

ROZENN TEXIER-PICARD, GHISLAINE GUEUDET, MURIELLE GERIN

ÉGALITE FEMMES-HOMMES EN CLASSE PREPARATOIRE SCIENTIFIQUE : UNE ETUDE EXPLORATOIRE EN DIDACTIQUE DES MATHÉMATIQUES

Abstract. Gender equality in French scientific preparatory classes: an exploratory study in mathematics education. In this paper we study the issue of gender equality in mathematics at tertiary level. While most studies about this topic use a quantitative approach, we choose here a qualitative approach, in order to take into account the mathematical contents at stake, in a didactics perspective. We study gender equality in the context of a specific project-based course (“supervised personal interest work”, TIPE in French), in a scientific preparatory class. Our methodology combines observations of sessions and logbooks for a gender-mixed group over a four-month period. The analysis shows asymmetries in the students’ topoi and in topogenetic positions.

Keywords. gender, equality, inquiry, anthropological theory of the didactic, topos, topogenetic position

Résumé. Dans cet article, nous étudions la question de l’égalité femmes-hommes dans l’enseignement supérieur en mathématiques. Alors que la plupart des études sur ce sujet utilisent une approche quantitative, nous choisissons ici une approche qualitative, afin de prendre en compte les savoirs mathématiques en jeu, dans une perspective didactique. Nous étudions l’égalité femmes-hommes dans le contexte d’un dispositif spécifique de type projet, le « travail d’intérêt personnel encadré » (TIPE) en classe préparatoire aux grandes écoles scientifiques. Notre méthodologie croise des observations de séances et des recueils de carnets de bord sur une période de quatre mois, pour un groupe mixte. L’analyse montre des asymétries dans les topoi et les positions topogénétiques des étudiantes et étudiant.

Mots-clés. genre, égalité, investigation, théorie anthropologique du didactique, topos, position topogénétique

Le sujet de l’égalité femmes-hommes dans l’enseignement des mathématiques, notamment dans le contexte de l’enseignement supérieur, est d’une importance sociale majeure sur le plan international. En France, la constitution en 2021 d’un groupe de travail APMEP – Femmes&Maths, réunissant une dizaine de membres de l’association des professeurs de mathématiques de l’enseignement public (APMEP) et de l’association Femmes & Mathématiques, pour « travailler sur les questions liées à l’égalité entre les filles et les garçons et en particulier sur les pratiques de classe

ANNALES de DIDACTIQUE et de SCIENCES COGNITIVES, volume 29, p. 31 – 63.
© 2024, IREM de STRASBOURG.

qui permettent de déconstruire des stéréotypes »¹, montre que le corps enseignant de mathématiques se questionne. Ce sujet est également pris en charge au niveau institutionnel, comme en témoigne la publication récente de rapports (Gauchard, 2023), de ressources à destination du corps enseignant notamment sur les sites institutionnels², ou encore la mise en œuvre de projets parfois à large échelle comme le projet Maryam Mirzakhani³ dans l'Académie de Lille.

Considérant que la recherche en didactique des mathématiques doit se saisir de cet enjeu, nous présentons ici une étude qui aborde la question de l'égalité femmes-hommes dans l'apprentissage des mathématiques, en se focalisant sur un dispositif spécifique aux classes préparatoires scientifiques. Dans la suite, nous parlerons d'égalité filles-garçons en éducation lorsque nous nous intéresserons à des élèves du primaire ou du secondaire, et d'égalité femmes-hommes lorsqu'il s'agira d'étudiantes et étudiants du supérieur, qui sont le plus souvent des adultes.

Notre objectif est d'étudier avec une approche didactique un dispositif institutionnel basé sur l'investigation, présent dans le système français des classes préparatoires scientifiques, le « travail d'intérêt personnel encadré » ou TIPE. Nous nous demandons dans quelle mesure les spécificités de ce dispositif (présentées ci-dessous) contribuent à mettre en œuvre l'égalité femmes-hommes dans les apprentissages en mathématiques. Atteindre cet objectif requiert l'élaboration d'une approche théorique et méthodologique permettant d'analyser les questions d'égalité femmes-hommes en didactique des mathématiques, approche que nous mobiliserons pour l'étude du TIPE.

Les questions d'égalité filles-garçons ont fait l'objet de recherches dans les sciences de l'éducation, notamment avec des approches sociologiques, psychologiques, historiques ou économiques essentiellement depuis les années 1970. La littérature anglo-saxonne en *mathematics education* sur le thème des inégalités filles-garçons et des mathématiques est riche, mais principalement constituée d'études quantitatives prenant peu en compte les contenus de savoir (par exemple Hanna, 1996). En France, les travaux abordant ce sujet en didactique des mathématiques (Roditi & Salles, 2015 ; Sayac & Grapin, 2016) sont peu nombreux, et semblent

¹ <https://www.apmep.fr/Groupe-de-travail-APMEP-Femmes-Maths>, consulté le 29 mai 2023.

² <https://eduscol.education.fr/3739/faire-evoluer-les-representations-des-eleves-sur-les-mathematiques>, consulté le 29 mai 2023.

³ <https://filles-maths-nsi-projet-maryam-mirzakhani.site.ac-lille.fr/presentation/> consulté le 5 juin 2024.

principalement porter sur l'analyse des résultats aux évaluations de mathématiques selon la catégorie de sexe ; nous en donnons un aperçu en section 02.300000.

Par ailleurs peu de travaux de didactique des mathématiques se sont penchés sur les classes préparatoires (Castela, 2002 ; Farah, 2018 ; Lalaude-Labayle, 2016), et, à notre connaissance, le TIPE n'a pas été étudié en tant que tel. Or le TIPE semble permettre la mise en œuvre d'une démarche d'investigation, forme d'apprentissage potentiellement propice à l'égalité femmes-hommes selon certains travaux (Laursen *et al.*, 2014). Ainsi notre travail s'intéresse à des enjeux peu ou pas abordés dans la littérature de recherche.

L'article est organisé comme suit. Dans la partie 1, nous explicitons le contexte et les motivations de l'étude, qui s'appuie notamment sur des résultats de travaux antérieurs en dehors du champ de la didactique. Dans la partie 2, nous définissons le concept de genre et présentons quelques travaux de recherche portant un regard didactique sur les questions de genre. Dans la partie 3, nous détaillons notre cadre théorique, à la croisée de la théorie anthropologique du didactique (Chevallard, 1985, 1999), et des études de genre (Bereni *et al.*, 2020 ; Collet, 2021 ; Duru-Bellat, 2017 ; Jarlégan, 1999), nous précisons ainsi notre question de recherche. Dans les parties 4 et 5, nous présentons le travail mené autour du TIPE en mathématiques et informatique. Nous décrivons en partie 4 la méthodologie de recueil de données et la méthodologie de traitement et d'analyses, et nous donnons en partie 5 quelques résultats issus de ces analyses. Enfin, la partie 6 comporte une discussion des résultats et des perspectives pour la suite du travail.

1. Contexte et motivations de l'étude

1.1. Le contexte de la classe préparatoire aux grandes écoles (CPGE)

L'enseignement supérieur scientifique en France repose pour une part significative sur des écoles d'ingénieurs et ingénieurs hors universités, qui regroupent 19 % du public étudiant en sciences (Direction de l'Évaluation, de la Prospective et de la Performance, 2021). Une large partie de cet effectif est recrutée sur concours, après une classe préparatoire, une formation de deux ans caractérisée notamment par un rythme de travail très soutenu en vue de la préparation des concours d'entrée aux grandes écoles. On trouve sur ces filières des études sociologiques qui mettent notamment en évidence l'emprise institutionnelle exercée sur les élèves par la classe préparatoire, c'est-à-dire la « capacité institutionnelle à former, transformer, fabriquer des dispositions et des élèves » (Darmon, 2015, p. 21), les mécanismes de construction d'aspirations différenciées selon le sexe (Blanchard *et al.*, 2016) et de reproduction de trajectoires scolaires marquées par les différences sociales

(Blanchard *et al.*, 2017). En 2020, la part des femmes dans les classes préparatoires scientifiques s'élève à 30,9 %, contre 42,0 % en moyenne dans les filières scientifiques universitaires (hors santé) et 29,4 % en écoles d'ingénieurs et ingénieurs. La féminisation des effectifs des filières scientifiques est un enjeu important des politiques publiques d'égalité en France⁴, et la compréhension d'éventuelles inégalités dans les rapports aux savoirs des étudiantes et étudiants en classe préparatoire est donc cruciale.

Notre recherche se déroule dans ces classes préparatoires aux grandes écoles, en première année, dans la filière « Mathématiques, physique, sciences de l'ingénieur » (MPSI). Nous nous intéressons en particulier à un dispositif institutionnel appelé travail d'intérêt personnel encadré (TIPE). Le TIPE est une épreuve présente dans la plupart des concours de grandes écoles scientifiques, à l'issue de la deuxième année de classe préparatoire. Elle se déroule sous la forme d'un entretien de 30 minutes avec un jury, permettant aux candidates et candidats de présenter un travail réalisé tout au long de leur année, en lien avec une thématique générale large définie par les écoles (SCEI, 2023). Ce travail consiste principalement en une étude bibliographique et une recherche originale, contenant une part d'expérimentation ou de simulation informatique. En première année, pour se familiariser avec cet exercice, les étudiantes et étudiants préparent en groupes de trois ou quatre, et sur une durée de cinq mois un exposé suivant le format du TIPE. Deux heures dédiées à cette préparation sont prévues chaque semaine dans l'emploi du temps, entre les mois de février et juin. Pendant ces deux heures, les groupes travaillent « en autonomie », en présence des enseignantes et enseignants des principales disciplines (en filière MPSI, il s'agit des mathématiques, sciences physiques et sciences pour l'ingénieur), qui circulent entre les groupes pour répondre à leurs questions. À la fin de l'année, les groupes présentent leur travail sous la forme d'un exposé oral, qui n'est pas noté.

