



HAL
open science

Comprendre d'abord, calculer ensuite. Améliorer la résolution de problèmes en CM1

Ingrid Claracq, Michel Fayol, Bruno Vilette

► To cite this version:

Ingrid Claracq, Michel Fayol, Bruno Vilette. Comprendre d'abord, calculer ensuite. Améliorer la résolution de problèmes en CM1. A.N.A.E. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant, 2022, 180, pp.1-10. hal-03861069v2

HAL Id: hal-03861069

<https://hal.science/hal-03861069v2>

Submitted on 19 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

TITRE : Comprendre d'abord, calculer ensuite. Améliorer la résolution de problèmes en CM1

Claracq, I., doctorante, Univ. Lille, ULR 4072 - PSITEC - Psychologie : Interactions Temps Émotions Cognition, F-59000 Lille, France

Ingrid CLARACQ

399, groenstraat

9041 Oostakker

Belgique

Ingrid.claracq@ac-lille.fr

Fayol, M., Professeur émérite, Université Clermont-Auvergne - Laboratoire de Psychologie Sociale et Cognitive (LAPSCO) – Centre National de la Recherche Scientifique.

Vilette, B., Professeur, Univ. Lille, ULR 4072 - PSITEC - Psychologie : Interactions Temps Émotions Cognition, F-59000 Lille, France

TITRE : Comprendre d'abord, calculer ensuite. Améliorer la résolution de problèmes en CM1

Résumé :

Les problèmes arithmétiques sont résolus difficilement par les jeunes élèves. Nous faisons l'hypothèse que cet apprentissage pourrait être amélioré si l'on mettait l'accent sur la compréhension des énoncés verbaux plutôt que sur le traitement du calcul. Pour tester cette hypothèse, nous comparons les performances de deux groupes d'élèves de CM1 dont l'un apprend à résoudre des problèmes en l'absence de valeur numérique. Les résultats montrent qu'en mobilisant la compréhension avant le calcul, on améliore significativement et durablement la résolution de problèmes arithmétiques.

Mots-clés : résolution de problèmes, compréhension, calculs, apprentissage, instruction

Abstract:

Young children struggle with word problem solving. We examine whether the performance of solving word problem improves if we concentrate on problem comprehension rather than on its numerical treatment. In order to test our hypothesis, we compare the performance of two groups in four year of French elementary school (age between 9 and 10). The experimental group learns how to solve word problem without numerical values unlike the witness group. Results show that this method improves, significantly and at long term, pupils' performance of solving word problem.

Key words: word problem solving, comprehension, computation, instruction, learning

Les comparaisons nationales et internationales PISA 2015 (OECD, 2015) et TIMSS 2015 (IEA, 2015) mettent en évidence que la résolution de problèmes constitue une source fréquente d'échecs, quels que soient le niveau scolaire et les pays concernés. Il est donc important de chercher à comprendre l'origine des difficultés rencontrées par les élèves avec, comme objectif, le souci d'intervenir en vue de prévenir ces difficultés ou de transmettre les connaissances et les savoir-faire susceptibles de permettre aux élèves de les surmonter. De très nombreux travaux ont été conduits dans cette perspective, faisant apparaître les impacts des variables socio-économiques et culturelles (e.g. professions des parents : Arnold & Doctoroff, 2003), des capacités cognitives générales (e.g. la mémoire de travail : Swanson, 2017), des capacités langagières (e.g. niveau de vocabulaire : Cummins et al., 1988), des difficultés spécifiques aux mathématiques (e.g. fractions ou proportions : Van Dooren et al., 2015) (pour une synthèse : Thevenot, 2017). Parmi ces variables, deux ont particulièrement retenu l'attention des chercheurs : le rôle des traitements numériques (calculs et opérations) et celui de la compréhension des énoncés verbaux.

Un problème arithmétique verbal simple et classique est par exemple « Paul et Louis ont 12 euros ensemble. Paul a 9 euros. Combien Louis a-t-il d'euros ? ». Ce type d'énoncé relève à la fois du narratif (i.e. story problem) puisqu'il relate une histoire, même sommaire, et d'un type textuel particulier : le problème (Zagar, 1991). Des informations manquent, que l'élève doit identifier pour effectuer les opérations permettant d'aboutir à la résolution. Pour y parvenir, les enfants doivent préalablement comprendre la situation problème décrite par l'énoncé. Cette étape de compréhension nécessite en principe de construire une représentation mentale la plus proche possible de celle qui est requise pour la résolution, en imageant et simulant mentalement les relations décrites par le texte (modèle mental : Johnson-Laird, 1983; Thevenot, 2010 ; ou modèle de situation : Brissiaud & Sander, 2010; Van Dijk & Kintsch, 1983). Elle constitue une première source de difficulté (Cummins et al., 1988). L'élève doit ensuite réaliser des calculs en s'appuyant sur les données fournies et sur ses savoirs et savoir-faire. Pour cela, il lui faut faire appel au symbolisme mathématique (chiffres, signes) et aux traitements associés (opérations).

L'activité de résolution de problème relève traditionnellement de l'arithmétique. On pourrait donc s'attendre à ce que les performances correspondantes dépendent fortement de celles relatives aux calculs et aux opérations. Tel n'est pas le cas. Ainsi, Muth (1984) rapporte que la dimension computationnelle n'explique spécifiquement que 8% de la variance en résolution de problèmes chez des élèves de classe de sixième (G6). Lin (2021) a synthétisé les données de 98 études empiriques (plus de 100 000 élèves) et mis en évidence que, bien que tous

les problèmes arithmétiques nécessitent la prise en compte des nombres et de leurs relations pour réaliser les opérations conduisant au résultat, ces dimensions ont un poids non dominant ($\beta = 0,24$) sur les performances. De plus, les analyses des comportements des élèves au cours de la résolution de problèmes ont fait apparaître que les données numériques présentes dans les énoncés focalisent l'attention des élèves au détriment des informations textuelles fournissant des indications quant aux situations et relations décrites entre états ou transformations (De Corte & Verschaffel, 1981; De Corte et al., 1990; Zagar, 1991). Leur présence amène souvent les élèves à effectuer les calculs avant même d'avoir élaboré la structure du problème, d'où l'occurrence d'erreurs.

