UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1 - INSTITUT NATIONAL SUPÉRIEUR DU PROFESSORAT ET DE L'ÉDUCATION, ACADÉMIE DE LYON

SERIOUS GAMES MATHEMATIQUES : PERSPECTIVES PEDAGOGIQUES POUR LA RESOLUTION DE PROBLEMES

Mémoire présenté pour l'obtention du Master MEEF (Métiers de l'Enseignement, de l'Éducation et de la Formation)

Mention : 1er degré
Parcours : Professorat des écoles

Présenté par :
SOULET Yann

Sous la direction de :

LIGNON Fanny, maîtresse de conférence

Laboratoire THALIM UMR CNRS

Examinateurs :

DENIZOU François
LIGNON Fanny

Année 2022-2023 **N° d'étudiant :** 12105215

Sommaire

Remerciements

Je tiens à remercier Fanny Lignon pour son accompagnement dans la définition de mon sujet, ainsi que pour son dynamisme dans l'animation des séances et des entrevues.

Mes remerciements se portent également vers Cyril Busaall, mon maître de stage, qui m'a si gentiment prêté sa classe pour les besoins de l'expérience et qui me permet chaque semaine de progresser un peu plus vers le métier auquel j'aspire.

Je voudrais également témoigner ma reconnaissance envers mes camarades de classe, qui ont su me donner les bons conseils et me motiver tout au long de ce Master.

Je souhaiterais enfin remercier mes ami.es pour leur soutien et leur relecture attentive et tout particulièrement Jade Rambaud, qui m'a soutenu tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Introduction

L’une des principales volontés de l’école est de former des individu.es autonomes et adapté.es au plus grand nombre de situation. Paradoxalement, l’école semble ainsi souhaiter préparer les enfants au monde mais tout s’efforçant de les rassembler dans un même lieu semblant si coupé du monde. Les élèves vont alors intégrer de nombreux apprentissages jusqu’à la fin de leur scolarité et se demandant au final, à quoi certains ont bien pu servir. Cependant, parmi les nombreuses disciplines dispensées par l’école, il y en a une, que les élèves s’approprient rapidement comme s’ils en comprenaient tous les enjeux : les mathématiques. En effet, on peut observer les jeunes enfants très tôt s’amuser à compter sur leurs doigts, calculer, comparer à travers des situations du quotidien. Ainsi, l’enseignement des mathématiques constitue un enjeu fondamental car on ne peut y échapper, où que l’on aille, quoi que l’on fasse, nous faisons des mathématiques. C’est pourtant une discipline qui semble poser des difficultés certaines en France, comme tend à nous le rappeler le rapport PISA, qui semble faire davantage de bruit à chaque nouvelle édition.

Ainsi, on vient naturellement à se demander comment les mathématiques sont enseignées et quelles pratiques semblent incontournables en classe. La pratique qui semble la plus courante et commune aux différents domaines des mathématiques est la résolution de problèmes. En effet, cette dernière englobe de nombreuses notions mathématiques étudiées à l’école et vise à donner du sens à ces apprentissages. En effet, elle permet aux élèves de mobiliser dans un contexte, certes artificiel, des connaissances et des compétences travaillées, permettant de faire du lien entre elles et permettre de comprendre l’enjeu de ces compétences en proposant des situations du quotidien. Cependant parler de « la » résolution de problèmes serait trop réducteur, tant la forme et les enjeux de ces derniers semblent complexes. Des interrogations peuvent émerger sur ces enjeux, quelle place tient réellement la résolution de problèmes dans les programmes scolaires ? Quels types de problèmes sont travaillés ? Quels sont les obstacles auxquels se heurtent les élèves dans leur résolution ?

Afin de répondre à ces questions, et comprendre les enjeux de l’apprentissage de la résolution de problèmes, nous allons étudier la littérature scientifique et voir comment sont enseignés les problèmes et quelles alternatives existent pour les difficultés que rencontrent les élèves.

Cadre théorique

1. La résolution de problème

1.1 Eléments de définition

La résolution de problèmes a connu une certaine évolution dans le temps dans sa conception due à la difficulté de définir et délimiter son champ d'action (Funke, 1995). Cependant les auteurs de la psychologie cognitive ont pu proposer une définition générale en la décrivant comme une succession d'opérations cognitives et de réponses adaptatives à des contraintes dans un but donné (Heppner & Krauskopf, 1987). En effet, Ainsi, dans un contexte pédagogique, les problèmes mathématiques se doivent de contenir une intention didactique et des contraintes afin de pousser à mobiliser des notions mathématiques (numération, calculs opératoires, raisonnement logique) (Houdement, 2003). Leur présence dans les manuels scolaires est aujourd'hui très répandue et témoigne de leur importance dans le champ de l'apprentissage des mathématiques à l'école.

1.2 La résolution de problèmes à l'école

1.2.1 Dans les programmes

Lorsque l'on étudie l'apprentissage des mathématiques dans le cadre scolaire à travers les programmes officiels, on constate que les apprentissages des élèves sont progressifs. En effet, l'organisation de la scolarité en cycles facilite la compréhension des objectifs fixés et on peut observer une certaine continuité et une progressivité des apprentissages (Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse, 2022). Si l'on trouve néanmoins différentes compétences et notions nouvelles à chaque cycle, il apparaît cependant que les problèmes tiennent une place prépondérante dans l'enseignement des mathématiques. On constate en effet, que les problèmes sont présents dans tous les cycles de l'école primaire.

Ainsi, dans les programmes du cycle 1, une entrée du domaine “Acquérir les premiers outils mathématiques” est consacrée aux problèmes (Ministère de l’éducation nationale et de la jeunesse, 2022). En effet, la confrontation à des situations problèmes où la solution n’est pas accessible directement doit se faire très fréquemment et donner de l’intérêt aux nombres chez l’élève. Ce dernier doit mobiliser ses connaissances numériques en construction afin de résoudre le problème et avec un matériel varié.

Concernant le cycle 2, les problèmes sont abordés comme un moyen de questionner ses connaissances et l’occasion de chercher de nouvelles solutions (Ministère de l’éducation nationale et de la jeunesse, 2020). Ainsi, ils permettent à la fois de consolider des notions mais également d’en découvrir d’autres. L'enseignement des quatre opérations se fait à travers les problèmes et leur résolution constitue un des attendus de fin de cycle. Les situations problèmes doivent être variées et mobilisent des représentations avec du matériel et peu à peu vers l’oral et l’écrit.

Enfin, le cycle 3 est dans la continuité des cycles précédents dans la mesure où les problèmes sont abordés comme un moyen de donner du sens aux outils mathématiques par leur modélisation pour résoudre une situation (Ministère de l’éducation nationale et de la jeunesse, 2020). La maîtrise des calculs est consolidée avec des nombres entiers plus grands ainsi que les nombres décimaux.

Ainsi, la présence des problèmes dans tous les cycles du primaire témoigne de leur importance dans l’apprentissage des mathématiques. Les programmes leur donnent une fonction essentielle puisque contrairement aux exercices d’application, les problèmes permettent une réflexion et une confrontation des connaissances de l’élève afin de donner du sens aux notions travaillées. De plus, ces derniers prennent des formes variées (situation de la vie courante, situation mathématique) et concerne des champs mathématiques différents, permettant de faire du lien entre les différents apprentissages. On peut donc proposer aux élèves des problèmes de réinvestissement des notions mais également des problèmes de recherche où les élèves doivent trouver des stratégies de résolution inédites. Les programmes font essentiellement mention de problèmes en lien avec des notions mathématiques, permettant la construction et la compréhension du nombre. De telles problèmes sont appelés problèmes arithmétiques.

1.2.2 Classification des problèmes arithmétiques

Comme spécifié dans les programmes, les problèmes peuvent tendre à faire découvrir une nouvelle notion mais également à consolider la compréhension et l'utilisation d'autres. Ainsi, on peut distinguer différents types de problèmes utilisés dans le cadre de l'enseignement (Houdement, 2017) : les problèmes basiques qui n'ont besoin que d'une simple opération bien identifiable pour être résolus comme par exemple « Sarah avait 5 crayons mais en a perdu 2, combien lui en reste-t-il ? ». En outre, on peut également trouver des problèmes complexes, qui réunissent plusieurs problèmes basiques sous une seule et même consigne. La résolution nécessite alors d'effectuer plusieurs opérations afin de répondre à la question posée. L'autrice souligne que l'exercice, la mémorisation et la compréhension des problèmes basiques sont essentiels afin qu'ils soient résolus immédiatement par l'élève et facilite la confrontation à des problèmes complexes. Enfin, les problèmes atypiques mettent les élèves face à une situation nouvelle et leur demande de se servir de leurs connaissances mathématiques pour trouver de nouvelles stratégies de résolution. Cette catégorie peut être assimilée aux problèmes pour chercher ou de recherche des programmes scolaires.

On peut également distinguer les problèmes en comparant comment ils sont présentés. Certains sont accompagnés d'indications figuratives comme une illustration ou un schéma tandis que d'autres sont simplement verbaux où leur consigne se suffit à elle-même (Feyfant, 2015).

En outre, un problème ayant pour fonction pédagogique de donner du sens aux opérations mathématiques (Houdement, 2017), une classification des problèmes peut être effectuée. En s'appuyant sur les différentes opérations (additions, soustractions, multiplications, divisions). Vergnaud (1991) a établi une typologie des problèmes en fonction du champ des opérations nécessaires et de la structure du problème. Il y décrit deux champs : le champ additif (additions et soustractions) et le champ multiplicatif (multiplications et divisions). La structure quant à elle, décrit la signification dans le cadre du problème de l'opération à effectuer, le rapport mathématique opéré.

Ainsi, il décrit une liste importante de catégories de problèmes dans les deux champs mathématiques. Ainsi, dans le champ additif, nous pouvons noter quelques problèmes les plus courants :

- «Problèmes de transformation d'état », composé d'une valeur initiale, une transformation et une valeur finale. Le problème demande de retrouver l'une de ces valeurs (par exemple : "J'avais cinq billes mais j'en ai perdu deux, combien en ai-je à présent ? ».

-« Problèmes de composition d'état », composé de deux parties et d'un tout. Ce type de problèmes vise à déterminer l'une de ces valeurs, par exemple « J'ai deux billes rouges et deux vertes, combien en ai-je ? » cherche à déterminer le tout formé par les deux parties. –

-« Problèmes de comparaison d'état » visent à déterminer la différence entre deux états sans qu'il n'y ait eu de transformation ou la valeur d'un des deux états. « Sarah a trois billes de plus (ou de moins) que Lola qui en possède 4, combien Sarah a-t-elle de billes ? »

Concernant le champ multiplicatif, nous pouvons également distinguer quelques problèmes :

-« Multiplication » où l'on cherche le nombre total d'un élément tel que « Dans ma famille, nous sommes 4, si je distribue trois gâteaux par personne, combien ai-je donné de gâteaux en tout » ?

-« Comparaison multiplicative de grandeurs », qui vise à déterminer la valeur d'un des deux éléments d'après le rapport « Mon frère est deux fois plus âgé que, sachant que j'ai 8 ans, quel âge a-t-il ? ». On peut également chercher la valeur du rapport entre les deux éléments.

-« Division partition » où l'on cherche dans le cadre d'un parage, la valeur de chaque part « J'ai 36 fleurs que je dispose équitablement dans 6 pots, combien dois-je mettre de fleur par pot ? »

-Division quotition » où l'on cherche à déterminer le nombre de parts « Combien de boîtes de 12 œufs peut-on réaliser avec 36 œufs ? »

Cette typologie des problèmes permet de constater que le classement de problèmes ne saurait se réduire à la nature de l'opération effectuée mais qu'elle doit prendre en compte les différents sens que peuvent prendre ces outils mathématiques en fonction de l'objectif visé.

L'une des compétences essentielles à l'œuvre dans la résolution de problème est la modélisation mathématique (Duperret, 2016). En effet, cette compétence présente dans les programmes scolaires, se définit comme une représentation des éléments de la réalité par des modèles mathématiques. Ainsi, dans le cadre de la résolution de problèmes, cela revient à traduire en langage mathématique les différentes données de l'énoncé et représenter une situation.

Duperret (2016) décrit trois aspects de la représentation du monde opérée par la modélisation.

En effet, il y a une certaine représentation « fonctionnelle » des éléments, dans la mesure où la modélisation ne tend pas à faire du mimétisme du réel et privilégie une représentation schématisée et abstraite des objets, tant que cela permet le traitement des données.

En outre, la représentation « analogique » tend à montrer que la modélisation cherche tout de même à répliquer certains éléments du réel indispensables à la résolution.

Enfin, il décrit également le caractère sélectif de cette représentation, puisque tous les éléments ne sont pas pertinents pour comprendre la situation et résoudre les opérations ; Il s'agit donc de faire le tri des informations dont on dispose et choisir celles à représenter.

Si la modélisation permet de représenter, communiquer et résoudre les opérations mentales à réaliser dans la résolution de problèmes, il demeure que c'est un processus complexe et pouvant être difficilement intégré par les élèves.

1.3 Difficultés rencontrées dans la résolution de problèmes

Les problèmes tiennent une place importante dans l'enseignement des mathématiques en proposant des situations variées qui contribuent à donner du sens aux opérations (Houdement, 2017). Cependant, on observe que certain.es élèves peuvent avoir des difficultés dans la résolution de problèmes à des niveaux différents. En effet, les élèves peuvent avoir des difficultés à la lecture de la consigne, entraînant une incompréhension partielle ou totale de l'énoncé du problème (Fayol et al., 2005). Cette incompréhension de la consigne peut être liée aux compétences de lecture de l'élève mais également à une mauvaise représentation du problème. Par ailleurs, certains auteurs mettent en lumière l'importance particulière de la représentation dans la réussite d'un problème. En effet, Julo (2002) parle d'une « mémoire des problèmes » permettant d'identifier et résoudre rapidement des énoncés ancrés en mémoire. Le raisonnement des élèves serait alors semblable à des heuristiques permettant de modéliser rapidement la situation du problème. Les élèves auraient ainsi tendance à mieux réussir lorsque ces derniers ont emmagasiné suffisamment de mémoire des problèmes, un ensemble de situations auxquels ils ont été confrontés et pouvant s'y référer (Van Nieuwenhoven, 2014). Sanders (2007) met aussi l'accent sur « l'habillage » d'un énoncé (contexte, personnages, lexique), qui permettrait aux élèves d'identifier facilement les problèmes mémorisés

Bien que cette identification rapide des problèmes basiques soit nécessaire dans les apprentissages des élèves (Houdement, 2017), il demeure que cela comporte également des limites. En effet, les élèves par un traitement analogique trop important et notamment au niveau du lexique, peuvent mal identifier le sens des opérations dans le problème (Houdement, 2017) (Fayol, 2005). Par exemple, dans l'énoncé " Clément qui possédait 20 billes, en a donné 12 à Solène. Combien Clément a-t-il de billes ?", la difficulté peut être liée par le mot "donne" et la présence de deux valeurs numériques et induire une mauvaise modélisation. L'élève qui a intégré que le terme "donner" induisait nécessairement une addition, ne se concentrera pas sur la question finale. C'est également le cas dans les problèmes de comparaison des états et multiplicatifs, dont la distinction entre « plus que » et « fois plus que » n'est pas toujours évidente.

De plus, des difficultés peuvent survenir au niveau des opérations mathématiques à effectuer. En effet, les erreurs de calculs peuvent également survenir et peuvent être liées à une maîtrise de l'algorithme et de la numération encore en voie d'acquisition ou encore par surcharge cognitive (Fayol, 2005).

Cependant, une erreur dans un calcul peut être identifiée par l'élève si ce dernier dispose de bonnes stratégies de contrôle (Mevarech & Amrany, 2008) qui permettent de vérifier l'adéquation entre le résultat obtenu et l'objectif visé ou encore confirmer la plausibilité des résultats. Néanmoins, les élèves contrôlent rarement leurs actions en situation problème et ont tendance à s'attacher aux heuristiques, comptant davantage sur leurs expériences et sur le fait qu'une stratégie ait pu fonctionner dans une situation précédente (Hanina & Van Nieuwenhoven, 2018). Selon ces auteurs, il faudrait travailler davantage en classe cette procédure d’auto-régulation et donner plus d’importance au lien entre les résultats, les opérations et l’objectif de l’énoncé. Enfin, des difficultés d’ordre émotionnelles et motivationnelles ne sont pas à négliger puisqu’une perception de ses propres compétences positives tend à engager l’élève davantage dans la tâche. En effet, il aura tendance à mettre en place des stratégies plus rigoureuses et à persister face aux obstacles, tandis qu’un.e élève dépréciant ses compétences abandonnera vite et traitera le problème de manière superflue (Bandura, 1997).

Les erreurs de modélisation peuvent également s’expliquer par des difficultés dans la compréhension de l’énoncé, les élèves ayant du mal à bien représenter le contexte du problème et le sens des opérations mathématiques à la fois. Ainsi, il serait pertinent d’effectuer une lecture des énoncés sans les données numériques de ces derniers, afin de laisser les élèves comprendre le sens de la question, les rapports entre les éléments et ce que l’on cherche à déterminer (Claracq et al., 2022).

Certains travaux préconisent également de placer la question de l’énoncé au début du problème afin de permettre aux élèves de mieux distinguer les éléments pertinents de ceux superficiels de l’énoncé (Fayol et al., 2004). En effet, l’opération mentale de compréhension d’un énoncé demande de l’énergie et se fait progressivement au fur et à mesure de la lecture. Ainsi, certains éléments se verront forcément être ignorés et d’autres au contraire, seront conservés dans la représentation.

Enfin, les variables motivationnelles et émotionnelles (Van Nieuwenhoven, 2014) sont également importantes à prendre en compte puisqu’elles déterminent le degré d’implication de l’élève et son maintien dans la tâche. Un sentiment d’échec ressenti conduira ainsi à une baisse des performances et doit être évité.

1.5 Utilisations du numérique

L’intégration du numérique dans une séquence peut de prime abord sembler difficile car les divers outils doivent être introduits aux bons moments et de la bonne façon, afin de ne pas supplanter les notions et les objectifs que l’on souhaite travailler. Néanmoins, des travaux ont été effectués afin d’encourager et guider les enseignant.es vers une bonne utilisation du numérique tels que le modèle SAMR (substitution, augmentation, modification, redéfinition).

Ce modèle propose une progression de l'utilisation des outils numériques en classe, en passant par une simple substitution des supports (écrire un texte à l'aide d'un logiciel) jusqu'à la redéfinition permettant une nouvelle tâche impossible sans la maîtrise de la technologie utilisée (Puentedura, 2006).

2. Les serious games

2.1 Définitions

La présence de « jeux mathématiques » dans les salles de classe tend à démontrer le paradigme que l'apprentissage par le jeu est essentiel dans la construction des savoirs et savoirs-faire des élèves. Ainsi, il n'est pas étonnant que les jeux vidéo aient également pu avoir certaines velléité à participer à cet apprentissage par le jeu.

Un serious game ou jeu sérieux se définit globalement comme une application dont le but est de conjuguer à la fois des éléments sérieux (enseignement, communication, informations) et des éléments ludiques provenant du jeu vidéo (Alvarez & Djaouti, 2011). Ainsi, un jeu sérieux est un jeu utile ancré dans la structure d'un jeu vidéo. En effet, il a en premier lieu une visée utilitariste contrairement au jeu vidéo qui a des fins de divertissement (Kasbi, 2012). Kasbi (2012) ajoute également que l'on peut distinguer serious game et serious gaming, le premier étant conçu spécifiquement pour répondre à un besoin sérieux tandis que le second est originellement un jeu vidéo détourné de sa fonction divertissante. Ainsi, on peut voir qu'il y a plusieurs types de jeux sérieux. En effet, des classifications existent et reposent sur des critères variés. L'une de ces classifications a pu être proposée par Alvarez et Djaouti (2011) en classant les jeux sérieux en fonction de trois critères : le gameplay (structure ludique), le but (transmettre un message, améliorer une performance) et le secteur (domaine et public visé). Ces critères permettent de classer les jeux sérieux autrement que par leurs domaines disciplinaires scolaires (mathématiques, français…).

2.2 Quelle place dans la pratique scolaire

Si aucuns chiffres concernant la répartition des serious games dans l'enseignement n'ont pu être trouvés, on peut cependant constater que de nombreux secteurs sont concernés. En effet, ses secteurs très variés utilisent aujourd'hui les serious games (Alvarez, 2011) tels que le militaire, la publicité, la santé ou encore l'éducation et la formation. Ce dernier secteur est par ailleurs le plus représenté concernant leur utilisation et tend à se développer encore.

Concernant les serious games en lien avec l'éducation, on retrouve de nombreux secteurs également. Certains visent à éduquer sur les questions écologiques comme le développement durable (Genevois & Leininger-Frézal, 2010) tandis que d'autres visent à travailler l'apprentissage de la lecture comme "Graphonémo" (Magik Eduk, 2020). Ainsi, l'approche des serious games en situation scolaire est pluridisciplinaire et peut servir à des objectifs variés. Concernant les méthodes de sélection et d'intégration en classe, on peut en observer trois (Djaouti, 2016). La première consiste à utiliser un serious game existant (pédagogique ou d'un autre secteur) ou encore détourner un jeu vidéo de son but initial (serious gaming). Cependant, l'enseignant.e doit faire attention à vérifier les valeurs pédagogiques réelles du logiciel et faire face aux problèmes de traduction (traduction française partielle ou inexistante). Ainsi, la seconde méthode consiste à créer soi-même un jeu sérieux à l'aide de logiciels de créations. Bien que des exemples d'enseignant.e ayant recours à cette méthode aient été étudiés, cette alternative reste rare et difficile à mettre en œuvre. Néanmoins, certains jeux sérieux permettent aux utilisateurs d'en modifier certaines parties afin de l'adapter aux besoins. Enfin, l'auteur décrit une méthode où les élèves, accompagnés du professeur, créent leur jeu. Mais une fois encore, cela demande un travail important à réaliser auprès des élèves mais également pour l'enseignant afin de maîtriser les outils numériques. Néanmoins, de plus en plus de jeu sérieux escape game sont utilisés et permettent de réaliser certaines activités comme des problèmes de logique mathématique.

2.3. Des serious games mathématiques

Il existe de nombreux serious games mathématiques à destination de publics très variés. En revanche, il semble que peu d'entre eux soit consacrés à la résolution de problèmes. Ainsi, nous pouvons dresser une liste de certains d'entre-deux et commenter certaines caractéristiques.

Navadra : C'est un serious game qui vise à travailler différents domaines mathématiques à travers des situations de jeux variées. Le jeu s'inspire de la structure d'un jeu de rôle avec des activités (combats, dialogues, artisanat) où le joueur doit résoudre des problèmes mathématiques. Les situations variées pourraient être intéressantes à utiliser mais la structure ressemblant à un jeu vidéo classique pourrait également distraire les élèves. Le public visé est par ailleurs du niveau collège, il faudrait alors sélectionner les exercices en fonction de leur difficulté (niveau sixième mais révisions du cm2)

My sphère : Il fonctionne de manière similaire à Nevadra mais est à destination des élèves de CP à la sixième. De plus, les niveaux de difficultés sont modulables dans un niveau de classe, donc adaptable à l'élève. Dans ce jeu, les élèves augmentent de niveau comme dans un jeu de rôle et relèvent des défis variés dans les champs des mathématiques.

La sorcière t'invite : Il se présente comme un escape game vidéoludique. L'utilisateur doit résoudre des énigmes qui font appel à la logique et à des notions de mathématiques. Le cycle 3 est visé et le jeu pourrait être projeté au tableau tout comme il pourrait être proposé en autonomie.

