

PRISME : penser et relier les espaces de travail à l'ère de l'intelligence artificielle

Analyser la reconfiguration du travail mathématique médié par l'intelligence artificielle

Dominique Laval

ISFEC IDF & CY Cergy Paris Université, France ; dominique.laval@cyu.fr

L'essor des systèmes d'intelligence artificielle générative transforme les conditions dans lesquelles se déploie le travail mathématique en classe, en formation et plus largement dans les environnements éducatifs instrumentés. Cet article présente le protocole PRISME comme un dispositif de recherche-formation destiné à analyser ces transformations à partir d'un noyau théorique centré sur les Espaces de Travail Mathématique, Algorithmique et Connectés. L'hypothèse directrice est que l'introduction de systèmes algorithmiques ne modifie pas seulement la production de réponses, mais reconfigure le contrôle épistémique du travail mathématique en déplaçant l'activité vers la sélection, l'interprétation, la justification et la validation. L'article explicite le cadre analytique retenu, les types de données mobilisés et les unités d'analyse privilégiées, puis discute, à partir de situations contrastées, les déplacements observables entre production, médiation instrumentale et responsabilité intellectuelle. PRISME est ainsi présenté comme un cadre permettant de penser didactiquement les effets de l'IA sur le travail mathématique, sans réduire ces effets à une question d'efficacité technique.

Mots-clés : Travail mathématique ; intelligence artificielle ; contrôle épistémique ; didactique des mathématiques ; espaces de travail ; recherche-formation

1. Introduction

La présente contribution s'inscrit dans le prolongement des travaux présentés sous forme de poster lors des Quatrièmes Journées d'Étude du Travail Mathématique. Elle prend pour objet les transformations du travail mathématique dans des environnements désormais marqués par la diffusion de systèmes d'intelligence artificielle capables de calculer, de reformuler, d'expliquer ou de générer des procédures. Penser et relier les espaces de travail signifie ici analyser les circulations entre Espaces de Travail Mathématique, Algorithmique et Connectés lorsque des systèmes d'intelligence artificielle interviennent dans la production, l'explicitation ou la validation de procédures. L'enjeu n'est pas seulement technique. Il porte sur la manière dont ces systèmes modifient les rapports aux tâches, aux savoirs, aux formes de raisonnement et aux critères de validation mobilisés dans l'activité mathématique. Cette évolution ne peut donc être comprise ni comme un simple changement d'outillage, ni comme une amélioration instrumentale des performances. Elle appelle une analyse didactique, épistémique et institutionnelle du travail mathématique médié par l'IA.

Dans ce contexte, une question apparaît centrale : que devient le travail mathématique lorsque des systèmes algorithmiques interviennent dans la production, l'explicitation ou la validation de procédures ? Poser cette question revient à déplacer l'attention de l'outil vers l'activité. Ce qui importe n'est pas seulement ce que l'IA produit, mais ce qu'elle reconfigure dans le travail

du sujet, dans les gestes professionnels de l'enseignant et dans les formes de contrôle exercées sur les savoirs. L'hypothèse défendue ici est que l'intégration de tels systèmes tend à redistribuer le contrôle épistémique de l'activité mathématique. Le centre de gravité du travail se déplace alors de la seule production procédurale vers la sélection, l'interprétation, la justification et la validation.

Pour analyser cette redistribution, l'article s'appuie sur le protocole PRISME¹, conçu comme un dispositif de recherche-formation inscrit dans la durée. Il ne s'agit pas d'ajouter un cadre théorique supplémentaire, mais d'organiser l'articulation entre plusieurs outils d'analyse autour d'un objet commun : les reconfigurations du travail mathématique dans des environnements instrumentés. Dans cette perspective, les Espaces de Travail Mathématique, Algorithmique et Connectés constituent le noyau central du dispositif, tandis que la genèse instrumentale et le contrôle épistémique jouent un rôle de notions organisatrices. Le protocole vise ainsi à décrire les médiations instrumentées, les déplacements de statut des techniques, les circulations entre espaces de travail et les formes de responsabilité intellectuelle qui apparaissent lorsque des réponses ou des reformulations sont produites par un système artificiel.

L'article s'organise en plusieurs sections. Il précise d'abord le noyau théorique retenu pour penser le travail mathématique médié par l'IA. Il présente ensuite PRISME comme dispositif de recherche-formation et en explicite le cadre d'opérationnalisation empirique, en particulier les types de données recueillies et les unités d'analyse mobilisées. Il examine ensuite trois situations, de statuts distincts, afin de montrer comment l'introduction d'un système d'IA peut reconfigurer les rapports entre sujet, instrument et institution dans l'activité mathématique. Une discussion finale en dégage la portée et les limites, en montrant que l'intérêt didactique de l'IA ne réside pas d'abord dans l'automatisation des réponses, mais dans les formes de médiation et de contrôle qu'elle rend visibles.

2. Problématique et noyau théorique

Les transformations actuelles du travail mathématique sous l'effet des environnements numériques et des systèmes d'intelligence artificielle ne peuvent être réduites à l'apparition de nouveaux outils. Elles affectent plus profondément les formes de l'activité, les rapports aux techniques, les modalités de raisonnement et les critères de validation mobilisés dans les situations d'enseignement et de formation. Dans cette perspective, l'enjeu théorique n'est pas d'ajouter des cadres hétérogènes, mais d'organiser leur articulation autour d'un objet commun : la reconfiguration du travail mathématique dans des environnements instrumentés, connectés et partiellement automatisés.

Le choix retenu ici consiste donc à expliciter un noyau théorique resserré. Celui-ci repose d'abord sur les Espaces de Travail Mathématique, Algorithmique et Connectés, qui constituent le centre opératoire du dispositif analytique. Il mobilise ensuite, à titre complémentaire, la Théorie Anthropologique du Didactique et la Théorie des Situations Didactiques, non comme cadres concurrents, mais comme instruments d'analyse ciblés de certains phénomènes. Enfin,

¹ PRISME signifie « Pédagogie – Recherche – Innovation – Savoirs – Mathématiques – Éducation »

deux notions assurent la cohérence de l'ensemble : la genèse instrumentale et le contrôle épistémique. Ce sont elles qui permettent de penser ensemble les médiations techniques, les déplacements du travail mathématique et les conditions de validité des savoirs produits.

2.1 Les Espaces de Travail comme centre opératoire de l'analyse

Les Espaces de Travail Mathématique (ETM) offrent un premier ancrage pour penser le travail mathématique comme une activité articulant registres de représentation, instruments, discours et contrôles (Kuzniak, 2011 ; Kuzniak & Richard, 2014). Ils permettent de décrire la manière dont un sujet coordonne différents éléments pour résoudre une tâche, en tenant compte à la fois des ressources mobilisées et des contraintes institutionnelles. Dans le cadre de cet article, les ETM ne sont pas mobilisés comme un simple arrière-plan théorique, mais comme un cadre permettant d'analyser les recompositions du travail mathématique lorsque des systèmes techniques interviennent dans la production, la reformulation ou l'examen des procédures.

Les Espaces de Travail Algorithmique (ETA) prolongent cette approche en intégrant explicitement les traitements formalisés, les procédures programmées, les simulations et, plus largement, les dimensions algorithmiques de l'activité mathématique (Laval, 2018). Ils permettent d'interroger ce qui se déplace lorsque certaines opérations, autrefois assumées par le sujet, sont prises en charge par un artefact computationnel. Dans un contexte d'IA générative, cette question devient particulièrement importante : les systèmes ne se limitent plus à exécuter des procédures prescrites, mais peuvent produire des formulations, proposer des chemins de résolution, voire générer des raisonnements rédigés. Les ETA permettent alors d'analyser non seulement l'externalisation de certaines opérations, mais aussi la redistribution des fonctions d'interprétation, de contrôle et de validation qui en résulte.

