

Un modèle didactique d'enseignement-apprentissage de l'intelligence artificielle issu des pratiques de médiation scientifique de la Maison de l'intelligence artificielle en France

A model for teaching and learning artificial intelligence based on scientific outreach practices at the Maison de l'intelligence artificielle in France

Alexandre LEPAGE¹ ; Normand ROY² ; Margarida ROMERO³

¹Université Laval

²Université de Montréal

³IIIA CSIC & Université Côte d'Azur

Résumé. Cette recherche vise à théoriser un modèle didactique d'enseignement-apprentissage de l'intelligence artificielle (IA) à partir des pratiques de la Maison de l'intelligence artificielle (MIA) en France. Alors que de nombreux appels à accroître la littératie de l'IA dans la population générale et en particulier auprès des publics scolaires se font entendre, peu a encore été dit sur la manière de le faire. Les contenus d'apprentissage, les méthodes pédagogiques et les ressources nécessaires (y compris matérielles) sont encore à ce jour peu discutés. Le milieu de la médiation scientifique, qui a commencé à acculturer à l'IA avant la vague de l'IA générative, peut être un précieux point de départ pour documenter cette didactique. Des observations ont été réalisées lors d'activités de médiation scientifique auprès d'élèves, de même que des entretiens auprès de l'équipe de médiation. Un modèle d'enseignement-apprentissage de l'IA est introduit, lequel doit à présent être vérifié empiriquement. **Mots-clés :** intelligence artificielle (IA), didactique de l'IA, littératie de l'IA, médiation scientifique, éducation

Abstract. This research aims to build a teaching and learning model for artificial intelligence (AI) based on scientific outreach practices of the 'House of Artificial Intelligence' (Maison de l'intelligence artificielle, MIA) in France. As artificial intelligence (AI) is increasingly impacting professional and civic life, numerous calls to increase AI literacy among the population and particularly through schools are being made. Little attention has been paid to AI didactics. Learning content, pedagogical methods and learning resources (including material) have not yet been clearly discussed. Scientific outreach organizations, which began introducing students to AI before the wave of generative AI, can be a precious starting point for this discussion. Onsite observations were conducted during scientific outreach sessions with high school students, as well as semi-structured interviews with staff involved. A teaching model specific to AI literacy is proposed and should be empirically tested.

Keywords: artificial intelligence (AI), AI education, AI literacy, scientific outreach, education

1. INTRODUCTION

L'enseignement et l'apprentissage de l'intelligence artificielle (IA) restent encore peu développés dans les systèmes scolaires. Toutefois, l'essor récent des IA génératives a entraîné l'émergence de nouvelles pratiques, tant du côté des élèves que des professionnels de l'éducation. Face à cette évolution rapide, la France s'est dotée d'un cadre d'usage de l'IA en éducation (Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2025). Pour autant, un enjeu majeur subsiste : celui de l'apprentissage de l'IA, non seulement par les élèves, mais également par l'ensemble des acteurs du système éducatif. Au niveau international, l'UNESCO (2024) signale que seulement 15 pays intégraient en 2022 des apprentissages formels liés à l'IA dans leurs programmes scolaires. Avant la vague de l'IA générative, quelques pays avaient déjà des initiatives pour intégrer l'IA dans les programmes scolaires notamment dans la région Asie-Pacifique (Su *et al.*, 2022). C'est le cas par exemple de Singapour qui a lancé en 2017 un programme en partenariat avec des entreprises privées spécialisées en IA dont un des volets visait le développement de ressources éducatives au sujet de l'IA (AI Singapore, 2017). Ailleurs dans le monde, plusieurs projets jetaient déjà les bases d'un apprentissage de l'IA dès l'école primaire (Computer science teachers association, 2020 ; Kim *et al.*, 2021) sans pour autant qu'il s'agisse d'intégration formelle à des programmes scolaires officiels. Encore davantage depuis 2022 avec la sortie des outils d'IA générative, de nombreux appels se font entendre pour que cet apprentissage s'intègre à l'école de manière obligatoire (Morin, 2025 ; Naffi, 2024 ; Planque, 2025). Le référentiel de compétences en IA pour les élèves de l'UNESCO (2024) s'inscrit dans cette perspective. Au-delà de l'utilisation de l'IA comme outil pédagogique, qui fait l'objet d'un encadrement grandissant (Ministère de l'Éducation du Québec, 2024 ; Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2025), l'enseignement et l'apprentissage de l'IA appellent à des savoirs encore mal définis. Certains de ces savoirs sont nouveaux tandis que d'autres correspondent à des savoirs scolaires déjà enseignés (Develay, 2000), comme ceux liés à la pensée informatique (Drot-Delange *et al.*, 2019). Par exemple, dans les semaines qui ont suivi la sortie de ChatGPT, le concept d'ingénierie des *prompts* (*prompt engineering*) est apparu (Knoth *et al.*, 2024), de même que celui d'hallucination qui ne fait pas consensus (Maleki *et al.*, 2024). Une série de travaux sur la littératie de l'IA a aussi été entamée dont Almatrafi *et al.* (2024) proposent une synthèse, même si l'existence d'une telle littératie de l'IA distincte de la littératie numérique reste spéculative (Michelot et Lepage, 2025). Les compétences en IA définies par Long et Magerko (2020) sont à ce jour le point de référence qui semble le plus souvent mobilisé. La plupart des articles traitant de littératie de l'IA entre 2019 et 2023 convergent vers ces dimensions : reconnaître que l'on est en présence de l'IA ou non, avoir des connaissances en lien avec l'IA, savoir utiliser des outils d'IA, être capable d'évaluer la pertinence ou le résultat d'IA, créer avec des IA et agir de manière éthique (Almatrafi *et al.*, 2024). Le Référentiel de compétences en IA pour les apprenants de l'UNESCO (2025) est plus synthétique et propose quatre dimensions, soit l'IA orientée sur l'humain, l'éthique de l'IA, les techniques d'IA et la conception de systèmes d'IA. Finalement, la Commission européenne, avec l'Organisation de coopération et de développement économiques (2025), ont proposé un cadre de littératie qui identifie un ensemble de connaissances, savoirs et attitudes nécessaires pour une compréhension approfondie de l'IA. Néanmoins, malgré ces premières initiatives, il y a peu de savoirs consensuels liés à l'IA et encore moins lorsque l'on parle d'un apprentissage scolaire.

Cela amène de nouvelles questions pour les enseignants et enseignantes. Les savoirs liés aux usages de l'IA sont-ils nécessaires ou doit-on se concentrer sur des savoirs plus

fondamentaux liés aux bases informatiques de l'IA ? Quels sont les savoirs préalables à une compréhension du fonctionnement de l'IA ? Aux enseignants et enseignantes de quelle(s) discipline(s) revient la responsabilité d'enseigner ces nouveaux savoirs ? Ces personnes sont-elles compétentes pour le faire ?

L'absence de savoirs didactiques sur l'enseignement de l'IA rend difficile la définition des finalités poursuivies auprès des élèves. Que souhaite-t-on les rendre capables de faire ? Plusieurs parlent de pensée critique, or il s'agit là d'un concept peu consensuel et polymorphe qui peut être envisagé sous l'angle des processus sociocognitifs, culturels ou, bien sous l'angle philosophique (Panissal et Bernard, 2021). Il est donc difficile de modéliser la pensée critique, et encore davantage de s'entendre sur les moyens pour la faire développer par des élèves. À défaut de devoir maîtriser des savoirs informatiques pour pouvoir utiliser des outils d'IA, il faudrait en maîtriser pour *bien* les utiliser ou encore le faire de manière critique pour éviter de tomber dans les pièges que sont les biais indésirables, la désinformation et la manipulation de l'opinion (Carter *et al.*, 2020). La différence par rapport à des outils informatiques qui ne sont pas dotés d'IA tient peut-être à la barrière à l'utilisation que constituent ou non ces savoirs : un peu comme Ellul (1977) l'avait décrit pour la télévision, il est possible d'utiliser un outil d'IA sans comprendre comment il fonctionne. Des élèves peuvent très bien savoir manipuler des outils d'IA (par ex. reconnaissance d'images, reconnaissance vocale) sans en comprendre les rouages ou en entretenant des représentations naïves sur leur fonctionnement (Kim *et al.*, 2023). Toutefois, cela n'est peut-être pas suffisant pour en faire un usage critique et éclairé, d'où l'intérêt de réfléchir à des méthodes pédagogiques orientées vers cette finalité.

L'objectif de cette recherche qualitative est de théoriser un modèle didactique d'enseignement-apprentissage de l'IA à partir d'observations des pratiques de médiation scientifique de la Maison de l'intelligence artificielle (MIA) en France. L'article est structuré de manière à présenter le cadre théorique qui fait intervenir les concepts de modèle didactique et d'IA. La méthode est ensuite présentée en situant d'abord le terrain de la recherche, celui de la MIA, puis en introduisant la démarche de théorisation ancrée alimentée par des observations et des entretiens. La discussion introduit un modèle didactique d'enseignement-apprentissage de l'IA issu des résultats et proposera des pistes de recherche empiriques pour vérifier le potentiel de ce modèle.

2. CADRE THEORIQUE

2.1 INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Dans le cadre de cette recherche, l'IA est définie comme un domaine de recherche diffus (Wang, 2019) et interdisciplinaire qui a pour dessein principal l'automatisation de tâches cognitives complexes (Popenici et Kerr, 2017) comme la compréhension et la production du langage (McCarthy *et al.*, 1955). Nous considérons autant l'IA symbolique (basée sur des règles) que l'IA probabiliste dans laquelle s'inscrit l'apprentissage automatique. L'IA symbolique permet de simuler la prise de décisions pour une tâche précise à partir d'une modélisation de tous les cas possibles ou d'inférences. Cette modélisation, réalisée par des personnes expertes, a donné lieu à la vague des systèmes dits experts dans la décennie 1980. L'IA probabiliste, ou connexionniste (Minsky, 1991), vise aussi la résolution de problèmes de prédiction ou de classification pour simuler des décisions, mais à partir de paramètres appris à l'aide de données d'entraînement. L'IA générative fait partie de la famille des IA probabilistes. Elle est basée sur des grands modèles de langage entraînés à l'aide de données

massives et de réseaux de neurones récurrents (Brown *et al.*, 2020). Ces modèles permettent de générer, par exemple, des textes inédits en prédisant successivement une série d'unités sémantiques appelée des jetons (qui correspondent à des mots, des parties de mots, ou des symboles). En s'appuyant sur la théorie de la genèse instrumentale (Rabardel, 1995), nous considérons les outils d'IA, qu'ils soient symboliques ou probabilistes, comme des instruments par lesquels différents publics développent des usages. Parmi les principaux types d'usages de l'IA symbolique figurent des tâches de classification (par ex. aide au diagnostic médical), des arbres décisionnels et des outils d'automatisation de tâches hautement procédurales. Pour l'IA probabiliste s'ajoutent aussi des usages visant la prédiction de tendances, la création de contenus multimédias artificiels, la rédaction de textes en tout genre, la simulation, la synthèse de connaissances, la prise de décisions complexes ou l'aide à la prise de décisions. À l'heure actuelle, les savoirs fondamentaux en IA font l'objet de tentatives de définition principalement sous le vocable de littératie de l'IA (Almatrafi *et al.*, 2024 ; Long et Magerko, 2020 ; Ng *et al.*, 2023 ; Yi, 2021) et ceux-ci sont bien loin d'être stabilisés.

