

Comment un organisme de médiation scientifique enseigne l'intelligence artificielle à des collégiens

Alexandre Lepage¹, Normand Roy¹, Margarida Romero²

7 mai 2023

¹ Université de Montréal, Canada

² Université Côte d'Azur, France

alexandre.lepage.2@umontreal.ca

Plan de présentation

01. Problématique

02. Cadre conceptuel
et méthode

03. Terrain de
recherche

04. Principaux
résultats

05. Conclusion



Le projet en dates

Novembre 2021 à mars 2022

Élaboration du projet de recherche.

Juillet 2022

Entretiens semi-dirigés avec des médiateurs scientifiques, une gestionnaire et une responsable de communication.

Mai à juin 2022

Observations *in situ* des activités de la Maison de l'intelligence artificielle.

À partir d'août 2022

Analyse des données.



1. Problématique

Développer une bonne littératie de l'IA est de plus en plus important et on ne connaît pas les pratiques enseignantes requises pour y arriver.

L'IA est importante, mais pas enseignée

- Les études s'intéressant à l'enseignement et l'apprentissage de l'IA se concentrent principalement sur l'organisation des contenus, avec **peu d'emphase sur les pratiques enseignantes** (Chiu & Chai, 2020).
- Dans le monde, **les intégrations formelles aux programmes scolaires sont rares** (Chiu & Chai, 2020).
- Aux États-Unis, l'association des enseignants de sciences informatiques (CSTA) et l'association pour l'avancement de l'intelligence artificielle (AAAI) ont lancé conjointement le programme AI4K12, soit *L'intelligence artificielle pour les élèves du primaire et du secondaire*
- Au Québec, la dimension 2 de la compétence numérique prévoit une familiarisation avec l'IA, mais **aucun enseignement systématique n'est prévu dans le PFEQ.**
- Selon l'UNESCO, « l'écart entre les genres dans la maîtrise des compétences numériques contribue à la faible proportion de femmes parmi les professionnels de l'IA et aggrave les inégalités existantes entre les genres » (UNESCO, 2019, p. 21).



2. Cadre conceptuel et méthode

Comment le modèle TPACK et la médiation scientifique peuvent aider à comprendre comment enseigner l'IA.

Le cadre de référence TPACK

Un modèle de Mishra et Koehler (2009) qui ajoute une dimension technologique au modèle de Schulman (1986), le PCK (*Pedagogical content knowledge*).

Plus qu'un modèle, c'est un **cadre de référence** pour mener des recherches qualitatives et quantitatives et guider les praticiens et praticiennes dans une démarche structurée d'appropriation du numérique (Angeli et al., 2016).

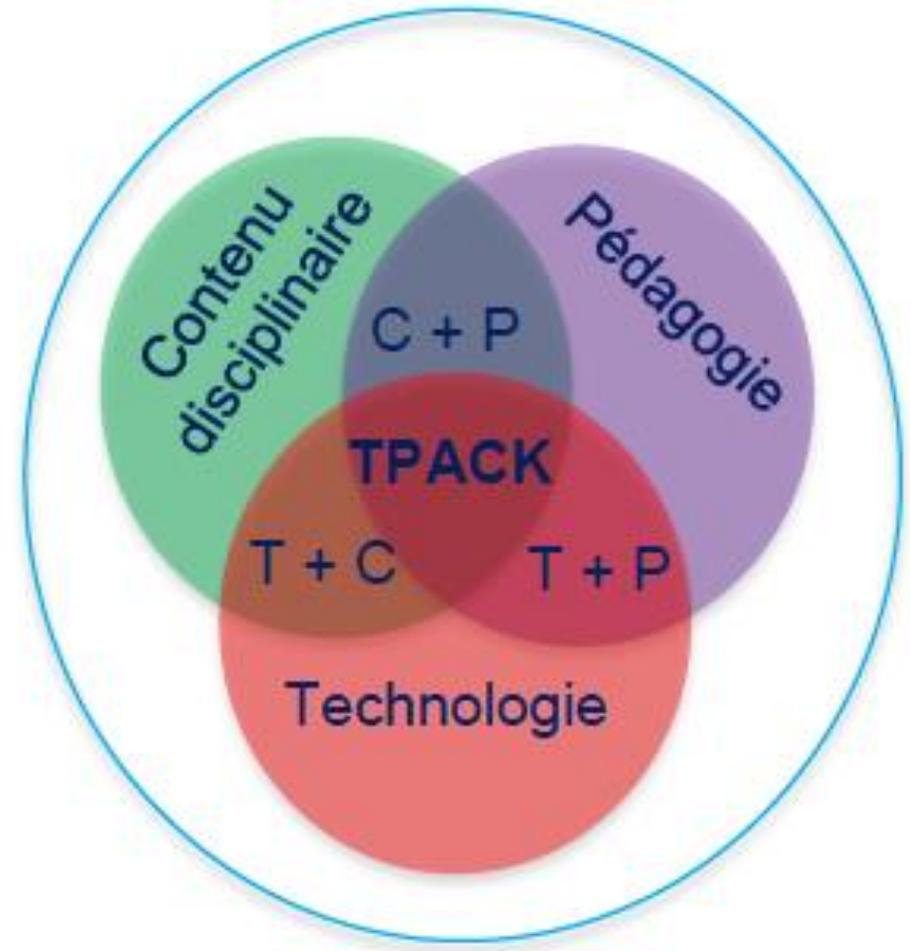


Figure 1. Le cadre conceptuel T-PACK. Figure de Plante (2016). 