Les Espaces de Travail Connectés (ETC) complètent cet ensemble en rendant compte de l'inscription de l'activité mathématique dans des environnements numériques où circulent des productions d'élèves, des supports, des consignes, des traces et désormais des objets symboliques générés ou transformés par des systèmes techniques (Minh & Lagrange, 2016 ; Lagrange & Laval, 2019 ; Laval, 2021). Les ETC permettent ainsi de penser l'élargissement de l'espace didactique au-delà de l'interaction directe entre élève et enseignant. Ils sont particulièrement utiles pour décrire les circulations entre ressources, acteurs et médiations dans des situations où les réponses, reformulations ou suggestions ne proviennent plus exclusivement de l'institution scolaire au sens traditionnel, mais d'artefacts numériques intégrés à l'activité.

Ainsi articulés, ETM, ETA et ETC constituent le noyau théorique principal de l'article. Ils permettent de décrire les recompositions du travail mathématique liées à l'instrumentation numérique, algorithmique et connectée, sans dissoudre l'activité dans une approche purement technologique.

2.2 TAD et TSD comme cadres complémentaires d'analyse didactique

Dans cette architecture, la Théorie Anthropologique du Didactique (TAD) et la Théorie des Situations Didactiques (TSD) interviennent comme cadres complémentaires. Leur fonction n'est pas de doubler l'analyse proposée par les Espaces de Travail, mais d'éclairer plus

précisément certains phénomènes didactiques qui apparaissent dans les situations instrumentées.

La TAD permet en particulier d'interroger les déplacements de statut des techniques (Chevallard, 1999, 2007). Lorsque certaines procédures deviennent rapidement automatisables ou aisément reformulables par un système d'IA, la question n'est plus seulement celle de leur exécution, mais celle de leur statut dans l'activité mathématique et dans l'institution scolaire. Une technique peut ainsi passer d'un rôle de production à un rôle de contrôle, de vérification ou de discussion. La TAD est ici précieuse pour décrire ces déplacements et pour analyser leurs effets sur les rapports aux savoirs.

La TSD, de son côté, permet d'éclairer les transformations des rétroactions, des régulations et des formes d'institutionnalisation dans des situations où le milieu comprend des artefacts capables de produire des formulations, des aides ou des solutions partielles (Brousseau, 1998). Dans un tel contexte, les équilibres entre élève, enseignant et milieu se trouvent reconfigurés. L'intérêt de la TSD n'est donc pas ici de refonder l'ensemble du cadre, mais d'apporter des outils d'analyse pour penser les conditions de dévolution, les formes de régulation et les modalités selon lesquelles un savoir est ou non repris, discuté et reconnu dans l'institution.

La hiérarchie retenue est donc la suivante : les Espaces de Travail constituent le cadre principal de description des recompositions du travail mathématique ; la TAD et la TSD interviennent comme cadres d'appui pour analyser certains déplacements didactiques plus localisés.

2.3 Genèse instrumentale et contrôle épistémique comme notions de convergence

La cohérence de ce noyau théorique repose enfin sur deux notions de convergence : la genèse instrumentale et le contrôle épistémique. Leur rôle est central, car elles permettent de passer de la simple description des outils ou des cadres à l'analyse de ce qui se transforme effectivement dans le travail mathématique.

La première notion est celle de genèse instrumentale. Dans un environnement marqué par la diffusion de systèmes d'IA capables de produire calculs, reformulations ou raisonnements rédigés, la simple disponibilité d'un artefact ne suffit pas à en faire un instrument du travail mathématique. Encore faut-il que le sujet construise des schèmes d'utilisation lui permettant de l'intégrer à son activité, de l'interroger, de le détourner éventuellement, et d'en faire un appui pour son propre raisonnement (Rabardel, 1995).

La seconde notion est celle de contrôle épistémique. Elle désigne ici les modalités selon lesquelles les savoirs produits, reformulés ou mobilisés dans une situation sont examinés, justifiés, validés et reconnus comme pertinents. Lorsque des réponses ou des procédures sont générées par un système technique, la question décisive n'est pas seulement celle de leur exactitude immédiate, mais celle de leur statut : qui les contrôle, selon quels critères, et dans quelle relation à l'institution scolaire ?

Ces deux notions ne sont pas ajoutées de l'extérieur aux cadres précédents. Elles en assurent la cohérence. La genèse instrumentale permet de décrire les conditions d'appropriation des artefacts. Le contrôle épistémique permet d'analyser les conditions de validité, de justification et d'institutionnalisation des savoirs dans des environnements médiés. Ensemble, elles

permettent de penser ce que l'introduction a posé comme hypothèse centrale : l'intégration de systèmes d'IA déplace le centre de gravité du travail mathématique de la seule production procédurale vers des activités de sélection, d'interprétation, de justification et de validation.

2.4 Un éclairage cognitif complémentaire

Les apports des sciences cognitives peuvent être mobilisés à titre complémentaire pour préciser certains effets possibles de ces médiations sur l'activité des sujets. Les travaux de Diamond (2013) sur les fonctions exécutives, ceux de Houdé (2014) sur le contrôle inhibiteur et ceux de Fayol et Houdé (2014) sur les apprentissages permettent d'éclairer les exigences cognitives associées à la sélection, à la mise à distance critique et à la régulation des procédures. Toutefois, dans le cadre du présent article, cet éclairage reste secondaire. Il ne constitue pas un second noyau théorique autonome, mais un appui ponctuel pour interpréter certaines tensions observables dans les situations analysées.

En ce sens, le noyau théorique retenu ne vise ni l'exhaustivité ni la synthèse générale de tous les cadres disponibles. Il cherche plutôt à construire un espace d'analyse suffisamment structuré pour décrire les reconfigurations du travail mathématique dans des environnements instrumentés par l'IA. C'est à partir de ce noyau, et non d'une simple juxtaposition de références, que le protocole PRISME peut ensuite être présenté comme dispositif de recherche-formation et être mis à l'épreuve de situations effectives.

3. PRISME comme dispositif de recherche-formation

Après avoir précisé le noyau théorique retenu pour analyser les reconfigurations du travail mathématique dans des environnements instrumentés par l'intelligence artificielle, il convient désormais de présenter PRISME comme un dispositif effectif de recherche-formation. L'enjeu de cette section n'est plus seulement de situer le protocole dans un espace conceptuel, mais de montrer comment il organise concrètement la rencontre entre cadres théoriques, pratiques d'enseignement, formation des acteurs et production de connaissances. Dans cette perspective, PRISME ne se réduit ni à un programme d'innovation pédagogique, ni à une recherche menée en extériorité par rapport au terrain. Il se définit comme un dispositif dans lequel la recherche, la formation et l'expérimentation se structurent mutuellement autour d'un même objet : l'analyse du travail mathématique médié par l'IA.

3.1 Un protocole inscrit dans une temporalité longue

Le protocole PRISME est conçu sur une durée de trois années. Cela permet d'observer des évolutions de pratiques, de stabiliser progressivement certains dispositifs, d'ajuster les cadres d'intervention et de mettre à l'épreuve les hypothèses formulées dans des contextes variés. Dans un domaine marqué par l'évolution rapide des usages numériques et des systèmes d'IA, une telle durée est essentielle pour éviter les lectures immédiatistes ou strictement impressionnistes. Elle autorise des allers-retours itératifs entre expérimentation, observation, analyse et reformulation, qui donnent au protocole une cohérence progressive plutôt qu'un caractère ponctuel.

Cette inscription dans la durée implique également de considérer PRISME comme un protocole évolutif. Il ne s'agit pas d'appliquer un modèle figé à des terrains divers, mais de construire

progressivement un espace de recherche-formation capable d'intégrer les retours du terrain, les ajustements théoriques et les transformations des pratiques observées. La robustesse du protocole ne tient donc pas à la rigidité d'un schéma initial, mais à sa capacité à organiser des révisions successives sans perdre son noyau analytique. En ce sens, PRISME se distingue d'une expérimentation brève centrée sur l'évaluation d'un outil ou d'un usage isolé. Il cherche à décrire des recompositions durables du travail mathématique et des pratiques de formation dans des environnements instrumentés.