2.2 MODELE DIDACTIQUE

Dans le cadre de notre recherche, en s'appuyant sur Reuter *et al.* (2013) et St-Arnaud *et al.* (2002), nous entendons le concept de modèle didactique comme un outil conceptuel spécifique à une discipline ou un objet d'apprentissage pour répondre à une problématique spécifique liée à l'enseignement ou l'apprentissage en contexte scolaire, et cette problématique peut être conjoncturelle et ponctuelle. Dans le cas de l'IA en général, cette problématique tient à l'interdisciplinarité et à la complexité. Dans le cas de l'IA générative s'ajoute aussi la nouveauté qu'elle représente depuis la diffusion d'outils accessibles à tous et toutes.

Les modèles didactiques sont des outils qui servent à la fois à décrire et suggérer des pratiques d'enseignement-apprentissage. Ils visent à « proposer une formalisation qui permet d'analyser ce qui est enseigné (ou non), ce qui est enseignable (ou non) et les façons dont c'est enseigné » (Reuter *et al.*, 2013, p. 135). Les modèles didactiques tirent leur pertinence dans la problématique de la transposition didactique (Paun, 2006) qui est le processus par lequel des savoirs savants deviennent des savoirs à enseigner. Ils s'inscrivent dans une perspective praxéologique (St-Arnaud *et al.*, 2002) en outillant les enseignants et enseignantes pour prendre des décisions pédagogiques dans des contextes uniques et hautement incertains, en tenant compte de particularités disciplinaires.

2.3 DIDACTIQUE DE L'INFORMATIQUE

Notre recherche partage plusieurs enjeux et référents issus de la didactique de l'informatique. Depuis les années 1980, ce champ s'intéresse à ce qui devrait être appris par tous dans le domaine de l'informatique (Arsac, 1989) et surtout au niveau d'approfondissement souhaité dans le cadre de l'école obligatoire. Le champ d'études est lui-même défini par la polysémie du terme *informatique* (Drot-Delange et Fluckiger, 2022) qui désigne des usages quotidiens de l'ordinateur, des activités de programmation informatique, ou encore une discipline scientifique orientée autour de quatre concepts (Dowek, 2011) : les algorithmes, les machines, la programmation et l'information. Vu son étendue, elle se confond parfois avec l'éducation aux médias et aux technologies de l'information et de la communication (Drot-Delange et Fluckiger, 2022) et pourrait, du moins en partie, convenir à la didactique de l'IA. Traditionnellement, la didactique de l'informatique a fait une distinction entre les objets d'apprentissage et les moyens

d'apprentissage (Baron et Bruillard, 2001 ; Cuban, 1986 ; Taylor, 1980). Alors que l'informatique comme objet d'apprentissage pourrait, à la rigueur, être envisagée comme une réduction des sciences informatiques universitaires, l'informatique comme moyen d'apprentissage appelle plutôt à penser la didactique de l'informatique sous le prisme de la médiation dans d'autres disciplines. Mais encore là, selon Drot-Delange et Fluckiger (2022), les savoirs scolaires liés à l'informatique n'ont parfois rien à voir avec la complexité de la discipline universitaire lorsqu'ils s'affairent à décrire des habiletés de base. Les tensions entre objet d'apprentissage et moyen, l'interdisciplinarité et la définition des savoirs fondamentaux sont des enjeux qui s'appliquent aussi à la didactique de l'IA et qui sont pris en compte dans cette étude.

2.4 MEDIATION SCIENTIFIQUE

Comme cette recherche vise à éclairer l'enseignement et l'apprentissage de l'IA à partir des pratiques de médiation scientifique à la MIA, il est important de présenter d'emblée les similarités et différences entre ce contexte et le contexte scolaire. La médiation scientifique est une pratique professionnelle visant le partage de connaissances entre personnes expertes et non-expertes (Bergeron, 2016). En France, le métier de médiateur ou médiatrice scientifique a été consacré dans le référentiel des emplois-types de la recherche et de l'enseignement supérieur en 1998 et, depuis, s'est défini avec de plus en plus de précisions par rapport aux professions de production scientifique. Bergeron (2016) rapporte que la professionnalisation du métier fait en sorte que de plus en plus de médiateurs et médiatrices ne sont pas issus de domaines scientifiques, mais plutôt de domaines comme la communication. Pour Cartellier (2010), la médiation « est implicitement fondée sur l'hypothèse de cette séparation entre les scientifiques, ceux qui savent, et les profanes, le public ignorant » (p. 3). Cette distinction ne doit pas faire oublier que ni le groupe des scientifiques ni celui du grand public ne sont homogènes (Cartellier, 2010). À cet égard, la médiation n'est pas que le transfert d'un groupe connaisseur vers un groupe ignorant, elle est plutôt un point de ralliement entre individus aux profils, connaissances et compétences variées. Face aux savoirs, les rôles du médiateur et de l'enseignant sont différents : le médiateur vise à passer d'un « savoir savant » à un « savoir accessible » (Cartellier, 2010, p. 3). L'enseignant ou l'enseignante, lui, devrait en plus amener les élèves à vivre la manière dont ces savoirs sont construits (Brousseau, 1986). Il s'agit de rendre accessible à l'élève la façon dont ont été construits et stabilisés les savoirs, par exemple au terme d'approximations et d'erreurs inévitables. Il en résulte évidemment des attentes liées à la maîtrise et l'approfondissement des savoirs qui dépassent la sensibilisation et l'éveil.

2.5 OBJECTIF DE RECHERCHE

Pour rappel, cette recherche a pour objectif de théoriser un modèle didactique d'enseignement-apprentissage de l'IA, à partir des activités de médiation scientifique de la MIA. L'IA est considérée comme un domaine de recherche au sens large, comprenant à la fois l'IA symbolique et l'IA probabiliste, dont l'IA générative.

3. METHODE

3.1 LE TERRAIN DE LA RECHERCHE

La MIA est d'abord un lieu physique inauguré en février 2020 dans la technopole de Sophia Antipolis en périphérie de la ville de Nice. Son objectif est d'acculturer la population

générale à l'IA, avec une emphase sur les collégiens et collégiennes de tout le département des Alpes-Maritimes via un projet nommé Arc-en-ciel. En plus des bureaux de l'équipe, la MIA est composée de deux espaces, soit la salle de formation et la salle de démonstration. La salle de formation est une salle de présentation d'environ 40 mètres carrés dont les murs sont tapissés d'une frise chronologique des moments marquants dans l'histoire de l'IA. Quant à la salle d'exposition, celle-ci est un espace d'environ 400 mètres carrés où sont disposées différentes stations, parfois avec des téléviseurs géants ou des artefacts spécifiques utilisés lors des activités de médiation (par ex. une table avec deux jeux d'échecs est placée dans un coin de la salle). La figure 1 montre des photos des lieux.

A. La salle de formation



B. La salle de démonstration

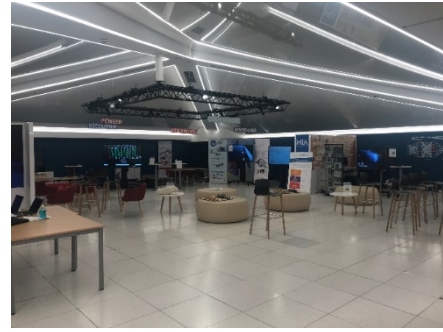


Figure 1 : Les principaux espaces physiques de la Maison de l'intelligence artificielle

3.2 ACTIVITES ET INSTRUMENTS DE RECHERCHE

Des observations non participantes ont été réalisées sur une période de deux mois, auxquelles se sont ajoutés des échanges informels. Une grille d'observation sur mesure a été employée pour observer des aspects logistiques (nombre de participants, âge, durée de l'activité, etc.), la nature des activités réalisées, les méthodes pédagogiques mobilisées ainsi que les interactions entre les participants et les médiateurs scientifiques. Au total, nous avons observé six activités : quatre dans les locaux de la MIA et deux dans un collège, animées par l'équipe de la MIA. Les élèves étaient âgés de 11 à 15 ans.

Des entretiens semi-dirigés avec l'équipe de médiation scientifique ont été menés ($n = 6$, soit trois médiateurs ou médiatrices scientifiques, une cheffe de projet numérique, un ingénieur informatique en formation et une chargée de communication). L'entretien abordait trois thèmes : profil professionnel, didactique de l'IA, et rôle à la MIA. Les entretiens ont été enregistrés en format audio puis retranscrits pour analyse.

3.3 METHODE D'ANALYSE

Les données collectées (observations et entretiens) ont été analysées suivant une méthode de théorisation ancrée (Paillé, 1994 ; Sosa-Díaz et Valverde-Berrocoso, 2022). Selon cette méthode, la problématique de recherche est précisée en cours de recherche et la théorie émerge de manière inductive à partir des observations réalisées et des données collectées. Contrairement à une approche hypothético-déductive, la théorisation ancrée a l'avantage de permettre la création de nouvelles idées théoriques tout en conservant un fort ancrage empirique (Glaser et Strauss, 1967). La théorie ainsi générée permet à son tour de générer de nouvelles hypothèses qui peuvent être testées dans un modèle classique hypothético-déductif. Selon Paillé (1994), les cinq étapes de la théorisation ancrée sont les suivantes :

codification, catégorisation, mise en relation, intégration, modélisation et théorisation. Les grilles d’observation et les retranscriptions d’entretiens ont été analysées par codification des passages d’intérêt dans le logiciel libre *LibreQDA* (Gauthier, 2025). Les entretiens ont été codés par le premier auteur, mais la grille émergente a été validée par les autres auteurs.

