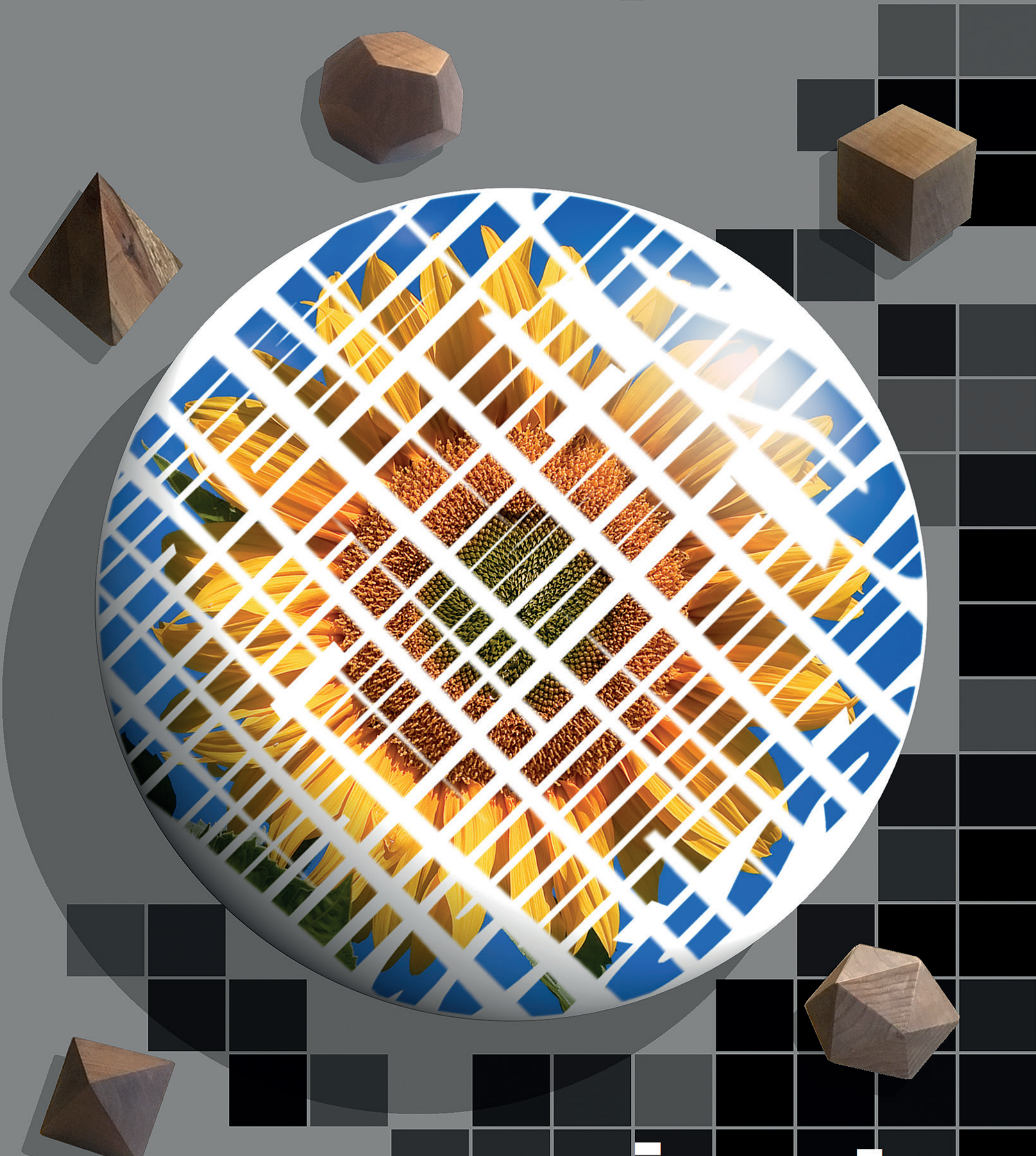
Mathématiques



vivantes

Bulletin de l'IREM de Besançon
n° 73 – 2024
Presses universitaires de Franche-Comté

Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques
Université de Franche-Comté

Directrice : Marine Rougnant

Département de Mathématiques – UFR Sciences et Techniques
16 route de Gray – 25030 BESANCON CEDEX – France

Tél. : 03 81 66 62 25 – Courriel : iremfc@univ-fcomte.fr
Site : http://www-irem.univ-fcomte.fr

ISSN papier : 1141-913X

Mathématiques vivantes

Bulletin de l'IREM de Besançon
n° 73 - 2024

Presses universitaires de Franche-Comté
n° XXXX

Courriel : mathematiquesvivantes@univ-fcomte.fr

Presses universitaires de Franche-Comté, 2024

ISSN papier : 1141-913X

Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques
de l'Université de Franche-Comté

Mathématiques vivantes

Bulletin de l'IREM de Besançon
nº 73 - 2024

Presses universitaires de Franche-Comté

Table des matières

Qui est qui ?

Aude Cretin-Maitenaz était enseignante au sein d'une unité d'enseignement implantée dans un Institut médico-educatif (IME) du Doubs au moment de la rédaction de son article. Actuellement, elle est professeure ressource pour les troubles du spectre de l'autisme dans le Doubs. Elle prépare également une thèse à l'université Reims Champagne-Ardenne.

Magali Hillairet est enseignante de mathématiques à l'Inspé Centre Val de Loire de l'université d'Orléans. Ses travaux portent sur le geste professionnel dans l'interaction de classe. Elle s'intéresse aux pratiques d'enseignement des mathématiques de l'école maternelle à l'enseignement secondaire. Au sein du groupe IREM Maths et Langage de l'IREM Centre Val de Loire, elle analyse des séances de classe « ordinaires » à partir de captations vidéos.

Anne-Cécile Lafrouji est enseignante de mathématiques au collège de Saint-Denis-en-Val dans le Loiret et à l'Inspé Centre Val de Loire de l'université d'Orléans. Elle est également formatrice académique et s'intéresse à l'oral en classe.

Caroline Lamour est enseignante de mathématiques au collège de Chécy dans le Loiret. Elle s'intéresse en particulier à la didactique des mathématiques.

Marie-Céline Pister est psychologue du développement, neuropsychologue à l'IME l'Essor, EMA-TSA25.

Katja Ploog est enseignante-chercheure en sciences du langage au Laboratoire Ligérien de Linguistique de l'université d'Orléans. Ses analyses portent sur l'oral, et plus particulièrement sur les différentes temporalités interactionnelles de la construction du sens et à la sédimentation de formats linguistiques complexes. Dans ce contexte, elle recueille et analyse des corpus de classes impliquant de fortes plurimodalités.

Véronique Roser est enseignante de mathématiques au lycée de Montargis dans le Loiret. Elle coordonne le groupe IREM Maths et Langage de l'IREM Centre Val de Loire et s'intéresse en particulier au lexique mathématique.

Arnaud Simard est maitre de conférences en mathématiques et formateur d'enseignants à l'Inspé de l'université de Franche-Comté. Il est développeur didactique et pédagogique du dispositif Learn-O.

Éditorial

Ce numéro de *Mathématiques vivantes* emmène les recherches sur l'enseignement des mathématiques vers des champs très actuels et très discutés : les sciences du cerveau, l'inclusion et l'intégration du handicap, la place du corps, les sciences du langage.

La première contribution se saisit des travaux récents en sciences cognitives sur la neuropsychologie du nombre pour éclairer comment celui-ci est appris. Relevons cette interrogation de nature épistémologique : qu'est-ce qui fait que le calcul numérique exact est plus facile d'accès que le calcul approximatif ? Dans quelle mesure avons-nous un sens inné des quantités approchées et comment ce sens s'affine-t-il ? Comment peut-on faciliter cet apprentissage ?

Alors que la première contribution mène une enquête de terrain dans les unités localisées pour l'inclusion scolaire d'élèves avec des troubles des fonctions cognitives ou mentales situées dans le milieu ordinaire de l'école primaire (les ULIS-TFC écoles), la seconde mène son investigation auprès d'élèves avec un trouble du spectre de l'autisme (TSA) dans les instituts médico-éducatifs (IME) sur un enseignement révolutionné par l'appel à l'effet kinesthésique de l'apprentissage : le dispositif Learn-O propose des parcours en mouvement par une hybridation de la classe et du gymnase (ou du plein-air) avec un emploi judicieux des outils numériques.

Dans la troisième contribution, une linguiste emmène un groupe d'enseignantes de mathématiques aux antipodes scolaires, dans les classes préparatoires aux grandes écoles, pour avérer que les mathématiques sont très profondément une affaire de langage, et qu'elles œuvrent à renouveler encore et toujours le rapport entre la parole et les actes.

Stefan Neuwirth.

La construction du concept de nombre chez des élèves atteints de troubles du fonctionnement cognitif

Aude Cretin-Maitenaz

Notre travail s'intéresse à des élèves en situation de handicap, scolarisés en milieu ordinaire et bénéficiant d'un enseignement spécialisé au sein d'une Unité Localisée pour l'Inclusion Scolaire (ULIS). Il vise à mieux comprendre comment ces élèves appréhendent et utilisent le nombre dans des tâches arithmétiques scolaires et non scolaires. Trois cadres théoriques sont mobilisés : les neurosciences, les sciences cognitives et la didactique des mathématiques. La méthodologie s'appuie sur une approche qualitative qui procède par une double comparaison : celle entre les élèves scolarisés en ULIS et des élèves de CE2 ; la comparaison entre des tâches scolaires et non scolaires. Les résultats obtenus tendent à montrer que la richesse des cadres théoriques mobilisés offre des éléments d'analyses différenciées selon plusieurs aspects : les caractéristiques des élèves, la prise en compte de la scolarisation et du développement.

Mots clés : école inclusive ; cognition ; didactique des mathématiques ; arithmétique ; nombre.

Sommaire

1. Introduction Problématique

Essayer de comprendre et d'inventorier les différents mécanismes à l'œuvre dans l'apprentissage du nombre peut s'avérer une tâche complexe (Barrouillet et Camos 2006), et au moins trois caractéristiques du nombre illustrent cette difficulté. Le nombre est une construction abstraite, sans réalité matérielle (Piguet et Hügli 2004). Il possède deux dimensions qui peuvent être reliées : la cardinalité, qui fait référence à la quantité d'objets qui composent un ensemble ; l'ordinalité, qui fait référence aux relations entretenues par les nombres (Barrouillet et Camos 2006). Il peut être représenté selon trois codes : le code analogique ; le code linguistique ; le code indo-arabe (Dehaene 1992). Les difficultés d'apprentissage et de construction des premiers nombres entiers peuvent persister et résister à l'enseignement apporté aux élèves, notamment pour ceux ayant des troubles des fonctions cognitives ou mentales (Égron 2017).

La recherche présentée ici tente de repérer les spécificités d'apprentissage dans la construction du nombre dues à une situation de handicap. Une double comparaison est effectuée avec une méthodologie qualitative : une première comparaison concerne des élèves en situation de handicap, scolarisés en ULIS-TFC école [1], et des élèves dits « ordinaires [2] » ; une seconde comparaison concerne ces mêmes élèves impliqués dans des tâches catégorisées comme scolaires et non scolaires. Les tâches choisies sont emblématiques de la construction du nombre : parmi celles-ci, certaines sont couramment enseignées (nous les qualifions de scolaires) ; d'autres ne le sont pas (nous les qualifions de non scolaires). L'ensemble du dispositif mis en place ainsi que les analyses produites mobilisent différents champs théoriques appartenant aux trois disciplines que sont les neurosciences, la psychologie cognitive et la didactique.

1. ULIS-TFC : unité localisée pour l'inclusion scolaire accueillant des élèves ayant des troubles des fonctions cognitives ou mentales. Ces élèves sont orientés par la Maison départementale des personnes handicapées (MDPH). Les ULIS-TFC sont localisées en milieu ordinaire (école, collège, lycée).

2. Les élèves dits « ordinaires » sont des élèves n'étant pas reconnus en situation de handicap par la MDPH.

Ce travail de recherche tente également d'éclairer en quoi ces trois disciplines sont complémentaires ou souffrent d'insuffisances ou de contradictions lorsqu'elles sont utilisées pour comprendre la construction du concept de nombre chez des élèves en situation de handicap. Les apports des neurosciences questionnent des capacités qui seraient innées et d'autres qui seraient acquises concernant le nombre (Cohen et Dehaene 2000 ; Izard, Pica, Spelke et Dehaene 2008 ; Pica, Lemer, Izard et Dehaene 2004). Les compétences numériques innées relèveraient essentiellement d'une approche approximative du nombre et pourraient évoluer par l'apprentissage. Les apports de la didactique des mathématiques permettent d'étudier l'apprentissage des élèves en situation d'activité. Elle contribue à l'élaboration de problèmes relevant de « situations didactiques » (Brousseau 1986). Enfin la psychologie cognitive offre un éclairage sur la cognition numérique et sur le profil des élèves atteints de troubles des fonctions cognitives.

2. Cadre théorique

2.1 Le domaine des neurosciences

Les apports des neurosciences interrogent la présence des capacités numériques innées puisque des études tendent à montrer leur existence chez les bébés (McCrink et Wynn 2004 ; Starkey, Spelke et Gelman 1983 ; Starkey et Cooper 1980 ; Wynn 1992 ; Xu et Carey 1996 ; Xu et Spelke 2000). L'observation des capacités numériques chez des populations n'ayant pas ou peu construit le langage mathématique pourrait éclairer le rôle du langage dans la construction des compétences arithmétiques. C'est dans ce cadre que se situe la recherche de Pica, Lemer, Izard et Dehaene (2004) sur les Indiens Mundurucus d'Amazonie. Les auteurs leur ont proposé deux tâches relevant de l'estimation des quantités et une tâche relevant de la dénomination exacte d'une quantité. D'une manière générale, les résultats montrent que les Indiens Mundurucus ont des résultats similaires à la population contrôle lors des tâches d'estimation, mais pour la tâche de dénomination exacte ils ont des résultats inférieurs à ceux du groupe contrôle. Izard, Pica, Spelke et Dehaene (2008) ont construit un protocole expérimental pour comprendre la représentation spatiale du nombre chez les Mundurucus. Un segment leur est présenté avec à l'extrémité gauche un nuage de points contenant 1 point et à l'extrémité droite un nuage de points contenant 10 points. Les participants doivent placer les quantités allant de 1 à 10 le long de ce segment. Les résultats donnent à penser que les Mundurucus comprennent très vite « la métaphore de la ligne numérique » en répondant de façon cohérente (Izard, Pica, Spelke et Dehaene 2008). L'évaluation des quantités ne correspond pas à une courbe linéaire, comme c'est le cas pour la population contrôle, mais elle correspond à une courbe logarithmique, comme c'est le cas pour les plus jeunes enfants de la population contrôle (figure 2.1). Dans ce cas, les petits nombres sont davantage espacés que les grands, et ces derniers sont plus resserrés vers l'extrémité droite de la ligne numérique.

L'étude de Siegler et Booth (2004) sur des sujets américains âgés de cinq à huit ans porte également sur la représentation spatiale des nombres, mais dans le domaine de l'estimation puisque les quantités allaient de 1 à 100. Les résultats montrent que les jeunes enfants estiment les quantités de manière logarithmique, mais avec l'ap-

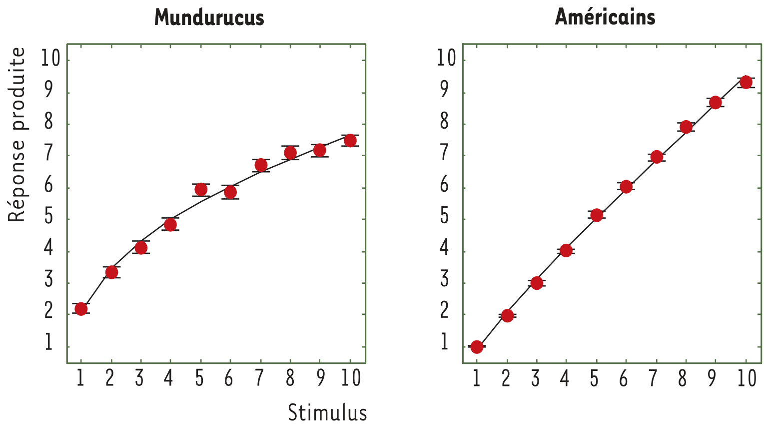


FIGURE 2.1 – *Réponses produites par un groupe de Mundurucus et un groupe de sujets contrôles (IZARD, PICA, SPELKE et DEHAENE 2008).*

prentissage cette estimation évolue pour devenir linéaire dès la seconde année d'école élémentaire.

Les capacités numériques qui seraient initialement présentes chez le jeune enfant et chez les populations n'ayant pas développé le langage arithmétique s'appuieraient essentiellement sur deux processus distincts : le subitizing et l'estimation (REVKIN, PIAZZA, IZARD, COHEN et DEHAENE 2008). Le processus de subitizing « suggère qu'il y a une perception subite, soudaine du nombre » (DEHAENE 2008a). Ce processus s'arrêterait à trois objets (MANDLER et SHEBO 1982), il ne dépendrait pas de l'organisation spatiale de ces objets, sauf si ceux-ci sont superposés. L'estimation des quantités impliquerait que la cardinalité d'un ensemble soit représentée mentalement sous une forme analogique, c'est-à-dire une distribution d'activation floue avec une tendance à la sous-estimation (IZARD, PICA, SPELKE et DEHAENE 2008). Le code analogique est une représentation des quantités numériques approximatives faisant partie du système préverbal. Il est l'un des trois grands systèmes pouvant représenter mentalement les nombres, avec le code linguistique et le code indo-arabe, d'après la théorie du triple code (DEHAENE 1992). Le code linguistique (ou code verbal) correspond aux noms des nombres nous permettant ainsi de dialoguer sur les nombres à l'oral ou à l'écrit. Le code indo-arabe (ou code écrit) correspond aux chiffres arabes qui permettent de « véhiculer par écrit avec un système dédié, le nombre exact » (DEHAENE 2008b). Ces trois systèmes coexistent mentalement. Ils sont distincts (COHEN et DEHAENE 2000), mais par diverses procédures nous pouvons échanger des informations d'un code à l'autre et ce de manière très rapide. Les codes indo-arabe et linguistique, développés par l'apprentissage, donnent un accès aux symboles qui permettent une représentation exacte du nombre et contribuent ainsi à préciser l'estimation (PICA, LEMER, IZARD et DEHAENE 2004).

2.2 Le domaine des sciences cognitives

La cognition numérique est un champ scientifique qui s'appuie sur la coordination des processus mentaux tels que la mémoire, l'attention, le langage, le raisonnement. Il est influencée par différents domaines tels que la psychophysique, le traitement de l'information, la neuropsychologie, la psychométrie, la psychologie développementale ainsi que les sciences de l'éducation (Gardes, Croset, Courtier et Prado 2021). La recherche s'est également intéressée au dysfonctionnement des fonctions cognitives qui peuvent être altérées de façon durable ou définitive à cause d'un dysfonctionnement cérébral, qui peut être global lorsqu'il touche l'ensemble des fonctions cognitives de façon homogène, ou spécifique lorsqu'il touche une ou plusieurs fonctions de manière particulière. Christine Magnin de Cagny, dans un ouvrage dirigé par Égron (2017), décrit le profil des élèves atteints de ce trouble : la mémoire de travail est peu performante et vite saturée, la capacité d'attention et de concentration sur une tâche peut être réduite, les capacités d'abstraction, de généralisation et de transfert sont limitées, la capacité à faire des liens est faible.

Dans notre recherche, nous exploitons notamment deux notions mathématiques étudiées par la cognition numérique que nous présentons ci-dessous : le dénombrement et l'énumération.