3.2 Des acteurs et des terrains articulés

Le protocole s'appuie sur un réseau d'écoles primaires et de collèges engagés volontairement dans la démarche. L'intérêt d'un tel réseau est double. D'une part, il permet de croiser des situations d'enseignement variées, tant du point de vue des niveaux scolaires que des contenus mathématiques travaillés. D'autre part, il donne au protocole une assise empirique qui ne repose pas sur un terrain unique ou sur une situation exemplaire isolée. Les établissements partenaires ne constituent pas seulement des lieux d'expérimentation. Ils forment également des espaces de réflexion collective sur les pratiques, les médiations techniques et les conditions d'intégration raisonnée des outils numériques et de l'intelligence artificielle dans l'enseignement des mathématiques.

Le pilotage institutionnel du protocole est assuré par ISFEC² Île-de-France, en articulation avec deux chercheurs universitaires, l'un en didactique des mathématiques et l'autre en sociologie. Une telle organisation permet d'inscrire PRISME dans un espace intermédiaire entre terrain, formation et recherche. Elle vise à garantir à la fois la rigueur scientifique du dispositif et son ancrage dans des logiques de formation initiale et continue. Les chercheurs assurent la cohérence théorique du protocole, contribuent à l'analyse des données et à la formalisation des résultats. Les formateurs jouent quant à eux un rôle central dans l'animation des temps de travail, la médiation entre cadres théoriques et situations vécues, ainsi que dans l'accompagnement des enseignants engagés dans le protocole.

L'un des intérêts majeurs de cette organisation tient à l'articulation entre plusieurs catégories d'acteurs : enseignants, formateurs, chercheurs et institutions. Chacun intervient depuis une position spécifique, avec des préoccupations distinctes, mais à l'intérieur d'un même cadre de travail. Cette pluralité n'est pas un simple contexte, elle constitue une dimension de l'objet même, puisque l'analyse du travail mathématique médié par l'IA suppose précisément de prendre en compte les médiations institutionnelles, professionnelles et didactiques dans lesquelles il s'inscrit. La structure du protocole permet ainsi de faire dialoguer des points de vue différents sur les mêmes situations, ce qui renforce la portée analytique des observations recueillies et évite une lecture strictement individuelle des phénomènes étudiés.

3.3 Une dynamique articulant expérimentation, analyse et formalisation

Le fonctionnement de PRISME repose sur une alternance structurée entre trois types de phases : expérimentation, analyse et formalisation. Les phases d'expérimentation correspondent à la

² ISFEC signifie « Institut Supérieur de Formation de l'Enseignement Catholique »

mise en œuvre, en classe ou en formation, de situations intégrant des outils numériques ou des dispositifs d'intelligence artificielle conçus à partir des cadres théoriques mobilisés. Leur objectif n'est pas de tester des outils de manière isolée, mais d'observer les transformations du travail mathématique qu'ils induisent, du point de vue des élèves comme de celui des enseignants. Cette précision est décisive, car elle distingue PRISME d'une logique d'évaluation techniciste centrée sur l'efficacité intrinsèque des dispositifs.

Les phases d'analyse visent à documenter finement les pratiques, les raisonnements et les déplacements observables dans les situations instrumentées. Elles s'appuient notamment sur des journaux de bord tenus par les enseignants et les formateurs, ainsi que sur des grilles d'observation construites à partir des cadres des Espaces de Travail. L'attention porte alors sur les médiations instrumentales, les formes de contrôle épistémique, les processus de genèse instrumentale et les reconfigurations des techniques. Cette phase d'analyse est essentielle, car elle permet de ne pas réduire les situations à leur résultat immédiat, mais de les lire comme traces d'une transformation plus profonde du travail mathématique.

Les phases de formalisation, enfin, transforment ces analyses en objets de savoir partageables. Elles donnent lieu à l'élaboration de capsules théoriques, de documents de synthèse et de ressources de formation. Cette formalisation ne constitue pas un simple moment terminal de restitution, elle participe de la dynamique même du protocole. Elle permet de stabiliser progressivement des concepts, de préciser les catégories d'analyse, et d'organiser la circulation des résultats entre recherche et formation. En ce sens, PRISME ne sépare pas production scientifique et développement professionnel. Il les articule dans un même mouvement, ce qui explique que la recherche n'y apparaisse pas en surplomb, mais comme une composante interne du dispositif.

L'un des principes structurants de PRISME réside précisément dans l'articulation étroite entre formation initiale, formation continue et recherche. Les enseignants en formation initiale sont impliqués à travers des dispositifs d'analyse de pratiques et des travaux réflexifs, tandis que les enseignants en formation continue participent aux expérimentations et aux temps de co-analyse. La recherche, dans ce cadre, n'intervient pas comme instance extérieure chargée de mesurer des effets préalablement définis. Elle s'inscrit dans une logique de co-construction des savoirs et des problématiques, à partir des situations effectivement rencontrées sur les terrains. Cette organisation est particulièrement importante dans le contexte de l'intelligence artificielle, où les usages éducatifs évoluent rapidement et ne peuvent être saisis de manière pertinente sans un dialogue étroit entre savoirs théoriques, contraintes institutionnelles, pratiques professionnelles et expériences de terrain.

Ainsi compris, PRISME apparaît comme un dispositif de recherche-formation fondé sur une temporalité longue, une pluralité d'acteurs, une structuration institutionnelle claire et une dynamique itérative entre expérimentation, analyse et formalisation. Cette organisation peut être synthétisée dans une représentation graphique simplifiée du protocole, inspirée d'un plan de métro (Figure 1).

4. Une représentation synthétique du protocole

Afin de rendre lisible l'organisation d'ensemble du protocole, PRISME peut être associé à une représentation graphique synthétique et simplifiée (Figure 1), issue du poster présenté aux Quatrièmes Journées d'Étude du Travail Mathématique. Cette figure n'a pas pour fonction de se substituer à la description du dispositif ni de constituer en elle-même un argument autonome. Elle vise plus modestement à proposer une vue d'ensemble des circulations entre cadres théoriques, acteurs, terrains et prolongements du protocole.

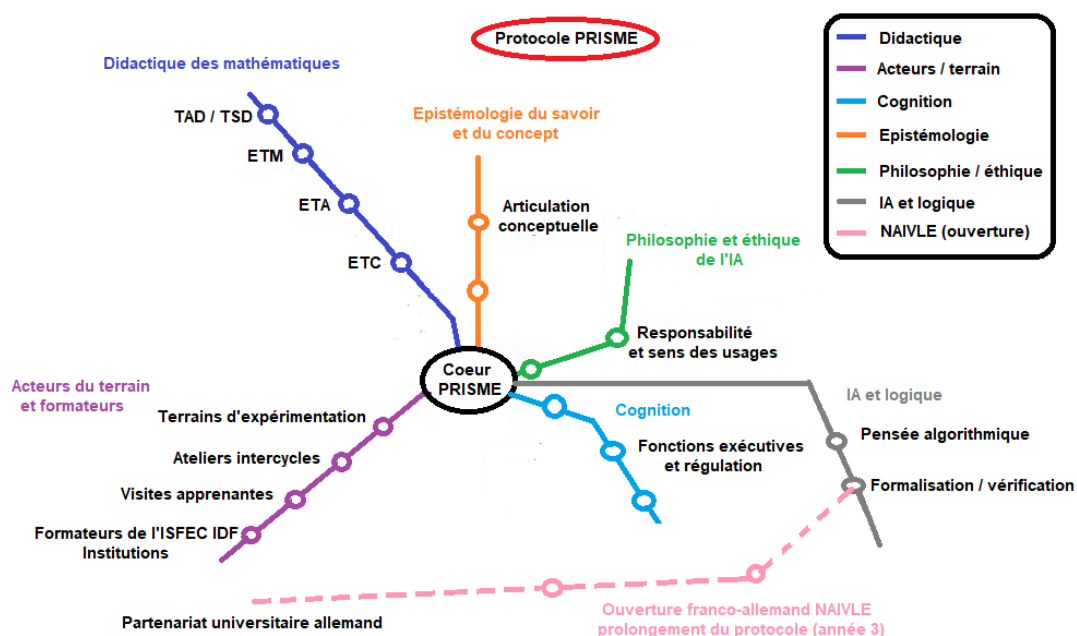


Figure 1. Représentation synthétique du protocole PRISME : cœur du dispositif et circulations entre cadres, acteurs et terrains

La figure fait apparaître un cœur PRISME central, qui ne doit pas être interprété comme un centre hiérarchique, mais comme un espace de convergence et de régulation. C'est en ce point que s'articulent le noyau théorique retenu, les exigences de formation, les contraintes institutionnelles et les observations issues du terrain. Autour de ce cœur s'organisent plusieurs lignes principales : la didactique des mathématiques, les acteurs du terrain et de la formation, la cognition, l'épistémologie, la philosophie et l'éthique de l'IA, ainsi qu'un prolongement vers les questions d'IA et de logique. À ce titre, la figure ne représente pas un parcours imposé, mais un ensemble de circulations possibles entre conceptualisation, expérimentation, analyse et formalisation. Elle donne ainsi une image resserrée de ce que le texte a établi dans les sections précédentes : PRISME fonctionne par articulations et passages, non par juxtaposition de cadres. Le cœur PRISME peut ainsi être compris comme le lieu de convergence entre cadres, acteurs et exigences de validation.