Flashmaths *:* Ce n'est pas un logiciel mais plutôt un site qui propose aux enseignant.es des activités autour des mathématiques classées en fonction du domaine et du niveau. Le site propose une progression des élèves autour des ceintures de mathématiques de couleurs différentes. Cependant, les activités proposées semblent varier peu en formes et ne diffèrent pas vraiment de celles que peuvent prendre les problèmes d'un manuel. En revanche, il propose des activités ciblées sur un élément méthodologique comme par exemple, sélectionner les éléments non pertinents de la consigne, sélectionner les opérations qu'il faudra effectuer etc.

Power Z : Disponible en phase de beta depuis 2021, ce jeu reprend la structure d'un jeu de rôle massivement multijoueur. En effet, le joueur peut créer un avatar à sa guise et est ensuite téléporté dans un monde ouvert 3D où diverses activités et quêtes sont à accomplir sous la forme d'exercices en lien avec les apprentissages de l'école. La résolution de problème est en revanche sous forme écrite et le joueur doit simplement cliquer sur une réponse, il n'y a donc pas d'interaction avec les éléments du jeu vidéo. La progression à travers les niveaux permet de gagner des récompenses sous la forme de vêtement et d'objets dans le jeu avec de personnaliser son avatar. Il est également possible de discuter avec les autres joueurs et de se constituer un réseau social.

Logicielseducatifs.fr : Ce site propose de nombreux jeux autour de différentes disciplines scolaires. Concernant les mathématiques, le site propose des jeux organisés par thèmes identifiables (calcul, numération, problèmes, grandeurs et mesures...) travers différentes classes de niveau (CE2, CM1...). La résolution de problèmes arithmétiques est proposée à travers des problèmes auxquels les joueurs peuvent répondre en utilisant les outils du jeu. Par exemple, le jeu « Problèmes avec schémas » permet de résoudre les problèmes en utilisant un tableau où l'on peut dessiner dessus. Le site propose également des problèmes de logique sous forme de tableau de vérité ainsi qu'un problème de traversée de rivière.

Kidaia : Ce jeu proposé par le groupe « Prof en poche » en partenariat avec le Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse, est consacré à l'apprentissage des mathématiques. Sa particularité demeure dans sa proposition de fournir un suivi personnalisé aux joueurs en adaptant progressivement la difficulté des exercices et en fournissant des rapports de progression réguliers. Ainsi, le jeu s'adresse principalement aux parents ainsi qu'aux enseignant.es. Si une version gratuite est disponible et permet de s'exercer avec différents exercices, la version payante permet un accès plus conséquent au contenu du jeu et notamment au mode aventure scénarisé. La résolution de problème est l'une des catégories disponibles gratuitement pour s'exercer et suit les recommandations officielles du ministère.

2.4. Intérêts et critiques reconnus des serious games

Les serious games à visée éducative constituent des outils supplémentaires pour l'enseignant.e mais leur utilisation ne saurait être motivée s'ils ne présentaient pas des avantages certains. En effet, à condition d'être adapté à la classe et au rythme des élèves (Djaoudi, 2016), le serious game stimule la motivation des élèves par les retours sur les actions effectuées (Whitton, 2011). Ces retours impliquent davantage l'élève dans la tâche, lui permettent de réguler ses actions/stratégies en jeu et permet une augmentation de l'autonomie par l'essai-erreur (Sanchez, 2011). De plus, cette autonomie permet aux élèves de progresser à leur rythme sans se soucier du regard et de l'avancée des autres (Djaoudi, 2016). Cependant, ces constats ne concernent pas les situations en classe mais simplement l'utilisation par des enfants dans un contexte non scolaire et en autonomie. Néanmoins, certains travaux tendent à montrer que les serious games ne sont pas que solitaires et peuvent renforcer la communication et la coopération entre élèves par le biais d'échanges d'informations pour réussir (Barr, 2012).

Des limites à leur utilisation peuvent également être observées en classe si le serious game sélectionné n'est pas adapté (Djaoudi, 2016). Il doit intervenir au bon moment et certaines notions seront peut-être moins bien comprises avec un jeu sérieux qu'avec la pratique de l'enseignant. L'utilisation d'un serious game ne peut se faire indépendamment du travail de l'enseignant.e et doit s'intégrer efficacement à sa pratique (Hochet, 2011), les explications par l'enseignant.e après l'utilisation du jeu sont nécessaires (Habgood, 2007). Enfin, les contraintes liées au matériel et à l'organisation sont à prendre en compte (Wix, 2012) lorsque l'on souhaite utiliser ce type de supports numériques.

Problématisation

Le corpus de la littérature scientifique que nous venons d'étudier permet de cerner certains enjeux relatifs à l'enseignement de la résolution de problèmes. Les apprentissages inhérents sont très riches et permettent de donner du sens aux différentes notions mathématiques que les élèves apprennent. De nombreux travaux ont étudié les différentes structures et types des problèmes, permettant aux enseignant.es de mobiliser les problèmes qu'ils souhaitent en fonction des apprentissages à faire travailler aux élèves. Cependant, cette pluralité s'accompagne également de difficultés variées dans la résolution de problème, compliquant davantage le travail enseignant consistant à identifier le type de difficulté à l'œuvre. En effet, les premières informations recueillies concernant les erreurs commises par les élèves, permettent de dresser une grille de lecture des éléments de difficulté à travailler en abordant la résolution de problème (consigne, modélisation, réussite des calculs, lien entre but recherché et résultat, vérification...). Face à ces difficultés, l'émergence de nouveaux outils à destination des professeur.es font l'objet d'une grande attention des pédagogues. En effet, les apports des serious games ont pu faire l'objet de travaux pertinents mais leur intégration au sein de la pratique de classe semble également compromise. En effet, comme explique par Wix (2012), les enseignant.es ont tendance à ne pas vouloir intégrer de tels outils à leur pratique car cela demande une gestion logistique, des besoins de préparations conséquents et une utilisation régulière pour avoir des effets significatifs.

Cependant, dans le cadre de la résolution de problèmes, les difficultés précédemment évoquées pourraient être adressées par l'utilisation de serious games. En effet, la difficulté à représenter et modéliser correctement les données d'un énoncé, ainsi que la vérification pourraient trouver écho dans les caractéristiques de certains serious games, qui tendent à contextualiser par l'image et à fournir des retours sur les actions du joueur.

Ainsi, nous pouvons nous demander si l'utilisation de serious games peut permettre aux élèves d'améliorer leurs compétences en résolution de problèmes. Compte tenu de l'importance des problèmes dans les apprentissages scolaires et leur pluralité, il serait intéressant d'étudier la résolution de problèmes arithmétiques mais également les problèmes logiques, qui sont moins présents dans les manuels scolaires. Pourtant, ces problèmes requièrent la mobilisation de compétences mathématiques importantes (modéliser, représenter, raisonner...).

Afin, de répondre à cette question, nous allons procéder à une expérimentation, qui permettra de fournir des données mesurables. En amont, nous allons pouvoir formuler des hypothèses concernant les résultats auxquels nous pouvons nous attendre.

Concernant les problèmes logiques, nous pouvons nous attendre à ce que les capacités de résolution des élèves soient améliorées après un travail effectué sur un serious game dédié. En effet, les opérations mentales complexes de ce type de problème, reposant souvent sur plusieurs étapes de résolution et des données implicites pourraient être facilitées par l'utilisation d'un serious game. Nous pouvons également formuler une hypothèse opérationnelle, permettant d'interpréter les résulats dans le cadre de notre étude. Cette amélioration se manifesterait alors par une augmentation significative des réponses valides des élèves au problème logique, après l'utilisation d'un serious game.

En revanche, concernant les problèmes arithmétiques, nous pouvons généralement supposer que l'utilisation de serious game n'améliorera pas les compétences des élèves en résolution de problèmes. En effet, le premier inventaire des serious games dédiés aux problèmes arithmétiques que nous avons vu, ne mettait pas en lumière des problèmes ayant des fonctionnalités inédites par rapport à la pratique en classe, présentant simplement des énoncés où l'on doit simplement répondre en interagissant avec un ordinateur. Ainsi, nous pouvons également nous attendre dans le cadre de l'expérience à ne pas constater d'augmentation significative des résultats d'élèves après l'utilisation des serious games sélectionnés.

Méthodologie

1. Présentation

Afin de vérifier les hypothèses formulées précédemment, le choix du recueil de données s'est porté vers une expérimentation en classe. Cette dernière consistait en 3 étapes où les élèves ont d'abord travaillé sur des problèmes écrits, puis sur des serious games et enfin à nouveau à l'écrit. Leurs réponses ont été relevées à chaque étape afin de les comparer. En effet, l'objectif étant de mesurer les apports d'un serious game dans le champ de la résolution de problèmes, il est apparu important de pouvoir bénéficier de données objectives en relevant et analysant des productions d'élèves. De plus, l'expérimentation était également l'occasion d'utiliser différents serious games et les comparer. Enfin, cette étude propose d'étudier séparément les problèmes arithmétiques et les problèmes de logique.

2. Population

L'expérimentation a eu lieu dans une classe de CM1 dans le cadre du stage de M2. Bien que la classe compte habituellement 25 élèves, certain.es élèves étaient absent.es lors du recueil et par conséquent, l'échantillon de l'étude s'élève finalement à 20 élèves. Aucun.e élève EBEP n'était signalé dans le groupe. L'étude s'est déroulée le 15 et le 16 octobre sur des temps dédiés habituellement aux ARP (ateliers de résolution de problèmes) ou aux séances de mathématiques, afin de ne pas perturber les habitudes des élèves. Les élèves de cette classe sont en effet habitué.es à des temps consacrés uniquement à la résolution de problèmes, leur permettant de rencontrer plusieurs types de problèmes et d'énoncés. Après avoir passé du temps à les observer travailler sur la résolution de problèmes arithmétiques, à échanger avec eux et à discuter avec le professeur de la classe, les élèves semblaient avoir de bonnes compétences générales en calculs mais pouvaient avoir des difficultés pour modéliser correctement certains énoncés. Ainsi, il semblait que les difficultés étaient davantage dues à la compréhension de l'énoncé.

Concernant les problèmes logiques, les élèves n'en ont rencontrés que très peu en classe depuis le début de l'année et n'ont pas fait l'objet d'un apprentissage particulier (proposés occasionnellement lors d'un temps d'accueil du matin).

3. Matériel

Le choix des problèmes soumis aux élèves à l'écrit a été fait à partir des serious games sélectionnés et des problèmes que ces derniers proposaient. En effet, afin de déterminer les apports des serious games dans les capacités de résolution des élèves, les problèmes proposés à l'écrit et les problèmes proposés dans les serious games devaient avoir la même typologie et faire appel à des compétences similaires de la part des élèves. Les serious games sur lesquels ont travaillé les élèves ont été sélectionnés pour différents critères : leur faisabilité dans le contexte du recueil (passation rapide, peu de matériel requis) leur accessibilité (gratuité, libre de droit, pas besoin d'installation d'un programme…) et leur ergonomie à hauteur d'élève (interface, langue, outils). Ainsi, après un inventaire des jeux disponibles respectant ces critères, trois jeux ont été sélectionnés : deux pour les problèmes mathématiques et un pour les problèmes logiques.

3.1. Les serious games arithmétiques

Les deux jeux sélectionnés partagent la même caractéristique : ils proposent à chaque session un échantillon de différents problèmes composé aléatoirement. Ainsi, des énoncés et valeurs différents sont proposés aux élèves à chaque session (bien que certains élèves puissent avoir quelques problèmes en commun), compliquant la réalisation d'un protocole utilisant un seul et même échantillon de problèmes. Néanmoins, la typologie des problèmes demeure identique à chaque session, permettant donc le recueil des données malgré ce point tout en veillant à ce que les compétences et difficultés visées par les problèmes soient similaires. Ainsi, les élèves ont travaillé sur un même type de problèmes mais avec des énoncés et des valeurs pouvant varier légèrement.

3.1.1. « Problèmes avec schémas »

Tout d’abord, ce serious game issu du site « logicieleducatif.fr » a été sélectionné car il est classé dans la catégorie « Problèmes CM1 », ce qui correspond bien à la population de notre échantillon et en faisait un jeu intéressant à évaluer. A chaque session, le jeu propose 11 problèmes à résoudre. Ce sont des problèmes de comparaison dans les champs additifs et dans le champ multiplicatif (Vergnaud, 1991). Les énoncés sont simples, nécessitant une seule opération pour résoudre les problèmes et très compréhensibles. En effet, ils sont très brefs et utilisent un vocabulaire connu. Concernant les variables didactiques, nous pouvons en identifier certaines : la forme des énoncés permet d’identifier facilement les deux états à comparer par l’utilisation de prénoms, par exemple : « Luc a 23 livres (état 1) et Vincent en a 20 de plus (état 2). Combien Vincent a-t-il de livres ? ». Ce sont souvent des comparaisons de quantité d’objets possédés par deux personnes. Les valeurs numériques utilisées peuvent également varier dans les problèmes où l’on cherche la valeur d’un état : les valeurs du champ additif sont plus importantes que celles du champ multiplicatif. Pour résoudre ces 11 problèmes, l’interface dispose d’un tableau sur lequel on peut écrire ainsi que gommer à l’aide de la souris. Il est également possible de déplacer des icônes pour représenter le problème, avec des étiquettes prénoms (des deux personnages) et une icône objet à quantité infinie (annexe A). L’élève n’est pas obligé d’utiliser ces outils et peut simplement indiquer la valeur du résultat sans écrire de phrase réponse. Le jeu peut alors valider la réponse ou simplement indiquer « mauvaise réponse » laissant un ultime essai. Si la réponse proposée est encore incorrect, le jeu indique simplement la bonne réponse et passe à la question suivante.

Les problèmes proposés en utilisant les termes « plus que » (champ additif) et « fois plus que » (champ multiplicatif) sont apparus pertinents pour l’étude mais également pour les apprentissages spécifiques aux élèves dans le cadre du stage. En effet, comme nous avons pu le voir précédemment, ce type de formulation peut présenter certaines difficultés dans la compréhension de l’énoncé par les élèves (Houdement, 2017.) et notamment pour certain.es de cette classe comme cela a pu être observé et discuté avec l’enseignant. Tous les élèves ont travaillé sur une session de 11 problèmes, donnant lieu à un score noté sur 11.

3.1.2. « Kidaia »

Comme nous avons pu le voir, ce jeu est entre autre à destination des enseignant.es et propose plusieurs outils pour évaluer la progression de l'élève et à travers différents domaines d'apprentissages, ce qui en fait un serious game pertinent pour cette étude. De plus, le jeu a été développé en partenariat avec le Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse et s'appuie sur les programmes officiels de mathématiques de 2022. Dans le domaine des problèmes au CM1, le jeu propose de travailler sur les champs additifs et multiplicatifs en sélectionnant l'une des quatre opérations que l'on souhaite travailler. Une fois la catégorie sélectionnée, on peut choisir les valeurs sur lesquels on souhaite travailler en particulier. Ainsi, on peut sélectionner la multiplication par 25, 50, des multiples de 10 ou encore choisir de travailler la multiplication posée. De même, on peut sélectionner des divisions par 25,50, multiples de 10 ou de 2 à 10. On rencontre des énoncés variés qui visent à contextualiser le problème dans différents domaines (dans une école, dans l'espace, forêt etc.). Le jeu propose de répondre aux questions en utilisant le micro, un clavier numérique ou encore en écrivant à la souris sur un espace dédié. Ainsi, l'élève peut choisir l'outil dont il a besoin pour répondre. Si ce qu'a écrit l'élève est illisible ou ambigu, le jeu le signale et demande d'effacer et corriger. En cas de réponse incorrecte, le jeu le signale simplement sans donner de précision et le joueur a droit à un autre essai. Si le résultat est à nouveau erroné, le jeu donne la réponse en faisant apparaître une modélisation du problème par un calcul (annexe B).

Pour les besoins de l'étude et en lien avec les notions qui étaient travaillées en classe au moment du recueil, les élèves ont travaillé sur deux types de problèmes. D'une part ils ont pu travailler sur la « multiplication avec des multiples de 10 » comprenant des problèmes de type « multiplication ». D'autre part, ils ont travaillé sur la « division par des nombres de 2 à 10 » travaillant les « divisions partition ». Chaque élève a ainsi pu travailler sur deux sessions de 10 problèmes présentés aléatoirement. Par souci de clarté lors de l'analyse des résultats, l'échantillon de problèmes de multiplication a été renommé « **Kidaia 1 »**, tandis que celui avec les problèmes de division « **Kidaia 2 ».**

3.2. Serious game logique

3.2.1. « La rivière logique »

Ce jeu disponible sur « logicieleducatif.fr » dans la catégorie « problèmes » et au niveau « CM1 », propose un problème de logique du type « rivière à traverser » où les élèves doivent faire traverser des personnages de l'autre côté d'une rivière à l'aide d'un radeau tout en tenant compte de certaines contraintes. Le jeu propose différents niveaux mais de structure similaire (même lieu, même objectif), avec des personnages et des contraintes différentes et de plus en plus nombreuses. Pour l'expérimentation, le choix a été fait de se concentrer uniquement sur le niveau 1. Ce dernier donne tout d'abord les consignes en début de partie et sont consultables à tout moment pendant le jeu. Le but du jeu est indiqué : Aider un fermier à faire traverser la rivière à un tigre, un mouton et une carotte sans que personne ne soit mangé, ainsi que les contraintes à respecter :

1) « Seul le fermier peut diriger le radeau. Il ne peut prendre qu'un passager (le tigre, le mouton ou la carotte) en plus de lui-même. »

2) « Si le tigre et le mouton sont seuls sur un côté de la rivière, le tigre mangera le mouton. »

3) « Si le mouton et la carotte sont seuls sur un côté de la rivière, le mouton mangera la carotte. »

Si un chronomètre est lancé dès lors que la partie commence, il n'y a pas de temps limité et sert à noter la performance en fin de jeu (avec une note sur 3 étoiles). Néanmoins cette note ne sera pas utilisée pour le recueil des résultats. Le joueur doit cliquer sur le ou les personnages qu'il souhaite déplacer, puis appuyer sur un bouton pour traverser. Si la situation respecte bien les règles, le radeau traverse la rivière avec ses passagers et reste sur place jusqu'à ce qu'il soit à nouveau déplacé. Cependant, si une règle n'est pas respectée, l'action n'est pas réalisée et un message indique l'effet de l'action (annexe C). Le jeu indique également le nombre de « mouvements » ou actions réalisées par l'élève, qui est comptabilisé dans la note finale. Ainsi, le problème ne peut être résolu qu'en sept étapes au minimum :

-Faire traverser le mouton

-Faire traverser le fermier (retour)

-Faire traverser le tigre ou la carotte

-Faire traverser le mouton (retour)

-Faire traverser le tigre ou la carotte

-Faire traverser le fermier (retour)

-Faire traverser le mouton

Afin de résoudre le problème, les joueurs doivent déterminer quelles actions sont possibles et lesquelles ne le sont pas en identifiant les animaux incompatibles. Les stratégies comme l’essai-erreur sont encouragées par le gameplay du jeu mais afin de s’assurer le meilleur score, on peut également anticiper mentalement les actions suivantes, ce qui fait de cette énigme une tâche complexe sur le plan cognitif.

3.3. Les problèmes écrits

Les élèves ont travaillé en deux temps (Phase 1 et 3 de l’expérience) sur deux séries de problèmes différents (arithmétiques et de logique) sur des fiches codées. En effet, les fiches 1 et 2 concernaient les problèmes arithmétiques et les fiches A et B, les problèmes de logique. Tous les élèves ont travaillé sur les mêmes problèmes et dans les mêmes conditions. Ces problèmes ont été construits en prenant appui sur ceux sélectionnés dans les serious games en amont afin de permettre de déterminer l’évolution des réponses des élèves entre le temps 1 et 2 de façon pertinente. De plus, si les types de problèmes entre les deux temps restent similaires, les énoncés sont différents afin d’éviter des réponses analogues des élèves. Voici une présentation des problèmes proposés aux élèves ainsi que les procédures que l’on pourrait attendre (au regard des choix opérés dans la construction des problèmes).

Temps 1

1. Fiche 1 : Problèmes arithmétiques.

Cette fiche contient trois problèmes différents prenant appui sur les serious games arithmétiques sélectionnés.

Achille prépare un assaut sur les Troyens avec ses meilleurs guerriers. Il décide d'emmener avec lui 6 groupes de 30 soldats. Combien de soldats Achille emmènera-t-il avec lui ?

Figure 1. *Problème 1 de la fiche 1.*

En effet, le premier problème est une multiplication par un multiple de 10 (qui sera travaillé dans le jeu « Kidaia 1») et utilisant du vocabulaire qu'ils connaissent et ont étudié en classe. L'étude étant concentrée sur la compréhension des énoncés par les élèves, le choix a été fait de ne pas surcharger les élèves avec des variables numériques trop nombreuses ou trop élevées. Parmi les procédures attendues des élèves, nous pouvons nous attendre à ce qu'ils représentent le problème à l'aide d'un schéma ou d'un dessin et qu'ils modélisent la situation par une multiplication (6x30 ou 30x6). Pour la résolution, le calcul en ligne ou mental (6x3x10) est attendu puisque c'est une notion qui venait d'être réactivée récemment mais certain.es élèves pourraient ressentir le besoin de poser l'opération malgré tout. Il pourrait également être observé une résolution par l'addition itérée (30+30+30…).

En Terre du milieu, vivent trois peuples : les nains, les elfes et les humains, qui possèdent des anneaux magiques. Les elfes en possèdent trois. Les nains en ont 7 de plus que les elfes tandis que les humains en détiennent 6 fois plus que les nains. Combien d’anneaux possèdent les humains ?

Figure 2. *Problème 2 de la fiche 1.*

Le second problème est un problème de comparaison dans les champs additifs et multiplicatifs, impliquant successivement une addition et une multiplication. Les termes « plus que » et « fois plus que » pourraient poser problème à certain.es élèves pour se représenter les quantités d’anneaux que possèdent chaque peuple dans l’énoncé. Le choix de mélanger ces deux types de problèmes a été fait en rapport avec la littérature scientifique précédemment évoquée et avec le serious game « Schéma ». En effet, ce dernier propose ces deux types de problèmes séparément et on peut se demander si cela pourra avoir une influence sur les résultats des élèves dans les problèmes écrits. Le vocabulaire utilisé est connu des élèves suite à une séance de lecture faite auparavant. On cherche ici encore à étudier comment les élèves vont parvenir à représenter et modéliser le problème, ainsi les valeurs numériques ont été choisies de sorte que les calculs ne surchargent pas les élèves et rester similaires à celles du serious game correspondant. On peut s’attendre à ce que les élèves réalisent un schéma pour représenter les trois peuples et leurs collections respectives (les anneaux pouvant être dessinés entièrement ou simplement représentés par un nombre). Nous pouvons attendre une modélisation par les calculs 7+3=10x6=60 ou une résolution sans écrire ce calcul (mentalement ou en dessinant au fur et à mesure et dénombrant).

Picsou veut cacher sa collection de 54 pierres précieuses afin de ne pas se les faire dérober. Il les dispose ainsi dans 6 coffres forts. Combien de pierres y a –t-il dans chaque coffre ?