Selon les sujets choisis, le TIPE peut concerner différentes disciplines. Dans notre recherche, nous nous intéressons à des TIPE en mathématiques. Toutefois ces TIPE associent fortement mathématiques et programmation informatique. À titre d'exemple, nous nous intéressons dans cette étude à un TIPE sur les réseaux de neurones, qui comporte une part importante de mise en œuvre numérique. Cette intrication nous a conduites à choisir ici de considérer les savoirs relevant de la programmation informatique comme faisant partie des savoirs mathématiques.

⁴ Voir les conventions interministérielles des 20/12/1984, 14/09/1989, 25/02/2000, 29/06/2006, 7/02/2013, 28/11/2019.

Parce que le TIPE revêt une forme originale au sein des enseignements de classe préparatoire au regard de plusieurs critères repérés dans la littérature en sociologie de l'éducation (voir section 1.2), il nous a semblé intéressant de nous questionner sur l'égalité entre femmes et hommes en mathématiques dans ce contexte.

1.2. L'égalité femmes-hommes en classe préparatoire

Des travaux en sociologie (Blanchard *et al.*, 2016) suggèrent que la classe préparatoire représente une étape clé dans la formation des inégalités entre femmes et hommes dans les études supérieures en mathématiques en France. Non seulement la proportion de femmes dans ces filières chute par rapport à celle des classes de lycée, mais leurs performances dans les concours prestigieux deviennent moins bonnes que celles des étudiants :

à leur arrivée dans les classes préparatoires scientifiques, elles ont en moyenne obtenu de meilleurs résultats au lycée que leurs camarades masculins. Cependant, elles s'inscrivent moins souvent aux concours considérés comme les plus difficiles et y sont admises en plus faible proportion. (Blanchard *et al.*, 2016, p. 27)

Parmi les explications, Blanchard *et al.* (2016) suggèrent une « dissonance entre deux rapports au temps et au monde » (p. 65) : la temporalité de la classe préparatoire scientifique exige une très grande disponibilité pour les études, qui apparaît peu compatible avec la construction sociale d'une « double temporalité (professionnelle et domestique) que les filles ont intériorisée et avec laquelle elles doivent composer ».

Outre la disponibilité permanente, le rapport au temps en classe préparatoire se caractérise par un rythme très rapide, qui peut induire une « panique temporelle », c'est-à-dire « un type particulier d'inquiétude et de difficulté liées à l'écoulement et à la gestion du temps. » (Darmon, 2015, p. 148).

Enfin, un autre élément spécifique des classes préparatoires, également souligné par Blanchard *et al.* (2016), est l'omniprésence de jugements scolaires et de classements, créant un environnement de travail compétitif. À cet égard, suite à une enquête auprès d'élèves de seconde, Baudelot et Establet (2006) écrivaient ce qui suit.

Plus que les filles, [les garçons] se disent stimulés par le classement, ils aiment à comparer leurs notes en mathématiques à la moyenne de la classe, et plus encore aux notes obtenues par certains camarades, et ils seraient particulièrement fiers d'être premiers en mathématiques. (p. 151)

Au contraire, le dispositif TIPE ne fait pas l'objet de notes ou de classements. Pour cette raison, et parce qu'il allie investigation, travail de groupe, et un temps de travail plus long au regard du temps accéléré de la classe préparatoire, le TIPE constitue un dispositif d'enseignement-apprentissage original en classe préparatoire. Aussi nous nous sommes demandé si ce dispositif pouvait contribuer à mettre en œuvre l'égalité des sexes en classe préparatoire scientifique.

2. Genre et didactique : une thématique en développement

Apparu à la fin des années 1960, le concept de genre a évolué au cours des décennies et « genre » est un terme polysémique. Il désigne parfois une catégorie de sexe entendu comme sexe social. Cependant, nous le définissons plutôt ici comme un rapport social hiérarchisé entre les femmes et les hommes, et entre les valeurs et représentations associées au féminin et au masculin (Bereni *et al.*, 2020). Dans cette acception, le genre est donc un concept théorique issu de différents champs des sciences humaines et sociales.

Notre travail s'inscrit dans un ensemble de recherches en didactique de différentes disciplines considérant des questions liées au genre. Adopter un regard didactique sur la question du genre à l'école, c'est prendre « en considération la spécificité des savoirs enseignés dans la construction des différentes trajectoires d'apprentissage des filles et des garçons » (Verscheure *et al.*, 2020, p. 82).

2.1. Premières approches dans des recherches en didactique disciplinaire

Dans une perspective didactique, la question des rapports que les élèves filles et garçons peuvent entretenir avec les savoirs apparaît centrale.

En 2002, Roustan-Jalin *et al.* comparent les rapports personnels et institutionnels aux savoirs (au sens de Chevallard, 1999) en technologie chez des élèves filles et garçons en classe de 3^{ème} (Roustan-Jalin *et al.*, 2002). Leur étude suggère notamment que les différenciations liées au sexe seraient plus faibles lorsque les savoirs sont spécifiques à l'institution école (comme les lois d'Ohm et de Pouillet en électricité), et plus fortes lorsque les savoirs sont identifiés par les élèves comme vivant dans d'autres institutions, en particulier à la maison (comme le montage d'un élévateur, qui se rapproche d'activités de bricolage traditionnellement étiquetées comme masculines).

En 2004, Verscheure et Amade-Escot étudient les différences de positionnements des élèves par rapport aux savoirs en éducation physique et sportive, mais aussi les attentes du corps enseignant vis-à-vis des élèves filles ou garçons (Verscheure & Amade-Escot, 2004). S'inspirant de travaux de Schubauer-Leoni (1996) sur l'existence d'un contrat didactique différentiel selon les positions d'excellence, elles

interrogent également l'impact des « positions de genre » sur le contrat didactique. Elles observent que, chez les élèves, « les positions de genre ne [sont] pas figées, et que les filles et les garçons [n'activent] pas toujours des modalités de pratique conformes aux normes sociales ou aux stéréotypes de sexe qui leur sont encore trop souvent attribuées. » (Verscheure *et al.*, 2020, p. 87). Les auteures introduisent alors le concept de *positionnement épistémique de genre*, qui vise à « souligner la fluidité des performances du genre au fil des interactions didactiques » (Verscheure *et al.*, 2020, p. 88).

2.2. Le genre et l'enseignement de l'informatique

Le contexte de l'enseignement de l'informatique est marqué par une particularité : cette discipline, jusqu'au début des années 1980, était très féminisée dans les universités et grandes écoles, mais la mixité s'est effondrée entre les années 1980 et 2000 (Collet, 2004). Les premiers travaux de Collet portent sur les raisons de cette baisse d'attractivité généralisée pour les jeunes femmes. Des actions d'envergure, décrites dans Fisher & Margolis (2002) et dans Morley & Collet (2017) ont été mises en place avec succès par des universités, aux États-Unis et en Norvège, pour comprendre et prévenir cette désaffection, en transformant la culture de l'établissement par des mesures variées (modification des critères de recrutement de la population étudiante, refonte des programmes et des objectifs d'enseignement, sensibilisation des équipes enseignantes).

En France toutefois, les filières informatiques restent très peu féminisées : en 2019-2020 la part de femmes parmi les effectifs de cycle ingénieur dans le domaine informatique représente 16,6 %⁵. Une étude sociologique récente du Centre Hubertine Auclert analyse les freins à l'orientation des filles vers ces filières, et note que l'expérience de l'enseignement de l'informatique au lycée accentue les inégalités filles-garçons plus qu'elle ne les réduit, mettant en cause « des modalités d'enseignement qui s'avèrent excluantes, [et] participent de la construction progressive, chez les filles, d'un sentiment d'incompétence » (Monfort *et al.*, 2022, p. 104).

Pour plus d'égalité, Collet (2021) formule des recommandations générales (utiliser une langue inclusive, installer de la coopération, inciter à la prise de parole, créer un climat favorable à l'apprentissage, varier les pratiques pédagogiques, etc.) ou plus spécifiques à l'informatique ou aux disciplines où les femmes sont très minoritaires

⁵ https://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/2020/18/3/NF_2020_10_Ingenieurs_1295183.pdf, consulté le 5 juin 2024.

(par exemple, rendre visibles les femmes informaticiennes). En lien avec ces propositions, il nous semble qu'une réflexion didactique ancrée dans les savoirs en informatique serait pertinente pour prendre en compte une forme de spécificité propre à ces savoirs et aux modalités de leur enseignement-apprentissage, au regard d'éventuels effets sur l'égalité femmes-hommes.

2.3. Genre et enseignement des mathématiques

S'agissant de l'enseignement des mathématiques, les questions de genre sont largement présentes dans les recherches anglo-saxonnes depuis les années 1970, comme en témoigne par exemple l'étude ICMI 7 (Hanna, 1996). Ces travaux pionniers portent notamment sur les différences entre femmes et hommes, s'agissant des performances, des effectifs dans les filières mathématiques, ou des attitudes et affects en mathématiques. Dans les années 1990, des travaux interrogent également l'objectivité des mathématiques (Burton, 1995) et les différences de rapports aux savoirs mathématiques entre femmes et hommes (Becker, 1995).

