

LE CHERCHER-DEBATTRE-PROUVER A PARTIR DU CYCLE 1

Nataly ESSONNIER

Formatrice, CFAI DE SAVOIE
IREMI de Grenoble
nataly.essonnier@gmail.com

Michèle GANDIT

Université Grenoble Alpes
IREMI de Grenoble, Maths à Modeler
michele.gandit@univ-grenoble-alpes.fr

Laurence MOSSUZ

Conseillère Pédagogique de Circonscription, Bonneville 2
IREMI de Grenoble
laurence.mossuz@ac-grenoble.fr

Jean-Christophe SALMON

Collège, Montpellier
IREMI de Grenoble
jean-christophe.salmon@ac-montpellier.fr

Résumé

Ce texte porte sur les conditions de la mise en œuvre du *Chercher-Débattre-Prouver* en cycle 1. Notre recherche collaborative, menée avec des équipes d'enseignants issus de plusieurs écoles (cycles 1, 2 et 3) s'inscrit dans la suite d'un projet de recherche-action (2018-2021), puis du LÉA « Réseau de l'école à l'université – Grenoble et Annecy » (2021-2024), sur l'action de recherche « Enseigner la preuve en mathématiques pour former le citoyen au raisonnement, à l'autonomie et au débat scientifique » (Gandit, Gravier et Mossuz, 2023). Nous présentons ici un outil destiné à évaluer, au niveau microscopique, les interactions didactiques dans la classe au cours de la résolution d'un problème de la progression que nous avons établie. Du côté des élèves, cet outil permet-il d'identifier qu'ils ont acquis des connaissances, qu'on nomme *des connaissances de type II* (Da Ronch, Gandit et Mili, 2025) ? Du côté de l'enseignant, cet outil permet-il d'évaluer dans quelle mesure sa pratique permet l'installation d'un contrat didactique fondé sur le *débat scientifique* (Legrand, 1993) ? Dans le cadre de cet atelier, nous questionnons cet outil mis à l'épreuve pour analyser une séance en Grande section de maternelle.

I - INTRODUCTION

Notre recherche collaborative menée dans le cadre de l'IREMI (Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques et de l'Informatique) de Grenoble a commencé en 2018 à la demande d'une école primaire d'Annecy. Cette demande initiale, de la part des enseignants, portait sur les difficultés des

élèves en résolution de problèmes en mathématiques. Ce questionnement de départ, concernant les élèves, a peu à peu évolué vers une interrogation sur les pratiques enseignantes lors de la résolution de problèmes, notamment sur l'explicitation des objectifs poursuivis au travers de celle-ci, sur le choix des problèmes et, par suite, sur l'institutionnalisation des connaissances mises en œuvre par les élèves pour résoudre ces problèmes (2018-2021). Ensuite, notre travail s'est poursuivi entre 2021 et 2024, dans le cadre du LéA « Réseau de l'école à l'université – Grenoble et Annecy » (<https://ife.ens-lyon.fr/lea/le-reseau/anciens-lea/reseau-de-lecole-a-luniversite-grenoble-et-annecy>) dont l'action de recherche s'intitulait : « Enseigner la preuve en mathématiques pour former le citoyen au raisonnement, à l'autonomie et au débat scientifique ». Depuis 2024, nous poursuivons notre recherche dans le cadre d'un groupe IREMI particulier, en ce sens qu'il collabore avec une équipe d'enseignants expérimentateurs issus de plusieurs écoles de Grenoble et d'Annecy, du cycle 1 au cycle 3. Notre objectif est de développer chez les élèves, à partir du cycle 1, une attitude de preuve, une capacité à argumenter et débattre en mathématiques, discipline essentielle de la résolution de problèmes et de la preuve. Plusieurs outils, destinés aux enseignants, voire aux élèves, ont ainsi été coconstruits, après discussion et expérimentation par les enseignants des écoles impliqués : une première version de ces outils a été présentée au colloque de la COPIRELEM à Toulouse en 2022 (Gandit, Mossuz et Gravier, 2023), parmi ceux-ci, une *Progression annuelle de problèmes* (Gandit, 2024) dont une adaptation sera présentée pour le cycle 1

Depuis 2024, notre recherche porte sur les conditions de la mise en place d'un contrat didactique favorable à la mise en œuvre de ce que nous appelons désormais le *chercher-débattre-prouver* (nous précisons ce terme plus loin) dans la classe. Ce contrat est fondé sur le *débat scientifique en classe* au sens de Legrand (1993). La mise en place de ce type de contrat, la plupart du temps nouveau par rapport au contrat usuel, nécessite, de la part de l'enseignant, une remise en cause de sa pratique. Cela implique notamment une prise de conscience de la nécessité d'une alternance entre plusieurs postures : 1) poser un problème consistant permettant de viser des connaissances spécifiques à la résolution de problèmes, bien identifiées – nous les nommons des *connaissances de type II* (Gandit, 2024), 2) animer les phases d'échanges entre les élèves en leur laissant une large responsabilité sur le plan scientifique, 3) prendre en considération ce que pensent les élèves en les faisant voter, 4) observer leurs *actions scientifiques*, 5) organiser au moment opportun des phases de conclusion sur le problème et d'institutionnalisation des connaissances de type II visées.

Ainsi dans la suite de ce texte, nous explicitons le cadre théorique dans lequel se situe le *chercher-débattre-prouver*, et notamment le *débat scientifique en classe* au sens de Legrand, ainsi que les *connaissances de type II* et les *actions scientifiques*, évoquées précédemment. Puis nous présentons précisément nos questions de recherche. L'expérimentation sur laquelle nous nous appuyons se situant dans une classe de cycle 1, nous présentons également l'un de nos outils, adapté au cycle 1 : la *Progression annuelle de problèmes* pour la maternelle, qui a été expérimentée par l'enseignante. La première partie du travail des participants à l'atelier a consisté à expliciter des connaissances de type II en jeu dans le dernier problème de cette progression. Nous montrons ensuite comment l'outil d'évaluation que nous avons élaboré peut permettre une analyse, au niveau microscopique, des interactions dans la classe afin de repérer comment le débat scientifique vit au sein de la classe. Dans la seconde partie de l'atelier, les participants ont utilisé cet outil d'évaluation pour analyser les

interactions dans une classe de Grande Section de maternelle. Enfin nous concluons sur nos résultats de recherche et nous ouvrons quelques perspectives.

II - ELEMENTS THEORIQUES ET PROBLEMATIQUE

Notre cadre théorique général comporte deux volets : d'une part, la Théorie des Situations Didactiques (Brousseau, 1998), dans laquelle se situent nos outils de *Progression annuelle de problèmes* et d'*Actions Scientifiques des élèves*, ainsi que *Le Débat Scientifique en classe* (Legrand, 1993) en tant que contrat didactique favorable au développement d'actions scientifiques de la part des élèves ; d'autre part, l'évaluation formative, au sens de Black et Wiliam (2009, p.9), en tant que facteur d'auto-régulation des apprentissages, pour les élèves, mais aussi pour les enseignants. Nous explicitons particulièrement le premier volet, dans lequel les connaissances de type II et l'un des problèmes de la progression ont fait l'objet d'un premier temps de travail lors de l'atelier.

1 Les Actions Scientifiques

Les actions scientifiques des élèves sont les gestes, visibles ou non de l'extérieur, qu'ils accomplissent dans l'objectif de résoudre un problème de mathématiques, en argumentant, débattant, établissant des preuves, la classe fonctionnant comme une mini-communauté scientifique. Ces actions scientifiques ont été catégorisées, explicitées et affinées à partir de travaux de recherche précédents, portant sur la démarche d'investigation en mathématiques (modèle EMI¹ ; Gandit, 2015) et sur l'évaluation formative (Lepareur, Gandit et Grangeat, 2017 ; Chanudet, Coppé, Gandit et Moulin, 2019). Elles sont déclinées en quatre grandes catégories : *Expérimenter*, *Généraliser*, *Questionner* et *Communiquer*. A ces titres, nous avons ajouté des sous-titres reprenant les termes de chercher, débattre, prouver, inventer, afin de rendre visibles la créativité, la preuve et le débat, qui sont intimement liés à ces quatre catégories (Gandit, 2024) :

- 1) *Expérimenter, chercher, débattre, prouver* : c'est choisir des cas particuliers, ni trop simples, ni trop complexes pour comprendre le problème, les observer au regard du problème, en déduire des conjectures concernant ces cas particuliers, valider ou invalider celles-ci, reconnaître les résultats ainsi établis.
- 2) *Généraliser, chercher, débattre, prouver* : c'est dégager le généralisable du particulier en formulant une conjecture de portée générale, la prouver ou l'invalider par un contre-exemple, définir des objets nouveaux utiles à l'étude, dégager une méthode pour étudier un problème.
- 3) *Questionner, inventer, débattre* : c'est s'autoriser à sortir du cadre du problème et se poser des questions, dégager un questionnement dans une situation donnée, proposer de nouveaux problèmes ou questions induits par les actions précédentes.
- 4) *Communiquer, débattre, prouver* : c'est argumenter, débattre scientifiquement de ses résultats ou de ceux des autres, de ses conjectures ou de celles des autres, donner – par écrit ou oralement – une preuve acceptable par la classe, expliciter ses démarches de recherche et de preuve, présenter un problème et les résultats obtenus, donner son avis, donner un argument,

¹ Enseignement des Mathématiques fondé sur l'Investigation de la part des élèves.

un résultat, une méthode, reconnaître son ignorance ou son erreur, identifier et verbaliser ce qu'on a appris.

Une de nos hypothèses de travail est que ces actions scientifiques résultent de l'acquisition par les élèves de connaissances d'un certain type, qui sont très souvent *transparentes* (Deloustal-Jorrand, Gandit et Mesnil, 2023 ; Da Ronch, Gandit et Mili, 2025) dans l'enseignement, aussi bien pour les élèves que pour les enseignants. Nous explicitons ci-dessous ces connaissances, que nous avons désignées par *connaissances de type II*. Notre objectif est de les rendre explicites.

2 Les connaissances de type II

Ces connaissances particulières sont en jeu dans le *chercher-débattre-prouver*. Nous précisons d'abord ce que recouvre cette expression dans notre recherche. Ensuite nous définissons de manière un peu générale ce type de connaissances. Enfin, nous les illustrons dans le cadre de la résolution du dernier problème de la Progression, *Les rectangles de 4 couleurs*.

2.1 Le chercher-débattre-prouver et les connaissances en jeu

Cette expression, déjà utilisée dans (Gandit, 2024, p.3) désigne pour nous l'activité développée par une personne confrontée à un problème nouveau et consistant, *activité* au sens de Rogalski (2008) :

L'activité est ce que développe un sujet lors de la réalisation de la tâche : non seulement ses actes extériorisés, mais aussi les inférences, les hypothèses qu'il fait, les décisions qu'il prend, dans ce qu'il fait et se retient de faire ; l'activité comprend aussi la manière dont le sujet gère son temps, et également son état personnel – en termes de charge de travail, de fatigue, de stress, et de plaisir pris au travail –, ainsi que ses interactions avec autrui dans la situation de travail. (p. 24).

