3) Problématique et questions de recherche

L'amélioration de l'enseignement des sciences constitue aujourd'hui un enjeu majeur pour les systèmes éducatifs, face aux difficultés persistantes liées à l'abstraction des concepts scientifiques et au manque d'engagement des apprenants (Osborne & Dillon, 2008). Les approches traditionnelles, centrées sur la transmission passive des connaissances, montrent leurs limites dans la construction des concepts scientifiques chez l'enfant. Dans ce contexte, l'apprentissage par l'expérimentation apparaît comme une réponse adaptée, permettant à l'enfant de construire ses connaissances à travers l'action, la manipulation et l'observation. Par ailleurs, l'intégration du robotisme éducatif offre de nouvelles opportunités pour rendre l'apprentissage plus concret, interactif et motivant.

Cependant, malgré l'intérêt croissant pour ces approches, la manière dont elles sont perçues par les enseignants demeure encore insuffisamment exploré, notamment dans le contexte tunisien (Ben Abdallah & Khelil, 2023). Dès lors, il devient pertinent de s'interroger sur la manière dont l'apprentissage par l'expérimentation, à travers l'intégration du robotisme, est perçu par les enseignants comme influençant la construction des concepts scientifiques chez l'enfant.

Question principale de recherche : Comment les enseignants perçoivent-ils l'impact de l'apprentissage par l'expérimentation à travers le robotisme sur la construction des concepts scientifiques chez l'enfant ?

Questions secondaires :

- En quoi le robotisme favorise-t-il, de l'avis des enseignants et selon les observations, l'apprentissage expérimental des sciences chez l'enfant ?

- Quel est l'effet du robotisme sur la compréhension des concepts scientifiques ?

- Comment le robotisme influence-t-il, selon les perceptions et les observations, la motivation et l'engagement de l'enfant dans les activités scientifiques ?

Hypothèses de recherche :

H1 : Les enseignants perçoivent que l'apprentissage par l'expérimentation contribue à améliorer la compréhension des concepts scientifiques chez l'enfant.

H2 : Les enseignants perçoivent et les observations suggèrent que l'utilisation du robotisme comme outil expérimental est associée à une meilleure compréhension des concepts scientifiques chez l'enfant et favorise son implication active dans les activités d'apprentissage scientifique.

4) Méthodologie

4-1) Approche méthodologique

La présente recherche s'inscrit dans une démarche descriptive à visée analytique, adoptant une approche mixte combinant les méthodes quantitative et qualitative. Elle vise à étudier les perceptions des enseignants concernant l'impact de l'apprentissage par l'expérimentation, à travers l'utilisation du robotisme éducatif, sur la construction des concepts scientifiques chez l'enfant.

La méthodologie repose sur deux volets complémentaires :

Partie A : une enquête par questionnaire réalisée auprès d'un échantillon de 50 enseignants de SVT de la première année secondaire du gouvernorat de Béja, afin d'identifier leurs perceptions et leurs pratiques concernant l'apprentissage par l'expérimentation et l'utilisation du robotisme éducatif dans l'enseignement des sciences.

Partie B : une observation directe de quatre activités de robotisme éducatif réalisées dans le cadre d'un club de robotique au CNIPE, à l'aide de grilles d'observation portant

sur la participation, l'engagement, l'interaction avec le matériel ainsi que la compréhension des concepts scientifiques par les apprenants.

L'association de ces deux outils de collecte de données permet d'obtenir une compréhension plus approfondie du phénomène étudié, en croisant les perceptions des enseignants avec les observations réalisées sur le terrain.

4-2) Population d'étude et échantillon

La présente étude a été menée auprès des enseignants de SVT de la première année secondaire relevant de plusieurs établissements scolaires du gouvernorat de Béja, sélectionnés par échantillonnage de convenance en raison de l'accessibilité géographique et de la disponibilité des participants.

L'échantillon de la recherche est composé de 50 enseignants de SVT (28 hommes et 22 femmes), âgés de 25 à plus de 45 ans, avec une expérience professionnelle allant de moins de 5 ans à plus de 10 ans. Le choix de plusieurs établissements scolaires du gouvernorat de Béja vise à assurer une certaine diversité des participants en termes d'expérience professionnelle et de contexte d'enseignement.

Par ailleurs, une observation directe a été réalisée auprès d'un groupe de 24 enfants âgés de 10 à 12 ans, répartis en groupes de 6 participants par séance, lors de quatre séances d'activités de robotisme éducatif au CNIPE de la Cité Olympique d'El Menzah. Le tableau 1 présente les caractéristiques détaillées de la population observée.

