

Validation des subtests sur les fractions de la batterie d'évaluation Examath 8-15

Anne LAFAY*, Sarah ECHERBAULT **, Marie-Christel HELLOIN ***

* orthophoniste, membre de l'Ordre des Orthophonistes et Audiologistes du Québec, chercheuse postdoctorale, Mathematics Teaching and Learning Lab, Concordia University, Montréal, Canada

** orthophoniste, France

*** orthophoniste, chargée de cours au Centre de Formation Universitaire d'Orthophonie des universités de Caen et Rouen, France

Adresses de correspondance :

lafay_anne@yahoo.fr

Résumé :

Les connaissances sur les fractions et la capacité à les utiliser sont primordiales pour un développement mathématique abouti et prédisent les futures capacités algébriques. En ce sens, investiguer les connaissances sur les fractions est précieux lors d'une évaluation des habiletés mathématiques d'un adolescent. Le premier objectif de cette étude était de (ré)évaluer la validité des cinq subtests relatifs aux fractions proposés pour les 13-15 ans dans Examath 8-15 – seul outil d'évaluation francophone de ces compétences existant pour cette tranche d'âge à ce jour. Un groupe de 22 adolescents sans difficulté en 4^e au collège a passé ces cinq subtests ainsi qu'un subtest sur les fractions de la batterie Tedi-math Grands. Le second objectif était de poursuivre l'étude de validité du subtest Ligne Numérique Fraction et de produire des normes pour ce subtest. Aussi, 84 adolescents sans difficulté et 28 adolescents avec difficulté des apprentissages en mathématiques de 4^e et 3^e au collège ont passé ce subtest. Les résultats montrent une bonne validité concomitante, une bonne validité prédictive, une bonne cohérence interne inter-subtests et une bonne fidélité test/retest des cinq subtests relatifs aux fractions. Pour le subtest LNF, sont mis en évidence une bonne cohérence interne inter-items, un bon pouvoir discriminant, de bonnes sensibilité et spécificité. En conclusion, l'étude permet de confirmer que les cinq subtests relatifs aux fractions d'Examath 8-15 ont des qualités psychométriques satisfaisantes.

Mots clés : mathématiques, fraction, ligne numérique, évaluation, psychométrie, validité, fidélité

Validation of subtests on fractions in Examath 8-15

Summary:

Knowledge on fractions and abilities to use them are essential for an accomplished mathematical development and predicts the future algebraic abilities. To investigate knowledge on fractions thus is precious during a mathematical assessment of a teenager. The first aim was to investigate the validity of five subtests on fractions proposed for 13-15-year-old teenagers in Examath 8-15 – the only French-speaking evaluation tool of these skills existing for this age. A total of 22 teenagers of grade 8 without any difficulty were administered these subtests as well as a subtest on fractions of Tedi-math Grands. The second aim was to pursue the study of validity of the subtest Number Line Fraction and to develop standardized norms. For that purpose, a total of 84 8-9-grade teenagers without any difficulty and 28 teenagers with mathematical learning difficulty were administered this subtest. The results showed a good concomitant validity, a good validity of construct in relation with the individual characteristics, a good inter-subtests consistency and a good temporal reliability of the five subtests. For the LNF subtest, the results highlighted a good inter-items consistency, a good discriminating validity, a good sensibility and specificity. In conclusion, the study allows to confirm that the five tests relative to fractions of Examath 8-15 have good psychometric properties.

Key words: mathematics, fraction, number line, assessment, psychometry, validity, reliability

----- INTRODUCTION -----

Les mathématiques tiennent une place importante dans la vie quotidienne (manipuler des quantités et des nombres, le temps, les distances, etc.) et dans la vie scolaire. Le niveau mathématique à 7 ans prédit le niveau socioéconomique à 42 ans (Ritchie & Bates, 2013). En particulier, la maîtrise des fractions des élèves de primaire prédit leurs compétences mathématiques au collège et au lycée (Siegler et al., 2012). Les fractions sont donc un pilier essentiel dans la construction de compétences mathématiques abouties.

En France, l'enseignement des fractions s'étend du CM1 jusqu'à la 4^e au collège. Au-delà, les fractions ne sont plus l'objet de chapitres spécifiquement dédiés. Cependant, de nombreux nouveaux chapitres font appel aux fractions et en nécessitent donc une bonne maîtrise (algèbre, géométrie, probabilités). La maîtrise des fractions est donc fondamentale dans l'enseignement des mathématiques et joue un rôle majeur dans les chapitres de niveau supérieur (Gabriel, Szücs & Content, 2013). Les fractions représentent encore un défi chez grand nombre d'adultes (Siegler & Lortie-Forgues, 2015).

1. Les fractions

a. Modèle des connaissances conceptuelles et procédurales

Hiebert et LeFevre (1986) proposent un modèle de l'apprentissage des mathématiques reposant sur une importante distinction entre les connaissances procédurales et les connaissances conceptuelles. Les procédures sont mises en jeu lors des activités de calcul avec des fractions, c'est-à-dire lorsqu'il faut appliquer une méthode. Les concepts correspondent à la compréhension des différents sens de la fraction (« partie-tout » et « nombre »). Ainsi, les procédures permettent de manipuler les fractions et les concepts d'en estimer la magnitude.

La fraction partie-tout pourrait être perçue précocement chez le bébé ou le jeune enfant. Gabriel et al. (2013) avancent l'existence d'une compréhension innée de la proportion. Par exemple, la compréhension des proportions est présente chez les singes (Vallentin & Nieder, 2008), les jeunes enfants préverbaux (McCrink & Wynn, 2007) et les jeunes enfants de 4 ans (Duffy, Huttenlocher & Levine, 2005 ; Mix, Levine & Huttenlocher, 1999). Grâce au système cognitif primaire et évolutif capable de traiter le concept de partie-tout, les enfants traiteraient les rapports avant même d'avoir reçu un apprentissage formel. Toutefois, la maîtrise du concept de la fraction nombre est essentielle dans la compréhension aboutie des fractions : accéder au concept de fraction nombre permet de concevoir la fraction en tant que nombre et de lui attribuer une magnitude. Maîtriser ce concept permet donc d'appréhender plus rapidement la taille d'une fraction (Meert, Grégoire & Noël, 2010). Ce concept n'est pas intuitif, de sorte que son apprentissage dépend d'une instruction formelle et représente un défi pour tous les enfants (Iuculano & Butterworth, 2011). Le concept de fraction nombre représente un défi pour les étudiants universitaires (Lortie, Tian & Siegler, 2015).

Les procédures et les concepts correspondent à des connaissances distinctes mais ces connaissances se renforcent mutuellement : les connaissances de chaque composante contribuent à accroître celles de l'autre composante (Bailey, Siegler & Geary, 2014 ; Bailey et al., 2015 ; Fuchs et al., 2013 ; Hecht & Vagi 2010, 2012 ; Rittle-Johnson & Siegler, 1998 ; Siegler & Pyke, 2013 ; Vukovic et al., 2014).

b. Prédicteurs

Plusieurs prédicteurs sont déterminants pour le développement de la compréhension et de l'utilisation des fractions. Par exemple, Vukovic et al. (2014) ont montré que la compréhension conceptuelle des fractions en CM1 est prédite par les connaissances conceptuelles de la fraction nombre (tâche de placement de nombres sur une ligne numérique) et les capacités arithmétiques en CE1, elles-mêmes prédites par le langage, la mémoire visuospatiale, l'attention et les habiletés de traitement des nombres en CP (voir aussi Fuchs et al., 2014 ; Jordan et al., 2013). Peng, Namkung, Barnes et Sun (2016) ont aussi montré que les capacités à comparer des fractions sont corrélées aux capacités en mémoire de travail. Selon Geary, Nicholas, Li et Sun (2017), les habiletés cognitives générales expliquent, en effet, une grande part de la variabilité inter-individuelle pour les capacités mathématiques dont la comparaison de fractions. De plus, selon la théorie intégrative du développement numérique (Siegler, Thompson & Schneider, 2011 ; Siegler, 2016), une bonne conceptualisation du nombre entier, de bonnes capacités de mapping (processus consistant à faire correspondre deux éléments) ainsi que de bonnes capacités de raisonnement analogique (voir aussi Morsanyi, Prado & Richland, 2018) sont nécessaires à l'apprentissage des fractions. Le développement de la conception des nombres rationnels – et en particulier leur modélisation sur ligne numérique – dépend, entre autres, de la précision des nombres entiers sur ligne numérique (voir Schneider et al., 2018).

c. Le biais des nombres entiers

Il est nécessaire de maîtriser préalablement les propriétés des nombres entiers pour aborder les nombres fractionnaires. Paradoxalement, celles-ci constituent aussi un biais dans l'apprentissage des fractions (Lortie-Forgues, Tian & Siegler, 2015 ; Ni & Zhou, 2005). Les fractions confrontent, pour la première fois, les enfants à des situations dans lesquelles les propriétés des nombres entiers ne s'appliquent pas. L'assimilation du concept de fraction nécessite une réorganisation afin de concevoir les fractions comme des nouveaux nombres (Siegler, Fazio, Bailey & Zhou, 2013). Les enfants sont ainsi confrontés à des défis conceptuels et des défis procéduraux (Schneider & Siegler, 2010 ; Siegler et al., 2013 ; Vukovic et al., 2014).