4. RESULTATS

Cette section présente dans un premier temps une description des observations (cf. 4.1) et la liste des catégories induites lors de l’analyse (cf. 4.2). Une synthèse des entretiens semi-dirigés est introduite (cf. 4.3). Ensuite, les points de convergence et de divergence entre les participants et participantes aux entretiens sont présentés (cf. 4.4 et 4.5).

4.1 DESCRIPTION DES OBSERVATIONS

Quatre activités de médiation scientifique ont été observées à la MIA. Lors de chacune, le groupe scolaire était scindé en deux, avec une moitié dans la salle de formation et une autre dans la salle de démonstration en alternance. La salle de démonstration était le théâtre d’échanges informels qui suivaient des démonstrations d’usages de l’IA, notamment le cas du drone qui permet de suivre une personne. Les échanges dans la salle de formation étaient plus encadrés, avec des questions ponctuant une présentation qui alternait entre éléments théoriques et exemples en lien avec les intérêts des élèves. Beaucoup de métaphores étaient employées (par ex. la recette de crêpes pour expliquer l’algorithme). L’objectif poursuivi était celui d’éveiller la curiosité, avec des exemples frappants comme la défaite aux échecs de Garry Kasparov contre une IA. Les médiateurs avaient une culture de l’IA qui leur permettait de réagir spontanément avec des exemples historiques et évoquaient le modèle *GPT-3* pour le traitement du langage naturel (plusieurs mois avant la sortie de *ChatGPT*). La période dans la salle de formation se terminait par une activité visant à se projeter dans l’avenir où les élèves devaient proposer leur vision de l’IA dans 50 ans. En général, les personnes arrivaient à la MIA avec des représentations marquées de l’IA et appréciaient avoir un espace où ils pouvaient enfin poser leurs questions. Par exemple, un participant a interrompu la présentation pour exprimer sa difficulté à voir comment le concept de neurones artificiels se rattachait à ce que disait la médiatrice, question qui trouvait réponse dans une animation qu’elle présentait immédiatement. L’incompréhension est demeurée partiellement chez le participant qui a réitéré sa question. Après environ 30 minutes, l’attention générale déclinait et nous avons pu observer certains participants qui commençaient à changer de position ou à détourner le regard. Le déclin était plus marqué lorsque le médiateur ou la médiatrice répondait à des questions plus techniques posées par un participant. En général, les élèves étaient moins actifs dans la salle de démonstration que dans la salle de formation où leurs représentations étaient continuellement sollicitées.

Le matériel présent dans la salle de démonstration était accessible (téléviseurs, applications gratuites, matériel peu dispendieux sauf exception du drone ou de certains robots éducatifs), mais avait été hautement mis en scène et préparé. Il y a un fort niveau de préparation didactique pour centrer seulement la démonstration sur des éléments d’intérêt. Le matériel identifié lors des observations et les usages qui en étaient faits sont présentés dans le tableau 1. Les principaux concepts abordés lors des observations sont présentés dans le tableau 2, avec quelques observations spécifiques sur la démarche didactique.

Tableau 1 : Matériel observé à la MIA et usages qui en sont faits

Matériel	Observations sur la démarche didactique
Peluche intelligente (Paro)	Robot thérapeutique utilisé de manière ludique et informelle pendant la transition entre la salle de formation et la salle de démonstration. Les élèves qui le voulaient pouvaient l'essayer.
Drone et caméra	Démonstration de reconnaissance faciale. Le drone était couplé à un ordinateur sur lequel tournait un programme de reconnaissance faciale en continu qui contrôlait ses mouvements. Un élève volontaire se plaçait devant le drone et ce dernier le suivait à une distance d'environ deux mètres. Des cas d'usage du drone étaient présentés : détection des feux de forêt, agriculture de précision, sauvetage, compter un troupeau, film sportif.
Robots AlphaAI	Des élèves les programmaient pour appréhender le fonctionnement de l'apprentissage par renforcement et les probabilités.
Téléviseurs interactifs	Couplés à des ordinateurs avec clavier et souris, les téléviseurs étaient des stations interactives destinées à présenter un cas d'usage. Un téléviseur diffusait l'interface de <i>Quick, draw!</i> de Google pour appréhender la reconnaissance d'images.
Tablettes numériques (iPad)	Les tablettes numériques étaient employées pour faire dessiner aux élèves un panneau de sens interdit. Chacun passait faire prendre une photo de son dessin à l'avant, puis un modèle était entraîné via <i>Google Teachable Machine</i> pour reconnaître le panneau.

Tableau 2 : Principaux concepts liés à l'IA abordés lors d'activités de médiation pédagogique auprès de collégiens et collégiennes

Savoirs	Observation
Agent conversationnel	L'équipe référait à GPT-3 (alors qu'à l'été 2022, ChatGPT n'était pas sorti).
Algorithme	Présenté via la métaphore de la recette des crêpes.
Algorithme de classification	Abordé par une question à la cantonade, « qu'est-ce que ça veut dire classer pour vous ? », avec exemple de la manière de trier des ustensiles.
Algorithme de prédiction	L'équipe abordait, par des cas limites, les erreurs de prédiction (liés par exemple aux voitures autonomes).
Apprentissage automatique	Aucune mention pendant les 30 premières minutes de l'activité, l'équipe tenait à bien poser les bases avant d'y arriver.
Apprentissage par renforcement	Présenté via la métaphore de la recette des crêpes, avec une variante où on laisserait le système apprendre une recette de crêpes par des essais-erreurs.
Dilemme moral, biais	Abordé principalement via les dilemmes engendrés par la prise de décisions critiques impliquant la survie de sous-groupes par des voitures autonomes (scénarios catastrophes). Présentation de cas hautement médiatisés d'erreurs ou biais de systèmes d'IA (par ex. les CV triés par Amazon).
Langage prolog, logique, syllogisme	Une activité de l'exposition mobile visait à résoudre un puzzle en s'appuyant sur des règles logiques.
Réseau neuronal, neurone biologique ou artificiel	Malgré la métaphore du neurone biologique, certains participants manifestaient de l'incompréhension persistante.

4.2 CATEGORIES INDUITES

Le tableau 3 présente les catégories qui ont émergé lors de l'analyse des entretiens, ainsi que le nombre de passages codés et le nombre de participants pour lesquels au moins un passage a été codé dans cette catégorie. Les passages sont codés par paragraphe.

Tableau 3 : Catégories induites et nombre de segments codés.

Catégories	Segments	Participants
Savoirs disciplinaires. Propos des participants qui dénotent des savoirs spécifiques à l'IA ou des savoirs d'autres disciplines essentiels pour la compréhension de l'IA.	18	6/6
Enjeux de compréhension par les élèves. Difficultés rencontrées par les participants lors d'explications de concepts d'IA, questions posées par les élèves, problèmes de transferts des apprentissages observés.	15	6/6
Enjeux éthiques et sociaux de l'IA. Propos des participants en lien avec les enjeux éthiques (principalement les biais algorithmiques), les activités réalisées à la MIA pour sensibiliser à ceux-ci.	13	5/6
Importance des cas d'usage de l'IA. Propos des participants qui mettent en exergue le recours à des cas d'usage pour rendre les explications plus concrètes et pour intéresser les élèves.	13	5/6
Savoirs préalables en mathématiques. Propos récurrents des participants qui soulignent des liens forts avec la discipline des mathématiques.	12	4/6
Techniques d'IA. Propos en lien avec des techniques d'IA (par ex. apprentissage automatique, réseaux de neurones, apprentissage par renforcement).	11	6/6
Savoirs multidisciplinaires. Discussion à propos de savoirs qui semblent inclassables dans une discipline en particulier pour les participants (par ex. qui combinent les pratiques numériques personnelles des élèves utilisant l'IA et le fonctionnement technique).	10	5/6
Engagement citoyen au sujet des enjeux de l'IA. Propos des participants qui témoignent de l'importance qu'ils accordent aux questions citoyennes, aux enjeux démocratiques, aux questions d'équité liées à l'IA et à son encadrement légal.	6	3/6
Usages disciplinaires de l'IA (dans d'autres disciplines). Utilisations d'outils ou techniques d'IA dans d'autres disciplines, par ex. histoire et géographie.	5	3/6
Tenir compte de l'intérêt des élèves. Propos qui témoignent d'actions concrètes faites par l'équipe pour tenir compte de l'intérêt des élèves (par ex. veille technologique sur les usages qui peuvent les intéresser).	5	4/6
Amener les élèves à se questionner. Propos qui dénotent des techniques d'animation visant à questionner les élèves et les amener eux-mêmes à formuler des questions autour de problèmes d'IA.	5	3/6

Catégories	Segments	Participants
Savoirs préalables en pensée informatique. Importance de la programmation informatique et de la pensée informatique pour comprendre le fonctionnement des systèmes d'IA.	4	1/6
Interdépendance de la technique et de l'éthique. Propos des participants qui insistent sur l'indissociabilité de ces deux facettes de l'IA.	3	2/6
Transfert des apprentissages en IA. Enjeux de transfert des savoirs d'un contexte à un autre, notamment le transfert des connaissances mathématiques à l'IA.	2	2/6
Pratiques numériques personnelles. Propos des participants qui dénotent des observations ou discussions auprès des élèves témoignant de pratiques personnelles d'utilisation d'outils d'IA (principalement des applications sur le smartphone).	2	2/6

4.3 SYNTHÈSE DES ENTRETIENS SEMI-DIRIGES

Cette section rapporte une synthèse des propos des participants et participantes. Pour préserver la confidentialité, des noms fictifs sont utilisés.

4.3.1 Entretien n°1 : Lydia, médiatrice scientifique

Lydia a complété une thèse en neurobiologie sur l'épilepsie. Elle a ensuite réalisé une maîtrise en management de projets innovants. Elle a joint l'équipe de la MIA après l'avoir découverte lors d'un événement scientifique pour lequel elle était bénévole.

Au sujet du matériel utilisé à la MIA, elle mentionne les tablettes numériques, le drone, la peluche émotionnelle Paro, de même que les fiches synthétiques de médiation scientifique qui composent la bibliothèque d'ateliers. Au niveau des applications, l'équipe utilise *Kahoot* pour un quiz sur les hypertrucages, des diaporamas, l'application en ligne *Google Teachable Machine* pour l'entraînement d'un modèle de reconnaissance d'images. L'application en ligne *Moral Machine* est aussi utilisée pour aborder les biais et les enjeux éthiques de l'IA, par une activité simulant des dilemmes éthiques à résoudre par une voiture autonome.