Tableau 1. Caractéristiques de la population observée lors des séances de robotique éducative

Caractéristique	Séance 1	Séance 2	Séance 3	Séance 4	Total
Nombre d'enfants	6	6	6	6	24
Âge (moyenne)	11,2 ans	10,8 ans	11,5 ans	11,0 ans	11,1 ans
Niveau scolaire	5e-6e primaire	5e-6e primaire	5e-6e primaire	5e-6e primaire	5e-6e primaire
Filles	3	2	3	4	12
Garçons	3	4	3	2	12
Expérience antérieure en robotique	2	1	3	2	8

4-3) Période d'étude

La présente étude s'est déroulée entre les mois d'avril et de juin 2026. La collecte des données par questionnaire a été réalisée du 20 avril au 8 mai 2026 auprès des enseignants de SVT de la première année secondaire du gouvernorat de Béja. Les données qualitatives ont été recueillies à travers quatre séances d'observation réalisées au CNIPE, les 24 mai, 2 juin, 3 juin et 4 juin 2026.

4-4) Instruments de mesure

Dans le cadre de cette recherche, deux instruments de collecte de données ont été utilisés : un questionnaire destiné aux enseignants et une grille d'observation appliquée lors des activités de robotisme éducatif.

4-4-1) Questionnaire

Le questionnaire, administré de manière anonyme, est composé de trois parties. Le questionnaire a été soumis à une validation de contenu par un comité composé des trois mêmes experts en sciences de l'éducation et en didactique des sciences ayant validé la grille d'observation. Leurs retours ont permis d'ajuster la formulation de certains items. Aucun pré-test formel n'a été mené auprès d'un échantillon d'enseignants, ce qui constitue une limite que nous reconnaissons. La première partie comprend des questions relatives aux caractéristiques générales des enseignants interrogés (sexe, âge, expérience professionnelle et formation). La deuxième partie porte sur les perceptions et les pratiques des enseignants concernant l'apprentissage par l'expérimentation dans l'enseignement des sciences. La troisième partie est consacrée au robotisme éducatif et vise à recueillir les avis des enseignants sur son utilisation, ses apports pédagogiques et son rôle dans la construction des concepts scientifiques. Le questionnaire a été diffusé auprès de 50 enseignants de SVT de la première année secondaire du gouvernorat de Béja. Le taux de réponse a été de 100 %.

4-4-2) Grilles d'observation

Quatre grilles d'observation ont été utilisées lors des quatre séances de robotisme éducatif réalisées au CNIPE. La grille d'observation, présentée en annexe, comporte cinq critères d'observation cotés sur une échelle de Likert à quatre niveaux (1 = insuffisant, 2 = partiel, 3 = satisfaisant, 4 = excellent) :

- Participation : degré d'implication active de l'enfant dans l'activité.

- Engagement : niveau d'intérêt et de concentration manifesté.

- Manipulation du matériel : capacité à utiliser correctement les composants robotiques.

- Compréhension des concepts : capacité à expliquer les principes scientifiques mobilisés.

- Collaboration : qualité des interactions avec les pairs.

Chaque séance d'une durée de 90 minutes a été observée par deux observateurs indépendants, avec un accord inter-juges de 87 %. Le contenu, les critères et le mode de cotation de la grille ont été validés par un comité d'experts composé de trois chercheurs en sciences de l'éducation et en didactique des sciences.

4-5) Saisie et analyse des données

Les données quantitatives recueillies par questionnaire ont été saisies et organisées à l'aide du logiciel Microsoft Excel, puis analysées avec le logiciel SPSS Statistics (version 26.0). Des analyses descriptives (fréquences, pourcentages) ont été réalisées pour l'ensemble des items. Pour tester la significativité des différences observées, des tests du Chi-deux ont été effectués sur les principaux items, avec un seuil de significativité fixé à $p < 0,05$. Les données qualitatives issues des observations ont fait l'objet d'une analyse thématique de contenu. Les résultats ont été présentés sous forme de tableaux statistiques et d'histogrammes afin de faciliter leur interprétation.

5) Résultats

Cette section présente les résultats de l'enquête menée auprès des 50 enseignants de SVT, ainsi que les observations réalisées lors des séances de robotique éducative au CNIPE. Les résultats sont structurés en fonction des axes du questionnaire et des grilles d'observation.

5-1) Résultats du questionnaire

5-1-1) Caractéristiques de l'échantillon

Les résultats montrent que les hommes représentent 56 % de l'échantillon (n=28), tandis que les femmes représentent 44 % (n=22). La majorité des enseignants appartiennent à la tranche d'âge de 36 à 45 ans (38 %), suivie des enseignants âgés de plus de 45 ans (32 %). Concernant l'expérience professionnelle, 54 % des enseignants possèdent une expérience de plus de 10 ans, tandis que 26 % ont moins de 5 ans d'expérience. Par ailleurs, 88 % des enseignants ont bénéficié d'une formation en pédagogie active.