Les difficultés en résolution de problème surviennent ainsi même lorsque les opérations arithmétiques sont maîtrisées des élèves (Swanson, 2017). Comme souligné précédemment, l'attention de ces élèves se focalise souvent sur les données numériques aux dépens de la compréhension des situations décrites dans les énoncés. Ce constat a conduit à étudier plus précisément les relations entre compréhension et résolution de problèmes, en référence aux travaux de Kintsch et Greeno (1985). Les études ont établi des corrélations, souvent élevées (e.g. $r=.67$ chez Vilenius-Tuohimaa et al., 2008), quels que soient les niveaux scolaires envisagés. Ces relations varient selon la complexité des problèmes et les caractéristiques individuelles (Pongsakdi, 2020). Certaines études ont induit des améliorations de performances en rendant plus explicites, et donc plus compréhensibles, les formulations des énoncés (Coquin-Viennot & Moreau, 2003; De Corte et al., 1985; Devidal et al., 1997; Thevenot et al., 2007) ; elles ont porté sur des interventions visant à encadrer l'interprétation des énoncés, de sorte que les élèves parviennent à associer plus facilement des énoncés avec des catégories de modalités de résolution (e.g. des schémas inspirés des travaux de Carpenter & Moser, 1984 ou Riley et al., 1983 ; voir Chan et Kwan, 2021 ; Cook et al., 2020; Fuchs et al., 2021). Des recherches récentes s'efforcent d'intégrer les résultats spécifiques des travaux antérieurs dans des démarches « écologiques » impliquant les enseignants et des classes entières. Fuchs et al., (2020) recourent à différents dispositifs (Pirate Maths ; Hot Math ; Super Solvers) qui tous font appel à une instruction explicite, à une simulation (*enacted via role playing with concrete objects*) et à l'utilisation de schémas. Les élèves parcourent le problème, le lisent eux-mêmes ou suivent le texte en écoutant quelqu'un le lire, effectuent un rappel qui les oblige à prêter attention aux données de l'énoncé, catégorisent les problèmes (i.e. les affectent aux catégories de schémas) et écrivent l'opération correspondante. Ils relisent et introduisent les données numériques dans les parties (slots) des schémas, ce qui permet de résoudre les problèmes. De manière générale, les groupes entraînés font mieux que les groupes contrôles : les moyennes

sont plus élevées et la dispersion diminue. Toutefois, les auteurs soulignent qu'ils ne savent pas si ces effets positifs perdurent (Fuchs et al., 2021).

Les données issues des travaux antérieurs ci-dessus exposés nous ont conduits à élaborer une démarche nouvelle accordant une priorité à l'activité de compréhension et à faire intervenir les traitements numériques dans un second temps. Il s'agissait de prévenir une focalisation immédiate de l'attention des élèves sur les nombres et les opérations au détriment de la compréhension de la situation décrite par l'énoncé. Pour cela, nous avons contraint les élèves à élaborer d'abord une représentation épisodique – un modèle de situation ou un modèle mental - simulant le déroulement ou l'état de la situation évoquée par l'énoncé, à déterminer les données disponibles et à identifier celles qui manquent et qui constituent la ou les inconnue(s). Cette première phase était explicitement travaillée en mettant en place une lecture de l'énoncé, un rappel et/ou une paraphrase de celui-ci, une simulation du déroulement des faits ou de l'état de la situation (e.g. mimes, gestes). Elle était suivie, dans une deuxième phase, par l'élaboration progressive d'une représentation schématique plus abstraite, constituant un aboutissement : élaboré par les élèves au fil des séances, allant de représentations analogiques (e.g. dessins) à des formalisations proches des organisations « partie-partie-tout » (Willis & Fuson, 1988). Les données numériques étaient introduites dans un troisième temps et permettaient la résolution effective des problèmes.

La présente recherche repose sur un dispositif et une démarche qui visent à enseigner explicitement la résolution de problèmes arithmétiques à des élèves de CM1 en mettant l'accent sur l'activité de compréhension d'énoncés initialement dépourvus de données numériques. Un ensemble de classes (désigné comme le Groupe Expérimental ou GE) a reçu cet enseignement axé sur la compréhension alors qu'un autre ensemble de classes (Groupe Contrôle Actif : GCA) apparié le mieux possible au GE était, lui, confronté aux mêmes énoncés mais comportant comme il est usuel les données numériques. La recherche concernant les GE et GCA s'est déroulée sur 12 semaines à raison de 4 séances par semaine. Dans le GE, lors de chaque séance, les énoncés de problèmes sans valeur numérique étaient d'abord présentés aux élèves qui devaient les comprendre à travers des lectures suivies de paraphrases (et non de simples rappels) et de simulations gestuelles collectives en grand et/ou en petit groupe. Lorsque la compréhension du déroulement des faits décrits dans les énoncés était assurée, reformulée et simulée, les élèves devaient représenter, d'abord collectivement, puis individuellement sur un cahier au fil des séances, la manière dont ils imaginaient la situation problème et son évolution ou ses états. Ensuite, les données numériques étaient introduites dans l'énoncé resté disponible au tableau depuis le début de la séance. Les élèves étaient alors invités, d'abord collectivement,

puis individuellement au fil des séances, à résoudre le problème en écrivant la ou les opérations et en réalisant les calculs. Les élèves du GCA recevaient les énoncés sous le format classique : ceux-ci restaient disponibles au tableau au cours de la séance. Dans les deux groupes GE et GCA une correction collective était établie en fin de séance pour chaque problème.

