

Revue de la portée sur les usages didactiques des capteurs intégrés aux technologies mobiles dans l'enseignement et l'apprentissage des STIM

David Pellerin, Déréck Michaud, Pauline Champagne et Olivier Robin
Université de Sherbrooke, Canada

Pour citer cet article :

Pellerin, D., Michaud, D., Champagne, P. et Robin, O. (2026). Revue de la portée sur les usages didactiques des capteurs intégrés aux technologies mobiles dans l'enseignement et l'apprentissage des STIM. *Didactique*, 7(3), 19-47. <https://doi.org/10.37571/2026.0302>

Résumé : Ce travail examine la mobilisation didactique des capteurs intégrés aux technologies mobiles dans l'enseignement et l'apprentissage des STIM (sciences, technologie, ingénierie, mathématiques). En se basant sur la méthode PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), 25 études empiriques publiées entre 2014 et 2025 ont été recensées et analysées. L'analyse thématique, appuyée sur l'approche instrumentale de Rabardel et la notion de transposition didactique, a permis d'identifier quatre usages didactiques : 1) levier à la prise de mesure, 2) levier à la conceptualisation et à l'apprentissage, 3) levier à l'exploration, et 4) levier à l'accès à l'expérimentation. Il apparaît que la mobilisation des capteurs ne se réduit pas à une substitution instrumentale, mais peut reconfigurer les médiations épistémiques et pragmatiques associées à la construction du savoir scientifique. La typologie proposée offre un cadre pour analyser l'intégration des technologies mobiles en STIM en fonction des configurations didactiques qu'elles instaurent plutôt que sous l'angle d'une simple innovation technologique.

Mots-clés : capteurs intégrés, technologies mobiles, STIM, approche instrumentale, transposition didactique.

Problématique

Les technologies mobiles (tablette et téléphone mobile multifonction) occupent une place de plus en plus importante dans l'apprentissage et l'enseignement des sciences, technologie, ingénierie et mathématiques (STIM) (Zhao, 2025). En effet, les capteurs intégrés à ces technologies sont de plus en plus utilisés dans les expérimentations pour développer les compétences associées à l'investigation scientifique. Contrairement au débat plus ancien concernant l'ordinateur, il subsiste un manque de fondements empiriques solides pour soutenir l'utilisation de ces technologies en classe (Hochberg et al., 2018). Malgré la multiplication des initiatives numériques en STIM, peu d'études ont documenté la manière dont les capteurs intégrés aux technologies mobiles transforment la transposition didactique des contenus disciplinaires et la construction du savoir scientifique. Le développement de la pensée scientifique nécessite de la personne apprenante qu'elle pose un problème pour ensuite interroger son environnement afin d'y répondre (Hasni et al., 2018). Les sens humains donnent accès aux phénomènes observables à partir desquels l'élève peut investiguer le réel, tandis que les capteurs électroniques (*sensors* en anglais) intégrés aux technologies mobiles agissent comme des outils complémentaires à ces sens (Silva, 2023). Les capteurs sont des dispositifs électroniques permettant de détecter une grandeur physique (accélération, lumière, pression, son, orientation, position, etc.) et de la convertir en signal numérique exploitable et visualisable sur un écran par l'entremise d'une application. Ce sont donc des outils de prise de mesures accessibles à tous et à toutes par l'entremise de leur propre téléphone ou tablette. Malgré ce potentiel pour l'apprentissage en STIM, les personnes enseignantes mobilisent peu ces technologies en classe pour réaliser des expérimentations. Selon une enquête menée auprès de personnes enseignantes de physique pour identifier leurs besoins en développement professionnel, celles-ci ont majoritairement exprimé le désir d'éliminer le stress lié à l'utilisation des nouvelles technologies et ont mentionné vouloir apprendre à réaliser des démonstrations et des travaux de laboratoire à l'aide des technologies mobiles (Juskaite et al., 2019). Au-delà des compétences techniques nécessaires à l'utilisation de ces technologies, c'est davantage l'acquisition des compétences méthodologiques liées aux usages didactiques en classe qui les préoccupent (Juskaite et al., 2019). À cet égard, il apparaît nécessaire d'identifier et de mieux comprendre les usages didactiques associés aux capteurs intégrés aux technologies mobiles dans l'apprentissage des STIM. Leur mobilisation ne se limite pas à introduire un outil de mesure en classe : elle engage une réflexion sur la manière dont ces capteurs rendent les phénomènes observables, produisent des données interprétables et soutiennent la construction des savoirs scientifiques. C'est pourquoi ils peuvent être envisagés comme des médiateurs épistémiques, susceptibles de transformer les modalités d'accès aux phénomènes, aux données produites et aux savoirs

scientifiques, dont le rôle dans les démarches d'apprentissage mérite d'être examiné plus précisément.

Deux synthèses de connaissances ont mis en lumière les retombées de l'utilisation des capteurs intégrés aux technologies mobiles pour l'expérimentation en STIM. Tout d'abord, Ubben et al. (2023) ont mené une revue systématique des usages du téléphone mobile dans l'enseignement des sciences. Ils ont recensé les différentes variables étudiées par les personnes chercheuses (ex. : motivation, intérêt, etc.) et ont présenté les effets observés en les regroupant en huit usages différents (ex. : application de réalité augmentée, jeux et ludification, communication, etc.). Un de ces usages est associé à la prise de mesures à l'aide des téléphones mobiles et regroupe huit études scientifiques menées entre 2015 et 2022 auprès de personnes apprenantes du primaire à l'université. En comparant l'utilisation des téléphones mobiles avec celle d'instruments de mesure traditionnels, ces études mettent en lumière des résultats généralement positifs sur l'apprentissage ainsi que sur l'augmentation de la motivation et de l'intérêt (Ubben et al., 2023). Ensuite, dans une synthèse des connaissances, Zhao (2025) recense 187 études publiées entre 2011 et 2024 portant sur l'expérimentation en physique assistée par les capteurs des téléphones mobiles auprès de personnes étudiantes universitaires. L'auteur distingue deux grandes catégories d'usages : 1) l'utilisation des capteurs intégrés pour effectuer des mesures physiques (*sensor-based experiments*), avec 78 % des expérimentations recensées, et 2) l'utilisation de la caméra pour capter des phénomènes physiques en vue d'en faire de l'analyse d'images ou de vidéos (*camera-based experiments*). Sa synthèse propose un découpage temporel de l'utilisation des technologies mobiles pour l'expérimentation, passant d'une phase d'exploration précoce (2011-2013) à une phase d'évaluation formelle (depuis 2022), rendue nécessaire par le confinement associé à la COVID-19. Elle classe également les expériences selon les thèmes étudiés ainsi que les capteurs et les applications utilisés. Cette synthèse est qualifiée de compréhensive (Zhao, 2025), mais ne comporte aucune précision quant à la méthodologie employée (mots-clés, bases de données consultées, processus de sélection des articles, etc.). Les synthèses de Ubben (2023) et de Zhao (2025) ne permettent pas d'identifier précisément les formes de mobilisation didactique des capteurs intégrés en contexte scolaire ni les configurations de médiation par lesquelles ces dispositifs participent à la construction du savoir en STIM. Nous formulons ainsi la question de recherche suivante : Comment, du point de vue de la littérature, les capteurs intégrés aux technologies mobiles sont-ils mobilisés dans l'enseignement et l'apprentissage des STIM ?

Cadre théorique

Notre recherche s'intéresse à la manière dont les capteurs intégrés aux technologies mobiles sont mobilisés dans l'enseignement et l'apprentissage des STIM. En ce sens, les capteurs intégrés, les disciplines STIM, l'enseignement et l'apprentissage définissent les paramètres de cette mobilisation et tracent les contours de la recherche documentaire. Pour comprendre la mobilisation des capteurs intégrés et les reconfigurations de la transposition didactique qu'entraîne la construction du savoir médiée par le numérique, l'approche instrumentale de Rabardel (1995) offre un cadre riche avec ses concepts d'instrumentation et d'instrumentalisation.