La tâche, dont il est question dans la citation, est, dans notre recherche, la résolution d'un des problèmes de la Progression. Le *chercher-débattre-prouver* est ainsi l'activité d'une personne qui résout ce problème et qui interagit avec une communauté scientifique pour établir des résultats (prouvés). Cette activité est en partie décrite par les différentes catégories d'actions scientifiques présentées ci-dessus. Comme nous l'avons déjà dit, dans ces actions scientifiques sont en jeu des connaissances spécifiques. Ce sont des connaissances qu'on peut classer en deux catégories. La première catégorie regroupe les connaissances qui relèvent du fonctionnement de la rationalité en mathématiques : la logique mathématique, les divers types de raisonnements mathématiques, la validité, les registres de représentation des mathématiques. Les connaissances de cette première catégorie sont nommées « connaissances d'ordre II » par Sackur, Assude, Maurel, Drouhard et Paquelier (2005). Par exemple : savoir qu'une proposition mathématique est soit vraie, soit fausse. La seconde catégorie rassemble les connaissances liées à l'heuristique : les manières de s'y prendre pour démarrer et avancer dans la résolution d'un problème nouveau, ce que Castela (2011) nomme « savoirs pratiques et heuristiques ». Par exemple : savoir ce qu'on appelle un cas particulier pour un problème donné, savoir que l'observation organisée de multiples cas particuliers, y compris des cas simples, permet de dégager une généralité (une conjecture de portée générale). Ce que nous désignons par *connaissances de type II* regroupe ces deux catégories de connaissances. Cette dénomination laisse penser qu'il existe également des connaissances de type I. En effet, les connaissances de type II portent elles-mêmes sur des objets mathématiques et leurs propriétés : les définitions de ces objets, ainsi que les propriétés et théorèmes relatifs à ces objets constituent ce que nous désignons par connaissances de type I (Sackur, Assude,

Maurel, Drouhard et Paquelier (2005) les nomment « connaissances d'ordre I »). Ces connaissances de type I sont nécessairement présentes dans toute activité mathématique, dans tout enseignement de mathématiques ; elles constituent la matière avec laquelle fonctionnent les connaissances de type II. Mais, contrairement à ces dernières, ce sont les seules qui bien souvent sont institutionnalisées. Comme déjà dit, les connaissances de type II restent la plupart du temps transparentes.

Notre objectif est l'enseignement explicite de ces connaissances de type II, dans le cadre de la Théorie des Situations Didactiques, particulièrement dans le cadre des Situations de Recherche pour la Classe *enrichies* (Deloustal-Jorrand, Gandit et Mesnil, 2024 ; Da Ronch, Gandit et Mili, 2025). La Progression que nous avons établie dans ce but repose sur une liste ordonnée de ces connaissances selon la difficulté croissante de leur apprentissage dans le contexte actuel de l'enseignement des mathématiques à partir du cycle 1.

Voici un premier exemple de ces connaissances de type II : *Savoir ce qu'on appelle un cas particulier pour un problème donné*. Tous les problèmes que nous avons choisis comporte des variables. Pour des raisons didactiques, nous avons fixé les valeurs de certaines d'entre elles. Les autres sont laissées libres, à la charge des élèves, elles constituent des variables de recherche. On obtient un cas particulier si on fixe des valeurs aux variables laissées libres. On réduit ainsi le problème à son étude sur ce cas particulier. On poursuit ensuite l'étude sur d'autres cas particuliers. Ce faisant, on mobilise une autre connaissance de type II (un deuxième exemple) : *Savoir que, pour comprendre un problème, on choisit différents cas particuliers et on les étudie, en commençant par des cas « simples*, autrement dit, en donnant des valeurs « petites » aux variables. Nous renvoyons à Gandit (2015) concernant les malentendus engendrés par le choix de cas simples, pas trop complexes, pour induire une généralité. L'explicitation de ces deux connaissances de type II permet ainsi de rendre plus claire l'injonction de « faire des essais », que l'enseignant adresse souvent aux élèves, lorsqu'ils résolvent un problème.

Nous illustrons ci-dessous d'autres exemples de connaissances de type II, dans le cadre de la résolution du problème des *Rectangles de 4 couleurs*. La résolution de ce problème-phare, tel qu'il est présenté en cycle 1, ainsi que l'explicitation des connaissances de type II en jeu, ont fait l'objet de la première partie du travail des participants à l'atelier.

2.2 Le problème des Rectangles de 4 couleurs, des exemples de connaissances de type II

Nous renvoyons à Da Ronch, Gandit et Gravier (2020, p.89) pour l'énoncé et la résolution du problème général. Nous avons présenté, aux participants à l'atelier, une instance du problème proche de celle que nous proposons au cycle 1, en deux temps. Les participants disposaient de tuiles de Wang à 4 couleurs, celles de la collection de base, en nombre suffisant. Ils ont ainsi découvert ces tuiles matériellement – des carrés décomposés suivant leurs diagonales, en quatre triangles colorés – et leur règle d'assemblage (figure 1) : deux tuiles s'assemblent si, et seulement si, elles ont une couleur commune sur un de leurs côtés

Dans un premier temps (figure 1), les participants ont cherché à paver (recouvrir sans chevauchement) le plan.

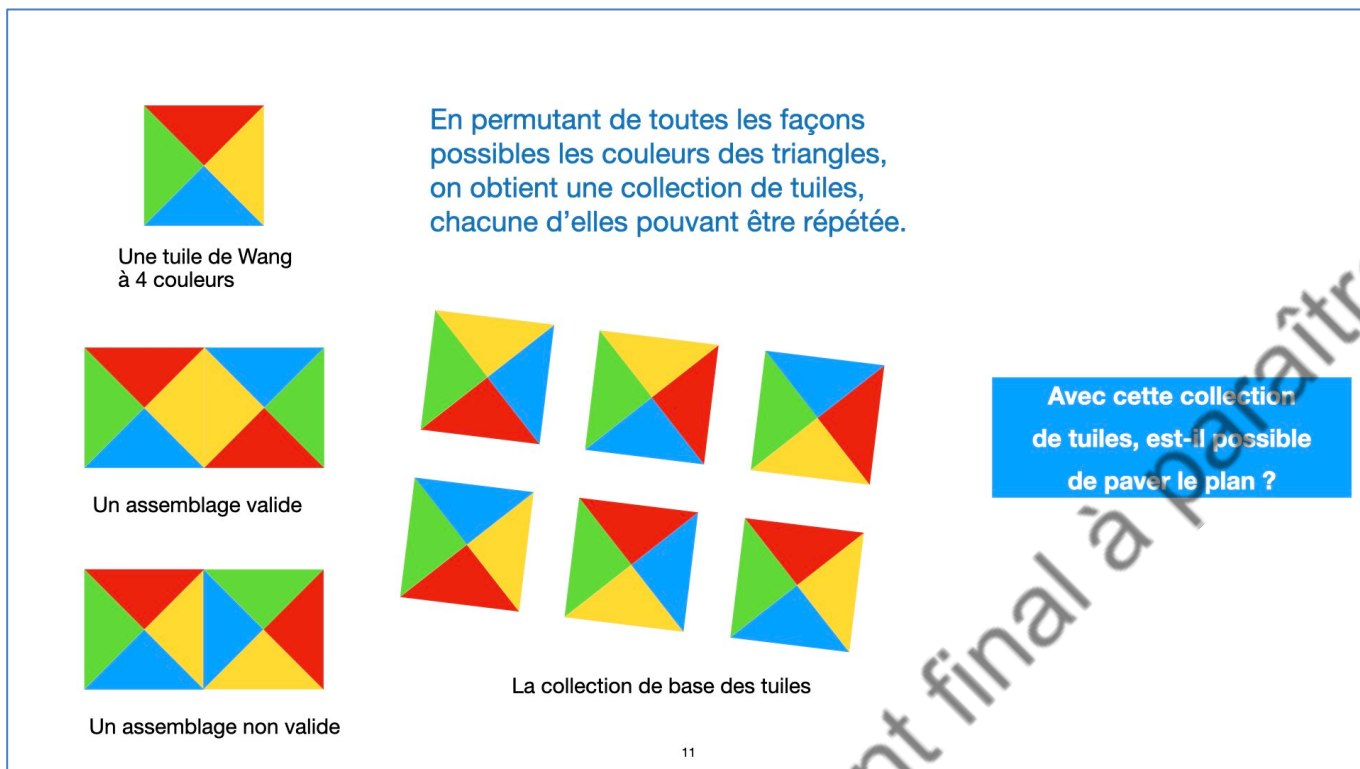


Figure 1. Un problème de pavage du plan

En cherchant ainsi à assembler des tuiles de la collection de base, les participants ont exhibé des réalisations de pavages sans se préoccuper des contours des surfaces pavées. La découverte que certains motifs, construits avec ces tuiles, pouvaient se répéter a permis d'élaborer des conjectures concernant la pavabilité avec les tuiles, de certaines figures ou du plan. Ainsi nous pouvons expliciter une troisième connaissance de type II en jeu dans ce premier temps de résolution : *Savoir que l'exhibition d'une réalisation (qui est ici matérielle) suffit à prouver la possibilité.* Autrement dit, savoir que, pour prouver qu'il est possible de paver le plan avec des tuiles de la collection de base, il suffit d'exhiber matériellement un pavage d'un motif rectangle et de montrer qu'on peut répéter ce motif, à droite, à gauche, en haut, en bas, à l'infini.

Dans un second temps (figure 2), des contraintes ont été ajoutées, portant sur la forme à paver et sur la coloration de ses bords. Concernant la forme, on a imposé de paver un rectangle, dont la taille restait une variable de recherche. Concernant ses bords, on a imposé que chaque bord soit unicolore et que les quatre bords soient colorés de quatre couleurs différentes (les quatre mêmes couleurs que les tuiles de Wang) : vert pour le bord Nord, jaune pour le Sud, rouge pour l'Est et bleu pour l'Ouest. On relie ainsi ce second temps du problème au premier, en imaginant qu'on extrait d'un pavage du plan un rectangle, extérieurement bordé au Nord par une rangée de tuiles dont le côté Sud est vert, au Sud, par une rangée de tuiles dont le côté Nord est jaune, à l'Est, par une rangée de tuiles dont le côté Ouest est rouge et à l'Ouest, par une rangée de tuiles dont le côté Est est bleu. Ceci se traduit par la condition supplémentaire imposée concernant le pavage du rectangle : les tuiles doivent respecter la couleur des bords.