Nous faisons trois hypothèses. Premièrement, nous attendions que les performances du GE, initialement équivalentes (ou statistiquement contrôlées) à celles du GCA au pré-test, soient meilleures au post-test que celles du GCA, bien que ce dernier ait traité les mêmes problèmes mais selon une approche traditionnelle présentant d'emblée les énoncés avec les données numériques. Deuxièmement, le recours à un second post-test différé (de 1 à 2 mois) nous permettait d'évaluer la stabilité (très rarement testée dans les recherches antérieures) des performances de GE et GCA : nous attendions en particulier que la supériorité des élèves du GE sur les GCA se maintienne au post-test différé. Enfin, le rôle fondamental que nous attribuons à la compréhension dans la résolution de problèmes devrait permettre de dissocier le poids de la compréhension à l'écrit de celui du traitement numérique (calcul exact ou estimation) et du traitement visuo-spatial (cf. Lonneman et al., 2008 pour les relations étroites entre les habiletés de calcul et les représentations spatiales), et plus particulièrement encore sous l'effet de l'intervention dans le GE. En conséquence, nous nous attendions non seulement à ce que l'effet de la compréhension à l'écrit explique significativement les performances en résolution de problème au pré-test dans les deux groupes (GE et GCA), mais plus encore au post-test dans le GE après l'apprentissage axé sur la compréhension.

Méthode

Participants

Vingt-sept classes ont été initialement retenues dans différentes circonscriptions de la région Hauts de France pour participer à cette recherche avec l'accord des Inspecteurs de l'Éducation Nationale. Six classes ont été exclues *a posteriori* des analyses, soit parce que l'enseignant a été longuement absent, soit parce que le protocole expérimental n'a pas été respecté. Au final, les données de 387 élèves de CM1 (21 classes) ont été exploitées après exclusion des élèves absents à l'un et/ou l'autre des tests, essentiellement en raison de la crise sanitaire. Parmi ces 392 élèves, 234 sont issus d'écoles classées en Réseau d'éducation prioritaire (R) et 158 élèves d'écoles Non classées en Réseau d'éducation prioritaire (NR). Outre les élèves absents au test, cinq autres sujets ont été exclus des analyses en raison de patrons de réponses aberrants.

Matériel

Le matériel utilisé dans les tests et les séances d'apprentissage comprend respectivement :

- une épreuve évaluant les performances en résolution de Problèmes Arithmétiques (PA) et quatre épreuves évaluant des compétences associées à la résolution de problèmes : Opération Arithmétiques (OA), Compréhension à l'écrit (CE), Traitement Visuo-spatial (TV) et Estimation Numérique (EN) ;
- une banque de problèmes (n=57) exploitée par les enseignants du GE et du GCA durant les séances consacrées à la résolution de problèmes arithmétiques.

Procédure générale

Les élèves retenus (N=387) ont été répartis dans deux groupes : le GE constitué de 130 élèves (dont 54 en R et 76 en NR) et le GCA comprenant 257 élèves (dont 178 en R et 79 en NR).

La procédure mise en œuvre comprend un pré-test, une phase d'apprentissage ou de pratique de la résolution de problèmes, un post-test immédiat et un post-test différé. Le pré-test a été réalisé en deux séances d'environ 20 minutes chacune entre le mois de décembre et début janvier. Tous les participants ont passé les épreuves du pré-test dans l'ordre suivant : PA, OA, TV, EN, et CE.

La phase d'apprentissage a commencé juste après le pré-test et s'est poursuivie pendant douze semaines (soit un trimestre scolaire). Les deux post-tests ont été réalisés en une seule séance d'environ 15 minutes, le premier juste après les congés scolaires du mois d'avril, et le second un mois et demi plus tard.

Avant l'expérimentation, les enseignants des deux groupes ont bénéficié d'une formation (d'environ 2h) durant laquelle étaient présentés la banque de problèmes, les critères de difficulté (selon les types de problèmes, le contexte des énoncés, le nombre de pas pour atteindre la résolution et la taille des nombres utilisée) et sa construction spiralaire rebrassant tous les types de problèmes. A l'issue de cette formation, les enseignants devaient être en mesure de réorganiser la séquence d'apprentissage s'ils ne pouvaient pas suivre l'intégralité des problèmes proposés (absences). Cette réorganisation permettait à l'enseignant de conserver une diversité dans les problèmes proposés aux élèves : diversité de types de problèmes, diversité de contexte, diversité dans le nombre de pas et la taille des nombres. Les enseignants du GE ont bénéficié en outre d'une information sur la démarche de résolution de problèmes à mettre en œuvre auprès

de leurs élèves : comment prioriser l'activité de compréhension avant de réaliser le traitement numérique (voir l'introduction pour une description de la démarche).

Avant le début de l'expérimentation tous les enseignants ont été observés mettant en œuvre un même problème avec leurs élèves. A cette occasion une grille d'observation a été remplie et a permis de caractériser leur pratique. Les enseignants du GCA mettaient en œuvre une démarche suivant trois phases et impliquant d'emblée les données numériques : présentation du problème, recherche de l'opération(schéma éventuel) et phrase réponse.

Durant le déroulement de l'expérimentation, tous les enseignants du GE et du GCA pouvaient échanger sur leurs pratiques et la mise en œuvre de la banque via une plateforme numérique dédiée à cet usage. Cette plateforme permettait également de déposer les problèmes de la banque (par paliers progressifs), de solliciter au besoin les responsables de la recherche, et enfin de transmettre régulièrement le relevé des problèmes effectivement traités, ce qui permettait de suivre le type et le nombre total de problèmes traités dans chaque classe. De plus, au cours des 12 semaines de la phase d'apprentissage, les enseignants du GE ont été conviés à deux réunions de régulation en distanciel (d'environ 1h30 chacune) afin d'échanger sur la démarche mise en œuvre et répondre à leurs questions. Durant cette phase, un des promoteurs (la première auteure) de la recherche s'est également rendue au moins une fois dans chacune des classes du GE pour s'assurer du respect du protocole et, au besoin, réguler la démarche des enseignants.

Description des tests

Problèmes Arithmétiques (PA). Cette épreuve comporte 10 problèmes extraits de l'échelle de Weschler (WISC 4) et adaptés à une passation collective à l'écrit. L'élève doit lire chaque problème, effectuer les calculs mentalement (sans brouillon), puis écrire sa réponse. Un temps total limité à six minutes est accordé pour résoudre le maximum de problèmes. Ces problèmes suivent un ordre de difficulté croissant. Au total, on a un problème additif à un pas, un problème additif à deux pas et trois problèmes multiplicatifs à un pas dont l'un implique des nombres décimaux et les deux autres une démarche de division. Enfin, on compte cinq problèmes additifs et multiplicatifs à trois pas. Parmi ces derniers, deux impliquent des heures et un calcul de moyenne. Pour tous les problèmes, le contexte est familier pour les élèves (gâteaux, livres, images, etc.). La réponse à chaque problème est cotée 2 points si la réponse est correcte ; 1 point si la réponse est erronée mais l'opération correcte (erreurs de calcul) ; 0 point en l'absence de réponse ou si la réponse est erronée (score max.=20).