Plus récemment, Laursen *et al.* (2014) et Johnson *et al.* (2020) se sont questionnés sur l'impact des méthodes d'enseignement utilisant l'investigation (Inquiry-Based Learning et Inquiry-Oriented Instruction) concernant les écarts de performances et les affects des étudiantes et étudiants. Laursen *et al.* (2020) montrent en particulier que les méthodes Inquiry-Based Learning ont un impact positif sur les gains cognitifs (compréhension et réflexion) et affectifs (confiance en soi, motivation, attitude vis-à-vis de la discipline) des étudiantes, mais pas d'impacts significatifs sur les performances. À l'inverse, les résultats de Johnson *et al.* (2014) sur les méthodes Inquiry-Oriented Instruction suggèrent que ces méthodes seraient plus favorables aux étudiants qu'aux étudiantes en termes de performances. Ces résultats divergents interrogent sur les conditions qui permettent de rendre effective l'égalité femmes-hommes dans l'enseignement supérieur en mathématiques. Reprenant le travail de Laursen *et al.* (2014) et d'autres travaux récents, Adiredja et Andrews-Larson (2017) invitent à adopter, sur les questions d'équité et d'égalité dans l'enseignement supérieur en mathématiques, une perspective sociopolitique, en prenant en compte les relations entre connaissance, pouvoir, identité et discours social ambiant.

En France et s'agissant des mathématiques, des travaux de différents champs de recherche se sont penchés sur des objets d'étude liés au genre, mais en abordant peu les savoirs en jeu. Parmi les questions étudiées, on trouve notamment les différences de performances entre élèves filles et garçons (Jarlégan, 1999), et la façon dont la présentation de la tâche peut activer chez les filles un stéréotype négatif qui augmente cet écart de performance entre les sexes (Huguet & Régner, 2007). D'autres travaux portent sur les interactions entre enseignants et élèves en fonction

du sexe des élèves (Jarlégan *et al.*, 2011), ou sur la représentation des femmes et des hommes dans les manuels scolaires (Elhadad & Berton-Schmitt, 2012).

A contrario, deux travaux se distinguent en utilisant des outils et concepts issus de la didactique des mathématiques.

Ainsi, Roditi et Salles (2015) analysent les différences entre des filles et des garçons de quinze ans dans les performances en mathématiques de l'évaluation PISA 2012, en utilisant le concept de *niveaux de mise en fonctionnement des connaissances* (Robert, 1998) : quatre niveaux de mise en fonctionnement sont distingués, selon que les exercices fassent appel aux mathématiques en tant que concept ou en tant qu'outil, et selon le degré d'initiative laissé à l'élève dans l'application de cet outil (application directe d'une méthode au programme, application avec adaptation, ou prise d'initiative importante de l'élève). Selon les auteurs, les filles seraient d'autant plus en difficulté par rapport aux garçons que le niveau requis de mise en fonctionnement des connaissances est exigeant (Roditi & Salles, 2015). Ainsi, l'écart est de 1,5 point de pourcentage à la faveur des garçons pour les items qui requièrent la mise en œuvre directe d'une procédure au programme et de 3,3 points de pourcentage pour ceux qui nécessitent l'introduction d'un intermédiaire.

Dans une autre étude menée sur des élèves de CM2 (dix ans), Sayac et Grapin (2016) abordent la question des stratégies de réponse à des questionnaires à choix multiples en mathématiques. Elles notent des différences de stratégies entre les filles et les garçons, qu'elles croisent avec le degré de certitude que les élèves attribuent à leurs réponses. Leur étude révèle que les filles sont nettement moins assurées de leurs réponses que les garçons, que celles-ci soient justes ou non.

Les derniers travaux cités mettent en évidence l'intérêt de recherches sur l'égalité femmes-hommes en didactique des mathématiques. Si ces travaux dressent des constats d'écart entre filles et garçons, décrits à l'aide de concepts didactiques, ils en envisagent peu les causes. Or l'identification des causes nous semble nécessiter une approche qualitative de ce qui se joue dans les classes, fondée sur un cadre théorique spécifique. Même si notre recherche exploratoire se place dans un contexte et un niveau d'études différents, elle vise aussi à proposer un outillage théorique et méthodologique novateur pour prendre en charge les questions d'inégalités en prise avec les savoirs en jeu, et nous pensons que cet outillage pourrait être utilisé dans une multitude de contextes.

3. Concepts théoriques mobilisés et questions de recherche

3.1. Égalité, symétrie, et signes de reconnaissance

Nous dirons qu'il y a égalité dans une situation d'apprentissage si l'environnement pédagogique permet aux étudiantes et étudiants de prendre conscience de leur égale capacité relativement au savoir, ce qui nous semble un enjeu crucial s'agissant des mathématiques en classe préparatoire. Pour observer et penser cette égalité, nous adoptons ici le point de vue de Gerin (2020) qui consiste à interroger la *symétrie épistémique* entre filles et garçons, c'est-à-dire la symétrie des responsabilités par rapport au savoir, dans une situation de coopération en mixité. Nous définirons dans la section 3.2 le cadre théorique en didactique des mathématiques qui permet d'opérationnaliser cette analyse. La notion de symétrie épistémique permet ici d'envisager l'égalité « à côté » des identités, c'est-à-dire à côté de ce qui relèverait d'un supposé « féminin » ou « masculin ». Pour Gerin (2020),

Il y a fait de symétrie épistémique fille-garçon lorsque les responsabilités de la fille dans le savoir/la pratique en jeu correspondent à celles du garçon, et réciproquement lorsque les responsabilités du garçon dans le savoir/la pratique en jeu correspondent à celles de la fille. (p. 318)

Nous nous intéressons enfin aux *signes de reconnaissance épistémique* qui permettent de manifester cette égale capacité des étudiantes et étudiants en mathématiques. Pour Gerin (2020),

La reconnaissance épistémique fille-garçon s'actualise dans une action de mutualité des puissances d'agir de chacun·e au même titre que l'autre, pour la réalisation d'une œuvre commune. Ainsi, la reconnaissance épistémique fille-garçon est une reconnaissance mutuelle et réciproque. Les signes de reconnaissance épistémique fille-garçon émanent de faits d'équipotence fille-garçon matérialisés dans la réalisation d'une œuvre commune fille-garçon en symétrie. (p. 316)

3.2. Les concepts en théorie anthropologique du didactique

Afin de préciser ce que nous entendons par « responsabilités par rapport au savoir », notre analyse s'appuie principalement sur le cadre de la théorie anthropologique du didactique, introduite par Chevallard (1985, 1992).

Nous empruntons à la théorie anthropologique le concept d'*institution* (Chevallard, 1992). Dans cette théorie, les objets de savoir et les praxéologies vivent dans des institutions qui peuvent être une école, une classe, un niveau, mais aussi une famille, etc. Nous nous intéressons ici à l'institution « classe préparatoire MPSI », considérée

de façon générique. Une institution étant fixée, nous pouvons définir un *rapport institutionnel* à un objet de savoir ou à une praxéologie qui vit dans cette institution, il s'agit d'un rapport qui s'impose à toute personne assujettie à cette institution.

Nous mobilisons également le concept de praxéologie. Selon Chevallard (1999), on peut décrire toute activité humaine à travers un aspect pratique (*praxis*) et un aspect théorique (*logos*), la donnée de ces deux aspects constituant une praxéologie. Chacun des deux aspects regroupe deux composantes : le type de tâches et la technique mise en œuvre constituent la *praxis*, tandis que le *logos* regroupe la technologie, qui est un discours rendant la technique intelligible, et la théorie, qui justifie la technologie et précise son domaine de validité. Le concept de praxéologie peut être articulé à celui d'institution, en considérant par exemple les praxéologies attendues par l'institution « classe préparatoire MPSI » pour les types de tâches du TIPE.

Nous nous intéressons en particulier aux *tâches coopératives* (Chevallard, 1999), définies comme des tâches qui mobilisent plusieurs personnes, les *acteurs et actrices* de la tâche. Chacune de ces personnes prend en charge des sous-tâches, et accomplit *des gestes* particuliers. Le terme de geste ici doit être compris en un sens large, il inclut toute action, parole, gestuelle, expression du regard, etc. Suivant Chevallard (1999), nous appelons *topos* (respectivement *rôle*) d'un ou une élève par rapport à une tâche coopérative l'ensemble des sous-tâches prises en charge par l'élève (respectivement, l'ensemble des *gestes* accomplis par l'élève). C'est à travers ces *topoi* et rôles que nous caractérisons les responsabilités de chaque membre du groupe par rapport aux savoirs.

Notons que le *topos* et le rôle de chaque élève ou professeur ne sont pas figés au cours d'une séance, ils évoluent au cours d'un processus qualifié de *topogénèse* (Chevallard, 1985), concept repris dans le cadre théorique de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2011). Dans ce cadre, les places occupées par chaque acteur ou actrice relativement au savoir sont alors qualifiées de *positions topogénétiques*. En particulier, la position topogénétique de chaque élève peut être qualifiée de haute ou basse, selon la *densité épistémique* de ses actes, c'est-à-dire leur potentiel en termes de modification du milieu au sens de la théorie de l'action conjointe en didactique. Nous introduisons également la catégorie « intermédiaire ». Ainsi, lorsqu'une personne corrige une erreur commise par un élève, elle enrichit le milieu pour favoriser un apprentissage, on peut donc considérer qu'elle est dans une position topogénétique haute. Si elle se contente d'écouter en hochant la tête, ses actes ne modifient pas le milieu, on parlera d'une position topogénétique intermédiaire. Enfin, si la personne exprime qu'elle est bloquée, en attente d'un enrichissement du milieu par une autre personne, on pourra parler de position topogénétique basse. En pratique, la position topogénétique s'apprécie en fonction du contexte : l'élève A qui

pose une question pour comprendre l'explication de l'élève B pointe peut-être une vraie difficulté que B n'avait pas vue, auquel cas sa question peut amener dans le milieu des éléments qui vont faire avancer le savoir.