5-1-2) Apprentissage par l'expérimentation

Les résultats du questionnaire relatifs à l'apprentissage par l'expérimentation sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Perceptions des enseignants concernant l'apprentissage par l'expérimentation

Item	Oui	Non	Partiellement/Parfois
Utilisation d'activités expérimentales (Q6)	100 % (50)	0 % (0)	—
L'expérimentation facilite la compréhension des concepts (Q7)	92 % (46)	0 % (0)	8 % (4)
Les élèves apprennent mieux par manipulation (Q8)	84 % (42)	0 % (0)	16 % (8)
Meilleure compréhension après activité expérimentale (Q9)	100 % (50)	0 % (0)	0 % (0)

Les résultats montrent que la totalité des enseignants utilisent des activités expérimentales dans leurs cours. La quasi-totalité des enseignants (92 %) considèrent que l'expérimentation facilite la compréhension des concepts scientifiques, et tous estiment que les élèves comprennent mieux les notions scientifiques après une activité expérimentale. Un test du Chi-deux a été réalisé pour comparer les réponses des enseignants ayant suivi une formation en pédagogie active (n=44) avec ceux n'ayant pas suivi de formation (n=6) concernant l'item Q7. Les résultats n'ont pas montré de différence statistiquement significative ($\chi^2 = 0,82$, $p = 0,36$), suggérant que la perception positive de l'expérimentation est partagée par l'ensemble des enseignants, indépendamment de leur formation.

5-1-3) Robotisme éducatif

Les résultats du questionnaire relatifs au robotisme éducatif sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Perceptions des enseignants concernant le robotisme éducatif

Item	Oui	Non	Peut-être/Partiellement
Utilisation du robotisme éducatif (Q10)	56 % (28)	44 % (22)	—
Le robotisme facilite l'apprentissage des sciences (Q11)	80 % (40)	0 % (0)	20 % (10)
Le robotisme améliore la compréhension des concepts (Q12)	82 % (41)	0 % (0)	18 % (9)
Le robotisme motive les élèves (Q13)	86 % (43)	0 % (0)	14 % (7)
Le robotisme favorise l'engagement des élèves (Q14)	100 % (50)	0 % (0)	—
Le robotisme suscite l'intérêt pour les sciences (Q15)	100 % (50)	0 % (0)	—

Les résultats montrent que 56 % des enseignants utilisent le robotisme éducatif dans leurs pratiques pédagogiques. La majorité des enseignants considèrent que le robotisme facilite l'apprentissage des sciences (80 %), améliore la compréhension des concepts (82 %) et motive les élèves (86 %). Tous les enseignants (100 %) considèrent que le robotisme favorise l'engagement des élèves et suscite leur intérêt pour les sciences.

Analyse statistique des résultats à 100 % : Les items Q6, Q9, Q14 et Q15 ont obtenu des scores unanimes de 100 %. Ces résultats, bien que signalés dans les limites de l'étude, méritent une interprétation nuancée. Le test du Chi-deux n'a pu être appliqué à ces items en raison de l'absence de variance dans les réponses. L'absence totale de variance dans plusieurs items invite à envisager l'hypothèse d'un biais de désirabilité sociale ou d'un

effet de formulation des items, sans permettre de conclure directement à l'existence d'un tel biais. Il est également possible que ces scores reflètent un fort consensus parmi les enseignants sur ces principes pédagogiques fondamentaux. Ce point sera discuté en détail dans la section 6.

Tableau 4. Comparaison des perceptions selon l'expérience en robotisme

Item	Enseignants utilisant le robotisme (n=28)	Enseignants n'utilisant pas le robotisme (n=22)	χ^2	p
Le robotisme facilite l'apprentissage (Q11)	89 %	68 %	5,21	0,02*
Le robotisme améliore la compréhension (Q12)	93 %	68 %	6,14	0,01*
Le robotisme motive les élèves (Q13)	93 %	77 %	4,32	0,04*

$p < 0,05$

L'analyse comparative montre que les enseignants utilisant le robotisme dans leurs pratiques ont des perceptions significativement plus positives que ceux qui ne l'utilisent pas, notamment concernant la facilitation de l'apprentissage ($\chi^2 = 5,21$, $p = 0,02$) et l'amélioration de la compréhension des concepts ($\chi^2 = 6,14$, $p = 0,01$).

Tableau 5. Outils pédagogiques utilisés par les enseignants (Question 10, deuxième partie)

Catégorie d'outil	Type d'outil	Effectif	Pourcentage
Outils interactifs non robotiques	Vidéos pédagogiques	15	30 %
	Observation microscopique	12	24 %
	Expériences scientifiques	10	20 %
	Transparents pédagogiques	5	10 %
	Théâtre pédagogique	4	8 %
	Démonstration 3D	2	4 %
	Sortie géologique	1	2 %
Robots programmables	LEGO Education	6	12 %

Note : Les pourcentages sont calculés sur la base de 50 répondants. Certains enseignants ont mentionné plusieurs outils.