Le dénombrement convoque une désignation exacte du nombre. Précisons que compter et dénombrer sont deux termes utilisés parfois comme des synonymes, cependant ils représentent deux compétences différentes. Lorsqu'un enfant compte il récite la suite numérique verbale ; ainsi, les mots nombres sont énoncés les uns à la suite des autres (Fuson, Richards et Briars 1982). Cette suite orale s'acquerrait entre deux et six ans (Barrouillet et Camos 2006). Lorsqu'un enfant dénombre, il quantifie la collection ; pour cela, il utilise le plus souvent le comptage ; mais il peut aussi le faire à l'aide de ses doigts avec une correspondance terme à terme, sans avoir à prononcer les mots nombres. Selon Gelman et Gallistel (1978), le dénombrement s'appuie sur cinq principes, qui selon les auteurs, seraient implicites : la correspondance un à un, l'ordre stable, la cardinalité, l'abstraction et la non-pertinence de l'ordre. Le dénombrement implique une connaissance fondamentale : l'énumération.

Selon Briand (1999), si un élève ne peut énumérer correctement une collection, alors il risque d'échouer lors d'une tâche de dénombrement même s'il possède la suite numérique. Le dénombrement par comptage se réalise selon Briand (1999) en huit étapes dont cinq concernent l'énumération qui consiste à passer « en revue tous les éléments d'une collection finie une fois et une seule » (Briand 1999).

1. Être capable de distinguer deux éléments différents d'un ensemble donné.
2. Choisir un élément d'une collection.
3. **Énoncer un mot nombre** (« un » ou le successeur du précédent dans une suite de mots nombres).

4. Conserver la mémoire de la collection des éléments déjà choisis.
5. Concevoir la collection des objets non encore choisis.
6. **Recommencer** (pour la collection des objets non encore choisis) les étapes 2, **3**, 4 et 5 tant que la collection des objets à choisir n'est pas vide.
7. Savoir que l'on a choisi le dernier élément.
8. **Énoncer le dernier mot nombre**.

Pour réussir une tâche d'énumération, il est essentiel pour l'élève de développer des stratégies d'exploration de cette collection telles que le cheminement de proche en proche, la constellation, les bords, les paquets, les chemins parallèles (Margolinas, Wozniak et Rivière 2015).

La question de l'énumération est très actuelle en didactique. Margolinas et ses collaborateurs se sont intéressés au savoir d'énumération dans des situations mathématiques et non mathématiques (Margolinas, Wozniak et Rivière 2015 ; Laparra et Margolinas 2016).

2.3 Le domaine de la didactique des mathématiques

Dans notre recherche, nous nous appuyons sur la théorie des situations didactiques développée par Brousseau (1986), qui permet de décrire certains moments d'enseignement et d'apprentissage des mathématiques. Elle s'inscrit dans une perspective constructiviste, dans laquelle un rôle central est donné aux « situations » (Brousseau 1986). Ces situations sont associées à un savoir mathématique : chaque situation se traduit par un problème dont la résolution a pour enjeu l'acquisition d'un savoir mathématique. L'enseignant devrait permettre aux élèves de se positionner comme des chercheurs autonomes dans la résolution du problème qui leur est donné. Pour cela, l'enseignant doit « effectuer non la communication d'une connaissance, mais la dévolution du problème » (Briand 1999). C'est-à-dire qu'il va rendre responsables les élèves face au savoir au moment où il communique la situation problème. Certains élèves peuvent être déstabilisés et en conséquence refuser ou éviter de résoudre le problème. D'autres peuvent se trouver en échec. Dans ce cas, « le maitre a alors l'obligation sociale de [les] aider » (Brousseau 1986, page 51). Au sein de cette relation, les rôles, les actions, les attendus sont définis essentiellement de manière implicite, ainsi que la part de responsabilité que chacun porte à l'égard de l'autre. Brousseau définit ce « système d'obligations réciproques » comme un contrat qui dépend des situations didactiques en jeu, c'est pourquoi Brousseau (1986) précise que ce contrat est didactique.

Le modèle de la théorie des situations didactiques décrit assez bien les situations d'apprentissages proposées dans le cadre scolaire aux cycles 1 et 2. Notre recherche nous a conduit à élaborer un protocole dans lequel les élèves doivent résoudre des problèmes relevant de situations didactiques. La théorie des situations didactiques nous permet de décrire les tâches proposées en termes de contrat et milieu (Brousseau 1998b). Ce modèle permet de prendre en compte la question de la compréhension de la consigne et des aides aux difficultés rencontrées.

3. Méthodologie

Ce travail de recherche répond à une méthodologie comparative et qualitative, au sens où les données analysées ne sont pas métriques (Van der Maren 1996). Le protocole que nous allons spécifier par la suite met en œuvre deux comparaisons en parallèle : celle entre des élèves en situation de handicap et des élèves dits ordinaires, et celle concernant ces mêmes élèves lorsqu'ils sont confrontés à des tâches scolaires et non scolaires. L'étude comparative est régulièrement utilisée en sciences de l'éducation que ce soit pour comparer des systèmes éducatifs à des échelles spatiales ou temporelles différentes mais aussi pour comparer des groupes sociaux différents ou des organisations différentes (Groux 1997). Cette étude comparative vise à mieux comprendre ce qui relève du « générique [1] » dans la construction du nombre, à savoir ce qui est commun aux deux publics, et ce qui relève du « spécifique [2] », à savoir là où se trouvent les ruptures dans l'appréhension du concept de nombre.

Les tâches proposées aux élèves utilisent les travaux de Izard, Pica, Spelke et Dehaene (2008), Pica, Lemer, Izard et Dehaene (2004) et Siegler et Booth (2004), ainsi que les travaux menés par Margolinas, Wozniak et Rivière (2015). Ces différents protocoles ont été testés, contrôlés et approuvés, ce qui leur attribue donc une certaine validité scientifique. Cette étude qualitative est motivée par la volonté d'observer les élèves en situation d'action directe. Pour cela, une observation fine et précise des élèves est la méthode la plus appropriée. Celle-ci permet de mettre en avant les caractéristiques individuelles des élèves puisqu'elle se déroule dans une relation duelle entre le chercheur et l'enfant. Le choix de cette relation permet au chercheur d'observer et de prendre des notes sur les attitudes des participants quant à leur manière d'appréhender les différentes tâches du protocole. Ces notes peuvent être prises en compte dans l'analyse des résultats. Le fait que le protocole soit passé en individuel avec le chercheur permettrait également une plus grande neutralité. En effet, l'enseignant, connaissant les compétences des élèves, peut être tenté de faire recommencer une tâche à un élève s'il estime que celui-ci ne l'a pas

1. Ce terme est utilisé à notre compte, au sens où ce qui est générique correspond à ce qui se retrouve chez les deux populations observées.

2. Ce terme est utilisé à notre compte, au sens où ce qui est spécifique correspond à ce qui se retrouve uniquement chez un seul type de population observée.

réalisée au mieux, ce qui peut engendrer un effet d'apprentissage. Il est à noter que dans cette étude, un des groupes d'élèves a pour enseignante la chercheure. Dans ce cas, l'enseignante a expliqué aux élèves les enjeux de sa recherche et a précisé qu'à ce moment-là elle n'était pas dans son rôle d'enseignante mais dans son rôle de chercheure.

4. Expérimentation

L'expérimentation a été menée auprès de 56 élèves scolarisés en école élémentaire. Parmi eux, 32 élèves bénéficient d'une scolarisation en milieu ordinaire avec le soutien d'un dispositif ULIS-TFC au sein de trois écoles, et 24 élèves sont scolarisés en CE2 au sein d'une même école. Au préalable, les élèves ont été confrontés à un pré-test afin d'évaluer leur niveau scolaire dans le domaine numérique, ce qui complète la connaissance du niveau des classes. Le protocole expérimental proposé aux participants se composent de cinq tâches : l'énumération ; le dénombrement ; l'approximation des quantités et la comparaison ; le calcul exact ; la représentation spatiale des nombres sur une ligne numérique.

L'énumération (figure 4.1) met en jeu indirectement la question du nombre et du dénombrement. Nous l'avons considérée comme non scolaire en spéculant sur sa

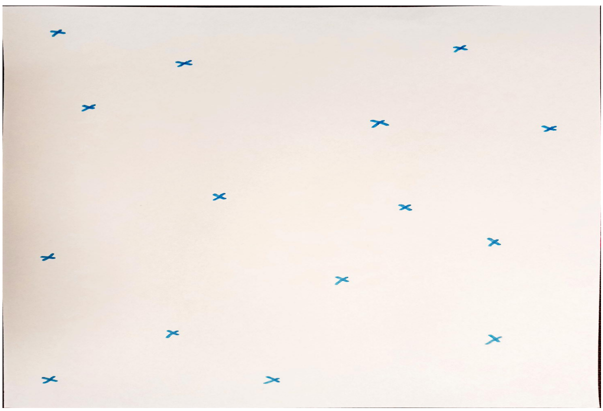


FIGURE 4.1 – *Support proposé pour la tâche d'énumération.*

faible présence dans les classes. Cette tâche s'inspire de la situation des chapeaux et des sucres proposées par MARGOLINAS, WOZNIAK et RIVIÈRE (2015).

Une planche cartonnée sur laquelle 15 croix sont dessinées est présentée aux élèves.

L'organisation spatiale sera la même pour tous les participants. Les élèves sont invités à placer un cube sur chacune des croix, puis ils doivent recouvrir chaque cube par un bouchon opaque.

Pour réussir la tâche, l'élève doit soulever un bouchon, prendre le cube situé sous ce bouchon, reposer le bouchon et passer à un autre bouchon de manière à récupérer tous les cubes en soulevant les bouchons un par un. Il peut s'organiser spatialement comme il le souhaite. La tâche est considérée comme échouée dans deux cas : si l'élève soulève un bouchon et qu'il n'y a pas de cube en dessous ; si l'élève oublie de soulever au moins un bouchon. En cas d'échec, le chercheur note le nombre de cubes ramassés avant erreur. Seront également observées les attitudes des élèves au moment de la fin de la tâche : ont-ils signifié qu'ils ont terminé ? ou bien ont-ils besoin de soulever des bouchons proches du dernier bouchon soulevé ? Nous précisons que l'énumération et la fin de tâche seront séparées dans l'analyse. Dans le cas où un élève réussit l'énumération mais ne dit pas qu'il a fini et qu'il soulève un ou plusieurs bouchons, le chercheur considèrera l'énumération comme réussie, mais il considèrera la fin de la tâche comme non contrôlée par l'élève. Dans le cas où l'élève ne verbalise pas la fin de l'exercice mais qu'il attend une fois le dernier cube ramassé, alors nous considérons que l'élève a contrôlé la fin de tâche.

Les procédures attendues tiennent essentiellement à l'organisation du chemin parcouru par les élèves pour construire la collection. Nous pouvons penser que les élèves pourront organiser l'énumération de la collection en utilisant une stratégie de linéarisation avec trois types de chemin principalement attendus : le cheminement de proche en proche où chaque élément est pris successivement, le chemin par les bords où les éléments extérieurs sont pris successivement avant de passer aux éléments plus intérieurs (représentation en coquille d'escargot), et les chemins parallèles qu'ils soient verticaux ou horizontaux. Certains élèves ne construiront pas de chemin précis visible ; dans ce cas, les éléments sembleront être pris successivement sans ordre apparent.

Les difficultés attendues dans cette tâche sont de l'ordre de l'exigence motrice et des multiples sous-tâches à réaliser mentalement. Elle nécessite des gestes moteurs précis, réalisés dans un ordre fixe pour être efficaces : soulever le bouchon, prendre le cube, déposer le cube dans la boite, remettre le bouchon à sa place initiale. Ces gestes moteurs, lorsqu'ils sont bien installés, forment une routine permettant de focaliser l'attention sur la planification et la mémorisation. Comme le précise Briand (1999), si l'on observe une rupture dans le schéma des gestes, alors l'enfant pourra oublier un cube ou au contraire revenir sur un bouchon déjà soulevé, ce qui engendre un échec. Cette rupture peut émaner d'une distraction extérieure (un bruit, un passage dans la pièce, etc.), d'une maitrise moyenne des gestes moteurs à réaliser ou d'un élément interne à l'élève (une pensée parasite venant troubler son attention, etc.). De plus, cette succession de gestes moteurs est associée à plusieurs tâches relevant des fonctions cognitives : une mémorisation du chemin déjà parcouru et restant à parcourir, une planification des étapes à venir, une attention importante portée à l'action complète dont la visée est de pouvoir enlever le dernier cube.

La seconde tâche concerne le dénombrement (figure 4.2) ; elle est considérée comme une tâche scolaire. Elle se présente sous la forme de dix cartes sur lesquelles figurent

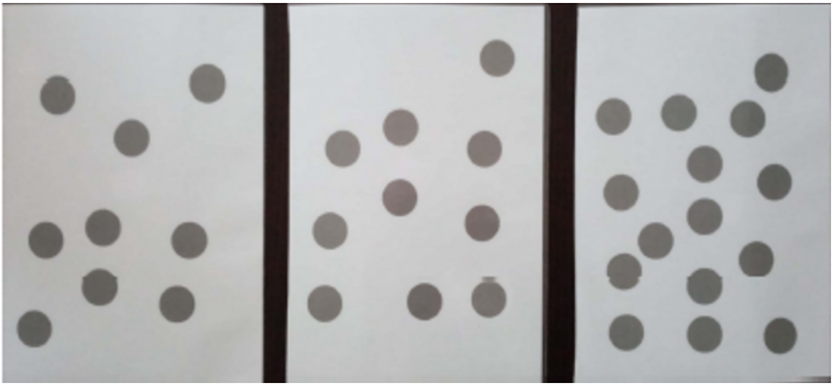


FIGURE 4.2 – *Support proposé pour les tâches de dénombrement : 9, 10 et 15.*

des collections de points à dénombrer : 4, 10, 7, 11, 8, 2, 6, 15, 5 et 9. Ces nombres sont compris entre 2 et 15, leur variété correspond aux compétence d'élèves de cycle 2. En cas d'échec, le chercheur note le nombre dit par l'élève et, quand cela est possible, la raison de l'erreur : erreur dans la suite numérique verbale, échec dans l'énumération de la collection, oubli du dernier mot nombre, etc. Nous pouvons préciser que sur toutes les cartes, tous les points ont la même taille, et que la disposition de ceux-ci permet de conserver un aspect d'ensemble équivalent pour des quantités proches. L'organisation spatiale ne répond pas à des structures particulières (constellations, formes, etc.).

Pour dénombrer l'ensemble des points, les élèves pourront compter à voix haute, en murmurant, en bougeant uniquement les lèvres ou de manière intérieure. Le chercheur observera également la méthode employée pour énumérer la collection de points, elle peut être effectuée en considérant les points les uns après les autres dans une stratégie de linéarisation, ou par regroupement de points.

Cette tâche devrait être réalisée avec succès par la plupart des élèves. Deux difficultés peuvent être attendues : une méconnaissance de la suite numérique verbale et/ou un parcours inopérant de la collection.

La troisième tâche concerne l'estimation et la comparaison de quantités ; elle est considérée comme non scolaire au sens où elle n'est pas explicitement présente dans les programmes, notamment sous la forme présentée dans ce protocole. Le chercheur présente successivement deux cartes, sur chacune d'elles figure une collection de points. Ces cartes sont ensuite placées dans une boite ; ceci doit avoir pour effet d'évoquer chez l'élève la réunion de ces deux collections. Ensuite, une troisième carte est présentée sur laquelle figure également une collection de points. Les élèves doivent alors comparer le nombre de points figurant sur cette dernière carte avec le nombre de points issus de la réunion des deux premières collections. Ils désignent là où il y en a le plus, en pointant la boite ou au contraire la troisième carte. Les écarts entre le nombre de points dans la boite et le nombre de points sur la troisième carte varient de 5 points, 10 points ou 15 points (table 4.1). Les quantités en jeux

Boite			
Quantité de points 1re carte	Quantité de points 2e carte	Quantité totale à comparer	Quantité de points 3e carte
15	20	35	30
29	36	65	80
3	7	10	15
18	27	45	35
32	38	70	75
20	25	45	30
40	35	75	85

TABLE 4.1 – *Détails des situations de comparaison proposées.*

sont suffisamment grandes pour ne pas être dénombrées directement et forcer une estimation.

Nous pouvons également préciser que tous les points ont la même taille et que l'organisation spatiale des points est relativement similaire entre les différentes cartes. De plus, si des difficultés ou des incompréhensions sont repérées, une passation avec manipulation est possible. Dans ce cas, ce ne sont plus des cartes avec des points qui sont proposées aux élèves, mais des pochettes transparentes contentant des cubes.

En s'appuyant sur l'étude menée sur les Mundurucus (PICA, LEMER, IZARD et DEHAENE 2004), nous ne devrions pas voir de différence significative quant au taux de réussite entre les élèves, mais nous attendons des résultats légèrement différents selon l'écart entre les quantités à comparer. En effet plus l'écart est faible (écart de 5 environ), plus la tâche est difficile.

Concernant les difficultés attendues, nous pouvons supposer que la réalisation de la réunion des deux quantités pourrait être difficile pour certains élèves, notamment ceux de l'ULIS-TFC. En effet, elle est implicite et elle nécessite de garder en mémoire les deux quantités, de les fusionner et de conserver en mémoire cette nouvelle quantité suffisamment longtemps pour pouvoir la comparer à la troisième.

La quatrième tâche (figure 4.3) est considérée comme une tâche scolaire puisqu'elle a pour objectif la soustraction exacte. Les élèves voient une collection de points (constellation de 5 points, première étiquette de la figure 4.3) qui est ensuite comme insérée dans une boite (deuxième étiquette). L'expérimentateur découvre une carte

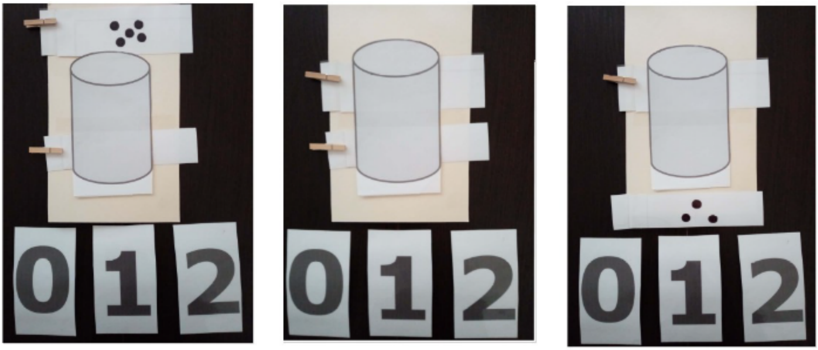


FIGURE 4.3 – *Exemple de déroulement de la quatrième tâche avec la situation* $5-3$.

cachée derrière la boite sur laquelle est représentée une collection de points (constellation de 3 points, troisième étiquette), comme si cette carte sortait de la boite. Il est alors demandé aux élèves de calculer le nombre de points « restés dans la boite » en choisissant la carte 0, 1 ou 2 (voir les étiquettes de la figure 4.3).

Cette tâche comporte neuf situations ($7-5$, $5-4$, $4-3$, $3-1$, $1-1$, $8-8$, $5-3$, $3-3$ et $6-5$). Les élèves ont devant eux trois cartes posées sur lesquelles sont inscrits respectivement les chiffres 0, 1 et 2 : ce sont les résultats possibles des soustractions proposées. La représentation des collections respecte les constellations canoniques, ce qui est censé garantir la reconnaissance des quantités exactes en jeu pour calculer. Si des élèves sont en difficulté ou montrent des signes d'incompréhension, la tâche est proposée dans sa forme manipulable. Dans ce cas, une boite contenant des cubes est présentée aux élèves, ensuite elle est cachée et le chercheur retire des cubes de la boite, ceux-ci sont présentés aux élèves ; et alors il est demandé aux élèves combien de cubes sont restés dans la boite.