La version simplifiée retenue ici maintient, de façon discrète, l'ouverture franco-allemande vers NAIVLE³ comme prolongement possible du protocole, sans lui accorder un rôle structurant

³ NAIVLE (Naive Proof Verification) est un cadre de vérification automatisée de démonstrations mathématiques, conçu pour rester proche du langage et des pratiques ordinaires des mathématiciens. Contrairement à des assistants

dans la démonstration présente. La figure n'est donc pas conçue comme une preuve, mais comme une représentation d'ensemble. Sa fonction est de rendre visible le fait que PRISME articule des pôles distincts autour d'un centre analytique commun. Cette représentation prend pleinement sens lorsqu'elle est immédiatement relayée par l'explicitation du cadre d'opérationnalisation empirique, c'est-à-dire par les données retenues, les unités d'analyse choisies et la formulation précise de l'hypothèse directrice.

5. Opérationnalisation et cadre analytique

Le protocole PRISME, bien qu'inscrit dans une temporalité longue et encore en cours de déploiement, repose sur une structuration empirique explicitement définie. L'enjeu n'est pas seulement d'identifier des usages de l'intelligence artificielle dans l'enseignement des mathématiques, mais de construire un cadre permettant d'en analyser les effets sur le travail mathématique lui-même. Dans cette perspective, l'opérationnalisation du protocole ne se limite ni à un inventaire de situations ni à un recueil d'impressions de terrain. Elle vise à rendre observables, dans des traces diversifiées, les reconfigurations du travail mathématique induites par l'introduction d'artefacts numériques et de systèmes d'IA. Cette orientation prolonge directement la méthodologie exposée précédemment : PRISME ne cherche pas à tester des outils de manière isolée, mais à observer, documenter et interpréter les transformations qu'ils induisent dans l'activité des élèves et des enseignants.

5.1 Données retenues

Le corpus empirique retenu dans le cadre de PRISME repose sur une pluralité de matériaux, choisis en fonction de leur capacité à documenter le travail mathématique dans des situations instrumentées. Les données recueillies comprennent d'abord des productions écrites d'élèves, qu'il s'agisse de copies manuscrites ou de fichiers numériques. Ces productions donnent accès à des formes stabilisées de l'activité : résultats, procédures, justifications, reformulations, mais aussi hésitations et réorganisations visibles dans les traces.

À ces traces écrites s'ajoutent des captations vidéo de séances ciblées. Leur intérêt réside dans l'accès qu'elles offrent à la dimension située de l'activité : interactions entre élèves, interventions de l'enseignant, usages effectifs des outils, temporalité des hésitations, moments de reprise ou d'inflexion du raisonnement. Là où les productions écrites livrent un état relativement stabilisé du travail, les captations permettent de saisir les dynamiques d'élaboration, de régulation et de circulation des significations au sein de la classe ou du groupe de travail. Elles contribuent ainsi à rendre visibles les médiations effectives dans leur dimension temporelle et interactionnelle.

Le protocole intègre également des journaux de bord tenus par les enseignants engagés dans les ingénieries. Ces matériaux occupent une place importante, car ils permettent de documenter les choix opérés, les intentions didactiques, les écarts perçus entre ce qui était prévu et ce qui a effectivement eu lieu, ainsi que les difficultés rencontrées dans l'usage des outils. Ils donnent

de preuve comme Coq ou Lean, il vise une formalisation accessible, transparente et fidèle à la pratique mathématique usuelle.

accès à une réflexivité professionnelle située, indispensable pour analyser non seulement les effets observés chez les élèves, mais aussi les déplacements du travail enseignant dans des environnements médiés par l'IA.

Enfin, le corpus comprend des historiques d'interactions avec des systèmes d'IA générative, incluant prompts, réponses, reformulations et reprises éventuelles, ainsi que des entretiens courts d'explicitation réalisés à l'issue de certaines tâches. Les premiers permettent de reconstituer la matérialité même de la médiation algorithmique : ce qui a été demandé, ce qui a été produit, ce qui a été retenu, discuté ou écarté. Les seconds visent à accéder à la manière dont les sujets interprètent leur propre activité, identifient ou non les conditions de validité de ce qu'ils mobilisent, et situent le rôle de l'artefact dans leur raisonnement. Ces différents matériaux ne valent pas isolément. Leur intérêt réside dans leur mise en relation au sein d'un même cadre analytique. C'est cette pluralité croisée qui permet de passer d'une description superficielle des usages à une analyse plus fine des transformations du travail mathématique sous médiation instrumentée.

5.2 Unités d'analyse

L'analyse ne porte pas prioritairement sur les performances obtenues, mais sur les reconfigurations du travail mathématique observables dans les traces. Dans cette perspective, une première unité d'analyse concerne les déplacements de statut des techniques. Lorsque certaines procédures peuvent être produites, reformulées ou suggérées par un système d'IA, leur rôle dans l'activité ne reste pas identique. Une technique initialement mobilisée pour produire une solution peut devenir objet de contrôle, de vérification, de comparaison ou de discussion.

Une deuxième unité d'analyse porte sur les indices explicites de contrôle épistémique. Il s'agit ici d'identifier, dans les productions et dans les interactions, les moments où les sujets justifient une démarche, vérifient des conditions de validité, mettent à distance une réponse générée ou interrogent la pertinence d'une procédure. L'attention ne se porte donc pas seulement sur le résultat final, mais sur les gestes intellectuels par lesquels une proposition est examinée, reconnue, corrigée ou rejetée. Dans un environnement où certaines réponses peuvent être rapidement produites par un artefact, ces indices deviennent décisifs : ils permettent de distinguer entre simple réception d'une production et véritable prise en charge du savoir par le sujet ou par l'institution.

Une troisième unité d'analyse concerne les circulations entre Espaces de Travail Mathématique, Algorithmique et Connectés. L'hypothèse n'est pas que toute situation soit réductible à un espace unique, mais que l'activité se configure souvent par passages, chevauchements ou tensions entre plusieurs espaces. Une production peut, par exemple, naître dans une logique de traitement algorithmique, être reformulée dans un registre mathématique plus classique, puis circuler dans un environnement connecté où elle est discutée, partagée ou transformée. Repérer ces circulations permet de mieux comprendre comment se redistribuent les instruments, les registres, les contrôles et les responsabilités dans les situations étudiées.

Enfin, une quatrième unité d'analyse porte sur les moments de rupture ou de réorganisation du raisonnement consécutifs à l'introduction d'un artefact algorithmique. Il s'agit d'identifier les instants où une réponse générée, une reformulation proposée ou une aide partielle modifie la trajectoire de l'activité : changement de stratégie, abandon d'une piste, reprise d'une justification, déplacement vers une activité de comparaison ou de validation. Ces moments ne sont pas interprétés comme de simples incidents, mais comme des révélateurs de la manière dont l'artefact reconfigure la dynamique même du travail mathématique. L'interprétation de l'ensemble de ces unités s'appuie sur une analyse qualitative catégorielle, croisée avec les cadres théoriques mobilisés, dans une logique itérative entre observations de terrain, reprises conceptuelles et ajustements du protocole.