Les connaissances TPACK pour enseigner l'IA (Kim et al., 2021)

TPACK	Compétences requises
PK	Faciliter l'apprentissage par projet Organiser les concepts et principes essentiels sous forme de jeux
PCK	Gestion de la classe et construction d'activités de résolution de problèmes sur les technologies d'IA et les enjeux sociaux
CK	Fondamentaux de l'IA (résolution de problèmes, inférence, apprentissage, reconnaissance) Informatique (programmation, algorithmes) Mathématiques appliquées (probabilité, statistiques, calcul différentiel et intégral) Éthique de l'IA
TK	Utilisation d'outils numériques et de logiciels éducatifs Environnement de programmation par blocs
TCK	Utiliser des applications éducatives en ligne pour l'apprentissage de l'IA
TPK	Donner de la rétroaction et encourager la révision par les pairs des projets d'IA partagé sur des plateformes éducatives en ligne

La médiation scientifique

À l'origine, une activité professionnelle de **partage entre experts et non experts**, passer « d'un savoir savant à un savoir accessible » (Cartellier, 2010, p. 3).

Depuis son apparition dans le référentiel des emplois-types en France en 1998, le métier de médiateur scientifique s'est spécialisé de telle sorte que de plus en plus de personnes qui le pratiquent ne proviennent pas du domaine des sciences, mais plutôt de la communication (Bergeron, 2016).



Littératie de l'IA

« Un ensemble de compétences qui permettent aux individus d'évaluer les technologies d'IA de façon critique, de communiquer et collaborer efficacement avec l'IA, et d'utiliser l'IA comme un outil en ligne, à la maison et au travail. » (Long et Magerko, 2020, p. 2)

Selon Touretsky et al. (2019), 5 grandes idées devraient être maîtrisées : la perception, la représentation, l'apprentissage, l'interaction et l'impact social.

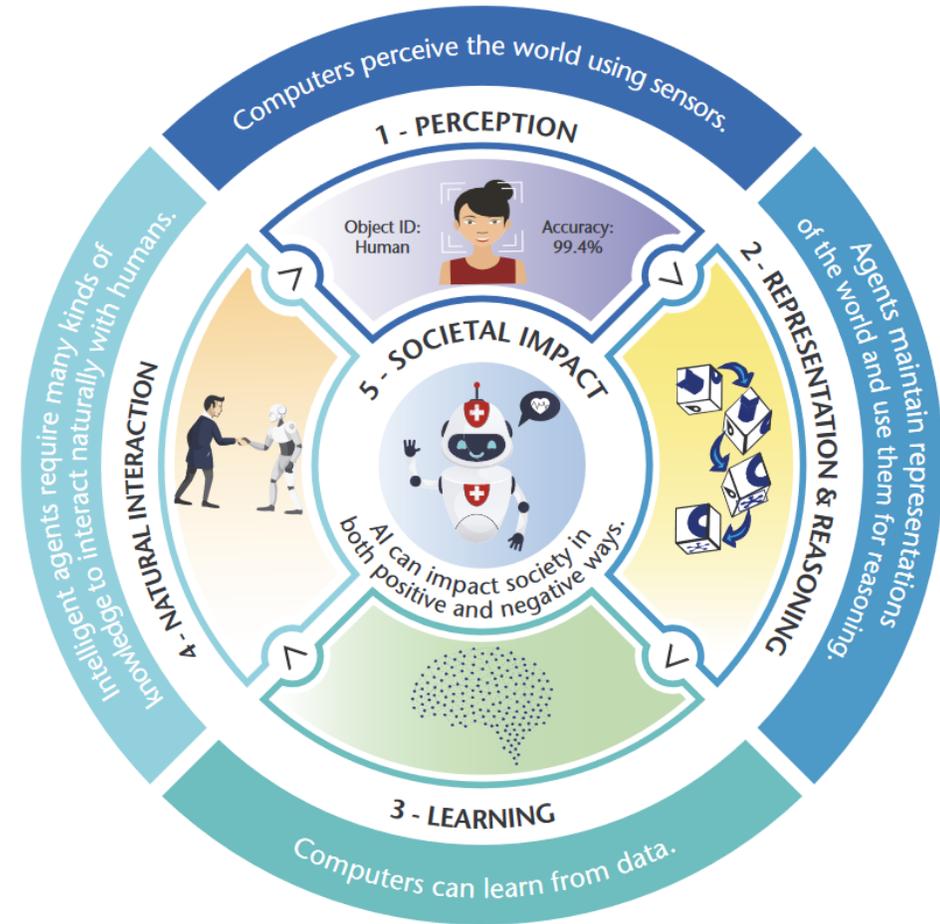


Figure issue du projet AI4K12, Touretsky et al. (2019)