Définissons d'abord les contours de notre recherche documentaire. Notre recherche s'intéresse aux capteurs intégrés des technologies mobiles (ex. : accéléromètre, gyroscope, magnétomètre, microphone, luxmètre, GPS [*Global Positioning System*], caméra, baromètre, etc.). Ces outils de mesure ne nécessitent aucun ajout de matériel et sont mobilisables en classe comme à l'extérieur. Ils demeurent néanmoins peu exploités à des fins didactiques. Ces dispositifs transforment un phénomène physique en données numériques visualisables sous forme de valeurs ou de graphiques. Toutefois, la présence d'un capteur ne constitue pas en soi un usage didactique. Ce n'est que lorsqu'il est intégré à une activité orientée vers un objectif d'apprentissage disciplinaire qu'il devient un instrument (Rabardel, 1995), c'est-à-dire un artefact que la personne apprenante mobilise en mettant en place ses propres schèmes d'action pour construire ses savoirs.

Dans ce travail, l'acronyme STIM renvoie aux disciplines scolaires sciences, technologie, ingénierie, mathématiques où chaque discipline est traitée séparément, et non à une approche intégrée en STIM (Rifandi et Rahmi, 2019). Dans ces disciplines, l'expérimentation, la modélisation et l'interprétation occupent une place centrale. La construction du savoir repose sur la formulation de problèmes, l'investigation empirique, la production et l'analyse de données, ainsi que sur les passages entre différentes formes de représentation (phénomène observé, mesure, graphique, modèle, formalisme symbolique). L'introduction des capteurs intégrés des technologies mobiles modifie les modalités d'accès aux phénomènes, la collecte des données, la nature des représentations produites et le rythme de l'investigation.

Ces précisions permettent de situer les objets sur lesquels porte la recherche documentaire. Il reste toutefois à définir ce que signifie leur mobilisation en classe. Par mobilisation, nous entendons l'intégration effective d'un outil numérique dans une situation d'enseignement ou d'apprentissage en vue d'atteindre un objectif. La mobilisation peut être analysée selon deux dimensions complémentaires. La perspective didactique concerne la manière dont la

technologie mobile influence la nature du savoir étudié, la structuration de la démarche d'investigation, comprenant notamment la collecte, la modélisation et l'interprétation des données, les formes de représentation du savoir et la validité des mesures. La perspective pédagogique concerne les conditions dans lesquelles l'élève apprend. Elles concernent la motivation, la curiosité, la collaboration, l'engagement, l'autonomie et l'aisance à utiliser la technologie. Bien que la perspective pédagogique puisse influencer les usages et la transposition didactique, le présent article s'intéresse spécifiquement à la perspective didactique associée à la mobilisation des capteurs intégrés.

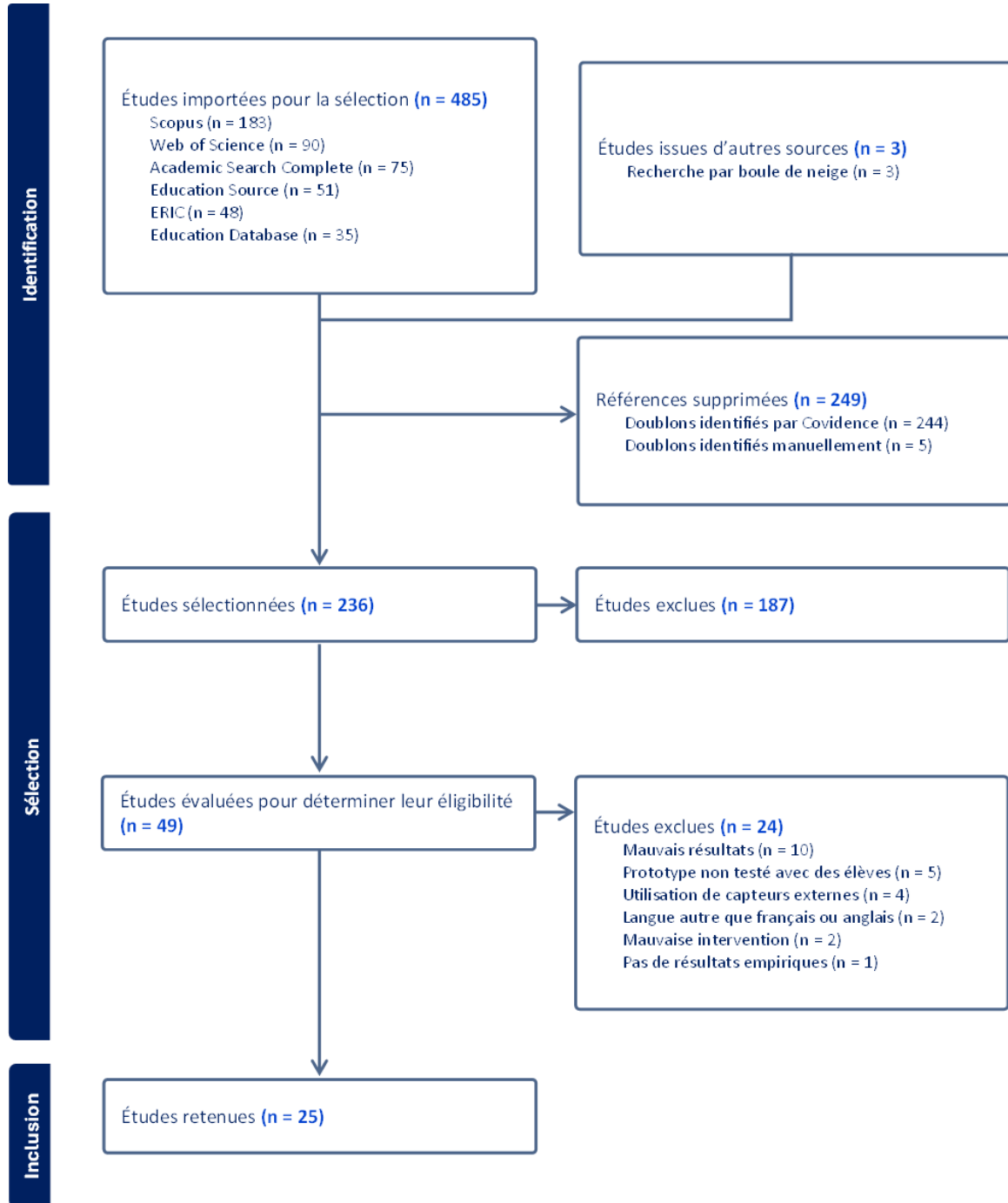
Cette perspective didactique peut être précisée par l'approche instrumentale qui permet d'analyser comment un capteur intégré, d'abord utilisé comme artefact technique, devient un instrument d'apprentissage dans l'activité de l'élève. Selon l'approche instrumentale (Rabardel, 1995), un artefact devient instrument à travers un processus de genèse instrumentale articulant instrumentation et instrumentalisation. L'instrumentation renvoie aux transformations de l'activité de la personne apprenante sous l'effet de l'artefact, plus précisément à la médiation épistémique du savoir (de l'instrument vers la personne apprenante) — dans laquelle l'outil structure l'accès au phénomène et sa représentation — et à la médiation pragmatique (de la personne apprenante vers l'instrument) — qui concerne les actions rendues possibles par l'instrument (ex. : lancer une acquisition de mesures, etc.). Les différentes formes de mobilisation des capteurs peuvent ainsi être comprises comme des configurations distinctes de médiation épistémique et pragmatique, influençant différemment la transposition didactique. Pour sa part, l'instrumentalisation renvoie aux transformations de l'artefact par la personne apprenante, qui s'approprie l'outil (Trouche, 2005), et par la personne enseignante, qui médiatise la tâche à travers l'outil (Rézeau, 2001) (ex. : choix des applications, paramétrage, planification de la tâche, etc.). Ces deux processus, l'instrumentation et l'instrumentalisation, participent à la transposition didactique et permettent de décrire des usages didactiques du numérique en articulant l'intention didactique de la personne enseignante et l'appropriation du savoir par l'entremise de l'instrument.