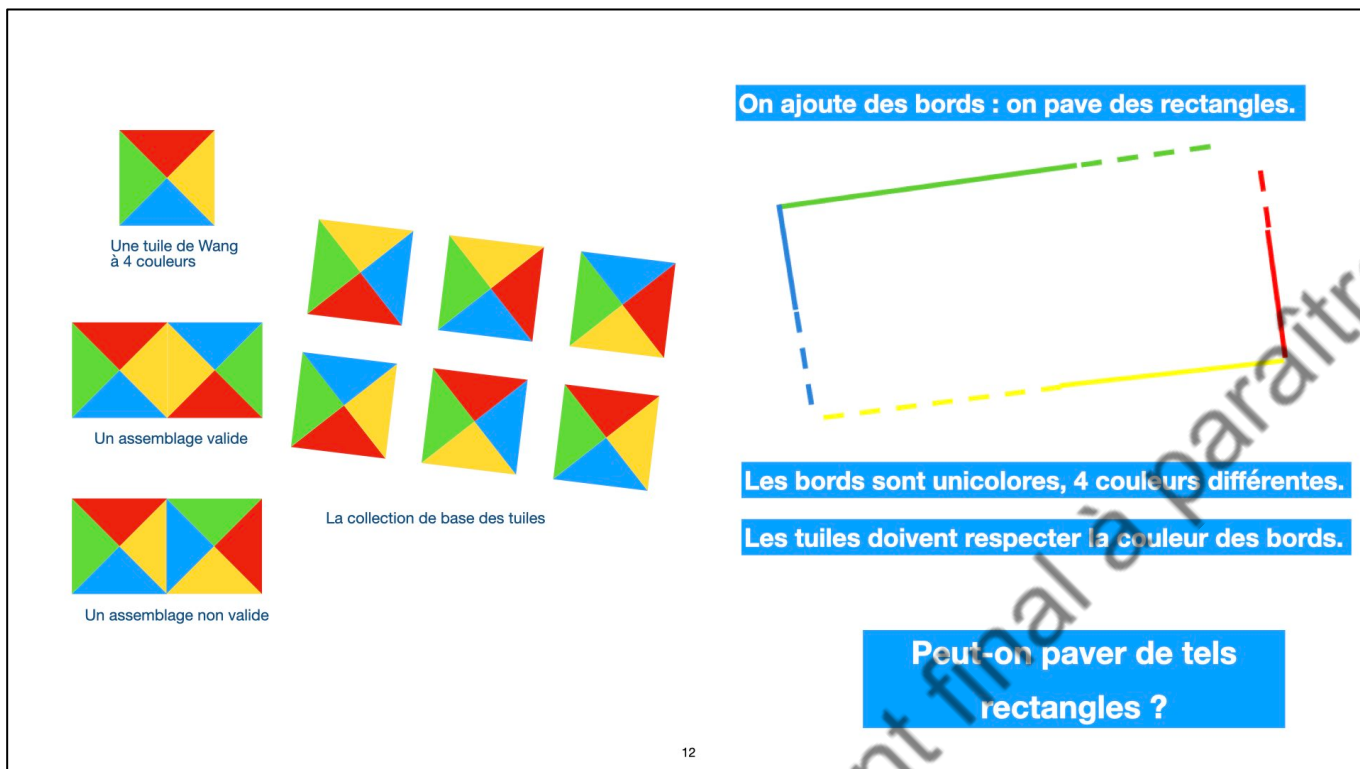


Figure 2. On cherche à paver des rectangles aux bords unicolores et de quatre couleurs différentes

Les participants à l'atelier se sont lancés dans le pavage de rectangles de tailles différentes. Le cas « simple » des rectangles de largeur 1 a été étudié. Les conjectures recueillies dans l'atelier (figure 3) ont été qu'on pouvait, avec les tuiles de cette collection, paver une ligne (ou une colonne) de longueur infinie et de largeur 1 (conjecture n°1), qu'on pouvait paver un rectangle d'une seule case. La conjecture n°1 a été invalidée par le cas du rectangle de taille 1 x 4 : la preuve a été donnée de l'impossibilité du pavage d'un tel rectangle. On a par contre prouvé qu'on pouvait paver un rectangle de taille 1 x 3. La constatation qu'on pouvait répéter certains « motifs » (constitués d'assemblages de tuiles) a permis d'aborder une preuve de la possibilité de paver des rectangles de largeur 1 et de longueur impaire quelconque.

Au travers de ces échanges menés dans l'atelier, on identifie ainsi la mobilisation des deux premiers exemples de connaissances de type II, donnés ci-dessus : *Savoir ce qu'on appelle un cas particulier pour un problème donné* et *Savoir que, pour comprendre un problème, on choisit différents cas particuliers et on les étudie, en commençant par des cas « simples »*. Ces connaissances n'ont cependant pas été identifiées par les participants. Ceci confirme que ces connaissances restent transparentes. Comme le montre la figure 3, la plupart des réponses données à la consigne d'identifier des connaissances de type II, en jeu dans la résolution du problème, est formulée de manière très vague : « raisonnement, représentation, essai-erreur, essai-ajustement, valider ». L'une d'entre elles est, en revanche, très pointue, « savoir qu'il y a un invariant ». Cependant celle-ci, de la même façon que « poser une conjecture », se rapproche davantage des connaissances de type II que nous avons sélectionnées dans notre progression.

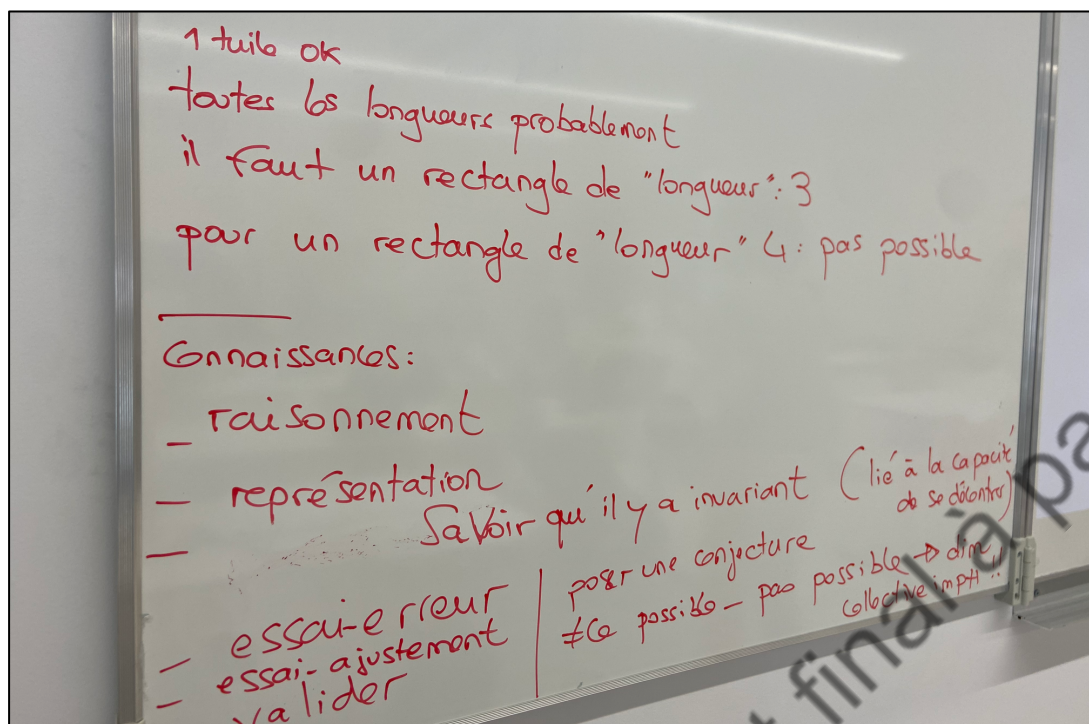


Figure 3. L'état du tableau à l'issue de la première partie du travail dans l'atelier : au-dessus du trait sont notées les conjectures, en dessous les connaissances de type II envisagées par les participants

Les connaissances de type II, dont nous visons l'apprentissage par la résolution du problème des *Rectangles de 4 couleurs*, sont nombreuses du fait que ce problème constitue le dernier problème de la progression. Nous explicitons ci-dessous les principales après avoir présenté la *Progression de problèmes adaptée au cycle 1*.

3 La Progression annuelle de problèmes : progression dans l'acquisition des connaissances de type II

Nous avons établi une liste de connaissances de type II à faire acquérir aux élèves, afin de les rendre plus autonomes et responsables lorsqu'ils résolvent des problèmes, afin de favoriser leurs actions scientifiques.

3.1 Une vue d'ensemble de la progression annuelle adaptée pour le cycle 1

Comme déjà dit, nous avons ordonné ces connaissances de type II en fonction de la difficulté croissante de leur acquisition. A chacune de ces connaissances de type II, nous avons attribué un problème-phare, dans la résolution duquel cette connaissance est un outil (Douady, 1986) dont on vise l'acquisition par les élèves. Le choix des problèmes-phares résulte d'une analyse a priori fine, sur le plan mathématique d'abord, puis sur les plans didactique et ergonomique. Concernant ce dernier plan, nous sommes attachés à la possibilité pour les élèves de manipuler du matériel lorsqu'ils s'engagent dans la résolution. Nous renvoyons à Da Ronch (2020) qui montre comment un problème issu des mathématiques savantes et contemporaines se révèle être un bon candidat pour devenir le support d'une situation de recherche adaptée à la classe. Cette connaissance rencontrée par l'élève (sciemment ou non) comme un outil, devra être ensuite de l'institutionnalisée en tant qu'objet (ibid.), grâce à la construction d'une trace écrite. Cette liste ordonnée de connaissances de type II nous a ainsi permis de

construire un enchaînement de problèmes, qui constitue la *Progression annuelle de problèmes*, que nous avons adaptée pour le cycle 1. Nous résumons notre Progression dans le tableau 1.

Connaissances de type II Savoir que :	Problème-phare	Dès la	Actions scientifiques des élèves
Un problème peut avoir plusieurs solutions. Une organisation est nécessaire pour convaincre que les solutions sont bien différentes et qu'on les a toutes.	<i>Les Tours</i> (3 étages et 3 couleurs)	Petite section	Construire une tour /une composition de la somme à payer. Contrôler si elle est valide ou non.
	<i>La Monnaie</i>	Petite section	Comparer deux tours / compositions (identiques ou différentes). S'organiser pour comparer plusieurs tours / compositions. Argumenter.
On construit un raisonnement (déductif) pour trouver la réponse. Les contraintes (les hypothèses) sont représentées de façon symbolique. On contrôle sa réponse par un raisonnement.	<i>Logikville</i>	Moyenne section	Construire une configuration qui répond aux contraintes. Contrôler si cette configuration est valide ou non. Argumenter en suivant plusieurs cheminements possibles.
Une proposition en mathématiques est soit vraie, soit fausse. On regarde beaucoup de cas simples et on formule une généralité (une conjecture). Il suffit d'un seul cas pour invalider une généralité.	<i>Les nombres pairs et impairs</i>	Grande section	Choisir un, deux, trois nombres. Construire une représentation matérielle d'un nombre pair / impair (jetons, Numicon) Construire une représentation de la somme de deux nombres. Dégager une généralité (propriété de parité) à partir des cas étudiés. Argumenter pour le vrai /faux.
Il suffit d'un seul exemple pour prouver une possibilité. La différence est importante entre « je n'y arrive pas » et « ce n'est pas possible ». On ne peut pas prouver une impossibilité par le fait qu'on « n'y arrive pas ». La preuve d'une impossibilité ne peut se faire que par un raisonnement.	<i>Le Carrelage de la salle de bain</i> (démarrer sur le 5 x 5, simplifier ensuite sur le 3 x 3)	Grande section	Choisir la place du lavabo / la taille du rectangle. Construire un pavage et contrôler s'il est valide ou non. Comparer plusieurs pavages. Dégager une généralité à partir de différents cas de placement du lavabo / de taille du rectangle
	<i>Les Rectangles de 4 couleurs</i> (démarrer sur des rectangles..., simplifier sur des bandes de largeur 1)	Grande section	Argumenter pour le vrai /faux.

Tableau 1. Une vue d'ensemble de la progression annuelle pour le cycle 1

Le tableau 1 présente une liste ordonnée de couples dont le premier élément est un ensemble identifié de connaissances de type II (première colonne) et le second un problème-phare (deuxième colonne). La dernière colonne présente les actions scientifiques potentielles des élèves. Mis à part, *Logikville* et *Les*

Rectangles de 4 couleurs, les problèmes ont été présentés dans (Gandit, Mossuz et Gravier, 2022). *Logikville* est un jeu qu'on trouve dans le commerce : il s'agit de placer des objets (personnages et animaux) dans des maisons en respectant des contraintes présentées sur des cartes.

Par la résolution de chaque problème-phare (sauf le premier), on vise non seulement l'acquisition par les élèves des connaissances de type II qui figurent sur la même ligne que le nom du problème, mais également la mobilisation des connaissances de type II déjà rencontrées dans la résolution des problèmes précédents. Ainsi, à chaque nouveau problème (sauf le premier), on cumule les connaissances de type II visées. Pour la classe de Grande section, il est proposé de traiter un problème par période scolaire (entre deux périodes de vacances). Dès lors, les connaissances de type II visées par la résolution de chacun de ces problèmes-phares pourront être réinvesties dans des variantes de ces problèmes – voire des rituels – que les enseignants proposeront au cours de la même période. Ceci renforce l'appropriation par les élèves de ces connaissances de type II.