Le curriculum AI4K12



Draft Big Idea 1 - Progression Chart

www.AI4K12.org

Big Idea #1: Perception	Computers perceive the world using sensors.				
	Concept	K-2	3-5	6-8	9-12
		Perception is the extraction of meaning from sensory information using knowledge.		The transformation from signal to meaning takes place in stages, with increasingly abstract features and higher level knowledge applied at each stage.	LO = Learning Objective: what students should be able to <u>do</u> . EU = Enduring Understanding: what students should <u>know</u> .
Sensing (Living Things) 1-A-i	LO: Identify human senses and sensory organs. EU: People experience the world through sight, hearing, touch, taste, and smell.	LO: Compare human and animal perception. EU: Some animals experience the world differently than people do. Unpacked: Bats and dolphins use sonar. Bees can see ultraviolet. Rats are have no color vision; dogs are red-green colorblind. Dogs and rats can hear higher frequencies than humans.	LO: Give examples of how humans combine information from multiple modalities. EU: People can exploit correlations between senses, such as sight and sound, to make sense of ambiguous signals. Unpacked: In a noisy environment, speech is more understandable when the speaker's mouth is visible. People learn the sounds associated with various actions (such as dropping an object) and can recognize when the sound doesn't match their expectation.	N/A -- for AI purposes, this topic has already been adequately addressed in the lower grade bands. <i>Other courses, such as biology or an elective on sensory psychology, could go into more detail about topics such as taste, smell, proprioception, and vestibular organs.</i> <i>Possible enrichment material: look at optical illusions (Muller-Lyer illusion, Kanizsa triangle) and ask which ones are computer vision systems also subject to.</i>	
Sensing (Computer Sensors) 1-A-ii	LO: Locate and identify sensors (camera, microphone) on computers, phones, robots, and other devices. EU: Computers "see" through video cameras and "hear" through microphones.	LO: Illustrate how computer sensing differs from human sensing. EU: Most computers have no sense of taste, smell, or touch, but they can sense some things that humans can't, such as infrared emissions, extremely low or high frequency sounds, or magnetism.	LO: Give examples of how intelligent agents combine information from multiple sensors. EU: Self driving cars combine computer vision with radar or lidar imaging, GPS measurement, and accelerometer data to form a detailed representation of the environment and their motion through it.	LO: Describe the limitations and advantages of various types of computer sensors. EU: Sensors are devices that measure physical phenomena such as light, sound, temperature, or pressure. Unpacked: Cameras have limited resolution, dynamic range, and spectral sensitivity. Microphones have limited sensitivity and frequency response. Signals may be degraded by noise, such as a microphone in a noisy environment. Some sensors can detect things that people cannot, such as infrared or ultraviolet imagery, or ultrasonic sounds.	
Sensing (Digital Encoding) 1-A-iii	N/A	LO: Explain how images are represented digitally in a computer. EU: Images are encoded as 2D arrays of pixels, where each pixel is a number indicating the brightness of that piece of the image, or an RGB value indicating the brightness of the red, green, and blue components of that piece.	LO: Explain how sounds are represented digitally in a computer. EU: Sounds are digitally encoded by sampling the waveform at discrete points (typically several thousand samples per second), yielding a series of numbers.	LO: Explain how radar, lidar, GPS, and accelerometer data are represented. EU: Radar and lidar do depth imaging: each pixel is a depth value. GPS triangulates position using satellite signals and gives a location as longitude and latitude. Accelerometers measure acceleration in 3 orthogonal dimensions. Unpacked: Radar and lidar measure distance as the time for a reflected signal to return to the transceiver. GPS determines position by triangulating precisely timed signals from three or more satellites. Accelerometers use orthogonally oriented strain gauges to measure acceleration in three dimensions.	

Question de recherche

Comment les pratiques d'un organisme faisant de la médiation scientifique au sujet de l'IA peuvent-elles inspirer l'enseignement de l'IA en contexte scolaire ?

Objectif 1. Documenter les pratiques de médiation scientifique de la Maison de l'intelligence artificielle

Objectif 2. Analyser le potentiel de transfert de ces pratiques vers le contexte scolaire