5.3 Question centrale et hypothèse directrice

Le dispositif analytique de PRISME repose sur trois articulations fondamentales : la modélisation du travail mathématique dans les Espaces de Travail, l'analyse des médiations instrumentées à partir des cadres didactiques, et la question du contrôle épistémique dans un environnement algorithmique. Les références complémentaires issues de la cognition, de la philosophie des techniques ou de la réflexion éthique jouent un rôle de mise en perspective et d'élargissement, mais elles ne constituent pas le noyau théorique central du dispositif analytique.

La question centrale qui structure le protocole peut alors être formulée ainsi : comment se reconfigure le contrôle épistémique du travail mathématique lorsque des systèmes algorithmiques interviennent dans la production, l'explicitation ou la validation des procédures ? Cette interrogation ne porte pas seulement sur l'efficacité des réponses générées. Elle engage plus largement la redistribution des fonctions cognitives, didactiques et institutionnelles impliquées par la médiation algorithmique. Lorsque certaines procédures sont externalisées, la responsabilité intellectuelle du sujet ne disparaît pas, elle se transforme. Ce déplacement affecte à la fois l'activité de l'élève, le rôle de l'enseignant et les normes de validation mobilisées dans l'institution scolaire.

L'hypothèse directrice de PRISME est que l'intégration de systèmes d'IA tend à déplacer le centre de gravité du travail mathématique de la production vers la sélection, l'interprétation, la justification et la validation. Une telle hypothèse n'implique pas que la production procédurale disparaisse, ni que l'IA se substitue purement et simplement à l'activité du sujet. Elle signifie plutôt que, dans certaines situations, la valeur didactique et épistémique du travail se reconfigure : ce qui devient décisif n'est plus seulement de produire une réponse, mais de déterminer ce qu'il convient d'en faire, sous quelles conditions elle peut être reconnue comme valide, et selon quelles normes elle peut être intégrée à un raisonnement mathématique. PRISME vise précisément à analyser empiriquement ces déplacements, afin d'identifier les conditions didactiques dans lesquelles ils peuvent devenir un levier d'apprentissage plutôt qu'un facteur de fragilisation du raisonnement.

Ainsi conçue, l'opérationnalisation de PRISME ne se réduit ni à une description des usages de l'IA, ni à une simple méthodologie de terrain. Elle constitue le lieu où le protocole devient effectivement analytique : par les données qu'il retient, par les unités d'analyse qu'il privilégie

et par la question centrale qui l'organise. C'est à partir de ce cadre que les situations étudiées peuvent ensuite être examinées non comme de simples illustrations, mais comme des cas permettant de mettre à l'épreuve les hypothèses du protocole et d'en apprécier la portée didactique.

6. Études de cas et vignettes didactiques : trois configurations de redistribution du contrôle épistémique

Les éléments d'opérationnalisation précédemment précisés permettent désormais d'examiner des situations dans lesquelles le cadre analytique de PRISME peut être mis à l'épreuve. Les trois cas retenus ici n'ont pas exactement le même statut. Le premier porte sur une situation de référence, centrée sur le problème du découpage d'un gâteau en huit parts égales à l'aide de trois coups de couteau. Les deux autres relèvent de vignettes didactiques construites, destinées non à présenter des résultats stabilisés, mais à montrer comment le protocole peut être mobilisé sur des contenus différents et à différents niveaux de la scolarité.

Dans les trois cas, l'objectif n'est pas d'évaluer l'intelligence artificielle comme outil performant ou non, mais d'observer ce qu'elle déplace dans le travail mathématique lui-même. L'analyse porte donc prioritairement sur quatre dimensions : le statut des techniques mobilisées, les formes de contrôle épistémique observables, les circulations entre Espaces de Travail, et les moments de rupture ou de réorganisation du raisonnement.

6.1 Première situation : le problème du découpage du gâteau

Le problème du découpage d'un gâteau en huit parts égales à l'aide de trois coups de couteau constitue une situation classique de recherche, intéressante dans le cadre de PRISME parce qu'elle met rapidement au jour un obstacle structurant : l'élève tend d'abord à raisonner dans le plan, alors que la résolution suppose un changement de point de vue vers une organisation tridimensionnelle. Dans les premières tentatives, les découpages successifs conduisent généralement à six parts au maximum. Le franchissement de l'obstacle suppose alors une réorganisation du raisonnement, fondée sur l'idée qu'une coupe horizontale peut venir partager simultanément des parts déjà obtenues.

Dans la situation expérimentale envisagée, l'IA intervient après une première phase de recherche autonome ou en petits groupes, au cours de laquelle les élèves produisent des essais de découpage et explicitent leurs premières stratégies. L'artefact conversationnel est alors sollicité non pour livrer immédiatement la solution, mais pour reformuler les contraintes du problème, interroger les essais produits et relancer l'attention sur ce qui reste à vérifier : le nombre de parts, leur égalité et l'effet global de chaque coupe. Les interactions avec l'IA peuvent prendre la forme de questions telles que : « Pourquoi obtient-on seulement six parts ? », « Que faudrait-il pour que le dernier geste partage plusieurs parts à la fois ? », ou encore « Comment vérifier que les huit parts obtenues sont bien égales ? ». Le rôle effectif de l'IA est donc celui d'un médiateur langagier et heuristique, intégré au milieu didactique sous le contrôle de l'enseignant, et non celui d'un solveur se substituant à l'activité mathématique des élèves. L'IA n'introduit pas de stratégie nouvelle, mais accompagne la mise en mots et la vérification des contraintes.

Du point de vue de la TSD, on peut y voir une situation dans laquelle le milieu résiste à une lecture immédiate de type planaire et oblige l'élève à modifier son cadre de pensée. L'enjeu n'est pas simplement de « trouver la bonne réponse », mais de construire un nouveau point de vue sur la situation. Du point de vue des ETM, la tâche engage un déplacement entre représentations intuitives, verbalisation des essais, anticipation des effets des coupes et contrôle du résultat obtenu. L'artefact conversationnel n'a alors pas pour fonction de fournir directement la solution, mais de soutenir une mise en mots du raisonnement, de relancer l'attention sur les contraintes de la tâche et d'accompagner le passage d'un espace de travail initialement planaire vers une configuration plus volumique.

Les unités d'analyse retenues permettent de préciser cette lecture. Le premier élément porte sur la réorganisation du raisonnement : le passage d'une stratégie inefficace à une stratégie pertinente constitue ici un moment de rupture particulièrement visible. Le second porte sur les indices de contrôle épistémique : l'élève ne se contente pas d'accepter une suggestion, il doit encore vérifier que le nombre de parts et leur égalité sont effectivement assurés. Le troisième porte sur les circulations entre espaces de travail : la tâche mobilise un ETM centré sur les représentations et les contrôles, mais l'intervention de l'IA introduit aussi une dimension d'ETA dans la mesure où l'activité devient partiellement organisée par séquences, essais, reformulations et ajustements successifs. Enfin, du point de vue du statut des techniques, la coupe n'est plus seulement un geste de production matérielle. Elle devient objet de planification et de validation.

Cette situation peut ainsi être analysée comme une première configuration de redistribution du contrôle épistémique. L'IA n'y agit pas comme producteur de savoir, mais comme médiateur de verbalisation et de restructuration. Le travail mathématique demeure bien l'œuvre du sujet, mais il se reconfigure autour d'activités de comparaison, d'anticipation et de validation.

6.2 Deuxième situation : une vignette didactique sur l'introduction de la proportionnalité en CM1

Considérons maintenant une vignette construite pour l'introduction de la proportionnalité en CM1 : « Pour préparer une boisson, on mélange 2 cuillères de sirop pour 5 verres d'eau. Combien faut-il de cuillères de sirop pour 10 verres d'eau ? Et pour 15 verres d'eau ? » Les élèves interrogent un système d'IA générative, qui leur fournit immédiatement une procédure de calcul correcte, par exemple en doublant puis en triplant les quantités, ou, dans une version moins adaptée au niveau visé, en introduisant une écriture plus abstraite de type multiplicatif généralisé.