Concernant les procédures attendues pour calculer les soustractions proposées, les élèves peuvent utiliser l'une de ces stratégies : compter à rebours, chercher le complément, baisser autant de doigts que d'éléments sortis de la boite, résoudre une soustraction mentalement par récupération du résultat si celui-ci est connu et mémorisé en mémoire à long terme.

Cette tâche est complexe et plusieurs difficultés sont attendues. Tout d'abord certains élèves ne percevront pas cette situation comme relevant de soustractions et n'arriveront pas à mettre en œuvre les stratégies adaptées pour calculer. Ensuite, elle nécessite une mise en œuvre de nombreuses sous-tâches liées aux fonctions cognitives : les élèves doivent garder en mémoire la quantité initiale, se souvenir de la stratégie choisie à appliquer, garder en mémoire la quantité à soustraire, appliquer la stratégie pas à pas tout en gardant en mémoire les données numériques, mémoriser le résultat et enfin l'énoncer ou le pointer. Dans cette tâche, l'utilisation des doigts peut être une stratégie attendue. Nous nous attendons à ce que certains élèves proposent une réponse différente de 0, 1 ou 2. Dans ce cas, la réponse peut-être un indice pour repérer une incompréhension de la tâche ou une surcharge cognitive.

La cinquième tâche se décline en deux temps qui exploitent un jeu sur les variables didactiques. Dans un premier temps, nous présentons aux élèves un segment mesurant 19,8 cm, non gradué avec les marques 1 et 10 aux extrémités (figure 4.4), comme proposé par Pica, Lemer, Izard et Dehaene (2004). Ils doivent placer sur ce segment

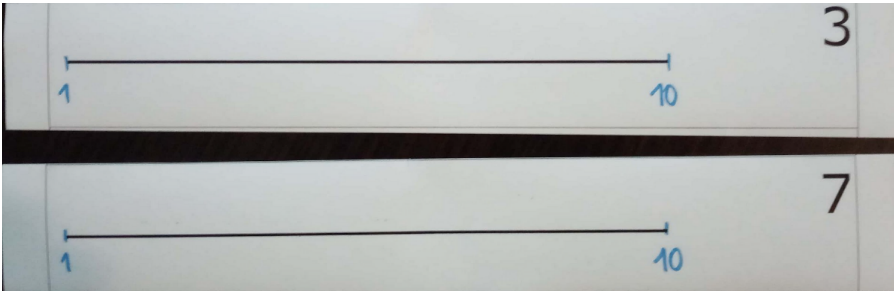


Figure 4.4 – *Les nombres 3 et 7 à marquer sur un segment numérique avec les marques 1 et 10 aux extrémités.*

la représentation d'un nombre en code indo-arabe en mettant une marque. Les élèves renouvèlent cet exercice huit fois pour les abscisses suivantes : 2, 7, 3, 5, 9, 4, 6 et 8. Une deuxième version sera proposée de manière facultative, elle est semblable à la première sauf que les quantités sont indiquées par des constellations de points.

Dans un deuxième temps, nous présentons aux élèves quinze segments mesurant 20 cm, non gradués avec les marques 1 et 100 aux extrémités. En haut à droite de ce segment est inscrit un nombre en chiffres arabes à placer sur la ligne numérique (34, 88, 50, 5, 62, 8, 97, 3, 21, 13, 75, 47, 10, 68 et 84). Cette tâche peut être considérée à la fois comme une tâche scolaire et non scolaire. Elle est présentée de façon ouverte puisque la marque de graduation est dévolue à l'élève, ce qui nous semble peu présent dans les tâches scolaires (voir Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse 2018 [1]).

Le taux de réussite des élèves d'ULIS-TFC et les élèves de CE2 pourrait être similaire pour le premier temps, une différence peut apparaitre dans le second. En effet, un élève d'ULIS-TFC peut ne pas maitriser la suite numérique ou l'écriture chiffrée des nombres compris entre 70 et 100. Concernant les résultats, nous pouvons penser que les élèves ayant des compétences numériques peu construites obtiendraient une courbe dont le profil serait de type logarithmique traduisant une estimation peu précise des nombres (Izard, Pica, Spelke et Dehaene 2008 ; Siegler et Booth 2004). Cependant les élèves ayant des compétences numériques supérieures obtiendraient une courbe dont le profil serait plus linéaire traduisant une estimation plus précise des nombres.

1. Au cours des évaluations nationales proposées au CP-CE1 en septembre 2019, des exercices sur la ligne numérique ont été proposés ; ils sont depuis lors davantage travaillés dans les classes.

Les procédures utilisées par les élèves pourront s'appuyer sur une représentation approximative du nombre, en estimant la place du nombre par rapport à la longueur de la ligne. Ils pourront s'aider de leurs connaissances numériques et spatiales en repérant la moitié de la ligne numérique, avant de décider où le nombre sera placé. D'autres élèves s'appuieront davantage sur une représentation exacte du nombre en partant de l'extrémité 1 et en comptant successivement de 1 en 1 jusqu'au nombre à placer tout en réalisant un écart régulier. Cette représentation exacte du nombre pourra être fastidieuse dans le troisième exercice, dans ce cas les élèves pourront compter successivement de 10 en 10 pour atteindre la dizaine correspondante au nombre demandé puis de 1 en 1, tout en réalisant des écarts réguliers sachant que les écarts de 10 seront plus importants que les écarts de 1. Certains élèves pourront changer de procédure au cours d'un même exercice ou entre les différents exercices selon qu'ils se sentent en difficulté ou plus en confiance, mais aussi en fonction de leur capacité à modifier rapidement leur stratégie. Précisons que la deuxième version du premier exercice, présentant les quantités sous la forme de nuages de points, pourront inviter les élèves à utiliser leur connaissance approximative des nombres en se référant à une estimation des nuages de points. Mais les élèves peuvent également dénombrer le nombre de points et placer ce nombre sur la ligne. Dans ce cas, les élèves ayant compris la métaphore de la ligne numérique mais n'ayant pas accès au code indo-arabe des nombres seront aidés.

Le sens de cette tâche, de par « la métaphore de ligne numérique » devrait être compris par l'ensemble des élèves (Izard, Pica, Spelke et Dehaene 2008). Cependant, elle peut engendrer des difficultés pour certains élèves, notamment pour ceux qui ont des compétences numériques faibles sur les nombres exacts, de par une méconnaissance de la suite numérique ou du code indo-arabe.

5. Résultats

La tâche d'énumération a été comprise par la majorité des élèves dès la présentation de la consigne. Le traitement des données montre que les résultats et les procédures employées dans la résolution sont assez similaires pour les deux groupes. En effet, la majorité des élèves échouent : 25 élèves d'ULIS-TFC sur 32 et 15 élèves de CE2 sur 24. D'après les résultats, ces échecs sont dans la plupart des cas dus à une erreur de cheminement dans la collection qui se traduit par un deuxième passage sur un même bouchon : 24 élèves d'ULIS-TFC sur 25 et 12 élèves de CE2 sur 15. De plus, cette erreur survient en moyenne au même moment pour les deux groupes : en moyenne, les élèves échouent après 9 cubes ramassés pour les élèves d'ULIS-TFC et après 10 cubes ramassés pour les élèves de CE2.

Concernant les stratégies utilisées, nous pouvons noter que la plupart des élèves organisent mentalement un chemin pour parcourir la collection : 1 élève utilise un chemin par paquets, 45 élèves utilisent un chemin de linéarisation et 10 ne réalisent pas de chemin organisé visible, dont 7 bénéficiant du dispositif ULIS-TFC. Parmi les élèves utilisant une stratégie de linéarisation, nous pouvons noter que la plus utilisée est la stratégie des chemins parallèles avec une forte proportion pour les chemins verticaux, 18 élèves sur 56 utilisent cette stratégie contre 4 élèves pour les chemins horizontaux. Parmi les 18 élèves utilisant la stratégie des chemins verticaux, 9 sont en ULIS-TFC et 9 sont en CE2. L'analyse des chemins mis en place par les élèves semble également indiquer que les élèves d'ULIS-TFC utilisent davantage des chemins peu structurés tel que le cheminement de proche en proche : 10 élèves d'ULIS-TFC contre 3 en CE2. Cette différence entre les élèves d'ULIS-TFC et les élèves de CE2 pourrait s'expliquer par le fait que les élèves d'ULIS-TFC sont en plus grande difficulté pour gérer les multiples sous-tâches à réaliser, que ce soit sur le plan moteur mais aussi sur le plan cognitif, puisque les difficultés d'attention, de mémorisation et de planification sont des conséquences possibles liées à la situation de handicap. Cependant les élèves d'ULIS-TFC ont mieux verbalisé la fin de la tâche. En effet sur les 7 élèves en réussite d'ULIS-TFC, seulement 1 vérifie ; alors que sur les 9 élèves en réussite de CE2, 5 vérifient avant de valider verbalement auprès du chercheur. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les élèves en situation de handicap sont davantage confrontés dans la vie quotidienne à des situations peu maitrisables, dans le sens où les adaptations et les compensations de leur handicap ne sont pas toujours effectives. Ils doivent s'adapter en permanence aux situations quotidiennes avec des outils de pensée moins performants, de sorte que les situations nouvelles proposées dans un cadre rassurant et connu peuvent paraitre moins déstabilisantes pour eux.

Pour la tâche de dénombrement, lorsqu'aucune erreur n'est tolérée, nous constatons que 22 élèves d'ULIS-TFC sur 32 sont en échec contre 10 élèves de CE2 sur 24. Les erreurs proviennent d'une énumération défaillante de la collection pour tous les élèves de CE2 et pour 18 élèves d'ULIS-TFC sur 22 ; pour les 4 restants l'erreur peut être également expliquée par une méconnaissance de la suite numérique verbale jusqu'à 15. Dans la situation de dénombrement proposée, les éléments ne sont pas déplaçables, c'est aux élèves de construire mentalement le chemin, comme pour la situation d'énumération. L'observation des élèves montre que lorsqu'ils dénombrent, soit ils omettent de compter 1 ou plusieurs points, soit ils comptent plusieurs fois le même point. Le dénombrement des quantités supérieures à 10 engendre davantage d'erreurs pour les deux groupes de participants. Si nous regardons plus en détail le rapport entre l'énumération et le dénombrement, nous pouvons préciser que le dénombrement est une tâche régulière au sein de la scolarité des élèves, elle est également courante au cours de la vie quotidienne, de sorte que les élèves ont pu construire des habitudes, des stratégies de réussite dans le dénombrement qu'ils n'ont pas réussi à réinvestir dans la tâche d'énumération.

La tâche d'approximation a posé quelques difficultés de compréhension à certains élèves : nous n'avons pas pu traiter les données de 10 élèves bénéficiant du dispositif ULIS-TFC et de 2 élèves de CE2. La tâche d'approximation et de comparaison peut être perçue comme déroutante pour les élèves puisqu'ils n'ont pas d'éléments connus, concrets, appris, travaillés en classe sur lesquels s'appuyer pour résoudre la situation qui leur est proposée. Pour des raisons de lisibilité, les résultats ont été ramenés à un pourcentage pour être plus facilement comparables. Ici, le pourcentage n'a pas de sens d'un point de vue mathématique, mais il permet de mettre sur une base commune les données. Les taux de réussite en fonction des écarts sont plutôt stables (figure 5.1) : pour les élèves d'ULIS-TFC, ils sont compris entre 65 % et 75 % ; pour les élèves de CE2, ils sont compris entre 70% et 89 %. Précisons que la différence de réussite pour l'écart à 15 est dû à une seule situation, ne permettant pas de conclure en faveur d'un effet dû à l'écart des quantités à comparer. Enfin, nous pouvons noter qu'en tant que chercheure, lorsque nous observons les élèves résoudre cette tâche, nous n'avons aucun appui extérieur pour nous aider à comprendre leur manière de procéder.

La tâche de calcul exact a posé des problèmes de compréhension pour 7 élèves d'ULIS-TFC, dont les résultats ne peuvent pas être analysés. Nous pouvons également préciser que 12 élèves d'ULIS-TFC ont pu réaliser cette tâche uniquement sous la version manipulable. Ceci illustre combien la généralisation et le transfert des

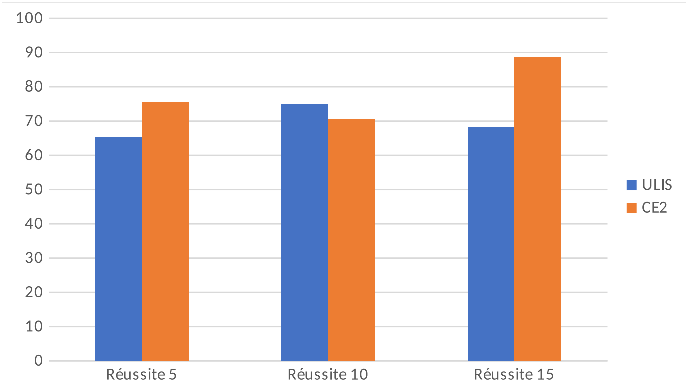


FIGURE 5.1 – *Diagramme présentant les taux de réussite à l'épreuve de comparaison selon les écarts 5, 10 et 15 pour les élèves d'ULIS-TFC et de CE2.*

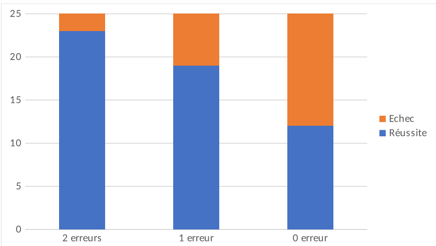


FIGURE 5.2 – *Diagramme présentant le nombre d'élèves d'ULIS-TFC en réussite et en échec en fonction du nombre d'erreurs tolérées.*

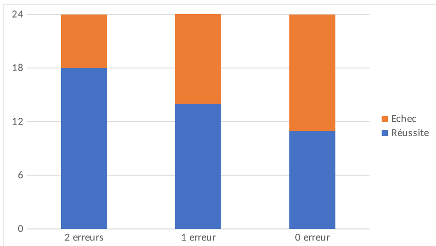


FIGURE 5.3 – *Diagramme présentant le nombre d'élèves de CE2 en réussite et en échec en fonction du nombre d'erreurs tolérées.*

connaissances peuvent être sources d'une réelle difficulté pour les élèves en situation de handicap.

La tâche est considérée comme réussie lorsque les élèves ne commettent aucune erreur. Dans ce cas, les élèves ont des résultats équivalents quel que soit leur groupe (figures 5.2 et 5.3). Cependant, les élèves d'ULIS-TFC font moins d'erreurs que les élèves de CE2 (figures 5.2 et 5.3). Cette différence de résultats pourrait s'expliquer par le fait que les élèves d'ULIS-TFC ont majoritairement utilisé leurs doigts alors que les élèves de CE2 ont majoritairement utilisé des stratégies mentales. L'appui des doigts dans le calcul exact permettrait d'assurer un contrôle plus efficace. Les soustractions ayant posé le plus de difficultés aux élèves de CE2 sont celles dont le résultat est égal à 0, notamment pour la première, à savoir $1 - 1$: un quart des élèves de CE2 ont répondu 1, contre 2 élèves d'ULIS-TFC sur 25.

La tâche de représentation spatiale des quantités n'a pas posé de problème de compréhension pour la majorité des élèves, cependant les résultats de 5 élèves d'ULIS-

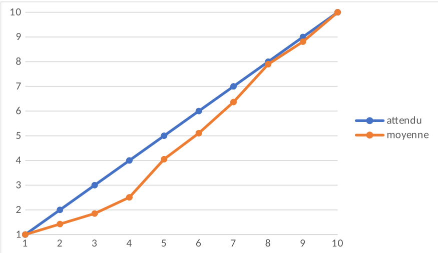


Figure 5.4 – *Courbe présentant les résultats moyens des élèves de CE2 dans la tâche de représentation spatiale des nombres allant de 1 à 10.*

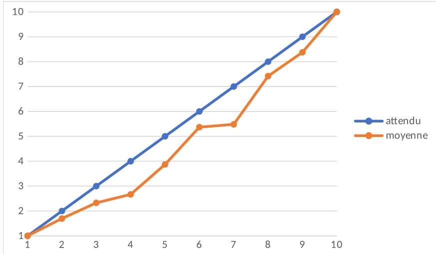


Figure 5.5 – *Courbe présentant les résultats moyens des élèves d'ULIS-TFC dans la tâche de représentation spatiale des nombres allant de 1 à 10.*

TFC n'ont pu être analysés du fait d'une trop grande incohérence. Les résultats de l'exercice de la ligne numérique allant de 1 à 10 révèlent assez peu de différences entre les deux groupes (figures 5.4 et 5.5). Les figures 5.4 et 5.5 présentent en abscisse le nombre à placer par les élèves, en ordonnée la distance moyenne entre l'extrémité gauche du segment et le nombre placé. Les résultats correspondent, en moyenne, à ce qui était attendu d'après le cadre des neurosciences, à savoir une courbe davantage linéaire avec une certaine propension à la sous-estimation. Les deux groupes ont tendance à placer les nombres plus proches de l'extrémité gauche sauf pour les nombres 8 et 9 qui sont plus proches de 10.

Les élèves ont dans l'ensemble fait appel au sens exact du nombre puisqu'ils se placent à l'extrémité gauche, et comptent en faisant des espaces réguliers jusqu'au nombre à placer. Une fois qu'ils sont arrivés à ce nombre, ils marquent l'emplacement par un trait. Les résultats analysés permettent d'obtenir six types de courbes [1] caractéristiques de la stratégie employée par les élèves. Ces types de courbes sont répertoriés dans la table 5.1. Les profils « dents de scie » et « enlacement » partagent

	Dents de scie	Non échelle	Z à l'envers	Enlacement	Sous-estimation	Courbe proche
ULIS	3	3	11	8	2	0
CE2	0	1	11	6	3	3

Table 5.1 – *Table présentant les différentes stratégies utilisées par les élèves de CE2 et d'ULIS-TFC pour placer les nombres sur la ligne numérique de 1 à 10.*

une même tendance à une alternance entre la sur-estimation et la sous-estimation, cependant ces profils se distinguent dans le sens où les écarts par rapport à l'attendu sont plus importants pour la stratégie « dents de scie ». Les élèves qui ne tiennent pas compte de l'échelle utilisent le sens exact du nombre, en réalisant de petits écarts

1. Ces types de courbes ne sont pas spécifiquement référencés dans la littérature.

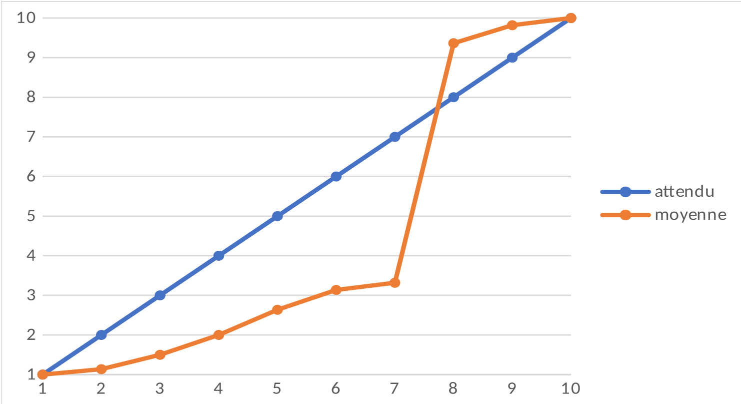


FIGURE 5.6 – *Courbe typique du « Z à l'envers » avec une bascule à 8 dans le placement des nombres de 1 à 10, pour un élève d'ULIS-TFC.*

identiques pour chacun des nombres présentés, sans tenir compte de la longueur de la ligne numérique. Ce dernier point marque la différence avec les élèves de CE2 qui obtiennent une « courbe proche », puisque ceux-là ont la même stratégie mais tiennent comptent de la longueur de la ligne numérique. Enfin nous pouvons préciser qu'ils ont également tous une tendance à l'« enlacement » de la courbe avec une sous-estimation au départ, une sur-estimation ensuite et enfin un ajustement au plus proche de la courbe attendue. Le profil du « Z à l'envers », se retrouve pour la majorité des élèves, et ce quel que soit leur groupe : voir la figure 5.6 pour un exemple.