Figure 3. *Problème 3 de la fiche 1*

Le troisième problème induit une division partition ou problème de partage. C'est une notion que les élèves ont pu déjà travailler à travers des problèmes en classe et correspond au jeu «Kidaia 2 » sur lequel travailleront les élèves. Les élèves n'ayant pas encore étudié la division euclidienne (calcul posé), les valeurs ont été sélectionnées de sorte que les élèves puissent modéliser et résoudre le problème par une multiplication (6x9=54). De plus, la notion de reste n'ayant pas encore été abordée, il a été choisi d'utiliser un quotient qui n'en a pas. Les difficultés que l'on pourrait attendre seraient de ne pas comprendre ce que l'on cherche dans ce problème et simplement effectuer un produit entre les deux termes du problème (54x6), bien que la question comportant le mot « chaque » induise la recherche d'un quotient. Parmi les procédures, on peut s'attendre à ce que les élèves cherchent mentalement le quotient (par connaissance des tables de 6 et 9) ou par essai-erreur, en cherchant dans la table de 6, le facteur donnant un produit de 54.

2. Fiche A : « L'énigme de la rivière » (annexe D)

Si les termes de l'énoncé ont été modifiés (protagonistes de l'énoncé), la structure du problème, les règles ainsi que les solutions restent les mêmes. Ainsi, le principe d'une rivière à traverser a été conservé, d'une part car il permet de représenter l'obstacle nécessitant la traversée par un radeau et d'autre part afin que les élèves puissent reconnaître le problème lorsqu'ils découvriront le serious game et l'identifier comme semblable. Un espace suffisamment important est laissé aux élèves afin qu'ils comprennent qu'une simple phrase ne sera pas suffisante pour résoudre l'énigme et qu'ils disposent de suffisamment de place pour schématiser leur représentation du problème et leurs raisonnements. Le choix de laisser un espace de réponse blanc (sans lignes pour écrire) résulte du fait que des lignes auraient pu induire que la solution se trouve en plusieurs étapes (les différents trajets des personnages). En effet, la principale difficulté pour les élèves réside dans le fait que la résolution n'implique pas une seule réponse mais de décrire les différents déplacements des personnages. La résolution se fait de cette façon : Jade doit emmener le chat de l'autre côté, puis revenir et faire traverser le loup ou la souris. Ensuite, elle ramène le chat et emmène le loup ou la souris Enfin, elle retourne chercher le chat.

Temps 2

3. Fiche 2 : Problèmes arithmétiques

Cette fiche comporte le même type de problèmes que la fiche 1 et dans le même ordre. Les variables numériques ont été sensiblement modifiées ainsi que les énoncés afin que les élèves mobilisent des compétences similaires tout en travaillant sur des problèmes inédits.

On cherche à déterminer le nombre d'élèves dans une école. Sachant qu'il y a 8 classes dans cette école et que chaque classe accueille 30 élèves, combien y a-t-il d'élèves ?

Figure 4. Problème 4 de la fiche 2

On remplit une boîte rouge, une boîte bleue et une boîte verte de bonbons afin de préparer un anniversaire. La boîte rouge contient 2 bonbons, la boîte bleue en contient 8 de plus que la rouge, tandis que la boîte verte en contient 7 fois plus que la bleue.
Combien de bonbons contient la boîte verte ?

Figure 5. Problème 5 de la fiche 2

Un élève veut ranger ses cartes pokémon dans des pochettes de même taille. Sa collection s'élève à 72 cartes et il dispose de 8 pochettes. Combien devra-t-il mettre de cartes par pochette ?

Figure 6. Problème 6 de la fiche 2

4. Fiche B : « L'énigme de la vallée » (annexe)

De même, les élèves retrouvent ici le problème logique qu'ils ont déjà découvert avec les mêmes règles mais les protagonistes remplacés. Cependant, le contexte est ici modifié (disparition d'une rivière au profit d'une vallée à traverser à l'aide d'un vieux pont) afin de laisser les élèves identifier le problème (sur lequel ils ont travaillé deux fois) par sa structure et non par le contexte donné par l'énoncé (rivière). Le problème se résout de cette façon : L'éleveur fait traverser le renard puis revient, il emmène ensuite le chien ou la poule, puis ramène le renard. Il emmène le chien ou la poule puis revient pour chercher le renard.

3.4 Questionnaire de retour des élèves (annexe F)

Ce questionnaire auto-rapporté visait à préparer les élèves à la séance de retour collectif en amorçant une réflexion sur ce qu'ils ont expérimenté (Qu'avons-nous travaillé, pourquoi dans ces conditions, quel intérêt ont eu les serious games…). Les questions portaient sur le degré de difficulté ressenti par les élèves sur les problèmes écrits (mathématiques d'une part et logiques d'autre part), ainsi que sur l'aide ressentie à travers l'utilisation de serious games. Les élèves devaient également donner les aspects qu'ils avaient appréciés ou non des serious games. Ces réponses avaient également pour objectif d'être confrontées aux données obtenues lors de l'expérimentation et ainsi comparer l'expérience subjective des élèves avec leurs résultats objectifs.

3.5 Salle informatique

Une salle informatique avec cinq ordinateurs fonctionnels était disponible le jour où les élèves ont travaillé sur les serious games. Chaque session était déjà ouverte sur les différents serious games à l'arrivée des élèves.

4. Procédure

L'étude s'est déroulée en trois phases réparties chacune sur trois séances : les élèves ont tout d'abord travaillé sur plusieurs problèmes à l'écrit. Ensuite, ils ont travaillé sur des problèmes similaires en utilisant différents serious games. Enfin, ils ont été invités à résoudre à l'écrit d'autres problèmes similaires aux précédents.

Phase 1 : Le jeudi 15 octobre, les élèves ont d'abord travaillé en autonomie sur la « fiche 1 » puis une fois terminée, sur la « fiche A ». Les élèves étaient en classe entière et il leur a été demandé de répondre directement sur les fiches distribuées sans pouvoir bénéficier de l'aide d'un.e camarade ou d'un.e adulte. Aucune limite de temps ne leur était imposée. Ils ont travaillé en silence afin de ne pas générer de variables parasites comme des interférences sonores. Pour ce faire, chacun.e avait pour consigne de lever la main lorsque la « fiche 1 » était remplie, puis la « fiche A » était alors fournie, permettant également de s'assurer que tous les élèves avaient bien fait l'intégralité du travail. Durant la séance, certain.es élèves ont fait remarquer qu'ils connaissaient l'énigme, il a donc été demandé aux élèves dont c'était également le cas de lever la main, afin de noter leurs noms et prendre en compte cela pour l'analyse des résultats.

Phase 2 : En fin de matinée, les élèves ont travaillé individuellement sur trois serious games en salle informatique. Pour des raisons techniques (seulement cinq ordinateurs pouvaient être connectés en même temps), les élèves passaient par groupes de cinq. Ils ont reçu pour seules consignes de résoudre les problèmes affichés à chaque jeu et de lever la main chaque fois qu’un jeu était terminé afin de noter leur score. Ainsi, il n’a pas été demandé aux élèves de nécessairement utiliser l’espace d’écriture des serious games ou une procédure particulière. Ils ont tout d’abord commencé par le jeu « la rivière logique » dont le nombre de mouvements nécessaires pour résoudre l’énigme ont été notés pour chaque élève. Ils ont ensuite travaillé sur le jeu « Kidaia 1», puis sur « Kidaia 2 » Enfin, ils ont pu terminer avec le jeu « Problèmes avec schémas ». Les ordinateurs sur lesquels les élèves ont travaillé étaient suffisamment espacés pour ne pas pouvoir regarder la session de leurs camarades.

Phase 3 : L’après-midi, les élèves ont travaillé dans les mêmes conditions que la phase 3 avec de nouvelles fiches de problèmes. Ainsi, ils ont travaillé sur la « fiche 2 » puis sur la « fiche B » et le déroulement de la séance était identique à la précédente. Le questionnaire auto-rapporté a ensuite été distribué aux élèves afin de recueillir leurs ressentis concernant l’expérience et un retour collectif oral a été effectué pour clôturer la séance. (non enregistré).

5. Nature des données

Le protocole de cette expérimentation a permis de recueillir des données de différentes natures, pouvant être distinguées en deux catégories : quantitatives et qualitatives. En effet, les données quantitatives regroupent la résolution ou non de chaque problème, le nombre d’actions utilisées pour le serious game « Larivière logique » et les réponses des élèves aux questionnaires (difficulté, aide des serious games). Les données qualitatives sont les observations pouvant être faites sur les productions d’élèves pour chaque problème (procédures, erreurs, modélisation…), ainsi que les réponses aux questionnaires (ce que les élèves ont aimé ou non des serious games).

Résultats

Nous allons à présent procéder à une présentation et une analyse des résultats obtenus lors des trois phases d'expérimentation et au retour des questionnaires. Comme nous avons pu le voir précédemment, les problèmes arithmétiques et de logique ont été traités séparément. Les données quantitatives vont nous permettre dans un premier temps d'avoir un aperçu global des résultats, en identifiant les problèmes qui ont posé le plus de difficultés dans le groupe en phase 1 et si ces difficultés se sont prolongées à travers les serious games et les problèmes de la phase 3. Ensuite, nous pourrons nous intéresser aux données qualitatives en analysant les productions des élèves et leurs réponses au questionnaire. Finalement, la confrontation de toutes ces données nous permettra de répondre aux hypothèses précédemment formulées.

1. Problèmes logiques

1.1. Description et analyse quantitative

Nous allons dans un premier temps étudier les résultats obtenus au cours des différentes tâches sur lesquelles les élèves ont travaillé durant cette expérimentation. Il ne s'agit pas ici de présenter de façon exhaustive toutes les données qui ont été recueillies mais plutôt d'essayer d'en extraire les éléments importants et de les commenter. Ainsi, nous commencerons par analyser les réponses des élèves aux problèmes logiques, puis nous commenterons les réponses des élèves aux questionnaires.

1.1.1. Réponses des élèves aux problèmes

Afin de faciliter l'analyse quantitative des réponses des élèves, ces dernières ont été classées en suivant le fonctionnement binaire « réponse valide » et « réponse invalide » après leur correction. Concernant les problèmes logiques écrits (fiche A et B), leur évaluation n'attendait pas une procédure particulière pour traiter le problème, les productions d'élèves validées étant celles où la compréhension de la réponse était suffisante et permettait de vérifier que les règles de l'énoncé étaient bien respectées. Concernant les réponses au serious game, le jeu validant tout seul la bonne résolution du problème, aucun critère d'évaluation n'a été requis. Cependant, le nombre d'actions nécessaires pour chaque élève a été relevé.

A partir de ces critères, nous pouvons avoir un aperçu des réponses des élèves dans le tableau et le graphique ci-dessous. Chaque élève a été codé par une lettre afin de respecter l'anonymisation et les réponses valides ont été représentées en vert et celles invalides en rouge. Le nombre d'actions requises pour résoudre le problème dans le serious game est également représenté dans le tableau.

Tableau 1. *Résultats de la résolution du problème logique sur l'ensemble de l'expérience.*

Elève	**Fiche A**	**Serious game « La rivière logique »**		**Fiche B**
	Réponse	**Réponse**	**Nombre d'actions**	**Réponse**
A			7	
B			7	
C			7	
D			8	
E			7	
F			21	
G			7	
H			9	
I			9	
J			17	
K			10	
L			9	
M			8	
N			8	
O			7	
P			7	
Q			10	
R			11	
S			7	
T			11	

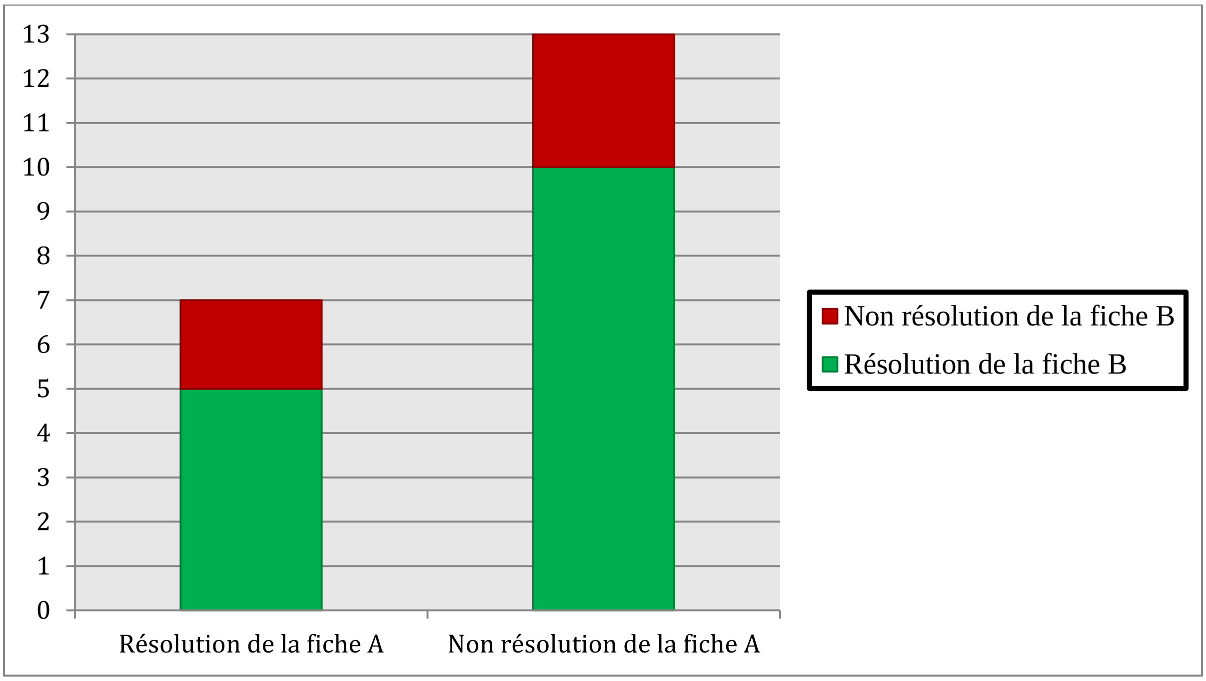


Figure 7. *Distribution des élèves en fonction de leurs réponses sur l'ensemble des problèmes logiques écrits.*

En observant les résultats obtenus ci-dessus, nous pouvons faire différents constats. Tout d'abord, on peut observer que dans notre échantillon de 20 élèves, la majorité n'a pas réussi à résoudre le premier problème écrit. En effet la figure 7 montre que 65%, soit 13 élèves, n'ont pas su donner les éléments pour valider la résolution du problème « Fiche A ». Cependant, sur ces 13 élèves, 10 ont su proposer une réponse valide au problème de la « fiche B ». Concernant les 7 élèves qui ont résolu le premier problème, nous pouvons noter qu'ils ont tous enregistré un score « parfait » de 7 coups pour résoudre le serious game (tableau 1). Enfin, parmi ces 7 élèves, 2 n'ont en revanche pas su résoudre le problème de la « Fiche B ». Il peut être important de noter que parmi les 5 élèves qui ont proposé une réponse valide sur toutes les étapes de l'expérimentation (tableau 1), 3 d'entre eux avaient déclaré déjà connaître l'énigme, tandis que les 2 autres la découvraient.

Concernant les 13 élèves qui n'ont pas pu résoudre le premier problème, s'ils ont tous été capables de résoudre le serious game et avec une moyenne d'environ 10,5 actions, nous pouvons néanmoins noter que deux élèves s'en éloignent. En effet, l'élève F a terminé la partie en 21 actions, tandis que l'élève J l'a fait en 17. Nous pouvons également observer qu'un.e élève a pu terminer sa partie en 7 coups, tandis qu'elle n'était pas parvenue à résoudre le problème précédemment. Cependant, cet.te élève fait également partie, avec les élèves F et J, des trois qui ne sont pas parvenu.es à résoudre le problème lors de la phase 3.

1.1.2. Réponses des élèves aux questionnaires

A l'issu de la phase 3 de l'expérience, les élèves ont rempli un questionnaire afin d'exprimer le degré de difficulté qu'ils ont pu ressentir dans la résolution de chacun des deux problèmes logiques écrits. Ils ont également pu indiquer si le fait de travailler sur l'ordinateur avait été perçu comme une aide ou non dans la résolution du problème logique. Les graphiques ci-dessous présentent les différentes réponses recueillies sur les 20 élèves de l'échantillon.

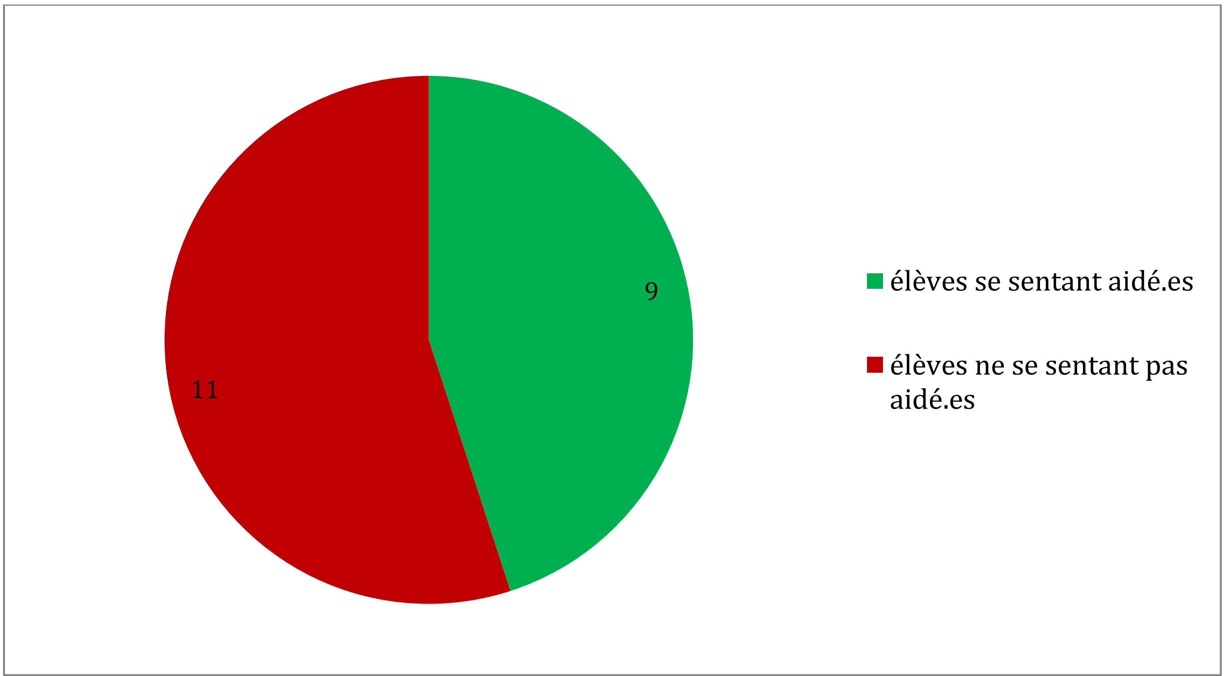


Figure 8. *Distribution des élèves en fonction de l'aide du serious game dans la résolution de problème logique.*

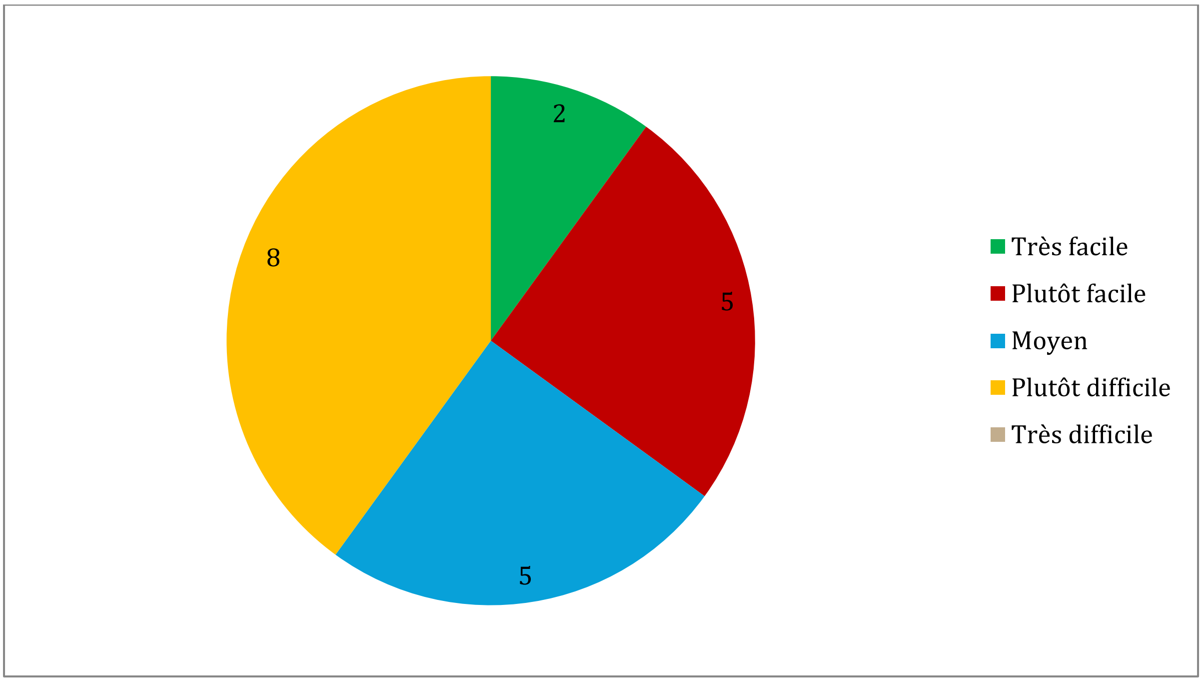


Figure 9. *Distribution des élèves en fonction du degré de difficulté ressenti sur le problème de la fiche A.*

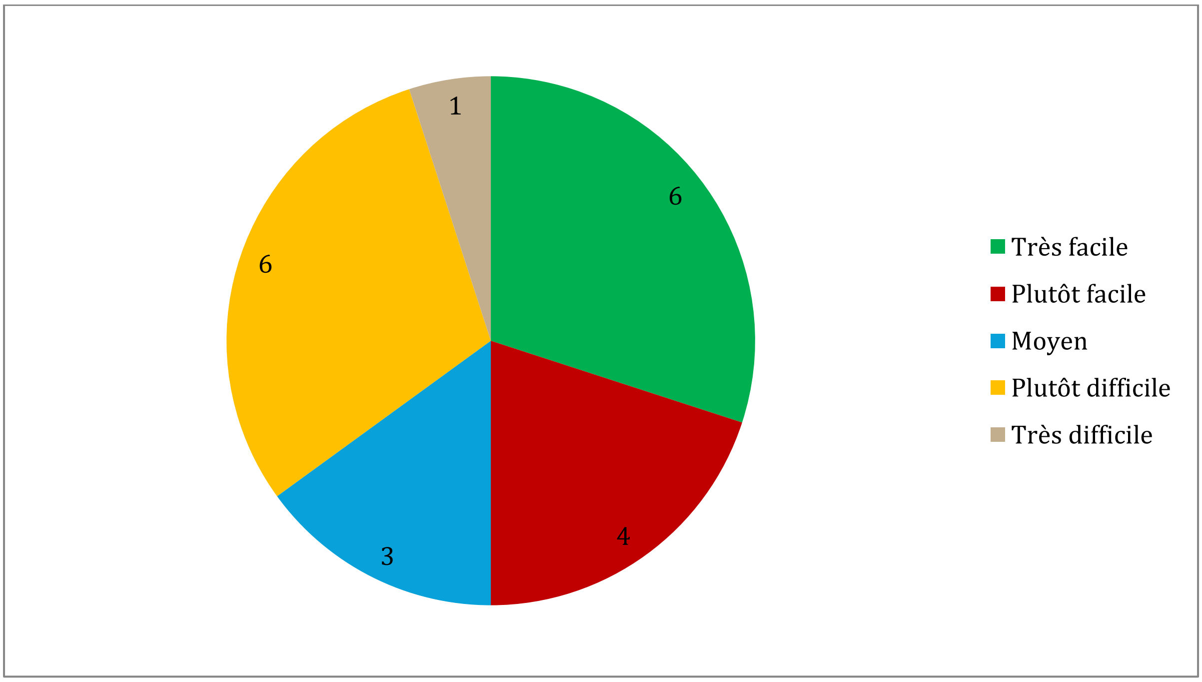


Figure 10*. Distribution des élèves en fonction du degré de difficulté ressenti sur le problème de la fiche B.*

Comme nous pouvons le voir avec la figure 8 ci-dessus, un peu plus de la moitié des élèves ne s'est pas sentie aidée par l'utilisation d'ordinateur et d'un serious game pour résoudre des problèmes logiques.