Opération Arithmétique (OA). L'épreuve d'opérations arithmétiques comporte trois séries de 40 opérations présentées à l'écrit. La première série évalue les calculs additifs, la deuxième les calculs soustractifs, et la troisième les calculs multiplicatifs. Pour chaque série, l'élève dispose d'une minute pour résoudre un maximum d'opérations. La cotation est binaire (score max.=40 à chaque série).

Traitement Visuo-spatial (TV). L'épreuve visuo-spatiale est issue des travaux de l'IREM Paris Nord. Cette épreuve est composée de neuf items. A chaque item, le dessin d'une pyramide en perspective représentée avec des cubes (certains sont visibles, d'autres non) est montrée à l'élève qui doit indiquer le nombre total de cubes (visibles ou non), qui varie entre 5 et 84. Le temps de présentation des 9 items est limité à trois minutes. La cotation est binaire (score max.=18).

Estimation Numérique (EN). L'épreuve d'estimation numérique est issue de la batterie ZAREKI-R (von Aster et Dellatolas, 2006) adaptée pour une passation collective. Elle comporte six items. Les élèves doivent positionner sur un segment de droite borné de 0 à 100 un nombre présenté à l'oral (trois items) ou à l'écrit (trois items). Pour les deux séries d'items, une grille de cotation permet d'attribuer à chaque réponse un score compris entre 0 et 2 points suivant l'éloignement correspondant au placement exact (score max.=12).

Compréhension Ecrite (CE). L'épreuve de compréhension sémantico-syntaxique (Jordan et Lechenard (2007) est constituée de deux blocs de 12 items. A chaque item, l'élève doit juger de l'adéquation sémantique de deux phrases présentées à l'écrit. Pour cela, l'élève lit silencieusement les deux phrases et doit juger si elles ont ou non la même signification. Pour chaque bloc, les élèves disposent de cinq minutes. La cotation est binaire (score max.=24).

Description de l'apprentissage

Dans le groupe GE, les élèves résolvent les problèmes fournis dans la banque, d'abord sans les nombres, puis avec les données numériques. Dans une séance de résolution, un problème est proposé aux élèves. La durée de résolution de celui-ci est d'environ 25 minutes. Les élèves du GCA utilisent la même banque de problèmes que le GE mais sont d'emblée confrontés aux énoncés incluant les données numériques. Les énoncés sont systématiquement lus en premier par l'enseignant, puis par les élèves. L'énoncé reste disponible dans les cahiers et au tableau tout au long de la phase de travail. D'après les données d'un sondage réalisé auprès de tous les enseignants, chaque élève des deux groupes, GE comme GCA, consultait au moins deux fois le texte du problème.

Dans le GE, les enseignants incitaient les élèves à traiter les problèmes sans donnée numérique en mettant l'accent sur la compréhension. Les élèves étaient amenés après lecture à reformuler l'énoncé, à recourir à des mimes et des simulations avant de produire des représentations picturales, dont des schémas, puis de passer à l'opération. Les gestes devenaient au fil des séances un canal de communication privilégié pour la compréhension. Les représentations ou schémas n'étaient pas d'emblée imposées aux élèves ; ils évoluaient au fil des séances selon un cheminement à la fois collectif et individuel.

La banque de problèmes utilisée par les enseignants des deux groupes était organisée en cinq paliers avec une montée progressive en difficulté – progression établie notamment à partir des catégories sémantiques de Riley, Greeno et Heller (1983) et de Vergnaud (1982). Un tiers des problèmes était additif avec les catégories combinaison, comparaison et transformation. Les deux autres tiers étaient multiplicatifs incluant également les problèmes de proportionnalité, de division-partition et de division-quotition. Chaque palier était organisé de sorte à ce que tous les types de problèmes soient présents une ou deux fois dans chaque palier.

Cinq critères de complexification ont été exploités : le contexte (familier, scolaire ou éloigné), le nombre de pas, la taille des nombres, les unités de mesure (longueur, masse, durée), le codage ordinal/cardinal des problèmes (Gros et al., 2021) et la nature des nombres en jeu (entiers ou décimaux). Chaque élève pouvait être confronté à 57 problèmes (au maximum) – présentés successivement en 5 paliers - lors des douze semaines. Tous les problèmes étaient fournis avec une mise en page spécifique et un support cahier¹.

Résultats

Le tableau 1 présente les moyennes des scores obtenus à chaque épreuve dans les deux groupes (GE; GCA).

Insérer Tableau 1.

Les données sont analysées en fonction des hypothèses. Tout d'abord, nous évaluons les effets de l'intervention sur les performances en résolution de problèmes arithmétiques. Pour cela, une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée sur les scores PA du pré-test, puis une analyse de la covariance (ANCOVA) en traitant les scores PA du prétest comme facteur covariant et les

¹ La banque de problèmes est disponible sur demande à la première autrice.

scores PA du post-test comme variable dépendante. Ces analyses étaient nécessaires dans la mesure où les performances arithmétiques au pré-test diffèrent entre les groupes (cf. Tableau 1 et Figure 1), bien que de manière statistiquement non significative. Des analyses de régression ont ensuite été réalisées (corrélationnelles, puis multiples), d'une part, pour étudier les relations entre les capacités de la résolution de problèmes arithmétiques (PA) et certaines habiletés associées à la résolution de problèmes (OA, CE, TV et EN) ; d'autre part, pour évaluer le poids de ces habiletés sur la résolution de problèmes arithmétiques.