Ses propos traduisent une vision humaniste de la pédagogie où chaque personne peut développer son potentiel. Elle accorde une importance à la vulgarisation scientifique qui se constate à sa préoccupation pour utiliser des mots que l'auditoire va comprendre en évitant le jargon :

« On essaie d'éviter les présentations descendantes où on ne les fait pas interagir. C'est pour ça que, quand ils arrivent, on dit deux mots sur la MIA, vraiment très synthétiques, "on est là pour sensibiliser les gens à l'IA", et c'est quoi l'intelligence, c'est quoi artificielle, enfin c'est de leur poser des questions auxquelles ils ont envie de répondre, des questions pas trop techniques justement » (Lydia, segment 75).

Lydia adopte une vision large de la définition de l'IA en positionnant les débuts en 1956, mais souligne que l'enseignement de l'IA est tout à fait récent. Pour elle, l'IA est par essence interdisciplinaire notamment en raison de ses nombreux champs d'application, mais elle voit un lien plus fort avec les mathématiques et la technologie. L'enseignement de l'IA doit fondamentalement intégrer les concepts de biais, de même que la réglementation et l'encadrement de l'IA. Au niveau des défis didactiques, elle évoque qu'il n'est pas toujours possible d'approfondir les concepts d'apprentissage profond et d'apprentissage machine.

4.3.2 Entretien n°2 : Jean, médiateur scientifique

Jean a complété un diplôme d'études générales universitaires en mathématiques appliquées aux sciences sociales, puis une licence en mathématiques pures. Il a travaillé dans une entreprise de soutien scolaire pendant une dizaine d'années, successivement comme tuteur puis comme gestionnaire. Il a décidé de venir contribuer à la MIA comme médiateur scientifique.

Il évoque l'existence à la MIA d'une « bibliothèque d'ateliers » qui ont été conçus pour différents publics. Jean mentionne à plusieurs reprises l'utilisation de matériel technologique comme des drones à titre d'amorce pour capter l'attention du public :

« On a un drone qui fait du tracking, on [l'a] entraîné à faire de la détection de visages, puis on leur fait une démonstration. Le drone détecte leur visage et après suit les élèves. Ils adorent ça. On commence par ça, puis [...] en général ils ont adoré, ils ont le sourire jusqu'aux oreilles » (Jean, segment 18).

Il évoque également l'exposition mobile montée par la MIA destinée à être installée dans les collèges et utilisée par les professeurs documentalistes (un kit autoportant). De même, par une collaboration avec l'association de médiation scientifique Les Petits Débrouillards, un camion-exposition était expérimenté pour exposition dans les cours d'école.

En s'appuyant sur son expérience du tutorat scolaire, Jean préconise l'apprentissage expérientiel, la compréhension en profondeur des concepts notamment mathématiques. En vulgarisation scientifique, il insiste sur l'importance d'adopter des « mots simples », mais surtout de capter l'intérêt des élèves. À cet effet, il mentionne indirectement l'évaluation des représentations initiales : « quand on voit les élèves au départ, on fait une activité brise-glace en disant "selon vous, qu'est-ce que c'est l'intelligence ? Qu'est-ce que c'est *artificielle* ? » (segment 84). Il souligne l'intérêt assez généralisé des élèves pour l'IA et la démarche de la MIA qui consiste à l'aborder par l'intermédiaire de cas d'usage : « nous, la technique qu'on utilise, c'est de montrer des cas d'usage, faire des démonstrations et mettre les élèves en action, les mettre dans le cambouis en expérimentant » (segment 86).

Jean insiste sur l'importance des mathématiques pour comprendre l'IA. Selon lui, un des défis de la médiation auprès des collégiens et collégiennes est qu'ils n'ont pas les préalables mathématiques pour comprendre les techniques d'IA. Cela les contraint à rester au niveau de concepts sans entrer dans la technique. À partir de la 1^{ère} et de la terminale, il croit qu'il serait possible de faire plusieurs liens notamment des exemples d'application des dérivées mathématiques et donner du sens à cet apprentissage. L'apprentissage de l'IA est important pour l'émancipation et le développement d'une réflexion critique par rapport à l'IA :

« [En connaissant l'IA], ils ne sont pas prisonniers de ce que proposent les entreprises, il faut qu'eux arrivent à dire "ok, ça on en veut, ou ça on n'en veut pas". Et ça c'est quelque chose qu'on aborde beaucoup, par exemple avec la voiture autonome. Est-ce qu'ils veulent de la voiture autonome ou pas ? » (Jean, segment 163).

Ce cas d'usage de la voiture autonome permet d'aborder à la fois « l'éthique, les usages, les capteurs, les données » (segment 164). Selon lui, les disciplines idéales pour aborder l'IA seraient mathématiques et physique, et technologie en 6^e. Il se prononce en faveur d'un bon cadrage des programmes pour assurer un enseignement équivalent à travers la France. Aborder l'IA tôt est important selon lui, car « pour être producteur [d'IA], là il ne faut pas

rater le coche et c'est en seconde que ça se joue, donc c'est quand les élèves ils ont 14-15 ans » (Jean, segment 168).

4.3.1 Entretien n°3 : Yves, médiateur scientifique

Yves a étudié la chimie et travaillé dans le domaine de la biochimie pendant un peu plus d'une dizaine d'années. Il a travaillé en métabolomique pour une compagnie pharmaceutique et traitait des données massives de spectrométrie. C'est dans ce contexte qu'il a à l'époque découvert l'apprentissage automatique, sujet qu'il a approfondi dans un diplôme en sciences des données (*data science*) par la suite, avant d'être embauché à la MIA.

Yves évoque qu'au début de la MIA, l'équipe utilisait des ateliers communs avec l'organisme Terra Numerica. Il a commencé à développer ses propres ateliers notamment en s'inspirant d'ateliers réalisés aux États-Unis et placés sous licence *Creative Commons*. Comme Lydia, il évoque l'atelier des panneaux de signalisation avec *Google Teachable Machine* et des tablettes.

À la MIA, il évoque être passé d'une approche plutôt « descendante » à une approche plus pratique, après avoir constaté que cela convenait mieux aux collégiens et collégiennes. Il accorde une importance à l'apprentissage ludique et tente de monter ses ateliers dans cette perspective, et cherche à adapter son approche à chaque public.

Yves considère qu'il est assez simple d'expliquer de manière vulgarisée ce qu'est l'IA, mais qu'aller plus loin est toutefois très complexe étant donné tous les préalables nécessaires, surtout mathématiques. Il donne en exemple des concepts ou connaissances incontournables pour comprendre : les notions de paramètres, variables, fonctions, distribution, l'algèbre linéaire en général, l'optimisation et les équations dérivées. Lui-même, dans son parcours avant de réaliser un diplôme en data science, raconte avoir mis du temps à intégrer certains concepts :

« Avant, je faisais du machine learning sans vraiment comprendre. Enfin, pour comprendre en autodidacte, il m'a fallu quasiment un an, j'avais vraiment du mal à comprendre les training set, etc. Il y a mon frère, qui est développeur, qui a pu m'aider sur la partie programmation, architecture d'un programme et tout, je lui posais des questions. » (Yves, segment 102).

Selon lui, un apprentissage structuré et encadré de l'IA est essentiel pour des personnes qui souhaitent devenir spécialistes, étant donné qu'il est facile de créer des IA qui semblent bien fonctionner alors qu'elles sont mal calibrées ou remplies de biais. Il parle alors de « garde-fous » et compare avec les statistiques : « C'est comme en stat, si on prend mal les données, si on les gère mal, on peut faire des erreurs monstrueuses. » (Yves, segment 104). Avant ses études en data science, il « [n'était] pas armé mentalement pour savoir s'il y avait des biais, des erreurs dans [ses] données, des trucs qui n'allaient pas » (Yves, segment 104). Il aborde aussi l'éthique, notamment du point de vue de l'encadrement avec des questionnements ouverts sur l'IA et la démocratie. Pour lui, toutefois, l'éthique de l'IA pourrait constituer une discipline à part entière.

4.3.2 Entretien n°4 : Barbara, cheffe de projet numérique

Barbara est cheffe de projet numérique à la MIA depuis son ouverture en 2020. Elle est docteure en géophysique et a travaillé dans le domaine de l'informatique pendant une vingtaine d'années, plus spécifiquement en architecture d'affaires, jusqu'à son arrivée à la MIA.

Elle mentionne parmi les activités appréciées de la MIA « les démonstrateurs, les drones, etc. » (Barbara, segment 3), de même que des activités débranchées réalisées en partenariat avec Terra Numerica. Elle évoque qu'il serait difficile d'aborder l'IA sans matériel : « Dans le projet Arc-en-ciel, ce n'est pas une option, on dit à chacun que ce n'est pas magique, il faut du matériel, sans matériel, il n'y a rien. Sans processeur, sans mémoire vive, sans capteur, ça n'existe pas » (Barbara, segment 6).

Pour elle, la vulgarisation consiste à « simplifier en faisant le moins d'erreurs possible » et elle affiche une préoccupation importante pour la qualité de l'information scientifique. À cet effet, elle nomme l'importance dans le domaine de réaliser une veille technologique en continu. Elle adopte une vision inclusive de l'apprentissage, ce qui se manifeste par son implication soutenue dans des organisations pour l'égalité des genres. Ses propos traduisent aussi une préoccupation pour l'apprentissage expérientiel et actif : « à l'instar des autres disciplines, c'est de manipuler, d'expérimenter, de toucher, de se tromper, de voir concrètement ce que ça fait » (Barbara, segment 57). Selon elle, travailler de manière inclusive dans le développement de l'IA permettrait de « ne pas aller dans le mur et ne pas utiliser cette techno de manière trop risquée pour l'humanité » (Barbara, segment 58).

Barbara affiche un point de vue complexe quant à la nature de la discipline d'IA. D'une part, elle y reconnaît des affinités avec l'informatique et les mathématiques notamment en raison de son parcours (sa thèse réalisée dans les années 90 portait sur la prédiction des mouvements de sol), mais énonce que ce qui la distingue, ce sont les cas d'usage qui peuvent concerner une variété de disciplines. Elle adopte une vision large et historique de ce qu'est l'IA, référant aux hivers de l'IA et à l'époque des systèmes experts, vision qui selon elle est nécessaire pour acculturer à l'IA et à la réflexion citoyenne qu'elle souhaite inculquer. Cette définition large de l'IA la conduit à réfléchir ouvertement, au cours de l'entretien, à la place que l'IA devrait occuper à l'école :

« Il y a un an et demi, j'aurais dit [qu'on doit enseigner l'IA dans toutes les disciplines], point. Là aujourd'hui, je nuance : ce serait idéal que chaque discipline se saisisse des usages, en disant "oui il y en a partout, et ça peut être une chose très utile ou une chose potentiellement dangereuse", et en effet 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 » (Barbara, segment 129).