3. Terrain et méthode de recherche

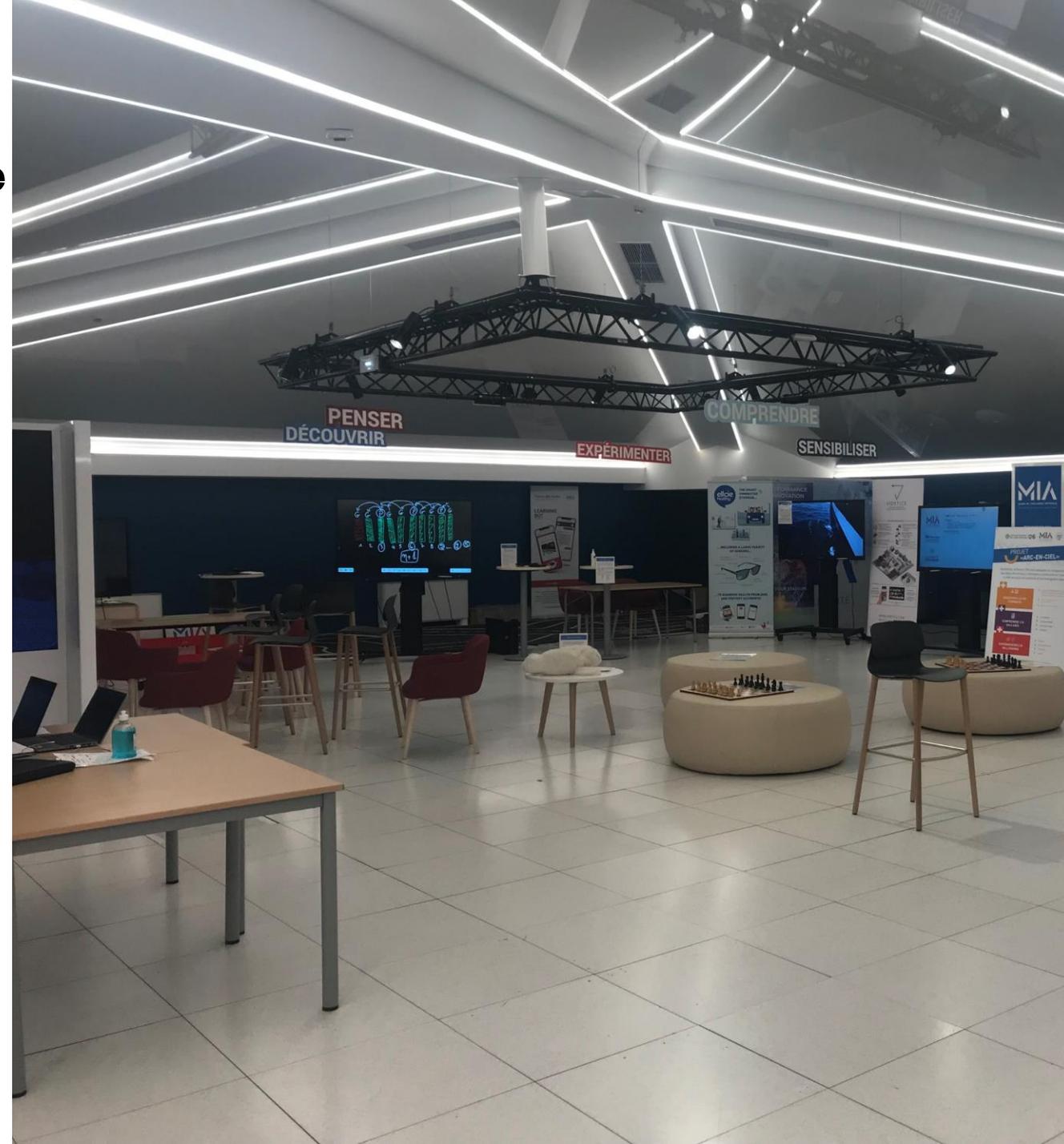
La Maison de l'intelligence artificielle à Sophia Antipolis.

La Maison de l'Intelligence artificielle



La Maison de l'Intelligence artificielle (MIA)

Une salle de formation, un espace d'exposition et un espace de travail collaboratif.



La Maison de l'intelligence artificielle

Mission générale : sensibiliser le grand public à l'IA, avec un projet spécifique pour les collégiens (11-15 ans) : le projet Arc-en-ciel.

Démonstrations, expérimentations, conférences et visites « hors les murs » dans les écoles.



Activités de la MIA



Un drone muni d'une caméra associé à un programme de reconnaissance faciale



Sensibilisation aux biais par l'utilisation de la *Moral Machine*



Une activité d'entraînement d'un algorithme à reconnaître un panneau de signalisation



Méthode

- 4 observations d'environ 2h (+ observations informelles)
- 6 entretiens semi-dirigés
- Analyse qualitative avec MaxQDA

Projet MIA – Métramétrie d'entretien
Participante : F14
Date de l'entretien : 2022-06-15
Durée : 55 minutes 56 secondes

Interviewer : Pour l'entretien on va aborder 3 thèmes qui sont ton profil professionnel, ensuite la didactique de l'intelligence artificielle, puis 3e ton rôle à la maison de l'intelligence artificielle. Il est possible que plus on avance plus on ait compris sur les thèmes qui s'en viennent, ce qui fait qu'à la fin quand on va arriver au rôle à la MIA, s'il y a des choses à ajuster on les ajuste, sinon tout aura été dit.

F14 : Est-ce que la plus me préciser ce que tu entends par didactique?

Interviewer : Didactique, c'est l'enseignement et l'apprentissage de l'IA, ce qui m'intéresse c'est de voir s'il y a des concepts en IA qui sont plus difficiles à comprendre que d'autres dans ce que tu as pu [observer](#) ou ce que vous faites ici. Est-ce qu'il y a des liens avec d'autres matières scolaires, donc ça va tourner autour de ça.

F14 : Parfait

Interviewer : Allons-y avec le 1er thème, je te lancez librement d'abord, on précisions ensuite. Quel est ton profil professionnel, qu'est-ce qui t'a mené à la MIA?