Effets de l'intervention sur les performances arithmétiques

Une ANOVA factorielle a été réalisée sur les scores du pré-test en prenant comme prédicteurs catégoriels le facteur groupe (GE, GCA) et le facteur milieu (R, NR). Cette analyse révèle un effet principal significatif du milieu ($F(5, 314)=3.39, p<.005, \eta^2=.051$) et aucun effet principal significatif du facteur groupe ($F(5, 314)=1.20, ns$), ni de l'interaction groupe x milieu ($F(5, 318)=1.35, ns$). Les comparaisons effectuées entre les deux groupes sur chacun des scores du prétest n'indiquent aucune différence significative au seuil $p<.05$ (PA: $F(1, 318)=0.81, ns$; OA: $F(1, 318)=2.52, ns$; CE: $F(1, 318)=0.04, ns$; TV: $F(1, 318)=0.07, ns$; EN: $F(1, 320)=1.54, ns$).

L'analyse de covariance (ANCOVA) a été réalisée sur les scores PA du post-test en prenant comme prédicteur continu les scores PA du prétest et comme prédicteurs catégoriels les facteurs groupe (GE, GCA) et milieu (N, NR). Il ressort un effet significatif du covariant PA ($F(1, 383)=523.02, p<.0001, \eta^2=.577$), une tendance marginalement significative du facteur milieu ($F(1, 383)= 3.15, p<.08, \eta^2=.008$), ainsi qu'une tendance marginalement significative du facteur groupe ($F(1, 383)=3.08, p<.08, \eta^2=.008$). Comme l'illustre la figure 1, l'augmentation des scores PA entre le prétest et le post-test est plus importante dans le GE que dans le GCA. Une ANOVA sur les scores PA du post-test révèle que la différence entre GE et GCA est significative ($F(1, 363)=5.70, p<.02, \eta^2=.061$).

Insérer Figure 1

La figure 1 montre également que la différence de scores PA entre GE et GCA se maintient au post-test différé ; elle reste marginalement significative ($F(1,363)=3.19, p<.08, \eta^2=.037$).

Relations entre les performances arithmétiques et les variables individuelles

Une analyse de corrélations de Pearson (bivariée et point bisériale) a été réalisée (Tableau 2) afin de tester les liens entre les variables dépendantes (les scores au pré-test et au post-test) et les variables indépendantes (le groupe et le milieu). Le tableau indique si la différence est significative au seuil corrigé 0.004 (correction de Bonferroni pour comparaisons multiples)

Insérer Tableau 2.

On constate un lien positif et significatif entre le milieu (R ou NR) et les scores PA aux post-tests immédiat et différé, ainsi qu'entre le milieu et les scores en compréhension de l'écrit (CE) et en estimation numérique (EN). Les autres relations ne sont pas corrélées significativement. Par conséquent, la variable milieu sera contrôlée dans les analyses de régression suivantes.

Nous avons d'abord procédé à une analyse de corrélations partielles entre tous les scores, avec contrôle du milieu (Tableau 3). Le tableau indique si la corrélation est significative au seuil corrigé 0.001 (correction de Bonferroni). Tous les scores sont corrélés positivement et significativement. Les corrélations les plus élevées se situent entre les scores PA (problèmes arithmétiques), CM (calcul mental écrit) et CE (compréhension de l'écrit).

Insérer Tableau 3.

Nous avons procédé ensuite à deux analyses de régression multiple pour évaluer l'impact du traitement visuo-spatial (TV), de la compréhension écrite (CE), des opérations arithmétiques (OA) et de l'estimation numérique (EN) sur les performances en résolution de problèmes. Afin de contrôler l'effet du milieu (R, NR), cette variable a été introduite dans un premier bloc comme variable contrôle. Les scores TV, CE, OA et EN ont ensuite été entrés dans un second bloc comme variables prédictives. La première analyse de régression avait pour variable dépendante les scores PA au pré-test sur l'ensemble des groupes (Tableau 4); la seconde analyse, les scores PA au post-test sur chacun des groupes séparément (Tableau 5). La troisième analyse reprenait la seconde sur les scores PA au post-test différé (Tableau 6).

Insérer Tableau 4.

L'analyse de régression multiple sur les scores PA du pré-test (tableau 4) montre qu'après contrôle du milieu, les effets de OA (opérations arithmétiques), de CE (compréhension de l'écrit) et de TV (traitement visuo-spatial) sont significatifs au seuil $p < .001$.

L'analyse de régression sur les scores PA du post-test sur chacun des groupes (Tableau 5) révèle que les effets de OA et CE sont les seuls prédicteurs significatifs dans le groupe GE ; et que les effets de OA, CE et TV sont significatifs dans le groupe GCA.

Insérer Tableau 5.

L'analyse de régression sur les scores PA du post-test différé sur chacun des groupes (Tableau 6) confirme que les effets de OA et les effets de CE sont toujours des prédicteurs significatifs dans le groupe GE. Dans le groupe GCA, seuls Les effets de OA (Opérations arithmétiques) et de TV (traitement visuo-spatial) sont des prédicteurs significatifs.

Insérer Tableau 6.

Globalement, les résultats des analyses font ressortir les relations étroites et toujours significatives entre les performances en résolution de problèmes arithmétiques (PA) et les performances aux opérations arithmétiques à l'écrit (OA) et en compréhension de phrases (CE). C'est dans le groupe GE que les poids de OA et surtout de CE augmentent particulièrement comparativement au groupe GCA. On notera également que, dans le groupe GE, la proportion de variance expliquée par CE est la plus élevée quelle que soit l'analyse de régression (PA pré-test, PA post-test ou PA différé).

Conclusions et discussion

Cette recherche avait pour objectif de vérifier la possibilité d'améliorer la réussite en résolution de problèmes en privilégiant la compréhension des énoncés au cours des phases d'apprentissage du traitement des problèmes. Pour cela, un protocole expérimental a été mis en place dans lequel les enseignants apprennent aux élèves à résoudre des problèmes arithmétiques dont les énoncés sont présentés d'abord sans données numériques, ces dernières étant introduites dans un second

temps. Ce protocole repose sur l'hypothèse qu'en l'absence de données numériques, les élèves se focalisent sur la compréhension des énoncés et élaborent des représentations épisodiques - un modèle de situation ou un modèle mental - qui assurent la compréhension des situations décrites et devraient de ce fait améliorer les performances en résolution de problèmes.