Cette articulation gagne alors à être située dans le cadre plus large de la transposition didactique. Dans la transposition didactique (Chevallard, 1985), un savoir issu des pratiques scientifiques est transformé pour devenir un savoir à enseigner, puis un savoir effectivement enseigné et appris (Thouin et Abou Halloun, 2023). L'introduction d'un instrument de mesure peut contribuer à reconfigurer cette transposition en modifiant les conditions de médiation épistémique du savoir et de médiation pragmatique, notamment la nature des données produites, les registres de représentation mobilisés, la place accordée à la mesure, etc. La transposition didactique ne concerne alors plus seulement la sélection

des contenus, mais également l'organisation des opérations épistémiques rendues possibles ou masquées par l'artefact. La mobilisation d'un capteur peut ainsi relever d'une simple substitution instrumentale ou entraîner une reconfiguration plus profonde des conditions de construction et de validation du savoir.

Méthodologie

À notre connaissance, aucune synthèse n'a été conduite à ce jour sur l'intégration didactique de capteurs intégrés de technologies mobiles dans l'enseignement des STIM. Nous avons donc choisi de mener une revue de la portée afin d'analyser les formes de mobilisation didactique et les conditions de médiation associées à leur intégration. Pour produire une synthèse des connaissances sur un tel sujet, nous avons suivi les lignes directrices du PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) formulées par Moher et al. (2009) et actualisées par Page et al. (2021). Le choix de structurer notre revue selon les exigences du PRISMA permet d'assurer une démarche rigoureuse, reproductible et limitant les biais de sélection. Ainsi, conformément à PRISMA, notre revue s'est déroulée en trois phases successives — l'identification, la sélection et l'inclusion — explicitée à la Figure 1.

Figure 1.*Diagramme PRISMA*

En ce qui a trait à la première étape (identification), nous avons commencé par formuler la question de recherche suivante : *Comment les capteurs intégrés aux technologies mobiles sont-ils mobilisés dans l'enseignement et l'apprentissage des STIM ?* Nous avons exploré six bases de données en nous limitant aux articles revus par les pairs, publiés en français ou en anglais entre 2014 et 2025. Ces bases de données sont *Scopus*, *Web of Science*, *Academic Search Complete*, *Education Source*, *ERIC* et *Education Database*. La période 2014-2025 a été retenue afin de couvrir les dix dernières années de publications, en cohérence avec l'objectif d'établir un portrait actuel des mobilisations en contexte scolaire.

La syntaxe de recherche a combiné différents mots-clés afin de croiser les concepts de téléphones et technologies mobiles, de capteurs, de STIM et d'enseignement-apprentissage en contexte scolaire (en anglais et en français). Le Tableau 1 présente les mots-clés recherchés et la chaîne de recherche. Les opérateurs de recherche ont été ajustés pour chaque base de données selon leurs spécificités.

Tableau 1.

Mots-clés recherchés et chaîne de recherche

Sujet 1 (S1)	Telephon* OR phone* OR smartphone* OR "mobile device*" OR iphone* OR "Handheld Device*" OR cellphone*
Sujet 2 (S2)	capteur* OR senseur* OR sensor* OR accelerome* OR gyroscope* OR magnetome* OR microphone OR barome*
Sujet 3 (S3)	(Science* OR STEM OR math* OR physic* OR chemist* OR technolog* OR engineer* OR motion OR acceleration OR kinematic* OR velocit* OR acousti* OR optic OR geolog* OR magnetism OR pressure OR spectroscop*
Sujet 4 (S4)	learn* OR pedago* OR appren* OR didacti* OR educa* OR teach* OR instruct* OR stud* OR "conceptual understanding" OR knowledge* OR experiment*
Sujet 5 (S5)	((high OR upper OR lower OR second* OR intermediate OR middle OR elementa* OR prima*) NEAR/1 school*) OR undergraduat* OR college OR "higher education" OR universit* OR classroom*
Chaîne de recherche	S1 AND S2 AND (S3 NEAR/5 S4) AND S5

Cette recherche a permis d'identifier 485 articles : 183 dans *Scopus*, 90 dans *Web of Science*, 75 dans *Academic Search Complete*, 51 dans *Education Source*, 48 dans *ERIC* et 35 dans *Education Database*. Covidence, un logiciel collaboratif permettant la sélection des références en interjuges, a permis d'éliminer 244 doublons et nous avons retiré manuellement 5 doublons supplémentaires, laissant 236 articles pour l'étape du tri. Par la suite, trois articles supplémentaires ont été ajoutés au corpus par repérage manuel à partir des références des études retenues.

L'étape du tri (sélection) a été réalisée en double aveugle par deux auxiliaires de recherche, puis un chercheur a tranché en cas de désaccord. Notre recherche s'est limitée aux capteurs internes des technologies mobiles, c'est-à-dire ceux qui sont intégrés par défaut dans la majorité des appareils (accéléromètre, gyroscope, magnétomètre, capteur de luminosité ambiante, microphone et caméra). Certains capteurs, comme le baromètre ou le capteur LiDAR (Light Detection and Ranging), bien qu'étant spécifiques à certains modèles, ont été inclus bien qu'ils ne se retrouvent pas dans toutes les technologies mobiles. Pour effectuer le tri, nous avons appliqué des critères d'inclusion préétablis. Ont été inclus les articles qui :

- Concernent des personnes apprenantes ou des personnes enseignantes (du primaire à l'université) ;
- Présentent des résultats d'une expérimentation en STIM ;
- Décritent une mise à l'essai (et non seulement un prototype) ;
- Mobilisent des capteurs internes à la technologie mobile ;
- Présentent des résultats empiriques sur l'apprentissage ou l'enseignement.

Les 236 articles ont d'abord été examinés sur la base du titre et du résumé. À cette étape, 187 articles ont été exclus, principalement parce qu'ils ne répondaient pas aux critères d'inclusion. Ainsi, 49 articles ont été retenus pour une lecture complète. De ce nombre, 24 articles ont été exclus pour les raisons suivantes :

- 10 ne portaient pas sur l'apprentissage ou l'enseignement ;
- 5 présentaient une expérimentation non testée avec des personnes apprenantes ;
- 4 utilisaient des capteurs externes ;
- 2 étaient rédigés dans une langue autre que le français ou l'anglais ;

- 2 articles ont été exclus parce qu'ils n'impliquaient pas d'expérimentation en STIM (ex. : prendre en photo le tableau avec la caméra) ;
- 1 ne présentait pas de résultats empiriques.

Ainsi, 25 articles ont finalement été retenus pour le codage des données, réalisé par un étudiant avec validation par un chercheur. Pour chaque article, une analyse de contenu thématique mixte a été menée sur les sections traitant des résultats et de la discussion (Paillé et Mucchielli, 2021). Elle reposait sur des thèmes issus de la perspective didactique de notre cadre théorique tout en laissant place à l'émergence de nouveaux codes en cours d'analyse.

Les études ont été menées en Europe (13/25), en Asie (8/25) — principalement à Taiwan (5/25) parfois par les mêmes personnes autrices — et en Amérique du Nord (4/25). Les articles décrivent des mises à l'essai auprès de personnes apprenantes du primaire (n=5), secondaire (n=11) et universitaire (n=12), incluant parfois des mises à l'essai interordre. Les protocoles relèvent de démarches variées (recherche de développement, expérimentale, quasi-expérimentale, recherche-intervention, etc.). Des articles ne spécifient pas le type de recherche, mais décrivent la méthode et les outils de collecte. Les études utilisent des pré-tests et post-tests, des questionnaires, des sondages, des observations et des entrevues, ainsi que des rapports de laboratoire, des examens, des discussions de groupe, des commentaires de personnes enseignantes, des devoirs et exercices. Les disciplines STIM concernées sont majoritairement les sciences, particulièrement la physique. Deux études portent sur les mathématiques, une sur l'ingénierie, aucune sur la technologie comme objet d'étude, les technologies mobiles étant utilisées comme outil d'expérimentation.

Présentation des résultats

La présentation des résultats est divisée en trois sections : 1) portrait général des articles recensés, 2) typologie des usages didactiques des capteurs intégrés des technologies mobiles, et 3) résultats associés à chaque usage.

Portrait général des articles recensés

Pour les 25 articles retenus, le Tableau 2 présente la référence et le lieu de l'étude, le type de recherche, l'ordre d'enseignement, les disciplines STIM concernées, les capteurs utilisés et décrit la mobilisation (contexte, intention et activité).