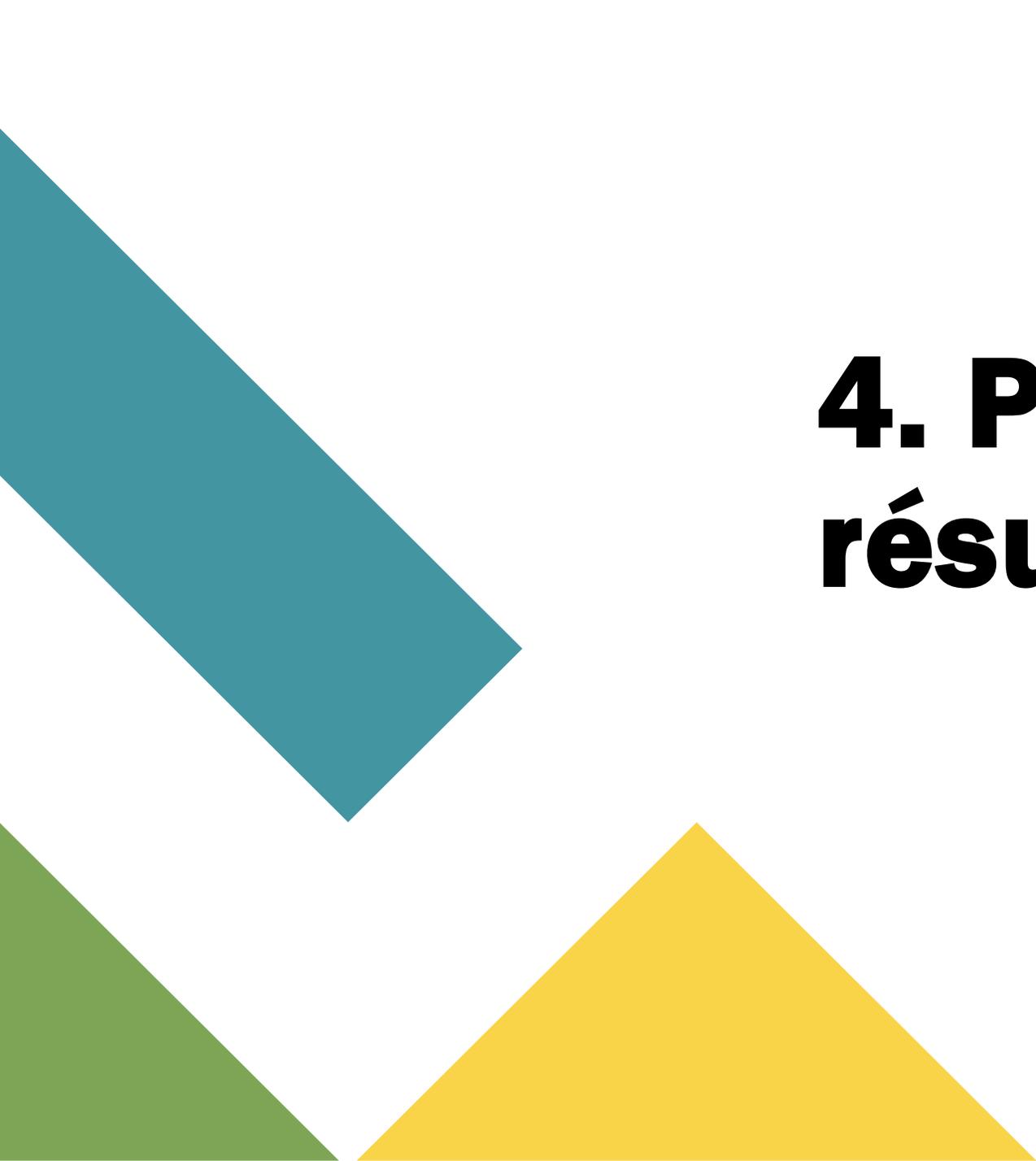
F14 : Ce qui m'a amené à la MIA, c'est que j'ai 55 ans, et je travaille depuis 1 an et demi, donc quand j'ai intégré la MIA je venais d'avoir 50 ans. Et pour moi, j'étais déjà venue de transmettre à ce moment que m'a tellement apporté en tant que femme, en tant qu'étudiante à l'université de [Lorraine](#) en tant que salariée de diverses entreprises, je m'étais avant bénéficié de l'accuseur social et d'être purement de la République. À 50 ans passé je voulais faire part de mon expérience professionnelle et de mon milieu professionnel à celles et ceux qui peuvent accéder au service public, c'est les citoyens et citoyennes. Pour le dire plus simplement, passer du monde de l'entreprise privée, qui j'apprends beaucoup, au monde du service public, pour mettre à disposition de l'état, de la nation, de la cause publique, mes connaissances et mes convictions que c'est en écoutant les citoyens et les citoyennes qu'on peut se ensemble construire une humanité meilleure. Et il me semblait que dans ce contexte, le concept de la MIA, ce les 3 mots complètent, c'est maison, un lieu physique qui dans l'imagerie collectif représente qu'on dans lequel on peut s'identifier, et qui peut être paradoxal avec l'IA qui est complètement purement artificielle, cette maison de l'IA telle que je comprenais le concept était pour moi la quintessence de tout ce que mon parcours professionnel et mes convictions personnelles pouvaient apporter. Pour être concrète, j'ai été formé par la recherche, je suis docteur en géophysique, en 1998, donc ça fait un moment, néanmoins mes chevilles au corps c'est de douter tout le temps, de toujours demander pourquoi, une fois qu'une chance semble acquise, de continuer à creuser à perfectionner, c'est [quel](#) qu'on m'intéresse depuis quasiment 30 ans. Et il me semblait que c'était l'objectif de la MIA de justement questionner, évaluer, à partir de cette démarche scientifique. Ensuite, mon parcours professionnel c'est aussi entrepreneuriale, puisque tout début de l'internet grand public j'ai cofondé une jeune entreprise innovante au début des années 2000, donc 20-30, tout début de l'internet grand public, et à ce moment-là en effet j'ai cette vision que c'est un formidable outil pour connecter les humains et que comme chaque outil, il y a un usage, et que cet usage doit être maîtrisé, donc à ce moment-là je crée une jeune entreprise innovante pour accompagner les organisations, publiques ou privées, dans leur transformation numérique. Et de dire que ce n'est possible mais en effet il faut le faire, comme tout, de manière professionnelle, structurée, et puis surtout adaptée au besoin. Ce background de chef d'entreprise, d'entrepreneuse, de jeune entreprise innovante, c'est aussi ce que j'ai pu retrouver à la MIA, pour moi j'ai bien dit que c'est une startup territoriale parce qu'on est un petit groupe. On est tout le temps à la fois au four et au moulin. Ça a été d'ailleurs de [quel](#) par exemple, tout en donnant de plus en plus professionnel au niveau de l'administration. Et par ailleurs ma carrière c'est aussi un très grand groupe international (BSI ne peut mentionner publiquement) en tant qu'architecte, donc là ça a consolidé ma proposition à structurer le raisonnement et à faire une architecture de référence à laquelle justement les parties prenantes puissent se référer. Ma spécialité, je suis centrée en la matière, c'est business [analyse](#) ça veut dire comment à chaque instant comprendre les compétences techniques et humaines, et les mettre en adéquation avec les besoins de l'entreprise, entreprises au sens large, pouvant être un service, une entreprise commerciale, pouvant être une organisation publique, et ça j'ai exercé ça pendant 14 ans au niveau européen et même international. Cette triple dimension, à la fois formée par la recherche, entrepreneuse de jeune entreprise innovante et architecte, c'est ce que j'ai souhaité mettre en