Ce type de profil s'appuie à la fois sur le sens exact du nombre et sur le sens approximatif. En effet, les élèves commencent par utiliser le sens exact du nombre en adoptant la même stratégie que pour les élèves qui ne tiennent pas compte de l'échelle. Simplement, lorsque ces élèves sont confrontés à un nombre proche de 10, ils se rendent compte d'une incohérence, et placent ce nombre plus proche de l'extrémité 10. Ce basculement ne se fait pas au même moment pour tous les élèves, mais une fois qu'il est fait, tous les nombres qui sont supérieurs au nombre de bascule seront traités de manière approximative et tous les nombres inférieurs seront traités avec le sens exact du nombre.

Les résultats de l'exercice de la ligne numérique allant de 1 à 100 révèlent un profil de courbe plutôt similaire entre les deux groupes, mais les résultats des élèves d'ULIS-TFC sont plus éloignés de la courbe attendue que ceux des élèves de CE2 (figures 5.7 et 5.8). Les figures 5.7 et 5.8 présentent en abscisse le nombre à placer par les élèves, en ordonnée la distance moyenne entre l'extrémité gauche du segment et le nombre placé. Pour cet exercice, tous les résultats des élèves de CE2 ont pu être traités, mais pas les résultats de 17 élèves d'ULIS-TFC du fait d'une trop grande incohérence.

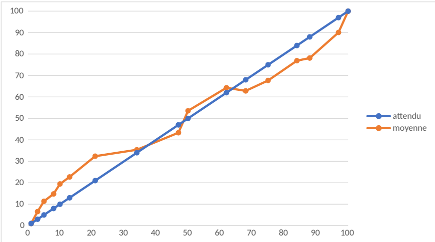


Figure 5.7 – *Courbe présentant les résultats moyens des élèves de CE2 dans la tâche de représentation spatiale des nombres allant de 1 à 100.*

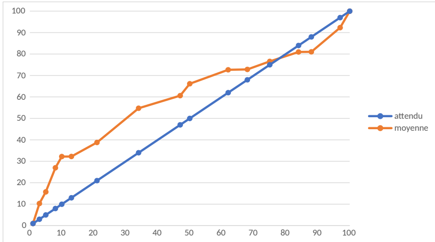


Figure 5.8 – *Courbe présentant les résultats moyens des élèves d'ULIS-TFC dans la tâche de représentation spatiale des nombres allant de 1 à 100.*

Pour cet exercice, les élèves ont dans l'ensemble fait appel au sens approximatif du nombre, estimant la position du nombre sur la ligne numérique. Certains élèves sont plus en difficulté pour utiliser ce sens approximatif du nombre, dans ce cas ils utilisent davantage le sens exact du nombre : pour cela, ils comptent de 10 en 10 jusqu'à atteindre la bonne dizaine puis comptent de 1 en 1. L'ensemble de ces stratégies est répertorié dans la table 5.2 [2].

	Avec des pics prononcés				Sans pic prononcé	
	Enlacement à une bascule	Enlacement à plusieurs bascules	Sous-estimation	Sur-estimation	Courbe algorithmique	Courbe enlacée proche
ULIS	3	2	0	2	3	5
CE2	3	1	2	0	0	18

Table 5.2 – *Table présentant les différentes stratégies utilisées par les élèves de CE2 et d'ULIS-TFC pour placer les nombres sur la ligne numérique de 1 à 100.*

Sur cet exercice nous pouvons voir une nette différence entre les élèves d'ULIS-TFC et les élèves de CE2 : en effet, 18 élèves de CE2 sur 24 obtiennent une courbe proche de l'attendu contre 5 élèves d'ULIS-TFC sur 15. Ces élèves utilisaient majoritairement le sens approximatif du nombre. Nous pouvons également noter que le nombre 50 joue un rôle clé pour quelques élèves, dans le sens où un basculement peut s'opérer sur ce nombre, soit de manière isolée, soit c'est le placement des nombres proches qui se précise par rapport à l'attendu.

Nous aurions pu penser que les élèves utiliseraient plus facilement le sens approximatif du nombre que le sens exact, puisque celui-ci serait accessible dès le plus jeune âge et sans apprentissage. Cependant, nous remarquons que les élèves d'ULIS-TFC emploient en priorité le sens exact. Cela leur apporterait un cadre plus rassurant,

2. Ces types de courbes ne sont pas spécifiquement référencés dans la littérature.

une structure pour penser qui est plus maitrisable Assez peu d'élèves d'ULIS-TFC sont capables de changer de procédure au cours de l'exercice pour utiliser le sens approximatif.

La tâche de représentation spatiale des quantités semble placer les élèves d'ULIS-TFC dans une posture inconfortable faisant appel à la fois à des connaissances numériques précises et maitrisées pour la ligne numérique allant de 1 à 10, et à des connaissances numériques plus approximatives pour la ligne numérique allant de 1 à 100.

L'analyse des résultats concernant les tâches non scolaires est relativement conforme à ce qui peut être attendu puisque ces tâches sont plutôt réussies de manière équivalente par les élèves quel que soit leur groupe. Pour rappel, ces tâches s'appuient sur des compétences qui seraient présentes et accessibles sans présence de langage. Cependant, l'analyse des tâches scolaires est moins conforme à l'attendu. Elles peuvent dans certaines conditions être mieux réussies par les élèves d'ULIS-TFC que par les élèves de CE2, ce qui est le cas pour la tâche de calcul exact. Une des conditions nécessaire à cette réussite serait la reconnaissance de la situation proposée comme étant proche ou identique à la situation faisant référence pour ces élèves. Lorsque les tâches scolaires peuvent être résolues par les deux publics, nous pouvons noter que les stratégies mises en place par les élèves d'ULIS-TFC sont plus primitives [3] que celles employées par les élèves de CE2. En ce sens, nous entendons qu'elles offrent un fort contrôle des étapes de résolution. Ces stratégies sont le plus souvent apprises et entrainées, permettant aux élèves d'optimiser leurs chances de réussir la tâche.

3. Ce terme est employé, à notre compte, afin de qualifier des stratégies qui apparaitraient en premier dans le développement du répertoire stratégique des enfants (Barrouillet et Camos 2006).

6. Discussion

Au cours de cette discussion, les résultats sont examinés selon trois perspectives : les sens du nombre, approximatif et exact ; les tâches, scolaires et non scolaires ; la population, les élèves en situation de handicap et élèves dits « ordinaires ».

L'analyse des résultats obtenus par certains élèves interroge la relation entre la conception approximative et la conception exacte du nombre, et l'utilisation de ces deux conceptions. D'après les apports des neurosciences (Dehaene 2008a ; Dehaene 2008b), nous comprenons que le sens approximatif et le sens exact sont deux sens distincts du nombre, ce qui se retrouve dans les données analysées, mais l'utilisation qui en est faite par les élèves est moins attendue. Considérons dans un premier temps la tâche d'approximation et de comparaison des quantités pour laquelle l'utilisation du sens approximatif est nécessaire et contraint par la forme même de la tâche. Elle met en difficulté au moins 12 élèves sur 56 dont 10 sont en ULIS-TFC et 2 en CE2. Ce constat peut sembler inattendu si l'on se place du point de vue des neurosciences, puisqu'une conception approximative du nombre serait présente sans nécessité d'apprentissage. Une des hypothèses que nous avancerons consiste à argumenter que le sens approximatif du nombre n'étant pas enseigné à l'école, les élèves et notamment les élèves en situation de handicap peuvent se retrouver en plus grande difficulté pour s'y référer que pour le sens exact du nombre. Cette aptitude est convoquée dans certains types d'exercices, mais la méthodologie associée n'est pas enseignée. La difficulté de compréhension renvoie à la difficulté à appréhender le nombre comme « mesure » de grandeurs avec les notions de comparaison, de « un peu », beaucoup », « presque ». Cette appréhension s'oppose à l'aspect « exact » que les tâches de codage ont tendance à prioriser dans les programmes. Nous pouvons également enrichir cet argument avec la deuxième tâche impliquant implicitement le sens approximatif du nombre : celle de la représentation spatiale. Pour cette tâche, les élèves d'ULIS-TFC semblent préférer utiliser le sens exact du nombre, même quand celui-ci semble plus contraignant et moins efficace que le sens approximatif, notamment lorsque la ligne numérique va de 1 à 100. Nous pensions qu'en situation de choix le sens approximatif du nombre serait préféré, et ce d'autant plus s'il permet d'être plus efficace pour résoudre la tâche. Cependant, les élèves en situation de handicap, notamment parce qu'ils ont un déficit en terme de flexibilité mentale (Égron 2017), seraient plus prompts à utiliser un seul type de stratégie garantissant la réussite, même si celle-ci s'avère longue, couteuse et fastidieuse, plutôt que d'avoir un panel de stratégies impliquant une nécessaire adaptabilité à la situation (Cretin-Maitenaz 2012). Cette stratégie type serait apprise, entrainée, mémorisée pour être reconnue et utilisable dans les diverses situations rencontrées où elle peut être utile. L'absence d'apprentissage méthodologique explicite est-elle une explication des difficultés rencontrées par les élèves pour utiliser le sens approximatif du nombre ? L'apprentissage scolaire amenuiserait-il les capacités d'utilisation du sens approximatif du nombre ?

L'analyse des résultats concernant les tâches scolaires qui s'appuient sur la tâche de calcul exact et sur la tâche de dénombrement montre que celles-ci peuvent être, dans certaines conditions, mieux réussies par les élèves d'ULIS-TFC que par les élèves de CE2. Concernant la tâche de calcul exact, les élèves d'ULIS-TFC utilisent des stratégies plus primitives que les élèves de CE2 qui eux, utilisent des procédures davantage mentales. Cependant, nous pouvions penser que sur des soustractions comprenant de petits opérandes, les élèves de CE2 maitriseraient davantage la tâche. Pour la tâche de dénombrement, nous pouvons rappeler que son analyse montre que 10 élèves sur 24 en CE2 et 22 élèves d'ULIS-TFC sur 32 commettent au moins une erreur de dénombrement. Pour expliquer les échecs dans cette situation, nous pouvons évoquer deux hypothèses majeures. Le dénombrement fait appel à des schèmes élaborés, impliquant de multiples connaissances et compétences qui peuvent mettre les élèves en difficulté : la connaissance et la mémorisation de la suite numérique verbale (Fuson, Richards et Briars 1982) ; la connaissance et la mise en place des cinq principes du dénombrement (Gelman et Gallistel 1978) ; l'ensemble des gestes moteurs à réaliser et à coordonner lorsque la collection comporte des éléments déplaçables. La seconde hypothèse est que cette tâche repose sur une connaissance qui est nécessaire à la réussite, mais qui est implicite au sens où elle est rarement verbalisée au cours de l'enseignement : l'énumération. Dans la tâche proposée, la connaissance d'énumération est d'autant plus essentielle que les éléments ne sont pas déplaçables. Ce constat d'un nombre non négligeable d'élèves en échec, et ce même chez les élèves de CE2, renvoie au questionnement de l'enseignement du dénombrement. Celui-ci est, comme nous l'avons vu, appris, expliqué et réitéré, mais les résultats ne semblent pas être à la hauteur des efforts fournis. Ces échecs sont-ils liés à un enseignement inefficace, voire contre-productif ? Quels sont les effets de l'enseignement de ces tâches sur les compétences des élèves ? Ce questionnement est légitime, mais nous ne pensons pas qu'il puisse se limiter à la seule cause des pratiques enseignantes.

La comparaison des élèves en situation de handicap et des élèves dits « ordinaires » montre que les difficultés des élèves d'ULIS-TFC repérées ne semblent pas être par nature différentes de celles repérées chez les élèves de CE2, mais elles seraient plus exacerbées chez les élèves d'ULIS-TFC. Parmi les difficultés que nous pouvons retrouver chez les deux types de population, nous pouvons évoquer l'accès à la compréhension des consignes et des tâches proposées. Une autre caractéristique que nous pouvons noter est que les élèves d'ULIS-TFC semblent plus prompts à mettre en place des stratégies plus primitives que les élèves « ordinaires », ou des stratégies dont la planification est moins opérante. Nous percevons ces caractéristiques pour la tâche de calcul exact (stratégies plus primitives) et pour la tâche d'énumération (stratégies moins structurées). Ces caractéristiques plutôt spécifiques mais non exclusives aux élèves d'ULIS-TFC, sont visibles de manière plus prononcée chez les élèves « ordinaires » lorsque ceux-ci sont plus jeunes (Cretin-Maitenaz 2012). Ce constat pourrait aller dans le sens d'une capacité plus faible d'inhibition. Nous pouvons rappeler que dans la majorité des cas, un élève d'ULIS-TFC ayant un niveau donné est plus âgé qu'un élève « ordinaire » du même niveau scolaire. Cependant certains de ces élèves semblent être dans l'incapacité de « rattraper » ce retard même avec un enseignement spécialisé et un temps d'apprentissage plus long. Nous n'avons relevé au cours de l'analyse qu'une seule caractéristique spécifique aux élèves d'ULIS-TFC. Ces élèves semblent plus sensibles aux formes que prennent les tâches proposées, celles-ci doivent peu varier pour qu'elles puissent être reconnues par les élèves et ensuite être résolues. Si la tâche scolaire présentée n'est pas reconnue, alors ces élèves se retrouvent davantage en situation d'échec. La reconnaissance d'une tâche comme situation de référence renvoie au concept d'institutionnalisation (Brousseau 1998a) qui permet aux élèves de résoudre des situations semblables à la situation de référence sans avoir à reconstruire toute la procédure. Elle repose, en partie, sur l'accès à l'arrière-plan des situations proposées qui nécessite de mettre en exergue les points communs entre des éléments d'apparences différentes. Pour nous, cet arrière-plan s'apparenterait à la structure mathématique du problème. Cet accès à l'arrière-plan des situations semblerait plus aisé pour les élèves dits « ordinaires » que pour les élèves en situation de handicap. Enfin, les résultats tendent à montrer que lorsque ces deux populations sont confrontées à des tâches non scolaires, elles obtiennent des résultats proches, ce qui est le cas pour la tâche d'énumération et celle d'approximation des quantités et comparaison. Nous pouvons nous demander quel est l'effet de l'enseignement de ces tâches auprès des élèves en situation de handicap. Pourquoi des situations non scolaires seraient moins problématiques pour ces élèves que des situations scolaires ? Une analyse plus fine des résultats est nécessaire pour étayer ou non cette hypothèse.

7. Conclusion

La construction du concept de nombre est longue et parfois difficile, notamment pour les élèves en situation de handicap pour qui les capacités de conceptualisation et d'abstraction peuvent se trouver plus limitées. La compréhension de ce qui est en jeu dans la construction du concept de nombre peut avoir un intérêt majeur dans l'enseignement et plus spécifiquement dans l'enseignement spécialisé auprès des élèves en situation de handicap, permettant ainsi une plus grande adaptation des méthodes d'enseignement pour viser un apprentissage plus efficient. Les tâches proposées aux élèves ont permis, dans une certaine mesure, de mettre en lumière les éléments difficiles ou pouvant faire obstacle à la construction du concept de nombre chez certains élèves. Le sens approximatif et le sens exact du nombre semblent être appréhendés de manière différente par les élèves en situation de handicap et les élèves dits « ordinaires ». Certaines compétences mathématiques semblent assez peu enseignées, comme l'énumération [1], mais elles s'avèrent essentielles dans le développement d'autres compétences, notamment le dénombrement. Les différents éléments explicatifs de ces difficultés ne sont pas nécessairement liés à un seul champ théorique. Ainsi, nous pouvons comprendre en quoi l'utilisation des différents champs théoriques que sont les neurosciences, les sciences cognitives et la didactique peuvent s'avérer utiles pour tenter de comprendre et d'expliquer plus finement les résultats obtenus au cours de cette recherche.

Cependant ce travail n'a pas permis d'échantillonner les populations et notamment la population d'élèves en situation de handicap, ceci aurait permis une comparaison plus précise. Ce travail serait donc intéressant à mener sur une population plus importante et une population où les profils des élèves en situation de handicap sont étudiés pour être échantillonnés afin de mieux mesurer les effets et les conséquences du handicap dans le développement et la construction du concept de nombre.

1. L'énumération apparait dans les nouveaux programmes de cycle 1 publiés postérieurement à cette recherche. Cependant elle n'y apparait pas comme présentée ici mais toujours associée à un dénombrement.

Bibliographie

BARROUILLET, Pierre et Valérie CAMOS (2006). *La cognition mathématique chez l'enfant.* Psychologie : théories, méthodes, pratiques. Marseille : Solal, 2006 (cf. p. 5, 9, 27).

BRIAND, Joël (1999). « Contribution à la réorganisation des savoirs pré-numériques et numériques : étude et réalisation d'une situation d'enseignement de l'énumération dans le domaine pré-numérique ». In : *Recherches en didactique des mathématiques* 19, p. 41-75. URL : http://revue-rdm.com/1999/contribution-a-la-reorganisation (cf. p. 9, 10, 15).

BROUSSEAU, Guy (1986). « Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques ». In : *Recherches en didactique des mathématiques* 7.2, p. 33-115. URL : http://revue-rdm.com/1986/fondements-et-methodes-de-la (cf. p. 6, 10).

— (1998a). « Le contrat didactique : l'enseignant, l'élève et le milieu ». In : *BROUSSEAU 1998b*. 1998. Chap. 5, p. 299-327 (cf. p. 30).

— (1998b). *Théorie des situations didactiques : didactiques des mathématiques, 1970-1990.* Recherches en didactique des mathématiques. Textes rassemblés par Nicolas Balacheff, Martin Cooper, Rosamund Sutherland et Virginia Warfield. Grenoble : La pensée sauvage, 1998 (cf. p. 11, 32).

COHEN, Laurent et Stanislas DEHAENE (2000). « Calculating without reading : unsuspected residual abilities in pure alexia ». In : *Cognitive Neuropsychology* 17, p. 563-583. DOI : 10.1080/026432900501106566 (cf. p. 6, 8).

CRETIN-MAITENAZ, Aude (2012). « Développement des procédures additives et soustractives chez des enfants de CLIS 1 et de cours élémentaires : une perspective comparative ». Mémoire de master MEEF. Université de Franche-Comté, 2012 (cf. p. 29, 30).

DEHAENE, Stanislas (1992). « Varieties of numerical abilities ». In : *Cognition* 44, p. 1-42. DOI : 10.1016/0010-0277(92)90049-N (cf. p. 5, 8).

— (12 février 2008a). *Fondements cognitifs de l'arithmétique élémentaire : le concept de nombre.* Collège de France. 12 février 2008. URL : http://www.college-de-france.fr/fr/agenda/cours/fondements-cognitifs-de-arithmetique-elementaire/le-concept-de-nombre (visité le 06/05/2024) (cf. p. 8, 28).

— (25 mars 2008b). *Fondements cognitifs de l'arithmétique élémentaire : l'impact des symboles sur la cognition numérique.* Collège de France. 25 mars 2008. URL : http://www.college-de-france.fr/fr/agenda/cours/fondements-cognitifs-de-arithmetique-elementaire/impact-des-symboles-sur-la-cognition-numerique (visité le 06/05/2024) (cf. p. 8, 28).