Tableau 2.*Portrait général de la mobilisation des capteurs intégrés aux technologies mobiles dans l'enseignement et l'apprentissage des STI*

Personnes autrices	Type de recherche/Outil(s) de collecte de données	Ordre d'enseignement	Discipline(s) STIM	Capteur(s) intégré(s)	Contexte et modalités	Intention didactique ou pédagogique	Type d'activité proposée
[1] Bursztyn et al., 2017/États-Unis	Recherche et développement/sondage (démographique), sondage (intérêt), questionnaire sur la géoscience	Universitaire	Sciences (géosciences)	Accéléromètre, gyroscope, GPS	À l'extérieur (terrain de l'université)	Améliorer l'expérience d'apprentissage	Excursions en réalité augmentée sur le grand canyon
[2] Carter et Kilb, 2022/États-Unis	Expérimentale qualitative/observation	Universitaire	Sciences (géophysique)	Accéléromètre	À l'extérieur (endroits variés)	Améliorer la compréhension à long terme, instiller la curiosité scientifique et l'esprit d'équipe	Prise de mesure collective de la vitesse des ondes sismiques
[3] De Luca et al., 2020/Italie	Expérimentale et théorique/entrevue, pré-test, post-test	Universitaire	Sciences (physique mécanique), mathématique	Microphone, caméra	En classe	Améliorer la compréhension des séries convergentes infinies et ses applications sur des problèmes physiques réels	Prise de mesure du phénomène de rebond pour la comparaison des séries théoriques et réelles
[4] Hochberg et al., 2018/Allemagne	Quasi-expérimentale à mesures répétées/pré-test, post-test	Secondaire	Sciences (Physique mécanique)	Accéléromètre	En classe	Étudier l'impact de l'utilisation de la technologie mobile sur la compréhension,	Prise de mesure d'un phénomène physique (pendule)

							l'intérêt et la motivation
[5] Hoshino et al., 2019/Japon	Recherche et développement/Pré-test, post-test	Secondaire et universitaire	Sciences (Physique mécanique)	Accéléromètre, capteur distance par caméra	En classe	Développer une compréhension plus intuitive	Prise de mesure d'un objet en mouvement sur un plan incliné
[6] Hwang et al., 2021/Taiwan	Recherche et développement/pré-test, post-test, questionnaires, entrevues	Primaire	Mathématique	Caméra, gyroscope	En classe	Améliorer le développement cognitif et la motivation par l'étude de problèmes réels	Mesurer des angles dans l'environnement immédiat
[7] Juskaite et al., 2019/Lettonie	Quantitative/sondage, observation, discussions de groupe, questionnaires	Secondaire	Sciences (physique)	Plusieurs capteurs (non spécifiques)	Plusieurs contextes et modalités (non spécifiques)	Étudier les impacts de l'usage des technologies mobiles	Interventions variées
[8] Kaps et al., 2021/Allemagne	Non spécifié/exercices, rapports de laboratoire	Universitaire	Sciences (physique mécanique)	Gyroscope, accéléromètre	À distance (à la maison)	Améliorer la compréhension et renforcer le lien théorie-expérience	Prise de mesure d'un phénomène physique (pendule)
[9] Kim et al., 2015/États-Unis	Recherche-intervention/observation, commentaires des personnes enseignantes, devoirs	Primaire	Sciences, Ingénierie	Caméra, gyroscope	En classe	Améliorer la créativité des élèves et leur attitude face à l'apprentissage des sciences	Résolution de problème complexe (mesure de la vitesse, état d'équilibre, maximiser le l'énergie cinétique) par l'entremise d'une démarche technologique (prototypage)

[10] Luo, 2023/Chine	Non spécifié/questionnaire, rapports de laboratoire	Collège	Sciences (physique mécanique et optique)	GPS, accéléromètre, luxmètre, gyroscope	À distance (contexte de pandémie)	Rendre possible la réalisation d'expériences scientifiques	Prise de mesure de divers phénomènes physiques (pendule, moment d'inertie, ondes, loi de Malus)
[11] Ma'ruf et al., 2024/Indonésie	Recherche et développement/observation, questionnaire, test de littératie	Universitaire	Sciences (physique mécanique)	Microphone, accéléromètre	En classe	Développer des laboratoires basés sur le « virtual android observatory » pour améliorer la littératie numérique des futurs personnes enseignantes de physique	Prise de mesure de divers phénomènes physiques (gravité, chute libre, effet Doppler)
[12] Martin-Ramos et al., 2017/Portugal	Non spécifié/observation, discussion, sondage	Secondaire et universitaire	Sciences (physique mécanique)	Caméra	En classe	Permettre aux élèves d'utiliser la technologie mobile et améliorer la logique	Capture et analyse d'images présentant la trajectoire d'un objet
[13] Mathevet et al., 2022/France	Non spécifié/sondage, discussion	Universitaire	Sciences (physique mécanique)	Accéléromètre	À distance (contexte de pandémie)	Comprendre le modèle théoriques et ses imperfections	Prise de mesure d'un phénomène physique (pendule)
[14] Mazzella et Testa, 2016/Italie	Non spécifié/pré-test, post-test, questionnaires	Secondaire	Sciences (physique mécanique)	Accéléromètre	En classe	Étudier l'impact de l'utilisation de la technologie mobile sur la compréhension	Prise de mesure d'un phénomène physique (pendule et plan incliné) par l'entremise d'un cycle prédire-observer-expliciter

						du concept d'accélération	
[15] Munoz-Guijosa et al., 2019/Espagne	Non spécifié/sondage (quantitatif et qualitatif)	Universitaire	Ingénierie	Microphone	Non spécifié	Améliorer l'engagement	Prise de mesure d'un phénomène acoustique
[16] Organtini et al., 2022/Italie	Non spécifié/questionnaires, sondage	Universitaire	Sciences (physique mécanique)	Accéléromètre, gyroscope	À distance (contexte de pandémie)	Donner plus d'espace aux étudiants afin qu'ils puissent prendre davantage de décisions	Prise de mesure d'un phénomène physique (pendule)
[17] Pirinen et al., 2024/Finlande	Non spécifié/questionnaires	Universitaire	Sciences (physique ondulatoire)	Accéléromètre	À distance (à la maison)	Développer une compréhension intuitive de la transformée de Fourier et comprendre ses applications réelles	Prise de mesure des vibrations d'objets quotidiens dans le but d'étudier la transformée de Fourier en contexte authentique
[18] Purba et Hwang, 2017/Taiwan	Recherche et développement/pré-test, post-test, questionnaires, entrevues	Secondaire	Sciences (physique mécanique)	Accéléromètre	En classe	Améliorer la compréhension du pendule simple	Prise de mesure d'un phénomène physique (pendule)
[19] Purba et al., 2019/Taiwan	Recherche et développement/pré-test, post-test, questionnaires, entrevues, examens	Secondaire	Sciences (physique mécanique)	Accéléromètre	En classe et à l'extérieur	Favoriser une compréhension de la physique plus efficace et efficiente	Prise de mesure d'un plan incliné idéal (en laboratoire) et réel (pente sur le terrain de l'école)
[20] Tarng et al., 2016/Taiwan	Recherche et développement/pré-test, post-test, questionnaires, entrevues, examens	Primaire	Sciences (astronomie)	Accéléromètre, GPS, magnétomètre	En classe	Améliorer l'attention et la compréhension à long terme	Observation des phases lunaires au travers de l'écran d'une tablette