Les résultats confirment que les élèves ayant bénéficié de ce protocole (GE) améliorent significativement leur performance en résolution de problèmes. De plus, cette amélioration est plus importante au post-test, bien que marginalement significative (au seuil $p < .08$), que celle du GCA dont les élèves n'ont pas suivi le protocole mais ont travaillé au même rythme et selon le même agenda sur la même banque de problèmes arithmétiques élaborée à partir de taxonomies expérimentalement évaluées (Riley, Greeno et Heller, 1983 ; Vergnaud, 1982). Les élèves du GCA améliorent également leur réussite en résolution de problèmes au post-test mais cette amélioration est moindre que celle du GE. Rappelons que les performances arithmétiques (PA) entre les deux groupes ne diffèrent pas significativement au pré-test mais qu'elles diffèrent significativement au premier post-test ($p < .02$) et marginalement ($p > .08$) au second post-test 1 mois et demi après le premier alors même qu'elles se maintiennent et même continuent de progresser. La différence de performance entre GE et GCA reste significative en faveur de GE, ce qui confirme la stabilité des performances dans GE et dans GCA entre les deux post-tests. Enfin, les résultats des analyses de régression confirment les effets attendus de la compréhension à l'écrit sur les performances en résolution de problèmes. Non seulement les effets de CE sont significatifs au pré-test et aux deux post-tests dans le GE, ainsi qu'au pré-test et au premier post-test dans le GCA, mais l'impact de la compréhension à l'écrit sur les performances en résolution de problèmes est plus élevé encore dans le GE après l'apprentissage. Notre démarche s'inscrit dans la ligne des travaux contemporains qui, après avoir rapporté les fortes corrélations entre performances en compréhension de texte et résolution de problèmes (Boonen et al., 2016 ; Cirino et al., 2018 ; Lin et al., 2021 ; Vilenius-Tuohimaa, 2008), après avoir théorisé le rôle de la compréhension de textes lors du traitement des énoncés (Kintsch & Greeno, 1985 ; van Dijk & Kintsch, 1983 ; Pongsakdi et al., 2020) et après avoir montré que des modifications de la formulation des énoncés (De Corte et al., 1985 ; Devidal et al., 1997) ou des reformulations permettant un recodage sémantique (Gvozdic & Sander, 2020 ; Gros et al., 2020) suffisent à améliorer les résultats en résolution, ont récemment entrepris d'intervenir plus ou moins directement sur la compréhension elle-même. Par exemple, Fuchs et al. (2021) rappellent que la résolution de problèmes verbaux est plus liée à la compréhension du langage qu'à l'arithmétique. Ces auteurs développent une intervention privilégiant l'activité de

compréhension au cours même de l'activité de résolution. Pour cela, ils demandent aux élèves de réaliser des paraphrases, des simulations (e.g. par gestes ou usage de matériel) et d'élaborer ou de sélectionner des schémas. Les résultats du groupe expérimental sont meilleurs que ceux du groupe contrôle ne faisant appel qu'aux schémas. Notre démarche s'inscrit dans la même perspective à ceci près qu'elle sépare le travail portant sur la compréhension des énoncés de celui traitant les données numériques comme le suggèrent Fuchs et al. (2020). Pour rendre plus crédible la pertinence de notre approche, le GCA est confronté parallèlement au GE aux mêmes problèmes selon le même agenda mais avec des enseignements qui suivent la présentation et la pédagogie traditionnelles. Au total, les élèves du GE et du GCA ont résolu de 37 à 38 problèmes au cours des 12 semaines dédiées à notre recherche en suivant une instruction dispensée par leurs enseignants.

La conséquence de l'attention que nous avons accordée aux conditions écologiques de l'instruction dispensée – classes ordinaires, enseignants avec leurs élèves – et aux conditions scientifiques de réalisation et d'utilisation du matériel – même banque de problèmes organisée selon des paliers de difficulté progressive, même agenda à quelques jours près, même durée de travail en résolution de problèmes - de la recherche ont abouti à une amélioration générale des performances des deux groupes GE et GCA, avec néanmoins, comme attendu, un effet significatif au post-test et marginalement significatif au post-test différé, mais une différence faible en termes d'intensité d'effet. Nous connaissions le risque de n'obtenir aucun effet ou un effet faible, surtout en demandant aux enseignants eux-mêmes d'assurer l'instruction et en évaluant le suivi du protocole par des visites et un questionnaire. Toutefois, même faible, cet effet conforte notre hypothèse principale : travailler dans une première phase la compréhension des énoncés en l'absence de données numériques pour n'introduire ces dernières que dans la phase suivante permet d'assurer la compréhension des situations décrites dans les énoncés et d'améliorer de ce fait les résolutions.

La recherche ici rapportée souffre principalement de trois limites : l'une relative au plan expérimental (design), l'autre concernant le suivi du protocole, la troisième ayant trait aux énoncés de problèmes. La faible durée de la recherche et le nombre relativement réduit d'élèves (avec des conditions particulières associées à la pandémie) rendent souhaitable une réplique de notre travail, en ajoutant un second groupe contrôle autonome (business as usual). Bien que les enseignants du GCA aient suivi une formation préalable, aient pu interagir régulièrement avec les chercheurs et l'encadrement, le suivi du protocole mériterait d'être étudié et évalué, ne serait-ce que pour éventuellement repérer les démarches les plus efficaces, s'il en est. Enfin, la banque de problèmes elle-même devrait être analysée en essayant de déterminer si la

progression retenue est bien optimale ou si des aménagements pourraient lui être apportés. Ces faiblesses devraient être corrigées dans les recherches à conduire. Ces dernières devront aussi s'attacher à déterminer les éventuels effets à moyen et long termes des interventions mises en place. Il est connu que les résultats des interventions pédagogiques tendent à se dissiper rapidement. Toutefois, les interventions ont rarement une durée longue et une organisation aussi régulière (i.e. travail initial sur la compréhension suivi de la résolution avec les données numériques). Cette récurrence pourrait se traduire par l'apprentissage par les élèves d'une véritable stratégie de traitement consistant à s'attacher d'abord à comprendre l'énoncé sans tenir compte des nombres avant de passer à la résolution elle-même. Les recherches ultérieures devront s'intéresser à ce possible apprentissage et à son intérêt pour les progrès des traitements de problèmes académiques plus complexes.