ÉGRON, Bruno, éd. (2017). *Scolariser les élèves handicapés mentaux ou psychiques.* 2e édition. Maîtriser. Futuroscope : Canopé éditions, 2017 (cf. p. 5, 9, 29).

FUSON, Karen C., John RICHARDS et Diane J. BRIARS (1982). « The acquisition and elaboration of the number word sequence ». In : *Children's logical and mathematical cognition : progress in cognitive development research.* Sous la dir. de Charles J. BRAINERD. New York : Springer, 1982, p. 33-92. DOI : 10.1007/978-1-4613-9466-2_2 (cf. p. 9, 29).

GARDES, Marie-Line, Marie-Caroline CROSET, Philippine COURTIER et Jérôme PRADO (2021). « Comment la didactique des mathématiques peut-elle informer l'étude de la cognition numérique ? L'exemple d'une étude collaborative autour de la pédagogie Montessori à l'école maternelle ». In : *Raisons éducatives* 25, p. 237-259 (cf. p. 9).

GELMAN, Rochel et Charles R. GALLISTEL (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge : Harvard university press, 1978 (cf. p. 9, 29).

GROUX, Dominique (1997). « L'éducation comparée : approches actuelles et perspectives de développement ». In : *Revue française de pédagogie* 121 : *L'éducation comparée*, p. 111-139. DOI : 10.3406/rfp.1997.1149 (cf. p. 12).

IZARD, Véronique, Pierre PICA, Elizabeth S. SPELKE et Stanislas DEHAENE (2008). « Comment les nombres se répartissent dans l'espace : une intuition originelle logarithmique ». In : *médecine/sciences* 24, p. 1014-1016. DOI : 10.1051/medsci/200824121014 (cf. p. 6-8, 12, 19, 20).

LAPARRA, Marceline et Claire MARGOLINAS (2016). *Les premiers apprentissages scolaires à la loupe : des liens entre énumération, oralité et littératie*. Le point sur… Pédagogie. Louvain-la-Neuve : De Boeck, 2016 (cf. p. 10).

MANDLER, George et Billie Jo SHEBO (1982). « Subitizing : an analysis of its component processes ». In : *Journal of Experimental Psychology : General* 111, p. 1-22. DOI : 10.1037/0096-3445.111.1.1 (cf. p. 8).

MARGOLINAS, Claire, Floriane WOZNIAK et Olivier RIVIÈRE (2015). « Situations d'énumération et exploration des collections ». In : *Recherches en didactique des mathématiques* 35, p. 33-115. URL : http://revue-rdm.com/2015/situations-d-enumeration-et (cf. p. 10, 12, 14).

MCCRINK, Koleen et Karen WYNN (2004). « Large-number addition and subtraction by 9-month-old infants ». In : *Psychological Science* 15, p. 776-781. DOI : 10.1111/j.0956-7976.2004.00755.x (cf. p. 7).

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNESSE (2018). *Programme du cycle 2 : en vigueur à compter de la rentrée de l'année scolaire 2018-2019*. Paris : Éduscol, 2018. URL : http://web.archive.org/web/20190722203027if_/http://cache.media.eduscol.education.fr/file/programmes_2018/20/0/Cycle_2_programme_consolide_1038200.pdf (cf. p. 19).

PICA, Pierre, Cathy LEMER, Véronique IZARD et Stanislas DEHAENE (2004). « Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group ». In : *Science* 306 (5695) : *Cognition and behaviour*, p. 499-503. DOI : 10.1126/science.1102085 (cf. p. 6-8, 12, 17, 19).

PIGUET, Christian et Heinz HÜGLI (2004). « Histoire des chiffres ». In : *Du zéro à l'ordinateur : une brève histoire du calcul*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2004. Chap. 1, p. 3-20 (cf. p. 5).

REVKIN, Susannah K., Manuela PIAZZA, Véronique IZARD, Laurent COHEN et Stanislas DEHAENE (2008). « Does subitizing reflect numerical estimation ? » In : *Psychological Science* 19, p. 607-614. DOI : 10.1111/j.1467-9280.2008.02130.x (cf. p. 8).

SIEGLER, Robert S. et Julie L. BOOTH (2004). « Development of numerical estimation in young children ». In : *Child Development* 75, p. 428-444. DOI : 10.1111/j.1467-8624.2004.00684.x (cf. p. 7, 12, 19).

STARKEY, Prentice et Robert G. COOPER Jr. (1980). « Perception of numbers by human infants ». In : *Science* 210 (4473), p. 1033-1035. DOI : 10.1126/science.7434014 (cf. p. 7).

STARKEY, Prentice, Elizabeth S. SPELKE et Rochel GELMAN (1983). « Detection of intermodal numerical correspondences by human infants ». In : *Science* 222 (4620), p. 179-181. DOI : 10.1126/science.6623069 (cf. p. 7).

VAN DER MAREN, Jean-Marie (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. 2e édition. Méthodes en sciences humaines. Bruxelles : De Boeck Université, 1996. URL : http://hdl.handle.net/1866/4688 (cf. p. 12).

WYNN, Karen (1992). « Addition and subtraction by human infants ». In : *Nature* 358, p. 749-750. DOI : 10.1038/358749a0 (cf. p. 7).

XU, Fei et Susan CAREY (1996). « Infants' metaphysics : the case of numerical identity ». In : *Cognitive Psychology* 30, p. 111-153. DOI : 10.1006/cogp.1996.0005 (cf. p. 7).

XU, Fei et Elizabeth S. SPELKE (2000). « Large number discrimination in 6-month-old infants ». In : *Cognition* 74, B1-B11. DOI : 10.1016/S0010-0277(99)00066-9 (cf. p. 7).

Liste des illustrations

Liste des tableaux

Tâche complexe pour des élèves ayant un trouble du spectre de l'autisme : une expérimentation basée sur un outil qui lie numérique et déplacement physique

Aude Cretin-Maitenaz
Marie-Céline Pister
Arnaud Simard

Le dispositif Learn-O, basé sur l'effet kinesthésique de l'apprentissage, est pensé pour être adapté, entre autres, aux élèves à besoins éducatifs particuliers. Cette contribution relate un projet mené auprès d'élèves ayant un trouble du spectre de l'autisme (TSA) scolarisés en Instituts médico-éducatifs (IME).

Sommaire

1. Introduction

L'acronyme Learn-O est formé des initiales des mots « ludique », « éducatif », « autonome », « réflexif », « neuroergonomique » et « ouvert ». Il s'agit d'un dispositif basé sur l'effet kinesthésique de l'apprentissage adapté aux élèves à partir de trois ans (Simard et Blondeau 2016 ; Simard, Blondeau et Coste 2021 ; Simard, Cece, Lentillon-Kaestner, Roure et Blondeau 2022 ; Simard et Vermot-Desroches 2023). L'objectif de cet article est de relater une expérimentation qui cherche à tester le dispositif avec des élèves présentant un diagnostic de TSA et scolarisés en IME. Ces élèves, atteints d'une déficience intellectuelle (DI) et pour plusieurs non-verbaux (voir page 43), ne sont pas inclus en classe ordinaire. De plus, ils ont des capacités d'attention et d'implication extrêmement limitées. En conséquence, les ressorts didactiques et pédagogiques du dispositif Learn-O sont mis à l'épreuve. Après avoir expliqué les grandes lignes qui sous-tendent le dispositif Learn-O, nous nous attacherons à relater l'expérimentation effectuée en s'appuyant sur les retours de l'enseignante spécialisée en charge de la scolarisation de ces élèves et de la neuropsychologue qui suit ces élèves.

2. Learn-O : ludique, éducatif, autonome, réflexif, neuroergonomique et ouvert

Le dispositif Learn-O, créé en 2010 par l'éducateur sportif Thierry Blondeau, s'inscrit dans différents cadres théoriques (Simard, Blondeau et Coste 2021 ; Aberkane 2016 ; Brousseau 1998 ; Dehaene 2018 ; Haye 2019) et s'appuie sur l'expertise de nombreux collaborateurs et collaboratrices de disciplines différentes (éducation physique, arts, musique, etc.). Le dispositif vise à utiliser l'énergie physique des élèves pour amplifier leur motivation scolaire et ancrer les apprentissages. Le dispositif Learn-O propose un éventail de progressions mathématiques et interdisciplinaires adaptées à tous les publics scolaires de chaque niveau et facilite l'inclusion des élèves à besoins éducatifs particuliers (abréviation BEP qui regroupe, entre autres, les troubles du comportement et les troubles dys-) par une différenciation aisée ainsi qu'un recours aux consignes minimales et imagées (Simard, Blondeau et Coste 2021).

De manière pratique, il s'agit pour l'élève de se déplacer physiquement dans un maillage de balises (cônes de chantier équipés de bornes électroniques) en résolvant des problèmes, généralement proposés sur une carte de jeu (format carte bancaire), en lien avec différentes disciplines scolaires (mathématiques, musique, langues, arts, etc.). Que cette compétence soit explicite (par exemple savoir réaliser des décompositions additives mentalement) ou implicite (par exemple effectuer un raisonnement), qu'elle soit mathématique (par exemple savoir réaliser une symétrie axiale sur un réseau pointé) ou d'une autre discipline (par exemple reconnaitre un mouvement de peinture en histoire de l'art), se rapprocher de la compétence ciblée facilite la réussite et la rapidité d'exécution du jeu.

Chaque activité proposée peut être réalisée de deux manières : soit en maximisant l'effort physique (par exemple se déplacer de balise en balise à la recherche du bon indice), soit en maximisant l'effort mental (par exemple, pour les quatre à cinq ans :

pour choisir le nombre 23 sur la frise numérique, l'élève peut se rendre dans la zone « des grands nombres » au lieu de regarder tour à tour chaque balise). En soi, l'intérêt pour les apprentissages scolaires réside dans la bascule de « l'effort physique » vers « l'effort mental ». Le travail des responsables de jeu sur les différentes variables didactiques consiste à rendre couteux l'effort physique afin que l'élève favorise, de sa propre initiative, l'effort mental. Par exemple, la carte de jeu est fixée sur un mur éloigné du maillage de balises afin que l'élève ne puisse plus prendre la carte en main. L'élève peut soit faire des allers-retours au prix d'efforts physiques importants ou alors mémoriser les résultats et enchainer les réponses, ce qui est moins couteux physiquement, mais beaucoup plus couteux intellectuellement.

L'objectif d'une activité Learn-O peut être la consolidation ou l'introduction d'une nouvelle notion scolaire. En outre, l'autonomie est au cœur de la pédagogie du dispositif. Dès le plus jeune âge (deux à trois ans) avec ou sans BEP, les élèves deviennent rapidement autonomes sur le système. L'absence de consignes orales complexes ou d'indications écrites, ainsi que l'attrait pour les nouvelles technologies (doigts électroniques, balises, ordinateurs) couplé à la liberté que procure le jeu grandeur nature dans un espace dédié, rendent l'activité Learn-O suffisamment attractive pour que les élèves s'engagent de manière autonome en voulant comprendre et réussir.

Bien que l'ordinateur ait plusieurs rôles dans une activité Learn-O, son principal usage est de rendre l'élève autonome dans sa correction. En effet, lorsqu'une carte de jeu est réalisée, l'élève valide sa prestation sur l'ordinateur. Le logiciel est construit de telle manière qu'il peut indiquer à l'élève si le parcours réalisé est juste (écran vert) ou faux (écran rouge). Les données affichées à l'écran permettent à l'élève de constater son erreur, de l'interpréter et de la corriger (sur le principe d'un jeu des 7 erreurs entre la carte de jeu et l'affichage à l'écran). L'élève se retrouve donc face à ses propres erreurs, sans compte à rendre à l'adulte et sans pression face à ses camarades. Il évolue à son rythme. Il constate ses réussites et échecs par lui-même avant de les partager et chercher à les comprendre avec l'objectif de gagner au prochain tour.

Le dispositif permet une individualisation du niveau de difficulté afin d'adapter la tâche au niveau de l'élève et à ses besoins spécifiques, ce qui favorise l'inclusion de tous les élèves. Ainsi, un élève avec BEP inclus en classe ordinaire peut sans aucun problème être acteur d'une séance Learn-O avec sa classe sans que ses difficultés soient un frein. De plus, comme la validation autonome ne requiert pas l'enseignant, elle permet à chacun de se tromper ou de réussir sans être mis sous le feu des regards des pairs et des adultes.

Pour des informations complémentaires sur Learn-O, on peut consulter Perramon 2020 ; Blondeau s. d.

3. Problématique

Les élèves avec BEP qui sont inclus en classes ordinaires ont conscience de leur statut d'élèves. Ils fréquentent une institution dont le rôle est de leur faire acquérir des connaissances, des savoir-faire et des savoir-être au même titre que les élèves dits ordinaires. Leur inclusion dans une séance en classe ordinaire basée sur le dispositif Learn-O est naturelle. Mais qu'en est-il pour des élèves porteurs d'un trouble du spectre de l'autisme avec déficience intellectuelle et dont la communication verbale est très limitée voire inexistante ? Ces élèves, scolarisés uniquement en Instituts médico-educatifs (IME), sans inclusion dans le milieu ordinaire, peuvent-ils entrer dans le dispositif Learn-O et interagir avec celui-ci ? Ces questions sont le point de départ de l'expérimentation. Nous nous proposons de regarder quelques élèves de l'IME l'Essor (Besançon, France) dont les particularités cognitives vont servir à tester la résistance didactique et pédagogique du dispositif Learn-O. Du côté de l'enseignante et de la psychologue, les objectifs sont multiples : proposer une activité innovante aux élèves, observer leur implication, lier déplacement et attention pour ces élèves, avoir une réflexion sur les potentialités et les adaptations à prévoir concernant le dispositif proposé à des élèves ayant un TSA.

4. Expérimentation à l'IME l'Essor

4.1 L'IME l'Essor et ses élèves (de manière générale)

L'IME l'Essor est un établissement spécialisé qui reçoit 32 enfants déficients intellectuellement (DI) dont 20 sont porteurs de TSA. Les enfants présentant un TSA sont accueillis de six à seize ans, les enfants DI sont accueillis jusqu'à douze ans. La scolarisation peut se faire en interne à l'IME ou en Unité d'Enseignement Externalisée (UEE). Les élèves de l'UEE sont scolarisés dans une classe instituée dans une école primaire proche de l'IME. L'UEE compte 12 élèves qui peuvent bénéficier, autant que possible, de temps d'inclusion dans des classes de référence. Les élèves scolarisés en interne sont répartis dans deux groupes de scolarisation basés sur les âges : de six à douze ans et de douze à seize ans. Les âges déterminant les groupes ne sont donnés qu'à titre indicatif : ils peuvent varier selon la population accueillie.

Concernant les élèves présentant un TSA, la plupart sont scolarisés en interne, ils sont tous diagnostiqués avec une déficience intellectuelle. Les compétences scolaires de ces élèves sont très hétérogènes, allant d'un niveau préscolaire à un niveau de CP voire CE1.

Les compétences de communication verbale (capacités à utiliser le langage oral pour communiquer avec les autres de manière appropriée) sont dans l'ensemble faibles (élèves non verbaux ou communication non efficace). La communication orale avec ces élèves nécessite des aménagements importants, avec notamment la mise en place d'une communication alternative et augmentée : pictogrammes, tablette de communication avec logiciel adapté, signes, photos, etc.

4.2 L'IME l'Essor et les élèves participant à l'expérimentation

Les élèves scolarisés en interne à l'IME l'Essor qui participent à l'expérimentation appartiennent tous au même groupe de scolarisation (de onze à seize ans), ils sont au nombre de 11. L'ensemble des élèves participants ont un diagnostic de TSA avec déficience intellectuelle. Parmi ces 11 élèves, 6 ont été particulièrement suivis sur l'ensemble de l'expérimentation. Le choix porté sur ces 6 élèves répond à la fois à des contraintes organisationnelles (présence à l'IME) et à des intérêts pédagogiques. Les évaluations propres à l'IME ont permis d'évaluer leur bonne capacité à distinguer les choses les unes des autres avec précision (bonne discrimination visuelle), ce qui garantit le bagage minimum pour l'expérimentation menée. Ce groupe d'élèves présente des niveaux très hétérogènes, que ce soit pour l'autonomie, l'accès aux consignes, la mémorisation, la planification de leurs actions. Leur niveau scolaire varie de la toute petite section de maternelle (deux ans) à la grande section de maternelle (de cinq à six ans). Leurs capacités en communication verbale sont diverses mais restent très faibles : 3 sont non-verbaux et 3 peuvent produire quelques mots.

4.3 Une expérimentation en trois phases

4.3.1 Première phase : découverte du dispositif

Cette première phase s'est déroulée en janvier 2023 et l'ensemble des élèves de l'IME l'Essor a été convié à participer. Le matériel (cartes, visuels, ordinateurs, cônes, etc.) est le même que pour une classe ordinaire de maternelle. Sur les premiers passages, chaque élève est accompagné d'un adulte qui assure, guide et insiste sur la compréhension des attendus. Les adultes ont tenté de diminuer leur accompagnement au cours des passages suivants. Cette adaptation est majeure par rapport aux élèves des classes ordinaires.

Il y a deux objectifs à cette première phase. D'une part, un objectif global d'appropriation du dispositif par les élèves de l'IME, ce qui regroupe trois sous-objectifs :

- être confronté à un dispositif non familier ;
- respecter une chronologie d'actions ;
- rentrer dans une tâche et comprendre sa validation.

D'autre part, un objectif local de travail sur la discrimination visuelle est visé. Pour cela, nous avons choisi des jeux de cartes développés pour les élèves de petite et moyenne section de maternelle (de trois à cinq ans). Nous détaillerons ces cartes dans le paragraphe suivant.

Le matériel est installé dans le préau, un espace connu, fermé et suffisamment grand pour accueillir le dispositif. L'effort physique attendu est faible en ce que les cônes sont à une distance inférieure à deux mètres les uns des autres. Chaque cône est muni d'une balise, elle-même agrémentée d'un visuel représentant un animal stylisé (ces dessins sont propriété Learn-O).

L'élève, muni d'un doigt électronique (figure 4.1) dispose d'une carte où figure le visuel d'un des animaux présents sur les balises et doit aller biper sur la balise comportant le même visuel. Il doit ensuite aller biper sur un ordinateur pour faire

FIGURE 4.1 – *Carte, cône, doigt électronique.*

apparaitre à l'écran le visuel de l'animal sur lequel il a bipé. Il peut ainsi confronter sa carte de jeu avec l'affichage à l'écran et vérifier qu'il s'agit bien du même visuel. L'idée est de mettre en correspondance les trois représentations : carte, visuel sur balise et écran, tout en respectant un enchainement d'actions (je pioche une carte, je vais biper sur la bonne balise, je vais vérifier à l'ordinateur).

Les dix cônes sont disposés en quadrillage et portent des visuels « animaux » répartis comme sur la figure 4.2.

Le travail sur certaines variables didactiques de la situation permet de proposer une évolution des cartes de jeu (figure 4.3). La première série de cartes présente un animal identique à un des visuels sur les balises (objectifs : reconnaissance globale et appropriation du dispositif). La seconde série ne présente que la silhouette de l'animal (objectif : discrimination des formes indépendamment des couleurs, reconnaissance des contours, niveau petite section de maternelle, de trois à quatre ans). La troisième série ne présente qu'un détail de l'animal (objectif : repérage de détails dans une forme globale, niveau petite section de maternelle). La quatrième série de cartes consiste à enchainer une série de trois animaux à biper dans le sens de la lecture (objectifs : itération ordonnée, niveau moyenne section de maternelle, de quatre à cinq ans).