De plus, la majorité des élèves semblent avoir été en difficulté face au problème de la fiche A, puisque la catégorie la plus représentée est celle « plutôt difficile » à 40% de l'échantillon. (figure 9), tandis que 25% l'a au contraire trouvé « plutôt facile ». Nous pouvons également noter que seulement deux élèves de l'échantillon l'ont trouvé « très facile » mais qu'aucun.e n'a répondu « très difficile ». Ainsi, les élèves semblent avoir davantage choisi les réponses nuancées (un quart a choisi « moyen ») que celles situées aux extrémités. Cependant, nous pouvons noter une évolution de ces réponses dans la figure 10, où le choix « très facile » représente 30% des réponses, soit 6 élèves. Il est également intéressant de noter que « plutôt difficile » est aussi à 30% , n'ayant ainsi pas drastiquement diminué en comparaison avec la figure 9. Les autres réponses n'ont que peu évolué par rapport au problème de la fiche A mais on peut relever qu'un.e élève a cette fois trouvé le problème « très difficile ».

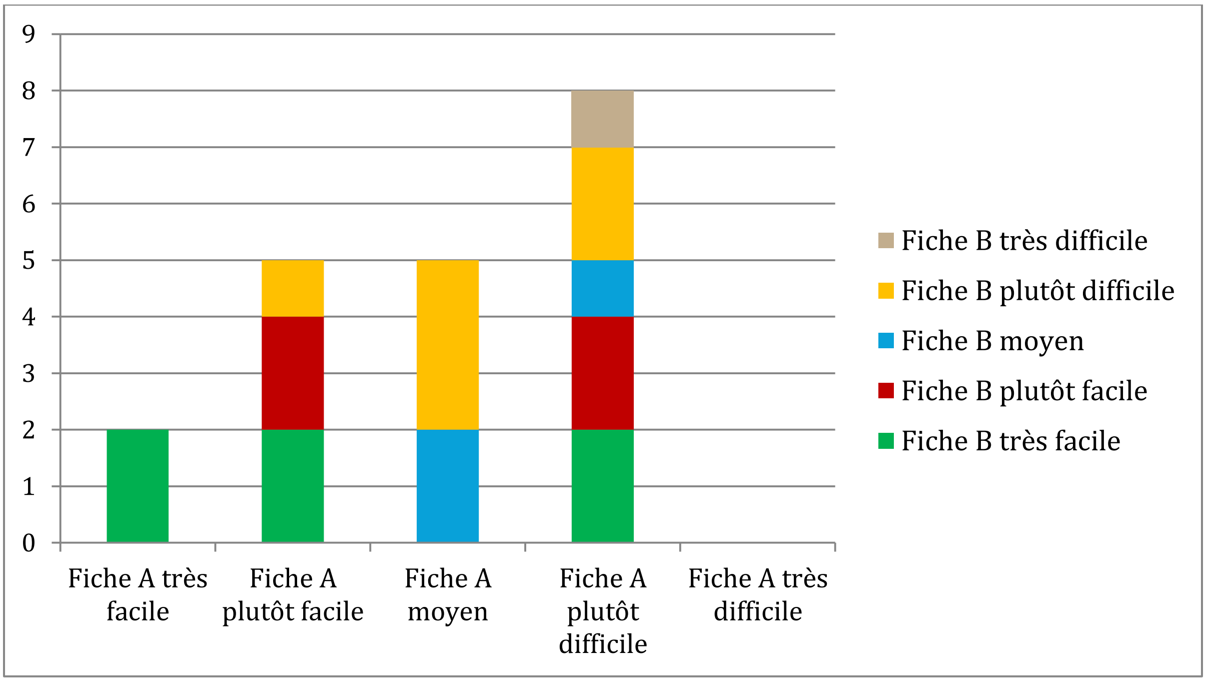


Figure 11. *Distribution des élèves en fonction de la difficulté ressentie sur l'ensemble des deux problèmes.*

La figure 11 permet de voir plus en détail la répartition des réponses sur l'ensemble des deux problèmes. Tout d'abord, on peut observer que les élèves ayant trouvé le premier problème « très facile » et « plutôt facile » ont eu tendance à donner des réponses similaires pour le second. En effet, seulement un.e élève a ressenti des difficultés pour la fiche B et a coché « plutôt difficile ». De plus, il est intéressant de remarquer que les élèves ayant choisi la réponse la plus nuancée « moyen » au premier problème, ont eu tendance à trouver le second « plutôt difficile » ou cocher comme précédemment. Enfin, on peut voir une évolution notable de la catégorie « plutôt difficile », puisque parmi les 8 élèves qui l'avaient cochée en premier lieu, seulement 2 l'ont cochée à nouveau, tandis que les autres ont eu tendance à sélectionner des catégories tendant vers le « facile ». Cependant, on peut noter qu'un.e élève a trouvé le second problème plus difficile encore et a coché « très difficile ».

1.1.3. Conclusion des données quantitatives

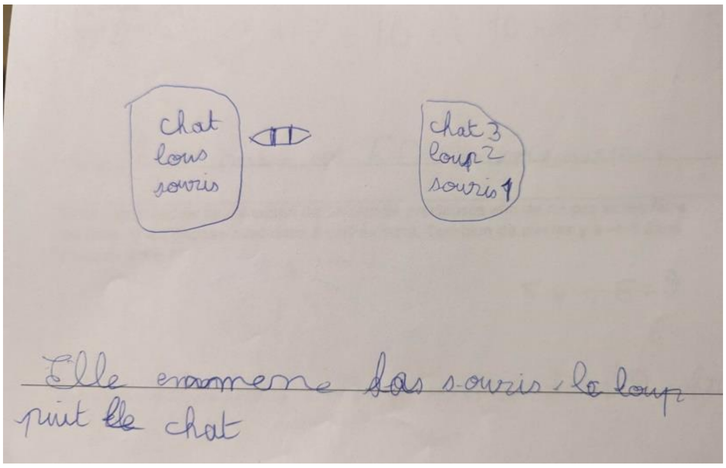
Les données quantitatives présentées permettent d'affirmer qu'il y a eu une amélioration notable dans la résolution de problème logique entre la fiche A et B. En effet, sur les 13 élèves n'ayant pas résolu le premier, 8 y sont finalement parvenu.es. Concernant les difficultés perçues par les élèves pour la fiche A, on peut noter une évolution pour les élèves qui avaient trouvé le premier problème plutôt difficile, tendant davantage vers « facile » pour le second. Ce constat pourrait être mis en perspective avec l'amélioration de la résolution, les élèves auraient ainsi été conscients d'avoir résolu le second problème ou auraient eu moins de difficulté à le faire. Cependant, nous ne pouvons pas vraiment associer cette amélioration à l'utilisation du serious game. En effet, même si on peut noter que deux élèves en particulier ne s'étant pas amélioré.es ont eu des difficultés sur le serious game, par rapport aux autres qui ont progressé et enregistré des scores bien moins élevés, il demeure que d'autres n'ont pas résolu le second problème malgré un score parfait au serious game. De plus, un peu plus de la moitié des élèves n'a pas jugé pertinente l'utilisation d'un serious game pour résoudre un problème. Néanmoins, le serious game a peut-être eu une certaine influence dans la manière de résoudre le second problème pour les élèves en difficulté mais également pour ceux ayant su résoudre le premier. Ainsi, nous allons essayer de le déterminer en procédant à une analyse qualitative des réponses des élèves.

1.2. Description et analyse qualitative

Il s'agit à présent d'étudier les travaux des élèves afin d'essayer de faire émerger les difficultés qu'ils ont pu avoir ainsi que leurs procédures pour résoudre le problème. Il s'agit ici uniquement des phases de problèmes écrits puisque le serious game ne laisse pas de trace du raisonnement des élèves. Il sera ainsi intéressant de comparer les procédures entre la fiche A et la fiche B pour les élèves n'ayant pas réussi à résoudre le premier problème. Cependant, nous verrons également si on peut observer une évolution dans la manière de traiter le problème chez les élèves ayant proposé une réponse valide au premier problème. De plus, nous verrons également les commentaires qu'ont pu laisser les élèves concernant leur ressenti vis-à-vis du serious game de logique.

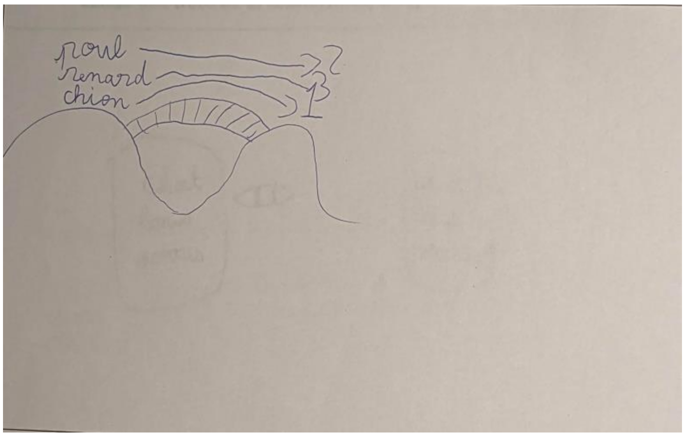
1.2.1. Productions des élèves

Comme nous avons pu le voir, 13 élèves ne sont pas parvenu.es à résoudre le problème de la fiche A mais 10 ont résolu celui de la fiche B. Ainsi, nous pouvons commencer par étudier les productions des 3 élèves, qui ne sont pas parvenu.es à résoudre les deux problèmes écrits.



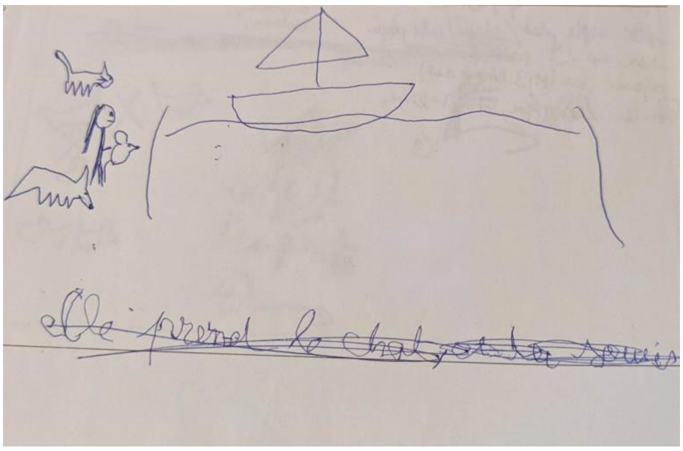
Elève C : Fiche A

L’élève C a présenté une phrase réponse invalide qui suggère de ne procéder qu’en trois étapes, un animal à la fois. L’élève semble avoir intégré dans son raisonnement le fait qu’un seul animal à la fois pouvait traverser grâce au bateau (dessiné), induisant ainsi un ordre de passage. Cependant, il semble que la règle d’exclusion (animaux incompatibles sur le même côté en l’absence de Jade), soit absente du raisonnement de l’élève, impliquant donc la réponse en seulement trois étapes, ainsi que l’ordre des animaux proposé. Par ailleurs, le personnage de Jade n’a pas été représenté non plus, pouvant laisser penser que l’élève n’a pas compris ou omis le rôle du personnage, permettant aux animaux de se déplacer.



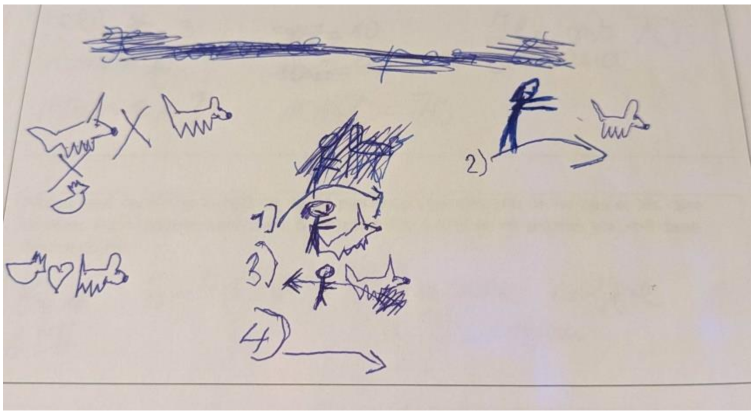
Elève C : Fiche B

Nous pouvons faire les mêmes constats pour la fiche B où l’on retrouve un raisonnement en seulement trois étapes représenté ici par des flèches numérotées sans phrase réponse. Là encore, il ne semble pas avoir pris en compte les règles précisées dans l’énoncée.



Elève F : Fiche A

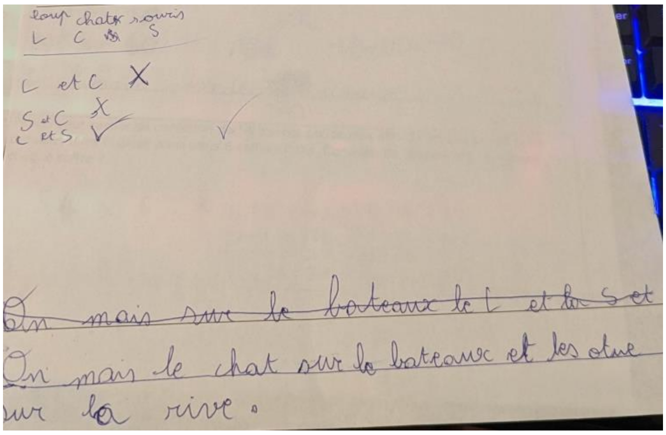
Dans le premier problème, l’élève F a représenté la situation et les quatre personnages sous la forme d’un dessin mais n’a pas laissé de trace d’un quelconque raisonnement. On peut voir également que l’élève a raturé le début d’une phrase réponse, qui ne nous permet pas de déterminer si les règles de l’énoncé ont été intégrées (un animal par voyage, certains animaux ne s’entendent pas...).



Elève F : Fiche B

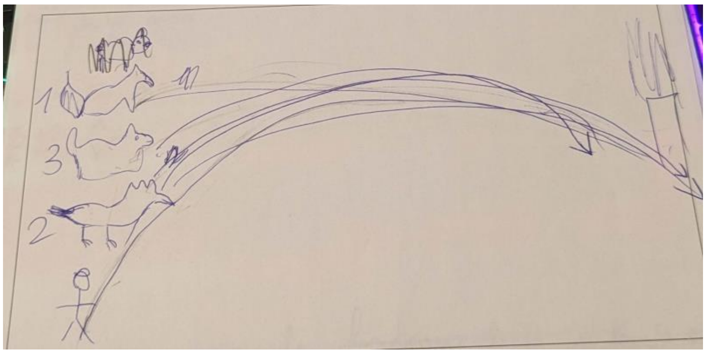
Cependant, lors du second problème, l’élève a modélisé par des dessins et schémas l’une de ces règles (règle d’exclusion) et représenté certains éléments de résolution par des flèches numérotées et séparées. Cela peut induire que l’élève a intégré cette fois les règles dans son raisonnement puisque le renard traverse en étape 1 et semble revenir en étape 3.

D’autres éléments nous le montrant sont la présence de l’éleveur à chaque déplacement et le fait d’avoir associé à chaque étape, un seul animal et un seul déplacement. Cependant, le problème n’a pas été résolu jusqu’au bout (lié au manque de temps ou encore à une surcharge cognitive ?).



Elève J : Fiche A

L’élève J semble avoir bien intégré la règle d’exclusion du chat en la représentant avec des lettres et un codage. De plus, cette règle est également respectée dans sa phrase réponse en séparant bien le chat des autres animaux. Cependant, la réponse omet tout déplacement des personnages et ne résout pas le problème qui vise à trouver une solution pour traverser la rivière.



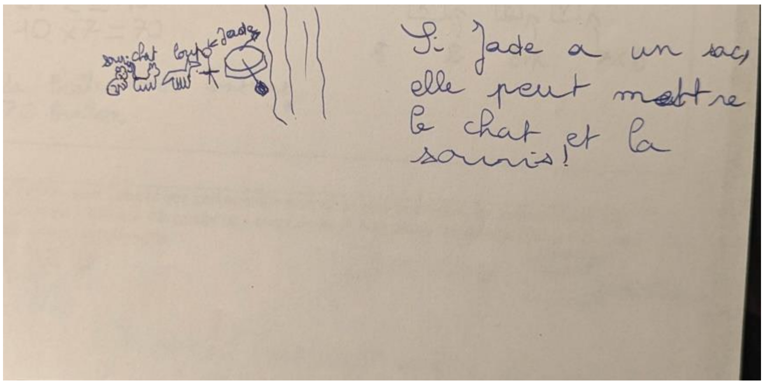
Elève J :: Fiche B

Dans la seconde production de l’élève, on peut noter la disparition de schéma modélisant la règle d’exclusion ainsi que de toute phrase réponse. On retrouve un dessin représentant les animaux numérotés ainsi que des flèches, pouvant induire la compréhension de déplacements requis dans le problème. On note également la présence de l’éleveur associé à une flèche.

Le nombre de flèches plus important que celui de personnages pourrait impliquer que l’élève prévoyait des allers-retours mais rien ne peut le confirmer.

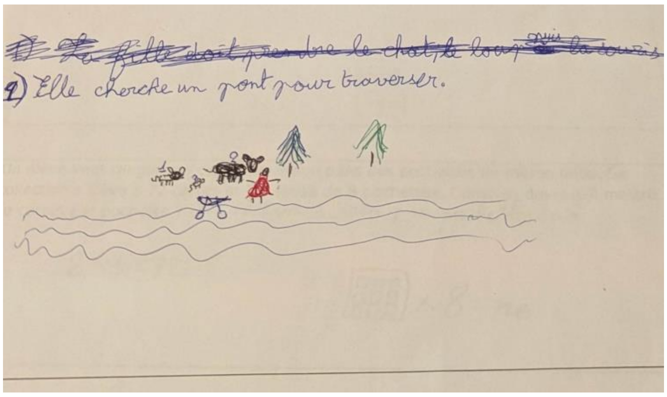
Concernant les 10 élèves qui ont finalement pu résoudre le problème de la fiche B, nous pouvons voir que certaines productions présentent des caractéristiques similaires et peuvent être regroupées.

Tout d’abord, les élèves L et R ont représenté le problème à travers un dessin et ont finalement proposé une réponse alternative au problème en invoquant des éléments implicites liés au contexte.



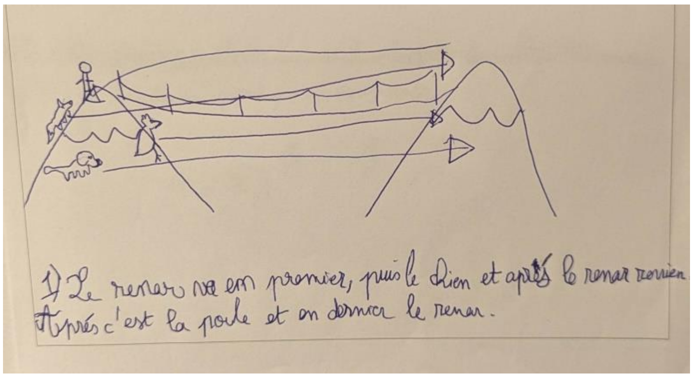
Elève R : Fiche A

En effet, l’’élève R invoque l’idée d’un sac pour y mettre deux animaux à l’intérieur (mais le chat et la souris, qui sont incompatibles). Ce choix vise peut-être à contourner les règles de l’énoncé stipulant que ces deux animaux ne peuvent rester seuls du même côté et jade ne pouvant en prendre qu’un seul à la fois (l’élève a peut-être considéré que les animaux dans le sac ne comptaient pas dans le déplacement).

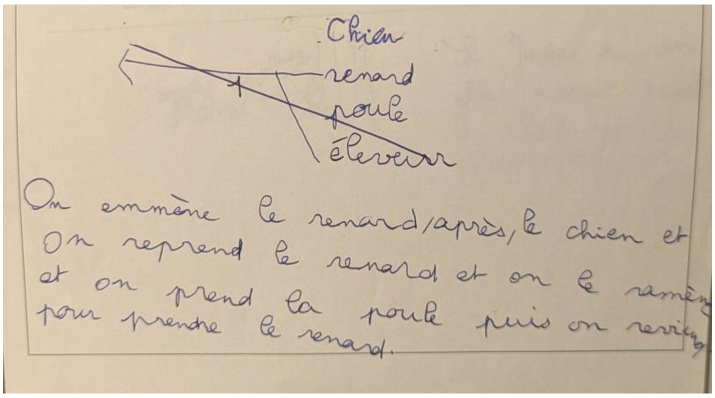


Elève L : Fiche A

L’élève L a proposé de traverser un pont, contournant ainsi les règles du problème. Nous pouvons noter l’absence d’étapes dans ces solutions, pouvant montrer que ces élèves n’ont peut-être pas envisagé que plusieurs trajets étaient possibles.



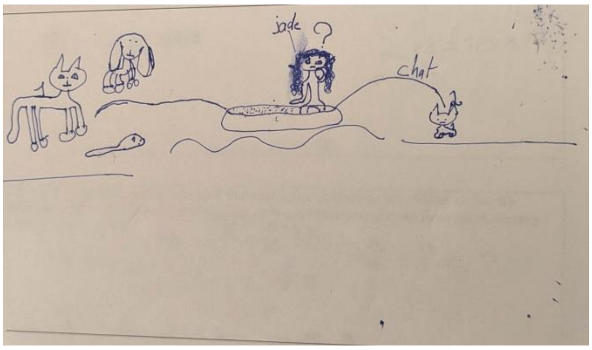
Elève R : Fiche B

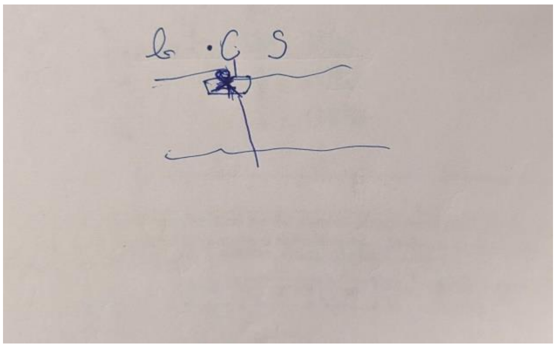


Elève L : Fiche B

Finalement, les deux élèves ont su apporter une solution valide au second problème : l'un.e par le dessin, associé à des flèches (les trajets différents sont visibles ici) et conclu par une phrase réponse, tandis que l'autre a seulement répondu par une phrase réponse.