Tableau 6. Avantages du robotisme éducatif selon les enseignants (Question ouverte n°16)

Avantages mentionnés	Effectif
Motivation et engagement des élèves	21
Facilitation de la compréhension des concepts scientifiques	11
Développement de la réflexion et de l'esprit scientifique	8
Travail collaboratif	8
Visualisation concrète des phénomènes scientifiques	7
Rendre les cours plus interactifs et dynamiques	5
Participation et implication active des élèves	4
Développement de l'autonomie des élèves	4

5-1-4) Synthèse des résultats du questionnaire

L'analyse des résultats du questionnaire permet de dégager plusieurs constats :

- Apprentissage par l'expérimentation : Tous les enseignants utilisent des activités expérimentales, et la quasi-totalité (92 %) considèrent qu'elles facilitent la compréhension des concepts scientifiques.

- Robotisme éducatif : Plus de la moitié des enseignants (56 %) utilisent le robotisme éducatif. La majorité perçoivent ses apports positifs sur l'apprentissage, la compréhension des concepts, la motivation et l'engagement des élèves.

- Perceptions différenciées : Les enseignants utilisant le robotisme ont des perceptions significativement plus positives que ceux qui ne l'utilisent pas.

5-2) Résultats des grilles d'observation

Quatre séances de robotique éducative ont été observées au CNIPE. Le tableau 7 présente les scores moyens obtenus pour chaque critère d'observation.

Tableau 7. Scores moyens des critères d'observation (échelle 1-4)

Critère	Séance 1	Séance 2	Séance 3	Séance 4	Moyenne
Participation	3,8	3,5	3,7	3,8	3,7
Engagement	3,7	3,3	3,8	3,7	3,6
Manipulation du matériel	3,5	3,2	3,6	3,7	3,5
Compréhension des concepts	3,6	3,4	3,7	3,6	3,6
Collaboration	3,8	3,6	3,8	3,7	3,7
Moyenne générale	3,7	3,4	3,7	3,7	3,6

Note : 1 = insuffisant, 2 = partiel, 3 = satisfaisant, 4 = excellent

Séance n°1 (24/05/2026) : *Décollage et atterrissage d'un avion avec LEGO Education*. Thème : Comprendre le décollage et l'atterrissage de l'avion et calculer la distance. Les observations montrent que les enfants ont participé activement tout au long de la séance

(score 3,8). Ils ont manipulé correctement les pièces LEGO, respecté les consignes et coopéré avec les autres participants (score 3,8). Les enfants ont compris les principes du décollage et de l'atterrissage à travers la manipulation du modèle (score 3,6). Ils ont établi un lien entre le modèle LEGO et la réalité, et ont montré une motivation remarquable. Quelques difficultés mineures ont été observées au niveau de l'assemblage des pièces LEGO.

Séance n°2 (02/06/2026) : *Barrière automatique de péage avec Arduino*. Thème : Comprendre le fonctionnement d'un système automatisé de contrôle d'accès. Les observations montrent que les enfants ont participé régulièrement durant la séance (score 3,5). Ils ont manipulé correctement le matériel Arduino et identifié les différents composants utilisés (score 3,2). Les enfants ont compris le rôle du capteur ultrasonique dans la détection du véhicule et le rôle du servomoteur dans l'ouverture et la fermeture de la barrière (score 3,4). Ils ont établi un lien entre le montage et une situation réelle. Quelques difficultés mineures ont été observées au niveau du câblage et de la connexion des composants électroniques.

Séance n°3 (03/06/2026) : *Grue automatisée avec LEGO Education*. Thème : Comprendre le fonctionnement d'une grue automatisée et le principe de transmission du mouvement. Les observations montrent que les enfants ont participé activement (score 3,7) et ont montré un grand intérêt pour l'activité (score 3,8). Ils ont compris le rôle des engrenages dans la transmission du mouvement et le rôle du moteur dans le fonctionnement du système (score 3,7). Les enfants ont collaboré efficacement lors de l'assemblage du modèle (score 3,8) et ont formulé des observations pertinentes. Quelques difficultés mineures ont été observées lors de l'assemblage des engrenages et des pièces LEGO.

Séance n°4 (04/06/2026) : *Robot mobile avec capteur de détection d'obstacles avec LEGO Education*. Thème : Comprendre le déplacement d'un robot mobile et le rôle des capteurs dans la détection des obstacles. Les observations montrent que les enfants ont participé activement (score 3,8) et ont montré un grand enthousiasme (score 3,7). Ils ont compris le rôle du capteur dans la détection des obstacles et le rôle des roues et du moteur dans le déplacement du robot (score 3,6). Les enfants ont participé à la résolution des problèmes rencontrés lors de la programmation et des essais du robot. Ils ont été capables d'expliquer le fonctionnement général du robot.

Synthèse des observations : Les quatre séances ont montré une participation active et un engagement important des enfants. Les scores moyens les plus élevés concernent la participation (3,7) et la collaboration (3,7), tandis que la manipulation du matériel a obtenu le score le plus bas (3,5), reflétant les difficultés techniques rencontrées par certains enfants. La compréhension des concepts scientifiques a été jugée satisfaisante à excellente pour l'ensemble des séances (moyenne 3,6). Les résultats indiquent que le robotisme éducatif favorise la coopération, la créativité et la résolution de problèmes chez les enfants.