3.3. Question de recherche

La question centrale de cet article est la suivante : le dispositif de TIPE offre-t-il une opportunité pour concrétiser l'égalité femmes-hommes dans les enseignements de mathématiques en classe préparatoire scientifique ? En appui sur les éléments théoriques présentés ci-dessus, nous nous interrogeons sur la symétrie épistémique dans les groupes mixtes engagés dans un travail de TIPE, notamment en examinant les positions topogénétiques respectives des étudiantes et des étudiants.

Plus spécifiquement, nous nous intéressons à la question de recherche suivante : dans le fonctionnement des groupes mixtes de TIPE en mathématiques, quels *rôles* et *topoi* assument les étudiantes et étudiants, en particulier vis-à-vis des savoirs en jeu ? Y a-t-il symétrie entre les *rôles* et *topoi* des étudiantes et des étudiants ?

4. Méthodologie

Nous exposons ici la méthodologie de recueil de données, de traitement, et d'analyse, adoptée pour notre enquête sur le TIPE de mathématiques et informatique.

4.1. Données recueillies

Notre étude s'appuie sur des données recueillies au cours de l'année scolaire 2021-2022 dans un grand lycée en région Bretagne, disposant de trois classes de MPSI. Dans ces classes, les étudiantes représentent un quart de l'effectif.

Pour éviter d'influencer les interactions, l'objectif de la recherche tel qu'il a été présenté aux classes consistait à étudier le TIPE en mathématiques-informatique, pour voir dans quelle mesure le travail collectif et l'investigation pouvaient faciliter les apprentissages. L'aspect « genre » n'a donc pas été évoqué devant la classe. Nous avons suivi deux groupes mixtes de TIPE en mathématiques-informatique entre les mois de mars et juin 2022. Le groupe 1 est constitué de deux étudiantes et un étudiant. Le groupe 2 est constitué d'une étudiante et trois étudiants.

Pour analyser les interactions entre les membres du groupe, et les éventuelles asymétries, des phases d'observation nous ont paru nécessaires. D'autre part, nous avons besoin d'un outil permettant aux groupes de partager avec nous au fil de l'eau l'avancée du travail et la répartition des tâches entre leurs membres, y compris lorsque ces tâches se déroulaient hors la classe. Pour cela, nous avons choisi la

méthodologie du carnet de bord, déjà utilisée en didactique des mathématiques (Rezat, 2013). Finalement, les recueils de données menés pour les deux groupes suivis sont les suivants.

- **Un carnet de bord** partagé en ligne a été créé pour chaque groupe. Afin de caractériser les rôles de chaque membre, il était demandé aux groupes d’y noter, dans les dernières minutes de chaque séance, ce que chacun et chacune avait fait pendant la séance, ce qui était prévu pour la séance à venir, et éventuellement les actions à réaliser dans l’intervalle, en précisant qui était en charge de chaque tâche. Pour mieux appréhender les savoirs en jeu et leur appropriation, il leur était également proposé de photographier leurs brouillons et les déposer sur le carnet de bord à chaque séance. Des extraits du carnet de bord du groupe 1 sont présentés en annexe.
- Pour chacun des deux groupes, **deux séances de travail ont fait l’objet d’une captation vidéo et audio**, destinée à appréhender les interactions et les positions topogénétiques de chaque membre. Les groupes ayant une grande liberté de mouvement et d’action lors de ces séances, la méthodologie de captation devait être très flexible pour pouvoir s’adapter à différentes configurations (travail sur écran, au tableau, sur papier autour d’une table, etc.). Selon les séances, une ou deux caméras sur pied et une caméra 360° ont été utilisées, permettant de filmer l’ensemble du groupe. L’environnement étant bruyant, un dictaphone a été utilisé en complément aux caméras pour enregistrer les discussions de travail du groupe.

Nous avons également réalisé des **entretiens** avec les deux groupes et un questionnaire final, qui ne sont pas exploités ici car leur objet sort du cadre de cet article.

Un récapitulatif chronologique des types de données recueillies est présenté en figure 1.

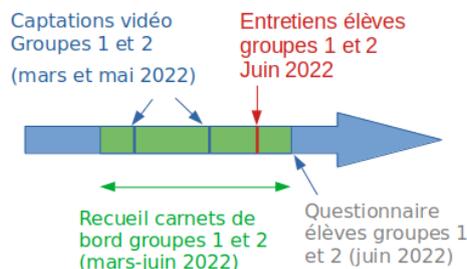


Figure 1. Frise chronologique – recueil de données

Les données concernant le groupe 2 se sont révélées plus lacunaires et moins exploitables (moindre taux de réponse au questionnaire, moins bonne qualité des enregistrements). Aussi, dans la suite de cet article, nous nous intéressons uniquement aux données concernant le groupe 1, ce qui en fait une étude exploratoire. Ce groupe a choisi de travailler sur les réseaux de neurones, des modèles fondés sur des méthodes mathématiques, implémentés sur ordinateur, et largement utilisés dans le champ de l'intelligence artificielle. Dans un souci d'anonymat, les prénoms ont été modifiés, les membres du groupe apparaissent tout au long de cet article sous les prénoms : Alice, Clara et Thomas.

4.2. Méthodologie de traitement et d'analyse des données

4.2.1. Traitement des données vidéos

Les séances enregistrées pour le groupe 1 ont eu lieu le 31 mars 2022 et le 5 mai 2022. Après captation audio et vidéo, chaque séance a fait l'objet d'un découpage en plusieurs phases, selon les modalités de travail (travail individuel, en binôme, ou en trinôme) et selon les objectifs visés ; certaines phases ont été elles-mêmes redécoupées en épisodes en fonction des objectifs poursuivis. Les phases de travail individuel ayant donné lieu à peu d'échanges verbaux, nous avons choisi de transcrire uniquement les phases de travail collectif.

4.2.2. Méthodologie d'analyse des transcriptions

L'analyse des transcriptions des deux séances s'est faite selon la méthodologie suivante, en lien avec notre cadrage théorique.

Tout d'abord, nous avons identifié sept types de tâches génériques qui peuvent être présents dans le TIPE. Pour cela, nous nous sommes basées sur le document officiel présentant les attendus pédagogiques (SCEI, 2023), ainsi que sur des entretiens avec

deux étudiantes et deux étudiants et avec des enseignants, réalisés dans une précédente étude (non publiée).

Les types de tâches identifiés sont les suivants : définir une problématique, trouver des ressources pertinentes, s'organiser en équipe, articuler le TIPE avec d'autres activités, comprendre les savoirs en jeu, produire un travail original. Notons que nous entendons par « travail original » un travail produit au sein du groupe (par opposition à un travail purement bibliographique).

Nous avons ensuite cherché à reconnaître, à partir des transcriptions, les tâches mises en œuvre par le groupe au cours de la séance observée, en les rattachant à l'un de ces types de tâches, et en précisant qui y contribue, et qui assume la responsabilité de la tâche. Pour ce faire, nous avons tenu compte de deux critères : d'une part, la prise d'initiative sur la tâche, c'est-à-dire le fait qu'un étudiant ou une étudiante ait abordé cette tâche avant les autres dans la discussion ; d'autre part, son niveau d'implication et de décision par rapport à la tâche, que nous avons estimé à travers les verbatims. Nous avons estimé que la responsabilité de certaines tâches était partagée entre deux membres du groupe. À partir de cette étude, nous avons dressé pour chaque séance un tableau représentant le topos de chaque étudiant ou étudiante, c'est-à-dire l'ensemble des tâches dont elle ou il a pris la responsabilité, et nous avons comptabilisé combien de tâches étaient prises en charge par chaque membre du groupe, pour chaque type de tâches. Un exemple de résultat est présenté dans le tableau 3, et nous présentons aux tableaux 5 et 6 des extraits de verbatims où nous explicitons les observables permettant d'obtenir ce tableau.

Nous nous sommes ensuite intéressées plus spécifiquement au type de tâches « comprendre les savoirs en jeu ». Pour tenter de comparer les responsabilités épistémiques de chaque membre du groupe, nous avons listé précisément les savoirs qui apparaissent dans la transcription, et nous les avons classés en cinq catégories : concepts mathématiques généraux (ici, le gradient et la distance euclidienne), concepts mathématiques spécifiques au sujet (ici, le principe de la classification non supervisée, l'algorithme k-means), concepts informatiques généraux (ici, choisir un mode de stockage des données, choisir un langage de programmation adapté, chercher en ligne de la documentation), concepts informatiques spécifiques au sujet (ici, programmer un algorithme de classification non supervisée en utilisant des fonctions prédéfinies), savoirs hors des mathématiques et de l'informatique (ici, le sépale d'une fleur). Nous avons listé ces savoirs en nous demandant quels membres du groupe avaient pris la responsabilité de chacun d'eux. Nous avons ensuite reporté les initiales de leurs prénoms dans un tableau en indiquant entre parenthèses derrière son initiale le nombre de savoirs pris en charge (voir tableau 4).

Enfin, pour affiner cette analyse, nous avons étudié les *gestes* (Chevallard, 1999) posés par chaque membre du groupe vis-à-vis de ces savoirs. À leur tour, ces gestes ont été classés en huit catégories, que nous avons rattachées à une position topogénétique haute, intermédiaire, ou basse, comme le présente le tableau 1. Comme nous l'avons évoqué précédemment, cette classification est parfois à affiner en fonction du contexte. Nous illustrons en section 5 ce travail sur des exemples de transcriptions (voir les tableaux 5 et 6).