Figure 4.2 – *Disposition des cônes.*

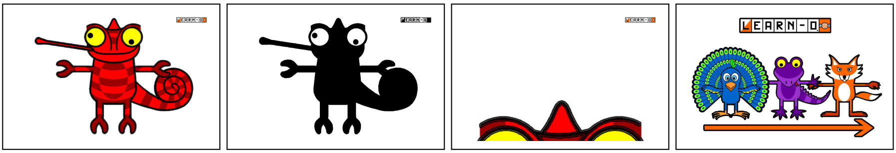


Figure 4.3 – *Exemple d'évolution des cartes.*

À l'issue de cette phase, le degré d'autonomie des 6 élèves s'est avéré très faible. Seul 1 élève sur les 6 a réussi à réaliser des tâches sans guidance jusqu'à la quatrième série. Les autres sont restés sur les séries 1 ou 2 avec guidance forte et parfois totale. Dans ce cas, l'élève est emmené jusqu'au cône qui correspond à la bonne réponse et l'adulte dirige l'attention de l'élève pour expliciter la similitude entre la carte et le visuel sur le cône, puis l'adulte emmène l'élève vers l'ordinateur et dirige son attention sur la similitude entre la carte et l'écran.

4.3.2 Deuxième phase : période didactique décontextualisée longue

La difficulté majeure observée en première phase réside dans la capacité à pouvoir trouver l'information demandée dans l'espace de la pièce. Ainsi, la deuxième phase a visé un objectif de recherche visuelle. Autrement dit, les élèves ont été entrainés à balayer visuellement l'espace où ils se trouvaient pour prendre des informations précises (morceau de puzzle, personnages identiques, photos cibles, etc.). D'autres compétences cognitives ont également été mobilisées au cours de ces exercices : nous citerons essentiellement l'attention conjointe (pouvoir porter l'attention au même endroit que son interlocuteur pour permettre une aide efficace) et l'attention divisée (pouvoir travailler avec d'autres enfants qui vont et viennent tout en maintenant l'attention sur son propre travail de recherche).

Les élèves ont eu un entrainement hebdomadaire qui s'est déroulé en plusieurs étapes.

Étape 1 (en classe, espace intérieur connu). Les élèves sont invités à rechercher visuellement des images dans un espace connu. Ces images sont situées dans des lieux non communs (sous la table, sous une chaise, en hauteur, etc.) pour forcer les élèves à un balayage visuel complet de la salle.

Étape 2. Cette étape reprend l'étape 1, mais les images représentent les animaux Learn-O (format agrandi en A4 couleur). Ils doivent se déplacer vers la figure cible sans la prendre.

Sous le préau (espace intérieur connu), un aménagement de type Learn-O est reproduit (de petits cônes et des images des animaux Learn-O), les élèves doivent retrouver les images des animaux en se déplaçant vers le bon cône mais sans prendre l'image. Ils doivent uniquement pointer l'image ou s'arrêter devant elle pour manifester leur choix.

Étape 3 (dans un gymnase, espace intérieur inconnu). Les élèves ont à chercher visuellement des images des animaux Learn-O. Les images sont placées au sol (dans des cerceaux) ou au mur. Ils doivent uniquement pointer l'image ou s'arrêter devant elle pour manifester leur choix.

Étape 4 (dans le jardin de l'IME, espace extérieur connu). Un aménagement de type Learn-O est reproduit (de petits cônes et des images des animaux Learn-O), les élèves doivent retrouver les images des animaux en se déplaçant vers le bon cône mais sans prendre l'image. Ils doivent uniquement pointer l'image ou s'arrêter devant elle pour manifester leur choix.

Dans l'ensemble des situations proposées, les élèves n'ont pas un effort physique important à fournir, les cônes étant espacés de deux mètres les uns des autres au maximum. Ils sont guidés par les adultes en tant que de besoin. En termes de guidance, nous pouvons préciser que cela consiste à :

— stimuler la prise d'information pour identifier l'image cible à retrouver ;
— aider au déplacement entre les différents cônes et parfois aider à la focalisation sur les images pour que l'élève puisse discriminer et définir ou non la correspondance entre les images ;
— maintenir la motivation et la concentration tout au long de la tâche.

Dans certains cas, la guidance doit être forte voire totale. Dans ce cas, l'élève travaille sur deux ou au maximum trois images différentes pour qu'il puisse investir le support et réussir la tâche avec le plus d'autonomie possible, suite à une répétition intensive.

4.3.3 Troisième phase : retour au dispositif Learn-O

Cette phase s'est déroulée cinq mois après la première phase, en juin 2023. Les élèves sont de nouveau confrontés à la même situation que lors de la première phase (même matériel, même disposition, même lieu). Les mêmes cartes de jeu sont proposées mais une adaptation, issue des réflexions sur l'attention divisée, est adoptée : les élèves passent un par un.

À l'issue de cette troisième phase, nous avons pu constater que 5 élèves sur les 6 engagés dans le travail à long terme ont fait preuve de progrès et d'une plus grande réussite dans les diverses tâches proposées.

4.4 Précisions sur l'élève en difficulté

Nous pouvons préciser que sur l'ensemble des élèves du groupe expérimental, le seul qui semble ne pas avoir tiré profit de la situation fait pourtant preuve de compétences importantes en discrimination visuelle (il est capable de réaliser des puzzles en autonomie de plus de cent pièces même si celui-ci est nouveau ; il peut reconnaitre l'image d'une chose qu'il apprécie dans un quadrillage de 6×6 images). L'explication ou les explications de l'échec ne sont donc pas à aller chercher sur la compétence scolaire visée, la discrimination visuelle, mais certainement sur l'ensemble des bases attendues par le support ou encore sur la motivation à réaliser une tâche trop éloignée de son quotidien d'enfant ou d'élève. Nous pourrions nous demander si l'entrainement a été suffisant pour cet élève, ou si une motivation extérieure (renforçateur) aurait pu être mise en place pour stimuler l'apprentissage.

4.5 Précisions sur les 5 élèves en réussite sur les 6 engagés dans le travail

Ces 5 élèves ont gagné en autonomie de recherche. Lors de la troisième phase, ils étaient capables de réaliser l'ensemble du processus : choix d'une carte, recherche, validation. Pour certains, la phase de validation avait clairement le statut d'auto-validation. Pour la plupart, l'accompagnement d'un adulte a été nécessaire au premier passage pour rappeler les implicites du parcours, mais les autres exercices ont pu être menés en autonomie. L'un des élèves a particulièrement progressé, passant de la recherche d'un animal à la recherche d'une série de dix animaux en succession les uns avec les autres pour valider.

5. Retour sur expérimentation

L'expérimentation a permis d'identifier une difficulté inhérente au dispositif Learn-O pour les élèves ayant un TSA. Pour les élèves dits « ordinaires », le dispositif Learn-O permet une auto-validation du travail par l'élève lui-même, sans que l'adulte intervienne. Cette auto-validation potentielle est dans l'ensemble difficile à comprendre et à appréhender pour la plupart des élèves ayant un TSA (l'élève sollicite une confirmation de l'adulte). Nous faisons l'hypothèse qu'elle n'est peut-être pas suffisamment explicite pour les élèves suivis lors de cette expérimentation. Dans le cas des images correspondantes à retrouver (discrimination visuelle avec un seul personnage), la validation ne se fait que par confrontation du personnage figurant sur la carte avec le personnage figurant sur l'écran. Comme la validation ne se fait pas dans l'immédiateté mais en différé dans le temps et dans l'espace, le lien entre la cause et l'effet est donc plus complexe à comprendre pour les élèves. Pour aider à faire ce lien, il serait intéressant d'accompagner la réussite ou non par un effet sonore (auditif non perturbant) comme cela est le cas pour les cartes de jeu à trois personnages. Cet apport auditif a l'inconvénient de rendre la production de l'élève publique (les pairs peuvent savoir la justesse de la réponse de l'élève) mais il a plusieurs atouts :

— l'élève sait, à l'oreille, si son résultat est juste ou faux ;
— cela ajoute de la motivation à certains élèves (ils font une petite pause avant de mettre le doigt électronique et dansent sur la musique qui valide le résultat) ;
— cela permet à l'enseignant de savoir le résultat à l'oreille sans être à proximité immédiate de l'élève.

L'expérimentation a également permis à l'enseignante et à la psychologue de s'entendre sur un atout majeur du dispositif pour les élèves ayant un TSA. Ce dispositif a permis un travail de compétences non spécifiques à un domaine d'enseignement, et pourtant indispensables chez les élèves présentant un TSA pour développer leurs apprentissages. Ces compétences, détaillées ci-dessous, sont la plupart du temps transparentes car difficiles à travailler spécifiquement, même au sein d'un établissement spécialisé :

— évoluer dans un système nouveau, non particulièrement aménagé pour compenser le handicap (se confronter à l'inconnu) : ce type de dispositif est inédit, et ce même pour des élèves dits « ordinaires », de sorte que tous les élèves confrontés au dispositif Learn-O passent par une même phase de découverte ;
— déchiffrer des attentes implicites (par exemple aller rechercher ce qui m'est demandé en reportant l'information dans la mémoire d'un doigt électronique et, si possible, mémoriser les positions) ;
— organiser un raisonnement par étapes.

Les stratégies développées par les élèves ayant participé à cette expérimentation ont été sources d'observations instructives, et ce même avec les cartes de jeu minimales (séries 1, 2 et 3).

Cartes de la série 1 (un animal). Trois niveaux de stratégie sont observables.

— L'élève cherche sans inférence, sans organiser sa recherche (absence de raisonnement sur la recherche, l'élève erre au milieu des cônes et ne trouve pas, ou alors il trouve par hasard). Cela est lié à un manque d'efficience au niveau des processus cognitifs complexes (fonctions exécutives) chez les élèves présentant un TSA (Desseilles, Grosjean, Kosel, Perroud, Weibel et Weiner 2022).
— L'élève structure sa recherche et regarde systématiquement tous les cônes (technique du oui/non sans mémoire).
— L'élève mémorise l'emplacement des différents animaux sur les balises et se réfère à ces connaissances pour aller de plus en plus rapidement vers le bon cône (soit par l'affirmation « je sais qu'il est là », soit par la négation « je sais qu'il n'est pas là »). Au bout d'un certain temps, il connait l'emplacement de chaque animal. Trois stratégies peuvent être convoquées : mémorisation et localisation des animaux par rapport à des repères extérieurs (« le lapin est vers la porte ») ; mémorisation et localisation des animaux les uns par rapport aux autres (« le cochon est derrière le loup ») ; mémorisation de la structure du maillage de cônes en 3 + 3 + 3 + 1. Les enfants présentant un TSA ont généralement une bonne mémoire visuelle (Desseilles, Grosjean, Kosel, Perroud, Weibel et Weiner 2022), cela fait partie de leurs points forts et ils savent mettre à profit cette compétence pour mémoriser les emplacements des différents animaux.

Cartes des séries 2 et 3 (silhouette d'un animal ou un morceau d'animal). Le raisonnement se trouve dans le fait de comprendre que la carte discrimine un unique animal. On travaille ici sur d'autres critères que la ressemblance trait pour trait. Il s'agit de travailler sur une discrimination plus fine (savoir organiser un tri, créer des critères de discrimination, etc.). Cette nouvelle tâche inclut également la complexité suivante : un détail fait partie d'un tout, ou inversement un tout est composé de plusieurs détails. Cette complexité n'est pas acquise d'emblée pour les élèves ayant un TSA du fait d'un déficit de cohérence centrale (Desseilles, Grosjean, Kosel, Perroud, Weibel et Weiner 2022). L'expérimentation a également permis d'observer que certains élèves ont besoin de reconstituer un animal en puzzle (à partir des cartes morceaux) avant partir à sa recherche, ou encore que d'autres élèves ont des réticences à utiliser les cartes silhouettes.

Les élèves qui ont participé à cette expérimentation révèlent que le dispositif Learn-O s'appuie essentiellement sur une validation des acquis de la discrimination visuelle plutôt que sur son apprentissage. Ces élèves viennent mettre en lumière que le dispositif Learn-O comporte un fort potentiel didactique pour des compétences préalables à tout apprentissage. Nous avons cité les trois compétences suivantes dans le paragraphe précédent :

— évoluer dans un système inconnu ;
— déchiffrer des attentes implicites ;
— organiser un raisonnement.

Mais, plus spécifiquement, nous pouvons évoquer celles-ci :

— identifier la tâche ou les tâches ;
— identifier l'environnement dans lequel la tâche va se faire ;
— identifier la validation ;
— comprendre la notion d'auto-correction ;
— comprendre que l'effort de mémorisation est plus intéressant que la recherche sans inférences ou la recherche un à un (gain d'efficacité).

5 élèves sur les 6 qui ont participé à l'expérimentation ont progressé entre la première et la troisième phase. Nous pouvons émettre des hypothèses quant à ces progrès. Tout d'abord, il est important de rappeler que la nouveauté entraine un certain inconfort chez les élèves avec TSA (Desseilles, Grosjean, Kosel, Perroud, Weibel et Weiner 2022). Ensuite, nous pouvons rappeler le rôle de la première phase qui a permis de faire un état des lieux des compétences des élèves dans cette situation d'action. Ainsi, les difficultés rencontrées ont pu être mises en lumière dans le but de les travailler spécifiquement. Enfin, le travail mené entre les deux sessions a permis aux élèves de s'habituer au nouveau matériel et aux demandes. De ce fait, les élèves ont pu développer leurs compétences et les utiliser plus efficacement au cours de la troisième phase de l'expérimentation.

6. Conclusion

L'expérimentation présentée dans cet article retrace l'action d'élèves avec un trouble du spectre de l'autisme lorsqu'ils sont confrontés au dispositif Learn-O. Les observations tendent à montrer que ces élèves mettent en lumière le potentiel didactique de ce support : celui-ci ne se trouve pas tant dans les apprentissages scolaires visés que dans des compétences, savoir-faire et savoir-être, implicites dans tout apprentissage (se confronter à la nouveauté, déchiffrer des attentes, organiser une réponse). Il serait pertinent de développer et d'enrichir cette première expérimentation par des situations plus complexes amenant des apprentissages scolaires plus disciplinaires.

Bibliographie

ABERKANE, Idriss (2016). *Libérez votre cerveau ! : traité de neurosagesse pour changer l'école et la société.* Réponses. Paris : Robert Laffont, 2016 (cf. p. 40).

BLONDEAU, Thierry (s. d.). *Site Learn-O : apprentissage kinesthésique, numérique et neuroergonomique.* URL : http://www.learn-o.com/ (cf. p. 41).

BROUSSEAU, Guy (1998). *Théorie des situations didactiques : didactiques des mathématiques, 1970-1990.* Recherches en didactique des mathématiques. Textes rassemblés par Nicolas Balacheff, Martin Cooper, Rosamund Sutherland et Virginia Warfield. Grenoble : La pensée sauvage, 1998 (cf. p. 40).

DEHAENE, Stanislas (2018). *Apprendre ! : les talents du cerveau, le défi des machines.* Paris : Odile Jacob, 2018 (cf. p. 40).

DESSEILLES, Martin, Bernadette GROSJEAN, Markus KOSEL, Nader PERROUD, Sébastien WEIBEL et Luisa WEINER (2022). *Manuel de l'autiste.* Paris : Eyrolles, 2022 (cf. p. 50, 51).

HAYE, Thomas (2019). « Étude des conditions et des contraintes d'implémentation d'un jeu de société à l'école, comme vecteur d'apprentissages mathématiques : cas du jeu de Go au cycle 3 ». Thèse de doctorat. Université Montpellier, 2019. URL : http://theses.hal.science/tel-02457092 (cf. p. 40).

PERRAMON, Pau (10 novembre 2020). *Festival Learn-O Besançon 2020.* 10 novembre 2020. URL : http://www.youtube.com/watch?v=fyaCw0nnn0I (cf. p. 41).

SIMARD, Arnaud et Thierry BLONDEAU (novembre 2016). « LEARN-O, faire des mathématiques en courant ». In : *Math-École* 226 : *Les technologies dans l'enseignement des mathématiques*, p. 35-40. URL : http://revue-mathematiques.ch/files/7314/9790/1225/ME226-Simard.pdf (cf. p. 39).

SIMARD, Arnaud, Thierry BLONDEAU et Jules COSTE (juillet 2021). « Learn-O : des maths en plein air ». In : *Repères-IREM* 124 : *Mathématiques en plein-air*, p. 9-36. URL : http://irem.univ-grenoble-alpes.fr/revues/reperes-irem/consultation-en-ligne/numero-124-reperes-irem/2-learn-o-des-maths-en-plein-air-1213814.kjsp?RH=1678484639741 (cf. p. 39, 40).

SIMARD, Arnaud, Valérian CECE, Vanessa LENTILLON-KAESTNER, Cédric ROURE et Thierry BLONDEAU (2022). « Innovations numériques : apprentissages interdisciplinaires en mathématiques et en éducation physique ». In : *Revue suisse de pédagogie spécialisée* 12.1 : *Pratiques éducatives novatrices*, p. 23-31. URL : http://ojs.szh.ch/revue/article/view/1064 (cf. p. 39).

SIMARD, Arnaud et Claire VERMOT-DESROCHES (2023). « Innovations numériques : apprentissages interdisciplinaires pour des élèves en décrochage scolaire ». In : *Revue suisse de pédagogie spécialisée* 13.1 : *Troubles du spectre de l'autisme*, p. 33-39. DOI : 10.57161/r2023-01-06 (cf. p. 39).

Liste des illustrations

« Qu'est-ce que tu utilises ici ? »

Groupe Maths et Langage
de l'IREM Centre Val de Loire

Katja Ploog
Magali Hillairet
Anne-Cécile Lafrouji
Caroline Lamour
Véronique Roser

Sommaire

1. De la langue à l'interaction en classe

Les programmes des lycées pointent que « les étapes de verbalisation et de reformulation jouent un rôle majeur dans l'appropriation des notions de mathématiques et la résolution des problèmes ». Les approches courantes de l'oral, notamment celles émanant du secteur de la recherche, didactique en particulier, proposent des activités pédagogiques ciblées destinées à mobiliser des ressources d'oral ou à les transformer (voir p. ex. Hache 2019 ; *Repères-IREM 132* (2023) ; Robert et Vandebrouck 2023) ; les didactiques des mathématiques s'intéressent en outre aux « activités », i. e. langagières, qui permettent de construire les savoirs (Robert 1998). D'autres approches issues de la didactique du français étudient les processus d'institutionnalisation ou de secondarisation dans l'enseignement de manière plus générale (Vinel et Bautier 2020 ; Jaubert et Rebière 2021 ; Laparra et Margolinas 2008 ; Schneeberger 2008) où le rôle joué par le langage est central. Le questionnement de la communauté enseignante, lui, se porte principalement sur la préparation d'un type d'oral très proche de l'écrit (le « grand oral » étant un exposé préconçu) et leur attention reste bien souvent focalisée sur la seule maitrise des concepts faisant l'objet du programme…

Les recherches en linguistique interactionnelle ont explicité la prépondérance de la part langagière dans la construction des savoirs scolaires (p. ex. Fillietaz et Zogmal 2020), bien au-delà des activités ciblées et d'un relevé des termes de spécialité donnés à voir dans le discours. En effet, les connaissances sont élaborées, en grande partie, dans les échanges ordinaires entre enseignant·e·s et élèves, liés ou non aux contenus du programme. L'enjeu majeur de notre approche consiste à documenter les ressources langagières d'action propres à l'interaction ordinaire qui permettent aux élèves d'apprendre à *agir* en mathématicien·ne·s. Ainsi, l'exposé illustre la démarche adoptée dans le groupe Maths et Langage de l'IREM Centre Val de Loire. Accompagné par une linguiste spécialisée dans l'étude de l'oral et de la langue parlée [1], le groupe explore les interactions de classe, site et support de la construction

1. Katja Ploog accompagne depuis dix ans les enseignant·e·s de mathématiques (du collège au supérieur) dans leur questionnement sur le rôle du langage en classe.

du sens et des savoirs. Le processus de travail est initié par un questionnement émanant des enseignant·e·s, qui sera ensuite documenté (par voie d'enregistrement vidéo) dans une séance de classe ordinaire. La ou les séquences pertinentes seront ensuite visionnées ensemble et éclairées avec les outils conceptuels issus de la linguistique interactionnelle. En somme, il ne s'agit pas de faire des enseignant·e·s de mathématiques des linguistes, mais d'outiller leur regard pour mieux saisir les enjeux langagiers de leur pratique professionnelle. Pour l'avoir vécu dans leurs propres pratiques, les enseignant·e·s constatent qu'une compréhension plus fine des caractéristiques de l'interaction développe leur capacité à adapter leur posture et leurs gestes professionnels. D'autres aspects de cette méthode sont exposés dans Ploog et Bouveret 2019 et dans Ploog 2019, en référence au travail effectué par K. Ploog dans un groupe IREM antérieur, à Besançon, en collaboration avec Anne-Sophie Calinon.