Elle évoque l'importance d'associer étroitement à l'enseignement de l'IA les concepts de biais ainsi que la réflexion sociétale nécessaire à l'ère de l'IA, énonçant qu'il ne s'agit absolument pas que d'un problème technique :

« On peut avoir l'impression que c'est un problème technique. C'est un problème technique, mais pas que. C'est aussi un problème énergétique, ce que ça consomme ce n'est juste pas possible, il faut vraiment travailler là-dessus. C'est un problème sociétal, parce qu'il y a énormément d'enjeux de renforcement des inégalités ne serait-ce que par l'accès. C'est technique, mais aussi de renforcer des exclusions parce qu'il y aurait des biais algorithmiques, et donc du coup des discriminations. Donc tout ça c'est important. C'est peut-être plus facile de parler de technique, et voilà... pour moi l'enjeu c'est de, à chaque fois, parler de technique, bien sûr, et aussi des enjeux sociétaux, ça veut dire philosophiques, sociaux, éthiques » (Barbara, segment 128).

Selon elle, le manque de recul par rapport à l'IA fait en sorte qu'il est difficile de savoir quoi et comment l'enseigner : « Là, je ne sais pas par quoi il faudrait commencer. » (Barbara, segment 124). Le cas d'usage devient alors un point de départ intéressant pour que les disciplines scolaires se saisissent de l'IA.

4.3.3 Entretien n°5 : Pierrot, alternant en école d'ingénieurs

Pierrot est alternant à la MIA dans le cadre d'une formation d'ingénieur. Auparavant, il avait entamé des études inachevées en médecine, puis a réalisé une licence en biologie et un master de recherche en neurosciences. Il a entamé une thèse portant sur la lecture et les capacités syntaxiques des enfants. Son rôle est de créer des ateliers de démonstration et les outils informatiques pour les supporter en collaboration avec l'équipe de médiation.

Vu son rôle à la MIA, axé sur la conception d'ateliers et des ressources qui les supportent, Pierrot aborde plusieurs ressources technologiques. Il parle notamment de l'atelier sur les drones pour lequel il a fait tout le développement informatique. Cet atelier présente un drone qui reconnaît les visages et peut suivre une personne, une fois un visage détecté. Au moment de l'entretien, Pierrot montait un atelier avec des robots *AlphaI* destiné à aborder le concept d'apprentissage par renforcement et l'apprentissage supervisé. Il associe étroitement cas d'usage, matériel, données et algorithme. Ces ressources spécialisées et adaptées à l'apprentissage de l'IA sont pour lui essentielles et beaucoup plus efficaces que des démonstrations coûteuses qui viseraient à impressionner. Par exemple, selon lui, l'utilisation du robot pédagogique de sol *Thymio* est bien plus adaptée pour aborder les voitures autonomes qu'une vraie voiture autonome notamment car il peut être manipulé par les élèves :

« Si on avait eu un vrai véhicule autonome à la MIA, je ne suis pas sûr que ça aurait eu le même impact que [lorsque l'on a utilisé] les petits robots Thymio. Parce que les petits robots Thymio, ils ont pu les manipuler dans leur globalité. Je ne suis pas sûr qu'ils auraient osé manipuler avec autant de liberté un vrai véhicule autonome qui aurait été exposé à la MIA » (Pierrot, segment 29).

Il aborde aussi l'importance des cas d'usage pour aborder le fonctionnement de l'IA : « Les cas d'usage, ils sont absolument indispensables pour que les élèves comprennent la grande richesse des cas d'usage. Et surtout tout ce qu'on peut faire avec » (segment 31). Ces cas d'usage, il les choisit spécialement en ayant en tête les intérêts des élèves tout en cherchant à les éveiller à de nouveaux usages.

Pierrot évoque l'importance d'enrichir les explications par des exemples qui rejoignent le public. Il adopte une vision constructiviste de l'apprentissage énonçant « qu'il faut mettre l'élève dans une posture où il n'est pas là à écouter ce qu'on raconte, mais qu'il puisse expérimenter » (Pierrot, segment 92). Il donne aussi un exemple qui relève de l'apprentissage expérientiel, celui des élèves qui doivent programmer un robot pour suivre une ligne à l'aide de capteurs ultra-sons, permettant une meilleure compréhension des problématiques liées aux voitures autonomes.

Pour Pierrot, les compétences en programmation sont fondamentales pour comprendre le fonctionnement de l'IA plus en profondeur. Sans le nommer, il fait référence au concept de pensée informatique : « Je vois la programmation [comme étant] plus qu'une compétence technique, comme une façon de penser, c'est-à-dire que je vois vraiment la programmation comme le prolongement de notre pensée et une manière d'interagir avec [l'informatique] » (Pierrot, segment 186). Il énonce des préalables incontournables en mathématiques, par exemple il est essentiel d'avoir appris ce qu'est une fonction pour comprendre la

rétropropagation et l'adaptation dans un réseau de neurones. Il pointe une autre difficulté tenant à l'évolution rapide du domaine et à sa complexité, arguant que lui-même qui se spécialise en IA ne comprend pas tout. Si ce devait être enseigné à l'école, il croit que l'IA devrait être une discipline à part entière. Il donne l'exemple de l'éthique de l'IA et des enjeux sociaux, qui sont indissociables selon lui, et qu'il voit mal être abordés en classe de mathématiques ou de technologie.

4.3.4 Entretien n°6 : Sophie, chargée de communications

Sophie est chargée de communications à la MIA. Après un brevet de technicien supérieur en communication et une licence en événementiel, elle a travaillé dans le domaine des assurances, ensuite comme auto-entrepreneure, avant de rejoindre la MIA. Son rôle à la MIA est de valoriser les réalisations en les communiquant, de faire connaître l'organisme et les événements, en plus de s'occuper des réseaux sociaux et publications de vulgarisation.

Parmi le matériel et les applications utilisées à la MIA, Sophie discute principalement de la *Moral Machine* et se questionne sur les conséquences de son utilisation auprès des élèves, étant donné la sensibilité des dilemmes à résoudre. À titre de chargée de communication, elle utilise une variété d'outils numériques dont les infolettres, les réseaux sociaux, des articles et différents objets promotionnels selon les événements. Ces outils ne sont pas qu'utilisés dans une perspective corporative, mais aussi pour véhiculer des messages de vulgarisation scientifique liés à l'IA.

Sophie donne un regard extérieur sur les ateliers et se montre particulièrement sensible aux représentations initiales des personnes, à la prédisposition nécessaire à l'ouverture et à l'apprentissage. Les adultes sont selon elle « un peu plus campés sur leur position » (Sophie, segment 95) que les enfants. Elle insiste sur la pertinence des cas d'usage, nomme qu'il est important d'éviter les présentations uniquement transmissives. Elle se montre sensible au vocabulaire employé en contexte de vulgarisation, affirmant que « si on ne comprend pas un mot, ça va, mais si, dans une phrase, on ne comprend pas trois mots, c'est... enfin moi, justement avec mon côté de non-experte, en ayant assisté des fois, je décrochais » (Sophie, segment 96).

Sophie évoque que les publics non experts présentent des représentations initiales associées à la fiction, aux films où on parle d'IA. Elle souligne des termes employés couramment par les experts IA et qui pourtant sont difficiles à comprendre par un public non expert comme *deep learning*. Elle note aussi le fait que plusieurs termes du domaine sont en anglais et qu'il serait pertinent de les traduire pour les personnes moins à l'aise avec l'anglais. Elle souligne aussi que la notion de biais est complexe à aborder et qu'il ne suffit pas de chercher à ce que des IA soient exemptes de biais :

« Souvent, on met l'accent : "oui, il faut que l'IA soit éthique, il ne faut pas qu'elle ait de biais". Mais en fait on est plein de biais. Donc, en fait... ce que je trouve un peu... ce qui me perturbe souvent dans ce discours qu'on a, et qui est très bien, parce que c'est sûr que... c'est bien si une IA elle n'a pas de biais, qu'elle ne va pas discriminer quelqu'un par rapport à sa couleur de peau, par rapport à sa nationalité, par rapport à son genre, mais en fait on demande à une IA d'être ce qu'on n'est pas » (Sophie, segment 200).

Quant à la discipline dans laquelle l'IA devrait être enseignée à l'école, elle se montre critique d'une approche qui l'associerait trop étroitement aux mathématiques ou à la techno, justement en raison de la variété des domaines concernés, tout en reconnaissant que « s'il

faut mettre dans une matière, je vois mal mettre l'IA dans la musique » (Sophie, segment 202).

4.4 POINTS DE CONVERGENCE ENTRE LES PARTICIPANTS DANS LES ENTRETIENS

Trois points de convergence ont été identifiés, soit l'importance du cas d'usage, l'indissociabilité des enjeux éthiques et l'importance des savoirs préalables en mathématiques pour comprendre l'IA.

4.4.1 Le cas d'usage comme amorce didactique

L'utilisation du cas d'usage a été mentionnée par cinq personnes sur six. Les personnes le présentent comme idéal pour susciter l'intérêt des élèves, en plus de garantir un ancrage dans des situations authentiques et plausibles d'utilisation de l'IA. Cela évite, selon les participants, de verser dans des usages hypothétiques de l'IA, futuristes ou carrément invraisemblables. Un travail de veille scientifique est réalisé en continu par l'équipe pour identifier des cas d'usage dans différentes disciplines. Face à des choix équivalents en termes de savoirs, l'équipe privilégie les cas d'usage susceptibles d'intéresser les élèves en veillant à les diversifier dans une perspective d'inclusion. C'est aussi par le cas d'usage que l'équipe parvient à associer étroitement fonctionnement technique des IA et enjeux éthiques, le prochain point de convergence identifié.