Tableau 1. Classification des gestes

Position topogénétique haute	expliquer, présenter, corriger une erreur, résoudre une difficulté, articuler les savoirs
Position topogénétique intermédiaire	acquiescer
Position topogénétique basse	poser une question de compréhension, exposer une difficulté

Ainsi, à partir des gestes de chaque membre du groupe, nous avons pu inférer d'éventuelles asymétries des positions topogénétiques, voire des hiérarchies entre étudiantes et étudiant dans les rapports au savoir au sein de la mise en œuvre de ce TIPE.

4.2.3. Méthodologie d'analyse du carnet de bord

Le carnet de bord a été rempli régulièrement par le groupe. Son étude a permis de suivre le travail tout au long du semestre, de repérer des moments charnières (par exemple, le moment où la problématique a été définie de façon précise), de mieux comprendre comment le groupe a travaillé (sources utilisées, répartition des tâches).

Au-delà de ces premiers constats, nous avons analysé le carnet de bord de la façon suivante : pour chaque séance, parmi les types de tâches précédemment déterminés, nous avons cherché à reconnaître à partir du carnet ceux qui étaient effectivement pris en charge par chaque membre du groupe. Nous nous sommes alors intéressées à identifier les aspects technologico-théoriques et pratico-techniques. Nous avons ensuite inféré s'il y avait symétrie entre les étudiantes et l'étudiant, s'agissant de l'équilibre entre ces aspects technologico-théoriques et pratico-techniques.

5. Analyses et résultats

5.1. Analyse de la séance du 31 mars

Nous détaillons ici l'analyse de la séance du 31 mars. Celle-ci a été découpée en six phases (voir tableau 2), dont la plus longue (phase 5) consiste en un travail individuel

de chaque membre du groupe, après répartition des tâches, et n'a donc pas été retranscrite.

Tableau 2. Les phases de la séance du 31 mars

Phase	Durée	Description succincte	Transcription
1	02:52	Démarrage	Transcription 1
2	08:06	Présentation du travail préalable	
3	09:08	Réflexion collective à partir du travail préalable	
4	03:49	Organisation du travail collectif de la séance	
5	1:14:45	Phase de travail individuel	Non transcrite
6	13:31	Mise en commun	Transcription 2

5.1.1. Analyse des topoi

Le tableau 3 illustre le topos de chaque membre du groupe pendant cette séance.

Tableau 3. Types de tâches et répartition des responsabilités, séance du 31 mars

Types de tâches	Responsables
Définir une problématique	C & T (1)
Trouver des ressources pertinentes	C (1), T (1)
S'organiser en équipe	C (2), C & T (1)
Articuler le TIPE avec les autres activités	T (1)
Comprendre les savoirs en jeu	A (4), C (1), T (1)
Produire un travail original	A (3), C & T (1)

Lecture : Pour le type de tâches « s'organiser en équipe », Clara prend la responsabilité de deux tâches et partage avec Thomas la responsabilité d'une troisième tâche.

Ce tableau donne à voir les éléments suivants :

- Les tâches relatives à l'organisation de l'équipe reposent en grande partie sur une étudiante, Clara. L'analyse du carnet de bord confirme que ce phénomène ne se limite pas à cette séance mais se retrouve tout au long du semestre.
- Les deux derniers types de tâches, à plus forte densité épistémique, sont pris en charge en grande partie par Alice. Cependant, l'analyse du carnet

de bord montre qu'il s'agit d'une spécificité de cette séance, liée au fait qu'Alice a lors de la séance précédente travaillé sur une autre thématique, et qu'elle en fait ici un long exposé à ses camarades.

S'agissant de l'analyse fine des responsabilités par rapport aux savoirs en jeu au cours de la séance, nous reportons dans le tableau 4 le nombre de savoirs pris en charge par chaque membre du groupe.

Tableau 4. Responsabilités par rapport aux savoirs – séance du 31 mars

	Savoirs au programme de CPGE (1ère ou 2e année)	Savoirs hors programme de CPGE
Savoirs mathématiques généraux (gradient, distance euclidienne)	T(2)	
Savoirs mathématiques spécifiques au sujet (liés au principe de la classification non supervisée, aux méthodes d'évaluation d'un algorithme de classification, à l'interprétation des résultats d'une classification)		A(4), C(2)
Savoirs informatiques généraux (stocker des données dans des matrices, choisir un langage de programmation, rechercher la documentation sur une fonction Python)	A(1), T(1)	C & T (1)
Savoirs informatiques spécifiques au sujet (programmer un algorithme de classification non supervisée en utilisant des fonctions prédéfinies)		A(1)
Savoirs hors discipline (sépale d'une fleur)		T(1)

Lecture : Deux savoirs mathématiques généraux relevant du programme de CPGE sont abordés, sous la responsabilité de Thomas. Un savoir informatique général, hors programme de CPGE, est abordé, sous la responsabilité conjointe de Clara et Thomas.

On voit d'emblée que les savoirs abordés au cours de la séance dépassent largement le programme de CPGE. On remarque aussi qu'Alice prend en charge le plus grand nombre de savoirs, et qu'il s'agit essentiellement de savoirs spécifiques au sujet. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, ce résultat s'explique en grande partie par le contexte de la séance observée.

5.1.2. Analyse des gestes et positions topogénétiques

Si nous étudions les gestes de chaque membre du groupe pour affiner l'analyse (voir l'exemple du tableau 5), nous observons qu'Alice et Clara se placent assez souvent dans une position topogénétique basse, avec des gestes consistant à poser des questions de compréhension, ou à demander de l'aide face à leurs difficultés (voir figure 2).

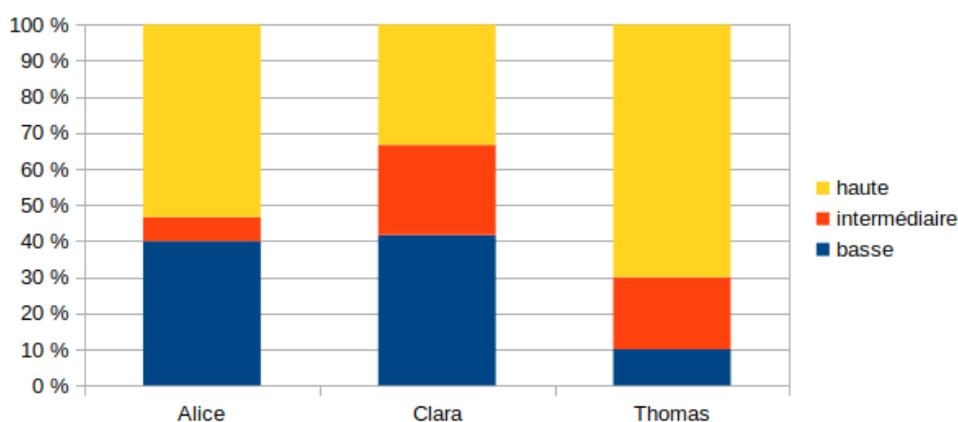


Figure 2. Positions topogénétiques des membres du groupe (31 mars). Lecture : 53 % des gestes d'Alice traduisent une position topogénétique haute, 7 % de ses gestes traduisent une position intermédiaire, 40 % une position basse.

À l'inverse, Thomas, bien qu'il ait pris la responsabilité de peu de savoirs dans cette séance, se place presque toujours en position topogénétique haute ou intermédiaire : il explique l'origine des difficultés de ses camarades, cherche à les résoudre, répond aux questions, articule les nouveaux savoirs aux savoirs anciens vus en classe, comme on peut le voir dans l'extrait du tableau 5, où Alice présente les principes de la classification non supervisée.

Au tour de parole 75, Alice annonce sur un exemple les objectifs du code de classification qu'elle a mis en place. Ce faisant, elle enrichit le milieu et nous rattachons donc son geste « expliquer » à une position topogénétique haute.

La question posée par Thomas (Tdp 76) enrichit le milieu en y intégrant un élément de savoir abordé lors d'un devoir surveillé. Alice n'avait pas fait le lien entre ce qu'elle présentait au groupe et ce savoir ancien. Nous rattachons cette intervention de Thomas au geste « articuler les savoirs » et considérons que Thomas adopte ici une position topogénétique haute.

Tableau 5. Extrait de transcription du 31 mars : Thomas articule les savoirs nouveaux aux savoirs anciens

75	Alice	Et en gros, la première fois, du coup, je vais, j'veais créer euh, un groupe, euh, comment expliquer ? [ferme les yeux dans un effort de concentration], c'est que en gros, donc on a toutes nos espèces de fleurs, on a toutes leurs particularités, et on va essayer de créer les groupes, avec ces espèces de fleurs, de façon à les répartir de façons les plus homogènes pour réussir à voir les différences entre... entre chaque fleur.
76	Thomas	OK. Du coup, est-ce qu'on peut lier ça exactement à ce qu'on a fait en option info ? Genre où on prend les deux plus proches, on fait un groupe. Ça fait des graphes et tout.
77	Clara	[d'un ton songeur] On a fait ça en option info ?
78	Thomas	Oui, dans le DS.
79	Alice	Ah oui, c'est vrai !

Au cours de la même séance, Thomas lui-même rencontre des difficultés pour comprendre comment réaliser des calculs de gradients. La définition du gradient n'a pas encore été donnée par le professeur de mathématiques, ce qui rend cet exercice difficile pour le groupe. Le tableau 6 présente un extrait de cet épisode.