Dans les pages qui suivent, nous souhaitons donc mettre en exergue les enjeux interactionnels liés à l'appropriation des connaissances en classe de mathématiques. Les interactions sont déterminées par un cadre (spatio-temporel, participatif, institutionnel) qui influe sur le déroulement (Traverso 2016). Certains types d'interaction suivent un séquentiel routinier ou programmé par l'un·e des interactant·e·s – on reconnaitra ici la classe. Mais chaque interaction est singulière, car les contributions précises de chacun·e des interactant·e·s au déroulement global ne sont pas prévisibles. La linguistique interactionnelle dira de son objet d'étude majeur que l'interaction est émergente ; on conceptualise en parlant, et ce dans une « écologie » particulière. En conséquence, les actions verbales (mais aussi toutes les autres) sont appréhendées dans leur séquentialité, ce qui requiert l'effort majeur d'établir des transcriptions détaillées étendues, permettant de contextualiser une action donnée. L'analyse des échanges en classe représente en outre un défi particulièrement intéressant en raison d'un entremêlement plurimodal (voir par exemple Alibali, Nathan, Church, Wolfgram, Kim et Knuth 2013), auquel s'ajoute en mathématique une dimension plurisémiotique supplémentaire (Duval 1993). Bien qu'explorant des séquences pédagogiques, le travail du groupe est donc orienté sur des objets langagiers et non didactiques.

Le regard ici porte sur l'une des situations les plus emblématiques de la classe de mathématiques, le passage au tableau devant la classe. Il s'agit d'une situation-type à la fois commune (observable de la 6e aux classes préparatoires) et particulièrement significative concernant la mobilisation des modalités sémiotiques (alliant le support écrit à l'argumentation orale). La relation interpersonnelle typiquement dyadique (1 enseignant·e face à 1 élève) limite en outre les variables à contrôler pour l'analyse. En somme, le passage au tableau permet de thématiser les problèmes majeurs du processus caractéristique de l'enseignement scolaire des mathématiques (en France) : il donne à voir en effet la réflexion mathématique dans un processus de co-construction, caractérisé par une répartition des rôles particulière au sein de la dyade enseignant·e-élève qui se trouve au centre, et avec l'ensemble des participant·e·s qui composent la classe. L’autonomie relative de l’élève dans la construction du sens et l’intervention de l’enseignant·e en vue d’une explicitation optimale des enjeux mathématiques font intervenir des enjeux communicationnels nombreux, qui déterminent l’élaboration et les ajustements progressifs réalisés dans la plurimodalité écrit-oral. Reste que cette situation-type recouvre de nombreuses activités fort diverses, comme, par exemple, la correction d’exercices, la complétion d’un bilan ou d’un exemple du cours, la présentation d’une démonstration d’un théorème, la présentation d’un exposé (sur des mathématicien·ne·s ou des notions mathématiques par exemple).

Nous étudierons, à titre exemplaire, une séquence de passage au tableau en classe préparatoire qui porte sur les probabilités. Nous expliciterons tout d’abord le contexte didactique (les objectifs méthodologiques et transversaux visés, les stratégies et les gestes professionnels investis) puis les attendus précis (contenus liés au programme, méthode, exigences) relatifs à l’interaction observée. Ce cadrage didactique de la situation d’enseignement/apprentissage sera mis en perspective par une analyse interactionnelle, qui permettra de montrer comment les objectifs et attendus pointés peuvent s’actualiser pendant la séance de cours – dans une intersubjectivité complexe entre élèves et enseignant·e. Nous conclurons en proposant quelques perspectives méthodologiques quant à l’observation de l’oral.

2. Au tableau !

Le travail en direct au tableau donne à voir la compréhension de l'élève au travers de l'explicitation de son raisonnement dans l'interaction de classe. Du point de vue enseignant, l'accompagnement de la performance d'élève dans une telle situation s'effectue au regard des attendus dans le contexte de l'exercice traité. Aussi, l'observation de telles séquences permet d'éclairer les ressources communicationnelles en termes de geste professionnel et de relation pédagogique, en ce que la production individuelle est mise au profit de la construction collective des connaissances.

En envoyant un·e élève au tableau, l'enjeu pour l'enseignant·e est d'entrainer ses compétences d'expression et d'argumentation à l'oral, tout en développant ses capacités de raisonnement, de calcul et de recherche. L'enseignant·e peut ainsi apprécier la disponibilité des connaissances attendues et l'organisation de celles-ci par rapport aux anciennes puis amener l'élève à des adaptations par ses questions posées « en direct ». L'enseignant·e vise à développer chez les élèves les compétences méthodologiques tout d'abord, en obligeant l'élève à expliciter sa démarche : dans l'extrait étudié par la suite, l'élève Mathias arrive au tableau, livré à lui-même sans l'intervention de l'enseignante, et doit prendre la responsabilité de gérer l'ensemble de son discours, en donnant à voir son raisonnement et en structurant les éléments jugés pertinents de façon séquentielle.

Le passage au tableau permet alors de travailler les choix linguistiques de l'élève, qui doit employer un langage clair et un vocabulaire précis. L'enseignant·e gère l'oral et l'écrit de l'élève et cherche à faire progresser l'ensemble des élèves de la classe. On peut noter cependant que la nomenclature n'est pas toujours efficiente auprès des élèves, qui peuvent développer des solutions lexicales et stratégiques parfois inattendues (qui plus est, entre eux) qui présentent un intérêt certain à analyser mais qui ne feront pas l'objet de la réflexion proposée ici.

Dans l'échange qui suit l'exposé de Mathias, l'enseignante stimule la capacité de l'élève à s'engager maximalement dans l'activité, en mobilisant l'ensemble de ses compétences, y compris des savoirs et savoir-faire qui dépassent les mathématiques au sens strict : Mathias doit être à l'écoute des recommandations de l'enseignante puis les appliquer au mieux. L'enseignante commente « on le fait à l'oral » pour lui notifier qu'un oubli – qui serait rédhibitoire à l'écrit – peut être rattrapé dans une démonstration orale. L'enseignante cherche également à débusquer la présence d'incompréhensions ou d'éventuels manques dans le raisonnement.

Enfin, l'enseignant·e sollicite des capacités d'adaptation, voire d'anticipation, de l'élève qui doit exposer son raisonnement en temps réel : pour comprendre une question ou une remarque (adressées par l'enseignante ou la classe), Mathias doit construire du sens à travers la variabilité lexicale du langage courant et les différentes interprétations possibles. Lorsque l'enseignante lui demande « qu'est-ce que tu as utilisé ici ? », cette question fait référence au processus lié à un concept donné, et non à un mot employé. L'échange en direct fait comprendre la nécessité d'anticipation, en particulier, par la mobilisation de connaissances acquises (développées dans une autre temporalité), manifestes dans des réponses automatisées. Mathias par exemple néglige le fait qu'il faut référer à un système complet d'évènements, qu'il s'agisse pour lui d'une évidence ou qu'il en ignore l'importance profonde. L'enseignante juge bon de rendre explicite cette donnée capitale pour la complétude du raisonnement.

La situation avec un·e élève au tableau constitue un challenge pour l'enseignant·e qui n'est pas sans représenter des risques. En effet, l'enseignant·e accompagne l'élève dans sa démarche en posant des questions pour que le raisonnement tenu par l'élève soit à la fois correct et, dans un même temps, conforme aux exigences du programme et aux objectifs fixés, notamment avec le niveau de rigueur formelle attendu, en référence à la norme institutionnelle, au sens de l'institutionnalisation du savoir (Laparra et Margolinas 2008). Valider ou invalider la démarche de l'élève ne va pas de soi lorsque celle-ci est inattendue et/ou lorsque sa communication ne permet pas d'accéder à son raisonnement. Pour ménager la face de l'élève (Goffman 1973) et soutenir sa motivation, l'enseignant·e doit corriger la prestation de l'élève sans le décourager.

Pour l'élève, l'intervention au tableau permet de montrer au professeur son investissement et de valoriser son travail. Outre la validation ou la correction de ses erreurs, le *feedback* lui apporte des conseils individualisés, comme, dans le cas de Mathias, le rappel qu'il faut vérifier les hypothèses avant d'utiliser un théorème. À terme, on peut supposer ou souhaiter que les expériences au tableau, dès lors qu'elles valorisent son travail, développent chez l'élève la confiance en soi.

Pendant que se crée une relation privilégiée entre l'élève au tableau et l'enseignant·e, ce·tte derni·er·ère doit continuer d'accompagner l'ensemble des élèves de la classe dans leurs apprentissages. En conséquence, il ou elle doit convaincre la classe de s'impliquer dans la démarche exposée, quelle que soit la qualité de la prestation orale. Pour motiver les élèves à s'engager, l'enseignant·e peut adresser des sollicitations destinées à développer leur esprit critique et leur capacité à s'adapter en prenant part à l'interaction avec l'élève au tableau en offrant à leur tour des *feedbacks* (poser des questions, aider le·la camarade, confronter différentes démarches).

En assumant la responsabilité du déroulement de la séance de classe, l'enseignant·e doit faire preuve de réactivité face à l'intervention de l'élève et aux réactions des élèves, auxquelles il lui faudra s'adapter, et ce dans le cadre imparti, cadre temporel notamment. Il arrive que l'exposition au tableau conduise à des réactions instantanées auxquelles il faut réagir en temps réel. Dans notre extrait, Émile lève la main alors que Mathias vient seulement d'engager son travail de démonstration. Différents choix s'offrent alors à l'enseignante : donner la parole à Émile ou reporter l'intervention ; et, dès lors qu'il s'agit d'une question et que celle-ci est posée, répondre directement ou rediriger la question, la rediriger à la classe ou à l'élève au tableau.

Dans la description ainsi proposée des enjeux du passage au tableau, on décèle l'entremêlement des enjeux de communication (normée au sein de la discipline) et des enjeux de mise en lumière des connaissances acquises ou en cours de construction.

3. Le contexte didactique : la séance et l'activité

Pour saisir la situation d'interaction, il est nécessaire d'expliciter le cadre spatio-temporel et participatif. La finalité interactionnelle des séquences est largement contrôlée par l'enseignant·e, qui agit en fonction des connaissances qu'il pense mobilisables par l'élève. La réflexion présentée vise à mettre en exergue les mécanismes langagiers à l'œuvre dans ce processus de co-construction ; elle n'offre pas une analyse didactique mais une documentation de l'émergence du sens dans une interaction, très asymétrique, de guidance dans la réalisation des attendus. Pour un cadrage didactique de ces considérations, les lecteur·rice·s pourront se reporter à Robert (1998).

3.1 Description de la séance et de l'exercice traité

L'extrait analysé dans la suite a été enregistré en deuxième année de classe préparatoire physique et technologie à Orléans en octobre 2021. La séance est consacrée aux restitutions du travail des élèves, effectué à la maison, en demi-groupe. La séance s'inscrit dans le chapitre « probabilités sur un univers fini et variables aléatoires finies » qui consiste en des révisions de l'année précédente. Les étudiants qui passent au tableau sont volontaires et ont préparé les questions à corriger. Elles comportent chacune plusieurs items et visent à faire travailler deux notions, déjà connues : l'indépendance de deux évènements (question 3) et la formule des probabilités totales (question 5). Le principe d'équiprobabilité émergera également de certaines des situations. Dans la question 5, le premier item demande de rappeler l'énoncé du cours (« citer la formule des probabilités totales »). Les quatre items suivants présentent une situation d'expérience aléatoire et posent la question « quelle est la probabilité de… ? ». Ils ont pour but d'amener les élèves à mobiliser les notions revues en cours, en particulier la formule des probabilités totales demandée au premier item.

L'énoncé des trois premiers items de la question 5 est le suivant :

1. Citer la formule des probabilités totales.
2. On dispose de deux pièces truquées A et B : la probabilité que A tombe sur Face est $1/4$ et celle que B tombe sur Face est $3/4$. On choisit une des deux pièces au hasard et on la jette deux fois. On note F_i l'évènement « obtenir Face au lancer i ». Calculer la probabilité de F_1. Calculer la probabilité de F_2.
3. On dispose de deux urnes U et V : U contient 6 jetons rouges et 4 jetons bleus, V contient 3 jetons rouges et 7 jetons bleus. On lance un dé équilibré pour savoir dans quelle urne on pioche : si le dé donne 1 ou 6, on pioche un jeton dans U, sinon on pioche un jeton dans V. Quelle est la probabilité d'obtenir un jeton rouge ?

Un élève traite les items 1 et 2, sans remarque particulière de l'enseignante : sa prestation semble remplir les attendus. En particulier, il définit bien son système complet d'évènements pour écrire la formule des probabilités totales et conclut rapidement. Un deuxième élève, Mathias, se porte volontaire pour traiter l'item 3 de la question 5, c'est la séquence que nous avons analysée. Pour traiter l'exercice, dans la continuité des deux premiers items, il est attendu de l'élève qu'il applique la formule des probabilités totales. Pour cela il doit nommer les évènements, définir un système complet d'évènements, écrire la formule. Il doit ensuite s'appuyer sur l'énoncé et mobiliser le principe d'équiprobabilité pour donner la valeur des probabilités intervenant dans la formule et finir de calculer la probabilité demandée. Cet exercice peut être abordé au lycée dès la classe de 1re générale ou de terminale technologique avec un niveau de rigueur et de technicité presque équivalent à celui des élèves des classes préparatoires, car tout comme eux·elles, il·elle·s connaissent déjà les notions d'équiprobabilité, de système complet d'évènements (ou partition de l'univers) et la formule des probabilités totales. La différence réside essentiellement dans le fait que les lycéen·ne·s pourraient encore avoir besoin d'utiliser un arbre de probabilités comme support de raisonnement et que l'exercice serait davantage guidé. On inviterait dans la plupart des cas les élèves à compléter l'arbre de probabilités, puis à calculer, par exemple, la probabilité de l'évènement « tirer dans l'urne U et obtenir un jeton rouge » et, enfin, à déterminer la probabilité de tirer un jeton rouge. Notons que l'usage de l'arbre de probabilités n'équivaut pas forcément à la compréhension fine des connaissances sous-jacentes. C'est le cœur du questionnement développé dans la section 4.

La notion d'équiprobabilité est rencontrée dès le cycle 4 par les élèves, et confortée en 2e comme un modèle pour le calcul des probabilités. Celle de probabilité conditionnelle, indispensable dans le cadre de l'exercice, est construite à partir du cycle terminal. Cet exercice portant sur l'équiprobabilité avec deux urnes et des boules de couleurs différentes a été mené par les membres du groupe dans plusieurs classes de différents niveaux mais avec des urnes ayant le même nombre de jetons – ce qui permet de modéliser avec un tableau, support mieux connu des élèves de cycle 4.

3.2 Résolution et analyse des attendus

Le projet de l’enseignante est de faire travailler l’utilisation d’un théorème du cours et de montrer comment il est mobilisé dans différents contextes. Afin de pouvoir analyser les décalages entre la production de l’élève et les attendus de l’enseignante, nous proposons dans la table 3.1 une résolution possible de l’exercice en explicitant en parallèle les attendus sous-jacents (qui pourront être mis en exergue par l’enseignante au cours de l’interaction ou pas).

Il s’agit d’utiliser un théorème du cours : vérifier que les hypothèses sont bien valides dans la situation présente puis écrire la conclusion obtenue. Ainsi l’exercice consiste en une question fermée qui vise à mettre en fonctionnement la formule des probabilités totales, connaissance supposée acquise pour les étudiant·e·s de ce niveau. Cette application n’est cependant pas simple, car il faut, pour vérifier la validité des hypothèses, reconnaitre un système complet d’évènements. Elle n’est pas non plus isolée car d’autres connaissances sont nécessaires pour son application comme les probabilités conditionnelles et l’équiprobabilité. Une fois la formule des probabilités totales écrite, il faut remplacer chacun de ses éléments par sa valeur numérique, il s’agit pour cela de traduire les données de l’énoncé : cela correspond à une conversion du registre langagier vers le registre du calcul symbolique. L’obtention de ces valeurs mobilise dans notre exercice le principe d’équiprobabilité : chaque résultat possible de l’expérience a la même probabilité d’être obtenu. Un attendu supplémentaire, pour l’enseignante dans le niveau observé, est d’expliciter l’utilisation de ce modèle (nos 3 et 5 dans la table), pour en pointer la pertinence dans la situation traitée. L’objectif poursuivi par l’enseignante est donc de mettre à jour le passage de l’énoncé (une situation) à l’utilisation d’un théorème du cours (formulé dans un langage mathématique) ainsi que les modèles mathématiques utilisés. Et ainsi de faire expliciter l’utilisation du cours dans la résolution de l’exercice. À plus long terme, cela vise à travailler sur le processus de contextualisation-décontextualisation pour faire le lien entre les exercices résolus et les énoncés de cours, et rendre disponibles ces derniers dans une variété de situations. L’étape suivante sera en effet de mobiliser ce même énoncé dans des contextes plus compliqués (probabilités dans des univers dénombrables, donc avec un nombre infini de cas possibles) dans lesquels les outils de représentation (arbre, tableau) ne sont plus pertinents.

Ces enjeux de la situation didactique et les attendus dans la résolution de l’exercice orientent l’interaction quant aux contenus, mais aussi dans le déroulement.

Résolution découpée (possible)	N°	Attendus
On note U l'évènement « On tire un jeton dans l'urne U », V l'évènement « On tire un jeton dans l'urne V », R l'évènement « On tire un jeton rouge ».	0	Nommer les évènements (et dans une situation plus générale, introduire des notations utilisées par le·la correcteur·rice).
L'énoncé permet de dire que U et V sont des évènements contraires (« on pioche soit dans U, soit dans V ») ; on peut en déduire que (U, V) forme un système complet d'évènements.	1	Vérifier la validité des hypothèses d'un théorème en vue de son application : – justification de l'affirmation ; – explicitation du système complet.
On peut ainsi appliquer la formule des probabilités totales avec ce système : $P(R) = P(R \cap U) + P(R \cap V) = P_U(R) \times P(U) + P_V(R) \times P(V)$.	2	Utilisation du théorème : énoncé de la conclusion (ici une égalité, « la formule »).
Il y a deux résultats du dé (sur 6 possibles) qui conduisent à tirer dans U ; **par le principe d'équiprobabilité (des résultats du dé)**, on a donc $P(U) = 2/6 = 1/3$.	3	Utilisation intuitive de l'équiprobabilité : « nombre de résultats favorables sur nombre de résultats possibles ». **Explicitation de l'utilisation du principe d'équiprobabilité**.
On calcule alors la probabilité de V, **évènement contraire de** U : $P(V) = 1 - 2/6 = 4/6 = 2/3$.	4	Calcul de la probabilité d'un évènement contraire. **Explicitation des évènements contraires**.
L'urne U contient 10 jetons indiscernables au toucher, dont 6 jetons rouges. **À nouveau par équiprobabilité du choix des jetons**, on obtient la probabilité d'obtenir un jeton rouge sachant qu'on a tiré dans l'urne U : $P_U(R) = 6/10 = 3/5$. De la même manière, on trouve $P_V(R) = 3/10$.	5	Utilisation intuitive de l'équiprobabilité : « nombre de jetons rouges sur nombre de jetons total dans l'urne ». **Explicitation de l'utilisation du principe d'équiprobabilité**.
En revenant à la formule des probabilités totales, on en déduit $P(R) = 3/5 \times 1/3 + 3/10 \times 2/3 = 2/5$.	6	Retour au calcul : remplacement des valeurs dans la formule.
La probabilité de tirer un jeton rouge est donc égale à 2/5.	7	Phrase de conclusion.