05-Grille d'observation des activités de médiation scientifique
 Demande éthique - Alexandre Lepage - Janvier 2022

Grille d'observation des activités de médiation scientifique

Cette grille sera remplie par le chercheur, par des observations, pour chaque activité observée. Aucun nom de participant ne figure ni aucune information permettant de les identifier. Les participants ne seront pas sollicités pour répondre à des questions pour ce type d'observation (c'est plutôt le rôle des entretiens courts). Comme le projet s'inscrit dans une démarche ethnographique, les observations seront réalisées par la participation du chercheur, le médiateur, aux activités, en tant que participant.

Informations techniques sur l'activité	
Coût (gratuit/payant) et modalités d'inscription :	Groupe de personnes âgées Gratuit, toutes les activités sont gratuites, inscription auprès de leur groupe qui a demandé une activité. Au cas que les personnes donnent une activité aux autres
Public cible (description) :	Personnes âgées
Public réel observé (description) :	30 personnes
Nombre de facilitateurs ou d'animateurs :	2
Nature de l'activité	
Déroulement de l'activité :	90 min au total, 20 minutes comme un atelier, ensuite groupe divisé en deux. Partie théorique sur l'IA, puis partie démonstrative dans le contexte . Avant la transition les échanges informels se poursuivent Plus d'échanges informels dans le contexte . Dans le contexte directement par station avec possiblement un objectif défini par station pour montrer la variété des applications possibles.
l'incursion proposée :	Parcours imposé aux participants, tous en groupe. Groupe scindé en deux groupes avec alternance entre Training room et le contexte
Contenu relatif à l'IA	
Concepts abordés (liste ou liste conceptuelle, etc.)	Scalier Sivilisation



4. Principaux résultats

Enseigner l'IA passe par une bonne connaissance des cas d'usage et une intégration à plusieurs disciplines.