[21] Tarng et al., 2018/Taiwan	Recherche et développement/pré-test, post-test, questionnaires, entrevues, examens	Primaire	Sciences (astronomie)	Accéléromètre, GPS, magnétomètre	En classe	Permettre à l'élève d'apprendre par la pratique	Observation de la trajectoire du soleil au travers de l'écran d'une tablette
[22] Tsoukos et al., 2021/Grèce	Expérimentale quantitative/rapports de laboratoire, examens	Secondaire	Sciences (physique mécanique)	Accéléromètre, gyroscope	En classe	Étudier la capacité des élèves à utiliser le téléphone pour effectuer des laboratoires	Prise de mesure d'un phénomène physique (plan incliné)
[23] Tzamalīs et al., 2021/Grèce	Recherche et développement/rapports de laboratoire, questionnaires	Secondaire	Sciences (physique mécanique et ondulatoire)	Microphone	À distance (contexte de pandémie)	Rendre possible la réalisation d'expériences scientifiques	Prise de mesure de phénomènes physiques (chute libre, fréquence, vitesse du son)
[24] Vieyra et al., 2020/États-Unis	Non spécifié/observations	Tous les ordres	Sciences (physique)	Accéléromètre, microphone, luxmètre, magnétomètre, capteur distance par caméra, baromètre	Contextes variés	Améliorer l'attitude face à l'apprentissage des sciences et renforcer la motivation	Réalisation de diverses expériences ludiques sur la physique
[25] Kuhn et Vogt, 2015/Allemagne	Quasi-expérimentale à mesures répétées/pré-test, post-test, examen	Secondaire	Sciences (physique ondulatoire)	Microphone	En classe	Améliorer la compréhension et la motivation des élèves grâce au caractère authentique de la technologie mobile	Prise de mesure d'un signal sonore afin d'en étudier la fréquence, le type, la vitesse et la propagation organisé sous forme de stations

Caractéristiques de la mobilisation des capteurs intégrés

Les capteurs mobilisés et leurs occurrences sont : accéléromètre (n=17), gyroscope (n=7), GPS (n=4), luxmètre (n=2), magnétomètre (n=3), baromètre (n=1), microphone (n=6), capteur de distance par caméra (n=2), caméra (n=4), une étude utilisant divers capteurs. Les applications mobiles utilisées et leurs occurrences sont les suivantes : *Phyphox* (n=6), *Sparkvue* (n=3), *Ubiquitous-Physics* (n=2), et plusieurs autres applications, chacune utilisée une seule fois. Elles présentent des fonctionnalités variées (acquisition de données en temps réel, analyse graphique, capture vidéo, etc.). Les contextes sont variés : en classe (n=14), à l'extérieur (n=3), à distance (n=6), notamment en contexte pandémique ou en devoir. Deux études portent sur des contextes variés, une ne précise pas le contexte.

Les intentions des personnes autrices des articles recensés se regroupent en deux catégories. Les intentions didactiques visent l'amélioration de la compréhension des concepts scientifiques, le lien théorie–expérimentation, la compréhension intuitive en contexte authentique, le développement de capacités d'analyse, de la littératie numérique, du jugement critique, et la prise en compte de la précision et des limites des données, ainsi que la possibilité d'expériences en contexte pandémique. Les intentions pédagogiques concernent la motivation, l'intérêt et l'engagement des élèves, le développement de la logique et de la créativité, des attitudes positives face aux sciences, ainsi que le soutien à l'autonomie, à l'attention et au travail d'équipe. Les activités recensées portent surtout sur la prise de mesures de phénomènes physiques à l'aide de technologies mobiles : étude du mouvement, des ondes et des vibrations, de la gravité, du moment d'inertie, de la loi de Malus, des mesures d'angles, de la captation vidéo et de l'analyse cinématique, en laboratoire ou en contexte réel, individuellement ou collectivement. Un second type d'activités comprend des observations médiatisées par dispositifs numériques (phénomènes astronomiques, réalité augmentée) et des démarches expérimentales structurées incluant des cycles prédire–observer–expliquer, résolution de problèmes par prototypage, mesures collectives et stations expérimentales.

Typologie des usages didactiques des capteurs intégrés

Notre analyse visait à dépasser une description purement instrumentale des dispositifs pour dégager des usages didactiques, entendus comme des manières récurrentes de mobiliser les capteurs au regard des intentions d'enseignement et des conditions de médiation par lesquelles le savoir scientifique en STIM devient accessible, manipulable et interprétable pour la personne apprenante via l'instrument. La distinction entre les usages a été établie à partir de la fonction didactique attribuée aux capteurs dans les articles analysés. Nous n'avons donc pas seulement considéré le type de capteur, l'application utilisée ou le

phénomène étudié, mais surtout la manière dont le dispositif contribue à l'activité d'enseignement et d'apprentissage, notamment lorsqu'il soutient l'accès à un phénomène, la production de données, leur représentation, leur interprétation ou la construction d'un savoir disciplinaire. Notre analyse a ainsi conduit à l'élaboration d'une typologie des usages didactiques des capteurs intégrés, structurée autour de quatre catégories : levier à la prise de mesure (n=7), levier à la conceptualisation et à l'apprentissage (n=9), levier à l'exploration (n=8) et levier à l'accès à l'expérimentation (n=7). Chaque article a été associé à l'usage ou aux usages auxquels correspondait le mieux sa mobilisation. Lorsqu'une étude mobilisait de manière significative deux usages, elle a été classée dans les deux catégories. Le classement des études est disponible dans le Tableau 3.

Tableau 3.*Regroupement des articles en fonction des usages didactiques identifiés*

Personnes autrices, année de publication	la prise de mesure	Levier à...		
		la conceptualisation	l'exploration	l'accès à l'expérimentation
[1] Bursztyn et al., 2017			X	X
[2] Carter et Kilb, 2022	X			X
[3] De Luca et al., 2020	X			
[4] Hochberg et al., 2018	X			
[5] Hoshino et al., 2019	X			
[6] Hwang et al., 2021		X	X	
[7] Juskaite et al., 2019		X		
[8] Kaps et al., 2021		X		
[9] Kim et al., 2015			X	
[10] Luo, 2023				X
[11] Ma'ruf et al., 2024		X		
[12] Martin-Ramos et al., 2017	X			
[13] Mathevet et al., 2022				X
[14] Mazzella et Testa, 2016		X		
[15] Munoz-Guijosa et al., 2019		X		
[16] Organtini et al., 2022		X		
[17] Pirinen et al., 2024		X	X	
[18] Purba et Hwang, 2017		X		
[19] Purba et al., 2019			X	
[20] Tarng et al., 2016			X	X
[21] Tarng et al., 2018			X	X
[22] Tsoukos et al., 2021	X			
[23] Tzamalīs et al., 2021				X
[24] Vieyra et al., 2020			X	
[25] Kuhn et Vogt, 2015	X			

Présentation des résultats associés à chaque usage

La section suivante présente, pour chaque usage, les principaux résultats rapportés dans les études, en privilégiant les effets didactiques liés à la médiation, à l'interprétation et à la construction du savoir.

Levier à la prise de mesure ($n = 7$ [2, 3, 4, 5, 12, 22, 25])

Cet usage regroupe les études dans lesquelles les instruments de mesure traditionnels sont remplacés par les capteurs des téléphones mobiles pour produire des mesures équivalentes à celles obtenues avec un instrument traditionnel sans qu'il n'y ait modification importante à la démarche d'investigation proposée à la personne apprenante. Les capteurs intégrés sont principalement mobilisés pour prendre des mesures physiques (ex. : accélération, angle, son), prendre des mesures collectives d'un même phénomène ou prendre en vidéo un phénomène à analyser sur l'application par la suite.

Les résultats indiquent une **charge cognitive** faible ou comparable avec celle observée avec des instruments de mesure traditionnels. Selon les personnes autrices, cela s'explique par un équilibre entre la simplification de la prise de mesure grâce au numérique et la complexification liée à l'usage d'un nouvel appareil technologique [4]. Les résultats indiquent des bénéfices au niveau des **habiletés de laboratoire**, notamment la compréhension de l'importance des quantités physiques [5]. Toutefois, même avec la technologie mobile, les élèves du secondaire tendent à mesurer les angles à la base du plan incliné — comme ils l'auraient fait avec un rapporteur d'angles — sans avoir le réflexe de prendre des mesures d'angles dans toutes les directions, ce qui est rendu possible par le téléphone mobile [22]. Par rapport à la **littératie numérique** liée à l'utilisation des technologies mobiles, une étude indique que les élèves n'éprouvent aucune difficulté [4] et un article indique que 70 % des élèves se sentaient confiants de pouvoir mener à bien l'expérience [5]. Un article [2] insiste sur le caractère hasardeux de la prise de mesure collective et mentionne que les personnes étudiantes ont des difficultés avec le système destiné à la mise en commun des données. Sur le plan de la **conceptualisation**, une étude souligne qu'aucune différence sur la capacité à interagir avec les représentations abstraites n'est dénotée [4], résultats que les personnes autrices attribuent aux représentations multiples lors de l'utilisation des technologies mobiles qui complexifient cette interaction. Une majorité d'élèves (70 %) a estimé mieux comprendre le sens des graphiques après l'expérimentation [5]. L'utilisation du téléphone mobile aiderait les élèves à comprendre les séries infinies en mathématique et en physique [3]. Des études démontrent que les **résultats académiques** des groupes expérimentaux augmentent avec l'utilisation des technologies mobiles [5] et [25], tandis qu'une étude indique qu'ils demeurent inchangés

[4], ce que les personnes autrices expliquent par le fait que le protocole était identique dans le groupe témoin et le groupe expérimental.