TABLE 3.1 – *Résolution possible de l'exercice en explicitant en parallèle les attendus sous-jacents.*

4. Analyse linguistique et interactionnelle

Par une observation du fonctionnement en contexte des ressources linguistiques de l'action, l'analyse interactionnelle se propose d'éclairer la portée des comportements experts (ou en devenir de l'être) du point de vue sémantique, discursif et actionnel. Cette microanalyse vise à éclairer l'évènement communicatif selon la formule consacrée « *why that now ?* » (Sacks, Schegloff et Jefferson 1974), en mettant en exergue comment les enchainements séquentiels sous forme de réponses aux questions, de répétitions, de reformulations, etc. qui émergent au fil de l'interaction, contribuent à l'accomplissement interactionnel.

Le passage au tableau de Mathias dure près de 6 minutes et se répartit en trois phases :

1. installation au tableau (durée 1 min 27 s ; soit entre 21 min 51 s et 23 min 18 s de la séance) ;
2. exposition du travail (1 min 46 s ; 23 min 18 s-25 min 04 s) ;
3. évaluation et correction (2 min 46 s ; 25 min 04 s-27 min 50 s).

La durée d'installation au tableau, dont la longueur est perceptible à la lecture, se déroule sans beaucoup de paroles ; nous ne pourrons commenter ici l'intérêt indéniable que représente cette séquence pour le rythme didactique et interactionnel et nous focaliserons sur les deux phases suivantes qui sont caractérisées par des postures interactionnelles différentes. Dans un premier temps, Mathias assume l'exposition de son travail de façon autonome ; en s'appuyant sur ses notes (qu'il tient dans la main gauche), il formule les étapes successives de sa réflexion en les écrivant, en synchrone, au tableau. Plus précisément, il commence par écrire au tableau la formule (attendu 2) et le calcul qui en découle (attendus 3 et 6), puis s'emploie à la justifier oralement, en apportant quelques détails écrits finaux. Incomplètes et présentées dans un ordre non conventionnel, les étapes de l'argumentation ne sont pas totalement conformes aux attendus.

Puis, en donnant la parole à un élève de la classe, l'enseignante amorce la transition vers l'étape suivante. Il est difficile de savoir si la question alors posée, à savoir, s'il faut poser le système complet d'évènements (SCE) avant tout, constitue une demande d'information ou une critique du fait que Mathias ne l'a pas fait. Au lieu de répondre, l'enseignante ré-adresse la question à Mathias. En découle un échange qui évalue le travail de Mathias, en cherchant à expliciter les éléments manquants, notamment, concernant les attendus 0 et 1 (cadrage de départ : variables et SCE), puis l'attendu 5, concernant le raisonnement sur la base de l'équiprobabilité, particulièrement long à être explicité. Au bout de près de 2 min 30 s d'échange enfin, l'enseignante enjoint à Mathias d'achever son écriture en notant le résultat final. Pendant cette phase, c'est l'enseignante qui imprime le rythme de la progression thématique.

En lien avec les attendus, Mathias emploie un certain nombre de concepts et d'expressions mathématiques (« théorème des probabilités totales », « système complet d'évènements », « évènement U », « évènement V », « équiprobable ») auxquels s'ajoutent les concepts utilisés par l'enseignante (« définir les évènements » ou les « appeler de manière implicite », « utiliser la formule » et « faire le calcul », ou encore « système complet », « valeur », « équiprobabilité » et « probabilité »). Sans surprise, le maniement du langage expert est plus fluide et plus précis chez l'enseignante, et à l'issue l'enseignante aura parlé bien plus que Mathias (426 vs. 314 mots). C'est en partie la difficulté ressentie dans la progression de la démonstration chez Mathias qui nous avait conduites à nous intéresser à cette séquence. Mais à quoi exactement cette difficulté tient-elle ? Car malgré tout, Mathias parvient à poser un raisonnement cohérent et aboutit au bon résultat.

On peut noter tout d'abord que Mathias est pleinement engagé dans l'activité didactique : non seulement il s'applique à faire de belles phrases et à élaborer maximalement la structure lexicale des segments grammaticaux (par exemple : « les probabilités » autocorrigé en « le théorème des probabilités » *; «* il y a pareil » repris par « il y a 3 euh 3 jetons rouges »), il s'identifie littéralement à l'activité, dès l'ouverture : « on utilise **notre** […] théorème des probabilités totales ». Les éléments de langage soigné comme la conjonction « car », qui relèvent du style écrit, laissent penser que Mathias est vigilant à l'égard de son expression. Tout au long de l'échange, Mathias s'aligne parfaitement dans sa posture à l'enseignante, ce qui se manifeste également par des reprises en miroir des constructions focalisées dans la requête adressée par l'enseignante :

— ENS tu peux rajouter à l'oral donc oralement **l'évènement** *U*
  MAT l'**évènement** *U* c'est euh tirer dans l'urne *U* et euh
— ENS tu penses que ça tu as besoin d'un **système complet d'évènements**
  MAT non pas un **système complet d'évènements** mais que...

L'engagement dans l'activité langagière, en l'occurrence la construction de la démonstration, est entier également : les nombreuses redondances montrent la volonté de Mathias pour rendre son cheminement *explicite*. Toutes les phrases entamées sont menées jusqu'au bout, malgré les difficultés. Celles-ci sont manifestes dans les nombreuses disfluences, sous forme de troncations et de reprises de constructions, de pauses voisées (« euh ») et dans la relative pauvreté des constructions verbales choisies, constituant, pour la plupart, des routines hyper fréquentes du langage courant :

- **on a** 6 sur 10, **on a** 6 jetons, **on a** deux possibilités, **on a** deux numéros
- **c'est** 2 sur 6, **c'est**... (tronqué),**c'est** dans le texte, l'évènement U **c'est** tirer dans l'urne U, **c'est** un système complet d'évènements
- **on est à** 3 sur 10, **on est à** 1 moins 2 sur 6
- **il y a** pareil, **il y a** 3 jetons rouges, il est écrit qu'**il y a** 6 jetons rouges, **il y a** uniquement des jetons rouges

Les formats les moins préconstruits sont les suivants :

- on va tirer dans l'urne U, on peut que tirer dans l'urne U
- U et V sont un système complet d'évènements
- je les ai appelées (en écho avec la construction de l'enseignante)
- du fait que ce soit euh équiprobable on pioche au hasard

Les routines mathématiques sont articulées avec fluidité, quitte à conduire à l'erreur (auto-corrigée), comme dans « P de R sachant U **euh sachant** V **sachant** V ».

Une difficulté majeure de l'explicitation orale des attendus (cf. section 3.2) est leur ordonnancement même dans le processus. Par quatre fois, l'argumentation logique s'appuie sur la locution *du/le fait que*, dont le style contraste avec des conjonctions comme *car;* toutefois, les deux connecteurs logiques induisent le même ordonnancement des arguments, inverse à l'ordre logique mathématique, qui consiste à poser les données/variables avant de prédiquer (« P donc Q »). La dynamique argumentative du langage ordinaire procède plus couramment par justification à postériori (« Q du fait que P »), congruente avec la posture fréquemment observée chez les élèves consistant à dire « j'écris et j'explique après ».

En réalité, plus que de chercher à produire un discours cohérent, Mathias *agit.* Ainsi, dans la transition entre deux étapes du calcul, il se laisse aller à désigner comme « le reste », ce qui peut être interprété comme étant, à la fois, le référent mathématique de l'attendu 4 (l'évènement contraire) et la partie manquante de son argumentation (les barres obliques marquent des pauses mineures) :

- et euh P de V on est à / du coup **le reste** enfin / **1 moins 2 sur 6** / du fait que / on peut que tirer dans l'urne euh U ou V

Si l'action montre que Mathias a compris l'exercice et que pour lui, « faire des maths » signifie bien qu'il faut expliciter sa démarche, le sens profond de ces explicitations semble rester obscur pour lui.

On peut noter que la césure entre les phases 2 et 3, qui se situe juste après cette étape du développement, est apportée par l'intervention de l'élève tiers. L'objectif du passage au tableau d'un élève et l'exposition du travail individuel étant bien d'adresser un *feedback* à l'ensemble de la classe, l'enseignante ne peut l'ignorer. Ces moments sont utilisés, précisément, pour motiver le groupe en l'impliquant activement. Une telle intervention est donc la bienvenue – en principe… Car en pratique, la teneur des propos n'est pas prévisible. De façon plus ou moins marquée, l'intervention, si elle n'est pas ignorée, dévie l'enseignante de la trajectoire projetée et l'oblige à recalculer un nouveau projet de trajectoire en fonction de la nouvelle donne (dont le temps restant…). Dans le cas présent, l'enseignante exploite la sollicitation comme exercice supplémentaire pour Mathias. Or, si cette situation est, théoriquement, une opportunité supplémentaire pour lui de valoriser ses connaissances et de combler un oubli, la situation interactionnelle exerce sur lui surtout une pression supplémentaire (en plus de celle d'être exposé devant la classe) du fait qu'il est lui aussi obligé de s'adapter à cette nouvelle donne, obligé de réagir à la question au lieu de continuer sa propre trajectoire argumentative.

Dès lors, la démarche d'explicitation n'est plus de l'ordre de l'exposition d'une trajectoire argumentative mais de l'ordre de la justification de chacune des étapes (accomplies), à la demande de l'enseignante et au rythme qu'elle imprime. Alors que Mathias avait commencé, serein, son exposition en annonçant qu'il allait « *utiliser le théorème des probabilités totales* », il finit par lancer dans l'échange des entités de plus en plus incongrues (« tirer rouge et bleu »). En effet, il n'accède pas au sens du questionnement insistant de l'enseignante « Qu'est-ce que tu utilises ici », expression qui, reconduite par trois fois, accentue la confusion de Mathias, qui pense avoir tout dit, dont, ce qu'il *utilisait*, dès l'introduction : « on utilise notre théorème des probabilités totales »…

5. Conclusion

L'observation précise du déroulement de l'interaction permet tout d'abord d'apprécier à sa juste valeur la performance mathématique de l'élève. À la première lecture (vidéo) de la séquence, l'impression de notre groupe de travail était celle d'un élève en difficulté. Or, il parvient en réalité à faire état des étapes de son raisonnement et aboutit au bon résultat. La relative insatisfaction des observateur·rice·s s'explique par le caractère (trop) allusif des explicitations de l'élève et par l'échange final, contrôlé par l'enseignante, qui finit par mettre réellement l'élève en difficulté.

Ensuite, l'observation précise permet de prendre la mesure des fonctionnements et de dégager des ressources d'action nouvelles dans une temporalité médiane. En effet, le différentiel entre les connaissances (théoriques et pratiques) de l'élève et sa production de discours est patente. La compréhension fine de ce qu'est un discours jugé adapté dépasse alors la seule question du langage de spécialité, elle devient un enjeu didactique *per se*. En conséquence, on peut envisager d'aider les enseignant·e·s à développer leurs compétences métalinguistiques pour stimuler leur réflexivité.

Enfin, qu'est-ce que « faire » des maths ? La réflexion sur les enjeux d'une activité conduit à questionner l'ensemble des actes effectués – et nommés. La reprise du raisonnement par l'enseignante dans la troisième partie parait légitime, face au caractère incomplet du parcours explicatif donné à voir par l'élève. Mais la guidance dans cet échange reste longtemps inefficace : l'élève, persuadé d'avoir déjà tout dit, ne parvient pas à nommer l'équiprobabilité comme étant la propriété illustrée dans le problème. Autrement dit, il y a une perte de temps considérable jusqu'à arriver à l'objectif attendu. L'observation permet ici de prendre la mesure de la qualité de l'interaction entre enseignante et élève : la méprise, dans cet échange en boucle, réside en grande partie dans le sens en contexte du mot « utiliser ». Prise dans l'action, l'enseignante ne questionne pas le terme et, à fortiori, ne pense pas à le préciser. Le malentendu provient également de la combinaison de plusieurs objectifs : travailler la compréhension des concepts et respecter les normes de communication de la discipline. L'analyse, présentée ici, d'une courte séquence permet de donner à voir un point de blocage dans la complexité des interactions. Elle est ainsi un point d'entrée pour donner à l'enseignant·e des pistes de réflexion sur ses modalités d'interaction dans le quotidien de sa pratique.

Bibliographie

ALIBALI, Martha W., Mitchell J. NATHAN, R. Breckinridge CHURCH, Matthew S. WOLFGRAM, Suyeon KIM et Eric J. KNUTH (2013). « Teachers' gestures and speech in mathematics lessons : forging common ground by resolving trouble spots ». In : *ZDM – Mathematics Education* 45, p. 425-440. DOI : 10.1007/s11858-012-0476-0 (cf. p. 58).

DUVAL, Raymond (1993). « Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée ». In : *Annales de didactique et de sciences cognitives* 5, p. 37-65. URL : http://centre-alain-savary.ens-lyon.fr/CAS/documents/documents-smd/registres-de-representation-semiotique-et-fonctionnement-cognitif-de-la-pensee-raymond-duval/view (cf. p. 58).

FILLIETAZ, Laurent et Marianne ZOGMAL, éd. (2020). *Mobiliser et développer des compétences interactionnelles en situation de travail éducatif.* Formation. Toulouse : Octarès, 2020 (cf. p. 57).

GOFFMAN, Erving (1973). *La mise en scène de la vie quotidienne : 1, La présentation de soi.* Trad. de l'anglais par Alain ACCARDO. Paris : Éditions de Minuit, 1973 (cf. p. 61).

HACHE, Christophe (2019). « Questions langagières dans l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques ». Habilitation à diriger des recherches. Université Paris Diderot, 2019. URL : http://hal.science/tel-02420979 (cf. p. 57).

JAUBERT, Martine et Maryse REBIÈRE (2021). « Un modèle pour interpréter le travail du langage au sein des "communautés discursives disciplinaires scolaires" ». In : *Pratiques : littérature, linguistique, didactique* 189-190, 18 pages. DOI : 10.4000/pratiques.9680 (cf. p. 57).

LAPARRA, Marceline et Claire MARGOLINAS (2008). « Quand la dévolution prend le pas sur l'institutionnalisation : des effets de la transparence des objets de savoir ». In : Les didactiques et leur rapport à l'enseignement et à la formation (Bordeaux, 18-20 septembre 2008). URL : http://hal.science/hal-00779656 (cf. p. 57, 61).

PLOOG, Katja (2019). « Le rôle du discours métalinguistique dans l'appropriation des savoirs en interaction ». In : *Linguistique interactionnelle, grammaire de l'oral et didactique du français.* Sous la dir. d'Anne-Sophie CALINON, Badreddine HAMMA, Katja PLOOG et Marie SKROVEC. Annales littéraires de l'Université de Franche-Comté, série Recherches en linguistique 32. Besançon : Presses universitaires de Franche-Comté, 2019. DOI : 10.4000/books.pufc.37997 (cf. p. 58).

PLOOG, Katja et Sabine BOUVERET (2019). « Apprendre avec l'oral et à l'oral ». In : *Au fil des maths* 531. URL : http://afdm.apmep.fr/rubriques/opinions/apprendre-avec-loral-et-a-loral (cf. p. 58).

Repères-IREM 132 (2023) : *L'oral en mathématiques.* URL : https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/revues/reperes-irem/consultation-en-ligne/numero-132-reperes-irem (cf. p. 57).

ROBERT, Aline (1998). « Outils d'analyse des contenus mathématiques à enseigner au lycée et à l'université ». In : *Recherches en didactique des mathématiques* 18.2, p. 139-190. URL : http://revue-rdm.com/1998/outils-d-analyse-des-contenus (cf. p. 57, 63).

ROBERT, Aline et Fabrice VANDEBROUCK (2023). « Proximités discursives entre le discours de l'enseignant et les activités des élèves pendant les cours : l'exemple de l'introduction de la définition formalisée du sens de variation des fonctions ». In : *Revue québécoise de didactique des mathématiques* 1.2 : *Étude et modélisation didactiques de différentes facettes de l'activité mathématique de la personne apprenante,*

p. 106-143. URL : http://rqdm.recherche.usherbrooke.ca/ojs/ojs-3.1.1-4/index.php/rqdm/article/view/64 (cf. p. 57).

Sacks, Harvey, Emanuel A. Schegloff et Gail Jefferson (1974). « A simplest systematics for the organization of turn-taking for conversation ». In : *Language* 50.4, p. 696-735. DOI : 10.2307/412243 (cf. p. 67).

Schneeberger, Patricia (2008). « Travail langagier et construction de savoirs en sciences ». In : *Les dossiers des sciences de l'éducation* 20.1 : *Analyse de situations didactiques : perspectives comparatistes*, p. 89-104. DOI : 10.3406/dsedu.2008.1144 (cf. p. 57).

Traverso, Véronique (2016). *Décrire le français parlé en interaction.* L'essentiel français. Paris : Ophrys, 2016 (cf. p. 58).

Vinel, Élise et Élisabeth Bautier (2020). « Des échanges langagiers dans la classe pour construire des usages cognitifs du langage et réduire les inégalités scolaires ». In : *Revue suisse des sciences de l'éducation* 42.3, p. 557-568. DOI : 10.24452/sjer.42.3.3 (cf. p. 57).

Liste des tableaux

Cette revue est à la fois le bulletin de liaison de l'IREM de Besançon et une revue scientifique à destination d'un public national et international intéressé par la recherche sur l'enseignement des mathématiques : elle assume à la fois un enracinement local autour de Besançon, de l'enseignement primaire à l'université, et un public francophone international.

Elle a vocation à publier

- les productions de l'IREM de Besançon et des autres IREM ;
- les actes de colloques des IREM ;
- les articles d'enseignants et chercheurs du Département de mathématiques de Besançon et d'autres lieux de recherche et d'enseignement des mathématiques.

Elle promeut l'interdisciplinarité et invite le regard des sciences de l'éducation, de l'histoire, de la sociologie, de l'anthropologie, de la philosophie, de la physique, de la biologie pour maintenir les mathématiques vivantes.

La variété du public visé engage la revue à être particulièrement ambitieuse quant à l'accessibilité des textes publiés tout en maintenant leur qualité scientifique.

Soumettez vos articles à mathematiquesvivantes@univ-fcomte.fr !

Presses universitaires de Franche-Comté
Université de Franche-Comté
47 rue Mégevand – 25030 BESANCON CEDEX – France

Impression : *Messages SAS* – 111 rue Vauquelin – 31100 TOULOUSE

Dépôt légal : 4e trimestre 2024

Institut de **R**echerche sur l'**E**nseignement des **M**athématiques
de l'Université de Franche-Comté
Département de Mathématiques - UFR Sciences et Techniques
16 route de Gray - 25030 BESANCON CEDEX - France
Tél. : 03 81 66 62 25 - Courriel : iremfc@univ-fcomte.fr
Site : http://www-irem.univ-fcomte.fr/

SOMMAIRE

Presses universitaires de Franche-Comté
https://presses-ufc.univ-fcomte.fr

Université de Franche-Comté

ISSN 1141-913x
Prix : 5 euros