Le paragraphe suivant illustre les connaissances de type II qui figurent dans la dernière ligne du tableau 1 (colonne de gauche), les explicite et les illustrent dans le contexte du problème des *Rectangles de 4 couleurs*. Ce sont ces connaissances qui guident l'enseignant de cycle 1 dans la conduite de la résolution du problème et la production d'une « trace écrite ».

3.2 Les connaissances de type II visées particulièrement par la résolution du problème des Rectangles de 4 couleurs

Les connaissances de type II citées ci-dessous sont celles qui figurent dans la première colonne et dernière ligne du tableau 1.

La première qui est indiquée : *Savoir qu'il suffit d'un seul exemple pour prouver une possibilité*. Autrement dit, savoir que : si une conjecture énonce dans sa conclusion qu'une propriété ou qu'un événement sont possibles, le fait de donner un exemple de réalisation de cette propriété ou de cet événement constitue une preuve de la vérité de cette conjecture. Dans le contexte du *Problème des Rectangles de 4 couleurs*, pour prouver qu'il est possible de paver le rectangle de taille 1 x 3, il suffit d'exhiber (matériellement) un pavage de ce rectangle, comme le montre la figure 4.



Figure 4. Il suffit d'exhiber ce pavage pour prouver qu'il est possible de paver le rectangle 1 x 3

La deuxième connaissance de type II indiquée : *Savoir que la différence est importante entre « je n'y arrive pas » et « ce n'est pas possible*. On ne peut pas prouver une impossibilité par le fait qu'on « n'y arrive pas ». » Autrement dit, savoir que : si une conjecture énonce dans sa conclusion qu'une propriété ou qu'un événement sont impossibles, le fait de ne pas trouver d'exemple de réalisation pour cette conjecture ne constitue pas une preuve de la vérité de la dite conjecture. Dans le contexte du *Problème des Rectangles de 4 couleurs*, ce ne sont pas les multiples essais infructueux de pavages non aboutis du rectangle 1 x 4 qui constituent une preuve de l'impossibilité du pavage. De ces multiples essais, on peut seulement déduire qu'on n'a pas trouvé de pavage. Ceci ne veut pas dire qu'il n'en existe pas. La

différence de sens doit être établie avec les élèves entre « on n'en a pas trouvé » et « il n'en existe pas ».

La troisième connaissance de type II indiquée : *Savoir que la preuve d'une impossibilité ne peut se faire que par un raisonnement*. Autrement dit, savoir que, pour prouver que quelque chose est impossible, la validation empirique par le matériel n'est plus possible. Il est nécessaire de se dégager (en partie) du matériel pour s'engager dans un raisonnement. Dans le contexte du *Problème des Rectangles de 4 couleurs*, pour prouver qu'il est impossible de paver le rectangle de taille 1×4 , on peut procéder à un raisonnement par forçage (figure 5).



Pour paver ce rectangle 1×4 , il n'y a pas d'autre possibilité pour la 1ère tuile à gauche, puis pour la 2ème tuile à gauche, puis pour la 3ème ; pour recouvrir le 4ème carré, il est nécessaire d'avoir une tuile avec 2 fois la couleur rouge, ce qui est impossible.

Figure 5. Un raisonnement par forçage pour prouver qu'il est impossible de paver le rectangle 1×4

Comme nous l'avons évoqué, ces connaissances de type II sont en jeu dans les actions scientifiques des élèves, à condition que ces derniers puissent en prendre l'initiative, dans le cadre d'une classe fonctionnant comme une mini-communauté scientifique. Ce type de fonctionnement est assuré par la mise en place d'un contrat didactique, *Le Débat Scientifique en classe* au sens de Legrand. Nous en donnons, ci-dessous, une description.

4 Le Débat scientifique en classe

Le débat scientifique en classe (Legrand, 1993) – dans la suite, nous dirons seulement *le débat scientifique* – met l'élève en situation de construire le sens des connaissances visées par l'enseignant au travers du problème proposé, par le fait qu'il favorise l'engagement des élèves et l'émergence de leurs conceptions. Balacheff (2024) écrit que « Le postulat fondateur de la TSD énonce qu'il est nécessaire que la connaissance dont l'apprentissage est visé « ait fonctionné comme telle dans des débats scientifiques et dans les discussions entre élèves » (Brousseau, 1981/1998, p. 218-220) » (p. 19). *Le débat scientifique* est une manière d'enseigner, un contrat didactique, dont une des caractéristiques est de faire fonctionner la classe comme une mini-communauté scientifique (Legrand, 1988), favorisant ainsi les actions scientifiques des élèves. Chaque élève a sa part de responsabilité scientifique dans les échanges qui ont lieu, l'enseignant pilotant ces échanges, mais restant en retrait sur le plan scientifique par rapport aux contenus échangés. L'installation de ce contrat nécessite une rupture avec la pratique usuelle en mathématiques, des enseignants et des élèves. Elèves et enseignant ont ainsi à comprendre la modification attendue de leurs postures respectives dans ce contrat didactique particulier.

Tout d'abord les élèves doivent comprendre qu'ils ont à prendre cette responsabilité scientifique : ils ont à s'engager dans la recherche de la vérité, à formuler des conjectures au vu des cas qu'ils ont étudiés, à donner un avis, sincère et argumenté, sur les propositions échangées, sans chercher à décoder la réponse attendue par l'enseignant. Ils ont ainsi à agir scientifiquement. Le doute et l'erreur ont un statut scientifique reconnu dans ce type de contrat. Ils permettent d'avancer dans la recherche de la vérité. Ainsi, au vu d'une proposition ou conjecture proposée à la classe, l'élève peut donner un

avis argumenté – « elle est vraie parce que... », « elle est fausse parce que... » –, mais il a aussi la possibilité de dire qu'il ne sait pas ou qu'il ne se prononce pas, pour des raisons diverses : il n'a pas eu assez de temps pour se forger un avis argumenté, il doute, ayant des raisons qui lui font dire qu'elle est vraie et d'autres qui le poussent à dire qu'elle est fausse, il n'a pas compris... Ainsi la vérité mathématique retrouve une dimension sociale : un résultat, même s'il est vrai, ne sera accepté par la classe que si son auteur en donne une preuve convaincante.

L'enseignant, quant à lui, doit à la fois lâcher prise dans les moments d'échanges et piloter le débat de façon très stricte, en ayant bien en tête les connaissances dont il vise l'acquisition par les élèves. Différentes phases sont à respecter, au cours desquelles le rôle de l'enseignant est différent : la recherche des élèves, le vote, l'argumentation, la conclusion. Nous décrivons succinctement ces différentes phases, puisqu'elles seront explicitées dans l'outil d'analyse, présenté plus loin.

Concernant la recherche des élèves, l'enseignant laisse suffisamment de temps pour qu'apparaissent des propositions de la part des élèves, correctes ou non, qui permettront une avancée dans la compréhension et la résolution du problème. Les élèves peuvent échanger avec leurs pairs. L'enseignant se garde d'intervenir sur le problème. Il peut les encourager, mais il évite toute intervention un peu longue auprès d'un élève. Une telle intervention a souvent pour effet de démobiliser les autres élèves. En revanche il observe les actions et les productions des élèves, ce qui lui permettra d'organiser les échanges qui vont suivre.

Dès qu'une proposition (une conjecture) d'élève intéressante est observée, elle est communiquée à l'ensemble de la classe, avec un support visible par tous les élèves. Le détachement de cette proposition par rapport à son auteur permet d'en faire une proposition de la classe, sur laquelle l'enseignant demande l'avis des élèves. Il recueille cet avis par un vote (entre trois choix, comme explicité plus haut) dont les résultats chiffrés restent visibles par tous. Ce vote a quatre fonctions essentielles : 1) Il force l'engagement des élèves. 2) Il renseigne l'enseignant sur les conceptions des élèves. 3) Il montre que ce n'est pas la majorité qui l'emporte en mathématiques et permet aux élèves d'entrer dans la rationalité mathématique. 4) Les résultats chiffrés du vote renforcent les investigations de certains élèves. L'enseignant peut itérer la phase de vote sur une même proposition au cours ou à la fin des échanges, afin de relancer ces échanges ou de faire un bilan.

Les résultats du vote permettent l'installation du doute. L'enseignant engage les élèves à argumenter, en choisissant de donner la parole à tel ou tel élève suivant l'avis qu'il a donné. Ce choix dépend, d'une part, du décalage entre cet avis et le caractère de vérité (vrai ou faux) de la proposition, d'autre part, de la position de cet avis par rapport à celui des autres élèves. Il invite chaque élève à s'adresser à toute la classe. La parole de l'élève doit être respectée par l'enseignant et partagée (par un support) avec tous les autres élèves. L'enseignant demande ensuite à un autre élève de répondre à ce premier argument. Et ainsi de suite, ce qui permet d'initier des interactions de type *enseignant-élève1-élève2...* et non *enseignant-élève1, enseignant-élève2...*

Tout au long des phases précédentes, l'enseignant a adopté une posture d'organisateur des échanges entre les élèves, permettant de faciliter l'émergence et la confrontation des représentations. Au moment qu'il juge opportun – les échanges s'épuisent, il apparaît la nécessité d'une synthèse – l'enseignant arrête les échanges. Il conclut cette phase d'échanges en reprenant les résultats établis, les méthodes utilisées, en revenant également sur les erreurs et les impasses. Enfin il explicite les

connaissances qu'il visait. Dans ce texte, il s'agit des connaissances de type II en jeu dans la résolution du problème choisi de la *Progression annuelle*.

Le problème choisi sert donc de support à l'acquisition de ces connaissances de type II, ceci faisant ainsi écho à notre ancrage théorique (TSD). L'objectif explicite de l'enseignant n'est donc pas la résolution du problème – peu importe que le problème ne soit pas résolu – mais l'acquisition progressive par les élèves de ces connaissances de type II.

A la suite de la présentation de ces éléments théoriques, travaillés dans le cadre de cet atelier, nous pouvons résumer nos questions de recherche.

5 Nos questions de recherche

Nous partons du constat que le contrat didactique usuel relatif à la résolution de problème à l'école est éloigné du débat scientifique. Pour l'enseignant, il est difficile à mettre en place, du fait, notamment de l'incertitude dans laquelle ce contrat place l'enseignant au cours des échanges scientifiques au sein de la classe. Celui-ci a besoin de repères et de critères pour mettre en place un tel contrat et de comprendre son intérêt pour les apprentissages des élèves.

D'où nos questions de recherche.

Q1 – Comment repérer et faire évoluer la mise en œuvre du débat scientifique en classe ?

Q2 – La mise en place du débat scientifique, dans le cadre de notre progression de problèmes adaptée pour le cycle 1, est-elle favorable à l'acquisition par les élèves de cycle 1 de connaissances de type II ?

Nous souhaitons présenter des éléments de réponses à ces questions en montrant, d'une part, que les enseignants impliqués dans notre recherche, avec le support des outils que nous avons co-construits, ont fait évoluer leur pratique vers la mise en place en classe d'un contrat didactique proche du débat scientifique, d'autre part, que leurs élèves ont acquis des connaissances de type II.