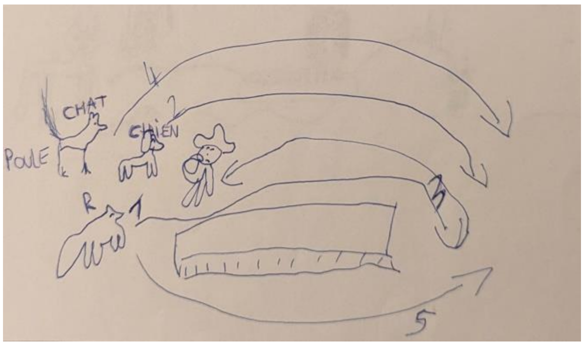
Les élèves H et K ont fait apparaître les personnages, le bateau ainsi qu'une flèche, indiquant l'idée d'un déplacement. Cependant, cela ne semble impliquer qu'un seul trajet, celui du chat. Le choix de cet animal pourrait indiquer que les élèves ont identifié qu'il ne pouvait pas rester avec les autres et devait donc être déplacé.

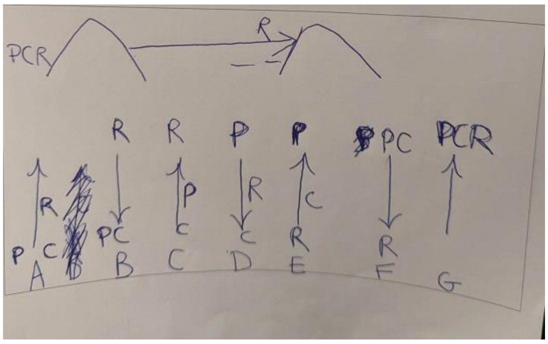




Elève H : Fiche A *Elève K : Fiche A*

Nous pouvons observer que l’élève H a représenté la situation avec seulement un dessin, tandis que l’élève K a procédé avec des lettres initiales et un schéma. Les élèves ne semblent pas avoir envisagé plusieurs déplacements possibles dans le problème.

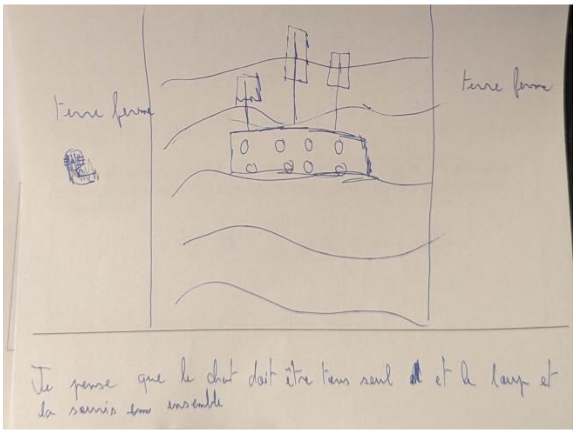


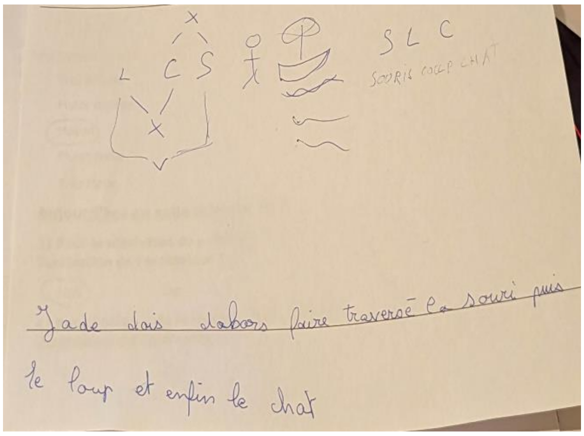


Elève H : Fiche B *Elève K : Fiche B*

Sur la fiche B, nous pouvons voir que l’élève H a utilisé un dessin plus simplifié, avec cette fois plusieurs flèches numérotée, faisant apparaître 5 étapes. L’élève K a repris la représentation par schéma et lettres ainsi que par flèches. Cet.te élève a choisi de ne pas numéroter les flèches, optant pour une lecture de gauche à droite de chaque étape. On peut également noter que sa résolution se fait en 7 étapes et fait apparaître l’emplacement de tous les animaux à chaque étape comme c’est le cas sur le serious game.

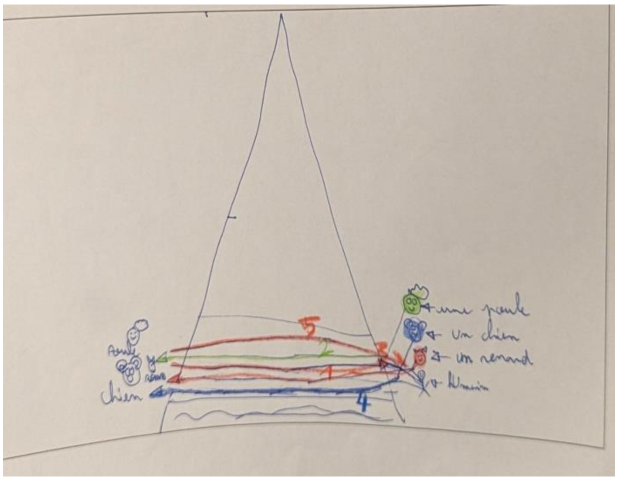
Les productions des élèves N et Q présentent des éléments similaires. En effet, la trace écrite représente essentiellement la règle d’exclusion du chat ainsi que la situation d’une rivière à traverser avec un bateau.

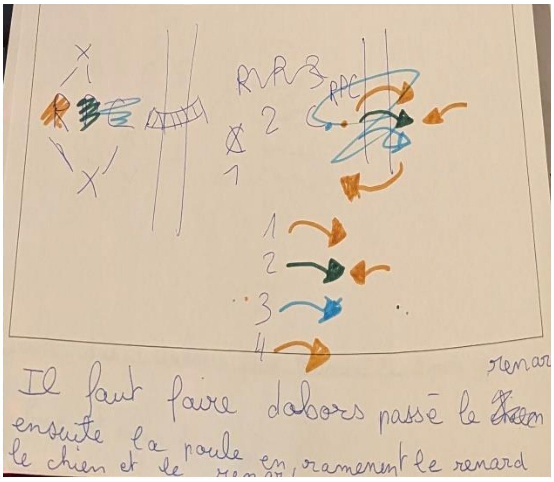




Elève Q : Fiche A *Elève N : Fiche A*

On peut voir que l’élève N a réalisé un schéma avec lettres représentant la règle d’exclusion, tandis que l’élève Q l’a verbalisé avec une phrase réponse. Ces productions ne permettent pas d’atteindre le but de traverser la rivière avec tous les animaux, puisque l’idée de déplacement n’est pas observable ici.

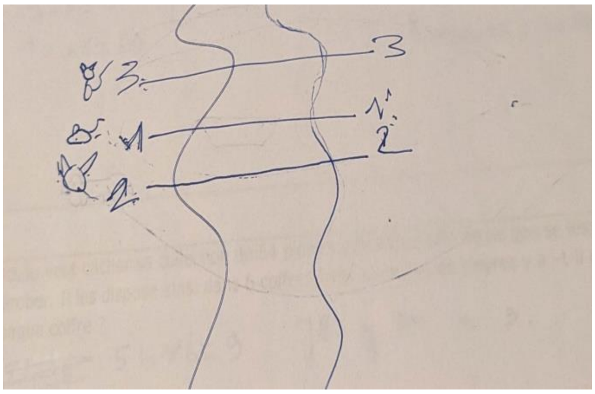




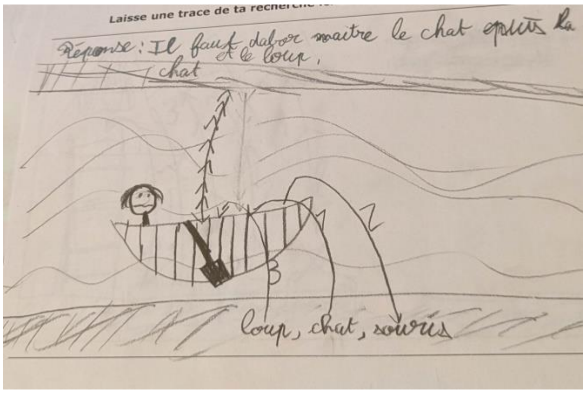
Elève Q : Fiche B *Elève N : Fiche B*

Pour la résolution de la fiche B, les élèves ont utilisé une représentation par flèches de couleurs accompagnées d’une légende et de numéros pour l’ordre des étapes. L’élève N a conservé sa représentation schématisée de la règle d’exclusion qui lui a servi de légende et a conclu avec une phrase réponse. L’élève Q n’en a pas formulé contrairement au premier problème et a simplement traité le problème avec un schéma.

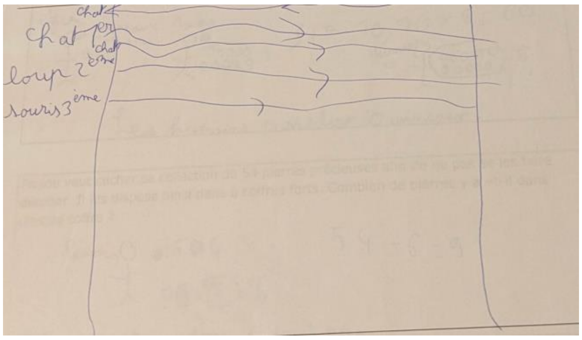
Les élèves D, I et M ont tous les trois utilisé une représentation utilisant des flèches afin de représenter les déplacements des animaux dès le premier problème.



Elève M : Fiche A

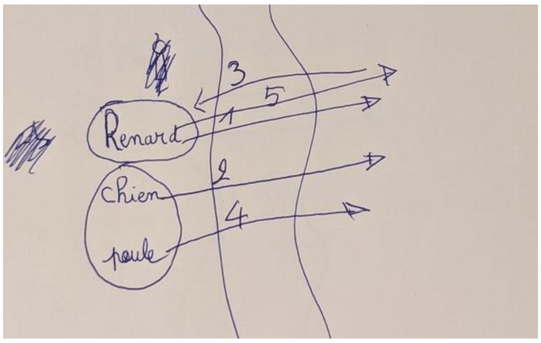


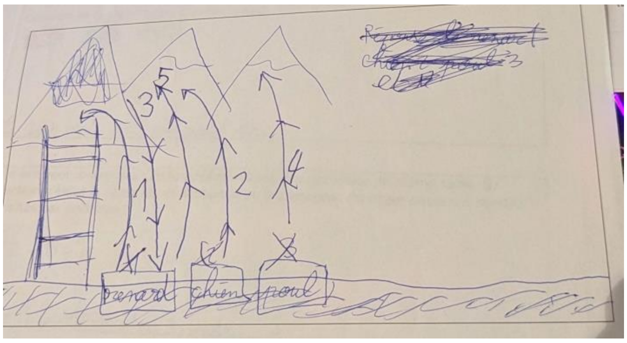
Elève I : Fiche A



Elève D : Fiche A

Si, les élèves I et M ont proposé une résolution incomplète en dessinant 3 flèches et proposant 3 déplacements, l’élève D a dessiné 5 flèches. Cependant, en notant seulement 3 numéros, l’élève propose une réponse ambigüe et on ne peut comprendre aisément l’ordre de chaque déplacement. Néanmoins, on peut noter que le chat semble être celui qui part en premier et celui qui fait un aller-retour, montrant que la méthode de résolution est intégrée. On peut l’observer dans la fiche B, où l’élève a représenté de manière très similaire le problème et a cette fois, numéroté chaque flèche.



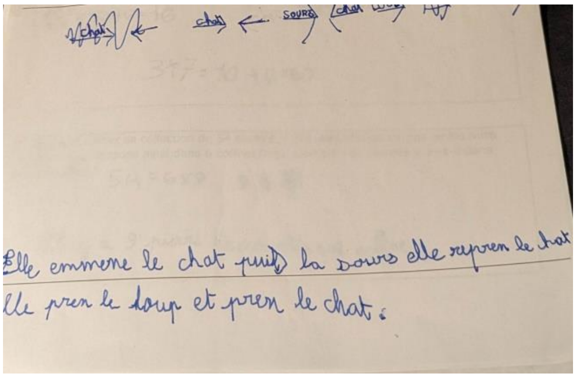
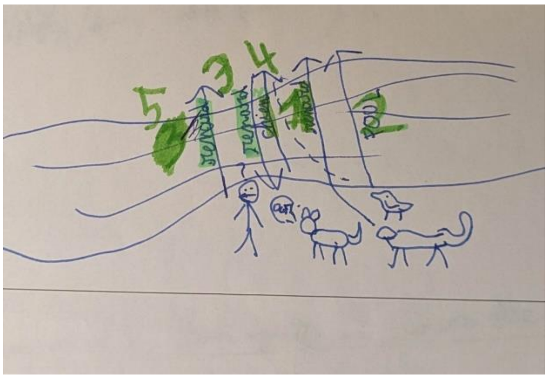


Elève M : Fiche B *Elève I : Fiche B*

Les élèves I et M ont également représenté par des flèches numérotées les déplacements nécessaires. Si l'élève I a conservé une représentation avec dessin, l'élève M n'en a pas ressenti le besoin. Par ailleurs, on peut noter que cet.te élève a représenté la règle d'exclusion en séparant les animaux en deux groupes.

Nous pouvons également nous intéresser aux élèves qui ont résolu le problème sur toute la durée de l'expérience, afin d'observer leurs procédures et voir si une évolution peut être constatée.

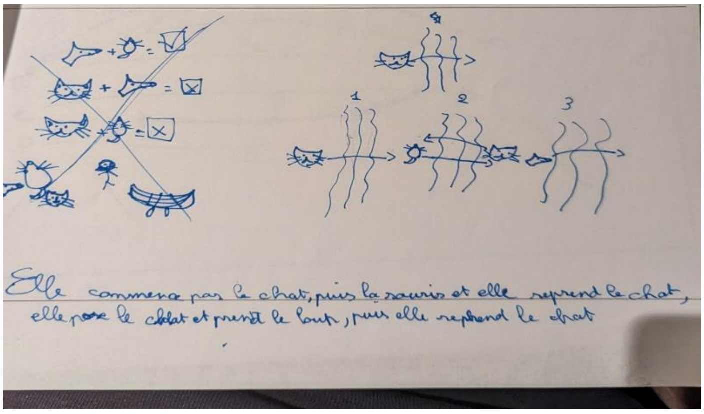
L'élève O connaissait déjà le problème et cela peut s'observer dans la mesure où il n'a pas ressenti le besoin de modéliser le problème d'une quelconque façon pour l'ensemble de l'expérience et a directement écrit dans une phrase réponse les éléments de résolution. Il n'y a donc eu aucune évolution.

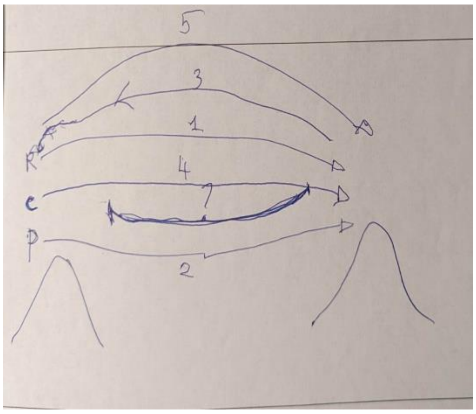
Elève B : Fiche A *Elève B : Fiche*

Néanmoins, l'élève B qui connaissait également le problème, a modifié sa manière de présenter le problème. En effet, sur la fiche A, nous pouvons voir qu'il a utilisé des flèches pour schématiser les déplacements des animaux et il semble y avoir un ordre par lecture de gauche à droite. Bien que cette représentation ne constitue pas une réponse valide (la souris serait mangée par le chat), l'élève a finalement pu formuler une phrase réponse valide. Il est possible que ces flèches ne soient que la modélisation de sa recherche, l'élève ne les considérant pas comme des éléments constitutifs de sa réponse finale mais simplement une aide pour représenter les opérations mentales qu'il effectuait. Sur la fiche B, l'élève a procédé différemment en représentant le problème à l'aide d'un dessin et de flèches sans formuler de phrase réponse. Ici, chaque flèche est associée au nom d'un animal ainsi qu'à un numéro permettant de comprendre l'ordre et le sens de passage de chaque animal.

Cette absence de phrase réponse dans la fiche B par rapport à la fiche A en utilisant des flèches, peut également s'observer sur le travail des élèves A et S.



Elève A : Fiche A



Elève A : Fiche B

En effet, l'élève A a accompagné sa phrase réponse d'un schéma composé de différentes étapes avec des dessins et des flèches mais incomplet, n'étant alors probablement pas considéré comme l'élément de réponse. Nous pouvons également noter qu'en amont, l'élève avait procédé à une modélisation des règles de l'énoncé par des dessins permettant de voir que le chat ne s'entend avec aucun des deux autres animaux. Sur la fiche B, l'élève n'a pas formulé de phrase réponse et n'a pas non plus modélisé les règles par le dessin. En effet, si on peut identifier deux montagnes représentant le départ et l'arrivée de chaque personnage, ces derniers sont chacun représentés par une lettre initiale et leurs mouvements par une flèche ordonnée par un nombre.

Comme nous pouvons le voir, bien qu'ayant commencé à faire des schémas, l'élève S a finalement décidé de donner une phrase réponse lors du premier problème, raturant ses schémas. Il est intéressant de noter que c'est le contraire qui s'est produit lors du second problème. En effet, on peut observer que l'élève a écrit une phrase réponse non valide (la poule est déjà de l'autre côté) qu'il a finalement raturée. On peut envisager que l'élève ait finalement opté pour une modélisation par des flèches et des lettres initiales se lisant de haut en bas, constituant une évolution dans la manière de présenter sa résolution. De même, l'élève a également fait apparaître où se trouvent tous les animaux à chaque étape, donnant davantage de détail à sa réponse schématisée.

Nous pouvons également nous concentrer sur les productions de l'élève P, qui a su répondre pour le premier problème mais pas pour le second. En effet, l'élève a procédé par des flèches de couleurs légendées pour la fiche A avec un ordre de haut en bas. Il a procédé de façon similaire pour la fiche B mais n'a pas proposé de réponse valide. L'animal que l'élève a identifié comme étant à « isoler » dans le problème et donc à faire traverser en premier et en dernier, n'est pas le bon (poule au lieu du renard)

1.2.2. Appréciations du serious game par les élèves

Le questionnaire demandait aux élèves les aspects des jeux qu'ils avaient aimés d'une part et ceux qu'ils n'avaient pas aimés d'autre part, afin d'essayer de faire émerger certains éléments qui ont pu constituer une motivation ou au contraire un obstacle dans l'utilisation du serious game. Cependant, la plupart des réponses sont très succinctes et ne concernent pas un ou des éléments particuliers des jeux mais simplement le ressenti général des élèves. Des réponses telles que « tout », « rien » ou désignant simplement le nom du serious game ont été courantes et ne constituent pas des données pertinentes pour cette étude. En revanche, certaines réponses ont pu émerger et aborder certains éléments du serious game. En effet, si la facilité du jeu a été plusieurs fois commentée, elle ne l'a pas été pour les mêmes raisons. Deux élèves ont décrit la facilité du jeu comme une qualité mais deux autres l'ont justement trouvé « un peu » voire « trop facile » l'identifiant comme un élément qu'ils n'avaient pas aimé du jeu. A contrario, un.e élève a eu tendance à trouver le jeu «un peu difficile » vécu comme un défaut du jeu. Enfin, deux élèves ont déploré certains aspects en lien avec l'ergonomie du jeu, décrivant des difficultés à « mettre rapidement les animaux sur le radeau » ou encore des ralentissements (pouvant être liés à la connexion de la salle et non au jeu). Le chronomètre visible en jeu a pu être une source de frustration pour ces élèves qui souhaitaient terminer la partie le plus rapidement possible mais avaient du mal en raison du matériel.

1.2.3. Conclusion des données qualitatives

Les données qualitatives décrites permettent de constater différentes procédures lors du premier problème, ainsi que des évolutions de ces procédures lors du second problème. En effet, les productions en fiche A présentent une majorité de modélisation par le dessin pour représenter la situation, tandis que certaines présentent les règles de l'énoncé par un schéma ou des flèches. Les élèves ayant résolu le premier problème avaient tendance à simplement formuler une phrase réponse contrairement au second problème où l'on voit émerger davantage de modélisation par le dessin et des schémas fléchés, constituant une évolution dans la manière de résoudre le problème. Par ailleurs, cette utilisation des flèches pour représenter les différents déplacements, demeure la méthode la plus présente sur l'ensemble des productions d'élèves, qu'elle soit accompagnée de dessin ou non. L'émergence de ces flèches dans la seconde production (pour les élèves n'ayant pas résolu la fiche A) semble montrer une évolution dans la compréhension de l'énoncé, intégrant la règle d'un seul animal par déplacement, bien qu'incomplète. Cependant, beaucoup d'élèves ont eu tendance à ne présenter que trois flèches dans leur première production, n'envisageant pas que des allers-retours soient possibles et ne respectant pas la règle d'exclusion d'un animal. Néanmoins, la majorité de ces élèves ont finalement proposé une résolution en 5 déplacements minimum, respectant les règles de l'énoncé qui n'étaient auparavant pas toutes prises en compte. Les appréciations des élèves concernant le serious game ne sont pas assez fournies pour pouvoir constituer des données pertinentes mais on peut noter que quelques élèves semblent avoir été gêné.es par l'ergonomie ou la facilité du jeu.

1.3. Conclusion des données globales pour les problèmes logiques

Les données quantitatives et qualitatives recueillies semblent montrer une amélioration notable des productions des élèves entre la fiche A et la fiche B. En effet, les élèves qui n'avaient pas résolu le premier problème ont en majorité réussi au second. Cette amélioration peut s'observer à travers les procédures des élèves, qui témoignent un nouveau degré de compréhension de l'énoncé en utilisant davantage de schémas et de flèches et moins de dessin contextualisant. Cette réussite plus importante de la fiche B s'accompagne également d'un sentiment de facilité accrue pour cette dernière par les élèves, comme en témoigne les résultats du questionnaire. Les productions d'élèves du second problème montrent également certains éléments absents dans le premier et on peut se demander si le serious game a pu jouer un rôle dans cette évolution. En effet, plusieurs productions présentent des éléments que le jeu proposait également (représenter les animaux qui sont sur le bord pendant le déplacement, personnage humain davantage présent sur les productions avec dessin...). De plus, les données semblent montrer que parmi les élèves en difficulté pour le fiche A, ceux ayant obtenu un score proche de 7 ont eu tendance à réussir la fiche B. Cela pourrait impliquer une influence du serious game dans la compréhension du problème. Cependant, un peu plus de la moitié des élèves n'a pas jugé pertinente l'utilisation du serious game et on peut se demander si l'amélioration globale des élèves ne peut pas s'expliquer autrement. Ainsi, l'influence du serious game dans l'évolution des résultats fera l'objet d'une discussion ultérieurement.

2. Problèmes arithmétiques

Nous allons à présent procéder de façon similaire à la présentation des résultats obtenues concernant les problèmes arithmétiques. Nous verrons dans un premier temps les données quantitatives obtenues, puis les données qualitatives afin d'accéder aux procédures des élèves et identifier si une évolution peut être observée.

2.1. Description et analyse quantitative

Les données quantitatives relevées dans l'expérimentation concernent tout d'abord la réussite des élèves aux différents problèmes écrits qui leur ont été proposés, ainsi qu'aux différents serious games. Nous verrons ensuite, les difficultés ressenties par les élèves concernant ces problèmes écrits.