4.4.2 L'indissociabilité de la technique et de l'éthique

Cinq personnes sur six ont discuté des enjeux éthiques liés à l'IA et deux d'entre elles ont explicitement affirmé que la technique et l'éthique sont indissociables et doivent être traitées conjointement. Les témoignages de l'équipe de la MIA tendent à souligner que la sensibilisation aux principaux risques de l'IA comme la discrimination des personnes, les erreurs de classification et le détournement de données personnelles doit, *a minima*, reposer sur une compréhension de la nature probabiliste, et non logique, des IA contemporaines. Il semblerait que les publics scolaires, et peut-être tous les publics, ne peuvent se saisir pleinement des questions éthiques sans passer par une appropriation des méthodes qui définissent l'IA. Il pourrait aussi y avoir un pont à faire entre la littérature de l'IA et la pensée informatique (Drot-Delange *et al.*, 2019 ; Wing, 2006, 2008) tel que cela a été fait par un des participants. En ce sens, les données suggèrent que l'utilisateur critique de l'IA ne peut peut-être qu'émerger au terme d'une incursion dans la production de l'IA et ses rouages. Les élèves seraient plus à même d'identifier les besoins auxquels ces systèmes peuvent répondre de même que les risques à considérer et les mesures de mitigation.

4.4.3 Les savoirs préalables en mathématiques

De manière consensuelle, les entretiens font émerger la nécessité de préalables en mathématiques pour approfondir le fonctionnement de l'IA, et cela a été discuté plus explicitement par quatre participants sur six. Ce sont les entretiens avec Jean et Yves qui sont les plus informatifs à ce sujet, car ils évoquent précisément des connaissances mathématiques essentielles pour la compréhension de concepts d'IA en soulignant le moment où elles sont abordées dans le programme scolaire français. Parmi les savoirs mentionnés comme préalables à la compréhension de l'IA, les participants et participantes ont évoqué les notions de variable (Yves), de boucle (Pierrot), d'algèbre (Yves), de

statistique (Yves, Barbara), de probabilité (Barbara, Jean), de fonction (Yves, Pierrot), d'équation dérivée (Yves, Jean, Pierrot) et d'optimisation (Pierrot).

Malgré le fait que les participants et participantes aient tous insisté sur l'interdisciplinarité de l'IA, les exemples de préalables ou de liens avec le curriculum qu'ils ont donnés sont tous rattachés aux mathématiques ou à la technologie. Les participants ont tous été relancés plusieurs fois sur cette question, par ex. « envisagez-vous d'autres préalables ? », et aucun préalable ou lien explicite avec des disciplines des sciences sociales n'a émergé.

4.5 POINTS DE DIVERGENCE ENTRE LES PARTICIPANTS DANS LES ENTRETIENS

Trois points de divergence ont été identifiés parmi les entretiens. Le premier concerne l'importance accordée au concept de biais comme savoir fondamental. Le second concerne la ou les discipline(s) dans laquelle ou lesquelles l'IA devrait être intégrée. Le troisième concerne le niveau d'importance accordée à la capacité de devenir producteur ou productrice d'IA.

4.5.1 Des IA sans biais : pas une panacée

Cinq participants sur six ont insisté sur l'importance d'avoir des IA exemptes de biais. Une autre a plutôt insisté sur le caractère irréaliste d'un tel souhait, arguant que le raisonnement humain est lui-même basé sur une série de biais dont certains sont nuisibles, d'autres non. À cet effet, les biais sont une manière négative de nommer un simple facteur de décision, qui peut être parfois souhaitable, parfois indésirable. La raison pour laquelle les participants ont insisté sur les biais réside dans la nature probabiliste du raisonnement des systèmes d'IA contemporains. Certains ont expliqué l'importance de prendre conscience, dès la conception, des biais indésirables potentiels et de prendre action pour utiliser des données qui y seront robustes. Une participante a rappelé l'existence des systèmes experts, qui ne s'appuient pas sur un entraînement de modèles, mais plutôt sur une modélisation par des experts et expertes, paradigme dans lequel il est encore à ce jour plus simple de corriger des biais indésirables qui n'auraient pas été anticipés.

4.5.2 Différentes positions sur les disciplines où l'IA devrait être enseignée

Les participants et participantes ont exprimé des positions différentes sur les disciplines les plus à même d'intégrer des apprentissages liés à l'IA. Barbara fait aussi état de l'évolution de sa réflexion à ce sujet, hésitant entre une intégration pluridisciplinaire où « chaque discipline se chargerait des usages » et la création même d'une discipline d'IA pour aborder le domaine de l'IA, au-delà des outils contemporains et techniques d'IA probabiliste. Cela est cohérent avec sa définition élargie de l'IA : elle est la seule à affirmer explicitement l'importance de préserver des savoirs liés à l'IA symbolique. Les autres participants n'abordent pas l'IA symbolique et discutent plutôt implicitement d'IA probabiliste. Yves et Jean penchent plutôt pour une intégration en mathématiques, ce qui est sans doute à interpréter considérant leur spécialisation personnelle dans le domaine. Ce lien avec les mathématiques ne fait pas consensus. Sophie, qui reconnaît les liens avec les mathématiques, appelle toutefois à se méfier d'une réduction de l'IA aux mathématiques qui ne permettrait pas d'aborder aussi les enjeux sociaux liés à l'IA. Pierrot penche davantage pour la création d'une discipline à part entière. Ultimement, ces différentes positions sont des manifestations de l'interdisciplinarité de l'IA et des tensions entre objets et moyens d'apprentissage qui sont aussi observées en didactique de l'informatique.

4.5.3 Devenir producteur d'IA : peut-être pas un objectif pour tout le monde

Les participants et participantes ont exprimé des opinions différentes sur le niveau d'approfondissement des savoirs en IA nécessaires en s'appuyant principalement sur l'utilité de tels apprentissages. Pour Jean, il était évident que l'IA était une discipline à part entière qui requerrait une spécialisation. Tous les métiers ne sont pas également concernés par l'IA, et il traçait une ligne entre utilisateurs critiques et concepteurs d'IA. Développer des systèmes d'IA doit rester une spécialisation, notamment dans les études supérieures, pour éviter que ce soit fait par des personnes qui n'ont pas une compréhension assez fine des techniques et des enjeux. D'autres participants et participantes comme Barbara et Pierrot, sans toutefois se positionner explicitement contre cette idée, ont tout de même souligné l'importance d'apprendre de manière active en expérimentant la conception de systèmes d'IA. C'est dans cette perspective qu'était organisée la semaine intensive (stage d'été) offerte à des collégiens et collégiennes, où les personnes devaient concevoir un prototype d'outil d'IA. Le discours de Yves, notamment sur son parcours antérieur en métabolomique, laisse à penser que des compétences en IA peuvent être utiles même dans des métiers qui, a priori, n'y sont pas spécialisés. Il y aurait donc peut-être, selon notre interprétation de ses propos, des compétences en IA qui peuvent être mobilisées de manière créative dans des métiers qui ne les attendent pas nécessairement. Difficile, au vu de ces positions différentes, de statuer sur le niveau d'approfondissement et de maîtrise souhaitable des savoirs en IA.

5. DISCUSSION

5.1 UN MODELE DIDACTIQUE D'ENSEIGNEMENT-APPRENTISSAGE DE L'IA

La figure 2 introduit un modèle didactique d'enseignement-apprentissage de l'IA qui s'appuie sur les analyses précédentes et la mise en relation des catégories induites. Comme préconisé par Glaser et Strauss (1967), nous accompagnons ce modèle d'une série de propositions théoriques qui pourraient faire l'objet de validation empirique dans des études hypothético-déductives subséquentes.

Dans ce modèle, la séquence didactique est envisagée sur le temps long, soit un semestre ou une année scolaire par exemple, et à responsabilité partagée entre enseignants et enseignantes de plusieurs disciplines. Il s'agit d'un modèle qui propose une forme de décloisonnement (Legendre, 2005) tout en admettant les contraintes que pose la forme scolaire actuelle (Vincent, 1994), dont la spécialisation disciplinaire des savoirs.

Deux types de savoirs sont présents : disciplinaires, liés aux fondamentaux de l'IA et à l'informatique et étroitement liés aux dimensions techniques de la littératie de l'IA (Almatrafi *et al.*, 2024 ; Laupichler *et al.*, 2023), et multidisciplinaires, c'est-à-dire les autres savoirs qui traitent d'IA d'une manière instrumentale à d'autres disciplines (histoire, français, sport, etc.). L'analyse des données de cette étude, couplée aux tendances en recherche sur les technologies en enseignement depuis une cinquantaine d'années (Baron, 2019), amène à proposer un modèle hybride qui tient compte de l'interdisciplinarité inhérente à l'IA et plus généralement à l'informatique. L'enseignement-apprentissage de l'IA ne peut pas être pensé à l'échelle d'une seule discipline ou d'un seul groupe de spécialistes. Il ne serait pas non plus efficace s'il était cloisonné dans une nouvelle discipline dédiée, car autant les élèves que les enseignants et enseignantes resteraient sur la perception de dédoublement des savoirs par moment. Il faut donc penser l'intégration de l'IA à l'échelle du cursus, avec des savoirs fondamentaux et des savoirs liés aux autres disciplines. Pour

aborder les savoirs disciplinaires fondamentaux propres à l'IA, les cours de mathématiques apparaissent les plus appropriés étant donné que plusieurs des savoirs liés à l'IA probabiliste relèvent des mathématiques. Les cours d'informatique, lorsqu'ils sont offerts, devraient s'affairer à aborder l'IA symbolique via l'apprentissage de la programmation informatique et le développement de la pensée informatique (Wing, 2008).