Dans ce but, nous avons élaboré un nouvel outil permettant d'analyser, au niveau microscopique, les interactions didactiques dans la classe lors des séances menées en classe par les enseignants, sur les problèmes de la *Progression annuelle*. Cet outil, que nous désignons ici par *la Grille*, est conçu pour repérer, d'une part, si les actions de l'enseignant sont favorables ou non à la mise en œuvre du débat scientifique dans le cadre d'un problème de la progression, d'autre part, si les actions des élèves sont scientifiques et révèlent l'acquisition de connaissances de type II.

Dans la seconde partie de l'atelier, nous avons ainsi présenté *la Grille*, puis nous avons invité les participants à l'utiliser pour analyser un extrait d'une séance en cycle 1 sur le problème des *Rectangles de 4 couleurs*.

III - UN OUTIL D'ANALYSE DES INTERACTIONS : LA GRILLE

Ainsi pour répondre à notre première question de recherche, nous avons mobilisé le cadre de l'évaluation formative, en tant qu'évaluation au service des apprentissages, et plus particulièrement les recherches francophones qui, plus largement, considèrent l'évaluation formative comme intégrée à chaque activité d'enseignement-apprentissage et se centrent sur la notion de régulation (Chanudet, Coppé, Gandit et Moulin, 2018). On pourra noter que, dans cette perspective, le *débat scientifique* peut être présenté comme un dispositif permettant, d'une part, de saisir les conceptions et les difficultés des

élèves, d'autre part, de réguler et d'adapter l'enseignement. Nous l'avons présenté comme un contrat didactique. Les travaux cités ci-dessus avaient déjà présenté un outil d'analyse des interactions didactiques dans la classe dans le contexte de la résolution de problèmes et de la démarche d'investigation, lui-même inspiré des travaux de Ruiz-Primo et Furtak (2007) portant sur ce qu'elles nomment « assessment conversations ». Nous avons adapté cet outil, *la Grille*, pour qu'il permette de mieux saisir les différents moments d'un débat scientifique portant sur la résolution d'un problème de la progression.

1 Description de la Grille

Ainsi *la Grille* est constituée d'une liste d'indicateurs observables, qui décrivent le déroulement d'une séance en classe consacrée à la résolution d'un problème. Ces indicateurs sont des gestes ou actions de la part de l'enseignant ou des élèves. Ils découlent des observations réalisées par les chercheurs de notre groupe, soit directement dans les classes, soit indirectement par le visionnage des vidéos réalisées (par les chercheurs ou par les enseignants eux-mêmes) dans les classes des enseignants expérimentateurs de notre groupe. Ces indicateurs sont répartis en quatre parties ou sous-grilles.

Les trois premières d'entre elles concernent l'enseignant, la quatrième les élèves pris individuellement.

1.1 La sous-grille « Mise en recherche »

La première sous-grille, désignée par *Mise en recherche*, regroupe et décrit les paroles, gestes ou postures observables de l'enseignant, au moment initial où il donne le problème et s'assure de la compréhension de la question posée, ou chaque fois qu'il met les élèves en recherche sur une question, proposition de méthode, conjecture ou argumentation, qui émergent des échanges au cours du débat scientifique ou qui résultent de l'observation par l'enseignant des productions des élèves. Voici trois exemples d'indicateurs observables présents dans cette sous-grille, qui en comporte vingt-six : ex.1) *L'enseignant donne la parole à un ou une élève, dès qu'il ou elle la demande* ; ex.2) *L'enseignant se tait pendant que les élèves cherchent* ; ex.3) *L'enseignant engage les élèves dans une pratique d'auto-évaluation, en leur donnant des outils pour se positionner sur leurs actions*. Les indicateurs de cette sous-grille correspondent à des moments où les élèves sont attentifs ou travaillent individuellement ou avec leurs voisins. Certains d'entre eux sont conformes à la mise en œuvre du débat scientifique, à la dévolution à l'élève d'une responsabilité sur le plan scientifique, comme l'illustre l'exemple 2 ci-dessus. En effet, lorsque l'enseignant se tait, il instaure un climat de travail et incite les élèves à prendre des responsabilités. D'autres indicateurs, au contraire, n'y sont pas favorables, comme on le voit dans l'exemple 1. En effet, donner la parole à un élève dès qu'il l'a demandée conforte celui-ci dans l'idée qu'il n'a pas à chercher lui-même la réponse aux questions qu'il se pose ou que des réponses doivent être trouvées de façon immédiate et ne l'incite pas à respecter le travail des autres. Enfin d'autres indicateurs correspondent à des aides apportées par l'enseignant, qui peuvent favoriser ou non la responsabilité scientifique des élèves. Ces derniers critères sont codés par la lettre A² suivie d'un numéro d'ordre A1, A2, A3. Les autres critères de cette sous-grille sont codés par la lettre E³ suivie d'un numéro également : E0, E1... Enfin, dans le but de distinguer, parmi les autres, les indicateurs favorisant

² A : première lettre du mot « aide ».

³ E : première lettre du mot « engagement ».

la responsabilité scientifique des élèves, nous avons ajouté la lettre d⁴ aux codes précédents, et éventuellement un numéro⁵. Ainsi, l'indicateur de l'exemple 2 ci-dessus est codé E9d2, celui de l'exemple 3 est codé A3d, enfin celui de l'exemple 1 en reste au code E3.

Cette sous-grille figure en annexe 1.

1.2 La sous-grille « Animation des échanges »

La deuxième sous-grille, intitulée *Animation des échanges*, regroupe et décrit les paroles, gestes ou postures observables de l'enseignant, au moment où il anime des échanges dans la classe. Cette sous-grille compte actuellement vingt-huit observables. Ils sont codés par la lettre R⁶ suivie d'un numéro. En voici deux exemples : ex.1) L'enseignant répond directement à une question en donnant une réponse correcte, donne une explication ; ex.2) L'enseignant demande à un ou une élève d'explicitier les raisons de son vote. De la même manière que pour la première sous-grille, certains indicateurs sont favorables à la responsabilité scientifique des élèves et les autres non. Les premiers reçoivent en plus le code d, suivi éventuellement d'un numéro (voir note 3). Ainsi l'exemple 1 correspond à l'indicateur codé R6 et l'exemple 2 à l'indicateur codé R5d2. Ce dernier indique en effet un geste d'animation d'un débat scientifique, alors que l'exemple 1 est contraire à l'esprit du débat scientifique.

Cette sous-grille est proposée en annexe 2.

1.3 La sous-grille « Conclusion-Institutionnalisation »

La troisième sous-grille, nommée *Conclusion-Institutionnalisation*, rassemble les paroles, gestes ou postures de l'enseignant lorsqu'il clôt le débat, conclut sur les résultats du problème, y compris les preuves établies en classe, et fait le bilan des connaissances de type II visées au travers de sa résolution. Cette sous-grille comporte actuellement dix-sept indicateurs. Ils sont codés par la lettre CI ou la lettre A, celle-ci marquant qu'il s'agit d'une aide supplémentaire apportée aux élèves. A ces lettres sont ajoutés, d'abord un numéro, ensuite, la lettre d, uniquement dans le cas où l'indicateur est en accord avec les principes du débat scientifique, suivie éventuellement d'un numéro (voir note 3). Voici deux exemples d'indicateurs avec leur code qui figurent dans cette sous-grille : ex.1) *L'enseignant clôt le débat à un moment opportun* ; ex.2) *Le débat s'arrête sans que l'enseignant ne le close explicitement*. L'exemple 1 correspond au code CI1d1 et l'exemple 2 à CI1. La partie commune à ces deux codes, CI1, indique que les deux indicateurs correspondants portent sur l'arrêt de la phase d'échanges entre les élèves. La lettre d, présente dans le code de l'exemple 1, marque l'arrêt des échanges dans la classe, décidé par l'enseignant suivant l'avancement dans la résolution du problème et les connaissances de type II qu'il vise. Il est conforme aux principes du débat, d'où la première partie du code, CI1d. Le numéro 1 qui suit la lettre d (dans le code CI1d1) permet de distinguer cet indicateur du suivant, codé CI1d2, qui énonce : *L'enseignant explicite sur quelle conclusion se clôt le débat*. Ce geste de l'enseignant correspond également à la clôture du débat (partie CI1 du code) ; il est conforme aux principes du débat (d'où le code CI1d), mais se distingue de l'exemple 1 par la précision apportée à cette phase de conclusion (d'où le numéro 2 ajouté, ce qui donne le code complet CI1d2).

⁴ d : première lettre du mot « débat ».

⁵ Nous revenons, dans la deuxième moitié de ce paragraphe, sur ces numéros qui suivent le code d.

⁶ R : première lettre du mot « régir ».

Cette sous-grille figure en annexe 3.

1.4 La sous-grille « Actions des élèves »

Cette quatrième sous-grille, désignée par *Actions des élèves*, regroupe les paroles, gestes ou attitudes observables des élèves, pris individuellement. Elle est composée de dix-sept indicateurs, qui sont codés par la lettre S⁷, suivie d'un numéro. En voici deux exemples : ex.1) *L'élève exprime son indécision, son ignorance, sans avoir manifesté d'engagement* ; ex.2) *L'élève donne un exemple, un contre-exemple*. Les codes attribués aux exemples 1 et 2 sont respectivement : S9 et S4a. La lettre *a*, attribuée à un code de cette sous-grille, signifie en effet que l'indicateur correspondant relève d'une action scientifique (voir paragraphe II-1) de la part de l'élève.

Cette sous-grille est disponible en annexe 4.

2 Mise à l'épreuve de La Grille dans une étude de cas en cycle 1

Nous avons cherché à étudier l'efficacité de cet outil, *La Grille*, pour répondre à nos deux questions de recherche. *La Grille* permet-elle de repérer et faire évoluer la mise en œuvre du débat scientifique en classe ? Permet-elle aussi de répondre à la seconde question de recherche concernant l'acquisition par les élèves de cycle 1 de connaissances de type II ?

Avant d'apporter des éléments de réponse à ces questions, nous avons invité les participants à s'approprier cet outil en leur proposant de l'utiliser pour coder une partie de séance en cycle 1, les codes étant ceux présentés ci-dessus et que l'on retrouve dans les annexes de 1 à 4. Cette partie de séance a été mise à disposition des participants, d'abord sous la forme d'un extrait de la vidéo réalisée par l'enseignante elle-même de la séance qu'elle a animée, ensuite sous la forme d'une transcription de cet extrait, réalisée par l'équipe de recherche du groupe.

Dans un premier temps, nous présentons le contexte dans lequel se situe l'extrait de la séance évoquée ci-dessus, ensuite nous réalisons le codage de cet extrait avec l'outil *Grille*, enfin nous exposons les résultats que le codage complet de la séance a permis d'obtenir. Les participants à l'atelier ont également procédé au codage et sont parvenus à la même description codée que celle qui va être présentée.

2.1 Le contexte

La séance analysée se situe vers la fin de l'année scolaire 2023-2024, donc en juin 2024, dans une classe de Grande section de maternelle, à Grenoble, en zone d'éducation prioritaire. Nous désignons l'enseignante par Marie. Elle appartient à notre groupe d'expérimentateurs depuis 2022. Cette séance porte sur le problème des *Rectangles de 4 couleurs*. Marie a elle-même filmé ses séances en classe et a mis toutes les vidéos à disposition de notre groupe de recherche. Par ailleurs nous avons mené avec elle un *Entretien de remise en situation par des traces matérielles* (Theureau, 2010), le 11 juillet 2024. Il s'agit d'un entretien d'une durée de deux heures, où l'enseignante s'est exprimée sur son action à partir d'extraits de vidéos réalisées dans sa classe ou à partir de documents, comme son compte-rendu du déroulement de sa séquence concernant le problème des *Rectangles de 4 couleurs*. Voici la transcription d'un extrait du début de cet entretien :

⁷ S : première lettre du mot « Student ».