Parmi les défis conceptuels, les enfants doivent comprendre que les deux nombres entiers constituant la fraction ne représentent qu'une seule quantité. De plus, la comptine des nombres fractionnaires est impossible car il n'existe pas de liste discrète, du fait de son infinité. En d'autres termes, il n'existe pas de plus petit nombre fractionnaire et ceux-ci n'ont pas de prédécesseur ni de successeur unique. Parmi les défis procéduraux, les enfants sont confrontés à de nouvelles règles qui diffèrent selon l'addition / soustraction ou la multiplication / division. Par exemple, contrairement aux nombres entiers, un produit de deux nombres fractionnaires ne donne pas toujours un résultat plus grand que leurs parties, et inversement pour les quotients. Durant les premiers apprentissages fractionnaires, le biais du nombre entier cause naturellement des erreurs d'interprétation des fractions chez les enfants. Ces nouvelles propriétés vont à l'encontre des apprentissages sur le nombre entier et représentent un défi cognitif pour le jeune en apprentissage (Ni & Zhou, 2005)¹.

¹ Voir le blog Parlons Apprentissage pour un billet de vulgarisation à ce sujet : <https://parlonsapprentissage.com/pourquoi-lapprentissage-des-fractions-et-des-nombres-decimaux-est-il-si-difficile/>

2. Le trouble des apprentissages en mathématiques

Le trouble des apprentissages en mathématiques (TAM) touche le traitement des données numériques, l'apprentissage des faits arithmétiques, le calcul ou la résolution de problèmes comme l'indique le DSM-5 (APA, 2013). Les difficultés apparaissent en cours de scolarité primaire et sont présentes (de manière quantifiable) pendant au moins six mois malgré la mise en place de mesures spécifiques (pédagogique ou thérapeutique) interférant avec les performances scolaires et les activités de la vie quotidienne. Enfin, les difficultés ne peuvent être mieux expliquées par un handicap intellectuel, une acuité visuelle ou auditive non corrigée, des troubles neurologiques ou mentaux, un trouble psychosocial, un manque de maîtrise de la langue d'enseignement scolaire ou une pédagogie inadéquate de l'enseignement. La cause du TAM est controversée. Selon une première hypothèse, le TAM résulterait d'un trouble cognitif général affectant par exemple la mémoire de travail (pour une revue, voir Geary, 2010). Selon une seconde hypothèse, le TAM résulterait d'un déficit cognitif numérique : un déficit du sens du nombre, un déficit d'accès au sens du nombre via les codes symboliques arabes et oraux, ou un déficit de reconnaissance des codes symboliques arabes et oraux (pour une revue, voir Lafay, St-Pierre & Macoir, 2015).

3. Les connaissances sur les fractions des jeunes ayant un TAM

Selon la Théorie intégrative du développement numérique (Siegler, 2016), une bonne conceptualisation du nombre entier ainsi que de bonnes capacités de raisonnement analogique sont nécessaires à l'apprentissage des fractions. Or, les enfants avec un TAM présentent des lacunes au niveau de la mise en place du sens du nombre ou bien de son accès (voir Lafay & al., 2015 pour une revue) ainsi que des difficultés de raisonnement (Morsanyi et al., 2018), menant ainsi à des répercussions sur le développement des connaissances sur les fractions.

Tout d'abord, les jeunes avec un TAM présentent des difficultés au niveau des connaissances procédurales des fractions se révélant par des difficultés à effectuer des opérations avec les fractions. De plus, les jeunes ayant un TAM ne parviennent pas à lire des nombres décimaux, à ordonner des nombres décimaux et des fractions, à identifier des rapports équivalents sur des images (Mazzocco & Devlin, 2008). Les jeunes avec un TAM présentent également des difficultés au niveau des connaissances conceptuelles des fractions (Morisse, 2016). Par exemple, Zhang, Stecker et Beqiri (2017) ont analysé les stratégies de jeunes de 6^e, 5^e et 4^e au collège avec ou sans difficulté mathématique à une tâche de placement de fractions sur une ligne numérique 0-1 et 0-5. Les résultats montrent que les jeunes TAM font plus d'erreurs, suggérant la non compréhension du sens de la fraction. Fazio, DeWolf et Siegler (2016) ont évalué des étudiants universitaires sur une tâche de comparaison de fractions (entre 0 et 1) et une tâche de placement de fractions sur une ligne numérique 0-5. Ils ont montré que les étudiants faibles en mathématiques avaient moins de stratégies et des stratégies peu adaptées dans la majorité des items. Lorsqu'ils échouaient, les étudiants bons en mathématiques ne réussissaient pas à rappeler la stratégie adéquate, alors que les étudiants faibles en mathématiques ne réussissaient pas à rappeler la stratégie adéquate et manquaient de compréhension conceptuelle des procédures correctes. Mazzocco, Myers, Lewis, Hanich et Murphy (2013) ont investigué les trajectoires développementales de jeunes de CM1 à 3^e – sans difficulté, faibles en mathématiques et ayant un TAM – sur une tâche de comparaison de fractions. Ils ont souligné des difficultés en comparaison de fractions chez les jeunes ayant un TAM supérieures à celles rencontrées par le groupe sans difficulté et par le groupe faible. Ils ont également montré que les difficultés étaient persistantes. Les jeunes ayant un TAM

utilisent des stratégies d'analyse componentielle (c'est à dire considérer séparément les numérateurs et dénominateurs), plutôt que des stratégies d'analyse holistique (c'est à dire considérer la magnitude de la fraction) (Tian & Siegler, 2017). Il est pourtant essentiel, pour accéder à la maîtrise des procédures fractionnaires, de comprendre que la fraction est une entité numérique propre. Les jeunes ayant un TAM sont ainsi en difficulté dans la construction des concepts de « partie/tout » et de « fraction-nombre » ainsi que dans l'élaboration des techniques opératoires. Ils ne construisent donc pas les connaissances conceptuelles et procédurales fractionnaires suffisantes pour un développement mathématique abouti.

4. L'évaluation des connaissances sur les fractions

Plusieurs outils d'évaluation francophone sont à disposition des professionnels pour évaluer les connaissances que les adolescents de 4^e et 3^e au collège ont des fractions : cinq subtests dans Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016), un subtest dans Tedi-math Grands (Noël & Grégoire, 2015), quelques items dans l'outil de dépistage EDA (Billard & Touzin, 2011), six subtests dans Keymath-3 (Connolly, 2008), quelques items dans WIAT-II (Wechsler, 2005), Numerical (Gaillard, 2000).

La présente étude s'est intéressée à la batterie Examath 8-15. Selon Lafay et Cattini (2017, 2018), la batterie Examath 8-15 est un outil orthophonique d'évaluation des habiletés mathématiques qui possède de bonnes qualités psychométriques. Toutefois, les différents subtests évaluant les compétences relatives aux fractions n'ont pas fait l'objet d'une étude spécifique couvrant l'ensemble des critères de validité et de fidélité. De plus, le subtest Ligne Numérique Fraction était le seul subtest publié explorant de façon spécifique l'accès à la magnitude des fractions mais jusqu'à présent uniquement qualitative puisqu'aucune norme n'était disponible.

5. Les qualités psychométriques des tests

Un outil d'évaluation doit respecter plusieurs propriétés psychométriques pour être considéré de bonne qualité : il doit être standardisé, valide, fidèle et posséder des données normatives (voir par exemple : Gaul Bouchard, Fitzpatrick & Olds, 2009 ; Ivanova & Hallowell, 2013 ; Leclercq & Veys, 2014).

Un test est standardisé lorsque les conditions de passation et de cotation ont été systématisées et uniformisées lors de l'étalonnage.