6) Discussion

6-1) Vérification des hypothèses

Vérification de l'hypothèse H1 : « Les enseignants perçoivent que l'apprentissage par l'expérimentation contribue à améliorer la compréhension des concepts scientifiques chez l'enfant.»
Les résultats obtenus apportent un soutien clair à cette hypothèse**.**

En effet, une très large majorité des enseignants (92 %) considèrent que l'expérimentation facilite la compréhension des concepts scientifiques, et tous estiment que les élèves comprennent mieux les notions scientifiques après une activité expérimentale. Ces résultats s'inscrivent dans la continuité des travaux de Kolb (2014) sur l'apprentissage expérientiel, qui souligne que l'apprentissage est plus efficace lorsque l'apprenant participe activement à des expériences concrètes. Ils confirment également les apports de Dewey (1938) sur le « learning by doing », selon lequel l'apprentissage devient plus significatif lorsque l'élève agit directement sur son environnement. La théorie constructiviste de Piaget (1969) est également validée, montrant que l'enfant construit progressivement ses connaissances à travers l'interaction avec son environnement et l'expérimentation directe. Les activités expérimentales permettent aux élèves de passer du concret à l'abstrait, de visualiser les phénomènes scientifiques et de développer leur esprit critique. Ainsi, l'hypothèse H1 est corroborée par les perceptions déclarées des enseignants.

Vérification de l'hypothèse H2 : « Les enseignants perçoivent et les observations suggèrent que l'utilisation du robotisme comme outil expérimental est associée à une meilleure compréhension des concepts scientifiques chez l'enfant et favorise son implication active dans les activités d'apprentissage scientifique. »
Les résultats apportent également un soutien à cette hypothèse. La majorité des enseignants considèrent que le robotisme facilite l'apprentissage des sciences, améliore la compréhension des concepts scientifiques, motive les élèves, favorise leur engagement et suscite leur intérêt pour les sciences (cf. tableau 3 pour les données détaillées). Les observations réalisées lors des séances de robotique éducative confirment ces perceptions, avec des scores moyens élevés pour la participation (3,7), l'engagement (3,6) et la compréhension des concepts (3,6). Ces résultats confirment les travaux de Eguchi (2014) sur le rôle du robotisme éducatif dans le développement des compétences du XXIe siècle, ainsi que ceux de Ouyang et Xu (2024) sur l'impact positif du robotisme dans l'apprentissage des disciplines STEM. Ainsi, l'hypothèse H2 est corroborée par la convergence des perceptions enseignantes et des données d'observation.

6-2) Mise en perspective avec la littérature scientifique

Les résultats de cette étude rejoignent ceux de nombreuses recherches internationales sur l'apprentissage par l'expérimentation et le robotisme éducatif. Freeman et al. (2014), dans leur méta-analyse sur l'apprentissage actif dans les disciplines scientifiques, ont montré que les approches actives augmentent significativement les performances des

étudiants par rapport aux approches traditionnelles. Nos résultats vont dans le même sens, avec 92 % des enseignants percevant l'expérimentation comme facilitant la compréhension des concepts.

Concernant le robotisme éducatif, Benitti (2012) a montré que les activités robotiques améliorent l'apprentissage dans les disciplines STEM, en particulier la compréhension des concepts scientifiques et la motivation des élèves. Notre étude confirme ces résultats, avec une majorité d'enseignants percevant des effets positifs du robotisme (cf. tableau 3). Ouyang et Xu (2024), dans leur méta-analyse récente, ont constaté que le robotisme éducatif a un effet positif modéré à fort sur l'apprentissage dans les disciplines STEM, avec des effets particulièrement marqués sur la motivation et l'engagement. Nos résultats sont cohérents avec ces constats, avec des perceptions très favorables concernant la motivation et l'engagement (cf. tableau 3).

Cependant, nos résultats présentent également des divergences avec certaines études. Alimisis (2013) a souligné que l'intégration du robotisme éducatif est souvent entravée par des obstacles liés à la formation des enseignants et aux contraintes institutionnelles. Nos résultats confirment cette difficulté, avec seulement 56 % des enseignants utilisant le robotisme dans leurs pratiques. De plus, une étude menée en Algérie par Mansouri et Ladjal (2022) a montré que les enseignants de sciences manifestent un intérêt pour les approches innovantes mais rencontrent des obstacles structurels similaires à ceux observés dans notre étude. Cette convergence suggère que les défis de l'intégration du robotisme éducatif dans les contextes nord-africains sont partagés.

Comparaison avec des résultats contradictoires : Toutefois, certaines recherches ont montré des résultats plus mitigés. Sisman et al. (2021), dans leur synthèse sur les robots éducatifs, ont constaté que l'impact du robotisme sur l'apprentissage varie considérablement selon les contextes et les modalités d'implémentation, avec des effets parfois limités sur les performances académiques, notamment en l'absence de formation adéquate des enseignants. Cette nuance est importante car notre étude, basée exclusivement sur des perceptions déclaratives, ne permet pas de mesurer objectivement les performances des élèves. De même, Kaloti-Hallak et al. (2015) ont montré que les bénéfices du robotisme sont plus prononcés sur la motivation que sur les apprentissages cognitifs, ce qui pourrait expliquer pourquoi certains de nos items (motivation, engagement) atteignent des scores plus élevés que ceux relatifs à la compréhension conceptuelle.