Remerciements à la mission mathématiques du département du nord, aux inspecteurs, conseillers pédagogiques et enseignants des circonscriptions de Lille1-centre, Lille1-Hellemmes, Lille-2 Loos, Lille-3 Ronchin, Roubaix-Hem, Tourcoing-Est, Tourcoing-Ouest, Tourcoing Roncq, Valenciennes-Anzin.

Conflit d'intérêt : aucun

- Arnold, D., & Doctoroff, G. (2003). The Early Education of Socioeconomically Disadvantaged Children. *Annual Review of Psychology*, *54*, 517-545.
<https://doi.org/10.1146/annurev.psych.54.111301.145442>
- Boonen, A. J. H., de Koning, C. C., Jolles, J., & van der Schoot, M. (2016). Word problem solving in contemporary math education: A plea for reading comprehension skills training. *Frontiers in Psychology*, *7*(191). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00191>
- Brissiaud, R., & Sander, E. (2010). Arithmetic word problem solving: A situation strategy first framework. *Developmental Science*, *13*(1), 92–107.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00866.x>
- Carpenter, T. P., & Moser, J. M. (1984). The Acquisition of Addition and Subtraction Concepts in Grades One through Three. *Journal for Research in Mathematics Education*, *15*(3), 179-202.
- Chan, W. W. L., & Kwan, J. L. Y. (2021). Pathways to word problem solving : The mediating roles of schema construction and mathematical vocabulary. *Contemporary Educational Psychology*, *65*, 101963. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2021.101963>
- Cirino, P. T., Child, A. E., & Macdonald, K. T. (2018). Longitudinal predictors of the overlap between reading and math skills. *Contemporary Educational Psychology*, *54*, 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2018.06.002>
- Cook, S. C., Collins, L. W., Morin, L. L., & Riccomini, P. J. (2020). Schema-Based Instruction for Mathematical Word Problem Solving : An Evidence-Based Review for Students With Learning Disabilities. *Learning Disability Quarterly*, *43*(2), 75-87.
<https://doi.org/10.1177/0731948718823080>
- Coquin-Viennot, D., & Moreau, S. (2003). Highlighting the role of the episodic situation model in the solving of arithmetical problems. *European Journal of Psychology of Education*, *18*(3), 267-279.
- Cummins, D. D., Kintsch, W., Reusser, K., & Weimer, R. (1988). The role of understanding in solving word problems. *Cognitive Psychology*, *20*, 405–438.
[http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285\(88\)90011-4](http://dx.doi.org/10.1016/0010-0285(88)90011-4)
- De Corte, E. & Verschaffel, L. (1981). Children's Solution Processes in Elementary Arithmetic Problems : Analysis and Improvement. *Journal of Educational Psychology*, *73*(6), 765-779.
- De Corte, E., Verschaffel, L., & de Win, L. (1985). Influence of rewording verbal problems on children's problem representations and solutions. *Journal of Educational Psychology*, *77*(4), 460-470. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.77.4.460>

- De Corte, E., Verschaffel, L., & Pauwels, A. (1990). Influence of the semantic structure of word problems on second graders' eye movements. *Journal of Educational Psychology*, 82(2), 359-365. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.2.359>
- Devidal, M., Fayol, M., & Barrouillet, P. (1997). Stratégies de lecture et résolution de problèmes arithmétiques. *L'Année psychologique*, 97(1), 9-31. <https://doi.org/10.3406/psy.1997.28935>
- Fuchs, L. S., Fuchs, D., Seethaler, P. M., & Craddock, C. (2020). Improving Language Comprehension to Enhance Word-Problem Solving. *Reading & Writing Quarterly*, 36(2), 142-156. <https://doi.org/10.1080/10573569.2019.1666760>
- Fuchs, L. S., Seethaler, P. M., Sterba, S. K., Craddock, C., Fuchs, D., Compton, D. L., Geary, D. C., & Changas, P. (2021). Closing the word-problem achievement gap in first grade : Schema-based word-problem intervention with embedded language comprehension instruction. *Journal of Educational Psychology*, 113(1), 86-103. <https://doi.org/10.1037/edu0000467>
- Gros, H., Thibaut, J-P., & Sander, E. (2020). Semantic congruence in arithmetic: A new conceptual model for word problem solving. *Educational Psychologist*, 55 (2), 69-87.
- Gros, H., Thibaut, J.-P., & Sander, E. (2021). *What we count dictates how we count : A tale of two encodings*. *Cognition*, 212. DOI: [10.1016/j.cognition.2021.104665](https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104665)
- Gvozdic, K., & Sander, E. (2020). Learning to be an opportunistic word problem solver : Going beyond informal solving strategies. *ZDM*, 52(1), 111-123. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01114-z>
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00702919>.
- Jordan, M. & Lechenard, A. (2007). *Evaluation de la compréhension écrite de phrases et de ses compétences associées*. Université de Lyon. Mémoire d'orthophonie.
- Kintsch, W., & Greeno, J. G. (1985). Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review*, 92(1), 109-129. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.92.1.109>
- Lin, X. (2021). Investigating the Unique Predictors of Word-Problem Solving Using Meta-Analytic Structural Equation Modeling. *Educational Psychology Review*, 33(3), 1097-1124. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09554-w>
- Lonnemann, J., Linkersdörfer, J., Nagler, T., Hasselhorn, M. and Lindberg, S. (2013). Spatial representations of numbers and letters in children. *Frontiers in Psychology*, 4 (544), 1-5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00544>