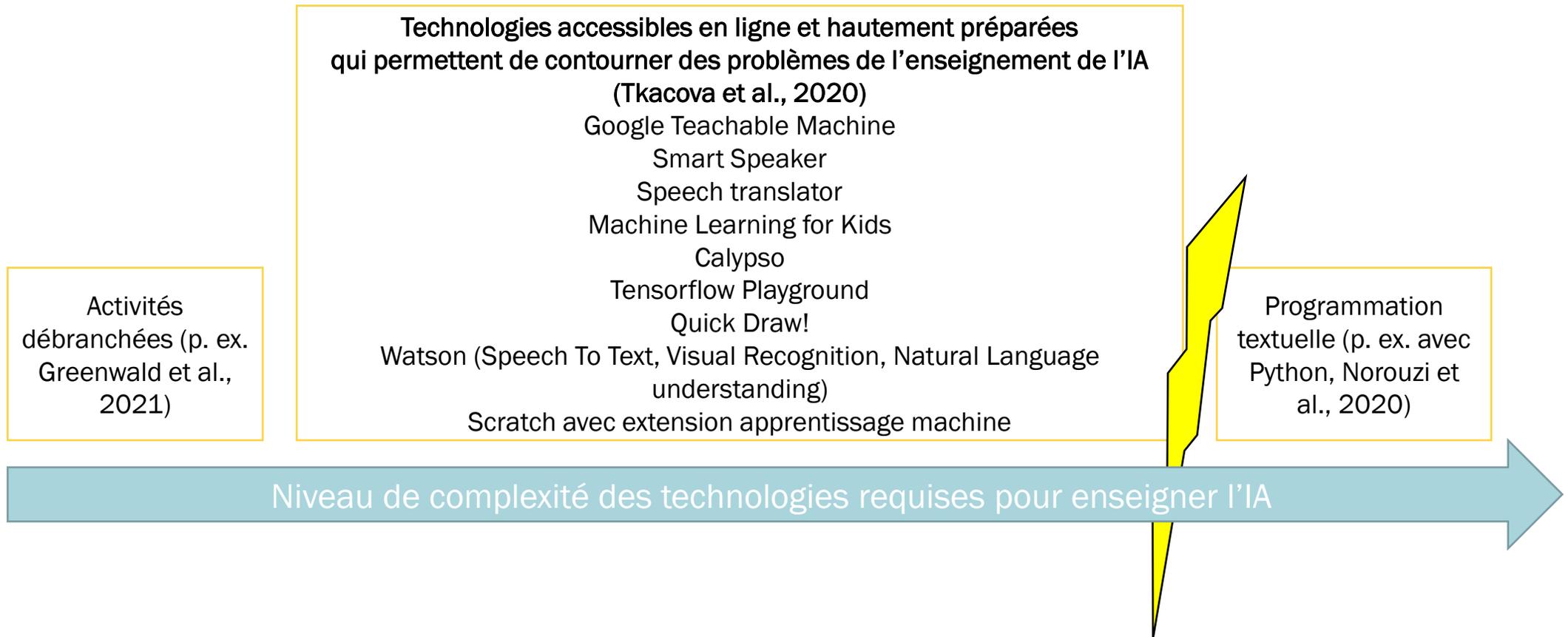
Composantes TPACK

TPACK	Le personnel de la MIA...
PK	<p>... évite les « présentations descendantes »</p> <p>... fait une veille des cas d'usage pouvant intéresser les élèves (ex. tourner des films sportifs)</p> <p>... pose des questions engageantes au groupe</p>
PCK	<p>... planifie les activités en collaboration avec les enseignants</p> <p>... établit des liens entre l'IA et les disciplines scolaires</p>
CK	<p>... a des formations variées (neurobiologie, communication, mathématiques, géologie, intelligence artificielle)</p> <p>... connaît une variété de cas d'utilisation de l'IA dans toutes les disciplines</p> <p>... a des repères historiques sur l'IA</p>
TK	<p>... connaît les statistiques, les régressions, les réseaux de neurones et l'apprentissage automatique</p>
TCK	<p>... connaît des outils numériques de vulgarisation de l'IA ou de démonstration</p>
TPK	<p>... conçoit des ateliers sur mesure à partir des outils numériques</p>

Principaux points de convergence et de divergence

	Défis liés aux objectifs ou finalités	Défis liés à la sélection des contenus	Défis liés aux ressources	Défis liés aux stratégies pédagogiques
Points de convergence entre les participants	<ul style="list-style-type: none"> • Importance d'enseigner l'IA à l'école 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité de préalables en mathématiques • Indissociabilité des aspects techniques et éthiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Les outils les plus complexes ne sont pas nécessairement les plus adaptés en fonction de l'intention pédagogique (p. ex. voiture autonome) • Une mauvaise connectivité dans les écoles entrave les démonstrations 	<ul style="list-style-type: none"> • Limiter les présentations théoriques • Importance de recourir à des cas d'usage qui concernent et intéressent les élèves
Points de divergence entre les participants/idées isolées	<ul style="list-style-type: none"> • Discipline où enseigner l'IA • Importance d'amener tout le monde à <u>créer</u> des programmes d'IA • Âge à partir duquel il est possible de comprendre les concepts d'IA 	<ul style="list-style-type: none"> • Importance d'enseigner aussi l'IA basée sur les règles • Nécessité des préalables en programmation informatique pour utiliser des techniques d'IA 	<ul style="list-style-type: none"> • Les enseignants n'ont pas l'expertise pour former équitablement tout le monde à l'IA • Recours à des experts d'IA pour expliquer l'IA à des élèves • Niveau d'expertise requis pour expliquer l'IA à d'autres 	<ul style="list-style-type: none"> • Emplois de certains dilemmes moraux pour expliquer les enjeux éthiques

Les limites des outils technologiques





L'IA, c'est très facile de dire ce que c'est, mais on s'aperçoit que de le faire comprendre, c'est extrêmement compliqué [...]. **Si on n'a pas certains concepts mathématiques, c'est difficile à expliquer.** (Participant 01)



[Le premier préalable auquel je pense], c'est la programmation. **Parce que l'IA, avant tout, c'est un programme informatique.** Si on ne sait pas [...] comment est-ce qu'on peut faire de l'analyse de données vraiment basique, bien on ne peut pas faire grand-chose à ce moment-là [...]. On arrive à transmettre un certain nombre de connaissances même s'ils n'ont pas des connaissances préalables, mais **si on veut rentrer beaucoup plus dans le technique, il faut qu'ils aient des connaissances notamment en mathématiques et en programmation.** (Participant 05)



C'est sûr que [pour les collégiens], on ne va pas entrer dans le détail de l'apprentissage profond, du *machine learning* et du *deep learning*. On va peut-être nommer les mots en disant que ce sont des techniques, mais [pour comprendre] les réseaux de neurones artificiels, il faut déjà comprendre les réseaux de neurones biologiques. Enfin, c'est peut-être mon côté neurobiologiste qui parle, mais **je pense qu'il faut déjà avoir une notion de neurone biologique avant de rentrer dans le détail du fonctionnement des neurones de l'IA.** (Participant 03)