Levier à la conceptualisation et à l'apprentissage (n = 9 [6, 7, 8, 11, 14, 15, 16, 17, 18])

Cet usage regroupe les études où la technologie mobile permet de mieux conceptualiser en améliorant les passages entre l'abstrait et le concret, en renforçant le lien entre la théorie pratique et en soutenant l'interprétation graphique. Cet usage inclut les situations où la technologie mobile permet de visualiser un phénomène d'une nouvelle façon (ex. : réalité augmentée), renforce l'apprentissage actif et la littératie numérique.

Une étude affirme que la technologie mobile permet aux personnes apprenantes de développer les **habiletés de laboratoire** et de recherche en les amenant à travailler davantage comme des scientifiques [7]. Une étude souligne que les personnes apprenantes sont en mesure d'inventer et de construire leur propre protocole de laboratoire en intégrant les capteurs intégrés du téléphone mobile [11]. Plusieurs études soutiennent que les technologies mobiles soutiennent la **conceptualisation** [6], [8], [14], [17], [18]. Des études soutiennent que l'augmentation de la compréhension peut être expliquée par le lien plus explicite entre la réalité et l'expérience rendu possible par les technologies mobiles [6], [8], [17]. La prise de mesure d'angles en situation authentique permettrait aux élèves de mieux visualiser le concept d'horizon et les angles en général grâce à l'imagination de lignes fictives en contexte réel [6]. Les élèves participant à une expérience de plan incliné avec la technologie mobile sont davantage capables de tracer des vecteurs d'accélération que ceux dans le groupe contrôle [14], ce que les personnes autrices expliquent par le fait que l'instrument de mesure est également l'objet sur lequel les mesures sont prises — c'est le téléphone qui mesure des données issues de sa propre descente sur le plan incliné. Il y aurait également une corrélation positive entre la capacité à interpréter des graphiques à la suite d'une expérimentation avec la technologie mobile et celle à appliquer des formules [18]. Chez les élèves ayant de faibles résultats scolaires, une étude rapporte de l'insécurité lorsque vient le temps de prendre des décisions au cours de l'expérimentation [16]. Des résultats indiquent que, en ce qui a trait à l'utilisation des technologies mobiles, environ le quart des élèves a une faible ou très faible **littératie numérique**, tandis que les trois quarts en ont une bonne ou une très bonne [11]. Une étude souligne que l'introduction du téléphone mobile pour prendre des mesures n'a pas entraîné d'enjeu par rapport à l'utilisation de la technologie et que les personnes apprenantes se sont concentrées sur l'interprétation des données [16]. Une autre étude souligne, quant à elle, que certaines équipes peinent à s'entendre sur l'interprétation des graphiques en raison de différences entre élèves plus ou moins à l'aise avec les graphiques et d'un manque d'expérience avec

le travail d'équipe [18]. Si certaines études observent une amélioration des **résultats académiques** [6], [15], [17], [18], d'autres n'observent aucune amélioration [14] et [16], bien qu'une compréhension des phénomènes étudiés plus approfondie et des conclusions mieux argumentées aient été remarquées [16]. Une étude observe également une diminution des résultats dans le groupe expérimental [8], la personne autrice rappelant toutefois que la tâche expérimentale était plus complexe que celle du groupe témoin comme les élèves devaient faire l'expérimentation à la maison en devoir.

Levier à l'exploration (n = 8 [1, 6, 9, 17, 19, 20, 21, 24])

Cet usage regroupe les articles où la technologie mobile est utilisée pour explorer l'environnement. Cela inclut les expériences avec la réalité augmentée pour explorer des environnements lointains ou encore les expériences où la prise de mesure se réalise en contexte authentique, autant à l'intérieur qu'à l'extérieur. L'usage regroupe également les activités d'apprentissage où est mise de l'avant la résolution de problèmes ouverts et complexes et la résolution de défis scientifiques.

Des études montrent que la technologie mobile soutient l'apprentissage en **situation authentique** avec la prise de mesure d'objets réels [6], [17], [19], [21]. Dans une étude, les personnes apprenantes étudient la transformée de Fourier en investiguant les vibrations d'objets réels [17]. Dans une autre, les élèves se déplacent dans la classe pour mesurer des angles d'objets réels à partir de la caméra de leur tablette [6], ce qui, selon les personnes autrices, favorise le développement des habiletés cognitives de haut niveau, bien que les personnes apprenantes éprouvent des difficultés à identifier des angles dans leur environnement. Une étude ajoute qu'après l'investigation d'un objet réel qui fait partie du quotidien, l'élève se remémore plus facilement l'apprentissage quand celui-ci entre de nouveau en contact avec l'objet [19]. Une étude soutient que l'apprentissage situé comme l'observation des astres en réalité augmentée donne du sens à l'astronomie [21]. Des études expliquent des impacts positifs sur la **conceptualisation** par le renforcement du lien entre la réalité et la théorie [6], [9], [17] et [19]. Quand les élèves réalisent que les conditions réelles sont imparfaites, ils utilisent leur jugement critique pour trouver une solution [19]. La conceptualisation serait également renforcée avec la comparaison de données diverses (ex. : la position du soleil pendant chaque saison) [21]. La présentation de défis scientifiques nécessitant une technologie mobile contribuerait à l'acquisition de concepts en physique, et ce même chez les jeunes enfants [24]. En matière de **littératie numérique**, les études montrent que les personnes apprenantes n'éprouvent généralement pas de difficulté à utiliser les technologies mobiles dans les contextes expérimentaux ciblés [9], y compris chez de jeunes enfants [24], sauf lorsque l'activité implique des exigences

conceptuelles spécifiques, comme la définition des angles à mesurer sur des objets réels [6]. Des études révèlent que les **résultats scolaires** ont augmenté de manière significative dans le groupe expérimental [6], [19], [20], [21], et des personnes autrices ajoutent que les apprentissages seront plus durables [20].

Levier à l'accès à l'expérimentation (n = 7 [1, 2, 10, 13, 20, 21, 23])

Cet usage regroupe les articles où la technologie mobile est utilisée pour surmonter une contrainte limitant les possibilités expérimentales comme la pandémie de COVID-19, les conditions météorologiques, la distance, les coûts ou les limitations matérielles.

Une amélioration des **habiletés de laboratoire** est perçue chez un peu plus du tiers des personnes étudiantes et l'utilisation de la technologie mobile encouragerait la prise de mesures répétées [10]. Concernant la **littératie numérique**, des études montrent que les élèves trouvent facile l'utilisation des technologies mobiles dans le cadre de leur expérimentation [20] et [23]. Une étude souligne également le caractère hasardeux de la prise de mesures collectives et précise que la mise en commun des données représente un défi pour les personnes étudiantes [2]. Par rapport aux **résultats scolaires**, une étude souligne que les personnes apprenantes ayant suivi un cours de physique à domicile en effectuant les expériences avec leurs téléphones mobiles ont tous réussi le cours [10].

Discussion

Cette revue de la portée visait à comprendre comment les capteurs intégrés aux technologies mobiles sont mobilisés dans l'enseignement et l'apprentissage des STIM. Les résultats ont permis de dégager quatre usages didactiques distincts, soit 1) levier à la prise de mesure, 2) levier à la conceptualisation et à l'apprentissage, 3) levier à l'exploration ainsi que 4) levier à l'accès à l'expérimentation. Interprétés à la lumière de l'approche instrumentale de Rabardel (1995), ces usages didactiques correspondent à des configurations distinctes de la genèse instrumentale articulant instrumentation et instrumentalisation. Ces usages appellent également à des reconfigurations variables de la transposition didactique.