Marie : « C'est le dernier problème, que j'ai proposé à mes élèves. Donc on en avait déjà fait cinq, parce que j'avais déjà fini la programmation qu'on avait établie pour les maternelles. Et j'ai trouvé que mes élèves étaient vraiment très engagés dans la résolution du problème. J'ai commencé par d'abord leur faire construire les tuiles. Donc en fait ce n'était pas la première étape du problème, c'était surtout pour réinvestir le problème des Tours et pour qu'ils comprennent que les tuiles étaient bien différentes. Que si on avait un triangle jaune, à côté un triangle bleu, et en rotation, rouge et vert, et qu'après on avait jaune, rouge, bleu et vert, c'étaient pas les mêmes tuiles. »

Ainsi Marie a suivi avec ses élèves la totalité de la Progression de problèmes adaptée pour le cycle 1 (voir le tableau 1). Elle a remarqué l'engagement des élèves dans la résolution de ce nouveau problème. Elle exprime l'idée qu'elle compte réinvestir des connaissances développées à l'occasion du premier problème traité, à savoir le problème *des Tours*. Pour traiter ce problème, en effet, il faut tout d'abord savoir reconnaître si deux tours (construites à partir de trois cubes *duplo* de trois couleurs différentes) sont identiques ou différentes, suivant le placement des couleurs. Pour le problème *des Rectangles de 4 couleurs*, il s'agit également de reconnaître si deux tuiles données, construites avec quatre triangles de quatre couleurs différentes, sont différentes ou non.

La séance qui est analysée se situe dans la séquence consacrée au problème des *Rectangles de 4 couleurs*. Celle-ci s'est déroulée en six séances en ateliers dirigés, avec chaque groupe, la classe étant partagée en deux groupes de 5 à 7 élèves.

- * Séance 1) Découverte du matériel, à partir de triangles de quatre couleurs (durée de 41 min avec le groupe 1 et de 27 min avec le groupe 2).
- * Séance 2) Utilisation de tuiles de Wang à quatre couleurs pour paver le plan (durée de 30 min avec les deux groupes) (voir figure 1).
- * Séance 3) Recherche individuelle sur la possibilité de paver ou non des rectangles de taille 1 x 4 ou 1 x 5 (durée de 17 min avec le groupe 1 et de 24 min avec le groupe 2) (voir figure 2).
- * Séance 4) Nouvelle recherche individuelle sur la possibilité ou non de paver des rectangles de tailles 1 x 4 et 1 x 5 (durée de 3 min pour le groupe 1 et de 4 min pour le groupe 2).
- * Séance 5) Recherche-débat sur la possibilité ou non de paver des rectangles de taille 1 x 5, puis des rectangles de taille 1 x 4 (durée de 33 min avec le groupe 1 et de 31 min avec le groupe 2).
- * Séance 6) Explication-débat avec les deux groupes réunis (durée de 7 min).

2.2 Utilisation de La Grille pour coder un extrait de séance

L'extrait de la séance codé au cours de l'atelier se situe dans la séance 5 avec le groupe 1. Cet extrait a été visionné par les participants, puis il leur a été distribué une transcription de cet extrait, qu'ils ont codé, en interaction avec les animatrices de l'atelier, en utilisant *la Grille*. Cet extrait codé est reproduit à la figure 5. Les lignes sont numérotées dans la première colonne. La deuxième colonne indique la personne qui parle : P désigne l'enseignante, E, E1 désignent des élèves, parfois nommés par un prénom. La troisième colonne comporte des indications sur le temps, elles ne figurent pas sur la figure 5. La quatrième colonne comporte des transcriptions de ce que disent l'enseignante ou les élèves. Enfin, les trois dernières colonnes comportent les codes issus de la Grille. De fait plusieurs codes peuvent correspondre à une même intervention, lorsque celle-ci représente plusieurs gestes ou attitudes, repérables par un code. Par exemple, *demandeur son avis à un élève* (code E3d2) et *donner la parole à un*

élève qui ne l'a pas demandée (code R5d3) correspondent à la même intervention, « Qu'est-ce que t'en penses toi ? [P s'adresse à Elian] » (ligne 37 du tableau de la figure 5).

La figure 5 correspond, par ailleurs, à une feuille de calcul d'un tableur, qui permettra de repérer la fréquence des différents codes de la Grille.

		Transcription codée			
25	P	Non, donc celle-là on est obligé de l'enlever. Maintenant, regardez Elian [C'est l'élève au premier plan de la vidéo, qui a déjà essayé les six tuiles possibles pour la quatrième case, et les a laissées sur sa table pour montrer ses essais, qui n'ont pas abouti]. Elian, il a pas fini, mais qu'est-ce qui se passe ? [Bruit] Chut.	R1	R2d	E2d2
26	E	[...] il te reste que une.	S2a		
27	P	Il lui reste plus qu'une. Bien, Elian alors, t'as pas trouvé laquelle mettre à la fin ? [Elian ne sait pas quoi répondre]	R1d1	R4d	
28	E1 (pas Elian)	Il a tout mis [elle montre les six tuiles essayées qui sont restées sur la table] et ça marche pas.	S3a		
29	P	Ah, pourquoi ?	E2d1		
30	E1	parce que là, parce que là, y a du rouge et là y a du rouge.	S3a		
31	P	Ah, toi t'as la même, il te reste la même qu'Elian. Il faudrait une tuile...	R3	R1	
32	E	qui a deux rouges, parce que ça existe pas.	S2a	S3a	
33	P	Ah, vous avez entendu ça ? Pour la dernière tuile de Ewa ou la dernière tuile d'Elian, qu'est-ce qui se passe ?	E2d1		
34	E	Il se passe que, il se passe que... qu'il faut avoir... que deux rouges, ça existe pas, donc il faut qu'il doit, qu'il doit... laisser trouver...	S5a	S6a	
35	P	Il doit laisser trouver d'autres personnes ?	R1d1	R4d	
36	E, E...	Non.	S2a		
37	P	Qu'est-ce t'en penses toi ? [P s'adresse à Elian]	E3d2	R5d3	
38	Elian	Le problème... il faut enlever.	S3a		
39	P	Le problème quoi ?	R10d		
40	Elian	Il faut enlever.	S3a		
41	P	Il faut enlever ? Est-ce que tu penses que si tu enlèves et que tu recommences, tu vas y arriver ?	R1d1	R4d	
42	E	faut pas enlever, faut le laisser et on va dire que c'est fini.	S12a	S3a	S14a
43	P	Que c'est fini et que, du coup ?	R1d1	R4d	
44	E	Ça marche pas.	S12a	S8a	
45	P	Ça marche pas. Est-ce qu'on peut dire que ça marche pas ?	R13		
46	E	[Brouhaha] Non, on peut dire que ça marche, mais quand même...	S8a	S9a	
47	P	Que le tien [P s'adresse à Elian], ça marche pas. On peut dire qu'on n'a pas réussi.	R4		
48	Elian	Ben je sais, je sais pourquoi ça marche pas.	S2a	S11a	
49	P	Pourquoi ?	R4d		
50	Elian	Parce que ici [il montre le rouge qui correspond au bord Est de la troisième tuile posée] il y a du rouge, et ici aussi [il montre le bord Est de la bande] il y a du rouge.	S3a		
51	P	Est-ce qu'il y a des tuiles avec deux rouges ?	R4d		
52	E	Non, ça existe pas des tuiles avec deux rouges.	S3a		
53	P	Alors pourquoi là ça marche pas et que tout à l'heure, ça marchait ? [P rappelle que les élèves ont tous réussi à paver leur bande 1 x 5]	R13		
54	E	Ça marchait parce que... il avait bien mis les cartes, parce qu'il avait bien mis les cartes.	S3a		

Figure 5. Extrait de la transcription de la séance codée lors de l'atelier

Les participants ont pu constater que *la Grille* permettait non seulement de coder les gestes ou attitudes de l'enseignant et des élèves, même si certains passages étaient inaudibles, donc non retranscrits, mais aussi que la lecture de cette grille donnait des repères aux enseignants pour mettre en place le débat scientifique dans leurs classes. Nous reviendrons sur ce point dans la conclusion.

2.3 Les résultats issus du codage avec la Grille

Les résultats qui sont présentés ci-après ne correspondent pas seulement à l'extrait de séance codé au cours de l'atelier. Ils correspondent à un épisode de 15 minutes de la séance (il s'agit des quinze dernières minutes de la séance) dont est issu cet extrait.

Dans un premier temps, nous décrivons les résultats que ce codage permet d'obtenir concernant l'activité des élèves au cours de cet épisode. Tous les codes commençant par un S nous ont permis de relever 84 observables qui marquent une parole ou un geste ou une attitude de la part d'élèves, pris individuellement. Parmi ceux-ci, nous en avons relevé 75 (présence de 75 codes qui commencent par la lettre S et se terminent par la lettre a) qui dénotent une action scientifique, soit 89%. Parmi ces actions scientifiques, on relève 34 fois le code S3a, soit 40%, ce qui indique une argumentation, ou plus précisément que *l'élève justifie ou précise ou reformule un raisonnement ou donne une raison, une méthode ou un argument*. On retrouve 5 fois le code S8a (5/75), qui indique que *l'élève donne son avis*, et 7 fois le code S12a, qui révèle *une intervention spontanée de la part de l'élève*. Plus précisément voici les résultats (tableau 2) obtenus concernant l'activité scientifique des élèves pendant ces 15 minutes de séance.

Observables	Effectifs
L'élève justifie, précise, reformule un raisonnement, donne une raison, une méthode ou un argument » (S3a)	34
L'élève explique comment il ou elle a obtenu une réponse, une conjecture, une idée (S5a)	1
« L'élève justifie, précise, reformule un raisonnement, donne une raison, une méthode ou un argument » (S3a)	1
L'élève donne son avis... (S8a)	5
L'élève exprime son indécision, son ignorance...(S9a)	2
L'élève exprime ce qu'il a compris...(S11a)	1
L'élève intervient de manière spontanée... (S12a)	7
L'élève propose une conjecture (S14a)	1

Tableau 2. Actions scientifiques remarquables de la part des élèves pendant 15 min de la séance

En résumé, nous pouvons conclure que l'argumentation tient une large part dans l'activité des élèves, que ceux-ci osent donner leur avis et même qu'un élève a proposé une conjecture.