En ce moment, la mode, c'est l'apprentissage automatique, parce qu'en effet les machines calculent vite, parce qu'il y a beaucoup de données [...]. Le danger, pour moi, [c'est] d'oublier l'autre partie qui est équitablement importante, c'est-à-dire les systèmes d'aide à la décision **[qui] permettent de faire circuler des trains, des avions et autres usines, et qui heureusement ne circulent pas avec des statistiques, mais avec des règles** et des moteurs qui permettent en effet de prendre des décisions basées sur le contexte, et surtout, qui peuvent être explicables. (Participant 02)



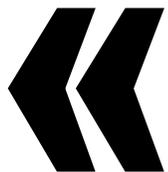
L'IA, j'y connaissais rien du tout à la base. [...] Et justement, notre but c'est aussi de sensibiliser des gens qui n'ont aucune connaissance de l'IA. **Je pense que c'était intéressant aussi d'avoir la vision de quelqu'un qui n'en a pas, pour que la communication puisse être claire pour des gens qui n'ont aucune connaissance de l'IA.** [Parfois] je me dis que si moi je ne comprends pas, ça se peut que la majorité des personnes qui vont lire ce message ne le comprennent pas non plus. (Participant 06)



En mathématique et en physique. En physique pour les capteurs, en mathématiques, quand on va commencer à aborder l'algorithmique, ça me paraît intéressant. Et l'algorithmique on commence avec Scratch en 6e. Donc je pense qu'on peut faire du lien à partir de là. [...] Mais il faudrait que ça soit assez bien défini, parce que dans toutes les matières qui sont un petit peu innovantes en France, je trouve que les enseignants, d'un côté c'est bien, mais **les programmes ne sont pas assez cadrés.** [...] **Selon l'enseignant, [l'élève] ne va pas du tout faire la même chose.** (Participant 04)



Il y a un an et demi, je t'aurais dit dans [toutes les disciplines]. [...] Aujourd'hui, je nuance, ça serait idéal que chaque discipline se saisisse des usages, et [en plus] d'avoir la discipline intelligence artificielle pour savoir ce qu'il y a sous le capot, et de là, aller voir les boulons, les écrous, etc. comme on doit enseigner à nouveau la mathématique et pas la diluer dans les autres disciplines. (Participant 02)



Quand on enseigne les sciences ou les langues, on a du recul pédagogique sur la façon dont on peut l'enseigner, ce qu'il faut construire pas à pas pour que l'apprentissage se fasse. Là, [pour l'IA], je ne sais pas par quoi il faudrait commencer. [...] Quand on apprend à lire, il y a plusieurs méthodes, [par exemple] la méthode globale. Là, par quoi on commence? Est-ce qu'on commence par l'aspect technique, en disant cet outil il fonctionne comme ça? Et puis après on en vient aux problématiques éthiques? Est-ce qu'on commence tout de suite par l'éthique [...]? Ça c'est un enjeu. **Ça je pense que c'est un enjeu.** (Participant 04)

En conclusion – Pistes pour le transfert *médiation scientifique -> école*

- Développer des **initiatives sur le temps long** en appliquant une progression des apprentissages pour permettre l'acquisition des préalables (ex. AI4K12)
- **Pour les activités de médiation scientifique :**
 - **Impliquer des enseignants et enseignantes** en leur demandant d'insérer la visite d'un organisme de médiation scientifique dans une séquence didactique (que font-ils avant et après ?)
 - Orienter les visites à l'école vers de **l'accompagnement/co-enseignement**
- Tenir des activités de médiation scientifique auprès des enseignants et enseignantes en formation et enseigner des outils d'introduction à l'IA

Références

Angeli, C., Valanides, N., & Christodoulou, A. (s. d.). *Theoretical Considerations of Technological Pedagogical Content Knowledge*.

Bergeron, A. (2016). Médiation scientifique : Retour sur la genèse d'une catégorie et ses usages. *Arts et Savoirs*, 7. <https://doi.org/10.4000/aes.876>

Cartellier, D. (2010). La vulgarisation scientifique à l'heure de libre accessibilité des savoirs. Quelle place pour les médiateurs? *Mémoires du livre*, 1(2). <https://doi.org/10.7202/044212ar>

Chiu, T. K. F., & Chai, C. (2020). Sustainable Curriculum Planning for Artificial Intelligence Education : A Self-Determination Theory Perspective. *Sustainability*, 12(14), 5568. <https://doi.org/10.3390/su12145568>

Computer science teachers association. (2020). *AIK412—Sparking curiosity*. AI4K12. <https://ai4k12.org/>

Kim, S., Jang, Y., Kim, W., Choi, S., Jung, H., Kim, S., Kim, H., & Assoc Advancement Artificial Intelligence. (2021). *Why and What to Teach : AI Curriculum for Elementary School* (WOS:000681269807034). 35, 15569-15576.

Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What Is Technological Pedagogical Content Knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 11.

Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI Literacy? Competencies and Design Considerations. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-16. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376727>

Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand : Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>

Touretzky, D., Gardner-McCune, C., Martin, F., & Seehorn, D. (2019). Envisioning AI for K-12 : What Should Every Child Know about AI? *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 33, 9795-9799. <https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.33019795>

UNESCO. (2019). *BEIJING CONSENSUS on artificial intelligence and education*. <https://en.unesco.org/themes/ict-education>