La validité d'un test réfère au degré avec lequel un test mesure vraiment ce qu'il prétend mesurer. Par exemple, la validité de contenu, parfois appelée validité théorique, réfère à la pertinence du contenu du test ; la validité de critère (ou validité empirique) est la capacité d'un test à évaluer adéquatement la performance par rapport à un critère de référence externe et indépendant ; la validité concomitante (ou validité concourante ou concordante) implique une comparaison, au même moment de mesure, entre le test et un critère de référence externe ; la validité prédictive implique une comparaison, en temps différé, entre le test et un critère qui sert d'indicateur d'une performance future pour une tâche de nature similaire que l'on cherche à prédire ; la validité en lien avec les caractéristiques de l'individu concerne le fait que lorsque le construit mesuré est intrinsèquement relié à une ou plusieurs caractéristiques « évidentes » de l'individu, la mesure de ce construit doit être sensible à cette

relation (par exemple sexe, âge, niveau socioéconomique, pathologie, etc.) ; la sensibilité est le pouvoir qu'un test possède pour repérer un enfant en difficulté comme étant effectivement en difficulté (c'est à dire un vrai positif) ; la spécificité est le pouvoir qu'un test possède pour repérer une personne saine comme étant effectivement saine (c.-à-d. un vrai négatif).

La fidélité d'un test porte sur son degré de cohérence, de précision et de reproductibilité. Par exemple, la cohérence interne concerne le fait qu'un test psychologique soit cohérent avec lui-même et que chacune de ses composantes réagisse de manière cohérente à une même réponse ; la fidélité temporelle (ou test-retest) stipule que l'outil est en mesure de fournir des résultats comparables entre deux passations à des temps différents, ce qui assure que les résultats obtenus ne sont pas l'effet du hasard.

----- OBJECTIFS -----

Cette étude a pour but d'évaluer les qualités psychométriques des subtests relatifs aux connaissances sur les fractions appartenant à la batterie d'évaluation mathématique intitulée Examath 8-15. Pour ce faire, des objectifs spécifiques sont développés.

Le premier objectif spécifique est de (ré)évaluer la validité (validité concomitante, validité de construit en lien avec les caractéristiques individuelles, cohérence interne inter- subtests) et la fidélité (fidélité test/retest) de cinq subtests (Fractions en images, Jugement d'écriture décimale, Comparaison de fractions, Ligne Numérique Fraction (LNF), Calcul avec fractions) de la batterie Examath 8-15 évaluant les compétences relatives aux fractions.

Le second objectif spécifique concerne un subtest particulier parmi les cinq : le subtest LNF. Il consiste à évaluer, outre les critères de validité listés ci-dessus pour l'ensemble des subtests, la validité de construit en lien avec les caractéristiques individuelles et le pouvoir diagnostique, la cohérence interne intra-subtests / inter-item, la sensibilité, la spécificité et la précision. Il consiste à évaluer et à développer les normes quantitatives de ce subtest à partir des résultats des sujets contrôles. Parce que le concept de fraction nombre est un grand défi, qu'il ne peut être réellement maîtrisé par la plupart qu'en fin de collège, ce subtest n'est destiné qu'aux élèves de 4^e et 3^e au collège.

----- METHODE -----

1. Participants

Trois groupes d'adolescents ont été recrutés pour mener à bien cette étude. Tout d'abord, la population contrôle (CTRL) pour la normalisation du subtest LNF a été recrutée dans deux collèges publics dans le Calvados (14) et en Ile-et-Vilaine (35). Les critères d'inclusion étaient : 1) avoir le français comme langue maternelle, 2) ne pas avoir redoublé plus d'une classe, et 3) ne pas avoir eu de suivi orthophonique concernant des troubles du langage oral/écrit ni concernant des difficultés en mathématiques. Le groupe CTRL est ainsi constitué de 84 adolescents scolarisés en 4^e et en 3^e au collège.

Le deuxième groupe (CTRL+) est un sous-groupe du groupe CTRL, par sélection aléatoire de 22 de ses membres, constitué pour les études de validité. Il répond donc aux mêmes critères d'inclusion. Les 22 adolescents sont scolarisés en 4^e au collège.

Le troisième groupe est un groupe représentatif des adolescents ayant un trouble des apprentissages en mathématiques (TAM). Les critères d'inclusion sont en lien avec la définition donnée par le DSM-5 : 1) avoir des difficultés mathématiques à l'école (un test mathématique, décrit dans la section suivante – Mesures –, permettra d'assurer la présence de difficultés mathématiques par rapport à une norme), 2) depuis plus de six mois, 3) avoir un suivi en orthophonie pour des difficultés en mathématiques avec une cotation AMO 10.2 selon la Nomenclature Générale des Actes Professionnels (rééducation des troubles de la cognition mathématique), 4) avoir le français comme langue maternelle, 5) ne pas avoir redoublé plus d'une classe, 6) ne pas présenter un trouble sensoriel, moteur, neurologique, psychosocial pouvant expliquer les difficultés. Le groupe TAM est constitué de 28 adolescents scolarisés en 4^e et en 3^e au collège. Notons que des adolescents présentant seulement un TAM et des adolescents souffrant à la fois d'un TAM et d'un trouble des apprentissages du langage écrit (TLE) ont été inclus car la littérature scientifique indique une fréquente comorbidité entre les deux types de difficultés (Badian, 1999). Selon Landerl, Bevan et Butterworth (2004), les enfants ayant un TAM-TLE se comportent de manière similaire à ceux ayant seulement un TAM et de manière significativement différente de ceux ayant seulement un TLE. Ainsi, parmi les 28 adolescents de la population TAM, 21 présentaient uniquement un TAM et 7 présentaient un TAM-TLE.

2. Mesures

a. Examath 8-15

La batterie d'évaluation mathématique Examath 8-15 (Lafay & Helloin, 2016) a été utilisée pour mener à bien cette étude. En particulier, six subtests ont été sélectionnés. Le premier, Fluence arithmétique, est intégré au module Arithmétique et concerne les nombres entiers. Les cinq autres concernent les connaissances relatives aux nombres rationnels : quatre subtests du module Numération (Fractions en images, Jugement d'écriture décimale, Comparaison de fractions, LNF) et un subtest du module Arithmétique (Calcul avec fractions).

Le subtest Fluence arithmétique est une épreuve de vitesse de calcul mental. Les adolescents doivent répondre à quatre séries de calcul en une minute : additions, soustractions, multiplications et divisions. La variable dépendante est le nombre de réponses correctes.

Dans le subtest Fractions en images, un dessin représentant une certaine quantité d'un tout est accompagné de quatre fractions. Les adolescents doivent choisir la ou les fractions correspondant à la partie désignée par le dessin (8 items). La variable dépendante est le score (nombre de bonnes réponses).

Dans le subtest Jugement d'Écriture Décimale, les adolescents doivent dire si un nombre décimal correspond ou non à une représentation imagée (12 items). La variable dépendante est le score (nombre de bonnes réponses).

Dans le subtest Comparaison de Fractions, les adolescents doivent cliquer sur « > », « = » ou « < » pour comparer deux fractions (10 items). La variable dépendante est le score (nombre de bonnes réponses).

Dans le subtest LNF, les adolescents doivent estimer la taille numérique de la fraction (10 items) et placer le curseur sur la ligne numérique 0-5. Les variables dépendantes sont la distance moyenne à la bonne réponse et le temps de passation.

Dans le subtest Calcul avec fractions, les adolescents doivent résoudre des additions, des soustractions, des multiplications et des divisions avec des fractions ainsi que réduire au maximum des fractions (13 items). La variable dépendante est le score (nombre de bonnes réponses).

b. Tedi math Grands

La batterie d'évaluation mathématique Tedi-math Grands (Noël & Grégoire, 2015) a été utilisée pour mener à bien cette étude. En particulier, le subtest relatif aux fractions a été sélectionné. Ce subtest propose plusieurs types de consignes : 1) représenter graphiquement une fraction en entourant ou en coloriant une quantité analogique pour évaluer la capacité à faire le lien entre une représentation symbolique et non symbolique du rapport fractionnaire ; 2) transformer une fraction en un nombre décimal pour évaluer les connaissances procédurales liées aux nombres décimaux ; 3) réaliser des additions de fractions pour évaluer les connaissances procédurales liées aux fractions ; 4) indiquer s'il existe un nombre compris entre deux fractions pour évaluer les connaissances conceptuelles relatives aux nombres rationnels.

c. Notes scolaires en mathématiques

Les moyennes scolaires en mathématiques ont été recueillies pour le troisième trimestre de l'année auprès de l'enseignant de chaque adolescent pour les jeunes des groupes CTRL et CTRL+.

3. Procédure générale

Les jeunes n'ont pas tous effectué l'intégralité des tests et dans les mêmes conditions. Les passations pour les adolescents des groupes CTRL et CTRL+ ainsi que pour 4 adolescents du groupe TAM se sont déroulées au sein des établissements scolaires dans les salles informatiques, alors qu'elles se sont déroulées dans le bureau des orthophonistes (douze issues de différentes régions de France) pour les 24 autres adolescents du groupe TAM. Les passations ont été collectives pour le groupe CTRL mais individuelles pour les CTRL+ et TAM.