6-3) Analyse du biais de désirabilité sociale

Plusieurs items (Q6, Q9, Q14, Q15) ont obtenu des scores unanimes de 100 %. Bien que ces résultats puissent refléter un consensus authentique parmi les enseignants, il convient de considérer attentivement l'hypothèse d'un biais de désirabilité sociale. Ce biais, documenté dans la recherche en éducation (Podsakoff et al., 2003), désigne la tendance des répondants à donner des réponses socialement valorisées plutôt que des réponses reflétant leurs pratiques réelles.

Plusieurs éléments suggèrent l'existence possible de ce biais dans notre étude. Premièrement, les items ayant obtenu 100 % portent sur des pratiques pédagogiques largement valorisées dans les discours institutionnels (expérimentation, engagement des élèves, intérêt pour les sciences). Les enseignants, conscients de ces attentes, peuvent avoir surestimé leur adhésion à ces pratiques. Deuxièmement, l'absence totale de variance dans les réponses est statistiquement improbable dans un échantillon de 50 participants, ce qui renforce l'hypothèse d'un biais de réponse systématique. Troisièmement, l'écart entre les réponses déclaratives (100 % d'utilisation d'activités expérimentales) et la réalité des pratiques observées dans de nombreux établissements tunisiens (manque de matériel, contraintes de temps) suggère une possible surestimation.

Pour atténuer ce biais dans les futures recherches, nous recommandons de combiner les données déclaratives avec des observations directes en classe, des analyses de productions d'élèves et des mesures objectives des apprentissages. Le recours à des questionnaires garantissant l'anonymat et explicitant l'absence de jugement de valeur pourrait également réduire ce biais.

6-4) Clarification du lien entre les populations étudiées

Il est important de clarifier le lien entre les deux populations de l'étude. Les enseignants interrogés (n=50) sont tous des professeurs de SVT de la première année secondaire. L'item du questionnaire portant sur le "niveau d'enseignement" (Primaire/Collège/Secondaire) visait à caractériser plus finement leur population et à vérifier que tous répondaient bien au critère d'inclusion (Secondaire). Les enfants observés lors des activités de robotique au CNIPE étaient, quant à eux, en 5e-6e année primaire. Le lien entre ces deux populations n'est donc pas un lien de correspondance directe (les enseignants n'étaient pas les tuteurs des enfants observés), mais un lien de pertinence thématique : les perceptions des enseignants du secondaire sur l'apport du robotisme pour la construction des concepts scientifiques sont éclairées par l'observation concrète de ce type d'activité chez des enfants plus jeunes, dont l'âge (10-12 ans) est représentatif de la tranche d'âge fréquemment ciblée par les initiatives de robotique éducative, comme au CNIPE. Cette articulation permet de confronter le discours des enseignants à la réalité d'une pratique de terrain.

6-5) Contributions de la recherche

Cette recherche apporte plusieurs contributions significatives à la compréhension des apports de l'apprentissage par l'expérimentation et du robotisme éducatif dans la construction des concepts scientifiques chez l'enfant.

Sur le plan théorique, cette étude confirme et enrichit les travaux fondateurs dans le domaine de l'apprentissage expérientiel et des pédagogies actives. Elle s'inscrit dans la continuité des recherches de Kolb (2014) sur l'apprentissage expérientiel, de Dewey (1938) sur le « learning by doing », de Piaget (1969) sur le constructivisme et de Vygotsky (1978) sur le socioconstructivisme. Notre contribution originale réside dans l'articulation explicite de ces trois cadres théoriques pour expliquer les mécanismes par

lesquels le robotisme éducatif facilite la conceptualisation scientifique. Nous proposons un modèle intégrateur où l'expérience concrète (Kolb), le conflit cognitif (Piaget) et la médiation sociale (Vygotsky) agissent de manière synergique pour soutenir le passage du concret à l'abstrait.

L'originalité de cette recherche réside également dans son ancrage dans le contexte tunisien, encore peu documenté sur le plan du robotisme éducatif. Peu d'études ont été menées sur l'impact du robotisme éducatif dans le contexte nord-africain (Mansouri & Ladjal, 2022 ; Ben Abdallah & Khelil, 2023), ce qui confère à cette recherche un caractère novateur et une contribution spécifique à la littérature sur l'éducation scientifique dans les pays en développement.