Lorsque le capteur sert essentiellement à remplacer un instrument traditionnel sans reconfigurer la démarche d'investigation, cette mobilisation du capteur est un **levier à la prise de mesure**. L'expérience sur le pendule (Hochberg et al., 2018) et celle sur le plan incliné (Tsoukos et al., 2021) illustrent ce type d'usage didactique en ce sens où l'accéléromètre est utilisé pour prendre des mesures semblables à celles obtenues avec un

instrument de mesure traditionnel. En d'autres termes, les schèmes d'action associés à l'instrument traditionnel demeurent inchangés comme l'illustre l'exemple des élèves qui continuent de mesurer l'angle à la base du plan incliné malgré les possibilités offertes par le capteur (Tsoukos et al., 2021). Ces résultats montrent que l'artefact peut simplifier des opérations sans transformer les manières de faire. Avec cet usage, la transposition didactique apparaît peu transformée, l'outil modifiant les aspects techniques liés à la collecte de données sans reconfigurer la médiation épistémique associée à la construction et à la validation du savoir.

La mobilisation du capteur devient un **levier à la conceptualisation et à l'apprentissage** lorsqu'il y a reconfiguration de la médiation épistémique du savoir. Plusieurs études associent cet usage didactique à un renforcement des passages entre le concret et l'abstrait, notamment par la production et l'interprétation de représentations graphiques. L'expérience du plan incliné étudiée par Mazzella et Testa (2016) illustre cette situation en ce sens où le téléphone constitue à la fois l'objet en mouvement et l'instrument de mesure, ce qui rend plus immédiate la relation entre l'expérience vécue et les grandeurs physiques formalisées symboliquement. Au même titre, le fait de mesurer des angles dans l'environnement réel (Hwang et al., 2021) permet de rendre plus concrètes les notions géométriques. Ces situations montrent que l'intérêt didactique réside moins dans la précision de la mesure que dans la possibilité, offerte par la technologie mobile, d'aligner de façon cohérente le phénomène, les données et la représentation. Toutefois, ces situations reposent sur des conditions d'instrumentalisation particulières qui nécessitent davantage de guidage, particulièrement chez les personnes apprenantes qui ont des difficultés à interpréter les graphiques ou à prendre des décisions expérimentales. En d'autres termes, l'artefact ne garantit pas en soi la conceptualisation, mais ouvre de nouvelles possibilités de médiation épistémique.

Le **levier à l'exploration** met en évidence une reconfiguration du rapport au milieu. Dans ces situations, l'outil sert davantage à investiguer l'environnement ou des phénomènes du quotidien plutôt qu'à reproduire une expérience traditionnelle. L'étude des vibrations d'objets du quotidien — un appareil électroménager — pour comprendre la transformée de Fourier (Pirinen et al., 2024) ou l'observation de phénomènes astronomiques par réalité augmentée (Tarng et al., 2016, 2018) illustrent ce déplacement vers des situations authentiques caractérisées par la variabilité et l'imperfection des données. Cette mobilisation transforme ainsi le rapport au milieu en reconfigurant la médiation pragmatique dans la mesure où elle modifie les modes d'exploration et de validation des phénomènes. L'authenticité des situations d'apprentissage nécessite également un accompagnement des personnes apprenantes afin de soutenir le processus d'investigation.

Finalement, le **levier à l'accès à l'expérimentation** renvoie à des situations où les technologies mobiles permettent de surmonter des contraintes matérielles ou contextuelles. Les activités réalisées à domicile en contexte pandémique (Luo, 2023 ; Tzamalīs et al., 2021) illustrent une médiation pragmatique où les capteurs rendent possible la continuité de l'activité expérimentale en dehors du laboratoire scolaire. Toutefois, l'accès ne garantit pas la réussite des médiations, notamment lorsque la coordination des mesures ou la mise en commun des données devient difficile (Carter et Kilb, 2022).

Ainsi, nos résultats montrent que la mobilisation des capteurs intégrés reconfigure les conditions de la transposition didactique selon les usages observés. Ces résultats contribuent également à éclairer les réflexions actuelles sur la place des technologies mobiles à l'école. Au Québec, où le téléphone mobile est interdit en classe depuis la rentrée 2025, nos résultats invitent ainsi à distinguer l'usage personnel, souvent distrayant, du téléphone mobile de sa mobilisation dans une activité disciplinaire guidée en classe ou dans l'exploration de l'environnement par l'élève. Utilisées à des fins didactiques, ces technologies peuvent constituer des leviers pour soutenir un apprentissage qui ne serait pas possible par le seul recours aux sens humains, notamment lorsqu'elles rendent mesurables, visualisables et interprétables des phénomènes autrement difficiles d'accès.

Conclusion, limites et pistes pour la recherche

Cette revue de la portée montre que la mobilisation des capteurs intégrés aux technologies mobiles en STIM participe à des usages différenciés de médiation du savoir scientifique et à des reconfigurations plus ou moins marquées de la transposition didactique. Nos résultats permettent d'affiner l'usage de la prise de mesure mis en lumière par Ubben et al. (2023) en le distinguant d'autres formes de mobilisation didactique des capteurs intégrés : leur rôle dans la conceptualisation, l'exploration de phénomènes en contexte authentique et l'accès à l'expérimentation lorsque celle-ci est autrement difficile à réaliser.

La typologie proposée constitue l'apport principal de l'étude en distinguant des mobilisations relevant de la substitution instrumentale, de la reconfiguration de la médiation épistémique, du déplacement du rapport au milieu et de la transformation des conditions d'accès à l'expérimentation. Elle offre ainsi un cadre pour penser l'intégration des technologies mobiles comme un ensemble d'usages didactiques (levier à la prise de mesure, levier à la conceptualisation et à l'apprentissage, levier à l'exploration, levier à l'accès à l'expérimentation) plutôt qu'uniquement comme une innovation technologique.

Cette revue présente toutefois certaines limites. La sélection s'est limitée aux articles publiés dans six bases de données, ce qui ne permet pas de prétendre à l'exhaustivité. L'hétérogénéité des devis et la prédominance de recherches en physique, souvent aux niveaux secondaire et universitaire, restreignent la portée des résultats à l'ensemble des disciplines STIM.

Les travaux futurs pourraient examiner comment certaines dimensions pédagogiques contribuent à reconfigurer les usages didactiques des capteurs intégrés, notamment lors de l'investigation de phénomènes réels. Une attention particulière pourrait être accordée à l'âge des élèves, puisque les usages possibles, les formes d'accompagnement nécessaires et les effets sur l'apprentissage pourraient varier selon le niveau scolaire et le développement des capacités d'abstraction, d'interprétation des données et d'autonomie dans l'expérimentation. Il resterait à déterminer de quelle manière ces dimensions influencent la genèse instrumentale. Enfin, l'intégration croissante d'outils d'intelligence artificielle dans les environnements mobiles conduit à interroger la manière dont ces dispositifs reconfigurent la transposition didactique, à travers l'émergence d'une médiation algorithmique susceptible de transformer les médiations épistémiques et pragmatiques ainsi que les interactions entre élèves, personnel enseignant et milieu.