Tableau 6. Extrait de transcription du 31 mars : Thomas expose ses difficultés sur le gradient

38	Thomas	J'avais commencé les calculs de gradient, sauf que ben... ça mène... pas à grand-chose vu que ben... ça mène à des trucs qui sont pas homogènes, c'est-à-dire que j'multiplie des matrices mais pas de bonnes tailles et tout.
39	Clara	[air impressionné] : Ah, c'est des matrices ?
40	Thomas	Oui, oui parce que je fais des gradients de matrices par rapport à des matrices. [Clara hoche la tête.] Tu sais, vu qu'y a eu la vectorialisation des équations et tout au début. Tu sais, t'as mis t'sais les gradients, c'est de grand X, grand W et tout là.
41	Clara	Hmm.

Le brouillon déposé par Clara sur le carnet de bord de la séance précédente permet ici de mieux comprendre les savoirs en jeu. Thomas et Clara tentent de comprendre

et mettre en œuvre un perceptron, qui est un algorithme d'apprentissage supervisé pour séparer automatiquement deux classes par un hyperplan. En dimension 2, si on considère donnés des points du plan (échantillon initial) auxquels sont attribuées des étiquettes prenant deux valeurs (classes), et s'il existe une droite séparant ces deux classes, l'algorithme permet de déterminer une droite de séparation optimale, de façon à pouvoir ensuite automatiquement attribuer une classe à un nouveau point qui ne figure pas dans l'échantillon initial. Pour déterminer cette droite optimale, Thomas doit calculer le gradient d'une fonction scalaire de deux variables, définie à partir des coordonnées des points de l'échantillon. Cependant, comme on le voit dans cet extrait, il se perd entre les variables de la fonction à minimiser (les deux paramètres permettant de définir la droite de séparation) et les coordonnées des points de l'échantillon, et ne parvient pas à écrire correctement le gradient. Au tour de parole 38, il expose sa difficulté à Clara et Alice ; on peut rattacher ce geste à une position topogénétique basse : le milieu est trop difficile à déchiffrer pour lui, il lui manque une intervention extérieure pour le rendre plus accessible. Au tour de parole 39, Clara montre de l'intérêt et de la surprise, sans toutefois apporter au milieu des éléments nouveaux : elle se situe en position intermédiaire. Au tour de parole 40, Thomas précise sa démarche et sa difficulté en rappelant à Clara le travail fait ensemble lors de la séance précédente. Ce faisant, il amène dans le milieu ces éléments d'un arrière-plan partagé avec Clara : on peut dire qu'il se place en position topogénétique haute. Dès lors, la position que prend Thomas par rapport au savoir semble décourager ses camarades de l'aider : on observe sur le film de la séance qu'Alice semble décrocher de l'échange et se concentrer sur son ordinateur. Clara tente de se concentrer pour comprendre les difficultés de Thomas, mais elle semble ne pas avoir d'idée pour l'aider. Elle reste dans une position basse ou intermédiaire, tandis que Thomas conserve sa position haute. L'épisode se conclut sans que le groupe ait réussi à avancer sur ce calcul.

D'autre part, si la promptitude de Thomas à articuler les savoirs et à s'attaquer aux difficultés est profitable à l'avancement du travail collectif, elle laisse parfois peu de place à l'expression de l'égale capacité des étudiantes, en particulier pour ce qui relève du bloc pratico-technique. En témoigne notamment un épisode où Alice tente d'exécuter un code qu'elle a écrit pour mettre en œuvre une méthode de classification non supervisée, et afficher l'inertie intra-classe en fonction du nombre de clusters (tableau 7).

Tableau 7. Extrait de transcription du 31 mars : difficultés d'exécution du code d'Alice

103	Alice	Normalement, normalement il m'affiche euh, c'est bizarre, pourquoi il veut pas ? Ah. Il veut pas. Parce que normalement il m'affiche le graphique avec l'évolution de l'inertie en fonction du nombre de groupes que tu fais. [Thomas regarde à nouveau l'écran d'Alice.] Ah ! OK !
104	Thomas	Ouais c'est bon, c'est juste que ça prend beaucoup de temps.
105	Alice	OK, c'est bon. Attends, parce que là. Ah oui. Attends... Il fait un mélange des deux. Euh... OK. Attends c'est bizarre parce que j'ai l'impression qu'il me met toujours l'autre.
106	Thomas	Supprime celui que tu viens d'avoir. Ferme-le.
107	Alice	Attends. Je vais mettre euh...
108	Thomas	Non l'autre dans Pyzo, y en a deux d'ouverts. Ah non en fait.
109	Alice	Ouais non.
110	Thomas	Ben ferme l'autre peut-être, ça prend un peu... Enfin nan j'sais pas, ça change rien.
111	Alice	Je vais mettre tout ça en hashtag. Comme ça... il y pense pas quoi. [Alice et Clara rient]. Il arrête ses bêtises. OK voilà c'est bon. Voilà. Et donc du coup ici tu vas avoir l'évolution de l'inertie intra-classe, en fonction du nombre de clusters que tu fais. Donc le nombre de clusters c'est le nombre de classes quoi.

Ici les savoirs génériques en jeu sont : comprendre pourquoi un programme ne s'exécute pas comme souhaité et résoudre ce problème. Le résultat du programme d'Alice tardant à s'afficher, Thomas se place en position topogénétique haute, en cherchant à expliquer l'origine du problème (Tdp 104), puis en donnant des injonctions qui s'avèrent inefficaces (Tdp 106, 110) ; finalement, Alice résout le problème par elle-même en commentant une partie du code (Tdp 111).

5.2. Analyse du carnet de bord

Une première observation du carnet de bord révèle que les sources utilisées par Clara ont été systématiquement renseignées, contrairement à celles des autres membres du trinôme. De plus, seule Clara a déposé ses brouillons sur le carnet de bord. On peut faire l'hypothèse que la tâche consistant à remplir le carnet de bord, relevant de l'organisation de l'équipe, a été principalement prise en charge par Clara.

Le carnet de bord permet également de repérer un moment charnière dans le travail du groupe : le 7 avril, après plusieurs semaines de recherches bibliographiques assez larges, la problématique du groupe s'est fixée de façon plus précise. L'objectif du groupe est de coder un jeu vidéo nommé Snake, dans lequel des serpents améliorent leurs performances à se déplacer dans un labyrinthe par des méthodes d'apprentissage (réseau de neurones).

L'analyse du carnet de bord par les types de tâches effectués, séance après séance, fait ressortir de nouveaux éléments. La recherche de ressources occupe une place importante dans le travail du groupe, et on n'observe pas d'asymétrie relativement à ce type de tâches. Cependant, à partir du 7 avril, les aspects pratico-techniques (et en particulier le codage du jeu et du réseau de neurones) prennent de plus en plus d'importance (voir annexe). On observe qu'à partir de cette date, les topoï des membres du groupe se distinguent : Thomas se spécialise dans la sous-tâche codage, tandis qu'Alice et Clara, tout en participant au codage, prennent la responsabilité de la justification mathématique des techniques algorithmiques.

5.3. Analyse de la séance du 5 mai : signes de reconnaissance épistémique

La séance du 5 mai confirme les analyses de la séance du 31 mars et du carnet de bord. Thomas y adopte une position topogénétique haute, se positionnant comme « expert » de la programmation. Il définit les paramètres importants, explique la façon de mettre en œuvre les différentes parties du code, donne des consignes, vérifie et corrige le travail de Clara, propose d'aider Alice. Dans une première lecture, Clara semble adopter un rôle « d'exécutante » : elle va voir Thomas pour lui demander comment procéder, retourne coder à sa place, et l'appelle quand elle a fini. Alice, chargée de la mise en place d'une base de données pour l'apprentissage, tente de réfléchir à la stratégie, et fait part de ses idées à Clara, puis à Thomas. Or ce dernier apporte des réponses décalées par rapport à l'attente d'Alice, insistant sur la complexité de l'algorithme à mettre en place et annonçant qu'il aidera Alice : « Enfin, si tu veux j'pourrai t'aider parce que ça prendra beaucoup de temps à coder » (Thomas, Tdp 28), sans confirmer ou infirmer la stratégie qu'elle propose.

En seconde lecture, on peut penser qu'en prenant en charge le codage, Clara se rend capable de coder. Plusieurs épisodes de cette séance font d'ailleurs émerger des signes de l'égale capacité des étudiantes en informatique, créant la surprise chez Thomas, comme par exemple dans l'extrait reproduit dans le tableau 8.

Tableau 8. Extrait de transcription du 5 mai : Clara comprend le Javascript

93	Clara	Du coup Thomas, tu fais quoi toi ?
94	Thomas	Euh, ben là, j'pense, j'veais aller me renseigner comment on code exactement la génération, et comment on code les mutations. Parce que genre une fois que t'as, imaginons que tu fais, sur une génération, j'sais pas tu, tu mets j'sais pas, tu mets mille serpents tu vois. On va dire tu prends les dix meilleurs, et en gros après, soit tu prends les dix, et faut les... leur faire une mutation tu vois, et genre faut les reproduire, mais donc, comment exactement on mute leurs trucs, pour pas que ce soit totalement aléatoire et pour pas que ça refasse des trucs de premier niveau ?
95	Clara	Oui, oui oui. Et attends, et du coup, ben si tu veux tu peux regarder ce qu'a fait... le truc que tu nous as donné, montré. Et euh, ouais c'est ça, et si...
96	Thomas	Ouais mais il code en JavaScript et je comprends pas JavaScript !
97	Clara	Mais si, moi j'ai lu, j'comprends, parce que c'est un peu...
98	Thomas	[très étonné] : Le JavaScript ?
99	Clara	Ouais, ça va. C'est pas très compliqué.
100	Thomas	OK. Euh... J'ai déjà codé une ou deux fois en JavaScript c'est pas...
101	Clara	Ouais mais, enfin je trouve qu'on comprend, genre « for machin »

Les tours de parole 96 à 101 font émerger un signe de reconnaissance épistémique femme-homme. Alors que Thomas se positionne en « expert » du codage, un rôle qui dans une certaine mesure rejoint un cliché masculin, en quelques phrases, Clara lui montre un signe de son égale capacité à comprendre un code, même écrit dans un langage qu'elle n'a pas étudié, suscitant l'étonnement de l'étudiant. Malgré la présence de tels signes, les positions topogénétiques au cours de la suite de la séance restent fortement asymétriques et ne semblent pas remettre en cause fondamentalement les attitudes de chaque membre du groupe.