- Muth, K. D. (1984). Solving arithmetic word problems : Role of reading and computational skills. *Journal of Educational Psychology*, 76(2), 205-210.
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.76.2.205>
- Pongsakdi, N., Kajamies, A., Veermans, K., Lertola, K., Vaurus, M., & Lehtinen, E. (2020). What makes mathematical word problem solving challenging? Exploring the roles of word problem characteristics, text comprehension, and arithmetic skills. *International Journal on Mathematics Education*, 52(1), 33–44. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01118-9>
- Riley, M. S., Greeno, J. G., & Heller, J. I. (1983). Development of children's problem-solving ability in arithmetic. In H. P. Ginsburg (Ed.), *The development of mathematical thinking* (pp. 153-196). New York: Academic Press.
- Swanson, H. L. (2017). Verbal and visual-spatial working memory: What develops over a life span? *Developmental Psychology*, 53(5), 971-995.
<https://doi.org/10.1037/dev0000291>
- Thevenot, C., Devidal, M., Barrouillet, P., & Fayol, M. (2007). Why does placing the question before an arithmetic word problem improve performance? A situation model account. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(1), 43–56.
<https://doi.org/10.1080/17470210600587927>.
- Thevenot, C. (2010). Arithmetic word problem solving: Evidence for the construction of a mental model. *Acta Psychologica*, 133, 90-95.
<https://doi.org.10.1016/j.actpsy.2009.10.004>
- Thevenot, C. (2017). Arithmetical word problem solving: The role of prior knowledge. In D. Geary, D. Berch, K. Mann-Koepke (Eds.), *Mathematical Cognition and Learning. Vol.3: Acquisition of Complex Arithmetic Skills and Higher-Order Mathematics Concepts* (pp. 47-66). Academic Press.
- Van Dijk, T. A., & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York, NY: Academic Press.
- Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction. In T. Carpenter , J. Moser, & T. Romberg (Eds.), *Addition and subtraction: A cognitive perspective* (pp. 39-59). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Von Aster, M.G. & Dellatolas, G. (2006). ZAREKI-R - *Batterie pour l'évaluation du traitement des nombres et du calcul chez l'enfant*. Paris, Editions ECPA.

- Vilenius-Tuohimaa, P. M., Aunola, K., & Nurmi, J. (2008). The association between mathematical word problems and reading comprehension. *Educational Psychology*, 28(4), 409-426. <https://doi.org/10.1080/01443410701708228>
- Willis, G. B., & Fuson, K. C. (1988). Teaching Children to Use Schematic Drawings to Solve Addition and Subtraction Word Problems. *Journal of Educational Psychology*, 80(2), 192-201.
- Zagar, D., Fayol, M. & Devidal, M. (1991). Une stratégie de prise d'information particulière à la lecture de problèmes? *Psychologie Française*, 36(2), 143-149.

Tableau 1. Moyennes des scores à chaque épreuve
des groupes GE et GCA (N=387).

	GE		GCA	
	R (n=54)	NR (n=76)	R (n=178)	NR (n=79)
Pré-test Prob. Arith. (PA)	7,15	8,10	6,43	8,19
Post-test Prob. Arith. (PA)	9,17	10,71	8,08	10,05
Post Différé Prob. Arith. (PA)	9,16	11,81	8,96	11,41
Opération Arithmétique (OA)	50,41	49,84	45,79	49,39
Compréhension à l'Écrit (CE)	16,49	17,47	16,36	17,74
Traitement Visuospatial (TV)	3,95	3,86	3,49	4,21
Estimation Numérique (EN)	5,88	6,90	6,39	7,11

R (NR): classes situées (Non situées) en Réseau d'éducation prioritaire.

Tableau 2. Corrélations entre les variables dépendantes et indépendantes (N=305)

Variables	PA prétest	PA post-test	PA différé	CE	OA	TV	EN
Groupe	.07	.15	.11	.07	.11	.05	.01
Milieu	.12	.16*	.19*	.24*	.10	.11	.17*

PA= Problèmes arithmétiques ; OA= Opérations arithmétiques ; CE= Compréhension de l'écrit ; TV= Traitement visuo-spatial ; EN= Estimation numérique. *p<.004

Tableau 3. Corrélations partielles entre les scores du pré-test et des post-tests avec contrôle du milieu (N=305)

Variables	1	2	3	4	5	6
1. PA prétest	-					
2. PA post-test	.75*	-				
3. PA Différé	.74*	.79*	-			
4. OA	.59*	.61*	.60*	-		
5. CE	.34*	.42*	.39*	.36*	-	
6. TV	.31*	.29*	.30*	.24*	.24*	-
7. EN	.22*	.28*	.27*	.28*	.29*	.17*

PA= Problèmes arithmétiques; OA= Opérations arithmétiques ;
 CE= Compréhension de l'écrit ; TV= Traitement visuo-spatial ;
 EN= Estimation numérique. *p<.001

Tableau 4. Analyse de régression multiple prédisant la performance arithmétique au prétest (N=322)

		Performance Arithmétique (PA) au prétest	
		β	R^2
1. Variable de contrôle			
	Milieu	.02	5,42%
2. Variables prédictives			
	OA	.51**	20,65%
	CE	.11**	23,98%
	TV	.14**	10,18%
	EN	.02	16,42%

**p<.001

Tableau 5. Analyse de régression multiple prédisant la performance arithmétique au post-test dans chacun des groupes

	Performance Arithmétique (PA) au post-test			
	GE (n=108)		GCA (n=206)	
	β	R ²	β	R ²
1. Variable de contrôle				
Milieu	.08	8,25%	.03	7,06%
2. Variables prédictives				
OA	.42***	24,13%	.52**	19,53%
CE	.27***	25,47%	.17**	23,36%
TV	.08	11,80%	.11*	10,65%
EN	.02	20,50%	.08	16,04%

*p<.05 ; **p<.01 ; ***p<.001

Tableau 6. Analyse de régression multiple prédisant la performance arithmétique au post-test différé dans chacun des groupes

	Performance Arithmétique (PA) au post-test			
	GE (n=111)		GCA (n=194)	
	β	R ²	β	R ²
1. Variable de contrôle				
Milieu	.01	7,17%	.01	7,17%
2. Variables prédictives				
OA	.42***	23,21%	.52***	17,90%
CE	.30***	25,90%	.10	22,73%
TV	.07	10,38%	.17*	10,86%
EN	.06	17,86%	.07	14,91%

*p<.05 ; **p<.01 ; ***p<.001

Figure 1. Scores moyens observés au prétest, au post-test et au post-test différé à l'épreuve de problèmes arithmétiques (PA) dans chaque groupe.