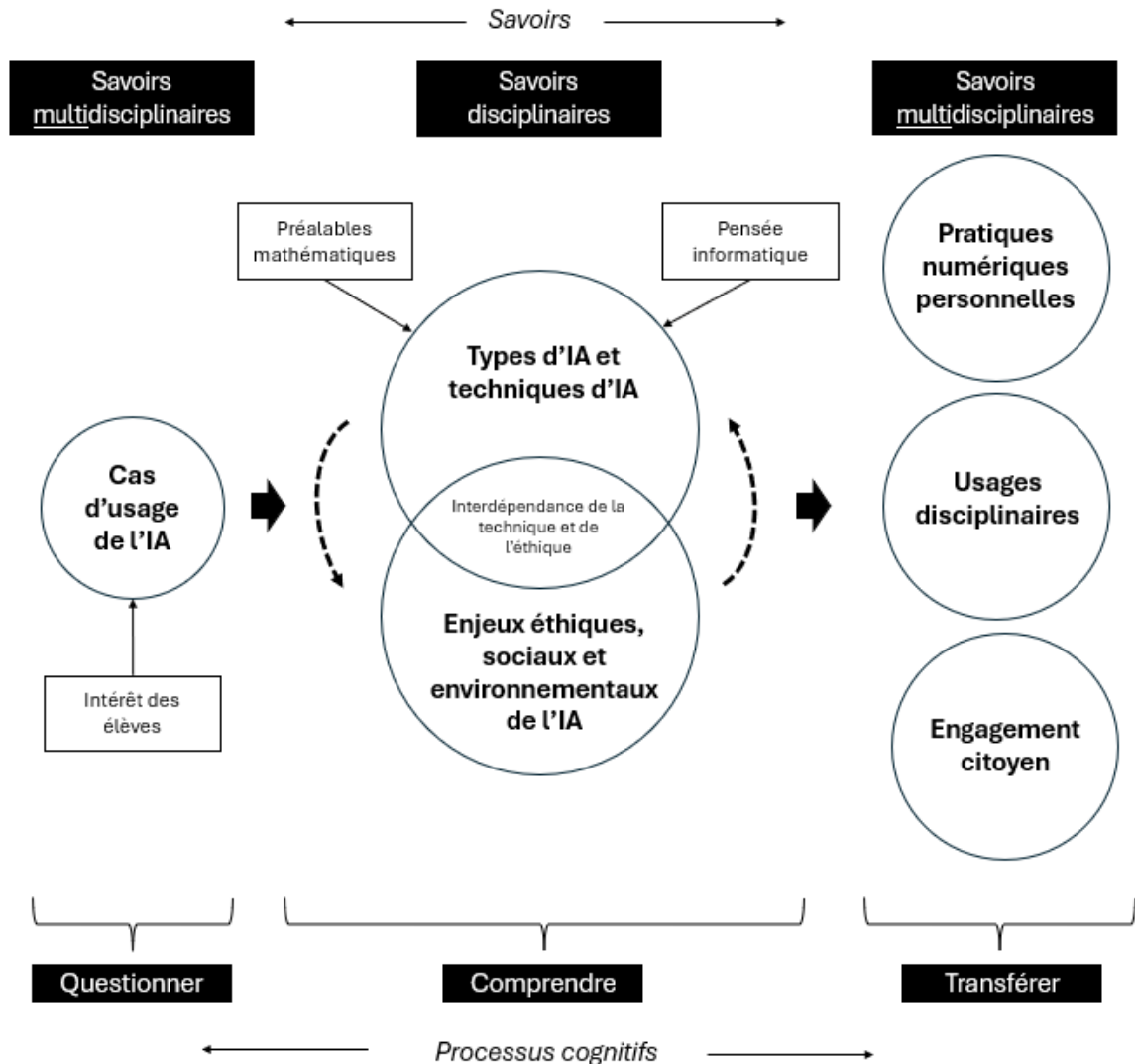


Figure 2 : Modèle didactique d'enseignement-apprentissage de l'IA

En première étape, les savoirs multidisciplinaires devraient être mobilisés pour permettre aux élèves de se questionner dans une perspective d'amorce et activation des connaissances (Houssaye, 1988), notamment sur la base de cas d'usage de l'IA en lien avec des disciplines. Ici, nous entendons le questionnement dans une perspective de modélisation des problèmes (Reiter-Palmon, 2017). Les élèves doivent être capables d'entrevoir la complexité des cas d'usage et des problèmes qu'ils posent ou auxquels ils répondent en veillant à ce qu'ils entretiennent une compréhension globale du fonctionnement. Face à des élèves peu familiers avec l'IA, ou en début d'année scolaire ou de séquence didactique, lorsque cela est possible, un effort devrait être fait pour choisir des cas d'usage susceptibles d'intéresser plus spontanément les élèves. Cette étape est importante, car elle facilite le passage à l'apprentissage des savoirs disciplinaires et fondamentaux de l'informatique.

En deuxième étape, les savoirs disciplinaires abordés en mathématiques ou en informatique peuvent prendre pour appui quelques cas d'usage, mais ne devraient pas s'éparpiller dans un grand nombre d'entre eux. Plutôt, il faut privilégier un approfondissement qui permettra de décomposer le cas, d'expérimenter sa conception, de comprendre le fonctionnement des algorithmes et du matériel qui le supportent. L'intrication de l'éthique et de la technique est une caractéristique forte qui a émergé des entretiens. À cet effet, ces deux composantes doivent être abordées de manière concomitante dans une temporalité très courte (par ex. toujours à l'échelle d'une même période de cours, avec des allers-retours fréquents entre les deux). La compétence des enseignants et enseignantes peut être un défi : est-ce aux enseignants et enseignantes de mathématiques d'aborder l'éthique, ou aux enseignants et enseignantes de philosophie d'aborder les mathématiques ? À la lumière des défis rencontrés par l'équipe de la MIA, il semble clair que l'angle devrait d'abord être celui des mathématiques (les défis à la compréhension qu'ils ont mentionnés se situent principalement à ce niveau et on ne saurait les occulter), pour autant que les enseignants et enseignantes de mathématiques soient formés aux enjeux éthiques de l'IA. La collaboration étroite avec des enseignants et enseignantes de philosophie devrait être envisagée. En plus, ces derniers devraient, comme les autres, se saisir des cas d'usage en début et fin de séquence.

L'apprentissage des savoirs disciplinaires en IA ne devrait pas être la fin de la séquence. Les propos des participants (principalement de Yves) amènent à considérer la difficulté que peut représenter le transfert à d'autres situations notamment dans d'autres disciplines. En troisième étape, un retour vers les cas d'usage devrait être fait, idéalement les mêmes que ceux abordés en amorce (usages disciplinaires), mais avec une complexification des attentes. L'engagement citoyen, dans le schéma, réfère à la capacité de l'élève d'analyser la pertinence, la faisabilité et les enjeux éthiques des cas d'usage proposés. On qualifie cet engagement de citoyen ayant en tête le débat public sur l'IA. Au-delà du devoir d'analyse, dans une perspective de pensée critique (Panissal et Bernard, 2021), il ne devrait pas être exigé des élèves de prendre des positions fermes, la nuance devrait même être encouragée vu la complexité des phénomènes. En plus de cette capacité d'analyse, les élèves devraient être amenés à considérer leurs pratiques numériques personnelles comme des occurrences qui partagent certaines caractéristiques des cas d'usage qui leur ont été présentés. C'est là un transfert des apprentissages (Tardif, 1999) ou, dans une approche par compétences, une nouvelle situation issue de la même famille de situations (Gagnon, 2008). Cela pourrait contribuer à réduire la fracture de l'IA telle que définie par Carter *et al.* (2020). Ils doivent eux-mêmes devenir capables d'identifier les enjeux éthiques et formuler des hypothèses sur le fonctionnement technique, tout en associant les deux (enjeux éthiques et techniques). Finalement, de manière instrumentale, les usages disciplinaires de l'IA (incluant les usages scolaires) devraient être approfondis en fin de séquence.

5.2 LIMITES

Le modèle proposé s'appuie sur des pratiques de médiation scientifique et non sur des pratiques d'enseignement. Le contexte scolaire a toutefois été pris en compte dans les entretiens en questionnant explicitement les médiateurs et médiatrices scientifiques sur les liens qu'ils établissaient avec les disciplines scolaires. L'approche inductive a permis de générer un modèle théorique, mais celui-ci devrait à présent être éprouvé empiriquement afin de tester sa robustesse et sa pertinence pour l'intégration de l'IA dans les programmes scolaires. Finalement, l'étude a été réalisée à l'été 2022, ce qui fait en sorte que les propos des participants et participantes ne prenaient pas en compte l'adoption massive et rapide de l'IA par le grand public. Elle demeure pertinente considérant que les grands modèles de

langage étaient déjà abordés à la MIA à ce moment, et que les enjeux restent sensiblement les mêmes à ce jour. Elle voit même sa pertinence accrue considérant le besoin croissant d'enseigner et apprendre l'IA.

6. CONCLUSION

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à la manière dont la MIA en France initie des collégiens et collégiennes à l'IA depuis 2020. Plus spécifiquement, nous avons observé des activités de médiation scientifique auprès de différents publics et des activités réalisées directement dans des collèges. Des entretiens ont été réalisés avec l'équipe de médiation scientifique portant sur les méthodes pédagogiques, les défis didactiques liés à l'IA et l'intégration de l'IA dans les programmes scolaires. Les principaux résultats tiennent à l'indissociabilité des questions techniques et éthiques : les premières sont essentielles pour mesurer la portée des secondes. Sur la base d'une analyse inductive, un modèle didactique pour l'enseignement et l'apprentissage de l'IA a été proposé pour surmonter les défis liés à l'interdisciplinarité, aux savoirs préalables et aux enjeux sociaux et éthiques de l'IA. La prochaine étape est la confrontation de ce modèle dans différents contextes scolaires.

Les résultats de cette recherche présentent des implications importantes pour l'intégration de l'IA dans le système éducatif français et ailleurs dans le monde. Le modèle proposé peut s'articuler avec le *Cadre de référence des compétences numériques* (CRCN) en mobilisant les dimensions liées à l'environnement numérique, à la protection et à la résolution de problèmes. Il s'inscrit aussi en cohérence avec les finalités des programmes du ministère de l'Éducation nationale et de la Jeunesse (MENJ) en mathématiques, en technologie et en éducation aux médias et à l'information, qui visent à développer la pensée algorithmique, les compétences en traitement de données et l'esprit critique face aux usages numériques. Le rapport Villani (2018) soulignait déjà la nécessité d'acculturer les élèves à l'IA dès le secondaire ; le modèle proposé dans cet article répond à cet appel en proposant une entrée par les cas d'usage et en liant apprentissages techniques et enjeux éthiques. En ce sens, il peut aussi alimenter les ressources pédagogiques proposées par Eduscol, le Centre national d'enseignement à distance ou Canopé. Toutefois, la mise en œuvre d'un tel modèle suppose une formation renforcée des enseignants et enseignantes, or plusieurs travaux (par ex. du Conseil national d'évaluation du système scolaire) ont mis en lumière le manque de préparation initiale des enseignants et enseignantes français aux usages pédagogiques de l'IA et des outils numériques complexes. La diffusion d'un tel modèle suppose donc un accompagnement professionnel structuré et pluridisciplinaire auprès des différents acteurs du système éducatif. Les implications de cette recherche, bien que centrée sur le contexte français, s'étendent au-delà des frontières et peuvent également éclairer les débats et initiatives similaires dans d'autres systèmes éducatifs.