Les adolescents des groupes CTRL et CTRL+ ont été testés entre les mois de mai et de juin 2017. Les adolescents du groupe CTRL+ ont été testés deux fois (T1 et T2) avec un intervalle entre les passations variant de deux à cinq semaines. Les adolescents du groupe TAM ont été testés entre les mois d'avril et de juillet 2017.

Les adolescents du groupe CTRL ont effectué le seul subtest LNF en vue de l'établissement de normes pour ce subtest. Les adolescents du groupe CTRL+ ont effectué les six subtests issus de la batterie Examath 8-15 (Fluence arithmétique, Fractions en images, Jugement d'écriture décimale, Comparaison de fractions, LNF, Calcul avec fractions) ainsi que le subtest de fraction du Tedi-Math Grands en T1. Ils ont effectué de nouveau cinq subtests issus de la batterie Examath 8-15 (Fractions en images, Jugement d'écriture décimale,

Comparaison de fractions, LNF, Calcul avec fractions) en T2. Les moyennes scolaires en mathématiques ont été recueillies pour le troisième trimestre de l'année. Les adolescents du groupe TAM ont effectué deux subtests issus de la batterie Examath 8-15 (Fluence arithmétique, LNF). Le subtest Fluence arithmétique a été administré pour s'assurer que les jeunes recrutés présentaient des difficultés avérées en calcul. Le subtest LNF a été administré dans l'objectif d'obtenir des données comparatives entre les jeunes du groupe TAM et les jeunes du groupe CTRL. Enfin, les autres subtests n'ont pas été administrés aux jeunes du groupe TAM car des données comparatives entre des jeunes ayant un TAM et les jeunes sans difficulté étaient déjà disponibles pour les subtests Fractions en images, Jugement d'écriture décimale, Comparaison de fractions et Calcul avec fractions (Lafay & Helloin, 2016).

Afin d'éviter les biais par fatigabilité et pour respecter les conditions de passation de l'étalonnage initial, les subtests ont été organisés en cinq ordres de passage différents. Chaque adolescent du groupe CTRL+ s'est vu attribuer deux ordres différents entre le T1 et le T2.

----- RESULTATS -----

1. Caractéristiques des groupes

a. Caractéristique démographique

Deux tests de χ^2 ont été réalisés afin de comparer les différences de répartition de genre et niveau scolaire entre les groupes CTRL et TAM. Les analyses montrent qu'il n'existe aucune différence significative entre les deux groupes ni dans la répartition du genre ($\chi^2(1, N = 112) = .599, p = .439$) ni dans la répartition des niveaux 4^e/3^e ($\chi^2(1, N = 112) = .302, p = .582$; voir tableau 1).

	CTRL	TAM
Effectif	84	28
Genre : garçons	37	10
Genre : filles	47	18
Niveau : 4^e	38	11
Niveau : 3^e	46	17

Tableau 1. Effectif, répartition en genre et en niveau scolaire selon le groupe

b. Performances mathématiques

Une analyse de variance multivariée (MANOVA) a été menée afin de comparer les scores obtenus par les adolescents des groupes CTRL+ et TAM au subtest Fluence Arithmétique (voir tableau 2). L'analyse montre un effet significatif du groupe ($F(1, 47) = 41.918, p < .001, \eta_p^2 = .471$). Au subtest Fluence Arithmétique, les adolescents du groupe CTRL+ obtiennent des résultats significativement supérieurs aux résultats des sujets du groupe TAM. Lorsque l'âge est pris en covariable de l'analyse, l'effet de groupe est toujours significatif ($F(1, 47) = 18.077, p < .001, \eta_p^2 = .278$).

	CTRL+ (N = 22)			TAM (N = 28)		
	Moyenne (ET)	Minimum	Maximum	Moyenne (ET)	Minimum	Maximum
Fluence arithmétique	87.82 (16.60)	56.00	111.00	58.48 (15.08)	32.00	88.00

Tableau 2. Performances en Fluence Arithmétique selon le groupe

2. Validité et fidélité des cinq subtests de la batterie Examath 8-15

a. Validité concomitante

Des analyses de corrélation de Pearson ont été réalisées pour étudier la relation entre les scores obtenus par le groupe CTRL+ aux cinq subtests de fractions de la batterie Examath 8-15 et le subtest de fraction issu du Tedi-Math Grands (voir tableau 3). Le score au subtest de fraction du Tedi-Math Grands est corrélé positivement et fortement aux résultats de trois subtests : Calcul avec Fractions ($r = .635, p = .002$), Jugement d'écriture décimale ($r = .469, p = .028$) et Comparaison de fractions ($r = .739, p < .001$). De plus, le score au subtest de fraction issu du Tedi-Math Grands est corrélé négativement et fortement à la distance moyenne des réponses données au subtest LNF ($r = -.450, p = .035$) et marginalement et négativement au temps de réalisation du subtest LNF ($r = -.408, p = .059$). Ainsi, plus la performance obtenue au subtest de fraction du Tedi-Math Grands est élevée, plus les réponses sont précises et rapides au subtest LNF. En outre, aucune corrélation n'est observée avec le subtest de Fractions en images ($r = .308, p = .164$).

	CTRL+ (N = 22)*		
	Moyenne (ET)	Minimum	Maximum
Fractions en images	31.95 (4.86)	23.00	38.00
Jugement d'écriture décimale	9.05 (2.79)	1.00	12.00
Comparaison de fractions	7.68 (2.46)	0.00	10.00
LNF : Distance moyenne	0.52 (0.54)	0.00	1.93
LNF : Temps (en secondes)	9.96 (3.70)	3.00	23.80
Calcul avec Fractions	7.23 (2.39)	3.00	11.00
Tedi-math Grands	8.82 (2.67)	2.00	14.00

* CTRL (N = 84) pour LNF

Tableau 3. Performances du groupe CTRL+ aux différents subtests relatifs aux fractions au T1

b. Validité prédictive

Deux analyses de corrélation de Pearson ont été menées afin d'étudier le lien entre la moyenne scolaire en mathématiques (voir tableau 4) et les résultats aux subtests de fractions de la batterie. Tout d'abord, une analyse a été réalisée auprès du groupe CTRL afin d'étudier le lien entre la moyenne scolaire mathématique et les résultats en temps et en précision au subtest LNF. Les analyses montrent que la moyenne scolaire en mathématiques est corrélée négativement et moyennement à la distance moyenne des réponses données au subtest LNF ($r = -.364$, $p = .001$). En revanche, aucune corrélation n'est identifiée entre la moyenne scolaire en mathématiques et le temps de réalisation du subtest LNF ($r = -.056$, $p = .620$). Ainsi, plus la moyenne scolaire en mathématiques des élèves est élevée, plus la distance moyenne des réponses données au subtest LNF est faible, ce qui indique une plus grande précision des réponses.

	CTRL+ (N = 84)		
	Moyenne (ET)	Minimum	Maximum
Notes scolaires	13.36 (2.81)	1.43	18.81

Tableau 4. Performances scolaires mathématiques selon le groupe

La seconde analyse a été menée auprès du groupe CTRL+ afin d'étudier le lien entre la moyenne scolaire mathématique et les résultats aux quatre autres subtests relatifs aux fractions de la batterie. Les analyses montrent que la moyenne scolaire en mathématiques est corrélée positivement et fortement aux scores aux subtests Jugement d'écriture décimale ($r = .520$, $p = .013$), Comparaison de fractions ($r = .492$, $p = .02$) et Calcul avec fractions ($r = .626$, $p = .002$). Cependant, la moyenne scolaire en mathématiques n'est pas corrélée au résultat au subtest Fractions en images ($r = .192$, $p = .392$).

c. Cohérence interne inter-subtests

Des analyses de corrélation de Pearson ont été menées afin d'étudier les liens entre les scores aux cinq subtests relatifs aux fractions de la batterie au sein du groupe CTRL+. Les analyses montrent que le score au subtest Comparaison de fractions est corrélé positivement et fortement aux scores de trois autres subtests : Calcul avec fractions ($r = .548$, $p = .008$), Fractions en images ($r = .457$, $p = .033$) et Jugement d'écriture décimale ($r = .587$, $p = .004$). Concernant le subtest LNF, les scores de distance moyenne sont corrélés négativement et fortement aux scores de précision à deux subtests : Fractions en images ($r = -.432$, $p = .045$) et Calcul avec fractions ($r = -.530$, $p = .011$). Ainsi, plus les réponses des adolescents au subtest LNF sont précises, meilleures sont leurs performances aux subtests de Fractions en images et Calcul avec fractions. Les temps de réalisation du subtest LNF sont corrélés négativement et fortement aux scores de Comparaison de fractions ($r = -.425$, $p = .049$). Ainsi, plus le subtest LNF est réalisé rapidement, meilleures sont les performances au subtest Comparaisons de Fractions.

d. Fidélité temporelle

Des analyses de corrélation de Pearson ont été effectuées afin d'étudier la relation entre les scores obtenus par les adolescents du groupe CTRL+ à deux temps différents. Les analyses montrent que les scores obtenus à T1 et à T2 (voir tableau 5) pour chacun des cinq subtests relatifs aux fractions d'Examath 8-15 sont corrélés entre eux positivement et fortement : Comparaison de fractions ($r = .858, p < .001$), Fractions en images ($r = .491, p = 0.02$), Jugement d'écriture décimale ($r = .538, p = 0.01$) et Calcul avec fractions ($r = .728, p < .001$). De la même manière, les temps de réalisation au subtest LNF à T1 et à T2 sont positivement et fortement corrélés ($r = .543, p = .009$) ; les scores de distance moyenne au subtest LNF aussi ($r = .682, p < .001$).