2.1.1. Réponses des élèves aux problèmes

Comme précédemment, les réponses des élèves ont été étudiées et classées en deux catégories dans le tableau 2 comme suit : réponses valides en vert et réponses non valides en rouge. Les deux fiches problèmes comportant chacune 3 problèmes, ces derniers ont été séparés pour les différencier. Ainsi, le problème 1 de la fiche 1 peut être identifié comme le premier problème sur lequel les élèves ont travaillé sur cette fiche, tandis que le problème 6 est le dernier problème de la fiche 2. Les résultats des serious games sont exprimés selon le score obtenu par les élèves à chacun d'eux. Comme nous l'avons vu précédemment, l'expérimentation explorait la résolution de 3 types de problèmes à travers les différents problèmes comme suit :

Typologie	Multiplication	« Plus que » « Fois plus que »	Division partition
Problème écrit	1 et 4	2 et 5	3 et 6
Serious games	Kidaia 1 Score/10	Schémas Score/11	Kidaia 2 Score/10

Tableau 2. *Résultats de la résolution des problèmes arithmétiques sur l'ensemble de l'expérience.*

Elève	**Fiche 1**			**Serious games**			**Fiche 2**		
	1	**2**	**3**	**Kidaia 1**	**Kidaia 2**	**Schémas**	**4**	**5**	**6**
A				10	10	11			
B				10	10	11			
C				10	10	11			
D				10	10	11			
E				10	10	11			
F				10	10	11			
G				10	10	11			
H				10	10	11			
I				10	10	11			
J				10	10	11			
K				10	10	11			
L				10	10	11			
M				10	10	11			
N				10	10	11			
O				10	10	11			
P				10	10	11			
Q				10	10	11			
R				10	10	11			
S				10	10	11			
T				10	10	11			

Tout d’abord, nous pouvons faire un premier constat : tous les élèves ont su résoudre les problèmes proposés par chaque serious game, contrairement aux problèmes écrits. De plus, 11 élèves sur 20 ont su résoudre l’ensemble des problèmes écrits proposés, soit un peu plus de la moitié de l’échantillon. Parmi les problèmes non résolus, nous pouvons remarquer que les problèmes 2 et 5 sont en importante majorité, puisqu’ils en représentent 80%, soit 16/20. Notons par ailleurs, que les 20% restants concernent les problèmes 3 et 6, les problèmes 1 et 4 ayant tous été résolus. Il semblerait donc que les élèves aient eu des difficultés en particulier avec un type de problème, « plus que, fois plus que », qui était travaillé dans les deux problèmes du serious game « Schémas ». En étudiant la répartition de ce type de problème, on peut également observer qu’elle semble être constante. En effet, parmi les 9 élèves n’ayant pas pu résoudre le problème 5, déjà 7 d’entre eux n’étaient pas parvenu.es à fournir une réponse valide pour le problème 2. Il est intéressant de noter que parmi les 2 élèves qui avaient pourtant résolu ce type de problème sur la fiche 1, l’élève C avait résolu tous les problèmes, tandis que l’élève N avait fait erreur sur un autre type de problème, soit le problème 3.

2.1.2 Réponses des élèves aux questionnaires

Les élèves ont répondu à deux questions leur demandant de déterminer le degré de difficulté ressenti en travaillant sur les problèmes écrits. Chaque question portait sur une fiche problème (fiche 1, puis fiche 2), englobant les trois problèmes, les élèves ne pouvaient donc pas désigner un problème précis. Ils ont également répondu s’ils avaient pu se sentir aidé.es par l’utilisation d’un jeu sur ordinateur pour résoudre des problèmes

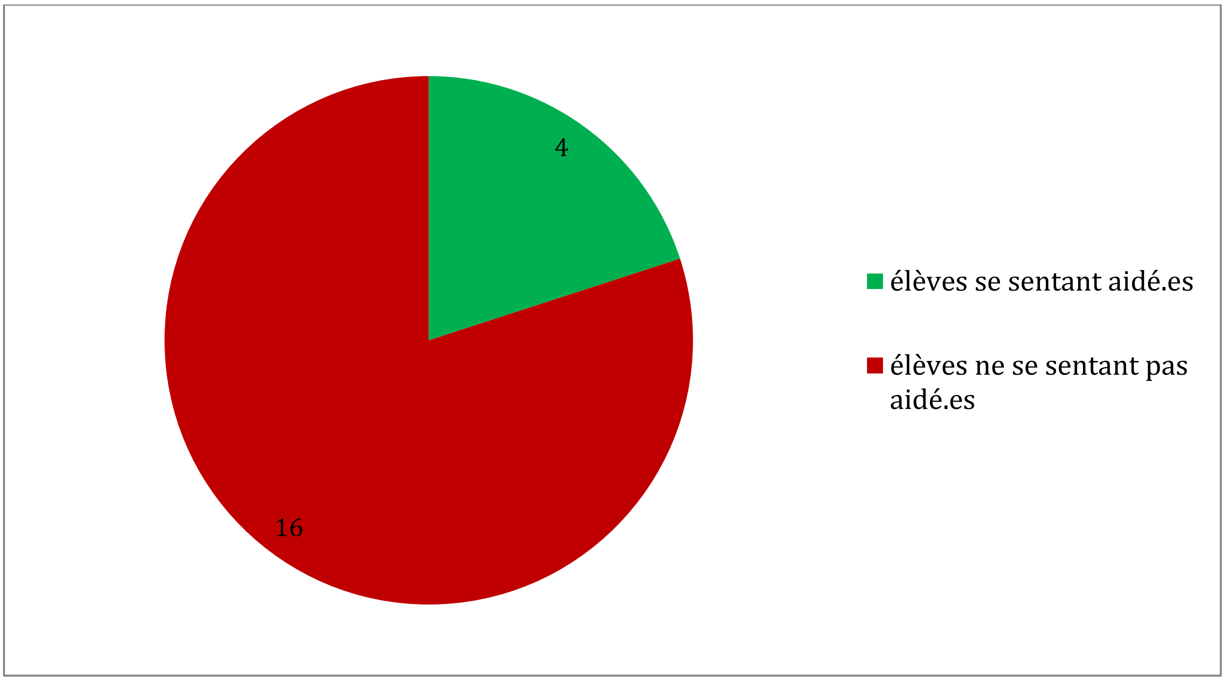


Figure 12. *Distribution des élèves en fonction de l'aide du serious game dans la résolution de problèmes arithmétiques.*

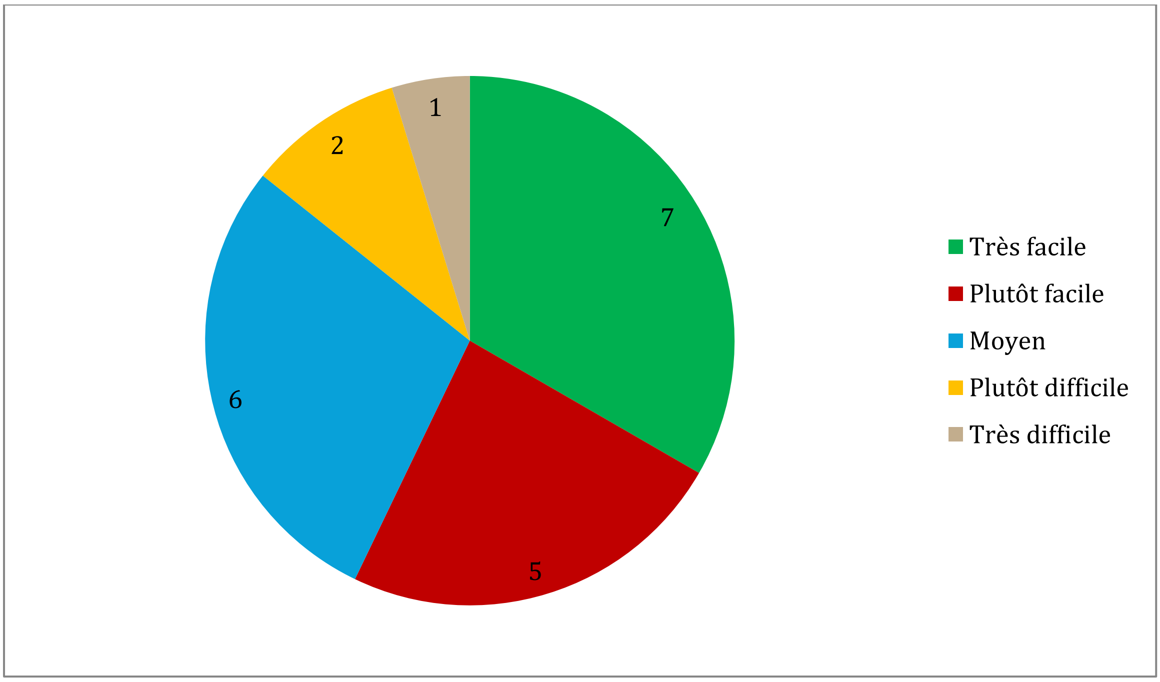


Figure 13. *Distribution des élèves en fonction du degré de difficulté ressenti sur les problèmes arithmétiques de la fiche 1.*

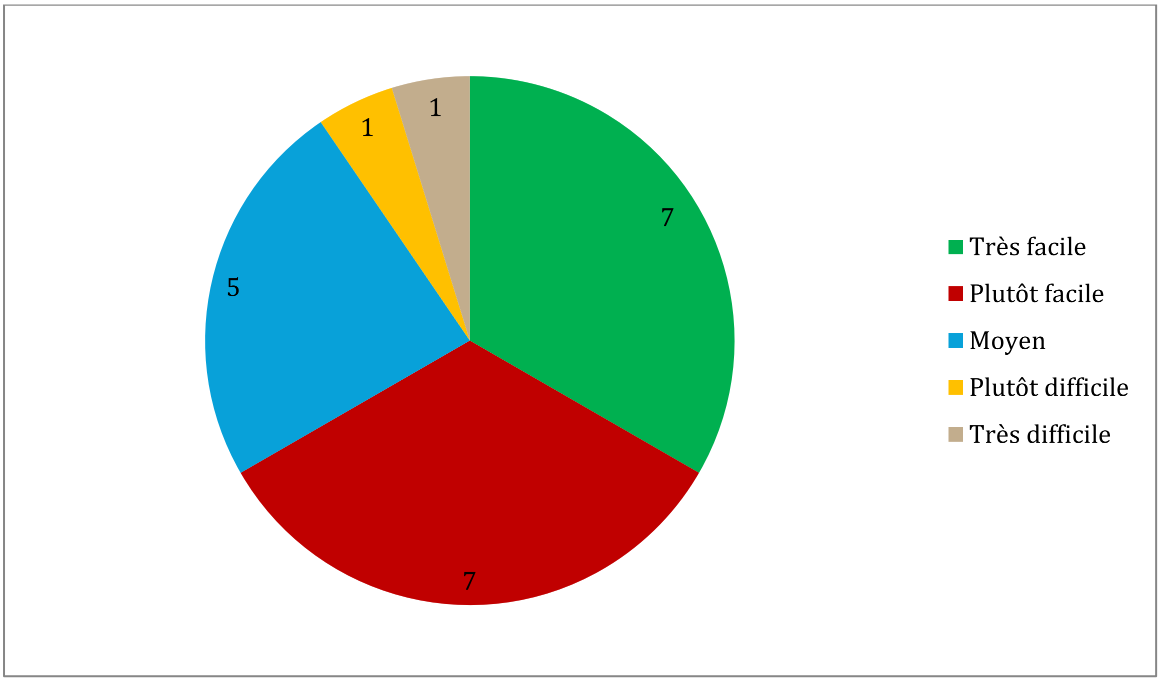


Figure 14. *Distribution des élèves en fonction du degré de difficulté ressenti sur les problèmes arithmétiques de la fiche 2.*

Tout d'abord, nous pouvons voir sur la figure 12 que 80% du groupe, soit 16 élèves, ont estimé que le travail sur ordinateur n'avait pas fourni une aide pour résoudre les problèmes. Cette majorité de réponses négatives semble aller dans le sens des figures 13 et 14. En effet, on peut voir que les élèves ont majoritairement trouvé les problèmes de la fiche 1 faciles, puisque les réponses « très faciles » et « plutôt faciles » représentent respectivement 35 et 25% des réponses totales. On peut cependant noter que 30% des élèves ont également répondu « moyen ». En outre, comme nous pouvons le voir sur la figure 14, la répartition de ces réponses n'évolue quasiment pas concernant la difficulté de la fiche 2.

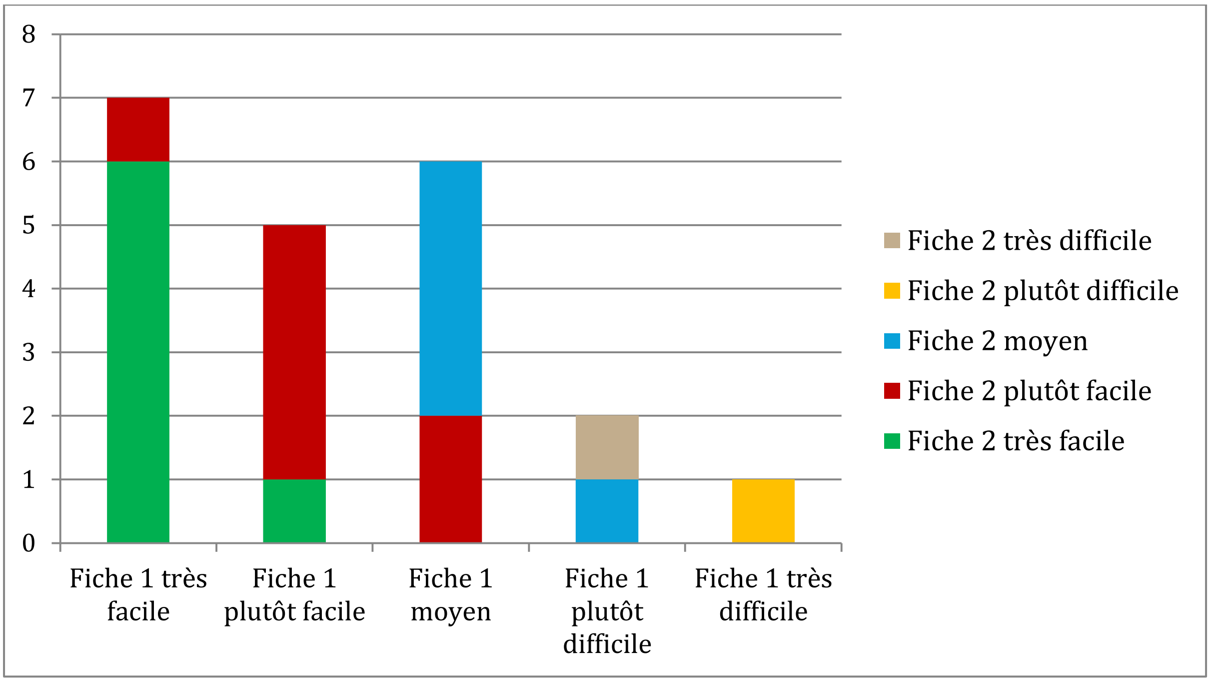


Figure 15. *Distribution des élèves en fonction de la difficulté ressentie pour l'ensemble des problèmes arithmétiques.*

De plus, comme le montre la figure 15 ci-dessus, les réponses des élèves n'ont que peu évolué concernant la difficulté ressentie entre la fiche 1 et 2. En effet, seulement un.e élève qui avait trouvé les premiers problèmes « très faciles » a finalement choisi la réponse « plutôt facile » par exemple. Nous pouvons noter que les quelques mobilités observées entre la fiche 1 et 2 sont légères et aucun.e élève ayant trouvé très facile la fiche 1, a finalement éprouvé de difficultés sur la fiche 2. Par ailleurs, en regardant les élèves ayant trouvé difficiles les problèmes de la fiche 2, on remarque que ce sont ceux qui avaient déjà éprouvé des difficultés pour la fiche 1 et avaient répondu « plutôt difficile » et « très difficile », montrant encore les mobilités minimes entre les degrés de réponses.

2.1.3. Conclusion des données quantitatives

Les données que nous venons de commenter nous permettent de faire plusieurs observations. En effet, les problèmes qui ont posé le plus de difficultés aux élèves sont ceux incluant « plus que, fois plus que » dans leur énoncé. Ces difficultés peuvent s'observer en comparant les résultats de la fiche 1 et la fiche 2, qui montrent que les élèves n'ayant pas su résoudre le problème 2, ont eu tendance à ne pas y arriver non plus avec le problème 5. Ces difficultés ont donc persisté et ce malgré le travail des élèves sur les serious games. En effet, les élèves ayant tous été capables de résoudre les problèmes des serious games, une amélioration des performances en résolution aurait pu être notée. Cependant, il se peut que les serious games n'aient en effet pas eu d'influence sur les apprentissages des élèves, comme en témoignent les réponses aux questionnaires des élèves. Ces derniers ont estimé en grande majorité ne pas avoir été aidé.es par l'utilisation des serious games, pouvant expliquer ainsi la constance des données obtenues. La difficulté ressentie par les élèves est également globalement stable d'une fiche à l'autre et les élèves ayant répondu avoir eu des difficultés semblent les avoir conservées pendant l'étape suivante. De même, les élèves ayant ressenti des facilités dans la résolution des premiers problèmes, en ont également eues pour les suivants. Ainsi, les données quantitatives tendent à montrer que les serious games ne semblent pas avoir eu d'influence sur la résolution de problème des élèves. Néanmoins, une analyse des productions des élèves pourrait permettre de déterminer si les procédures des élèves n'ont pas été influencées par des éléments des serious games.

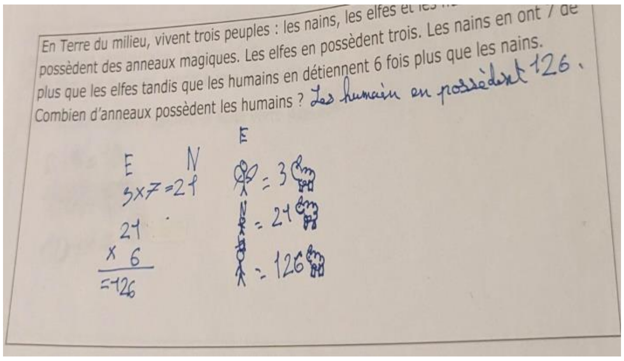
2.2. Description et analyse qualitative

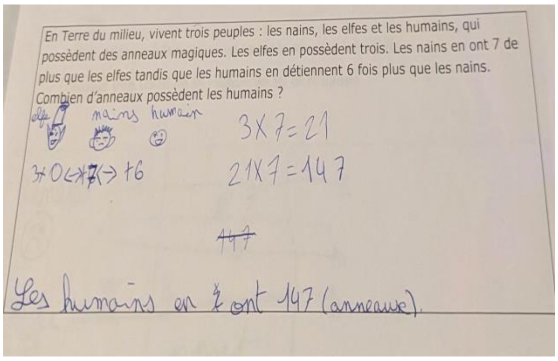
L'analyse qualitative comprendra donc les productions des élèves, se concentrant notamment sur les différents types de procédures opérés par les élèves, ainsi que sur les types d'erreurs observés afin de déterminer s'il y a eu une évolution dans la résolution de problèmes. De plus, nous verrons également les retours de questionnaires concernant les aspects des jeux que les élèves ont appréciés et ceux qu'ils n'ont pas appréciés.

2.2.1. Productions des élèves

Tout d'abord, nous pouvons nous nous concentrer sur les productions des élèves n'ayant pas résolu le problème 2 et les classer selon les erreurs observables.

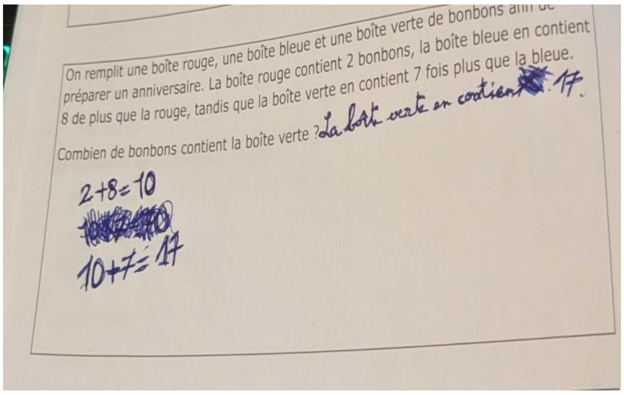
En effet, 5 productions présentent une erreur dans la modélisation du problème 2, en effectuant deux multiplications. Or, le problème présentant successivement des formulations en « plus que » et « fois plus que » induisait une addition et une multiplication.

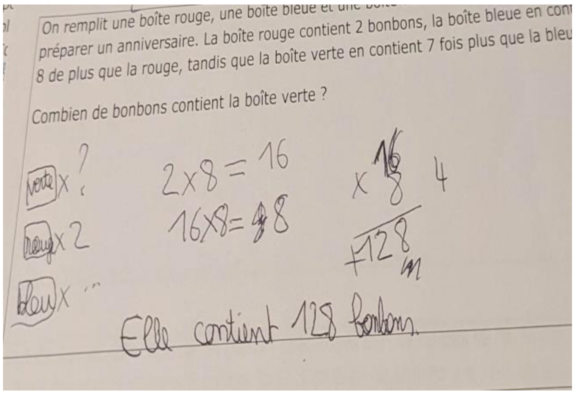




Elève K : problème 2 *Elève T : problème 2*

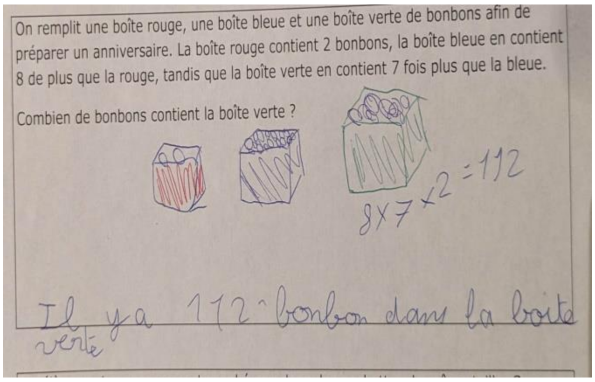
Ainsi, on peut voir par exemple que les élèves K et T ont tout d'abord représenté les trois peuples du problème par des dessins sommaires, ainsi que les quantités correspondantes. On peut d'ailleurs noter que l'élève K a confondu les mots « anneaux » et « agneaux », bien que cela n'ait pas dû avoir une influence importante sur la résolution du problème. L'élève T a également utilisé la mauvaise valeur numérique de l'énoncé dans sa dernière opération, en multipliant par 7 et non par 6. De plus, on peut noter que les valeurs écrites sous les dessins ne correspondent pas à celles des opérations effectuées. L'élève avait écrit « +7 » et « +6 », impliquant le champ additif au lieu du champ multiplicatif finalement utilisé.

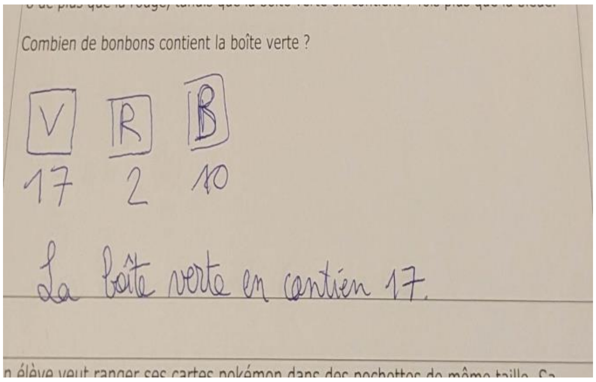




Elève K : problème 5 *Elève T : problème 5*

L'élève T a présenté la même erreur de modélisation lors du problème 5 en n'utilisant que des multiplications mais également en utilisant une mauvaise valeur numérique pour la dernière opération. Cette confusion pourrait être due à une surcharge cognitive mais la présence d'erreurs analogues par rapport au problème précédent peut également signifier qu'un raisonnement erroné est à l'œuvre chez l'élève et non un simple manque d'attention. L'élève K a quant à lui, proposé une mauvaise modélisation composée uniquement d'additions, bien qu'il semble que le résultat (70) ait à l'origine été trouvé avant d'être raturé. On peut noter également l'absence de schéma dans le raisonnement.