6. Discussion et perspectives

6.1. Éléments de réponse à la question de recherche

La question de recherche étudiée ici était : « Dans le fonctionnement des groupes mixtes de TIPE en mathématiques, quels rôles et *topoi* assument les étudiantes et

étudiants, en particulier vis-à-vis des savoirs en jeu ? Y a-t-il symétrie entre les *rôles* et *topoi* des étudiantes et des étudiants ? »

L'analyse de la séance du 31 mars a montré des différences dans les *topoi* des étudiantes et étudiants. En combinant cette analyse à celle du carnet de bord, nous avons pu distinguer les différences qui sont spécifiques de la séance observée (en particulier, la responsabilité d'Alice par rapport au savoir) et celles qui ont un caractère plus global. Deux asymétries globales sont ressorties clairement : la responsabilité de Clara concernant l'organisation du travail collectif, et la responsabilité de Thomas concernant l'activité de codage. Cette distinction est significative car ces deux types de tâches ne revêtent pas la même densité épistémique en termes de savoirs mathématiques et informatiques.

L'analyse fine des gestes de chaque membre du groupe nous a permis d'accéder à leurs positions topogénétiques, relevant là aussi des asymétries. Bien qu'Alice ait pris le 31 mars la responsabilité du plus grand nombre de savoirs, ses gestes la placent dans une position topogénétique plus élevée que celle de Clara, mais plus basse que celle de Thomas. Comme pour l'analyse des *topoi*, on pourrait se demander si ces asymétries sont spécifiques à la séance observée, ou si elles sont globales. L'analyse du carnet de bord ne permet pas d'entrer suffisamment finement dans les gestes des étudiantes et étudiants pour répondre à cette question, toutefois l'observation de la séance du 5 mai confirme la position topogénétique plus haute prise par Thomas, celle de Clara étant pour cette séance un peu en dessous, et celle d'Alice étant la plus basse. Des signes de reconnaissance épistémique femme-homme émergent pendant la séance du 5 mai, mais ils ne suffisent pas à rééquilibrer les positions topogénétiques des étudiantes et étudiant.

Plusieurs facteurs pourraient expliquer ces asymétries, comme par exemple le niveau en mathématiques et informatique, ou leurs personnalités. Aussi, nous ne pouvons prétendre que les asymétries observées sont dues au sexe des personnes ; toutefois, elles montrent que, dans ce groupe, le dispositif de TIPE a favorisé l'émergence de quelques signes de reconnaissance épistémique, mais n'a pas permis aux étudiantes et étudiant de développer les mêmes interactions avec les savoirs. Ceci interroge le caractère égalitaire de la situation d'apprentissage. Enfin, une limite importante de la méthodologie présentée ici tient au fait qu'un seul groupe a été analysé. Cette étude doit donc être vue comme exploratoire.

6.2. Contributions théoriques et méthodologiques

Malgré ces limites, ce travail présente plusieurs originalités qui méritent d'être soulignées.

Sur le plan théorique, il propose de nouveaux outils issus de différents cadres conceptuels pour étudier de façon spécifique les questions d'égalité fille-garçon en didactique des mathématiques et répondre à une question peu traitée : celle de la symétrie épistémique de genre. Les concepts de topos et de position topogénétique sont apparus pertinents pour analyser cette symétrie dans les apprentissages. Ces outils théoriques sont amenés à évoluer ; en particulier, le concept de positionnement épistémique de genre (Verscheure *et al.*, 2020) pourrait venir les enrichir et permettrait sans doute de nuancer les analyses. Cependant ils ont le mérite d'apporter une première réponse dans un champ de recherche encore largement inexploré, et leur application au cas du TIPE a mis en évidence leur pertinence.

L'originalité de la question posée amène également à développer une approche méthodologique nouvelle. En effet, contrairement à d'autres travaux abordant le genre en didactique des mathématiques l'étude ne se base pas sur des réponses à des questionnaires ou des tests de mathématiques, mais comprend une phase d'observation de séances et des outils pour l'analyser finement, ainsi qu'un recueil de données à partir d'un carnet de bord.

6.3. Perspectives

L'analyse présentée dans cet article est exploratoire et pourra être prolongée dans différentes directions (complétant la direction théorique évoquée ci-dessus).

En particulier, de nombreux travaux ont établi des écarts importants selon le sexe concernant l'anxiété relative aux évaluations en mathématiques, et le sentiment d'efficacité personnelle (*self-efficacy*), voir notamment (Pintrich *et al.*, 1991). Pour aller au-delà de l'étude présentée ici, il serait intéressant d'observer dans quelle mesure, et à quelle condition, le dispositif du TIPE pourrait, à l'instar des enseignements *Inquiry-Based Learning* (Laursen *et al.*, 2014) favoriser chez les étudiantes des gains cognitifs, affectifs et transversaux susceptibles de réduire ces écarts. D'autres données recueillies dans notre étude, en particulier celles des questionnaires et entretiens finaux, apportent de premiers éléments de réponse à cette question.

Un prolongement de cette recherche pourrait s'inscrire dans la question suivante : à quelles conditions didactiques le TIPE permettrait-il une symétrie des responsabilités filles-garçons ? Cette question pourrait amener à réfléchir avec les enseignants des classes concernées, sur la base des premières analyses présentées ici, pour proposer des aménagements du dispositif de TIPE en MPSI, afin de favoriser une plus grande égalité entre les sexes dans les apprentissages. Elle pourrait

également, à terme, donner lieu à des actions de formation à destination des enseignantes et enseignants de classe préparatoire.

Par ailleurs, même si ses modalités sont spécifiques, ce qui s'expérimente en TIPE ne peut être totalement décorrélé des enseignements ordinaires en classe préparatoire. Nous faisons l'hypothèse que le temps didactique est un élément important pour développer une conscience de l'égalité des capacités des étudiantes et étudiants en mathématiques. Comme nous l'avons mentionné dans la section 1.2, le temps didactique en classe préparatoire est très rapide, ce qui peut nuire au sentiment d'égalité de compétence. Nous souhaitons donc également réfléchir à des leviers pour ancrer des situations de mathématiques dans un temps didactique propice à la concrétisation de l'égalité.

Bibliographie

ADIREDA, A. P., & ANDREWS-LARSON, C. (2017). Taking the sociopolitical turn in postsecondary mathematics education research. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 3(3), 444–465. <https://doi.org/10.1007/s40753-017-0054-5>

BAUDELLOT, C., & ESTABLET, R. (2006). *Allez les filles ! Une révolution silencieuse* (2e édition). Points actuels.

BECKER, J.-R. (1995). Women's ways of knowing in mathematics. Dans P. Rogers, G. Kaiser (Dir.), *Equity in mathematics education. Influences of feminism and culture* (p. 163–174). Falmer Press.

BERENI, L., CHAUVIN, S., JAUNAIT, A., & REVILLARD, A. (2020). *Introduction aux études sur le genre*. De Boeck Supérieur.

BLANCHARD, M., ORANGE, S., & PIERREL, A. (2016). *Filles + sciences = une équation insoluble ? Enquête sur les classes préparatoires scientifiques*. Éditions Rue d'Ulm.

BLANCHARD, M., ORANGE, S., & PIERREL, A. (2017). La noblesse scientifique : Jugements scolaires et naturalisation des aspirations en classes préparatoires aux grandes écoles. *Actes de la recherche en sciences sociales*, 220(5), 68–85. <https://doi.org/10.3917/arss.220.0068>

BURTON, L. (1995) Moving towards a feminist epistemology of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 28(3), 275–291.

CASTELA, C. (2002). Les objets du travail personnel en mathématiques des étudiants dans l'enseignement supérieur : comparaison de deux institutions, Université et Classes préparatoires aux Grandes Écoles. *Cahier de Didirem*, 40.

CHEVALLARD, Y. (1985). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. La pensée sauvage.

CHEVALLARD, Y. (1992). *Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique* (Vol. 12/1). 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.

COLLET, I. (2004). La disparition des filles dans les études d'informatique : les conséquences d'un changement de représentation. *Carrefours de l'éducation*, 17(1), 42–56. <https://doi.org/10.3917/cdle.017.0042>

COLLET, I. (2021, 29 septembre). Appliquer une pédagogie de l'égalité dans les enseignements d'informatique. *IntersticesInfo*. <https://interstices.info/appliquer-une-pedagogie-de-legalite-dans-les-enseignements-dinformatique/>

DARMON, M. (2015). *Classes préparatoires : la fabrique d'une jeunesse dominante*. La Découverte. <https://doi.org/10.3917/dec.darmo.2015.01>

DIRECTION DE L'ÉVALUATION, DE LA PROSPECTIVE ET DE LA PERFORMANCE (DEPP) (DIR.). (2021). *Repères et références statistiques : enseignements, formation, recherche* [RERS 2021]. Ministère de l'Éducation nationale. <https://www.education.gouv.fr/media/92540/download>

DURU-BELLAT, M. (2017). *La tyrannie du genre*. SciencesPo, Les presses.