	CTRL+ (N = 22)*		
	Moyenne (ET)	Minimum	Maximum
Fractions en images	31.77 (4.46)	20.00	38.00
Jugement d'écriture décimale	10.14 (1.49)	8.00	12.00
Comparaison de fractions	7.91 (2.27)	4.00	10.00
LNF : Distance moyenne	0,56 (0.65)	0.02	2.67
LNF : Temps (en secondes)	9.52 (2.61)	4.12	15.22
Calcul avec Fractions	7.86 (2.46)	3.00	13.00

* CTRL (N = 84) pour LNF

Tableau 5. Performances du groupe CTRL+ aux différents subtests relatifs aux fractions au T2

3. Validité supplémentaire du subtest LNF

a. Validité de construit des mesures

Des tests de corrélation de Pearson ont été menés afin d'étudier le lien entre le temps de réalisation et la précision des réponses au subtest LNF dans le groupe CTRL. Les résultats montrent que le temps de réalisation et la distance moyenne des réponses sont corrélés positivement et moyennement ($r = .300, p = .006$).

b. Cohérence interne inter-items

Un coefficient de Cronbach a été calculé dans le groupe CTRL afin d'analyser la cohérence entre les dix items du subtest LNF. L'analyse montre un coefficient satisfaisant ($\alpha = .766$). Aucun retrait d'item ne permet d'augmenter significativement ce coefficient.

c. Validité de construit en lien avec les caractéristiques individuelles

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée afin de comparer les distances moyennes entre les groupes CTRL et TAM (voir tableau 6) au subtest LNF. L'analyse met en évidence un effet significatif du groupe sur la distance moyenne ($F(1, 110) = 142.865, p < .001, \eta_p^2 = .565$), indiquant que la distance moyenne est plus grande dans le groupe TAM (moyenne = 2.01 ; ET = 0.67) que dans le groupe CTRL (moyenne = 0.52 ; ET = 0.54).

	TAM (N = 28)		
	Moyenne (ET)	Minimum	Maximum
LNF : Distance moyenne	2.01 (0,67)	0.25	3.02
LNF : Temps (en secondes)	13.72 (3.21)	10.99	17.47

Tableau 6. Performances du groupe TAM au subtest LNF

De plus, une seconde ANOVA a été réalisée afin de comparer les distances moyennes entre les groupes CTRL et TAM au subtest LNF en fonction des dix items. L'analyse montre un effet significatif du groupe ($F(1, 83) = 140.311, p < .001, \eta_p^2 = .800$) et du type d'items ($F(9, 747) = 19.311, p < .001, \eta_p^2 = .189$). Les items les mieux réussis dans les deux groupes sont 16/4 et 9/3. Les items ayant posé le plus de difficultés dans les deux groupes sont 3/8 et 7/9. Enfin, l'analyse montre une interaction Groupe x Item ($F(9, 747) = 7.208, p < .001, \eta_p^2 = .108$). Les analyses post-hoc montrent une différence significative entre le groupe CTRL et le groupe TAM pour chacun des 10 items. Toutefois, l'inspection des scores bruts montre que la différence est moins importante pour certains items, tels que 16/4, 9/3, 1/3 et 7/2.

d. Sensibilité, spécificité et précision

Une analyse de sensibilité², spécificité³ et précision⁴ a été réalisée à partir des données des jeunes des groupes CTRL (84) et TAM (28) (voir le tableau 7). Le seuil considéré est le percentile 10. Ainsi, les analyses montrent que 24 jeunes TAM obtiennent un score sous le percentile 10 (85.71 % de vrais positifs), alors que 4 obtiennent un score au-dessus du percentile 10 (14.29 % de faux négatifs). Parmi les 84 jeunes CTRL, 76 obtiennent un score au-dessus du percentile 10 (90.48 % de vrais négatifs), alors que 8 obtiennent un score sous le percentile 10 (9.52 % de faux positifs). Ainsi, la sensibilité du subtest LNF est ainsi $[24 / (24 + 8)]$, soit 75 %. Sa spécificité est $[76 / (76 + 4)]$, soit 95 %. Enfin, sa précision globale est $[(76 + 24) / 112]$, soit 89 %.

	Effectif	Groupes	
		CTRL 84	TAM 28
Subtest LNF > Percentile 10	80	76 (VN)	4 (FN)
< Percentile 10	32	8 (FP)	24 (VP)

Tableau 7. Sensibilité et spécificité du subtest LNF au percentile 10 : nombre d'enfants vrais positifs, vrais négatifs, faux positifs, et faux négatifs

4. Constitution des normes pour le subtest LNF

a. Test de normalité

Le test de normalité de Shapiro-Wilk a été effectué afin d'étudier la distribution de la distance moyenne au subtest LNF pour le groupe CTRL. Les analyses mettent en évidence un résultat

² La sensibilité est établie à partir de la Valeur Prédictive Positive (VPP) calculée à partir de la formule $[\text{Nombre de VP} / (\text{Nombre total de Positifs diagnostiqués par le test mathématique (c.-à-d. VP + FP)}]$.

³ La spécificité est établie à partir de la Valeur Prédictive Négative (VPN) calculée à partir de la formule $[\text{Nombre de VN} / \text{Nombre total de Négatifs identifiés par le test mathématique (c.-à-d. VN + FN)}]$.

⁴ La précision globale d'un test se calcule à partir de cette formule : $[(\text{VN} + \text{VP}) / \text{total}]$.

significatif ($p < .001$). On rejette donc l'hypothèse de normalité. La distribution de la distance moyenne des réponses au subtest LNF ne suit donc pas la loi normale.

Un test second test de normalité de Shapiro-Wilk a été mené afin d'analyser la distribution du temps de réalisation du subtest LNF pour le groupe CTRL. À l'issue d'une première observation (analyse descriptive réalisée avec l'option « valeurs extrêmes (Outlier) » de la fonction Explorer du logiciel SPSS), les trois valeurs extrêmes ont été retirées, le groupe CTRL est donc constitué de 81 adolescents pour l'analyse du temps de réalisation. Les analyses mettent en évidence un résultat non significatif ($p = .473$). On accepte donc l'hypothèse de la normalité. La distribution du temps de réalisation au subtest LNF est normale.

b. Normes

Une analyse en percentiles a été réalisée pour produire les normes relatives au subtest LNF d'après les réponses données par le groupe CTRL. Puisque dans la batterie Examath 8-15, les 4^e et les 3^e constituent un seul niveau pour les normes des autres subtests, le même regroupement a été considéré. Les réponses des 84 adolescents du groupe CTRL ont été sélectionnées pour l'établissement des normes de la distance moyenne à la bonne réponse. Les temps de réponses de 81 adolescents du groupe CTRL (exclusion de trois valeurs extrêmes) ont été retenues pour l'établissement des normes de temps de réalisation.

Les normes de temps et de distance moyenne sont indiquées en percentiles dans le tableau 8. Les percentiles 95, 90, 75, 50, 25, 10 et 5 ont été calculés. Les adolescents sont considérés comme étant en difficulté avec cette tâche d'estimation de la magnitude fractionnaire lorsque leur score de distance moyenne se situe sous le percentile 10 (en regard des recommandations fournies par le DSM-5).