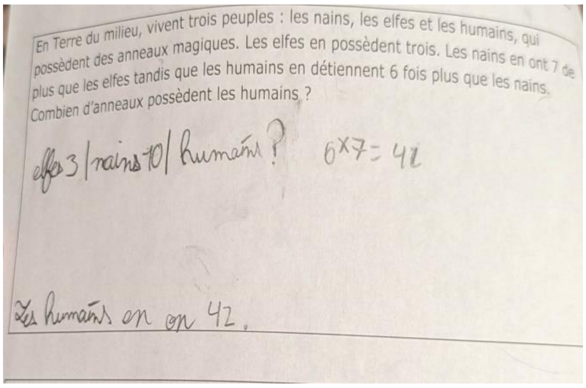


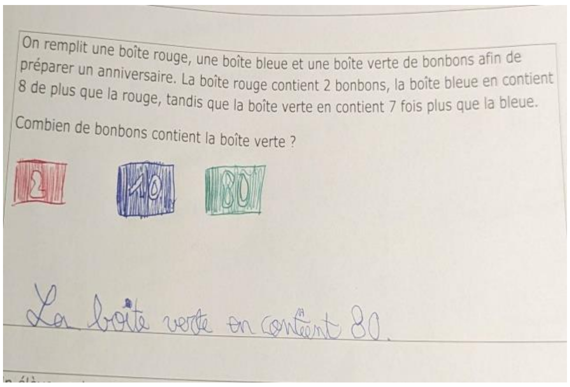


Elève C : problème 5

Elève N : problème 5

D'autres élèves, bien qu'ayant résolu le problème 2, ont finalement utilisé une modélisation erronée pour le problème 5. En effet, comme nous pouvons le voir, l'élève C a modélisé uniquement avec des multiplications tandis que l'élève N, bien que n'ayant pas modélisé d'opérations et résolu par calcul mental, on peut déduire une résolution par additions successives. (3+7 ;10+7).



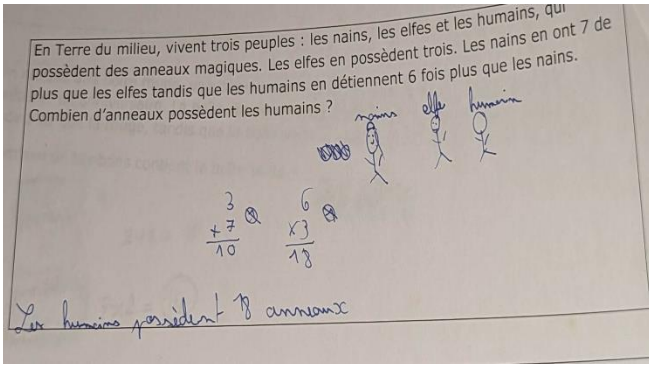


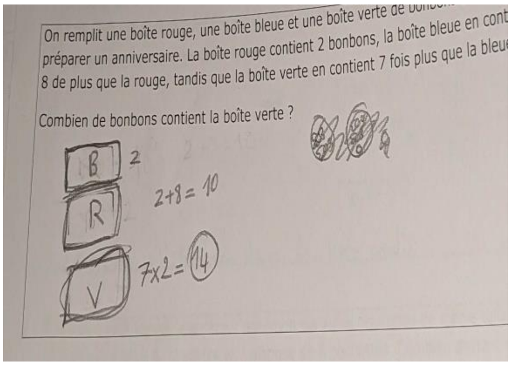
Elève I : problème 2

Elève I : problème 5

D’autres élèves, bien qu’ayant modélisé les bonnes opérations, ont néanmoins utilisé de mauvaises valeurs numériques dans le problème 2. C’est notamment le cas de l’élève I, qui avait trouvé la valeur correspondante pour les nains (10) et identifié que l’opération permettant de trouver la valeur pour les humains était une multiplication. Cependant, au lieu d’utiliser la valeur 10 qu’il avait calculée, il a utilisé le 7. Cela pourrait s’expliquer par le fait que l’élève en cherchant le nombre d’anneaux des nains, s’est référé.e à l’énoncé au lieu de la valeur qu’il avait calculée et a pu ainsi lire « Les nains en ont 7... ».

Une erreur similaire semble être à l’origine de la non résolution du problème 5 pour cet.te élève, bien qu’aucune modélisation opératoire ne soit observable. L’élève a encore une fois pu trouver la deuxième valeur (10) mais le résultat final de 80 implique qu’il a fait l’opération 10x8 au lieu de 10x7, se trompant ainsi de valeur dans l’énoncé.





Elève Q : problème 2 *Elève Q : problème 5*

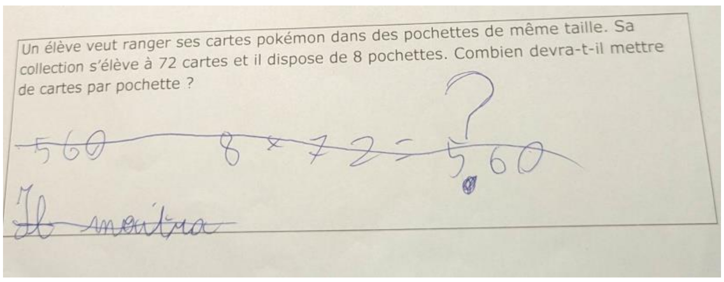
Une autre production à présenter ce type d’erreur est celle de l’élève Q. Là encore, l’élève a modélisé avec deux multiplications et a su calculer le nombre d’anneaux des nains de 10. Cependant, l’élève a ensuite effectué 6x3, ne reprenant pas la valeur qu’il avait calculée. Il est possible que l’élève ait eu des difficultés à donner du sens aux valeurs numériques du problème par rapport aux personnages. Ceci pourrait expliquer pourquoi l’élève a dessiné les trois peuples mais n’a pas écrit de valeurs correspondantes à chacun, ne sachant pas à quoi correspondent les données de l’énoncé et de ses calculs.

Ce type d’erreur se retrouve également dans sa résolution du problème 5 où l’élève a échangé les valeurs des boîtes bleues et rouges sur son schéma, probablement en reportant les données de l’énoncé. En effet, l’élève a placé la boîte bleue en premier dans le sens de lecture (de haut en bas) alors que la première valeur (2) concerne la boîte rouge. Ainsi, il est possible que l'élève ait reporté la valeur sur la mauvaise boîte par inattention. De plus, il est intéressant de noter que la multiplication finale 7x2 n'utilise pas le résultat obtenu avec l'addition précédente 2+8. En ce sens, l'élève ne semble pas en avoir pris conscience et peut impliquer que l'élève a eu tendance à ne pas effectuer de contrôle sur son raisonnement en résolution et a eu du mal à donner du sens aux données numériques du problème.

Concernant les problèmes 3 et 6 qui ont posé des difficultés à un léger nombre d'élèves, nous pouvons commenter rapidement les erreurs qui ont été faites.

Tout d'abord, les élèves N et P ne sont pas parvenu.es à résoudre le problème 3 par une erreur de modélisation du problème. En effet, ce problème induisait une division partition, où l'on cherche à déterminer la valeur de chaque groupe dans un partage équitable. Or, les élèves ont effectué une opération multiplicative comme s'ils cherchaient à répondre à un problème de type « multiplication » comme c'est le cas des problèmes 1 et 4. Ainsi, les élèves ne sont pas parvenu.es à identifier le but de la question, ce qui était cherché. Cette modélisation pourrait être due à des automatismes que les élèves ont pu développer avec le temps en identifiant le problème comme une multiplication et n'analysant pas suffisamment la question. Ils pourraient également avoir été influencé par le problème 1 et avoir raisonné par analogie en l'identifiant comme un problème similaire.

Si l'élève P est finalement parvenu.e à résoudre le problème 4, ce n'est pas le cas de l'élève N. En effet, ce.tte dernier.e a de nouveau modélisé le problème par une multiplication posée, dont la résolution est également erronée car l'élève a oublié de compter la retenue.



Elève J : problème 5

De plus, bien qu'ayant résolu le problème 3, l'élève J n'a pas pu résoudre le problème 6. En effet, bien qu'ayant raturé toute sa réponse, on peut observer que l'élève avait modélisé le problème par la multiplication 8x72 (dont la résolution est erronée). Néanmoins, le fait que l'élève ait raturé l'ensemble de sa réponse peut induire qu'il a effectué un contrôle sur le raisonnement opéré ainsi que sur le résultat obtenu. Ainsi, bien que n'ayant pas la résolution, l'élève pourrait avoir été conscient que sa proposition ne convenait pas.

Concernant les problèmes 1 et 4, qui ont été résolus par tous les élèves, aucune évolution notable des procédures n'a été observée et les procédures des élèves étaient très similaires, probablement due à l'habitude qu'ont les élèves de CM1 de travailler sur ce type de problème. Ainsi, aucune erreur de modélisation ou de résolution de calcul n'a été enregistrée.

De plus, les productions des 11 élèves ayant résolu l'ensemble des problèmes et notamment les problèmes 2 et 5 (qui ont posé le plus de difficultés aux autres élèves) ne permettent pas d'identifier une évolution dans le traitement des problèmes après le passage devant les serious games. En effet, ces élèves ont modélisé successivement une addition et une multiplication et accompagné d'un schéma. Peu de variations entre les élèves ont été observées et donc la présentation de leur analyse ne serait pas pertinente pour l'étude.

2.2.2. Appréciation des serious games par les élèves

Comme nous avons pu le voir avec les problèmes logiques, les réponses des élèves ont été plutôt lapidaires et peu exploitables. De plus, les questions englobant le ressenti sur l'ensemble des serious games, il est difficile de savoir de quels serious games il pouvait s'agir. Cependant, certaines réponses mentionnaient les jeux de résolution de problèmes mathématiques Ainsi, une réponse indiquait des difficultés à écrire avec la souris dans les serious games mathématiques. De plus, une autre réponse identifiait Kidaia comme le jeu que l'élève a préféré. Enfin, une autre réponse indiquait avoir apprécié qu'il y ait « un rapport avec tous les jeux » auquel l'élève avait joué. Ainsi, les réponses des élèves ne permettent pas de soulever certains éléments déterminants des serious games et ne constituent donc pas des données pertinentes pour l'étude.

2.2.3. Conclusion des données qualitatives

L'analyse des productions d'élèves a permis de faire émerger deux types d'erreurs principalement. Tout d'abord, les erreurs de modélisation ont été les plus courantes dans les copies d'élèves. C'est notamment le cas pour les problèmes du type « plus que, fois plus que » où les élèves ont eu tendance à n'utiliser que des multiplications ou uniquement des additions. Ainsi, les élèves qui ont mal modélisé lors du problème 2, ont quasiment tous fait le même type d'erreur lors de la résolution du problème 5, pouvant signifier que les élèves ont eu des difficultés particulières avec ces problèmes-là. Il semblerait donc que ces élèves aient eu du mal à comprendre les relations mathématiques entre les valeurs de l'énoncé ou encore à faire abstraction des automatismes induits par certaines formulations (« plus que »). L'autre type d'erreur semble toucher une confusion des données numériques de l'énoncé. En effet, certain.es élèves ont su modéliser correctement à l'aide des bonnes opérations mais les valeurs utilisées étaient incorrectes, qu'elles soient issues de l'énoncé ou obtenues par des opérations. Ainsi, certain.es pourraient avoir eu des difficultés à donner du sens aux valeurs de l'énoncé et celles obtenues après calculs ou encore par perte de concentration. On peut également noter les erreurs de calcul opératoires de certain.es élèves mais qui demeurent rares. Cette analyse des productions d'élèves a également permis de constater une certaine continuité dans les procédures des élèves entre la fiche 1 et la fiche 2, ne comprenant pas d'éléments constitutifs des serious games. Enfin, les réponses des questionnaires n'ont pu apporter de données exploitables pour l'étude.

2.3. Conclusion des données globales des problèmes mathématiques

Pour conclure l'analyse de toutes les données recueillies, nous pouvons débuter par le constat que certaines données coïncident. En effet, l'analyse quantitative permet de voir que les élèves ont eu tendance à résoudre et faire des erreurs sur des problèmes similaires d'une fiche à l'autre. Ainsi, la grande majorité des élèves n'ayant pas su résoudre le problème 2, n'y sont pas parvenus pour le problème 5. Cette constance a pu se confirmer par l'analyse des productions d'élèves qui montrent que les élèves ont utilisé les mêmes procédures d'une fiche à l'autre, ainsi que les mêmes erreurs. A cela s'ajoutent également la difficulté ressentie par les élèves qui a également eu tendance à ne pas fluctuer durant l'expérimentation, traduisant donc une absence d'amélioration ou dépréciation des élèves. Cependant, les réponses majoritairement orientées vers le pôle « facile » ne coïncident pas tout à fait avec les résultats des élèves aux problèmes proposés. Les résultats continus qui ont été obtenus contrastent également avec les scores de réussite aux serious games. En effet, la totalité de l'échantillon d'élèves a obtenu une note parfaite sur l'ensemble des serious games, malgré une réussite moins importante sur les problèmes écrits et notamment sur la fiche 2. Il semblerait donc que les serious games n'aient pas pu jouer de rôle significatif dans la résolution de problème.

Par ailleurs, la grande majorité des élèves n'ayant pas estimé les serious games comme une aide notable dans la résolution de problèmes, semble aller dans ce sens également, bien que cette observation soit également à mettre en lien avec le sentiment de facilité majoritaire vécu par les élèves. En effet, les élèves pourraient difficilement estimer avoir bénéficié d'une aide dont ils n'ont pas besoin. Ainsi, la pertinence des serious games est remise en cause par les données obtenues. Cependant, il s'agit également d'essayer de discuter ces données en essayant de comprendre pourquoi de tels résultats ont été obtenus.

Discussion

Il s’agit à présent de déterminer le sens des résultats obtenus et ce qu’ils impliquent dans le cadre de notre étude. Pour ce faire, nous pouvons procéder à un état des lieux concernant les hypothèses que nous avions formulées précédemment et voir si elles ont pu être vérifiées ou non. Ensuite, nous pourrons essayer de comprendre pourquoi nous avons obtenu de tels résultats et également discuter si le protocole expérimental était bien adapté à l’objectif de l’étude.

1. Discussion des résultats du problème logique

1.1. Hypothèse

D’après l’hypothèse générale formulée en amont de l’expérimentation, nous pouvions nous attendre à ce que les capacités de résolution de problèmes logiques des élèves soient améliorées après un travail effectué sur un serious game dédié. Opérationnellement dans le cadre de notre étude, cela se manifesterait donc par une augmentation des réponses valides des élèves au problème logique, après l’utilisation du serious game.

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons dire que cette hypothèse a été validée par l’expérience. En effet, comme nous l’avons vu, la majeure partie des élèves qui n’étaient pas parvenu.es à résoudre le premier problème, ont finalement réussi pour le second.

1.2. Explication des résultats

En conclusion de l’analyse des données globales du recueil, nous avions pu faire différents constats. En effet, la majorité des élèves ont eu tendance à s’améliorer lors du second problème. Cela s’observe évidemment par leurs réponses validées en plus grand nombre mais également par les procédures observées dans les productions. Les élèves ne réussissant pas au premier problème, proposaient en générale une réponse incomplète ne prenant pas en compte toutes les règles de l’énoncé et se traduisant souvent par un raisonnement en seulement 3 étapes. Cela peut s’expliquer par le fait que les élèves n’arrivaient pas à envisager que des allers-retours étaient possibles, puisque ce fait est implicite dans l’énoncé. Les élèves semblent habitué.es à utiliser strictement les données des énoncés et notamment celles numériques, qui pourrait expliquer qu'ils aient eu le raisonnement « il y a 3 animaux, donc 3 voyages à faire » mais il faudrait effectuer davantage de recherches pour confirmer cette hypothèse.

De plus, cette amélioration des procédures peut s'exprimer aussi chez les élèves n'ayant pas réussi l'ensemble des problèmes. En effet, même si leurs réponses (fiche B) sont encore incomplètes, on peut noter un niveau supérieur de compréhension de l'énoncé et des règles du problème avec l'émergence de flèches caractérisant le déplacement d'un animal à la fois ou encore de schéma modélisant la règle d'exclusion d'un animal.

Les élèves qui avaient résolu le premier problème par une phrase réponse seule ont également modifié leur résolution dans le second, où l'on peut noter l'émergence de dessin, de flèches et détails plus fournis mais davantage ancrés dans le symbolisme et la schématisation.

Ces constats peuvent induire que le serious game a pu avoir une influence sur les élèves. En effet, l'apparition importante de flèches sur l'ensemble des copies pourrait être due à la structure du jeu car ce dernier anime les déplacements des personnages et la résolution se fait par l'action et non pas des phrases réponses.

De plus, les élèves qui ont eu tendance à dessiner sur le second problème, pourrait avoir été influencé.es par les illustrations du jeu. On peut alors se demander s'ils ont eu recourt au dessin par nécessité pour représenter le problème ou bien par analogie avec le serious game, ayant identifié qu'il s'agissait d'un problème similaire.

La structure du serious game pourrait aussi avoir permis aux élèves un meilleur contrôle de leurs actions et une compréhension supérieure des règles de l'énoncé. En effet, lorsqu'on essaie de réaliser une action qui n'est pas possible à cause des règles de l'énoncé, le jeu le signale et indique également la conséquence de l'action. Ce retour sur les actions des élèves pourrait avoir eu pour effet de développer la méthodologie de résolution du problème, où l'importance est de savoir identifier quelles actions sont impossibles, étape par étape.

Cependant, on peut noter certaines dissonances : les élèves ont en majorité résolu le problème B en 5 étapes, tandis que le jeu le faisait en 7. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que les élèves n'ont pas jugé pertinent de représenter les déplacements de l'éleveur ou n'y ont simplement pas pensé. Les élèves ont d'ailleurs souvent omis de représenter le personnage humain, se concentrant uniquement sur les animaux, ce qui pourrait expliquer l'absence des 2 déplacements supplémentaires.

De plus, concernant l'évolution des ressentis sur la difficulté, même si les élèves ayant trouvé le premier problème difficile ont eu tendance à trouver le second facile, on peut noter que ceux ayant répondu « moyen » n'ont que peu fait évoluer leur réponse par la suite. Ainsi, cela pourrait signifier que les élèves n'ont pas estimé avoir progressé après l'utilisation du serious game. D'ailleurs, un peu moins de la moitié des élèves estime ne pas avoir été aidée par son utilisation. Cependant, il est nécessaire de prendre du recul sur les réponses des élèves aux questionnaires car le ressenti des élèves ne peut pas être strictement mis en lien avec la réussite aux problèmes. Un.e élève ayant trouvé le problème difficile pourrait tout aussi bien avoir réussi à les résoudre et l'inverse également. De plus, les élèves n'ayant pas eu accès à une correction et n'ayant pas l'habitude de ce type de problème, il a pu être difficile pour eux de se positionner concernant la difficulté vécue. La verbalisation des métacognitions demeure difficile pour des élèves de cet âge et doit faire l'objet d'un apprentissage continu (Bosson et al., 2009).

1.3 Limites de l'étude

Cependant, on peut se demander si les élèves ont réellement progressé uniquement par l'utilisation du serious game. En effet, la réussite du problème B pourrait être simplement due à la répétition de problèmes analogue. Les élèves ont pu travailler sur trois exemplaires très similaires du même problème, ainsi, le serious game pourrait bien ne pas avoir joué un rôle par ses caractéristiques informatiques mais simplement par la répétition d'un même exercice. On peut donc se demander quels résultats nous aurions obtenus si les élèves avaient effectué les mêmes tâches sur des versions strictement papier. Ainsi, un protocole complémentaire pourrait être de comparer les résultats d'un groupe témoin uniquement sur papier et ceux d'un groupe ayant travaillé aussi sur serious game.

De plus, nous avons pu voir que le jeu procurait des retours sur actions aux élèves (que la version papier ne fait pas) mais nous pouvons nous demander si ce sont bien là des caractéristiques exclusives au serious game. En effet, un tel problème pourrait être proposé aux élèves sous forme de problème de recherche en classe et faire travailler les élèves par binômes. Les échanges entre eux pourraient amener les élèves à effectuer ce contrôle (règles bien respectées ?) et faire émerger les stratégies. Il serait également intéressant de proposer aux élèves d'autres problèmes de ce type, afin d'évaluer si des apprentissages ont réellement été faits et s'ils vont être conservés dans le temps. Nous pourrions aussi faire évoluer le problème en complexifiant son énoncé, le nombre de personnages, les règles etc afin de voir si une méthodologie dans le raisonnement des élèves a été établie et si les compétences acquises peuvent être remobilisées.

En outre, les questionnaires pourraient être repensés et reformulés. En effet, les questions semblent un peu trop ouvertes pour les élèves et auraient dû cibler davantage les éléments attendus. C'est notamment le cas de la question abordant les aspects aimés par les élèves, qui était bien trop ouverte et concernait tous les serious games.

Enfin, une étude comparant différents serious games pourrait être pertinente afin de faire émerger les avantages et les inconvénients pédagogiques des serious games. Néanmoins, il faudrait pour cela rassembler un échantillon de serious games travaillant des compétences similaires, ce qui est difficile pour l'heure concernant les problèmes logiques.

2. Discussion des résultats des problèmes arithmétiques

2.1. Hypothèse

L'hypothèse générale formulée précédemment n'attendait pas une amélioration des capacités de résolution de problèmes arithmétiques des élèves après l'utilisation de serious games. Dans le cadre de l'expérience, nous n'attendions donc pas une augmentation notable des résultats d'élèves après l'utilisation des serious games sélectionnés.

Cette hypothèse a également pu être validée par l'expérience, les élèves ayant enregistré des scores similaires entre la fiche 1 et la fiche 2.

2.2. Explication des résultats

Comme nous avons pu le voir, un type de problème en particulier semble avoir présenté des difficultés aux élèves : les problèmes 2 et 5 du type « plus que, fois plus que ». Les élèves ont eu principalement des difficultés à modéliser les bonnes opérations en utilisant de manière erronée les champs additifs et multiplicatifs. Ces erreurs semblent liées à la formulation de l'énoncé qui présente successivement « plus que » et « fois plus que », qui semblent analogues mais induisent un rapport mathématique différent. En effet, les élèves ont tendance à fonctionner par heuristiques et donc associer le mot « plus » au champ additif (Hanina &

Van Nieuwenhoven, 2018). Cependant, les élèves ont pourtant tous obtenu la note maximale au serious game « Problèmes avec schémas » qui comprenait des exercices avec « plus que » d'une part et «fois plus que » d'autre part. Puisque ces derniers n'ont pas posé de difficultés particulières aux élèves, on peut donc en déduire que les problèmes écrits proposés étaient d'un niveau de difficulté bien supérieur. En effet, la présence simultané des deux types de problèmes (plus que et fois plus que) dans un seul problème et très rapprochés dans l'énoncé, a pu constituer une difficulté supplémentaire (Houdement, 2017). La réussite des problèmes dans le serious game montre que les élèves sont capables de résoudre ces problèmes sous leur forme basique et disposent d'une certaine base mémorielle. Cette dernière leur a donc permis de modéliser correctement les problèmes en identifiant rapidement le rapport mathématique de l'énoncé. Cependant, cette opération quasi-automatique semble avoir eu ses limites dès lors que le problème est devenu complexe (Houdement, 2017) et nécessitant aux élèves d'analyser l'énoncé et inhiber les réponses automatiques (Houdé, 2014).