Dans un second temps, nous décrivons les résultats que ce codage permet d'obtenir concernant la pratique de l'enseignante. Nous avons relevé 101 observables qui concernent la pratique de l'enseignante, dont 60 (sur 101), soit 59% marquent une parole ou un geste ou une attitude en accord avec les principes du débat scientifique. Ceci indique une progression nette de sa pratique vers l'installation d'un contrat didactique fondé sur le débat scientifique. Plus particulièrement, le tableau 3 montre que, très majoritairement, l'enseignante respecte la parole et les idées des élèves, en accord avec un principe du débat scientifique

Observables	Effectifs
L'enseignante répète ou paraphrase une contribution d'élève en en conservant le sens ... (R1d1)	14
L'enseignante demande l'avis d'un ou d'une élève. (R5d3)	7
L'enseignante renvoie à la classe des propositions d'élèves. (R2d)	3
L'enseignante renvoie une idée d'élève à la classe. (R3d)	3

L'enseignante permet à l'élève de reformuler... (R10d)	5
L'enseignante reprend, mais de manière différente, une idée d'élève... (R1)	4

Tableau 3. Du côté de l'enseignante, les observables en lien avec le respect de la parole et des idées des élèves

Cependant l'effectif de 4 correspondant au code R1, montre qu'il arrive parfois à l'enseignante de reprendre une idée d'élève en la déformant, ce qui n'est pas favorable aux principes du débat scientifique. De surcroît, nous constatons certains manques dans la pratique de l'enseignante, qui empêchent la mise en place du débat : d'une part, l'enseignante ne conserve pas de trace pour rappeler les étapes de la résolution du problème (effectif de 0 pour le code R1d3⁸), d'autre part, elle ne fait pas voter les élèves pour recueillir leur avis (effectif de 0 pour le code R5d1⁹). Enfin l'effectif de 16 attribué au code R13 révèle que *l'enseignante incorpore assez souvent aux échanges avec la classe un commentaire ou une question qui ne sont pas pertinents pour la poursuite du débat*. De fait, dans cet extrait de séance, elle questionne souvent les élèves sur la réussite ou non du pavage. Or ce questionnement n'est pas pertinent pour amener les élèves vers la preuve, de l'existence d'un pavage ou de son impossibilité, alors qu'ils sont tout à fait prêts cognitivement à franchir ce pas. En effet, ils ont tous réussi à trouver un pavage du rectangle 1 x 5. Ils ont donc tous prouvé que le rectangle 1 x 5 était pavable par l'exhibition de leur pavage. Ils n'ont pas trouvé de pavage du rectangle 1 x 4, pourtant certains élèves sont tout près d'établir la preuve que le pavage du rectangle 1 x 4 est impossible (voir la figure 6).



Figure 6. La preuve de l'impossibilité du pavage du rectangle 1 x 4 est sur la table

La figure 6 montre en effet que l'élève (dont on voit la main) a commencé un pavage du rectangle 1 x 4. Il s'est arrêté en ne posant pas la quatrième tuile. Concernant les trois premières tuiles, étant données les contraintes portant sur la couleur des bords du rectangle, il n'y a pas d'autre choix que celui que l'élève a opéré. Les six tuiles – ce sont les six tuiles de la collection de base (voir figure 1) – retournées sur la table au-dessus du pavage commencé, portant des gommettes de couleur, montrent que l'élève a essayé de poser chacune de ces tuiles pour tenter de terminer le pavage. Il a donc étudié tous les cas

⁸ R1d3 : L'enseignante fait prendre des notes sur ce qui se dit en classe ou constitue une trace de la recherche.

⁹ R5d1 : L'enseignante demande l'avis des élèves en les faisant voter.

possibles pour cette dernière tuile. Sa preuve est « sur la table ». Il manque juste l'argument selon lequel il n'a pas d'autre choix que celui qu'il a effectué pour les trois premières tuiles du pavage. L'élève, désigné par E, dans le dialogue qui suit, conclut que « ça marche pas ». Or l'enseignante semble ne pas comprendre que l'élève annonce que le pavage est impossible. Elle est, à ce moment-là, en difficulté pour animer un débat scientifique.

E : « Faut pas enlever. Faut le laisser. On va dire que c'est fini. »

P : « Que c'est fini et que du coup... »

E : « Ca marche pas »

P : « Ca marche pas. Est-ce qu'on peut dire que ça marche pas ? »

La raison principale de la difficulté de l'enseignante à mener le débat au cours de cette séance est qu'elle n'a pas clairement désigné préalablement, pour elle-même, les connaissances de type II qu'elle vise au travers de la résolution du problème – comme recommandé dans l'outil *Positionnement* destiné à l'enseignant (Gandit, 2024) – ou qu'elle les perd de vue. Cette désignation constitue en effet, pour l'enseignant, le fil conducteur essentiel pour mener un débat scientifique.

Concernant l'installation dans la classe du débat scientifique au cours de cet extrait de séance de 15 minutes, nous concluons sur deux points. D'une part, les élèves développent majoritairement des actions scientifiques, qui sont révélatrices de la mobilisation de connaissances de type II. Notamment, le raisonnement décrit ci-dessus montre que l'élève mobilise la connaissance de type II selon laquelle une présentation organisée du raisonnement par disjonction de cas permet d'assurer que tous les cas possibles sont étudiés, sans répétition. Cette connaissance de type II est visée lors de la résolution des problèmes précédents dans la Progression. D'autre part, l'enseignante agit majoritairement dans l'esprit du débat scientifique, en respectant la parole et les idées des élèves et en leur accordant du temps pour réfléchir. Les manques identifiés dans cet extrait, qui perturbent l'installation du débat scientifique sont : l'absence de recours au vote pour recueillir l'avis des élèves, l'absence de support pour conserver la mémoire de la résolution du problème, la perte de vue par l'enseignante des connaissances de type II visées ou l'absence de désignation préalable précise de celles-ci.

Nous ajoutons par ailleurs, qu'aux évaluations nationales auxquelles ont été soumis tous les élèves de Grande Section, les élèves de Marie ont obtenu les meilleurs résultats de l'école, notamment concernant l'expression et le langage. Marie attribue ce résultat à la mise en œuvre de la Progression de problèmes et de l'expérimentation du débat scientifique en classe. A cela s'ajoutent d'autres constats faits par les enseignants expérimentateurs de notre équipe, à savoir que leurs élèves développent des attitudes plus responsables et assurées, également dans les disciplines autres que les mathématiques.

IV - CONCLUSION ET PERSPECTIVES

A notre première question de recherche, « Comment repérer et faire évoluer la mise en œuvre du débat scientifique en classe ? », nous répondons que *La Grille* constitue un modèle qui décrit le contrat didactique en vigueur dans les séances consacrées à la résolution des problèmes de la Progression, du côté des élèves et du côté de l'enseignant. Cette description est constituée d'un ensemble de codes attribués à leurs paroles, gestes et attitudes observables par une personne extérieure à la classe. Comme nous l'avons montré dans l'étude de cas en cycle 1, ces codes permettent de discriminer les observables qui, du côté des élèves, relèvent ou non d'actions scientifiques, du côté de l'enseignant,

relèvent d'une pratique ancrée ou non dans le débat scientifique. Cette Grille fournit ainsi des données qui mesurent l'état de mise en œuvre du débat scientifique dans la classe. La communication de ces données, à l'enseignant de la classe observée, comme le cas pour Marie, lui donne des repères très concrets concernant les points positifs ou les manques de sa pratique. Par ailleurs, lorsqu'elle est utilisée en amont par les enseignants, la Grille leur fournit des repères très explicites pour faire évoluer leur pratique. C'est ce que nous ont affirmé les enseignants expérimentateurs de notre groupe, dans leur ensemble. Ainsi, la Grille apparaît à la fois comme un modèle pour la recherche et comme un outil pour les enseignants.

Notre seconde question de recherche est la suivante : « La mise en place du débat scientifique, dans le cadre de notre progression de problèmes élaborée pour le cycle 1, est-elle favorable à l'acquisition par les élèves de cycle 1 de connaissances de type II ? » Rappelons que la mise en avant des connaissances de type II, couplée au choix des problèmes au service de l'acquisition par les élèves de ces dites connaissances, fournit des briques de *situations fondamentales* (Brousseau, 1998, p.60). Par ailleurs, le débat scientifique nous apparaît comme le contrat didactique le plus favorable à l'acquisition de ces connaissances de type II, du fait qu'il transforme la classe en une mini-communauté scientifique, dans laquelle les échanges sont mus en grande partie par ces connaissances. La réponse à cette seconde question de recherche s'appuie essentiellement sur notre étude de cas, même si, par ailleurs, nous avons d'autres éléments qui la renforcent. Ainsi, à la fin d'une année scolaire au cours de laquelle les élèves de cycle 1 ont été confrontés à la Progression de problèmes et l'enseignante a orienté sa pratique vers une mise en place du débat scientifique, les élèves de cycle 1 réinvestissent des connaissances de type II visées dans les problèmes précédents. Ceci montre qu'ils ont acquis ces connaissances. Par exemple, ils organisent la présentation de leur raisonnement pour montrer qu'ils ont étudié tous les cas possibles, ils reconnaissent que la preuve d'une impossibilité ne se fait pas l'exploration d'un grand nombre de cas infructueux (« je n'ai pas trouvé », c'est différent de « ça n'existe pas »). Ils développent ainsi leur capacité à argumenter. De plus, ils développent leur capacité à s'exprimer et ils s'engagent volontiers dans la résolution de problèmes nouveaux.

Un point important n'a pu être développé ici, c'est le choix des problèmes de la progression. Nous renvoyons à Da Ronch, Gandit et Gravier (2020), ainsi qu'à la thèse de doctorat de Da Ronch (2022).

Enfin, nous disposons actuellement d'un grand nombre de données, sous forme de vidéos fournies par les enseignants et d'entretiens menés avec eux, qui vont nous permettre d'affiner notre Grille, ainsi que notre méthode pour conduire les entretiens, et d'obtenir de nouveaux résultats concernant l'acquisition par les élèves des connaissances de type II, du cycle 1 au lycée, et même au-delà.

V - BIBLIOGRAPHIE

Black, P., Wiliam, D. Developing the theory of formative assessment. Educ Asse Eval Acc 21, 5–31 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11092-008-9068-5>

Balacheff N. (2024). Situations pour l'apprentissage de la preuve en mathématiques. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Synthèses et perspectives en didactique des mathématiques. Preuve, modélisation et technologies numériques (Numéro spécial), pp.15-59. (10.46298/rdm.12905). (hal-04028314v2)

Brousseau G. (1998). *La théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée Sauvage

- Castela, C. (2011). *Des mathématiques à leurs utilisations, contribution à l'étude de la productivité praxéologique des institutions et de leurs sujets / Le travail personnel au cœur du développement praxéologique des élèves en tant qu'utilisateurs de mathématiques*. Note de synthèse présentée en vue de l'habilitation à diriger des recherches. Paris : Université Denis Diderot Paris VII. <https://theses.hal.science/tel-00683613v1>
- Chanudet, M., Coppé, S., Gandit, M. & Moulin, M. (2019). Analyse des interactions didactiques dans une perspective d'évaluation formative. Dans S. Coppé & E. Roditi (dir.), *Nouvelles perspectives en didactique : géométrie, évaluation des apprentissages mathématiques, XIXème école d'été de didactique des mathématiques*, Paris. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Da Ronch, M., Gandit, M. & Gravier, S. (2020). Du problème de Wang vers une nouvelle situation de recherche pour la classe. *Repères-IREM*, 121, 77-108.
- Da Ronch M., Gandit M., Mili I. (2025). *Modélisation des situations de recherche pour la formation professionnelle des enseignants*. hal-04975494v1
- Da Ronch, M. (2022). Pratique de l'activité mathématique en médiation : modèles didactiques et conception d'ingénieries. [Thèse de doctorat]. Université Grenoble Alpes
- Deloustal-Jorrand, V., Gandit, M. & Mesnil, Z. (2023). Spécificités des connaissances en logique et conséquence sur la double discontinuité de Klein. *Numéro spécial FUMME de Recherches en Didactique des Mathématiques*. hal-04975494v1
- Douady, R. (1986). Jeux de cadres et dialectique outil-objet. *Recherches en didactique des mathématiques*, 7(2), 5-31
- Gandit, M. (2015). L'évaluation au cours de séances d'investigation en mathématiques. *Recherches en Education*, 21, 67-80. <https://doi.org/10.4000/ree.7513>
- Gandit, M., Gravier, S & Mossuz, L. (2023). L'enseignement et l'apprentissage de la preuve en mathématiques du cycle 1 au cycle 3 : premiers outils et premiers résultats. Dans Wozniak, F. (dir), Actes du 48ème colloque de la COPIRELEM, Toulouse 2022, 431-448, <https://hal.science/hal-04818426v1>
- Gandit, M. (2024). « Chercher-Débattre-Prouver » à partir du cycle 1 : des résultats issus d'un LéA. Pré-publication pour les actes de la 22^{ème} école d'été de didactique des mathématiques, Bar-sur-Seine, octobre 2022, hal-04819108, version1 (consulté le 01/10/2025)
- Legrand, M. (1988). Rationalité et démonstration mathématiques, le rapport de la classe à une communauté scientifique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9.3, 365-406
- Legrand, M. (1993). Débat scientifique en cours de mathématiques et spécificités de l'analyse. *Repères-IREM*, 10, 123-159
- Lepareur, C., Gandit, M. & Grangeat, M. (2017). Evaluation formative et démarche d'investigation en mathématiques : une étude de cas. *Education et didactique*, 11-3, 101-120. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.2857>
- Rogalski, J. (2008). Le cadre général de la théorie de l'activité. Une perspective de psychologie ergonomique. Dans F. Vandebrouck (éd.), *La classe de mathématiques : activités des élèves et pratiques des enseignants* (23 – 30). Toulouse : Octarès Editions.
- Ruiz-Primo, M-A., & FURTAK E-M. (2007). Exploring Teachers' Informal Formative Assessment Practices and Students' Understanding in the Context of Scientific Inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(1), 57-84.
- Sackur, C., Assude, T., Maurel, M., Drouhard, J.-P. & Paquelier, Y. (2005). L'expérience de la nécessité épistémique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 25(1), 57-90. <https://amu.hal.science/hal-03914966v1>