Percentiles	5	10	25	50	75	90	95
Temps (secondes)	15.14	13.29	11.36	9.25	7.76	6.11	3.91
Distance moyenne	1.64	1.35	0.95	0.29	0.06	0.03	0.03

Tableau 8. Normes en percentiles pour le subtest LNF - temps de réalisation et distance moyenne

----- DISCUSSION -----

1. Validité et fidélité des cinq subtests de la batterie Examath 8-15

Relativement au premier objectif, les résultats ont montré tout d'abord que, parmi les cinq subtests de la batterie évaluant les compétences relatives aux fractions, les scores de quatre d'entre elles (Calcul avec fractions, Jugement d'écriture décimale, Comparaison de fractions et LNF) sont corrélés au score au subtest issu du Tedi-math Grands évaluant lui-même la compréhension et la manipulation des fractions. Ce résultat suggère donc que ces quatre subtests présentent une bonne validité concomitante. Toutefois, le subtest Fractions en images n'est pas corrélé à l'épreuve de fraction du Tedi-math Grands. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que le concept de fraction partie-tout, au cœur du subtest Fractions en images, est évalué sous deux approches – ou modalités – différentes par les deux outils. Dans le Tedi-math Grands, l'adolescent est face à une fraction et doit en représenter la quantité analogique.

Le concept de fraction partie-tout est donc évalué au travers de la représentation graphique. De plus, la quantité analogique à représenter est mise en relation avec une seule écriture fractionnaire. Dans le subtest Fractions en images d'Examath 8-15, l'adolescent est face à une quantité analogique et quatre fractions écrites. Il doit sélectionner, parmi les quatre fractions, toutes celles rendant compte de la quantité analogique. Ici, le jeune est dans une tâche de réponse à choix multiple dans laquelle il doit juger de la véracité des quatre propositions. De plus, la quantité représentée peut être associée à plusieurs écritures fractionnaires. L'adolescent doit donc avoir admis que des fractions écrites différemment peuvent être égales, c'est-à-dire admettre que plusieurs écritures fractionnaires peuvent représenter le même nombre. Cette connaissance nécessite une flexibilité mentale qui renvoie à la maîtrise de l'équivalence fractionnaire. Ainsi, par rapport au subtest Tedi-math Grands, Fractions en images va plus loin dans l'évaluation du concept de fraction partie-tout en incluant des compétences supplémentaires notamment l'équivalence fractionnaire. Ces différences de modalité d'évaluation et d'habiletés mises en jeu dans chacun des deux subtests pourraient donc expliquer pourquoi leurs résultats ne sont pas corrélés.

De plus, la moyenne scolaire en mathématiques des élèves est corrélée positivement à leur réussite à quatre subtests de la batterie évaluant les compétences relatives aux fractions (Calcul avec fractions, Jugement d'écriture décimale, Comparaison de fractions et LNF). Ainsi, ces subtests présentent une bonne validité prédictive. En effet, la moyenne scolaire en mathématiques est une donnée fonctionnelle des capacités mathématiques. À nouveau, l'unique subtest non corrélé à la moyenne scolaire en mathématiques est le subtest Fractions en images. Ce résultat pourrait être expliqué par le fait que la notion évaluée dans le subtest Fractions en images n'est pas présente dans les évaluations scolaires des classes de 4^e et de 3^e au collège puisque cette notion de fraction partie-tout est majoritairement étudiée au cycle 3 (CM1 - 6^e).

Les résultats des cinq subtests de la batterie évaluant les compétences relatives aux fractions sont corrélés entre eux, suggérant que les notions évaluées entretiennent des relations étroites. Tous les subtests, sans tester les mêmes aptitudes, évaluent donc le même domaine de compétence. Ce résultat suggère ainsi une bonne cohérence inter-subtests dans la batterie d'évaluation.

Enfin, les analyses ont mis en évidence une corrélation significative entre les scores à un temps 1 et ceux à un temps 2 (2 à 5 semaines plus tard), suggérant ainsi une stabilité temporelle de tous les scores aux subtests évaluant les compétences à manipuler les fractions. D'un point de vue qualitatif, les temps de passation des subtests entre le temps 1 et le temps 2 sont similaires, corroborant également l'absence d'effet d'apprentissage. Ces résultats suggèrent ainsi que l'ensemble des subtests présente une bonne fidélité temporelle.

En conclusion, les résultats de l'étude suggèrent que les subtests d'Examath 8-15 visant à évaluer les connaissances procédurales et conceptuelles sur les fractions présentent une bonne validité concomitante, prédictive, une bonne cohérence interne inter-subtests ainsi qu'une bonne fidélité temporelle.

2. Validité du subtest LNF

Relativement au second objectif concernant la validation plus approfondie du subtest LNF, les résultats ont tout d'abord montré une corrélation, chez les jeunes CTRL, entre le temps de réalisation et la distance à la réponse. Ce résultat suggère qu'il existe donc des adolescents estimant rapidement et précisément les magnitudes fractionnaires et des jeunes répondant plus lentement et de façon moins précise. Les adolescents, qui n'accèdent pas directement à l'estimation de la magnitude fractionnaire, répondent moins rapidement puisqu'ils mettent en place d'autres stratégies (procédurales) qui conduisent à des réponses erronées et/ou qui n'ont pas le temps d'aboutir. Ce résultat suggère ainsi une bonne validité de construit : le subtest LNF permet ainsi d'objectiver le degré de maîtrise du concept de fraction nombre.

Les résultats ont montré que le coefficient α de Cronbach est élevé, suggérant ainsi une bonne homogénéité entre les dix items du subtest. Le subtest LNF a donc une bonne cohérence interne inter-items. Cependant, précisons que nombreux sont les jeunes de ce groupe à avoir réussi l'item 6/6 et, de façon plus générale, les items réductibles. Pour ces items, certains jeunes ont pu recourir à des stratégies procédurales ou à des faits arithmétiques. Ainsi, sans que nous ne puissions l'affirmer, certains adolescents CTRL ont pu utiliser de façon privilégiée des stratégies ne relevant pas d'un accès à la magnitude fractionnaire pour certains items, avec une potentielle différence de traitement entre les items réductibles et non réductibles. Cependant, les analyses montrent que cet effet n'est pas statistiquement significatif puisqu'aucun retrait d'item réductible ne permet d'augmenter significativement la cohérence interne du subtest. Par ailleurs, d'un point de vue qualitatif et clinique, noter d'éventuelles dissociations entre les items réductibles et non réductibles permet de témoigner du fonctionnement de l'adolescent. Les items réductibles sont donc intéressants à conserver dans une épreuve d'estimation de la magnitude fractionnaire car, sans compromettre la spécificité du subtest, ils permettent d'augmenter la finesse de l'investigation clinique. Ces résultats attestent ainsi d'une bonne cohérence interne inter-items du subtest LNF.

Les résultats mettent aussi en évidence une dissociation entre les groupes CTRL et TAM concernant la distance moyenne et la distance à chaque item du subtest LNF. De fait, les sujets du groupe CTRL sont significativement meilleurs que les sujets présentant un TAM au subtest LNF de sorte que chacun des dix items est sensible au TAM. Les analyses suggèrent que l'épreuve LNF, basée sur l'évaluation du concept de fraction nombre, est suffisamment discriminante et permet d'objectiver les difficultés des adolescents présentant un TAM. Sur un plan qualitatif, il existe, dans le groupe TAM, des réponses témoignant du biais du nombre entier. Nous relevons principalement deux types d'erreurs. D'une part, chez environ un tiers de ces jeunes, on note une incompréhension aux items nécessitant de manipuler des chiffres supérieurs à 5 (la ligne numérique proposée s'arrêtant à 5). Ainsi, respectivement neuf et dix adolescents répondent 5 aux items 9/10 et 7/9. Ils donnent parfois des justifications orales : « ça ne se peut pas », « en vrai, je sais que ça fait plus que 5 mais je ne peux pas aller plus loin », témoignant de l'utilisation de stratégies erronées. D'autre part, certains adolescents considèrent la fraction comme un nombre décimal de manière erronée (la barre de fraction est prise pour une virgule). Ainsi, neuf jeunes estiment la fraction 3/4 à 3,4. En suivant cette stratégie, ils sont sept à inverser le sens numérateur/dénominateur à l'item 7/2 pour réussir à le placer sur la ligne : ils répondent 2,7 car 7,2 est supérieur à 5. Ces deux types d'erreurs attestent de l'instabilité dans l'appréhension du sens de la fraction chez les adolescents

souffrant d'un TAM. Ces résultats attestent ainsi d'une bonne validité de construit en lien avec les caractéristiques individuelles et d'un bon pouvoir diagnostique du subtest LNF.

Enfin, les analyses permettent de déterminer que la sensibilité du subtest LNF est de 75 %, sa spécificité de 95 % et sa précision globale de 89 %.