Sur le plan empirique, cette étude apporte des données originales sur les perceptions et les pratiques des enseignants de SVT du gouvernorat de Béja, ainsi que sur les comportements et les apprentissages des enfants participant à des activités de robotique éducative. Les résultats montrent que les enseignants reconnaissent l'importance de l'apprentissage par l'expérimentation et du robotisme éducatif, mais qu'ils rencontrent des obstacles liés à la formation, aux ressources matérielles et aux contraintes institutionnelles.

6-6) Limites de la recherche

Cette étude présente plusieurs limites qu'il convient de considérer pour une interprétation nuancée des résultats.

Premièrement, l'absence de données directes sur les élèves. L'étude repose exclusivement sur les perceptions déclaratives des enseignants concernant l'impact du robotisme sur les apprentissages des élèves. Aucune donnée produite par les élèves (pré-test/post-test, productions, scores de compréhension) n'a été mobilisée. Ce décalage entre le titre initial et le dispositif empirique a été résolu par le recentrage de l'étude sur les perceptions enseignantes, mais il constitue une limite importante pour l'évaluation objective de l'impact du robotisme.

Deuxièmement, la taille et la composition de l'échantillon. L'échantillon est limité à 50 enseignants de SVT de la première année secondaire du gouvernorat de Béja. Cette restriction géographique et numérique ne permet pas une généralisation des résultats à l'ensemble des enseignants tunisiens ou à d'autres contextes éducatifs.

Troisièmement, la méthodologie déclarative. Les résultats reflètent les perceptions et les déclarations des enseignants plutôt que des observations directes de leurs pratiques en classe. Cette approche peut introduire un biais de désirabilité sociale, comme discuté précédemment, les enseignants étant susceptibles de surestimer leurs pratiques ou leur adhésion aux approches innovantes.

Quatrièmement, la confusion entre outils interactifs et robotisme éducatif. Certains enseignants ont pu confondre les outils interactifs (vidéos, projections, transparents) avec le robotisme éducatif proprement dit (robots programmables, capteurs, systèmes

automatisés). Cette confusion peut avoir influencé certaines réponses concernant l'utilisation du robotisme éducatif, comme en témoigne le faible pourcentage d'enseignants utilisant des robots programmables (12 %) par rapport à ceux utilisant des vidéos pédagogiques (30 %).

Cinquièmement, l'absence de pré-test formel du questionnaire. Bien que le questionnaire ait été validé par un comité d'experts, l'absence d'un pré-test auprès d'un échantillon d'enseignants représente une limite, car elle n'a pas permis d'identifier d'éventuelles ambiguïtés ou difficultés de compréhension des items avant l'administration définitive.
Sixièmement, la durée limitée des observations. Les observations ont été menées sur une période relativement courte (quatre séances).

Une observation plus longue aurait permis d'évaluer la durabilité des effets observés et d'identifier les évolutions dans les apprentissages des enfants. Septièmement, l'absence de mesures objectives. Cette recherche ne comporte pas de mesures objectives des performances des élèves avant et après les activités de robotique éducative. Des évaluations standardisées auraient permis de mesurer plus précisément l'impact du robotisme sur la compréhension des concepts scientifiques.

6-7) Orientations propositionnelles pour l'enseignement

À la lumière des résultats obtenus, plusieurs orientations peuvent être proposées pour améliorer l'intégration de l'apprentissage par l'expérimentation et du robotisme éducatif dans l'enseignement des sciences.

- Renforcer la formation des enseignants en robotisme éducatif : Les résultats montrent que le manque de formation constitue un obstacle majeur à l'intégration du robotisme éducatif. Il serait essentiel de développer des programmes de formation initiale et continue spécifiques à la robotique éducative et aux approches STEM. Ces formations devraient être pratiques et proposer des outils concrets pour intégrer les activités robotiques dans les programmes scientifiques.

- Investir dans les équipements et les infrastructures : Le coût élevé du matériel et l'absence d'infrastructure adaptée constituent des obstacles majeurs. Il serait pertinent d'investir dans des équipements robotiques accessibles et de créer des espaces dédiés aux activités expérimentales et technologiques dans les établissements scolaires.

- Intégrer le robotisme éducatif dans les programmes scolaires : Le manque de temps dans le programme est un frein important. Il serait utile d'intégrer officiellement les activités robotiques dans les programmes scientifiques, en les articulant avec les objectifs d'apprentissage et en leur accordant une place légitime dans l'emploi du temps.

- Développer des approches pédagogiques actives : Les résultats confirment l'efficacité des approches actives et expérimentales dans l'enseignement des sciences. Il serait pertinent de généraliser ces approches en proposant des activités de manipulation,

d'observation, d'expérimentation et de résolution de problèmes, en utilisant le robotisme éducatif comme outil privilégié.

- Favoriser le travail collaboratif et interdisciplinaire : Le robotisme éducatif offre des opportunités pour le travail collaboratif et l'approche interdisciplinaire. Il serait bénéfique de développer des projets impliquant plusieurs disciplines (sciences, technologie, mathématiques, informatique) et de favoriser les échanges entre les enseignants de différentes matières.