Theureau, J. (2010). Les entretiens d'autoconfrontation et de remise en situation par les traces matérielles et le programme de recherche « cours d'action ». *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2010/2, 287-322

Version provisoire - document final à paraître

ANNEXE 1 – SOUS-GRILLE « MISE EN RECHERCHE »

L'enseignante donne le problème et met ou relance les élèves en activité de recherche → MISE EN RECHERCHE	
L'enseignante organise la classe et présente des modalités de travail.	E0
L'enseignante pose le problème, de façon ouverte .	E1d
L'enseignante pose le problème, de façon insuffisamment ouverte.	E1
L'enseignante demande de fournir une preuve de ce qui est déclaré, d'argumenter, d'expliquer, en donnant explicitement du temps.	E2d1
L'enseignante engage les élèves à chercher, à approfondir un raisonnement, une explication, en donnant explicitement du temps.	E2d2
L'enseignante donne la parole à un ou une élève, dès qu'il ou elle la demande.	E3
L'enseignante ne donne pas la parole à un ou une élève, qui l'a demandée (dès la donnée du problème ou pendant la recherche).	E3d1
L'enseignante donne la parole à un ou une élève, qui ne l'a pas demandée.	E3d2
L'enseignante demande de répéter, préciser, clarifier.	E4d
L'enseignante propose une réponse d'élève fausse (fictive ou non), une idée d'élève, une relation donnée par un ou une élève... fausses, pour lancer ou relancer la recherche.	E5d
L'enseignante demande quelles connaissances de type II ou méthodes connues on peut utiliser.	E6
L'enseignante propose plusieurs idées d'élèves et invite à la comparaison.	E7d1
L'enseignante renvoie aux hypothèses du problème sans admettre d'autres points de vue.	E7
L'enseignante demande de définir un concept.	E7d2
L'enseignante demande de voter « vrai », « faux » ou « autre réponse » à propos d'une conjecture donnée, demande l'avis des élèves.	E8d
L'enseignante valide elle-même les réponses des élèves.	E8
L'enseignante se tait pendant que les élèves cherchent.	E9d1
L'enseignante est attentive à la production des élèves ou observe les actions des élèves.	E9d2
L'enseignante intervient auprès de certains élèves pendant la phase de recherche.	E9
L'enseignante arrête la recherche des élèves au moment opportun, par rapport à la résolution du problème, et démarre le recueil de ce que pensent les élèves.	E10d
L'enseignante arrête la recherche des élèves à un moment inopportun, par rapport à la résolution du problème, et démarre le recueil de ce que pensent les élèves,	E10
L'enseignante propose une aide (par exemple, du matériel non mis à disposition au lancement du problème) à tous les élèves.	A1d
L'enseignante propose une aide (par exemple, du matériel non mis à disposition au lancement du problème) à un ou plusieurs élèves, en marge de la classe.	A1
L'enseignante explicite le but à atteindre, en laissant les élèves libres sur la stratégie utilisée pour atteindre le but.	A2d
L'enseignante explicite le but à atteindre, en fixant la stratégie utilisée pour atteindre le but.	A2
L'enseignante engage les élèves dans une pratique d'auto-évaluation, en leur donnant des outils pour se positionner sur leurs actions scientifiques.	A3d

ANNEXE 2 – SOUS-GRILLE « ANIMATION DES ECHANGES »

L'enseignante anime les phases d'échanges au cours du débat → ANIMATION DES ECHANGES	
L'enseignante répète ou paraphrase une contribution d'élève, en en conservant le sens, à l'oral.	R1d1
L'enseignante reprend, mais de manière différente, une idée d'élève, à l'oral ou à l'écrit.	R1
L'enseignante reprend et écrit une contribution (conjecture, affirmation, argument, raisonnement) d'élève au tableau, en conservant ce qui est dit.	R1d2
L'enseignante fait prendre des notes sur ce qui se dit en classe ou constitue une trace de la recherche.	R1d3
L'enseignante élabore une réponse sur la base des réponses fournies par des élèves.	R2
L'enseignante renvoie à la classe une proposition d'élève ou une liste de propositions d'élèves, apparues dans la classe.	R2d
L'enseignante explore une idée d'élève, encourage un ou une élève à poursuivre dans son idée.	R3
L'enseignante renvoie une idée d'élève à la classe.	R3d
L'enseignante incorpore un commentaire sur ce qui a été dit précédemment, qui met fin aux échanges en cours sur le sujet, pas nécessairement de manière consciente.	R4
L'enseignante incorpore un commentaire sur ce qui a été dit précédemment, qui encourage ou relance la poursuite du débat.	R4d
L'enseignante demande l'avis des élèves sans vraiment avoir l'intention de le recueillir.	R5
L'enseignante demande l'avis des élèves en les faisant voter.	R5d1
L'enseignante demande à un ou une élève d'explicitier les raisons de son vote.	R5d2
L'enseignante demande l'avis d'un ou d'une élève.	R5d3
L'enseignante répond directement à une question en donnant une réponse correcte, donne une explication.	R6
L'enseignante renvoie une question à la classe ou dit qu'elle ne répond pas.	R6d
L'enseignante donne la parole à un ou une autre élève (en cas d'absence de réponse, d'hésitation d'élève...).	R7
L'enseignante donne le temps de répondre à un ou une élève ou à la classe.	R7d
L'enseignante porte un jugement de valeur sur une réponse d'élève, fait un commentaire personnel.	R8
L'enseignante coupe court au débat ou à une réponse d'élève, pour permettre la réflexion.	R9d
L'enseignante recentre sur une tâche précise, sur une question fermée, à la suite de ses observations ou des échanges.	R9
L'enseignante corrige les propos incompréhensibles d'un élève.	R10
L'enseignante permet à l'élève de reformuler ses propos difficilement compréhensibles.	R10d
L'enseignante demande d'évaluer la qualité d'une preuve : sa recevabilité d'un point de vue présentation, explication ou persuasion.	R11d
L'enseignante valide une preuve.	R11
L'enseignante propose une réponse d'élève attendue dans l'analyse a priori, mais qui n'est pas apparue dans la classe, pour relancer le débat.	R12d
L'enseignante incorpore un commentaire sur ce qui a été dit précédemment ou pose une question, non pertinents pour le débat.	R13
L'enseignante interpelle un ou des élèves pour le ou les ramener dans le débat.	R14

ANNEXE 3 – SOUS-GRILLE « CONCLUSION-INSTITUTIONNALISATION »

L'enseignante clôt le débat, conclut et fait le bilan des connaissances de type II visées par la résolution du problème → CONCLUSION ET INSTITUTIONNALISATION	
L'enseignante clôt le débat à un moment opportun.	CI1d1
Le débat s'arrête sans que l'enseignante ne le close explicitement.	CI1
L'enseignante explicite sur quelle conclusion se clôt le débat.	CI1d2
L'enseignante explicite les connaissances de type II (voire de type I) mises en œuvre dans les actions des élèves, avec des indicateurs ou pas.	CI2d
L'enseignante décrit les raisonnements utilisés sans pointer les connaissances à retenir.	CI2
L'enseignante reprend pour toute la classe une démarche ou une réponse d'élève, apparue au cours du débat, qu'elle n'avait pas anticipée.	CI3d
L'enseignante laisse en suspens une réponse sur laquelle il n'y a pas consensus, en disant qu'on y reviendra plus tard.	CI4d
L'enseignante laisse en suspens une réponse sur laquelle il n'y a pas consensus ou tranche en donnant une réponse.	CI4
L'enseignante questionne oralement sur les connaissances mises en œuvre.	CI5
L'enseignante reprend la main pour faire une conclusion, une institutionnalisation.	CI5d
L'enseignante questionne les élèves sur leur ressenti par rapport à leur vécu de la résolution du problème.	CI6
L'enseignante construit une trace écrite relative aux connaissances de type II (voire de type I) visées par la résolution du problème.	CI7d
L'enseignante construit une trace écrite sur les résultats du problème, sans conserver la mémoire du faux apparu au cours de la résolution du problème.	CI8
L'enseignante construit une trace écrite sur les résultats du problème, en conservant la mémoire du faux apparu au cours de la résolution du problème.	CI8d
L'enseignante organise une mise en commun des divers résultats obtenus dans la classe.	CI9
L'enseignante valide ou invalide les différents résultats présentés, avec le concours de quelques élèves.	CI10
L'enseignante engage les élèves dans une pratique d'auto-évaluation, en leur donnant des outils pour se positionner sur leurs actions scientifiques et leurs apprentissages.	A4d

ANNEXE 4 – SOUS-GRILLE « ACTIONS DES ELEVES »

ACTIONS DES ELEVES	
L'élève lit à voix haute un texte écrit ou affiché au tableau.	S1
L'élève propose une réponse très courte, dans le cas d'« effet Topaze » de l'enseignante.	S2
L'élève propose une réponse très courte, suite à un raisonnement non partagé avec la classe.	S2a
L'élève justifie, précise, reformule un raisonnement, donne une raison, une méthode ou un argument.	S3a
L'élève donne un exemple, un contre-exemple.	S4a
L'élève explique comment il ou elle a obtenu une réponse, une conjecture, une idée.	S5a
L'élève questionne scientifiquement un autre élève ou la classe concernant le sujet en discussion.	S6a
L'élève questionne un autre élève ou le professeur concernant le sujet en discussion, pour obtenir une réponse immédiate.	S7
L'élève exprime un refus d'interaction avec un ou une autre élève.	S8
L'élève donne son avis sur le sujet en question, exprime son accord ou désaccord, directement ou par le vote.	S8a
L'élève exprime son indécision, son ignorance, après avoir montré son engagement.	S9a
L'élève exprime son indécision, son ignorance, sans avoir manifesté d'engagement.	S9
L'élève exprime ce qu'il ou elle a compris ou appris, de manière sincère.	S11a
L'élève intervient de manière spontanée, sur le sujet en cours, sans répondre directement à la professeure.	S12a
L'élève reconnaît son erreur.	S13a
L'élève propose une conjecture.	S14a
L'élève propose une réponse qui ne relève pas de la rationalité mathématique.	S15