Références

- Bursztyn, N., Shelton, B., Walker, A. et Pederson, J. (2017). Increasing Undergraduate Interest to Learn Geoscience with GPS-based Augmented Reality Field Trips on Students' Own Smartphones. *GSA Today*, 27(6), 4–10. <https://doi.org/10.1130/GSATG304A.1>
- Carter, S. et Kilb, D. (2022). Flash mob science: From landmarks to love Hz. *EduQuakes*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.1785/0220210285>
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique : Du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage.
- De Luca, R., Di Mauro, M., Naddeo, A., Onorato, P. et Rosi, T. (2020). Achilles overtakes the turtle: experiments and theory addressing students' difficulties with infinite processes. *Physics Education*, 55(3), 035010. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab6eb3>
- Hasni, A., Belletête, V. et Potvin, P. (2018). *Les démarches d'investigation scientifique à l'école : un outil de réflexion sur les pratiques de classe. Un outil de réflexion sur les pratiques de classe*. Centre de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences (CREAS) et Chaire de recherche sur l'intérêt des jeunes à l'égard des sciences et de la technologie (CRIJEST). <http://hdl.handle.net/11143/20019>

- Hochberg, K., Kuhn, J. et Müller, A. (2018). Using Smartphones as Experimental Tools—Effects on Interest, Curiosity, and Learning in Physics Education. *Journal of Science Education and Technology*, 27(5), 385–403. <https://doi.org/10.1007/s10956-018-9731-7>
- Hoshino, T., Ota, Y., Tomaru, K., Hamamatsu, Y. et Komuro, T. (2019). New Functions and Evaluation for Learning Effects of Acceleration Experiment Support Software. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 9(1), 213–218. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.1.8021>
- Hwang, W.-Y., Hariyanti, U., Abdillah, Y. A. et Chen, H. S. L. (2021). Exploring effects of geometry learning in authentic contexts using ubiquitous geometry app. *Educational Technology & Society*, 24(3), 13–28. <https://www.jstor.org/stable/27032853>
- Juskaite, L., Ipatovs, A. et Kapenieks, A. (2019). Mobile technologies in physics education in Latvian secondary schools. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 7(1), 187–196. <https://doi.org/10.21533/pen.v7.i1.1478>
- Kaps, A., Splith, T. et Stallmach, F. (2021). Implementation of smartphone-based experimental exercises for physics courses at universities. *Physics Education*, 56(3), 035004. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abe424>
- Kim, P., Suh, E. et Song, D. (2015). Development of a design-based learning curriculum through design-based research for a technology-enabled science classroom. *Education Technology Research and Development*, 63, 575–602. <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9376-7>
- Kuhn, J. et Vogt, P. (2015). Smartphones & Co. in physics education: Effects of learning with new media experimental tools in acoustics. Dans W. Schnotz, A. Kauertz, et H. Ludwig (dir.), *Multidisciplinary research on teaching and learning* (p. 253–269). Palgrave Macmillan UK. https://link.springer.com/chapter/10.1057/9781137467744_14
- Luo, D.-B. (2023). Home experiments teaching for international students during pandemic. *Physics Education*, 58(1), 015019. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac9777>
- Ma'ruf, Sultan, A. D., Nurlina et Marisda, D.H. (2024). Development of basic physics practicum based on virtual Android observatory to facilitate students' ICT literacy abilities. *Journal of Science Learning*, 7(3), 267–273. <https://doi.org/10.17509/jsl.v7i3.66043>
- Martín-Ramos, P., Ramos Silva, M. et Pereira da Silva, P. S. (2017). Smartphones in the teaching of physics laws: Projectile motion. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20(2), 213–231. <https://doi.org/10.5944/ried.20.2.17663>
- Mathevet, R., Lamrani, N., Martin, L., Ferrand, P., Castro, J. P., Marchou, P. et Fabre, C. M. (2022). Quantitative analysis of a smartphone pendulum beyond linear

- approximation: A lockdown practical homework. *American Journal of Physics*, 90(5), 344–350. <https://doi.org/10.1119/10.0010073>
- Mazzella, A. et Testa, I. (2016). An investigation into the effectiveness of smartphone experiments on students' conceptual knowledge about acceleration. *Physics Education*, 51(5), 055010. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/51/5/055010>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. et PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Medecine*, 6(7), 1-6. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Munoz-Guijosa, J. M., Díaz Lantada, A., Echávarri, J., et Chacon, E. (2019). Using smartphones physical interfaces in engineering education: Experiences in promoting student motivation and learning. *International Journal of Engineering Education*, 35(5), 1290–1305. <https://oa.upm.es/63927/>
- Organtini, G., et Tufino, E. (2022). Effectiveness of a laboratory course with Arduino and smartphones. *Education Sciences*, 12(12), 898. <https://doi.org/10.3390/educsci12120898>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M. et Moher, D. (2021). Updating guidance for reporting systematic reviews: Development of the PRISMA 2020 statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003>
- Paillé, P. et Mucchielli, A. (2021). *L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales* (5e éd.) Armand Colin.
- Pirinen, P., Klein, P., Lahme, S. Z., Lehtinen, A., Rončević, L. et Susac, A. (2024). Exploring digital signal processing using an interactive Jupyter notebook and smartphone accelerometer data. *European Journal of Physics*, 45(1), 015802. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad0790>
- Purba, S. W. D. et Hwang, W.-Y. (2017). Investigation of learning behaviors and achievement of vocational high school students using an ubiquitous physics tablet PC app. *Journal of Science Education and Technology*, 26(3), 322–331. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9681-x>
- Purba, S. W. D., Hwang, W.-Y., Pao, S.-C. et Ma, Z.-H. (2019). Investigation of inquiry behaviors and learning achievement in authentic contexts with the ubiquitous-physics App. *Journal of Educational Technology & Society*, 22(4), 59–76. <https://www.jstor.org/stable/26910185>
- Québec. (2025). *Règlement sur les règles de conduite au primaire et au secondaire*. RLRQ, c. I-13.3, r. 10.01. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/I-13.3,%20r.%2010.01>

- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Colin.
- Rézeau, J. (2001). *Médiatisation et médiation pédagogique dans un environnement multimédia : Le cas de l'apprentissage de l'anglais en Histoire de l'art à l'université* [Thèse de doctorat, Université Victor Segalen-Bordeaux II].
- Rifandi, R. et Rahmi, Y. L. (2019, Octobre). STEM education to fulfil the 21st century demand: a literature review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1317(1), 012208. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1317/1/012208>
- Silva, M. J. (2023). A didactic model to support the use of senses and sensors in environmental education problem solving. *Australian Journal of Environmental Education*, 39(1), 108-124. <https://doi.org/10.1017/ae.2022.22>
- Tarng, W., Lin, Y.-S., Lin, C.-P. et Ou, K.-L. (2016). Development of a lunar-phase observation system based on augmented reality and mobile learning technologies. *Mobile Information Systems*, 2016, 8352791. <https://doi.org/10.1155/2016/8352791>
- Tarng, W., Ou, K.-L., Lu, Y.-C., Shih, Y.-S. et Liou, H.-H. (2018). A Sun Path Observation System Based on Augment Reality and Mobile Learning. *Mobile Information Systems*, 2018, 5950732. <https://doi.org/10.1155/2018/5950732>
- Thouin, M. et Abou Halloun, S. (2023). *Enseigner les sciences et les technologies au secondaire*. Éditions JFD.
- Trouche, L. (2005). Construction et conduite des instruments dans les apprentissages mathématiques : nécessité des orchestrations. *Recherches en didactique des mathématiques*, 25(1), 91–138. <https://revue-rdm.com/2005/construction-et-conduite-des-instruments-dans-les-apprentissages-mathematiques-necessite-des-orchestrations/>
- Tsoukos, S., Lazos, P., Tzamalīs, P., Kateris, A. et Velentzas, A. (2021). How effectively can students' personal smartphones be used as tools in physics labs? *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 15(14), 62–71. <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i14.22375>
- Tzamalīs, P. G., Kateris, A., Lazos, P., Tsoukos, S. et Velentzas, A. (2021). An educational proposal for students' experimentation in a distance learning environment. *Physics Education*, 56(6), 065010. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac1a61>
- Ubben, M. S., Kremer, F. E., Heinicke, S., Marohn, A. et Heusler, S. (2023). Smartphone usage in science education: A systematic literature review. *Education Sciences*, 13(4), 345. <https://doi.org/10.3390/educsci13040345>
- Vieyra, R., Vieyra, C., Pendrill, A.-M. et Xu, B. (2020). Gamified physics challenges for teachers and the public. *Physics Education*, 55(4), 045014. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab8b4b>

Zhao, Y. (2025). Smartphone-based undergraduate physics labs: A comprehensive review of innovation, accessibility, and pedagogical impact. *arXiv*.
<https://arxiv.org/abs/2504.11363>