En conclusion, les résultats suggèrent que le subtest LNF d'Examath 8-15 visant à évaluer les connaissances conceptuelles de la fraction nombre présente une bonne cohérence interne inter-items, une bonne validité de construit en lien avec les caractéristiques individuelles, un bon pouvoir diagnostique ainsi qu'une bonne sensibilité, spécificité et précision. Considérant l'ensemble de ces résultats, des normes ont été établies en regard des performances des adolescents de 4^e et 3^e au collège auprès des jeunes du groupe CTRL.

3. Limites

Plusieurs limites peuvent être décrites. Premièrement, la présente étude a été réalisée sur un échantillon restreint de 28 adolescents ayant un TAM et 84 adolescents sans difficulté. Une étude à plus grande échelle permettrait d'évaluer la reproductibilité des résultats pour l'épreuve LNF. Deuxièmement, il aurait été intéressant de recueillir également les résultats scolaires du groupe TAM ; ceci n'ayant pas pu être obtenu pour l'ensemble du groupe, l'étude de la validité prédictive entreprise pour le groupe CTRL n'a pu être affinée spécifiquement pour les adolescents avec TAM. Troisièmement, administrer le subtest Fractions du Tedi-math Grands au groupe TAM aurait permis d'affiner la relation entre les deux subtests. Enfin, la variabilité du délai entre T1 et T2 (entre deux et cinq semaines selon les enfants) est un biais dans l'évaluation de la fidélité temporelle.

----- CONCLUSION -----

La présente étude a ainsi permis de confirmer que les subtests d'Examath 8-15 visant à évaluer les connaissances procédurales et conceptuelles sur les fractions présentent une bonne validité concomitante, prédictive, une bonne cohérence interne inter-subtests ainsi qu'une bonne fidélité temporelle. En particulier, le subtest LNF visant à évaluer les connaissances conceptuelles de la fraction nombre présente une bonne cohérence interne inter-items, une bonne validité de construit en lien avec les caractéristiques individuelles, un bon pouvoir diagnostique ainsi qu'une bonne sensibilité, spécificité et précision. Considérant l'ensemble de ces résultats, des normes ont été établies en regard des performances des adolescents de 4^e et 3^e au collège. Elles sont désormais disponibles directement dans le programme Examath 8-15.

Les résultats de cette étude permettent de dégager des implications cliniques pour les orthophonistes. En effet, l'évaluation des compétences en fractions constitue une partie incontournable lors d'un bilan orthophonique pour un adolescent présentant des difficultés mathématiques. La batterie Examath 8-15 propose ainsi cinq épreuves afin d'évaluer les deux types de compétences fractionnaires : les concepts et les procédures. Pour les orthophonistes cliniciens menant cette évaluation avec la batterie Examath 8-15, chacune des cinq épreuves présente un intérêt clinique. D'une part, le rapport à la norme permet au professionnel de situer le niveau de compétence de l'adolescent par rapport à son niveau scolaire. D'autre part, les épreuves fournissent des indices qui peuvent être intéressants à rechercher de façon précise dans une évaluation lors de l'analyse qualitative (procédures des quatre opérations,

procédures de simplification d'une fraction ; compréhension de la fraction partie-tout, compréhension de la fraction nombre, compréhension de l'écriture décimale). Il s'agit ainsi d'analyser les acquis et les défis en termes de performances mais aussi de stratégies utilisées.

Enfin, ce travail soulève plusieurs perspectives telles que développer des épreuves valides et fidèles quant aux premières connaissances implicites chez les enfants plus jeunes (rapport de proportion par exemple) et quant aux connaissances conceptuelles et procédurales de sujets plus âgés (lycéens, adultes). Pour finir, la batterie Examath 8-15 permet d'évaluer les compétences fractionnaires au moyen de cinq épreuves testant chacune des compétences différentes dans un tout cohérent. Ainsi, l'évaluation des compétences fractionnaires est globale et permet une identification rigoureuse des difficultés. Cette finesse dans le diagnostic permettra de préparer au mieux le plan d'intervention adapté à chaque patient.

----- BIBLIOGRAPHIE -----

American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Pub.

Badian, N. A. (1999). Persistent arithmetic, reading, or arithmetic and reading disability. *Annals of Dyslexia*, 49(1), 43. <https://doi.org/10.1007/s11881-999-0019-8>

Bailey, D. H., Siegler, R. S., et Geary, D. C. (2014). Early predictors of middle school fraction knowledge. *Developmental science*, 17(5), 775-785. Accès ouvert sur Bailey's Publications :
https://sites.uci.edu/dhbailey/files/2014/07/Bailey_Siegler_Geary_2014_DevSci_FINAL.pdf

Bailey, D. H., Zhou, X., Zhang, Y., Cui, J., Fuchs, L. S., Jordan, N. C., ... et Siegler, R. S. (2015). Development of fraction concepts and procedures in US and Chinese children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 129, 68-83. Accès ouvert sur Bailey's Publications :
https://sites.uci.edu/dhbailey/files/2014/07/Bailey_et_al_2015_US_China_Fractions.pdf

Billard, C., et Touzin, M. (2011). *EDA. Evaluation Des fonctions cognitives et Apprentissages de l'enfant*. Isbergues, France : Orthoéditions.

Connoly, A. J. (2008). *Test KeyMath 3 Diagnostic assessment – Edition canadienne*. San Antonio, TX : Pearson.

Duffy, S., Huttenlocher, J., et Levine, S. (2005). It is all relative: How young children encode extent. *Journal of Cognition and Development*, 6(1), 51-63. Accès ouvert sur Duffy's website: https://duffy.camden.rutgers.edu/files/2013/10/Duffy_et_al2005_KidsSpatialExtent.pdf

Fazio, L. K., DeWolf, M., et Siegler, R. S. (2016). Strategy use and strategy choice in fraction magnitude comparison. *Journal of Experiment Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 42(1), 1-16. Accès ouvert sur TC Columbia University : <http://siegler.tc.columbia.edu/wp-content/uploads/2019/02/2016-Fazio-et-al.pdf>

Fuchs, L. S., Schumacher, R. F., Long, J., Namkung, J., Hamlett, C. L., Jordan, N. C., ... et Cirino, P. T. (2013). Improving at-risk learners' understanding of fractions. *Journal of Educational Psychology*, 105(3), 683-700.

Fuchs, L. S., Schumacher, R. F., Sterba, S. K., Long, J., Namkung, M., Malone, A., ... et Changas, P. (2014). Does working memory moderate the effects of fraction intervention? An aptitude-treatment interaction. *Journal of Educational Psychology*, 106(2), 499-514.

Gabriel, F. C., Szücs, D., et Content, A. (2013). The development of the mental representations of the magnitude of fractions. *PloS one*, 8(11), e80016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080016> accès ouvert

Gaillard, F. (2000). *Numerical. Test neurocognitif pour l'apprentissage du nombre et du calcul*. Lausanne, Suisse, Institut de psychologie Université de Lausanne : Signes.Ed.

Gaul Bouchard, M. E., Fitzpatrick, E. M., et Olds, J. (2009). Analyse psychométrique d'outils d'évaluation utilisés auprès des enfants francophones. *Revue canadienne d'orthophonie et d'audiologie*, 33(3), 129–139. Consulté sur CJSLPA :

http://cjslpa.ca/files/2009_CJSLPA_Vol_33/No_03_113-160/Bouchard_Fitzpatrick_Olds_CJSLPA_2009.pdf

Geary, D. C. (2010). Mathematical disabilities: Reflections on cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 130-133. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.10.008>

Geary, D. C., Nicholas, A., Li, Y., et Sun, J. (2017). Developmental change in the influence of domain-general abilities and domain-specific knowledge on mathematics achievement: An eight-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, 109(5), 680-693. <http://dx.doi.org/10.1037/edu0000159>

Hecht, S. A., et Vagi, K. J. (2010). Sources of group and individual differences in emerging fraction skills. *Journal of Educational Psychology*, 102(4), 843-859. Consulté de PubMed : PMC3002259

Hecht, S. A., et Vagi, K. J. (2012). Patterns of strengths and weaknesses in children's knowledge about fractions. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(2), 212-229. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.08.012>

Hiebert, J., et LeFevre, P. (1986). Conceptual and procedural knowledge in mathematics: An introductory analysis. In J. Hiebert (Ed.), *Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics* (pp. 1–27). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Iuculano, T., et Butterworth, B. (2011). Rapid communication: Understanding the real value of fractions and decimals. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(11), 2088-2098. <https://doi.org/10.1080/17470218.2011.604785> accès ouvert