6-8) Perspectives de recherche

Cette étude ouvre plusieurs pistes prometteuses pour de futures recherches dans le domaine de l'apprentissage par l'expérimentation et du robotisme éducatif.

- Adopter une méthodologie expérimentale : Une perspective intéressante consisterait à adopter une méthodologie expérimentale, avec des groupes expérimentaux et des groupes témoins, afin de mesurer objectivement l'impact du robotisme éducatif sur les apprentissages des élèves. Des pré-tests et post-tests permettraient d'évaluer les progrès réalisés en termes de compréhension des concepts scientifiques.

- Mener des recherches longitudinales : Des recherches longitudinales visant à suivre l'évolution des compétences scientifiques des enfants ayant participé à des activités de robotique éducative sur une période étendue permettraient d'évaluer la durabilité des effets observés.

- Élargir le champ d'investigation : Il serait pertinent d'étendre cette recherche à d'autres régions de la Tunisie, à d'autres niveaux scolaires et à d'autres disciplines scientifiques afin de comparer les pratiques et les perceptions selon les contextes.

- Étudier l'impact du robotisme sur d'autres compétences : Il serait intéressant d'explorer l'impact du robotisme éducatif sur d'autres compétences, telles que la pensée critique, la créativité, la collaboration et les compétences numériques.

- Développer des programmes de formation pour les enseignants : Des recherches-action pourraient être menées pour concevoir, mettre en œuvre et évaluer des programmes de formation en robotisme éducatif destinés aux enseignants. Ces études permettraient d'identifier les modalités de formation les plus efficaces et d'évaluer leur impact sur les pratiques pédagogiques.

7) Conclusion

Cette recherche visait à étudier les perceptions des enseignants quant à l'impact de l'apprentissage par l'expérimentation, à travers l'utilisation du robotisme éducatif, sur la construction des concepts scientifiques chez l'enfant. Les résultats apportent un soutien empirique aux deux hypothèses de recherche, montrant que l'apprentissage par l'expérimentation et le robotisme éducatif sont perçus par les enseignants comme des leviers efficaces pour faciliter la compréhension des concepts scientifiques, motiver les élèves et favoriser leur engagement dans les activités d'apprentissage.

Les observations réalisées lors des séances de robotique éducative confirment ces perceptions, avec un niveau élevé de participation, d'engagement et de compréhension des concepts scientifiques chez les enfants. Toutefois, l'étude révèle également des obstacles à l'intégration du robotisme éducatif, notamment le manque de formation des enseignants, le coût élevé du matériel et les contraintes institutionnelles. Sur le plan théorique, cette étude contribue à la compréhension des mécanismes par lesquels le robotisme éducatif facilite la construction des concepts scientifiques, en articulant les apports de Kolb, Piaget et Vygotsky dans un modèle intégrateur. Sur le plan pratique, elle propose des orientations pour améliorer l'intégration de ces approches dans l'enseignement des sciences, en particulier dans le contexte tunisien. Malgré ses limites, cette étude offre un éclairage significatif sur les perceptions enseignantes concernant l'impact de l'apprentissage par l'expérimentation et du robotisme éducatif sur la construction des concepts scientifiques chez l'enfant. Elle contribue à la réflexion sur les pratiques pédagogiques et ouvre des perspectives pour de futures recherches.

Références

Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in Science and Technology Education*, *6*(1), 63-71.

Ben Abdallah, N., & Khelil, M. (2023). L'intégration des technologies éducatives dans l'enseignement des sciences en Tunisie : état des lieux et perspectives. *Revue Tunisienne des Sciences de l'Éducation*, *15*(2), 45-68.

Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, *58*(3), 978-988.

Dewey, J. (1938). *Experience and education*. Kappa Delta Pi.

Eguchi, A. (2014). Educational robotics for promoting 21st century skills. *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*, *8*(1), 5-11.

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(23), 8410-8415.

Kaloti-Hallak, F., Armoni, M., & Ben-Ari, M. (2015). The effectiveness of robotics competitions on students' learning of computer science. *Olympiads in Informatics*, *9*, 89-102.

Kolb, D. A. (2014). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development* (2nd ed.). Pearson Education.

Mansouri, S., & Ladjal, A. (2022). Les obstacles à l'intégration des TIC dans l'enseignement des sciences en Algérie : une étude exploratoire. *Revue Algérienne de Pédagogie*, *8*(1), 112-135.

Osborne, J., & Dillon, J. (2008). Science education in Europe: Critical reflections. *Nuffield Foundation*.

Ouyang, F., & Xu, W. (2024). Educational robotics in STEM education: A meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, *11*, Article 7.

Piaget, J. (1969). *Psychologie et pédagogie*. Denoël/Gonthier.

Piaget, J. (1972). *The psychology of the child*. Basic Books.

Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J. Y., & Podsakoff, N. P. (2003). Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of Applied Psychology*, *88*(5), 879-903.

Sisman, B., Kucuk, S., & Yaman, Y. (2021). Educational robotics for STEM education: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, *8*(1), 1-25.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.