7. REMERCIEMENTS

L'équipe de recherche tient à remercier le personnel de la Maison de l'intelligence artificielle de l'été 2022 pour la participation à cette recherche. Projet réalisé grâce à un financement Mitacs Canada pour projet de recherche à l'étranger, approuvé par le comité éthique de l'Université de Montréal (no CEREP-22-005-D).

RÉFÉRENCES

- AI Singapore. (2017). *AI Singapore*. <https://aisingapore.org/>
- Almatrafi, O., Johri, A. et Lee, H. (2024). A systematic review of AI literacy conceptualization, constructs, and implementation and assessment efforts (2019–2023). *Computers and Education Open*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100173>
- Arsac, J. (1989). *La didactique de l'informatique : un problème ouvert ?* https://www.epi.asso.fr/fic_pdf/dossiers/d07p009.pdf
- Baron, G.-L. (2019). Les technologies dans l'enseignement scolaire : regard rétrospectif et perspectives. *Les Sciences de l'éducation - Pour l'Ère nouvelle*, 52(1), 103-122. <https://doi.org/10.3917/lsdle.521.0103>
- Baron, G.-L. et Bruillard, É. (2001). Une didactique de l'informatique ? *Revue française de pédagogie*, 135(1), 163-172. <https://doi.org/10.3406/rfp.2001.2813>
- 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>
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 7(2), 33-115.
- Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., ... Amodei, D. (2020). *Language Models are Few-Shot Learners*. arXiv:2005.14165. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165>
- 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>
- Carter, L., Liu, D. et Cantrell, C. (2020). Exploring the Intersection of the Digital Divide and Artificial Intelligence: A Hermeneutic Literature Review. *AIS Transactions on Human-Computer Interaction*, 12(4), 253-275. <https://doi.org/10.17705/1thci.00138>
- Computer science teachers association. (2020). *AIK412 - Sparking curiosity*. AI4K12. <https://ai4k12.org/>
- Cuban, L. (1986). *Teachers and Machines*. Teachers College Press.
- Develay, M. (2000). À propos des savoirs scolaires. *Diversité*, 123(1), 28-37.
- Dowek, G. (2011, octobre). Les quatre concepts de l'informatique. Dans *Sciences et technologies de l'information et de la communication en milieu éducatif : Analyse de pratiques et enjeux didactiques* (p. 21-30). New Technologies Editions.
- Drot-Delange, B. et Fluckiger, C. (2022). Chapitre 8. Dialogue sur la didactique de l'informatique. Dans É. Delamotte (dir.), *Recherches francophones sur les éducations aux médias, à l'information et au numérique: Points de vue et dialogues* (p. 216-235). Presses de l'enssib. <https://doi.org/10.4000/books.pressesenssib.17040>
- Drot-Delange, B., Pellet, J.-P., Delmas-Rigoutsos, Y. et Bruillard, R. (2019). Pensée informatique : points de vue contrastés. *Sciences et technologies de l'information et*

- de la Communication pour l'éducation et la formation, 26, 39-61.
<https://doi.org/10.23709/STICEF.26.1.1>
- Ellul, J. (1977). *Le système technicien*. Calmann-Levy.
- Gagnon, M. (2008). La question des compétences transversales en éducation : de la métaphore du transfert à celle de la mobilisation. *Education-Formation*, e, 288, 25-35.
- Gauthier, S. (2025). *Un logiciel d'analyse qualitative développé pour et par la communauté de recherche*. Université de Sherbrooke.
<https://www.usherbrooke.ca/actualites/nouvelles/details/54194>
- Glaser, B. G. et Strauss, A. L. (1967). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. Aldine.
- Houssaye, J. (1988). *Le triangle pédagogique*. Peter Lang.
- Kim, K., Kwon, K., Ottenbreit-Leftwich, A., Bae, H. et Glazewski, K. (2023). Exploring middle school students' common naive conceptions of Artificial Intelligence concepts, and the evolution of these ideas. *Education and Information Technologies*, 28(8), 9827-9854. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11600-3>
- Kim, S., Jang, Y., Kim, W., Choi, S., Jung, H., Kim, S. et Kim, H. (2021). Why and What to Teach: AI Curriculum for Elementary School. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 35(17), 15569-15576.
<https://doi.org/10.1609/aaai.v35i17.17833>
- Knoth, N., Tolzin, A., Janson, A. et Leimeister, J. M. (2024). AI literacy and its implications for prompt engineering strategies. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100225>
- Laupichler, M. C., Aster, A., Haverkamp, N. et Raupach, T. (2023). Development of the "Scale for the assessment of non-experts' AI literacy" – An exploratory factor analysis. *Computers in Human Behavior Reports*, 12, 100338.
<https://doi.org/10.1016/j.chbr.2023.100338>
- Legendre, R. (2005). *Dictionnaire actuel de l'éducation*. Guérin.
- Long, D. et Magerko, B. (2020). What is AI Literacy? Competencies and Design Considerations. Dans *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. 1-16). ACM. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376727>
- Maleki, N., Padmanabhan, B. et Dutta, K. (2024). AI Hallucinations: A Misnomer Worth Clarifying. Dans *2024 IEEE Conference on Artificial Intelligence (CAI)* (p. 133-138). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CAI59869.2024.00033>
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N. et Shannon, C. E. (1955). *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence* [proposition de recherche]. Dartmouth College.
- Michelot, F. et Lepage, A. (2025). Apprivoiser l'IA en enseignement postsecondaire : perspectives croisées des apprenants et apprenantes et du personnel enseignant au Nouveau-Brunswick. *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 22(1). <https://doi.org/10.18162/ritpu-2025-v22n1-12>
- Ministère de l'Éducation du Québec. (2024). *L'utilisation pédagogique, éthique et légale de l'intelligence artificielle générative – Guide destiné au personnel enseignant – 2024-*

2025. <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/education/Numerique/Guide-utilisation-pedagogique-ethique-legale-IA-personnel-enseignant.pdf>
- Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. (2025). *L'IA en éducation - cadre d'usage*. <https://www.education.gouv.fr/cadre-d-usage-de-l-ia-en-education-450647>
- Minsky, M. (1991). Logical Versus Analogical or Symbolic Versus Connectionist or Neat Versus Scruffy. *AI Magazine*, 12(2), 34-51.
- Morin, V. (2025). *L'intelligence artificielle à l'école, une révolution déjà en marche*. Le Monde. https://www.lemonde.fr/societe/article/2025/02/08/l-intelligence-artificielle-a-l-ecole-une-revolution-deja-en-marche_6537457_3224.html
- Naffi, N. (2024). *Deepfakes: How to empower youth to fight the threat of misinformation and disinformation*. The Conversation. <https://theconversation.com/deepfakes-how-to-empower-youth-to-fight-the-threat-of-misinformation-and-disinformation-221171>
- Ng, D. T. K., Lee, M., Tan, R. J. Y., Hu, X., Downie, J. S. et Chu, S. K. W. (2023). A review of AI teaching and learning from 2000 to 2020. *Education and Information Technologies*, 28(7), 8445-8501. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11491-w>
- Organisation de coopération et de développement économiques. (2025). *Empowering learners for the age of AI: An AI literacy framework for primary and secondary education (Review draft)*. <https://ailiteracyframework.org>
- Paillé, P. (1994). L'analyse par théorisation ancrée. *Cahiers de recherche sociologique*, 23, 147-181. <https://doi.org/10.7202/1002253ar>
- Panissal, N. et Bernard, M.-C. (2021). La formation de la pensée critique revisitée par l'approche historico-culturelle. *Revue internationale du CRIRES : innover dans la tradition de Vygotsky*, 5(1). <https://doi.org/10.51657/ric.v5i1.41067>
- Paun, E. (2006). Transposition didactique : un processus de construction du savoir scolaire: *Carrefours de l'éducation*, 22(2), 3-13. <https://doi.org/10.3917/cdle.022.0003>
- Planque, J.-C. (2025). *"Les fondements de l'intelligence artificielle doivent être enseignés aux étudiants de toutes les filières, dès la première année"*. Le Monde. https://www.lemonde.fr/idees/article/2025/03/24/les-fondements-de-l-intelligence-artificielle-doivent-etre-enseignes-aux-etudiants-de-toutes-les-filieres-des-la-premiere-annee_6585580_3232.html
- Popenici, S. A. D. et Kerr, S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 12(22), 1-13.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Armand Collin.
- Reiter-Palmon, R. (2017). The Role of Problem Construction in Creative Production. *The Journal of Creative Behavior*, 51(4), 323-326. <https://doi.org/10.1002/jocb.202>
- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I. et Lahanier-Reuter, D. (2013). Modèle didactique. Dans *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques* (p. 135-138). De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.reute.2013.01.0135>

- Sosa-Díaz, M.-J. et Valverde-Berrocso, J. (2022). Grounded Theory as a Research Methodology in Educational Technology. *International Journal of Qualitative Methods*, 21, 16094069221133228. <https://doi.org/10.1177/16094069221133228>
- St-Arnaud, Y., Mandeville, L. et Bellemare, C. (2002). La praxéologie. *Interactions*, 6(1), 29-48.
- Su, J., Zhong, Y. et Ng, D. T. K. (2022). A meta-review of literature on educational approaches for teaching AI at the K-12 levels in the Asia-Pacific region. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100065>
- Tardif, J. (1999). *Le transfert des apprentissages*. Les Éditions Logiques.
- Taylor, R. P. (1980). *The computer in the school: tool, tutor, tutee*. Teachers College Press.
- UNESCO. (2024). *AI competency framework for students*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/JKJB9835>
- UNESCO. (2025). *Référentiel de compétences en IA pour les apprenants*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/nxry6511>
- Villani, C. (2018). *Donner un sens à l'intelligence artificielle : pour une stratégie nationale et européenne*. <https://www.vie-publique.fr/rapport/37225-donner-un-sens-lintelligence-artificielle-pour-une-strategie-nation>
- Vincent, G. (1994). *L'Éducation prisonnière de la forme scolaire?* Presses universitaires de Lyon.
- Wang, P. (2019). On Defining Artificial Intelligence. *Journal of Artificial General Intelligence*, 10(2), 1-37. <https://doi.org/10.2478/jagi-2019-0002>
- Wing, J. M. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Wing, J. M. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A - Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 366(July), 3717-3725. <https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0118>
- Yi, Y. (2021). Establishing the concept of AI literacy: Focusing on competence and purpose. *JAHR*, 12(2), 353-368. <https://doi.org/10.21860/j.12.2.8>