ELHADAD, A., & BERTON-SCHMITT, A. (2012). *Égalité femmes-hommes dans les manuels de mathématiques, une équation irrésolue ?* Centre Hubertine Auclert.

FARAH, L. (2018). Les dispositifs institutionnels de mise à l'étude dans les classes préparatoires aux écoles de commerce. *Éducation et didactique*, 12(3), 9–23. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.3429>

FISHER, A., & MARGOLIS, J. (2002). *Women in computing: Unlocking the clubhouse*. MIT Press.

GAUCHARD, X. (2023). *Égalité filles-garçons en mathématiques, rapport 22-23-139A*. IGÉSR. République française. <https://www.education.gouv.fr/media/133538/download>

GERIN, M. (2020). *Co-écriture fille-garçon en symétrie : une ingénierie didactique coopérative pour concrétiser l'égalité des sexes au CP* [Thèse de doctorat, Université Rennes 2]

HANNA, G. (Ed.). (1996). *Towards Gender Equity in Mathematics Education: an ICMI study*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/0-306-47205-8>

HUGUET, P., & RÉGNER, I. (2007). Stereotype threat among schoolgirls in quasi-ordinary classroom circumstances. *Journal of Educational Psychology*, 99(3), 545–560. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.99.3.545>

JARLEGAN, A. (1999). *La fabrication des différences : sexe et mathématiques à l'école élémentaire*. [Thèse de doctorat, Université de Bourgogne]

JARLEGAN, A., TAZOUTI, Y., & FLIELLER, A. (2011). L'hétérogénéité sexuée en classe : effets de genre sur les attentes des enseignant(e)s et les interactions verbales enseignant(e)-élève. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 26, 33–50. <https://doi.org/10.4000/dse.1073>

JOHNSON, E., ANDREWS-LARSON, C., KEENE, K., MELHUIH, K., KELLER, R., & FORTUNE, N. (2020). Inquiry and Gender Inequity in the Undergraduate Mathematics Classroom. *Journal for Research in Mathematics Education*, 51(4), 504–516. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc-2020-0043>

LALAUDE-LABAYLE, M. (2016). *L'enseignement de l'algèbre linéaire au niveau universitaire Analyse didactique et épistémologique*. [Thèse de doctorat, Université de Pau et Pays de l'Adour]

LAURSEN, S. L., HASSI, M.-L., KOGAN, M., & WESTON, T. J. (2014). Benefits for Women and Men of Inquiry-Based Learning in College Mathematics: A Multi-Institution Study. *Journal for Research in Mathematics Education*, 45(4), 406–418. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.45.4.0406>

MONFORT, M., REGUER-PETIT, M., PERRIN, G., & BERTON-SCHMITT, A. (2022). *Les freins à l'accès des filles aux filières informatiques et numériques. Une étude longitudinale dans cinq lycées franciliens*. Centre Hubertine Auclert. <https://www.centre-hubertine-auclert.fr/outil/synthese-les-freins-a-l-acces-des-filles-aux-filieres-informatiques-et-numeriques>

MORLEY, C., & COLLET, I. (2017). Femmes et métiers de l'informatique : un monde pour elles aussi. *Cahiers du Genre*, 62(1), 183–202. <https://doi.org/10.3917/cdge.062.0183>

- PINTRICH, P. R., SMITH, D. A., GARCIA, T., & MCKEACHIE, W. J. (1991). *A manual for the use of the motivated strategies for learning questionnaire (MSLQ)*. Ann Arbor.
- REZAT, S. (2013). The textbook-in-use: students' utilization schemes of mathematics textbooks related to self-regulated practicing. *ZDM Mathematics Education* 45, 659–670. <https://doi.org/10.1007/s11858-013-0529-z>
- ROBERT, A. (1998). Outil d'analyse des contenus mathématiques à enseigner au lycée et à l'université. *Recherches en didactique des mathématiques*, 18(2), 139–190.
- RODITI, E., & SALLES, F. (2015). Nouvelles analyses de l'enquête PISA 2012 en mathématiques : un autre regard sur les résultats. *Éducation & formations*, 86-87, 235–255.
- ROUSTAN-JALIN, M., BEN MIM, H., & DUPIN, J.-J. (2002). Technologie, sciences, filles, garçons : des questions pour la didactique ? *Didaskalia*, 21, 9–42.
- SAYAC, N., & GRAPIN, N. (2016). Stratégies et degrés de certitude des filles et des garçons en mathématiques : quelles différences pour quels résultats ? *Repères-IREM*, 104, 43–57.
- SCEI (2023). *Attendus pédagogiques du TIPE*. https://www.scei-concours.fr/pdf/2024_Attendus_Pedagogiques_Final.pdf
- SCHUBAUER-LEONI, M.-L. (1996). Étude du contrat didactique pour des élèves en difficulté en mathématiques. Problématique didactique et/ou psychosociale. Dans C. Raïsky & M. Caillot (Dir.), *Au-delà des didactiques, les didactiques* (p. 159–189). De Boeck.
- SENSEVY, G. (2011). *Le Sens du Savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. De Boeck.
- VERSCHEURE, I., & AMADE-ESCOT, C. (2004). Dynamiques différentielles des interactions didactiques selon le genre en EPS. Le cas de l'attaque en volley-ball en seconde. *Staps*, 66(4), 79–97. Cairn.info. <https://doi.org/10.3917/sta.066.0079>
- VERSCHEURE, I., AMADE-ESCOT, C., & VINSON, M. (2020). De la pertinence du concept de « positionnement de genre épistémique » pour l'analyse de la fabrique des inégalités en classe. *Éducation & Didactique*, 14(1), 81–100. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.5408>

ROZENN TEXIER-PICARD

Univ Rennes, INSA, CNRS, IRMAR UMR 6625

rozenn.texier-picard@insa-rennes.fr

GHISLAINE GUEUDET

Université Paris Saclay, EST

ghislaine.gueudet@universite-paris-saclay.fr

MURIELLE GERIN

Université Bretagne Occidentale, CREAD

murielle.gerin@univ-brest.fr

Annexe. Extraits du carnet de bord

Dans le premier extrait ci-contre (séance du 24 mars, voir figure 3), on voit les tâches prises en charge par chaque membre du groupe sur la séance, ainsi qu'un brouillon déposé par Clara et qui peut être téléchargé.

Séance 24/03

PDF

Vidéo 2 Deep Learning (1)

Alice :

- Programmation d'un algorithme de classification non supervisé avec la méthode Eblow, (vidéo youtube Meriem Hnida)
- Se renseigne sur la fonction mathématiques de l'inertie interclasse, (source Internet)

Thomas :

- Etude de l'algorithme de Backward Propagation (calculs de gradients) pour les entraînements de réseaux de neurones.
- Source : Vidéos youtube sur le Deep Learning de la chaîne Machine Learnia

Clara :

- finir de résumer le fonctionnement d'un perceptron; découverte de la fonction sigmoïde, Log Loss, et du gradient (voir brouillon)
- calcul de gradient
- Source: Vidéos youtube sur le Deep Learning de la chaîne Machine Learnia

Figure 3. Extrait du carnet de bord – Séance du 24 mars

Dans le deuxième extrait (séance du 12 mai, voir figure 4), on voit la place grandissante des aspects pratico-techniques et la spécialisation partielle de Clara et Alice dans la justification des algorithmes.

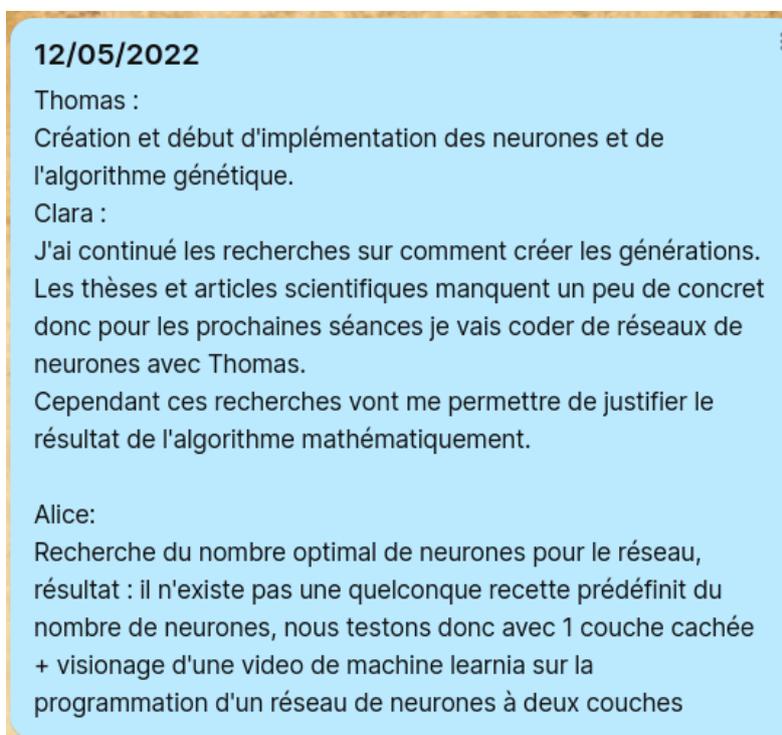


Figure 4. Extrait du carnet de bord – séance du 12 mai.