L'intérêt de cette vignette tient au fait qu'elle rend très visible le déplacement du travail mathématique. Dans une introduction ordinaire de la proportionnalité au CM1, l'enjeu central est la construction progressive d'un rapport stable entre grandeurs, à partir de procédures adaptées au niveau des élèves : duplication, passage à l'unité dans certains cas simples, raisonnement par paquets, mise en tableau. Si l'IA produit trop vite une procédure correcte, la production technique peut être externalisée avant même que la signification du rapport de proportionnalité ne soit construite. Le risque n'est alors pas l'erreur immédiate, mais la

substitution d'une réussite procédurale apparente à un travail de conceptualisation encore fragile.

Du point de vue de la TAD, la situation permet d'interroger un déplacement de statut des techniques. Une procédure qui, dans l'enseignement ordinaire, devrait constituer un objet d'élaboration pour l'élève devient ici une production disponible presque immédiatement. Elle change donc de fonction : au lieu d'être seulement technique de résolution, elle devient objet d'examen, de reprise, de reformulation et de discussion. Le travail de l'élève ne porte plus d'abord sur l'invention de la procédure, mais sur sa compréhension, son adéquation au niveau visé et sa mise en relation avec la situation initiale.

Du point de vue du contrôle épistémique, plusieurs questions deviennent centrales. Les élèves reconnaissent-ils pourquoi le doublement de 5 à 10 entraîne celui de 2 à 4 ? Comprennent-ils que, pour 15 verres d'eau, une autre technique pertinente peut s'obtenir en combinant un doublement et un ajout d'une fois la situation initiale ? Sont-ils capables de distinguer une procédure adaptée au niveau CM1 d'une procédure mathématiquement correcte mais didactiquement prématurée ? Dans cette vignette, l'enseignant retrouve un rôle essentiel : il ne s'agit plus seulement de corriger un résultat, mais d'organiser les conditions de validité didactique de la technique mobilisée.

L'analyse en termes d'espaces de travail permet également de clarifier la situation. L'ETM est engagé par le rapport entre grandeurs, les écritures tabulaires éventuelles, les formulations verbales et le contrôle du sens. L'ETA apparaît lorsque la procédure proposée par l'IA est reprise comme séquence d'opérations à examiner, éventuellement à décomposer et à recontextualiser. L'ETC intervient si la procédure circule entre l'élève, l'artefact et la classe sous forme de capture, de reformulation ou de discussion collective. On voit alors apparaître très clairement l'hypothèse directrice de PRISME : le centre de gravité du travail se déplace vers la sélection, l'interprétation, la justification et la validation de procédures disponibles.

6.3 Troisième situation : une vignette didactique sur l'introduction des probabilités au cycle 3

La troisième situation, également construite, concerne l'introduction des probabilités du CM1 à la 6e. Les élèves ont à résoudre une tâche simple : « Dans un sac opaque, il y a 3 jetons rouges et 1 jeton bleu. Sans regarder, on tire un jeton. Quelle couleur a le plus de chances d'être obtenue ? Comment peut-on le justifier ? » Un élève de CM1 sollicite un système d'IA, qui répond correctement que le rouge est plus probable, et peut même produire une justification sous forme de rapport ou de fréquence attendue.

Cette vignette est particulièrement intéressante, car l'enseignement des probabilités au cycle 3 repose justement sur une tension forte entre intuition, langage ordinaire, expérimentation et premières formes de quantification. Dans un tel contexte, l'IA peut soutenir utilement la verbalisation, mais elle peut aussi court-circuiter l'élaboration d'un raisonnement probabiliste élémentaire si elle impose trop vite une formalisation. L'enjeu n'est pas seulement de dire que le rouge « a plus de chances » que le bleu, mais de construire les conditions de sens de cette

affirmation : comparaison des cas possibles, lien entre composition du sac et fréquence attendue, distinction entre résultat d'un tirage et tendance d'une série de tirages.

Du point de vue des unités d'analyse, le premier élément concerne ici les indices de contrôle épistémique. L'élève se contente-t-il de reprendre la formulation donnée par l'IA, ou la met-il en relation avec le dispositif concret ? Est-il capable de justifier en termes accessibles que trois cas favorables sur quatre rendent l'événement « rouge » plus probable ? Peut-il discuter une éventuelle confusion entre « sûr », « possible », « plus probable » et « équiprobable » ? Le deuxième élément porte sur les ruptures de raisonnement : l'IA peut faire passer trop rapidement d'un jugement intuitif à une formulation quasi formelle, sans que l'élève ait construit le lien entre expérimentation et modélisation.

Cette vignette est également féconde pour penser les circulations entre ETM, ETA et ETC. L'ETM apparaît dans le travail sur les registres verbaux, les schémas éventuels, les comparaisons quantitatives simples et les justifications. L'ETA intervient si l'IA propose, par exemple, une simulation répétée ou une structuration séquentielle du raisonnement. L'ETC devient visible dès lors que les réponses générées peuvent être reprises, comparées ou discutées collectivement. Surtout, le statut de la technique probabiliste se modifie : ce qui devrait constituer une première élaboration conceptuelle risque de devenir une formulation disponible, dont il faut alors reconstruire le sens. Là encore, PRISME permet de décrire non seulement ce que l'IA produit, mais ce qu'elle déplace dans l'économie intellectuelle de la tâche.

6.4 Mise en relation des trois cas

Pris ensemble, ces trois cas montrent que l'intérêt de PRISME n'est pas de fournir un discours général sur l'IA, mais d'offrir un cadre pour comparer des configurations distinctes de médiation. Dans le problème du gâteau, l'enjeu principal réside dans une rupture de point de vue et dans la restructuration d'un raisonnement spatial. Dans la vignette de proportionnalité, l'enjeu porte surtout sur le déplacement du statut des techniques et sur la validité didactique de procédures immédiatement disponibles. Dans la vignette probabiliste, c'est le rapport entre langage, intuition, quantification et justification qui devient central.

Dans les trois cas, toutefois, un même phénomène apparaît : l'artefact algorithmique ne supprime pas le travail mathématique, mais en redistribue les composantes. La production d'une réponse ou d'une procédure peut être partiellement externalisée. En revanche, le contrôle de sa pertinence, de son sens et de sa validité demeure une question centrale. C'est précisément en ce point que le protocole PRISME permet de faire dialoguer espaces de travail, cadres didactiques et analyse du contrôle épistémique. La section suivante pourra dès lors discuter ce que ces cas permettent de dire, non seulement sur les médiations par l'IA, mais aussi sur les conditions didactiques dans lesquelles elles peuvent devenir formatrices.

7. Discussion

Les trois situations analysées précédemment ne visent ni à constituer une typologie exhaustive des usages de l'intelligence artificielle en mathématiques, ni à produire des résultats déjà stabilisés au sens expérimental. Leur intérêt tient plutôt à ce qu'elles permettent de rendre visibles, sur des contenus différents et à des niveaux distincts de la scolarité, une même ligne

de transformation : l'introduction d'un système d'IA ne se réduit pas à l'ajout d'un outil supplémentaire dans l'environnement scolaire, mais reconfigure la distribution des tâches intellectuelles, les formes de validation et les responsabilités didactiques. En ce sens, ces cas permettent moins de conclure sur des usages que de préciser ce que PRISME autorise à observer et à décrire.

Un premier enseignement commun aux trois situations concerne la manière dont se recomposent les Espaces de Travail. Dans la perspective de Kuzniak et Richard (2014), l'activité mathématique ne peut être réduite ni à une suite de traitements ni à une simple confrontation à des contenus. Elle s'organise dans des espaces où se coordonnent représentations, instruments, discours et contrôles. Les cas du gâteau, de la proportionnalité et des probabilités montrent précisément que l'intervention de l'IA modifie ces coordinations. Dans le premier cas, le travail se déplace d'une représentation plane spontanée vers une réorganisation spatiale plus élaborée. Dans le deuxième, il passe d'une production procédurale attendue à une activité de compréhension et de reprise d'une procédure déjà disponible. Dans le troisième, il oblige à articuler langage ordinaire, comparaison de cas, intuition et premières formes de quantification. La force du cadre ETM est ici de permettre une lecture unifiée de situations très différentes, non pas en les ramenant à un schéma unique, mais en rendant visibles les passages entre registres, instruments et contrôles.