De plus, les énoncés des problèmes écrits étaient plus longs que ceux du serious game, pouvant générer davantage de sources de distraction (Fayol et al., 2004) pour l'lélève et rendre difficile l'analyse de l'énoncé. Nous avons pu voir que le problème 5 avait été moins réussi que le problème 2. Une raison à cela pourrait être l'utilisation des mots analogues « boîtes » avec pour seuls élément discriminant, l'adjectif de couleur « rouge, bleu, vert ». Le choix du lexique pourrait donc avoir également contribué à gêner l'attention des élèves. Ainsi, les élèves pourraient avoir eu plus de facilités à associer les valeurs numériques dans le premier problème, puisque les trois peuples sont plus facilement différenciés. Par ailleurs, c'est dans le problème 5, que l'on observe le plus d'erreurs liées à la confusion des valeurs numériques utilisées. En effet, plusieurs élèves ont eu de bonnes capacités de modélisation mais ont échangé certaines valeurs de l'énoncé et de calculs, pouvant induire une surcharge cognitive liée à l'énoncé du problème.

Concernant la répartition des difficultés ressenties par les élèves, leur continuité semble en lien avec le fait que les serious games n'ont pas joué de rôle majeur et ne constituaient pas le même de degré de difficulté que les problèmes écrits. De plus, la dissonance observable entre le peu de réponses tendant vers « difficile » et les résultats des élèves aux problèmes, peut s'expliquer par le protocole. En effet, les questions englobaient l'intégralité des problèmes de chaque fiche, ne permettant pas aux élèves de se concentrer sur un en particulier.

Or, comme un seul type de problème a réellement posé des difficultés au groupe, il se peut que les élèves aient concentré leurs réponses sur les deux autres problèmes bien plus réussis. De plus, ces résultats pourraient également s'expliquer par le fait que les élèves n'aient pas été conscients de leurs erreurs. En effet, leurs erreurs de modélisation pouvant être liées à des processus d'identification automatique, les élèves n'ont pas pu éprouver de difficultés. Les données de ces questionnaires sont donc à prendre avec du recul mais pourrait être un indicateur sur la nécessité de développer un travail sur la métacognition des élèves (Doly, 2006) ainsi que sur les stratégies de contrôle (Mevarech & Amrany, 2008). En effet, les erreurs des élèves ont eu tendance à donner lieu à des valeurs incohérentes par rapport aux données du problème et à la question posée.

2.3. Limites de l'étude

Le protocole mis en place présente des limites dans l'étude. En effet, le choix des serious games ne semble pas être en adéquation avec celui des problèmes écrits. C'est notamment le cas du serious game « Problèmes avec schémas », qui a été massivement réussi par les élèves contrairement aux problèmes écrits correspondants.

De plus, l'étude des autres types de problèmes comme les problèmes 1 et 4, n'a pas pu être faite, puisque les élèves ont été capables de résoudre tous les problèmes et leurs procédures n'ayant pas évolué. Ainsi, la difficulté a peut-être été un peu trop légère pour ces problèmes et le choix d'un autre serious game ou un énoncé plus difficile à appréhender aurait pu être fait.

Afin de fournir des données sur les serious games, il aurait pu être pertinent de relever les productions d'élèves pendant leur session en prenant des captures d'écrans. Il aurait été possible de voir si les élèves ont utilisé tous les outils à disposition sur les jeux et si leurs procédures ont été influencées par le contexte des jeux.

En outre, en se plaçant dans une perspective pédagogique, il demeure évident que l'apprentissage de la résolution de problèmes doit faire l'objet d'exercices réguliers (Houdement, 2003). L'utilisation ponctuelle des serious games comme cela a été le cas ici, ne saurait fournir suffisamment d'entraînement. Ainsi, pour mesurer les effets d'un serious game, il pourrait être plus pertinent de le faire sur une longue période.

Les questionnaires concernant les difficultés ressenties auraient dû pouvoir laisser les élèves donner leur ressenti sur un problème à la fois, permettant ainsi de mieux appréhender ces questions. Les questions portant sur les aspects qu'ont aimés les élèves comportent les mêmes limites que pour les problèmes logiques.

On peut également noter qu'à l'origine, il était prévu de noter le temps nécessaire pour la résolution de chaque problème et pour chaque élève afin de voir si une évolution de la vitesse de traitement pouvait s'observer. Si cela a pu être fait sur la phase 1 de l'expérimentation, ce choix a finalement été abandonné. En effet, certain.es élèves s'en étaient rendu.es compte et avaient eu tendance à vouloir se précipiter et s'inquiéter d'une évaluation. Après réflexion, il a donc été décidé d'abandonner cette variable temporelle, dont la pertinence a finalement été réévaluée. Néanmoins, cela a pu avoir un impact sur l'expérience et les résultats de certain.es élèves durant la phase 1.

Enfin, l'utilisation du mot « trois » au lieu de « 3 » (par manque de vigilance) dans l'énoncé du problème 2 n'était pas souhaitée et a pu avoir des conséquences sur la difficulté de lecture du problème.

Conclusion

Cette étude visait à explorer la dimension pédagogique des serious games dans l'enseignement des mathématiques à travers la résolution de problèmes arithmétiques et de logique.

Nous avons pu voir que la résolution de problème était un domaine phare dans l'apprentissage des mathématiques, par sa présence continue dans la scolarité des élèves et par son utilisation versatile visant à donner du sens aux apprentissages mathématiques.

De nombreux problèmes de natures différentes sont ainsi proposés aux élèves, tendant à leur fournir certains automatismes mais également à faire émerger de nouvelles stratégies de résolutions. Nous avons pu voir que les élèves pouvaient avoir certaines difficultés dans leur résolution et à différents niveaux.

Ainsi, nous nous sommes demandés si l'utilisation de technologies nouvelles telles que les serious games pouvaient constituer une pratique pertinente dans le développement des compétences-élèves en résolution de problèmes. Cependant, la typologie des problèmes étant très vaste, il est apparu pertinent d'étudier la résolution de problèmes arithmétiques mais également celle des problèmes logiques.

Afin de répondre à cette question, la construction d'un protocole expérimental a été faite dans le cadre d'une classe de 20 élèves de CM1. Ces derniers ont travaillé sur différents problèmes écrits, ainsi que sur des problèmes présentés sur des serious games.

Les résultats de l'expérience tendent à montrer que l'utilisation d'un serious game a permis d'améliorer les capacités de résolution du problème logique par les élèves. Cependant, les données recueillies pour la résolution de problèmes arithmétiques ont montré qu'aucune amélioration n'a pu être faite par l'utilisation de serious games.

D'autres études seraient à envisager afin de compléter ces données en réalisant une étude comparative avec davantage de serious games pour déterminer certains aspects pertinents pour l'apprentissage. De plus, un modèle longitudinal de cette expérience pourrait également être intéressant afin de mesurer l'évolution dans le temps des apprentissages des élèves.

Enfin, la comparaison d'un groupe témoin travaillant uniquement sur des problèmes écrits et un autre travaillant aussi sur des serious games, pourrait également être plus pertinente. En effet, certaines limites de l'étude ont été identifiées comme inhérentes au protocole. C'est le cas par exemple des questionnaires qui ont fourni des données incomplètes et auraient pu être formulées différemment, la difficulté de certains problèmes écrits non comparables avec leurs correspondants dans les serious games.

Ouverture

Cependant, la réalisation de cette étude a permis de cerner certains éléments déterminants dans l'apprentissage de la résolution de problèmes des élèves. En effet, la sélection ou l'élaboration de problèmes qu'il souhaite faire travailler doit faire l'objet d'une attention toute particulière par l'enseignant.e, qui doit en comprendre les aspects didactiques et pédagogiques.

De plus, l'étude a pu montrer l'importance de faire travailler régulièrement des problèmes et de faire varier les situations. En ce sens, les serious games pourraient être intéressants pour présenter de manière différente les problèmes à travers le contexte et le langage numérique. Cependant, comme nous l'avons vu, les serious games consacrés à la résolution de problèmes arithmétiques tendent à imiter les conditions d'un problème écrit. Ainsi, on peut se demander quelle est la plus-value de ces serious games et quelle place ils pourraient tenir dans la pratique enseignante.

En effet, ces jeux peuvent parfois proposer un large choix de problèmes comme c'est le cas de Kidaia, mais ne fournissent pas de manipulations ou de corrections aux élèves, ce qui semble les destiner à un usage de simples exercices (phase de réinvestissement) et privilégier les élèves qui n'ont pas de réelles difficultés de compréhension.

Un élément que nous n'avons pas entièrement abordé dans cette étude est l'émergence de parcours personnalisés ou modes « aventure » de certains jeux. En effet, certains serious games semblent vouloir s'affranchir de l'image scolaire qui leur est associée en adoptant des éléments vidéoludiques propres aux RPG (role playing games) et reposant sur un système de récompense. Ainsi, le mode aventure de Kidaia propose à l'utilisateur de créer un avatar et gagner des récompenses cosmétiques à travers une progression s'adaptant aux progrès enregistrés.

Cette approche innovante pourrait être intéressante à étudier pour ses aspects motivationnels, personnalisables et ludiques. Néanmoins plusieurs interrogations émergent également : cela peut-il permettre une amélioration des apprentissages aux élèves ? Quel dispositif pour l'intégrer dans sa pratique enseignant.e ? Les élèves vont-ils cerner les objectifs des apprentissages ou simplement se concentrer sur l'aspect divertissant et la satisfaction d'obtenir des récompenses ?

Ainsi, de nombreuses propositions pédagogiques à destination des enseignant.es semblent émerger et entraînent une réflexion sur la pratique que l'on souhaite mettre en œuvre, mettant en lien de nombreux domaines comme la psychologie, l'éducation, la didactique et la pédagogie, qui constituent tous des dimensions essentielles à prendre en compte dans la réflexion et l'ouverture professionnelle.

Bibliographie

Alvarez, J., & Djaouti, D. (2011). An introduction to Serious game Definitions and concepts. *Serious Games & Simulation for Risks Management*, *11*(1), 11-15.

Bosson, M. S., Hessels, M. G., & Hessels-Schlatter, C. (2009). Le développement de stratégies cognitives et métacognitives chez des élèves en difficulté d'apprentissage. *Développements*, (1), 14-20.

Chanudet, M. (2019). Quelques résultats concernant les compétences en résolution de problèmes d'élèves évalués sur un même problème et à l'aide d'une même grille d'évaluation. In *Actes du colloque EMF 2018. Mathématiques en scène: des ponts entre les disciplines* (pp. 1532-1539). IREM de Paris.

Claracq, I., Fayol, M., & Vilette, B. (2022). Comprendre d'abord, calculer ensuite. Améliorer la résolution de problèmes en CM1. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*.

Djaouti, D. (2016). Serious Games pour l'éducation: utiliser, créer, faire créer?. *trema*, (44), 51-64.

Djaouti, D., Alvarez, J., & Rampnoux, O. (2017). Apprendre avec les serious games?.

Doly, A. M. (2006). La métacognition: de sa définition par la psychologie à sa mise en œuvre à l'école.

Duperret, J. C. (2016). De la modélisation du monde au monde des modèles (2).

Feyfant, A. (2015). La résolution de problèmes de mathématiques au primaire. *Dossier de veille de l'IFÉ*, *105*, 1-20.

Gentry, S., Ehrstrom, B. L. E., Gauthier, A., Alvarez, J., Wortley, D., van Rijswijk, J., ... & Zary, N. (2018). Serious gaming and gamification interventions for health professional education. *The Cochrane database of systematic reviews*, *2018*(6).

Guardiola, E., Natkin, S., Soriano, D., Loarer, E., Vrignaud, P., Boy, T. & Dosnon, O. (2012). Du jeu utile au jeu sérieux (*serious game*): Le projet *Jeu Serai*. *Hermès, La Revue,* 62, 85-91.

Hamilton, E. R., Rosenberg, J. M., & Akcaoglu, M. (2016). The substitution augmentation modification redefinition (SAMR) model: A critical review and suggestions for its use. *TechTrends*, *60*(5), 433-441.

Hanin, V. (2018). *Une approche tridimensionnelle de la résolution de problèmes mathématiques chez les élèves en fin d'enseignement primaire* (Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain).

Hanin, V., & Van Nieuwenhoven, C. (2018). Évaluation d'un dispositif d'enseignement-apprentissage en résolution de problèmes mathématiques: Évolution des comportements cognitifs, métacognitifs, motivationnels et émotionnels d'un résolveur novice et expert. *e-JIREF*, *4*(1), 37-66.

Houdement, C. (1999). Le choix des problèmes pour la résolution de problèmes. *Grand N*, *63*, 59-76.

Houdement, C. (2003). La résolution de problèmes en question. *Grand N, 71*(1), 7-23.

Houdement, C. (2017). Résolution de problèmes arithmétiques à l'école. *Grand N, Revue de mathématiques, de sciences et technologie pour les maîtres de l'enseignement primaire*, *100*.

Lavigne, M. (2016). Les faiblesses ludiques et pédagogiques des serious games.

Polotskaia, E., Gervais, C., & Savard, A. (2019). *Représenter pour mieux raisonner: résolution de problèmes écrits d'addition et de soustraction*. Editions JFD.

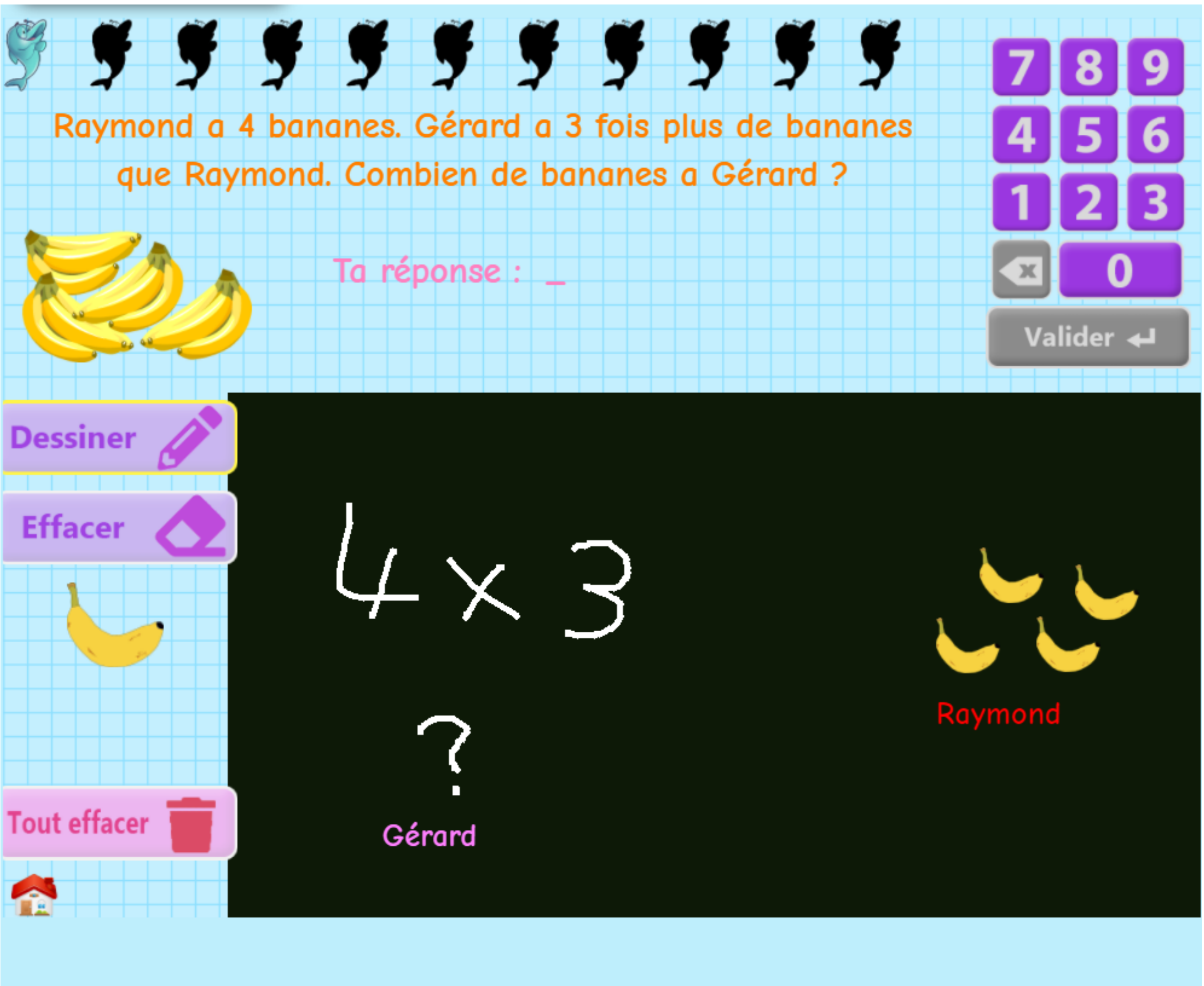
Rajotte, T., Giroux, J., & Voyer, D. (2014). Les difficultés des élèves du primaire en mathématiques, quelle perspective d'interprétation privilégier?. *McGill Journal of Education/Revue des sciences de l'éducation de McGill*, *49*(1), 67-87.

Thevenot, C. & Perret, P. (2009). Le développement du raisonnement dans la résolution de problèmes : l'apport de la théorie des modèles mentaux. *Développements*, 2, 49-56

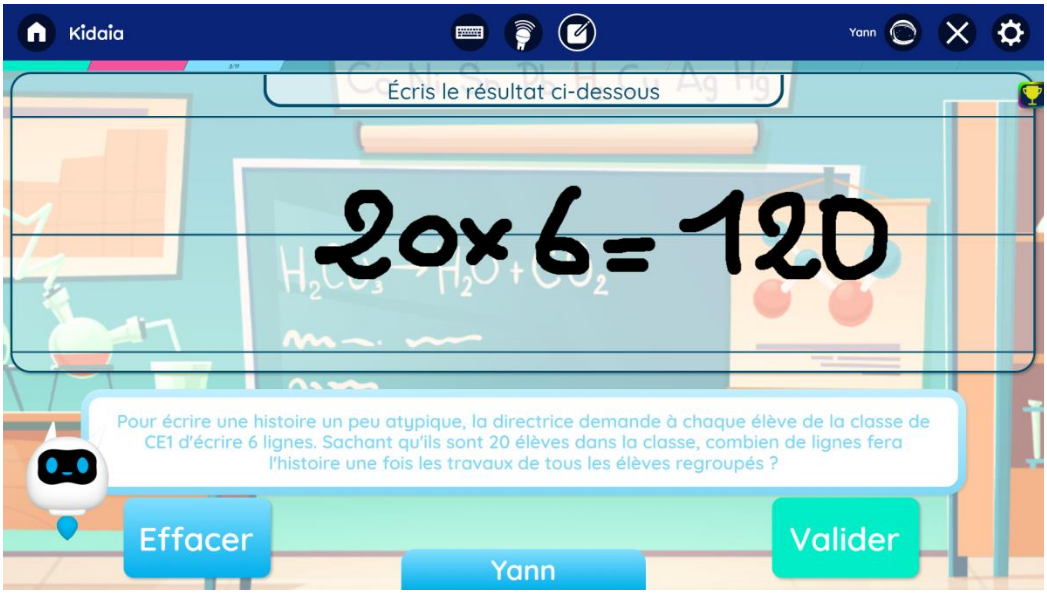
Van Nieuwenhoven, C. (2014). La résolution de problèmes, une difficulté tant pour l'élève que pour l'enseignant: mieux comprendre pour mieux intervenir. Cahier des sciences de l'éducation, 36,

Annexes

Annexe A : serious game « Problèmes avec schémas ».



Annexe B : Serious game « Kidaia »



Annexe C : Serious game « La rivière logique »

Annexe D : « Enigme de la rivière »

Prénom et classe :

<u>L'énigme de la rivière</u>

Jade a besoin d'aide pour traverser une rivière et emmener avec elle ses animaux : un loup, un chat et une souris.

Pour atteindre l'autre côté de la rivière, elle dispose d'un bateau qu'elle est la seule à savoir manier mais ne peut prendre avec elle qu'un seul animal à la fois.

Le loup et le chat ne s'entendent pas bien et ne peuvent pas rester tous les deux du même côté de la rivière sans leur maîtresse.

De même, le chat mangera la souris s'ils sont laissés seuls du même côté.

Aide Jade à faire traverser la rivière à tous ses animaux (vivants !)

Laisse une trace de ta recherche ici et réponds.

Annexe E : Fiche B « Enigme de la vallée »

Prénom et classe :

Enigme de la vallée

Dans une vallée, un éleveur voyage avec ses animaux : un renard, une poule et un chien. Il souhaite rejoindre l'autre côté de la montagne en traversant un vieux pont.

Cependant, les animaux ont peur du vide. L'éleveur doit donc porter ses animaux durant la traversée mais ne peut en porter qu'un seul à la fois.

Le renard et le chien ne s'entendent pas bien et ne peuvent pas rester tous les deux du même côté sans l'éleveur.

De même, le renard mangera la poule s'ils sont laissés seuls sur le même côté.

Aide l'éleveur à faire traverser tous ses animaux (vivants)

Laisse une trace de ta recherche ici et réponds

Annexe F : Questionnaires

Prénom et classe :
Les questions ci-dessous concernent ton ressenti durant les activités de résolution de **problèmes** et d'**énigmes** d'hier et aujourd'hui. Pour certaines, tu vas pouvoir y répondre en coloriant à chaque fois **un seul** rond correspondant à ton ressenti.

Hier

1) Comment as-tu trouvé les trois problèmes (première fiche) ?

○ Très difficiles
○ Plutôt difficiles
○ Moyen
○ Plutôt faciles
○ Très faciles

2) Comment as-tu trouvé l'énigme de la rivière (deuxième fiche) ?

○ Très difficile
○ Plutôt difficile
○ Moyen
○ Plutôt facile
○ Très facile

Aujourd'hui en salle informatique

3) Pour la résolution de problèmes, t'es-tu senti(e) aidé(e) par l'utilisation de l'ordinateur ?

Non

4) Pour l'énigme de la rivière, t'es-tu senti(e) aidé(e) par l'utilisation de l'ordinateur ?

Non

5) Quels aspects des jeux utilisés as-tu aimé ?

6) Quels aspects des jeux utilisés n'as-tu pas aimé ?

7) Comment as-tu trouvé les trois problèmes de cet après-midi ?

- Très difficiles
- Plutôt difficiles
- Moyen
- Plutôt faciles
- Très faciles

8) Comment as-tu trouvé l'énigme de la vallée de cet après-midi ?

- Très difficile
- Plutôt difficile
- Moyen
- Plutôt facile
- Très facile

Résumé

Ce mémoire s'intéresse à l'utilisation pouvant être faite des serious games mathématiques dans l'enseignement de la résolution de problèmes. Les problèmes arithmétiques et logiques sont des exercices proposés régulièrement aux élèves puisqu'ils mobilisent différentes compétences mathématiques essentielles. Cependant, leur résolution constitue également des difficultés importantes pour les élèves et à des niveaux différents. Avec lea prolifération de nouveaux outils comme les serious games, on peut se demander si ces derniers peuvent être utilisés pour développer les compétences mathématiques des élèves. Ainsi, cette étude propose une expérimentation en classe avec l'utilisation de serious games pour travailler la résolution de problème. Les résultats tendent à montrer une amélioration notable des capacités des élèves pour la résolution de problèmes logique, contrairement aux problèmes arithmétiques où l'utilisation de serious games n'a pas eu d'influence.

Mots-clefs : Problèmes arithmétiques, problèmes logiques, Serious games, Modélisation

Mots-clefs : Problèmes arithmétiques, problèmes logiques, Serious games, Modélisation