Ivanova, M. V., et Hallowell, B. (2013). A tutorial on aphasia test development in any language: Key substantive and psychometric considerations. *Aphasiology*, 27(8), 891–920. Consulté de Aphasiology : <https://www.tandfonline.com/toc/paph20/27/8?nav=tocList>

Jordan, N. C., Hansen, N., Fuchs, L. S., Siegler, R. S., Gersten, R., et Micklos, D. (2013). Developmental predictors of fraction concepts and procedures. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116(1), 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.02.001>

Lafay, A., et Cattini, J., (2017). *Psychometric analysis of mathematic assessment tools used with French-speaker children*. Poster présenté au congrès de la Canadian Society for Brain, Behaviour, and Cognitive Science, Regina, Canada. Consulté de Annelafay1.wixsite : https://docs.wixstatic.com/ugd/a3414d_aa414648814847fa82dd0b4c4ba41662.pdf

- Lafay, A., et Cattini, J., (2018). Analyse psychométrique des outils d'évaluation mathématique utilisés auprès des enfants francophones. *Revue Canadienne d'Orthophonie et d'Audiologie*, 42(2), 147-164. Consulté de CJSLPA : https://cjslpa.ca/files//2018_CJSLPA_Vol_42/No_02/CJSLPA_Vol_42_No_2_2018_MS_1129.pdf
- Lafay, A., et Helloin, M. C. (2016). *Examath 8-15. Batterie informatisée d'examen des habiletés mathématiques*. Grenade, France : HappyNeuron.
- Lafay, A., Saint-Pierre, M. C., et Macoir, J. (2015). Revue narrative de littérature relative aux troubles cognitifs numériques dans la dyscalculie développementale : déficit du sens du nombre ou déficit de l'accès aux représentations numériques mentales? *Revue Canadienne de Psychologie*, 56 (1), 96-107. <http://dx.doi.org/10.1037/a0037264>
- Landerl, K., Bevan, A., et Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8–9-year-old students. *Cognition*, 93(2), 99-125. Consulté sur The mathematical brain : <https://www.mathematicalbrain.com/pdf/LANDETAL.PDF>
- Leclercq, L., et Veys, E. (2014). Réflexions sur le choix de tests standardisés lors du diagnostic de dysphasie. *ANAE*, 26. 374–382. Consulté sur ORBi, Université de Liège : <http://hdl.handle.net/2268/180427>
- Lortie-Forgues, H., Tian, J., et Siegler, R. S. (2015). Why is learning fraction and decimal arithmetic so difficult? *Developmental Review*. 38, 201-221. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.008>
- Mazzocco, M. M. M., et Devlin, K. T. (2008). Parts and 'holes': Gaps in rational number sense among children with vs. without mathematical learning disabilities. *Developmental Science*, 11(5), 681-691. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00717.x>
- Mazzocco, M. M. M., Myers, G. F., Lewis, K. E., Hanich, L. B., et Murphy, M. M. (2013). Limited knowledge of fraction representations differentiates middle school students with mathematics learning disability (dyscalculia) vs. low mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(2), 371-387. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.01.005>
- McCrink, K., et Wynn, K. (2007). Ratio abstraction by 6-month-old infants. *Psychological Science*, 18(8), 740-745. Consulté de K. Wynn : <https://campuspress.yale.edu/karenwynn/curriculum-vitae/>
- Meert, G., Grégoire, J., et Noël, M. P. (2010). Comparing the magnitude of two fractions with common components: Which representations are used by 10-and 12-year-olds? *Journal of Experimental Child Psychology*, 107(3), 244-259. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.04.008>
- Mix, K. S., Levine, S. C., et Huttenlocher, J. (1999). Early fraction calculation ability. *Developmental Psychology*, 35(1), 164. <http://dx.doi.org/10.1037/0012-1649.35.1.164>

Morisse, A. (2016). *Validation d'épreuves d'évaluation de la numération au sein d'une batterie informatisée (Examath 8-15) visant à évaluer les troubles de la cognition mathématique*. Mémoire de master pour l'obtention du Certificat de Capacité en Orthophonie. DUO, Université de Caen Normandie. Consulté de dumas : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01373176>

Morsanyi, K., Prado, J., et Richland, L. E. (2018). The role of reasoning in mathematical thinking. *Thinking et Reasoning*, 24(2), 1-9. Consulté de Queen's University Belfast, K. Morsanyi: https://pure.qub.ac.uk/portal/files/148005288/Morsanyi_Prado_Richland_2018.pdf

Ni, Y., et Zhou, Y. D. (2005). Teaching and learning fraction and rational numbers: The origins and implications of whole number bias. *Educational Psychologist*, 40(1), 27-52. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4001_3

Noël, M. P., et Grégoire, J. (2015). *TEDI-MATH Grands. Test diagnostique des compétences de base en mathématiques du CE2 à la 5^e*. Paris, France : ECPA.

Peng, P., Namkung, J., Barnes, M., et Sun, C. (2016). A meta-analysis of mathematics and working memory: Moderating effects of working memory domain, type of mathematics skill, and sample characteristics. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 455-473. <https://doi.org/10.1037/edu0000079>

Ritchie, S. J., et Bates, T. C. (2013). Enduring links from childhood mathematics and reading achievement to adult socioeconomic status. *Psychological Science*, 24(7), 1301-1308. <https://doi.org/10.1177/0956797612466268>

Rittle-Johnson, B., et Siegler, R. S. (1998). The relation between conceptual and procedural knowledge in learning mathematics: A review. Dans C. Donlan (Ed.), *The development of mathematical skills: Studies in developmental psychology* (p. 75-110). Hove, U.K.: Psychology Press.

Schneider, M., et Siegler, R. S. (2010). Representations of the magnitudes of fractions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(5), 1227-1238. <https://doi.org/10.1037/a0018170>

Schneider, M., Merz, S., Stricker, J., de Smedt, B., Torbeyns, J., Verschaffel, L., et Luwel, K. (2018). Associations of number line estimation with mathematical competence: A meta-analysis. *Child development*, 89(5), 1467-1484. Consulté de Universität Trier, M. Schneider : <https://www.uni-trier.de/fileadmin/fb1/prof/PSY/PAE/Team/Schneider/SchneiderEtAl2018.pdf>

Siegler, R. S. (2016). Magnitude knowledge: The common core of numerical development. *Developmental Science*, 19(3), 341-361. <https://doi.org/10.1111/desc.12395> accès ouvert

- Siegler, R. S., Duncan, G. J., Davis-Kean, P. E., Duckworth, K., Claessens, A., Engel, M., Susperreguy, M. I., et Chen, M. (2012). Early predictors of high school mathematics achievement. *Psychological Science*, 23(7), 691-697. <https://doi.org/10.1177/0956797612440101>
- Siegler, R. S., Fazio, L. K., Bailey, D. H., et Zhou, X. (2013). Fractions: The new frontier for theories of numerical development. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(1), 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.11.004>
- Siegler, R. S., et Lortie-Forgues, H. (2015). Conceptual knowledge of fraction arithmetic. *Journal of Educational Psychology*, 107(3), 909-918. <https://doi.org/10.1037/edu0000025>
- Siegler, R. S., et Pyke, A. A. (2013). Developmental and individual differences in understanding of fractions. *Developmental Psychology*, 49(10), 1994-2004. <https://doi.org/10.1037/a0031200>
- Siegler, R. S., Thompson, C. A., et Schneider, M. (2011). An integrated theory of whole number and fractions development. *Cognitive Psychology*, 62(4), 273-296. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2011.03.001>
- Tian, J., et Siegler, R. S. (2017). Fractions learning in children with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 50(6), 614-620. <https://doi.org/10.1177/0022219416662032>
- Vallentin, D., et Nieder, A. (2008). Behavioral and prefrontal representation of spatial proportions in the monkey. *Current Biology*, 18(18), 1420-1425. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.08.042> accès ouvert
- Vukovic, R. K., Fuchs, L. S., Geary, D. C., Jordan, N. C., Gersten, R., et Siegler, R. S. (2014). Sources of individual differences in children's understanding of fractions. *Child Development*, 85(4), 1461-1476. Consulté de Columbia University, R.S. Siegler : [tps://www.tc.columbia.edu/faculty/siegler/2014-vukovic-et-al.pdf](https://www.tc.columbia.edu/faculty/siegler/2014-vukovic-et-al.pdf)
- Wechsler, D. (2005). *WIAT-II UK. Wechsler Individual Achievement Test - Second UK Edition*. London, UK: The Psychological Corporation.
- Zhang, D., Stecker, P., et Beqiri, K. (2017). Strategies students with and without mathematics disabilities use when estimating fractions on number lines. *Learning Disability Quarterly*, 40(4), 225-236. <https://doi.org/10.1177/0731948717704966>