Cette lecture peut être prolongée, dans la perspective des ETA, par l'attention portée aux traitements séquencés, aux procédures disponibles et aux formes nouvelles de contrôle liées à la médiation algorithmique. Dans les travaux de Laval (2018, 2021), l'enjeu des Espaces de Travail Algorithmique n'est pas seulement d'ajouter l'algorithmique au travail mathématique, mais d'interroger ce qui se transforme lorsque certaines opérations sont formalisées, déléguées ou rendues disponibles par un artefact. Les trois situations l'illustrent de manière convergente. Dans le cas du gâteau, l'artefact conversationnel soutient une organisation progressive des essais et des reformulations. Dans la proportionnalité, il peut fournir d'emblée une procédure correcte, déplaçant ainsi le travail vers l'examen de sa pertinence didactique. Dans les probabilités, il peut proposer trop rapidement une formulation stabilisée, avant même que l'élève ait construit le sens des comparaisons en jeu. Ce qui devient alors central, dans la lignée des analyses de Laval, c'est le contrôle épistémique : non pas la seule exactitude d'une réponse, mais la capacité à en examiner les conditions de validité, la portée et le statut dans l'activité mathématique.

De ce point de vue, la discussion des trois cas conduit à préciser le statut des techniques, ce que la TAD de Chevallard (1999) permet d'éclairer avec netteté. Dans une organisation scolaire plus classique, certaines techniques ont pour fonction première d'être construites ou stabilisées par l'élève au fil du travail. Or, dans des environnements médiés par l'IA, ces mêmes techniques peuvent apparaître comme déjà disponibles, sous forme de réponse, de procédure ou de justification rédigée. Elles ne disparaissent pas pour autant, leur statut change. Une technique peut cesser d'être seulement un moyen de production pour devenir un objet de sélection, de reprise, de vérification ou de discussion. La situation de proportionnalité en offre l'exemple le plus net : la procédure correcte ne vaut pas automatiquement comme procédure pertinente au niveau CM1. Elle doit encore être replacée dans un horizon didactique, ce qui oblige à dissocier

validité mathématique, accessibilité scolaire et fonction institutionnelle de la technique. En ce sens, l'introduction de l'IA n'affaiblit pas l'analyse praxéologique. Elle la rend au contraire plus nécessaire.

La TSD de Brousseau (1998) permet d'ajouter un élément décisif à cette lecture, en particulier sur la question du milieu et des rétroactions. Dans les trois cas, le milieu ne se réduit plus à l'agencement matériel de la tâche ou aux seules interventions de l'enseignant. Il inclut également un artefact susceptible de produire des suggestions, des reformulations ou des procédures. Cette transformation modifie la nature même des rétroactions disponibles pour l'élève. Celles-ci ne proviennent plus exclusivement de la résistance de la situation ou de la régulation didactique ordinaire, mais aussi d'un système qui peut accélérer, déplacer ou brouiller les conditions d'accès au savoir. Dès lors, l'enjeu n'est pas seulement de savoir si une réponse est fournie, mais comment cette réponse s'insère dans le jeu didactique : favorise-t-elle un véritable travail d'appropriation, ou court-circuite-t-elle certaines médiations essentielles ? La question n'est donc pas extérieure au cadre de Brousseau. Elle en constitue une extension contemporaine particulièrement féconde.

L'ensemble de ces analyses conduit naturellement à la notion de genèse instrumentale au sens de Rabardel (1995). La présence d'un système d'IA dans une situation ne suffit pas à en faire un instrument du travail mathématique. Encore faut-il que les sujets construisent des schèmes d'usage leur permettant de l'intégrer à leur activité, de l'interroger, de le détourner parfois, et surtout d'en faire un appui pour leur propre raisonnement plutôt qu'un simple fournisseur de résultats. Les trois cas montrent que cette instrumentalisation n'a rien d'automatique. Elle dépend fortement des tâches proposées, des médiations de l'enseignant, du niveau des élèves et des formes de contrôle organisées dans la situation. Là où cette genèse ne s'opère pas, l'artefact demeure extérieur au travail mathématique proprement dit : il produit, mais n'instrumente pas. Là où elle commence à se construire, en revanche, l'IA peut devenir un support de verbalisation, de comparaison, de mise à distance critique et de réorganisation du raisonnement.

Ces différents points convergent vers une même conclusion intermédiaire : l'effet principal de l'IA, dans les situations ici discutées, ne réside pas dans l'automatisation de la réponse, mais dans la reconfiguration des conditions de validation. Produire ne suffit plus, il faut examiner ce qui est produit, en reconstruire le sens, en interroger la légitimité et en situer la portée. Autrement dit, le contrôle épistémique devient plus visible parce qu'il ne peut plus rester implicite dans l'acte même de production. Cette visibilité accrue a deux conséquences majeures. La première touche à la formation des élèves : il devient nécessaire de concevoir des situations où l'on apprend non seulement à chercher, mais aussi à évaluer, sélectionner, interpréter et justifier. La seconde concerne la formation des enseignants : leur rôle se déplace vers l'organisation de milieux dans lesquels ces formes de contrôle peuvent être travaillées explicitement, sans être dissoutes dans l'efficacité apparente des outils. Dans cette perspective, la responsabilité intellectuelle demeure portée par les sujets et par l'institution scolaire, mais ses conditions d'exercice sont reconfigurées par la présence d'un artefact capable de produire, reformuler ou suggérer des procédures.

Les trois cas étudiés montrent ainsi que le problème central n'est pas de savoir si l'IA « fait à la place de », mais de déterminer dans quelles conditions son intervention rend possible un travail plus exigeant sur les critères de validité, et dans quelles conditions elle risque au contraire d'affaiblir l'activité mathématique en la rabattant sur l'acceptation de réponses disponibles. En cela, PRISME n'apparaît pas seulement comme un protocole d'observation des usages, mais comme un cadre d'analyse des transformations du travail mathématique, des formes de validation qui lui sont associées et des exigences de formation qui en découlent.

8. Perspectives

Les analyses précédentes permettent de dégager plusieurs perspectives, qui prolongent PRISME sans en déplacer le centre. La première concerne l'élargissement empirique du protocole. Les trois situations discutées ont montré que l'intérêt de PRISME tient à sa capacité à décrire des reconfigurations du travail mathématique dans des contenus différents et à des niveaux de scolarité distincts. La poursuite du protocole suppose donc d'étendre le corpus, de diversifier les tâches étudiées et de stabiliser progressivement des comparaisons entre domaines mathématiques, niveaux scolaires et formes de médiation algorithmique. En effet, elle doit permettre de préciser dans quelles conditions l'externalisation partielle de certaines productions modifie effectivement les normes de validation, les statuts des techniques et les formes de responsabilité intellectuelle. En ce sens, PRISME ouvre un programme de recherche sur les médiations algorithmiques dans l'enseignement des mathématiques, plutôt qu'un ensemble clos de résultats déjà établis.

Une deuxième perspective touche plus directement à la formation des enseignants. Les situations analysées montrent que l'enjeu n'est pas seulement de familiariser les professeurs avec de nouveaux outils, mais de construire une culture professionnelle capable d'interroger les effets de ces outils sur les tâches, les techniques, les modes de contrôle et les formes d'institutionnalisation des savoirs. PRISME conduit ainsi à concevoir la formation non comme un simple accompagnement technique des usages, mais comme un espace de problématisation didactique des environnements médiés par l'IA. Cette orientation rejoint l'esprit même du protocole, pensé d'emblée comme dispositif de recherche-formation, articulant production de connaissances, développement professionnel et transformation raisonnée des pratiques. Ce n'est donc pas l'outil qui constitue ici l'objet principal de formation, mais la capacité à organiser des situations où l'usage de l'IA demeure subordonné à une exigence de compréhension, de justification et de validation.

Une troisième perspective appelle une réflexion plus explicite sur les finalités éducatives du travail mathématique en environnement médié. C'est en ce point que les ouvertures philosophiques et éthiques deviennent utiles, non pour surplomber l'analyse didactique, mais pour en prolonger les implications. Dans la lignée de Jonas (1990), l'usage de technologies capables de transformer en profondeur les conditions d'activité intellectuelle ne peut être pensé sans une interrogation sur la responsabilité qu'engagent ces transformations. La question n'est pas seulement celle de l'efficacité ou de l'innovation, mais celle des formes de subjectivation intellectuelle que l'école contribue à construire. Former avec des environnements d'IA ne revient pas uniquement à exploiter des ressources nouvelles, cela engage un choix sur ce que

l'on considère comme relevant encore du travail du sujet, sur ce qui doit rester sous contrôle, et sur la manière dont l'institution scolaire assume cette redistribution des responsabilités.

Dans une autre perspective, les travaux de Simondon (1958) permettent d'éviter une opposition trop simple entre l'humain et la technique. Les artefacts ne doivent pas être pensés seulement comme des instruments extérieurs, mais comme des objets qui reconfigurent les conditions de l'activité et les modes de relation entre sujets, techniques et milieu. Dans le cadre de PRISME, cette perspective invite à ne pas réduire l'IA soit à une menace de dépossession, soit à une promesse d'optimisation. Elle conduit plutôt à analyser les conditions sous lesquelles un artefact peut être intégré à une activité mathématique sans dissoudre l'exigence de compréhension et de contrôle. Quant à Misselhorn (2022), son apport est utile pour rappeler que la question éthique ne se limite pas à une dénonciation générale des technologies. Elle demande une analyse située des usages, des responsabilités distribuées et des formes de jugement mobilisées dans des environnements partiellement automatisés. Ces ouvertures n'ajoutent pas un nouveau cadre autonome à l'article. Elles élargissent la portée réflexive des résultats obtenus.

Enfin, PRISME ouvre, de manière encore exploratoire, vers une réflexion plus large sur ce que pourrait devenir une didactique des médiations par l'IA. Il ne s'agirait ni d'ériger l'intelligence artificielle en nouvelle discipline scolaire, ni de constituer un champ séparé de la didactique des mathématiques. L'enjeu serait plutôt de mieux caractériser les conditions dans lesquelles des systèmes algorithmiques capables de produire, reformuler ou guider des raisonnements transforment les objets, les tâches, les techniques, les contrôles et les formes d'étagage mobilisés dans l'enseignement. Mais PRISME, en mettant au centre la reconfiguration du contrôle épistémique et des médiations instrumentées, en fournit déjà plusieurs conditions de possibilité. De ce point de vue, le protocole ouvre moins vers une conclusion définitive que vers un programme de recherche structuré.

9. Conclusion

L'objectif de cet article était de proposer une lecture renouvelée du travail mathématique à l'ère de l'intelligence artificielle, non en partant des seules performances des outils, mais en interrogeant les reconfigurations qu'ils introduisent dans l'activité des sujets, dans les pratiques enseignantes et dans les formes de validation mobilisées par l'institution scolaire. À travers PRISME, il s'agissait de construire un cadre de recherche-formation capable d'articuler Espaces de Travail, médiations instrumentées et contrôle épistémique, afin de rendre lisibles des transformations souvent décrites de façon trop générale ou trop techniciste. Les sections précédentes ont montré que le point décisif ne réside pas dans la simple disponibilité de réponses produites par un système algorithmique, mais dans le déplacement du centre de gravité du travail mathématique vers des activités de sélection, d'interprétation, de justification et de validation.

Dans cette perspective, PRISME apparaît moins comme un modèle clos que comme un dispositif analytique et formatif. Sa portée tient à la possibilité de penser ensemble plusieurs dimensions que l'introduction de l'IA tend souvent à dissocier : les contenus mathématiques, les formes de travail intellectuel, les gestes professionnels, les médiations techniques et les

exigences de responsabilité. Le protocole ne vise ni à promouvoir sans réserve les usages de l'IA, ni à les disqualifier par principe. Il cherche à en décrire les conditions de pertinence didactique et à identifier les formes de vigilance qu'ils imposent.

L'une des conséquences majeures de ce travail est de rappeler que le devenir du travail mathématique en environnement médié n'est pas d'abord une question technique, mais une question de formation et de responsabilité. Ce qui se joue dans ces situations n'est pas seulement la délégation de certaines opérations, mais la manière dont l'école organise encore les conditions d'un rapport exigeant au savoir, à la preuve, à la justification et au jugement. En cela, PRISME s'inscrit dans une réflexion plus large sur les transformations contemporaines de l'activité intellectuelle en contexte scolaire, et sur les conditions dans lesquelles l'humain peut demeurer responsable dans des environnements de plus en plus assistés.

Dans cette dynamique, un prolongement peut être brièvement signalé vers NAIVLE, sans qu'il soit nécessaire de le développer ici. Si NAIVLE se situe à un autre niveau institutionnel, celui de la formalisation du raisonnement mathématique et de la preuve assistée, il partage avec PRISME une interrogation commune sur les effets de l'automatisation partielle des traitements symboliques, sur les formes de contrôle épistémique qui en résultent et sur la place du sujet humain dans des environnements computationnels. À ce titre, il peut être compris comme un prolongement possible, à l'échelle de la mathématique universitaire et de la recherche, des questions que PRISME travaille dans les contextes scolaires et formatifs. Cette ouverture marque ainsi la continuité du projet sans décentrer la conclusion du présent article.

Ainsi, PRISME ne constitue ni un aboutissement, ni une réponse définitive aux défis posés par l'intelligence artificielle dans l'enseignement des mathématiques. Il propose un cadre de recherche-formation destiné à être éprouvé, discuté et enrichi. En cela, il participe à une réflexion collective sur les conditions d'un travail mathématique humain rigoureux, compréhensible et responsable dans des environnements médiés par des systèmes algorithmiques.

Références

- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19(2), 221–266.
- Chevallard, Y. (2007). *Passé et présent de la théorie anthropologique du didactique*. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168.
- Fayol, M., & Houdé, O. (2014). *Psychologie cognitive des apprentissages*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Houdé, O. (2014). *La psychologie du raisonnement*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Jonas, H. (1990). *Le principe responsabilité*. Paris : Flammarion.

- Kuzniak, A. (2011). L'Espace de Travail Mathématique et ses genèses. *Annales de didactique et de sciences cognitives*, 16, 9–24.
- Kuzniak, A., & Richard P. (2014). Spaces for mathematical work: Viewpoints and perspectives. *Relime*, 17(4.1), 17–26.
- Lagrange, J.-B. & Laval, D. (2019). Connected Working Spaces: the case of computer programming in mathematics education. Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education. Utrecht, Netherlands. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02418181>
- Laval, D. (2018). L'algorithmique au lycée entre développement de savoirs spécifiques et usage dans différents domaines mathématiques. [Thèse de Doctorat. Université Sorbonne Paris Cité].
- Laval, D. (2021). Les Espaces de Travail Mathématique et Algorithmique connectés. Étude d'une activité algorithmique comme objet d'apprentissage de savoirs spécifiques et d'usage : Cas d'une ingénierie « dichotomie continue ». In A. Chesnais, H. Sabra (Eds.), *Actes du séminaire national de didactique des mathématiques 2020* (p.88-114). IREM de Paris - Université de Paris. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03545511/>
- Minh, T. K., Lagrange, J.B. (2016). Connected functional working spaces: a framework for the teaching and learning of functions at upper secondary level. *ZDM Mathematics Education*. 48: 793. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0774-z>
- Misselhorn, C. (2022). *Grundfragen der Maschinenethik*. Stuttgart: Reclam, Universal-Bibliothek.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- Simondon, G. (1958). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris : Aubier.